
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

SICAK İKLİM BÖLGELERİNDE KİNETİK GÖLGELEME ELEMANLARININ TASARIM SÜREÇLERİNE DAİR KILAVUZ

Esra KAPLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMMUZ 2025

ETİK BEYAN

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

- 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 çalışmasında 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.

Esra KAPLAN

11/07/2025

SICAK İKLİM BÖLGELERİNDE KİNETİK GÖLGELEME ELEMANLARININ TASARIM SÜREÇLERİNE DAİR KILAVUZ

(Yüksek Lisans Tezi)

Esra KAPLAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2025

ÖZET

Bu tez, mimarların iklim değişikliği ve enerji krizi gibi çevresel zorluklara yanıt verme konusundaki artan sorumluluğunu; özellikle sıcak iklimlerde, binalardaki soğutma enerjisine olan taleplerini azaltmak için etkili bir çözüm olarak kinetik gölgeleme elemanlarına odaklanarak, sürdürülebilir tasarım stratejilerinin önemini vurgulamaktadır. Bu elemanlar, statik veya geleneksel hareketli gölgeleme elemanlarına göre önemli avantajlar sunarak çevresel koşullara dinamik olarak uyum sağlamaktadır. Kinetik gölgeleme elemanları tasarlamanın, tasarıma dahil olan birçok değişken nedeniyle karmaşıklığı, bir problem olarak görülmüştür. Bunu ele almak için tez, tasarım sürecini kolaylaştırarak yapılandıran, karşılaştırmalı analiz yöntemiyle, yol haritası niteliğinde bir kılavuz sunmaktadır. Bu kılavuz, çeşitli çalışmaları sentezleyerek ve çalışmaların yöntemlerini hedeflenen performans sonuçlarına göre sınıflandırarak, geliştirilmiştir. Tasarımcılara adım adım rehberlik ederek tasarım değişkenlerini etkili bir şekilde yönetmelerine ve daha verimli tasarım oluşturmaya yardımcı olmaktadır. Önerilen çerçeve, gelişmiş teknik bilgiye sahip olmayan tasarımcıları bile destekleyerek, kinetik gölgeleme tasarımını daha erişilebilir hale getirmektedir. Ayrıca, teknolojik gelişmeleri ve gelişen araştırmaları içeren güncellemelere de olanak tanımaktadır. Bu çalışma, gelecekteki yapı kabuklarının, enerji verimli, iklime duyarlı ve sürdürülebilir bir şekilde oluşturulmasına yardımcı olmak için kinetik gölgeleme elemanlarının tasarımını içeren bu kılavuzu bir araç olarak sunmaktadır. Böylelikle, artan küresel sıcaklıklara yanıt olarak; mimarlar kinetik gölgeleme elemanları tasarımı ile binaların soğutmaya olan ihtiyacını azaltarak sürdürülebilir çevreye katkı sağlayacaktır.

Bilim Kodu	:	80130
Anahtar Kelimeler	:	Kinetik gölgeleme elemanı, enerji etkin bina tasarımı, parametrik tasarım, sürdürülebilir bina tasarımı
Sayfa Adedi	:	103
Danışman	:	Prof. Dr. Figen BEYHAN

GUIDE TO DESIGN PROCESSES OF KINETIC SHADING ELEMENTS IN HOT CLIMATE REGIONS

(M. Sc. Thesis)

Esra KAPLAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2025

ABSTRACT

This thesis highlights the increasing responsibility of architects to respond to environmental challenges such as climate change and the energy crisis, highlighting the importance of sustainable design strategies by focusing on kinetic shading elements as an effective solution to reduce cooling energy demands in buildings, particularly in hot climates. These elements dynamically adapt to environmental conditions, offering significant advantages over static or traditional movable shading elements. The complexity of designing kinetic shading elements, due to the many variables involved, was recognized as a challenge. To address this, the thesis presents a roadmap guide, using comparative analysis, that simplifies and structures the design process. This guide was developed by synthesizing various studies and classifying their methods according to their intended performance outcomes. It provides step-by-step guidance to designers, helping them effectively manage design variables and create more efficient designs. The proposed framework supports even designers without advanced technical knowledge, making kinetic shading design more accessible. It also allows for updates incorporating technological advancements and evolving research. This study presents this guide, which includes kinetic shading design, as a tool to help create energy-efficient, climate-responsive, and sustainable future building envelopes. Thus, in response to rising global temperatures, architects can contribute to a sustainable environment by reducing the cooling needs of buildings through kinetic shading design.

Science Code	:	80130
Key Words	:	Kinetic shading element, energy efficient building design, parametric design, sustainable building design
Page Number	:	103
Supervisor	:	Prof. Dr. Figen BEYHAN

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamda, biz gençlere hitabıyla öncülük ederek ilham kaynağım olan, Türkiye Cumhuriyeti'ni bizlere armağan eden Ulu Önder Mustafa Kemal ATATÜRK'e büyük minnet ve saygıyla teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince, bilgi ve birikimiyle bana yol gösteren, sabrı ve desteğiyle her zaman içtenliğiyle yanımda olan, yalnızca akademik süreçte değil, profesyonel yaşamımın dışında kişisel kariyerimi geliştirme yolculuğumda da bana ilham veren, değerli danışmanım Prof. Dr. Figen BEYHAN'a teşekkür ederim.

Hayatımın her anında, karşılaştığım tüm zorluklarda yanımda olan ve bana desteğiyle güç veren, canım kardeşim Furkan'a, beni ve kardeşlerimi büyük bir sevgi, fedakârlık ve özveriyle bugünlere getiren, büyüten, hayattaki en değerli varlığım, canım babam Mustafa KAPLAN'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ x

SİMGELER VE KISALTMALAR xii

1. GİRİŞ 1

2. SICAK İKLİM BÖLGELERİNDE GÖLGELEME ELEMANI TASARIMI 9

2.1. Gölgeleme Elemanı Performans Kriterleri 9

2.1.1. Gölgeleme elemanlarının termal konfor performansı 11

2.1.2. Gölgeleme elemanlarının görsel konfor performansı 12

2.2. Gölgeleme Elemanı Tasarım Yöntemleri 13

2.3. İç Mekânda Günışığı Performansının Değerlendirilmesine Yönelik Yöntemler ve Ölçüm Metotları 17

2.4. Gölgeleme Elemanı Sınıflandırılması 26

3. KİNETİK GÖLGELEME ELMANI TASARIMI 33

3.1. Kinetik Gölgeleme Elemanları Hareket Kabiliyetleri ve Mekanik Bileşenleri .. 34

3.2. Kinetik Gölgeleme Elemanı Örnekleri 37

3.3. Kinetik Gölgeleme Elmanı Tasarım Süreci 41

4. KİNETİK GÖLGELEME ELEMANIN PARAMETRİK TASARIMI . 45

4.1. Parametrik Tasarım Modelleme Yöntemleri 47

4.1.1. Evrimsel tabanlı (genetik algoritmalara dayanan) tasarım yöntemi 48

Sayfa

4.1.2. Kural tabanlı (biçim gramerlerine dayanan) tasarım yöntemi 50

4.2. Kinetik Gölgeleme Elemanı Tasarım Sürecinde Parametrik Tasarım Araçları .. 51

5. KİNETİK GÖLGELEME ELEMANLARI TASARIMINDA KULLANILAN OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ 57

6. BÖLÜM SONUCU 61

7. MATERYAL VE METOT 65

8. SONUÇ VE ÖNERİLER 73

KAYNAKLAR 77

EKLER 95

EK-1. İncelenen 59 çalışmanın analiz tablosu 96

ÖZGEÇMİŞ 102

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 1.1. Binaların enerji tüketimini etkileyen parametreler 3

Çizelge 1.2. İklime göre yapı kabuğu tasarım stratejileri 5

Çizelge 1.3. Yapı kabuğu ve enerji ilişkisi 7

Çizelge 2.1.Gölgeleme elemanlarından beklenen performans kriterleri 10

Çizelge 2.2. Gün ışığı değerlendirme metrikleri sınıflandırması 18

Çizelge 2.3. DGI Metriği belirli değerleri 23

Çizelge 3.1. Kinetik gölgeleme elemanı uygulamaları ve açıklamaları 37

Çizelge 4.1. Parametrik tasarım araçlarının kullanım yoğunluğu 52

Çizelge 6.1. Kinetik gölgeleme elemanı tasarımı için gerekli parametreler 62

Çizelge 7.1. Kinetik gölgeleme elemanı literatür değerlendirme tablosu 66

Çizelge 7.2. Kinetik gölgeleme elemanı tasarımı için önerilen kılavuz 70

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1.Gün ışığının ısıtma, soğutma ve yapay aydınlatma sistemlerine etkisi 6

Şekil 2.1. Kuzey yarım küredeki güneş menzili 14

Şekil 2.2. Gündönümleri ve ekinoks için güneş açılarını gösteren gökyüzü kubbesi ve güneş konumunu gösteren açılar 15

Şekil 2.3. Statik ve dinamik günışığı değerlendirme metrikleri 19

Şekil 2.4. Leedv.4 için kabul edilen bazı metrikler 25

Şekil 2.5. PMV kabul değerleri 26

Şekil 2.6. Gölgeleme elemanları formlarına göre sınıflandırılması 28

Şekil 2.7. Yatay gölge açısı (HAS) ve düşey gölge açısı..... 28

Şekil 2.8. Sabit, yatay, düşey, karma gölgeleme elemanları ve gölgelemenin grafiksel gösterimleri 29

Şekil 2.9. Gölgeleme elemanlarının en verimli olduğu cephe yönü ve özellikleri 30

Şekil 2.10. Bir yıl içindeki gölgelenme dönemi 31

Şekil 2.11. Gölgeleme elemanı hareketlerinin gün ışığına etkisi 32

Şekil 3.1. (a) Katı cisimlerin uzaysal geometrik dönüşüm biçimleri(b) Hareket bozulmalarının tipolojileri c) yapı elemanlarının 35

Şekil 3.2. Mekanizmayı harekete geçirmek için kullanılan bazı mekanik cihazlar 36

Şekil 3.3. Mekanizmayı harekete geçirmek için kullanılan aküatörler 36

Şekil 3.4. Kinetik gölgeleme elemanı tasarımında etkili olan faktörler 41

Şekil 3.5. Kinetik gölgeleme sistemleri için görsel ve termal gereksinimler 42

Şekil 4.1. Geleneksel tasarım süreci ve parametrik tasarım süreci karşılaştırılması 46

Şekil 4.2. Parametrik tasarım yöntemleri sınıflandırılması 48

Şekil 4.3. Kelebek kanatlarından çıkarılan biyomimikri prensiplerine dayalı tasarım yaklaşımı 49

Şekil 4.4. Diyagramatik biçim grameri kural seti 50

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.5. Parametrik tasarım sürecinde kullanılan araçların sistematik şeması 52

Şekil 4.6. LadyBug ve Honeybee Eklentisi 54

Şekil 4.7. Çalışmalardan elde edilen parametrik tasarım akış şeması ve araçları 55

Şekil 5.1. Örnek bir çalışmadaki pareto front grafiği 59

Şekil 6.1. Kinetik gölgeleme elemanı akış şeması..... 63

Şekil 7.1. İncelenen çalışmalardaki genel bilgiler ve yoğunluk grafikleri 67

Şekil 7.2. İncelenen çalışmalardan amaca yönelim tasarım yöntemleri 69

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	**Açıklamalar**
m^2	Metrekare

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
ASE	Yıllık Güneş Işığı Maruziyeti
ASHRAE	Amerikan Isıtma, Soğutma ve Klima Mühendisleri Derneği
BREEAM	Building Research Establishment EnvironmentalAssessment Method
CASBEE	Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency
CIBSE	Chartered Institution of Building Services Engineer
DGP	Günışığı Parlama Olasılığı
DGI	Günışığı Parlama İndeksi
DA	Gün Işığı Otonomisi
DF	Gün Işığı Faktörü
EUI	Enerji Kullanım Yoğunluğu
GF	Parlama Faktörü
LUX	Aydınlık Düzeyi Birimi
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
IEA	International Energy Agency
PMV	Tahmini Ortalama Oy
PPD	Tahmini Memnuniyetsizlik Oranı
Sda	Mekânsal Gün Işığı Otonomisi
UDI	Faydalı Gün Işığı Aydınlatması
TCV	Termal Konfor Değeri

1. GİRİŞ

Endüstri devrimi ile gelişen sanayileşme, teknolojik gelişmeler, enerjiye oluşan ihtiyacı artırmış ve doğal kaynakların bilinçsizce kullanımına neden olmuştur. Bu nedenle özellikle 1990'lı yıllardan sonra, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımı kavramları önem kazanmıştır. Artan nüfusla birlikte, doğal kaynaklardan elde edilen enerji tüketiminin artması; fiziksel çevre üzerinde olumsuz etkiler yaratmakta, karbon emisyonlarını artırmakta ve sonuç olarak küresel sıcaklık artışına bağlı olarak iklim değişikliklerine neden olmaktadır. Küresel iklim krizi, önümüzdeki yıllarda daha sıcak hava koşullarıyla karşılaşılacağını göstermektedir ve bu durum, özellikle iç mekânlarda termal konforun sağlanabilmesi için enerji ihtiyacının artacağına işaret etmektedir. Artan sıcaklıklar, soğutma sistemlerine olan bağımlılığı artırırken, binalarda enerji tüketimini ise önemli ölçüde yükseltmektedir. Enerji kullanımındaki bu artış ise, fosil yakıt tüketimine bağlı olarak karbon emisyonlarının yükselmesine yol açmakta; artan emisyonlar küresel ısınmayı hızlandırmakta ve iklim değişikliklerini hızlandırmaktadır. Bu döngüsel etki, yalnızca mevcut iklim sorunlarını büyütmekle kalmamakta, aynı zamanda gelecekte daha fazla enerji talebini de beraberinde getirmektedir. Ayrıca ülkelerde halihazırdaki doğal kaynakların tükenmesine neden olarak, ülkelerin enerji kaynağı arayışını dış ülkelerden almasına böylelikle, ülkelerin ekonomisinde de büyük zarara neden olmaktadır (UNEP, 2022).

Enerji krizi, günümüzde küresel ölçekte ülkelerin karşı karşıya kaldığı en kritik sorunlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Bu doğrultuda gerçekleştirilen uluslararası kongre ve toplantılarda, gerekli önlemlerin alınmaması hâlinde enerji tüketiminin; iklim değişikliği, deniz seviyesindeki yükselme, su kaynaklarının tükenmesi, çölleşme ve bulaşıcı hastalıklarda artış gibi ciddi çevresel ve toplumsal sonuçlara yol açabileceği ifade edilmektedir. Dünyada inşaat sektörü, enerji kullanımından doğan, CO^2 emisyonunun %39'unu tükettiği hesaplanmıştır. Bina sektörü enerji kullanımı açısından, m^2 başına yıllık ortalama %1,5 oranında artmaya devam etmektedir (IEA, 2020). Bu nedenle toplantıya katılan ülkelerden, enerji kullanımını kontrol altına almak için önlemler alınması gerektiği gibi konular tartışılmıştır. Başta Avrupa Birliği ülkeleri olmak üzere uluslararası yapılan, Taraflar Konferansı (COP), Paris Anlaşması, Kyoto Protokolü gibi toplantılarda, enerji krizine çözüm olabilecek öneriler getirilmiştir. Bu toplantılardan biri olan ve 2019 yılında açıklanan, Green Deal (Avrupa Yeşil Mutabakatı) strateji planı, özellikle günümüzdeki

enerji krizine çözüm olarak birçok stratejik hamle belirlemiştir. Bu plan, iklim değişikliğinin ve kaynakların korunması amacıyla, enerji krizinin önüne geçmek için ülkelerden bazı sınırlamalar istemektedir. Bu kararların bir kısmı, küresel verilere göre küresel enerji tüketiminin yaklaşık %40'ını oluşturan inşaat sektörüyle ilgili çeşitli kısıtlamaları içermektedir (Uluslararası Enerji Ajansı, 2023; Avrupa Komisyonu, 2021).

Bina sektöründe enerji kullanımını azaltmak için oluşturulan kısıtlamalar başlıca; yenilenebilir kaynak kullanımının artırılması, ısıtma soğutma sistemleri için harcanan enerji yükünün azaltılması, ısı yalıtımının daha etkili olması için yalıtım malzemelerinin kalınlığının artırılması veya sızdırmazlık değerlerinin tekrar düzenlemesi, bina yapım ve yıkım tekniklerinin fiziksel çevreye uygun şekilde yapılması gibi çeşitli uygulamalardan oluşmaktadır (TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, 2008). Green Deal (2020) sonra, Türkiye'nin Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın 12 Mayıs 2023'te yayınladığı yönetmelikte Türkiye'de 5000 m² inşaat alanı üzerindeki binaların tükettikleri enerjinin %5'ini yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamasını sağlayan düzenleme getirmiştir (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022). Ayrıca İstanbul ve Ankara gibi Büyükşehirlerde ısı yalıtım malzemelerinin kalınlıklarının artırılması gibi düzenlemeler getirilmiştir (Bureau, 2023). Yapı sektöründe enerji tüketimini etkileyen birçok parametre vardır. Bunlar, binaların yapım sürecinden, yıkılma sürecine kadar olan kısmı kapsamaktadır. Bu nedenle inşaat yapım-yıkım sürecinden sorumlu olan tüm paydaşların bina tasarımı yaparken, meslek etiği gereği fiziki çevreye olan sorumluluklarını yerine getirmek adına, binaları bulduğu çevreye duyarlı, enerji kullanımını dikkate alan tasarımlar yapmaları oldukça önemlidir. Binaların enerji tüketimlerini etkileyen faktörler, konumsal, iklimsel, binaya ait tasarım, yapay sistem başlıkları altında, aşağıda bulunan Çizelge 1.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 1.1. Binaların enerji tüketimini etkileyen parametreler (Koç, 2019; Maçka Kalfa, 2014)

Konumsal Parametreler	İklimsel Parametreler	Binaya Ait Tasarım Parametreleri	Yapay Sistem Parametreleri
Enlem	Sıcaklık	Yönlenme	HVAC sistemler
Boylam	Güneş Işınım Şiddeti	Bina Geometrisi	Aydınlatma Sistemleri
Deniz Seviyesinden Yükseklik	Rüzgâr Hızı ve Yönü	Yapı Kabuğunun Fiziksel Özellikleri ve Sızdırmazlık	Kullanıcılara Ait Araç ve Ekipmanlar
		Binaların Çevresine Göre Konumu	

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) 2024 raporlarına göre, binalarda tüketilen enerjinin büyük bir kısmı ısıtma ve soğutma sistemlerinden kaynaklanmaktadır. Binalarda iç mekân konforunu sağlamak için harcanan enerji, toplam tüketimin yaklaşık %50-70'ini oluşturmaktadır (International Energy Agency, 2024). Ayrıca, binalarda kullanılan toplam enerjinin %30'u küresel nihai enerji tüketimine katkıda bulunmakta ve bu da enerji kaynaklı küresel emisyonların %26'sını oluşturmaktadır. Özellikle soğutma sistemleri, artan gelir seviyeleri ve iklim değişikliği nedeniyle, özellikle gelişmekte olan ülkelerde elektrik talebinde önemli bir artışa neden olmaktadır. IEA, 2030 yılına kadar binalardaki klima ve cihazlardan kaynaklanan enerji tüketiminin %35 artacağını öngörmektedir (IEA, 2024; IIR, 2024). Bu nedenle, mimarların tasarladıkları binalarda enerji tüketimini kontrol altına alabilmeleri için, özellikle ısıtma, soğutma ve aydınlatma sistemlerini tasarımın erken aşamalarında dikkate almaları, yapıların gelecekteki enerji gereksinimlerinin azaltılmasında önemli bir rol oynayacaktır. Yapının, ısıtma soğutma ve aydınlatma gibi ihtiyaçları için gerekli olan enerjiyi, bulunduğu iklim özelliklerine göre yenilenebilir enerji kaynaklarından kullanması, son yıllarda birçok çalışmanın konusu haline gelmiştir. Bu bağlamda, iklim odaklı bina tasarım stratejileri, binanın dış hava koşullarından yararlanması ya da korunması için oldukça önemlidir (Omer, 2008).

İklim odaklı bina tasarım, yapının ihtiyacı olan ısı, ışık, rüzgâr ve diğer hava koşullarının iç mekân konforuna etkisine etkisi ve günümüz yapım sektörünün enerjiye olan ihtiyacının azaltılması için çok önemlidir. Bu nedenle bina tasarımı binanın bulunduğu konumun mikro iklim verileri dikkate alınarak tasarlanması gerekmektedir. Bir yapının iç mekândaki ısıl konforun, ek enerji sistemlerine olan ihtiyacın minimum kapasitede tutacak şekilde tasarım parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Özellikle, iklim odaklı bina tasarımında,

binanın ısıtma ve soğutma için harcadığı enerji için en önemli etken binanın dış hava ile doğrudan ilişkisini sağlayan yapı kabuğudur (Kun, 2005).

Yapı kabuğu, yapının dış havaya maruz kalan ilk bölümü olması ve iç mekân-dış hava koşulları arasındaki iletişimi sağlaması nedeniyle, yapı kabuğu tasarımı, binanın enerji tasarrufu ve iç mekân konforu açısında en önemli tasarım elemanıdır (Wang, Wong ve Li 2007). Yapı kabuğunun görevi, iç ortam ve dış ortam arasında bir ayraç oluşturarak iç ortam konforunu sağlamaktır (Gür ve Aygün, 2009). Yapı cephesine güneşten gelen ışınlar, geçirgen yapı kabuğundan geçerek, iç mekân sıcaklığını artırmakta ve kullanıcı konforunu rahatsız edecek sera etkisi meydana getirebilmektedir. Dolayısıyla kullanıcı iç mekânın sıcaklığını düşürmek ve aşırı ısınmadan korunabilmek için soğutma enerjisine ihtiyaç duymaktadır. Bu da binanın halihazırdaki enerji tüketimine ek olarak yük oluşturmaktadır. Yapı kabuğunun tasarımında birçok etken görev almaktadır, bunlardan en önemlileri iklimsel koşullar ve kullanıcı taleplerinden oluşmaktadır (Karamanlıoğlu, 2011).

Dış hava koşullarıyla doğrudan temas içinde olan yapı kabuğunun, uygun şekilde tasarlanması bina ısıtma soğutma enerjisine aynı zamanda bina enerji kullanımına doğrudan etki etmektedir. Isıtma soğutma sistemleri, genellikle iç mekânı istenilen optimum konfor koşullarına getirmek için kullanılır. Özellikle güneş ışınımından optimum düzeyde fayda sağlanması ve olumsuz dış çevre etkilerinin en aza indirilmesi, iklime duyarlı yapı kabuğu tasarımı ile mümkündür. Bu bağlamda, binaların konumlandığı bölgenin iklimsel özelliklerine uygun gölgeleme elemanları, yalıtım malzemeleri ve cephe düzenlemeleri tasarımın erken aşamalarında dikkate alınmalıdır. Aşağıdaki görselde iklim tiplerine göre yapı kabuğu tasarım stratejileri verilmiştir.

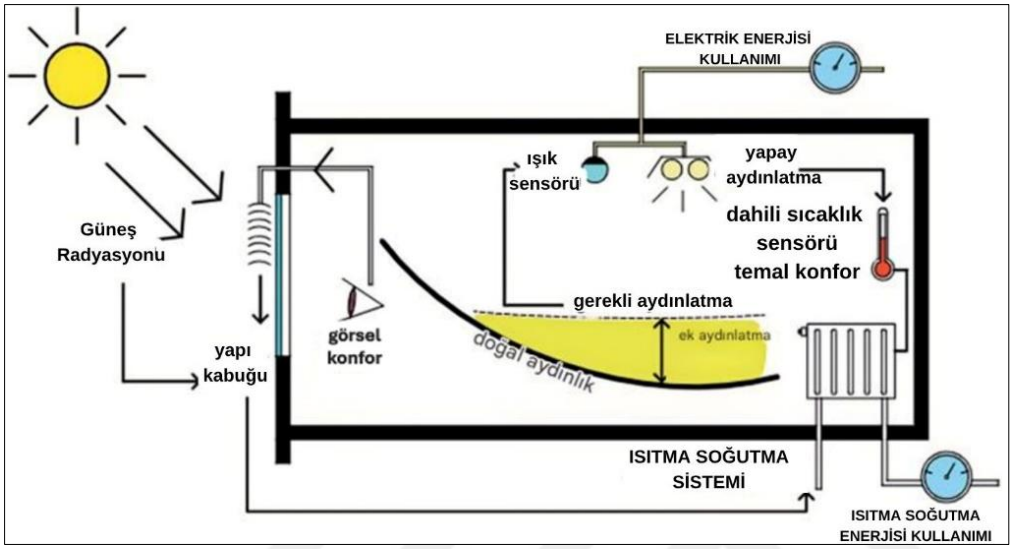
Çizelge 1.2. İklime göre yapı kabuğu tasarım stratejileri (Aksamija, 2013)



Çizelge 1.2'de görüldüğü üzere her iklimde güneş kontrolü oldukça önemlidir. Soğuk iklimlerde güneş ışığını içeriye alan tasarımlar, sıcak iklimlerde ise güneş ışınlarından korunmak doğrudan yapı kabuğu-enerji ile ilişkisi açısından oldukça önemlidir. Gelecek yıllarda iklim değişiklikleri nedeniyle sıcak iklimlerin etkin olacağı öngörüsüne dayanarak, bu çalışmada sıcak iklim bölgeleri ve sıcaklığın yüksek olduğu iklim tiplerine uygun yapı kabuğu tasarımına odaklanmıştır. Dünyada özellikle sıcak iklim bölgesinde tasarlanan bir binanın soğutma enerjisine olan ihtiyacını düşürmek için, 2010'lu yıllardan itibaren yapı kabuğunda çeşitli tasarım arayışları geliştirilmiştir. Literatürden elde edilen veriler, sıcak iklimlerde binanın dış hava koşullarına karşı gösterdiği performans çözüm arayışları genellikle iki başlık altında gerçekleşmektedir; yalıtım çözümleri ve yapı kabuğu tasarımı çözümü. Her iki çözüm yolunda da binayı dış hava koşullarından koruyarak binanın ısıtma-soğutma enerjisi ihtiyacını düşürmek amacıyla, sürdürülebilir bir çevreye karşı sorumluluğunu yerine getirmektedir (Loonen, Trcka, ve Hensen 2011).

Yılın tüm zamanları konforlu yaşam sıcaklığına uygun değildir. İç mekânda insanların konfor sıcaklığı 22-27 derece ve bağıl nemin ise %30-60 olması optimum koşul olarak kabul edilmektedir (ASHRAE, 2013; Institute for Building Environment and Energy Conservation, 2010). Binalar iklim şartlarına uygun şekilde tasarlanmaz ise, iç mekânın optimum koşullarını sağlamak adına, dış hava koşullarından korunması için iç mekânın sıcaklığını, aydınlığını ve havalandırmasını sağlayan sürekli enerji gerektiren sistemlerden

sağlanabilir, bu da bina enerji kullanımına ekstra yük olmaktadır (Jalloul, 2020). Dolayısıyla, gün ışığı ile yapı kabuğu arasında, yapı kabuğu ile HVAC sistemlerinin kullanılması arasındaki ilişki iç mekân konforu açısından çok önemlidir. Aşağıda gösterilen Şekil 1.1'de gün ışığının ısıtma soğutma ve yapay aydınlatma etkisini betimlemektedir.



Şekil 1.1. Gün ışığının ısıtma, soğutma ve yapay aydınlatma sistemlerine etkisi (Ochoa ve diğ., 2012)

Yapı kabuğunun, binanın hem iç mekan konforu hem de enerji konusunda sorumluluğunu daha iyi anlayabilmek için, sıcaklık ve enerji faktörleriyle olan ilişkisine odaklamak gerekmektedir. Yapı kabuğu ve sıcaklık ilişkisi doğrudan enerji kullanımını etkilemektedir, bu nedenle amaç iç mekânı optimum konfor koşullarına uygun hale getirirken, aynı zamanda enerji tasarrufu da sağlamaktadır (Attia, Hamdy, O'Brien ve Carlucci 2013). Isı transferi, güneş ışınımının kontrolü, hava geçirgenliği ve nem dengesi gibi birçok fiziksel süreci doğrudan etkileyen yapı kabuğu hem enerji tüketimi hem de kullanıcı konforu üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu doğrultuda, enerji etkin bina tasarımının temelini; yapı kabuğunun doğru şekilde tasarlanması, pasif iklimlendirme stratejileriyle entegrasyonu ve yerel iklim koşullarına uygun malzeme seçimleriyle optimize edilmesi oluşturmaktadır. Yapı kabuğunun termal performansı yalnızca iç mekân sıcaklıklarının düzenlenmesini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda toplam enerji tüketimini azaltarak karbon salımını da düşürür. Dolayısıyla, yapı kabuğunun enerji verimliliği, iç mekân konforu ve çevresel sürdürülebilirlik ilkeleriyle uyumlu biçimde tasarlanması, çağdaş mimarlıkta vazgeçilmez bir tasarım kriteri haline gelmiştir (Yang, Zhang ve Xu 2019). Yapı kabuğu tasarım

kriterleri; kullanıcı gereksinimleri ve iklim parametrelerinden oluşmaktadır. Çizelge 1.3'de yapı kabuğu tasarım parametreleri ile enerji tüketim ilişkisi gösterilmektedir. Kullanıcı gereksinimleri olan; iç hava sıcaklığı, havalandırma, bağıl nem gibi faktörleri insan sağlığı için gerekli olan optimum değerlerde tutmak için; ısıtma, soğutma yapay aydınlatma gibi enerjilere ihtiyaç vardır. Bu tür enerji ihtiyaçlarının kullanım yoğunluğu, iklim parametrelerine bağlıdır. Aynı zamanda iklim parametreleri, kullanıcı gereksinimleri ile ilişkisi göz önünde bulundurulduğunda yapı kabuğu tasarım için bu üçlü iletişimin aynı anda düşünülmesi gerektiği görülmektedir.

Çizelge 1.3. Yapı kabuğu ve enerji ilişkisi (Karamanoğlu, 2011; Anaç, 2019)

Kullanıcı Gereksinimleri	Cephe- Enerji Tüketimi	İklim Parametreleri
İç Hava Sıcaklığı	Isıtma Enerjisi	Dış Hava Sıcaklığı
Havalandırma	Soğutma Enerjisi	Hava Hareketi
İç Havanın Bağıl Nemi	Yapay Aydınlatma	Dış Havanın Bağıl Nemi
Işık	Havalandırma	Güneş Radyasyonu
Temiz Hava		

İklim odaklı tasarım stratejisinde en etkili parametre güneş ışınlarıdır. Binanın konumuna bağlı olarak, iklimi, fiziki çevresi, binanın fonksiyonu gibi faktörler, gün ışığı kontrolünün şiddetinin yönelimini verileriyle birlikte tasarımı etkilemektedir. Bu doğrudan binanın ısıtma ve soğutma enerjisini belirleyecektir (Brown, DeKay ve Sun 2001). Güneş enerjisi, bina enerji performansını etkileyen önemli bir bileşendir. Güneş enerjisi, ışınım, taşıma ve iletim yollarıyla bina enerji performansı döngüsüne girer. Sonuç olarak, yapı kabuğunun bileşenleri enerji performansında kritik bir rol oynar. Enerji tüketimi, pencere/duvar oranı, cam türü ve duvar yapısı gibi faktörler tarafından etkilenir (Gültekin ve Farahbakhsh, 2015). Bununla birlikte, gün ışığının enerji tüketimini azaltmasının beş temel amacı vardır: yeterli aydınlatma seviyeleri, etkin gün ışığı kullanımı, parlama kontrolü, dış ortamla görsel bağlantı ve ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerinin azaltılması (Okutan, 2018).

Güneş hem ısı hem de ışık kaynağı olduğundan dolayı binanın yenilenebilir bu kaynağı en etkili biçimde kullanması, binanın hem iç mekân konforuna hem de ısıtma, soğutma, aydınlatma enerjisi kullanımına doğrudan etki eder. Bu nedenle sıcak iklim bölgelerinde

aşırı ısınma nedeniyle güneşten korunma, soğuk iklim bölgelerinde ise güneş ışınlarını en etkin şekilde kullanmak çok önemlidir (Olgyay, 1963). Özellikle iklim kriziyle birlikte dünya ısısının artması, son zamanlarda sıcak iklim bölgelerinde kullanılan soğutma enerjisine olan ihtiyacı artırmaktadır, dolayısıyla binanın enerjiye olan ihtiyacını artırmaktadır. Bu nedenle son yıllarda özellikle gölgeleme elemanı tasarımı oldukça önem kazanmıştır.

Gölgeleme elemanlarının kullanılması, binaya giren güneş ışınımını azaltabilir ve bu da soğutma ihtiyacını azaltabilir. Isıtma sezonunda güneş kaynaklı ısıl kazançlardan yararlanmak için güneş ışınımının iç mekâna ulaşmasını sağlayacak şekilde tasarlanmadıkları durumlarda, güneş kırıcılar bir binanın enerji performansını olumsuz etkileyebilmektedir (Aburas, 2019). Yapılarda güneş gölgeleme ve güneş yönlendirme sistemleri genellikle iç mekâna giren gün ışığını, farklı performans kriterlerine hizmet edecek şekilde yönlendirmek için kullanılır. Gölgelemeye ihtiyaç duyulan amacın iyi bir şekilde tanımlanması oldukça önemlidir. Çünkü gölgeleme elemanı tasarımında, birçok parametre birbiriyle ilişkilidir, bu parametrelerin belirlenmesi yanlış sonuçları doğurmaması açısından amacın net olarak belirlenmesi çok önemlidir. Bu nedenle bu tezde, sıcak iklim bölgelerinde gölgeleme elemanları tasarımları yaparken tasarımın bulunduğu konumun dış hava koşullarından, kullanıcıların ihtiyacı ve taleplerine göre optimum sıcaklığı iç mekâna alarak termal konforu sağlayacak, aynı zamanda aşırı ısınmayı önleyerek soğutma yüküne olan ihtiyacını azaltacak, dolaylı olarak yapının enerjiye ihtiyacını azaltmayı sağlayacak tasarımlar için, literatürden alınan çalışmaları sınıflandırmıştır. Bir gölgeleme elemanı tasarımı için parametrelerin belirlenmesinden tasarımın oluşumuna ve performans optimizasyonuna kadar olan süreci detaylı bir biçimde açıklamayı hedeflemektedir. Literatürde bulunan, gölgeleme elemanı tasarım çalışmaları yöntemlerini analiz edilerek ve yorumlanarak, bir kılavuz çıkarmaktadır. Böylelikle tez sonucunda, gölgeleme elemanı tasarımı yapmak isteyen bir araştırmacı için, tasarım zorluklarını en aza indirecek ve teşvik edecektir.

2. SICAK İKLİM BÖLGELERİNDE GÖLGELEME ELEMANI TASARIMI

Binaların özellikle sıcak iklimlerde, soğutma enerjisine ihtiyacını düşürmek için, gölgeleme elemanı tasarımının bir çözüm olacağı bu bölüme kadar açıklanmıştır. Bu bölümde ise gölgeleme elemanı tasarımı yapabilmek için verilen başlıklar sırasıyla, gölgeleme elemanı tasarım parametreleri, tasarım yöntemleri, iç mekânda günışığı performansının değerlendirilmesine yönelik yöntemler ve ölçüm metotları, gün ışığı değerlendirme metrikleri, gölgeleme elemanı sınıflandırılması başlıkları altında, tasarımın oluşması için ön tasarım süreci açıklanacaktır. Bu sıralama, performans amacına uygun gölgeleme elemanı tasarımı yapılabilmesi için; elemanın tipi, konumu, hareketi, eğimi gibi özelliklerin karar aşamasını oluşturmaktadır.

2.1. Gölgeleme Elemanı Performans Kriterleri

Gölgeleme elemanı tasarımı, binanın fonksiyonuna, konumuna, iklim şartlarına, ihtiyaca yönelik aydınlatma, ısıtma, soğutma gibi tasarım beklentileri gibi, tasarım parametrelerine göre form alabilmektedir. Bu nedenle gölgeleme elemanı tasarımı yapabilmek için çalışmadan önce amacın net bir şekilde ortaya konması gerekmektedir. Bir gölgeleme elemanı tasarımı performans kriterleri genel olarak; bina enerji performansı, ısıl konfor, görsel konfor, kullanım ömrü ve maaliyeti, estetik gereksinimler olarak Çizelge 2.1’de gösterilmiştir (Olgyay, 1963; Freewan, 2014). Bu çalışma, gölgeleme elemanlarını bina enerji kullanımı ve iç mekân konforu açısından değerlendirdiğinden, bina enerji performansı, ısıl konfor, görsel konfor parametrelerine odaklanacaktır. Aşağıdaki çizelge kullanıcıların ve tasarımcıların gölgeleme elemanlarından bekledikleri performans kriterlerini göstermektedir.

Çizelge 2.1. Gölgeleme elemanlarından beklenen performans kriterleri (Özyer, 2017, Koç, 2019)

BİNA ENERJİ PERFORMANSI	Soğutma enerjisi tüketimi
	Isıtma enerjisi tüketimi
	Aydınlatma enerjisi tüketimi
	Havalandırma enerjisi tüketimi
	Sıcak su sistemleri
ISIL KONFOR	Sıcaklık
	Nem
	Hava hızı
GÖRSEL KONFOR	Kamaşma kontrolü
	Yeterli aydınlık düzeyi
	Homojen günışığı dağılımı
KULLANIM ÖMRÜ VE MALİYETİ	Düşük İlk Yapım
	Maliyeti Uzun Kullanım
	Ömrü Malzemenin Geri Dönüştürülebilirliği
	Yüksek Dayanım (Bakım-Onarım İhtiyacının Minimum Olması)
ESTETİK GEREKSİNİMLER	Dış Ortamla Görsel Bağlantı
	Mahremiyet
	Yapı Cephesine Katkı

Bu tezde incelenen örnekler, bina enerji performansı parametrelerinde soğutma, ısıtma, aydınlatma, enerjileri tüketme, ısıl konfor parametreleri, nem, görsel konfor, kamaşma kontrolü, yeteli aydınlatma düzeyi ve homojen gün ışığı dağılımı kriterlerini içerir. Bu etmenler, iç aydınlatmanın, termal ve görsel dengenin, kullanıcı konforuna ve bina enerji tüketimine doğrudan etki ettiğine dair literatürden elde edilen verilere dayanmaktadır. Gölgeleme elemanı tasarımının amacına uygun parametreleri oluştururken, bazı durumlar avantajlı olabileceği gibi dezavantajlı durumlar da oluşabilmektedir. Gölgeleme elemanları, özellikle yaz aylarında iç mekâna giren güneş ışınımını engelleyerek soğutma enerjisi tüketimini azaltır. Bununla birlikte, kış aylarında faydalı güneş ışınımını engelleyebildikleri için ısıtma enerjisi tüketimi oldukça yüksek olabilir. Bunun gibi, gölgeleme elemanları

günışığı engelleyerek daha fazla elektrik tüketebilir. Bu durumda, binanın enerji tüketimini azaltmayı amaçlayan çalışmalar daha fazla enerji tüketebilir. Bu nedenle, aydınlatma, ısıtma ve soğutma arasındaki bağlantılar gölgeleme tasarımı yapılırken dikkate alınmalıdır (Tzempelikos ve Athienitis, 2007).

Gölgeleme elemanları iç mekâna düşen güneş ışığını yönlendirerek dış havadan gelen güneş ışınlarını kontrol eder böylelikle ısıl konforun sağlanmasına büyük katkısı vardır. Aynı zamanda iç mekândaki, bağıl nem, kullanıcı faaliyetleri, hava sirkülasyonu vb. gibi iç mekân hava şartlarına etki eden değişkenlerde vardır. Gölgeleme elemanı tasarımı yaparken beklenen performans kriterleri ve dış ortamının değişkenleri ile düşünülmesi gereken kapsamlı bir tasarım süreci olduğu görülmektedir. Beklenen performans kriterlerinden görsel ve termal konfor, enerji performansı ile doğrudan ilişki içerisindedir. İç mekan konforu sağlamak için görsel ve termal konforun optimum düzeyde sağlanması gerekmektedir (Dino,2017).

2.1.1. Gölgeleme elemanlarının termal konfor performansı

Gölgeleme elemanları, güneş ışınlarını belirli bir düzeyde engelleyerek iç mekâna giren ısıyı kontrol eder. Bu, soğutma yüküne bağlı enerji tüketimini önemli ölçüde azaltır. Pasif iklimlendirme stratejilerinin önemli bir parçası olan bu bileşenler, özellikle sıcak iklim bölgelerinde enerji verimliliğini artırmak için sıklıkla kullanılmaktadır. Bununla birlikte, iç mekân sıcaklığı yalnızca iç ortam sıcaklığını etkilemez; hava sıcaklığı, bağıl nem, ortalama radyant sıcaklık, güneş ışınım kazancı, kullanıcıların giyim tarzı ve fiziksel aktivite düzeyi gibi çok sayıda çevresel ve kişisel faktörler de asıl konfor seviyesini etkiler (Al- Tamimi ve Fadzil, 2011). Bu nedenle, gölgeleme elemanlarının biçimi, boyutu, yönelimi ve eğim açısı gibi tasarımsal değişkenleri doğru seçerek yıl boyunca en iyi performans sağlanabilmektedir. Yaz aylarında, güneş ışınlarının iç mekâna girmesini engelleyerek soğutma ihtiyacını azaltırlar. Kış aylarında, güneş ışınlarının iç mekâna daha düşük açılarla girmesine izin vererek pasif ısı kazancı sağlarlar. Bu iki yönlü etki hem enerji verimliliği hem de kullanıcı memnuniyeti açısından çok önemlidir (Santos, Akutsu ve de Brito 2016). Özellikle pencere sistemlerine entegre edilen dinamik ya da sabit gölgeleme elemanları sayesinde, mekânsal ısı kazançları mevsimsel değişkenliklere göre ayarlanabilir. Kışın ısıtma yükünü azaltan yöntemler, güneş ışınımından en verimli şekilde yararlanmayı sağlar. Bu, aşırı güneş kazanımını engelleyerek iç ortam sıcaklıklarının yükselmesini önler. Bu durumda, iyi

tasarlanmış bir gölgeleme sistemi enerji tüketimini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda doğal aydınlatma kalitesini artırır, bu da yapay aydınlatma gereksinimini azaltır ve görsel konforu artırır. Dolayısıyla, gölgeleme elemanlarının tasarımı, iklim verileri, bina yönelimi, cam yüzey alanı ve kullanıcı ihtiyaçları gibi parametrelerin bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesi gerekmektedir (Bektaş, Orhan ve Yüksel 2022).

2.1.2. Gölgeleme elemanlarının görsel konfor performansı

İç mekân konforunda termal konfor kadar diğer önemli etken görsel konfordur. İç mekân konforu için, görsel konforu etkileyen en önemli faktörler aydınlık seviyesi ve kamaşmadır. Yapı kabuğunun pencere- duvar oranı veya cam tipinin saydamlık oranı gibi etkenler, bu faktörlerle doğrudan ilişki içerisindedir (Baker ve Steemers, 2014). Kamaşma, ışık kaynağında mekândaki malzemelerde daha parlak olduğunda göz ışığa uyum sağlayamaz ve görme engeli oluşturur. Bu durum iç mekândaki kullanıcıların konfor düzeyini oldukça düşürür. Mekândaki her noktanın aynı aydınlatma seviyesinin olması, görsel rahatlığı sağlar (Manav, 2005). Cephenin saydam yüzeylerinden doğrudan gelen gün ışığındansa, bir yüzeyden yansıtılmış gün ışığı daha konforlu görüş alanı sağlamaktadır. Bu nedenle sadece görsel konfor için gölgeleme elemanı tasarımı yapmak oldukça geçerli bir sebeptir (CISBE, 2006). Fakat gölgeleme elemanı tasarımı yaparken, iç mekân yüzeylerinin yansıtıcılık değerleri, pencere sistemlerinin konumu, boyutu, ışık geçirgenliği, gölgeleme elemanının cam yüzeyden uzaklığı gibi faktörler iç mekâna giren ışınların miktarını, aydınlık düzeyini etkiler. Tasarımı yaparken bu parametrelere dikkat edilmesi gerekmektedir (Saint-Gobain, 2021). Doğru yerleştirilmiş gölgeleme elemanları, güneş ışınının iç mekâna girmesini engeller. Mekânın ışık geçirgenlik oranını düşürebilir ve aydınlatma yüküne bağlı enerji kullanımını artırabilir. Bu, yanlış uygulanmış gölgeleme elemanı tipine ve açısına bağlıdır. Kuzey yarım kürede güney cephedeki pencereler, kuzey, doğu ve batı yönlerine göre gün ışığı aydınlatma düzeyi daha yüksektir. Özellikle güney yönündeki gölgeleme elemanı kullanımı, kamaşmayı ve direkt güneş ışığı etkilerini azaltabilir (Dubois, 2001).

Günışığı performansının doğru şekilde değerlendirilmesi için, yapının konumuna ilişkin dış aydınlık düzeylerinin belirlenmesi ve iç mekân genelinde yıl boyunca oluşabilecek günışığı etkisinin yönü ile miktarının hesaplanması gerekmektedir. Bu analizler doğrultusunda, gölgeleme elemanları; sabit ya da hareketli oluşlarına, biçimlerine ve eğim açılarına bağlı olarak günışığını etkin biçimde kontrol edebilmektedir. Literatürde, gölgeleme sistemlerinin

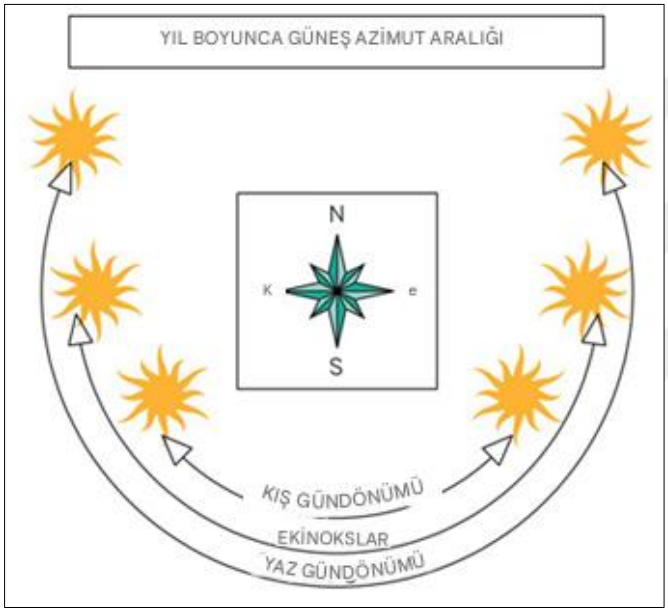
tasarımı ve kontrolünün, doğal aydınlatma ile soğutma enerjisi ihtiyacı üzerinde belirleyici etkiler yarattığı vurgulanmaktadır (Tzempelikos ve Athienitis, 2007). Görsel ve termal konfor, bina enerji kullanımı ve iç mekan konforu için çok önemli olduğu ve ön tasarım sürecinde bu hesaplamaların yapılması gerektiği anlaşılmıştır. Gölgeleme elemanı tasarımı yaparken, beklenen performansın ilk adımda karar verilmesi gerektiği, diğer adımlarda verilecek kararların performans hedefine göre değişiklik gösterebileceği anlaşılmıştır.

2.2. Gölgeleme Elemanı Tasarım Yöntemleri

Dünyanın eksen eğikliği, kendi eksen etrafında dönüşü ve güneş etrafındaki yıllık yörünge hareketi, herhangi bir mekâna düşen güneş ışınlarının geliş açısını ve yönünü belirlemektedir. Bu astronomik etkenler, gün içinde ve yıl boyunca güneş ışığının yapılara düşme biçimini sürekli olarak değiştirmektedir. Mimarlık ve şehir planlamada bu değişkenlik göz önüne alınmalı; enerji verimliliği, görsel konfor ve iç mekân günışığı performansı için hem günışığı analizleri hem de gölgeleme elemanlarının tasarımı büyük önem taşımaktadır (Knowles, 2003). Alkadri (2021) çalışmalarında, güneş geometrisinin yapı kütlesine etkisini analiz ederek gölgeleme elemanlarının tasarımla entegrasyonunu anlatmakta; Mahdavinejad (2024) ise cephe geometrisinin aydınlatma ve görsel-konfor performansı üzerinde belirleyici etkisini detaylı biçimde incelemektedir (Alkadri, 2021; Mahdavinejad, 2024). Bu tür çalışmalar gölgeleme elemanı tasarımlarında güneşin konumunun ve yapıya gelen güneşlenme alanı geometrisinin, gölgeleme elemanı tasarımında ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Güneş ışınlarının düşme açısı, konumun enlemine, saatine, yılına ve cephe yönelimine bağlı olarak değişir. Bir yer için gün boyunca veya yıl boyunca güneş ışığının geliş açısını bulmak için sayısal ve analitik yöntemler geliştirilmiş, gökyüzü modelleri oluşturulmuş ve simülasyon teknikleri kullanılmıştır (Munner, 2007; Yıldırım ve Küçükdoğu, 2024).

Hem geleneksel grafik yöntemler hem de günümüzde yaygın olarak kullanılan bilgisayar tabanlı simülasyon yazılımları (örneğin Ladybug, ClimateStudio ve Ecotect .) bu hesaplama süreçlerinde, güneş ve iklim verileri açısından oldukça önemlidir. Bu yöntemlerin etkin bir şekilde kullanılabilmesi için öncelikle güneşin konumunun anlaşılması gerekir. Özellikle, güneşin gökyüzündeki yerini belirleyen güneş yüksekliği açısı ve güneş azimut açısı gibi kavramlar tasarımın referans aldığı verileri oluşturmaktadır. Doğal aydınlatma stratejilerinden pasif güneş ısı kazancı ve gölgeleme analizlerine kadar birçok tasarım

parametresinin optimizasyonunda, güneşin gökyüzündeki bu konumsal hareketlerini anlamak tasarımın etkinliğini doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla, herhangi bir coğrafi konum için güneş ışığının geliş yönü ve açısının doğru bir şekilde analiz edilmesi hem enerji etkin tasarım seçimleri hem de konfor odaklı mekân düzenlemeleri için önemli bir adımdır. Bu analizleri etkili bir şekilde yürütmek için öncelikle güneşin geometrik hareketlerini ve temel parametrelerini kavramsal düzeyde anlamak çok önemlidir (Alkadri, 2021). Şekil 2.1'de Kuzey Yarım Küredeki güneş menzili ifadesi, güneş hareketini iki boyutlu olarak ifade eder.

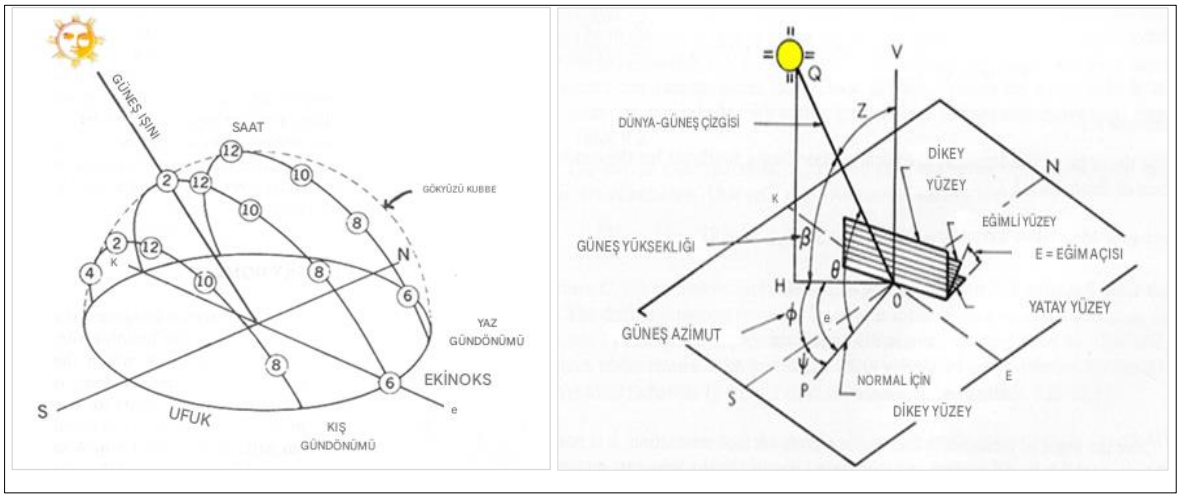


Şekil 2.1. Kuzey yarım küredeki güneş menzili (The Carbon Neutral Design Project, 2020)

Mimarlar için gölgeleme elemanı tasarımında etkili olan iki açı vardır bunlar azimut ve güneş yüksekliği açılarıdır. Bu açılar, güneşin konumunun dünya yüzeyindeki bir konuma göre kutupsal koordinatlarını ifade eder ve yılın, günün belirli bir zamanında güneş enerjisinin mevcudiyeti ve gölgeleme stratejileri hakkında genel fikirler sağlamaktadır. Şekil 2.2'de gündönümleri ve ekinoks için güneş açılarını gösteren gökyüzü kubbesi çizimleri yer almaktadır. Güneş azimut açısı; güneşin güney yönüne göre yatay düzlemdeki açısı olarak, güneş yükseklik açısı ise güneşin ufkun üzerindeki dikey açısı olarak tanımlanır (Muneer, 2007). Güneş öğle vakti, güneyde azimut açısı 0 olarak tanımlanır. Sabah açıları negatif olarak ölçülür. Gün doğumunda ve gün batımında güneş yükseklik açısı 0'dır. Güneş öğle vakti, en yüksek noktasına (en büyük yüksekliğine) ulaşır. Tropikler içindeki yerler için (sırasıyla 23,45 derece Kuzey Enlemi ve 23,45 derece Güney Enleminde Yengeç Dönencesi

ile Oğlak Dönencesi arasında) güneş bazen 90 derecelik bir yükseklik açısına ulaşır. O sırada hava kütlesi 1,0'dır. Yükseklik açısı, dünyanın enlem ve eğiminin yanı sıra günün saatinin bir fonksiyonudur (Szkolay, 2007). Güneş öğle vakti için güneş yükseklik açısını enlem ve eğime göre aşağıdaki gibi genelleştirebilir;

- Yaz Gündönümü (21 Haziran civarı) öğle vakti: Rakım = (90 º - enlem) + 23,45 º
- Kış Gündönümü (21 Aralık civarı) öğle vakti: Rakım = (90 º - enlem)- 23,45 º
- İlkbahar/Sonbahar Ekinoksu (21 Mart ve 21 Eylül civarı) öğle vakti: Rakım = (90 º - enlem) (The Carbon Neutral Design Project, 2020).



Şekil 2.2. Gündönümleri ve ekinoks için güneş açılarını gösteren gökyüzü kubbesi ve güneş konumunu gösteren açılar (The Carbon Neutral Design Project, 2020)

Bu bilgi, belirli bir yüzey yönelimi için güneş ışığının geliş açısını belirlemek için gereklidir. Pencere pervazları, saçaklar, çıkıntılar ve hatta bitişik yapılar gibi çeşitli projeksiyonlarla yönlendirilen yüzeylere düşen gölgeleri hesaplama veya grafiksel yollarla belirlemek mümkündür. Gölgeleme elemanları, yazın güneşin cam yüzeylere çarpmasını önlemek ve güneş radyasyonu yoluyla ısı kazanımını önlemek için kullanılabilir. Gölgeleme elemanları doğru bir şekilde tasarlanırsa, kışın güneş açısındaki değişiklikle (gökyüzünde daha alçaktadır) güneş ışınlarının pencerelerden girmesine izin verilebilir ve yılın en çok istenen zamanında güneş ısısı kazanımı sağlanabilir, sıcak iklimlerde ise güneşin fazla ısıtmasından dolayı, istenmediği durumlarda iç mekana giremeyecek şekilde konumlandırılabilir (The Carbon Neutral Design Project, 2020).

Gölgeleme elemanı tasarımı için; çizgisel, deneysel ve sayısal olmak üzere 3 farklı yöntem vardır. Gölgeleme elemanı tasarımının çizgisel yöntemleri kullanılarak daha kolay anlaşılması mümkündür. Gölgeleme elemanının ısıl ve görsel konfor koşullarına ve bina enerji performansına etkisi ile ilgili araştırmalarda deneysel ve sayısal yöntemler kullanılır. Ölçekli ve bire bir modeller, deneysel yöntemlerin iki kategorisidir. Bu başlık, farklı simülatörler kullanılarak veya prototip modeller üzerine yerleştirilen sensörler ve alıcılar kullanılarak ölçekli modellerin denenmesini içerir. Analitik matematiksel modeller ve sayısal simülasyonlar, sayısal yöntemlerin iki kategorisini oluşturur (Türkmenoğlu Bayraktar, 2008; Şahinoğlu, 2012).

Gölgeleme elemanı tasarımında öncelikle gölgenin istenilen döneminin belirlenmesi gerekir. Ardından güneş yolu ve ilgili güneş maskesi yapılır ve ardından bu öğelerin tasarım şeması ile uyumlu hale getirilmesi gerekir. Çizgisel yöntemlerin temeli, Aladar ve Victor Olgyay tarafından geliştirilen Olgyay yöntemi ve Edward Mazria tarafından geliştirilen Mazria yöntemidir. Olgyay yöntemi, gölgeleme cihazları için güneş yolu diyagramları ve gölge maskesi oluşturmayı sistematik hale getirirken, Mazria yöntemi çakıştırma temelli bir şema kullanarak belirlenen zaman dilimlerinde kullanım amaçlı gölgelendirme tasarımını oluşturur (Olgyay , Olgyay, 1957; Mazria, 1979). Bu iki yöntemin işleyişi, aynı olsa da altlık olarak kullandıkları güneş yolu diyagramının değişmesi nedeniyle yöntemler farklılaşmıştır. Olgyay yaklaşımı yatay güneş yolu diyagramına sahipken, Mazria yaklaşımı düşey güneş yolu diyagramına sahiptir (Mazria, 1979; Timoçin, 2001). Bu tasarım yöntemi sırasıyla özetlemek gerekirse;

- Olgyay ve Mazria yöntemleri, gölgeleme elemanı tasarımında kullanılan grafiksel tekniklerdir. İlk adım, gölge istenen dönemin belirlenmesidir. Biyoklimatik konfor grafiği bu dönemi tanımlar. Son adım, bir gölge hattı diyagramı oluşturmaktır. Bu, gölgelemenin gerekli olduğu saat ve tarihleri belirlemek için kullanılır.
- İkinci adımda, güneş yolu diyagramları kullanılarak o dönemde güneş konumlarının analizi yapılır. Üçüncü adım olan gölgeleme maskesi oluşturulması, Olgyay ve Mazria yöntemlerinden farklıdır. Olgyay yöntemi dairesel altlık kullanır, ancak Mazria yöntemi gridal altlık kullanır.
- Olgyay, yatay ve düşey bölümler için farklı güneş yüksekliği ve azimut açılarını kullanır, ancak Mazria, pencere boyutlarını ve gölgeleme açısını dikkate alarak grafiksel eğriler kullanır (Setiadarma, 1995; Szokolay, 2007).

- Son aşama olan çakıştırma adımında, güneş yolu diyagramı kullanılarak oluşturulan gölgeleme maskesi üst üste getirilerek tasarımın performansı değerlendirilir. Gölgeleme maskesi istenen süreyi yeterince kapsıyorsa tasarım uygun kabul edilir; aksi takdirde, tasarım değiştirilmelidir (Timoçin, 2001; Skolay, 2007)

Mazria ve Olgyay yöntemleri, birçok gölgeleme elemanı tasarım yönteminin ilk aşamasını oluşturmaktadır. Günümüzdeki bilgisayar simülasyonları ile benzer veriler kullanarak, otomatik olarak belirlenmektedir. Bu nedenle bilgisayar simülasyonları günümüzde gölgeleme elemanı tasarımı yapmak için pratik bir tasarım yöntemi olarak kullanılmaktadır.

2.3. İç Mekânda Günışığı Performansının Değerlendirilmesine Yönelik Yöntemler ve Ölçüm Metotları

İç mekân tasarımlarında, günışığı etkinleştirmek ve kullanıcı konforu seviyesine getirmek en önemli sorunlardan biri olmuştur. Günümüzde, mekânların doğal ışıkla aydınlatılması hem sağlık hem de kullanılan enerji açısından çok önemlidir. Bu nedenle, bir mekânda yeterli miktarda gün ışığı elde etmek ve görsel rahatlığı sağlamak için gün ışığının analizi ve özelliklerinin belirlenmesi önemlidir (Boubekri, 2014; Gherri, 2015). Bu nedenle, iç mekânlarda günışığı performansının değerlendirilmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir. İç mekânda günışığı performansının değerlendirilmesi için kullanılan yöntemler, tasarımcılara bilgi ve yönlendirme sağlamak ve günışığı tasarımının çeşitli parametrelerini karşılaştırmak istedikleri zaman kullanmaları için bir ölçme yöntemi sağlamak için tasarlanmıştır. Yıllık, aylık ve günlük zaman dilimleri için yapılan bu analizler, değerlendirme amacına göre bir mekânda günışığı performansının en üst düzeyde sağlanması adına gereklidir. Binalarda günışığı performansı, öncelikle dış ortam aydınlık düzeyinin doğru bir şekilde hesaplanması durumuna bağlıdır (Baker ve Steemers, 2014; Baydoğan ve Özkantar, 2023). Bu bağlamda, dış ortam aydınlık düzeyinin hesaplanmasına yönelik çok sayıda yöntem geliştirilmiştir ve hala geliştirilmektedir.

Gün ışığı değerlendirme yöntemleri, dış ortam aydınlık düzeyinin belirlendiği bir ortama göre günışığı performansını ölçmek için temel olarak ikiye ayrılır. Bu değerlendirme yöntemleri, ele aldıkları değişkenlere göre sınıflandırılmaktadır. Çizelge 2.2'de günışığı değerlendirme yöntemlerini, statik ve iklime dayalı/dinamik olmak üzere iki grupta göstermektedir (Mardaljevic, Bazazzadeh, Mehrvarz, Berardi, Nasr, Pourbagher, ve

Hoseinzadeh 2009; SBI, 2008; Reinhardt, Mardaljevic ve Rogers 2006; Nabil ve Mardaljevich, 2005). Statik Gün Işığı, bir mekânda var olan günışığı miktarını etkileyen iklim, konum veya yönelim gibi herhangi bir değişkeni dikkate almadan, günışığı tek bir durum veya koşul altında hesaplanır. Bu yöntemler, günışığı faktörü, ortalama günışığı faktörü ve ortalama aydınlık düzeyi miktarını değerlendirmek için en çok kullanılan yöntemlerdir (Sun, Wu ve Wilson 2018). Dinamik gün ışığı değerlendirme yöntemleri ise, iklime dayalı olarak statik günışığı değerlendirme yöntemlerine alternatif olarak geliştirilmiştir. Dinamik günışığı değerlendirme yöntemleri, statik yöntemlerin aksine, güneş ışınımını, meteorolojik olayları, mevsimsel ve günlük özelliklerini ve miktarını dikkate aldıkları için, genellikle belirli bir zaman dilimine bağlı olarak mekânda var olan mevcut aydınlık düzeyi değerlerine dayanarak daha doğru veriler sağlarlar. Dinamik günışığı değerlendirme yöntemlerinin veya iklime dayalı günışığı değerlendirme yöntemlerinin, mekânın günışığı performansını belirlemede dört temel faktörden etkilendiği bilinmektedir. Bunlar, yer ve iklim, zaman dilimi, mekânsal değişkenler ve hedef aydınlatma düzeyi faktörlerinden oluşmaktadır (Sun, Wu ve Wilson 2018).

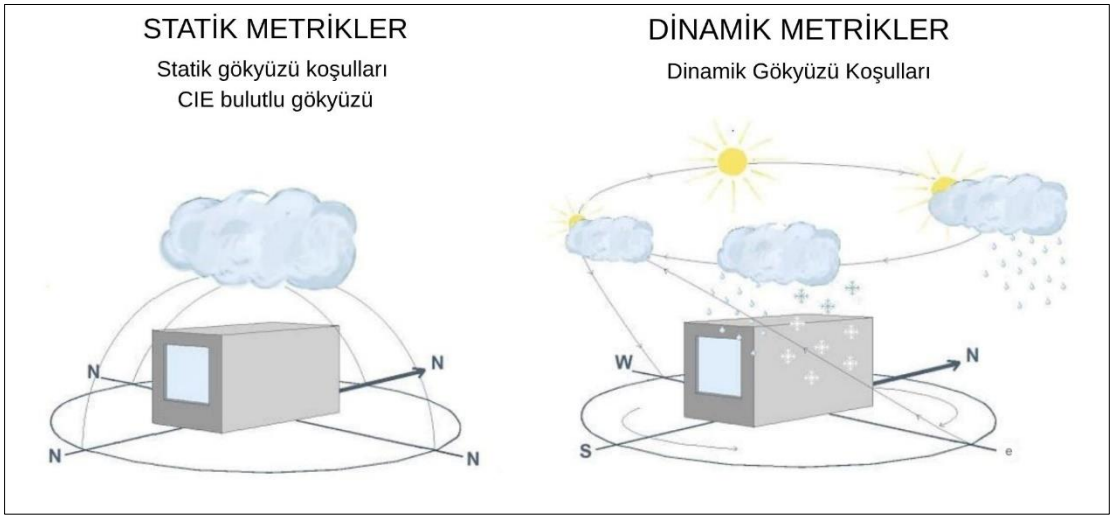
Çizelge 2.2. Gün ışığı değerlendirme metrikleri sınıflandırması (Mardaljevic, Heschong ve Lee 2009)

<table>
<tr><th>Statik Gün Işığı</th><th>Dinamik Gün Işığı</th></tr>
<tr><td>DF- Gün Işığı Faktörü
Daylight Factor
ADF-Ortalama Gün Işığı Faktörü
Average Daylight Factor</td><td rowspan="2">DA- Günışığı Otonomisi
(Daylight Autonomy)
DAcon- Sürekli Günışığı Otonomisi
(Continuous Daylight Autonomy)
DAmax –Maksimum Günışığı Otonomisi
(Maximum Daylight Autonomy)</td></tr>
<tr><td>Em –Ortalama Aydınlık Düzeyi Miktarı
Average Illumination Level</td></tr>
<tr><td>VH- Aydınlık Düzeyi Oranı
The Vertical to Horizontal Illuminance Ratio</td><td>sDA- Mekânsal Günışığı Otonomisi
Spatial Daylight Autonomy</td></tr>
<tr><td></td><td>ASE- Yıllık Güneş Işığı Maruziyeti
Annual Sunlight Exposure</td></tr>
</table>

Gün ışığı faktörü (DF)

Bir binanın içindeki bir noktadaki iç aydınlatmanın, engelsiz bir CIE bulutlu gökyüzündeki dış yatay aydınlatmaya oranıdır (Moon, 1942). DF, bina gün ışığı değerlendirmesinde tercih edilmektedir çünkü binalarda belirli bir konumdaki gün ışığı mevcudiyetini hesaplamanın basit bir yoludur. Gün ışığı değerlendirmesi için en kötü durum senaryosunu, yani "kapalı gökyüzünü" dikkate alır ve gün ışığı özerkliği tahminleri sağlamak için belirli bir alan için temsili aydınlatma değerleriyle eşleştirilebilir. Çeşitli tasarım rehberliği ve standartları kaynakları, farklı bina tipleri için DF değerleri önermektedir. Ancak, DF statik bir ölçüm olduğundan bir binanın sahasını, ilişkili iklimi veya günün saatini hesaba katmaz. Benzer şekilde, DF kavramının altında yatan varsayımlar, değişken gökyüzü koşullarının ve özellikle gün ışığı performansı üzerinde önemli etkisi olan doğrudan güneş radyasyonunun dikkate alınmadığı anlamına gelmektedir (Reinhart, 2019).

Bu tez kapsamında, doğru bir gölgeleme elemanı tasarımı için, bulunduğu konum, hava şartları, kullanıcı konforu gibi etkenler zaman içinde değişkenlik gösterebileceğinden, dinamik günışığı değerlendirme yöntemleri üzerinde durulmuştur. Şekil 2.3.'te statik ve dinamik günışığı değerlendirme metrikleri arasındaki fark gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Statik ve dinamik günışığı değerlendirme metrikleri (Stoffer, 2015)

Gün ışığı otonomisi (Da)

Günümüzde dinamik gün ışığı ölçümleri olarak bilinen yıllık gün ışığı metrikleri serisinin ilki olarak bilinir. Bu yöntem, çalışma düzleminde minimum aydınlık seviyesine göre yıllık gün ışığı yüzdesini temsil eder (Rahimzadeh, 2015). Bu seviyeyi göstermek için coğrafi spesifik hava durumu verilerini kullanır. Reinhart, tarafından güneşi alan mekanlarda yıllık olarak kullanılan güneş ışığı miktarını değerlendirmek için geliştirilmiştir (Reinhart, Mardaljevic ve Rogers 2006). Gün ışığı otonomisi kullanıcının eylemini gerçekleştirmek için yeterli gün ışığı olup olmadığını gösterir ve hesaplama için çalışma düzlemini ele almaktadır. Bu nedenle güneş ışığı otonomisi bir mekanda var olan belirli bir düzlem için değerlendirme yaparak, 1 yıl boyunca mekanda toplam kullanımı saatlerini oranı olan güneş ışığı tarafından sağlanan minimum aydınlatma seviyesini ifade etmektedir (Şener, 2014). Normalde yıllık olarak alınan gün ışığı otonomisi değerleri aylık günlük veya mevsimsel olarak alınabilir. Elde edilen güneşe otomobilinin yüzdesi aynı zamanda aydınlatma için yıllık enerji gereksinimi de göstermektedir (Kılıç, 2018).

Sürekli ve maksimum günışığı otonomisi (DAcon veya cDA)

Sürekli günışığı otonomisi yöntemi, günışığı seviyesi için kısmi bir puanlama vermesine rağmen, günışığı otonomisi ile benzer bir prensibe dayanmaktadır. Bu yaklaşımda, yalnızca doğal aydınlatma ile elde edilen hacimde istenen aydınlık düzeyinin sağlanma sürekliliği ve doğal aydınlatma miktarının istenen aydınlık düzeyine olan yakınlığı dikkate alınmaktadır. Bu yöntem, düşük günışığı aydınlık seviyelerinin toplam günışığı performansına katkısının önemini vurgular. Gün ışığı aydınlatmasının bir aydınlatma eşiğinin (x lux) altında olduğu gün ışığı periyodundaki zaman adımlarını tanımlar. Bu zaman adımları, gün ışığı tarafından sağlanan aydınlatma veya gerekli aydınlatma alanına kısmi krediler verir. Bu, gün ışığı özerkliği metriğinin daha ileri bir modifikasyonudur (Reinhart, 2006). Maksimum Gün Işığı Özerkliği (maxDA), DA'ya dayanan genişletilmiş bir metriktir ve aşırı aydınlatmayı ölçmek için kullanılır. Maksimum DA, gerekli aydınlatmanın on katı olan bir eşiği tanımlar. Bununla birlikte, görsel konfor çalışmalarında temellendirilmekten çok sezgi üzerine kuruludur (Lee ve Liang 2019).

Mekânsal gün ışığı özerkliği (sDA)

DA'nın yükseltilmiş bir versiyonu olan sDA, mekânı da kullanım süresine dahil ederek kabul edilebilir düzeyde günışığı almayı inceleyen bu yöntemde, ofisler üzerinden yapılan analizler sonucunda hedef aydınlık düzeyi 300 lx olarak belirlenmiştir. Bu değer, mekândaki kullanılan saatlerin (8,00-18,00) %50'si için 300 lüksün üzerinde olan alan yüzdesini ifade eder. Bu yöntem, okullar, kütüphaneler, ofisler, servis alanları ve toplantı mekânları gibi benzer faaliyetlerin gerçekleştirildiği çalışma mekânları için tanımlanmıştır. (IES, 2013). sDA, parlamayı veya doğrudan güneş ışığına maruz kalmayı içermese de alan için tek bir sayı kullanılarak mekân kullanıcıların memnuniyetini doğru bir şekilde tahmin ettiğini göstermiştir (Mardaljevic, 2009). sDA değerleri %0-%100'e kadar değişebilir. Örneğin, %75'lik bir sDA değeri, kullanıcılar tarafından gün ışığının "tercih edildiği" bir alan olduğunu göstermektedir. Bu, mekân sakinlerinin herhangi bir elektrik enerjisi kullanmadan gün ışığı seviyelerini yeterli bulduğu anlamına gelir. Kullanıcılar tarafından gün ışığının "nominal olarak kabul edildiği" bir sDA değeri, %55 ile %74 arasındadır. Sonuç olarak, mimarlar, sınıf veya açık planlı ofis gibi sıklıkla kullanılan alanlarda %75 veya daha yüksek sDA değerlerine ulaşmayı hedeflemelilerdir. İnsanların daha az gün ışığına ihtiyaç duyduğu daha az kullanılan alanlarda ise en az %55 olmalıdır (IES, 2012). Reinhart, Rakha ve Weissman (2014) tarafından yapılan araştırmalara göre, sakinlerin gün ışığına ilişkin öznel değerlendirmelerini çeşitli gün ışığı ölçütleri için simüle edilmiş sonuçlarla karşılaştıran çalışmalara göre, sDA'nın iç mekânlardaki algılanan gün ışığı durumunu tahmin etmek için en güvenilir ölçüt olduğu bulunmuştur (Reinhart, 2014).

Yıllık güneş ışığı maruziyeti (ASE)

Yıllık güneş ışığı maruziyeti (ASE), mekânsal günışığı otonomisi (sDA) ile birlikte kullanılan bir değerlendirme yaklaşımıdır. ASE, bir mekânın yıllık kullanım saatleri boyunca doğrudan güneş ışığına maruz kaldığı süreyi ölçerken, sDA görsel ihtiyaç için yeterli aydınlatmanın ne kadar süreyle sağlandığını değerlendirir. ASE'nın tek başına görsel ve termal konforsuzluk üst sınırlarını içermemesi nedeniyle, bu iki metrik birlikte kullanılarak daha dengeli ve konforu gözeten bir analiz sağlanması önerilmektedir (IES, 2012). IES LM-83'te, ASE, bir yılda 250 saatten fazla doğrudan güneş ışığı alan bir alandaki belirli ilgi düzleminin yüzdesi olarak tanımlanır. Bu yönteme göre, hedef olarak alınan 1000 lx güneş ışığı düzeyinin 250 saatten fazla gerçekleşmesi ve mekânın kullanılabilir taban

alanının %10'dan fazla oluşması durumunda görsel konforun ortaya çıkabileceği belirtilmektedir (Korsavi, Zomorodian ve Tahsildoost 2016; Mardaljevic, 2011). Leed v4'e göre, %10'dan daha düşük bir ASE değerine sahip bir alan tasarlanması önerilir (USGB, 2014).

Faydalı günışığı aydınlığı (UDI)

DA metrikleri, gündüz saatlerinde yeterli aydınlatmanın yalnızca gün ışığıyla sağlanabileceği yüzdeye dair bir gösterge sağlar. Ancak, bu değer yanıltıcı olabilir çünkü gün ışığının aşırı olduğu durumlarda (örneğin aydınlatma değeri >3000 lx), bina sakinleri görsel ve termal rahatsızlığı kontrol etmek için panjur, gölgelik veya perde kullanma eğilimindedir (Mardaljevic, 2014). Sakinlerin değişen gün ışığı aydınlatmasına tepkilerinin incelenmesine dayanarak, Mardaljevic ve Nabil tarafından 2005 yılında geliştirilen "Faydalı Günışığı Aydınlığı", iç mekânlarda günışığı performansını değerlendirmek için kullanılan bir değerlendirme yöntemidir. Günışığı otonomisinde hedef veya eşik değer olarak kabul edilen belirli bir aydınlatma düzeyi (örneğin, ofis yapılarında okuma eylemi için 500 lx) yerine, kullanıcıların gerçekten ortaya çıkan günışığını faydalı olarak adlandırdıkları aydınlatma düzeylerini bir aralık oluşturacak şekilde eşik değerler olarak kabul edilen bir yaklaşımdır (Nabil ve Mardaljevic, 2005). Bu nedenle, faydalı günışığı aydınlık düzeyi, çalışma düzlemi boyunca var olan ve kullanıcılar tarafından faydalı olarak görülen yıllık günışığı aydınlık miktarının belirlenmesinden oluşur. Gün ışığı seviyesini hesaplamak için üç aydınlatma aralığı vardır: 0- 100 lüx, 100-2 000 lüx ve 2 000 lüx. UDI, sırasıyla $UDI_{az\ aydınlatılmış}$, $UDI_{çok\ aydınlatılmış}$ ve $UDI_{yararlı}$ olmak üzere alt ve üst eşikler ve kabul edilebilir bir aralık içeren iki kuyruklu bir ölçümdür (Chauvel, Collins, Dogniaux ve Longmore 1982). ün ışığı seviyeleri, 100 lüx'ten az (karanlık) veya 2000 lüx'ten fazla (parlak) olmalıdır. (Olbina ve Beliveau, 2009). Ancak literatüre göre araştırmacıların önceliğine göre farklı sınır değerleri önerilmiştir (Suk, 2016). Bu kavram iç mekân aydınlatma konforunu sağlamak adına, CIBSE ve IESNA, gibi standartlarda, bina tasarım kriterleri olarak da kullanılır (Yu ve Su, 2015; IESNA, 2000 ; CISBE, 2003).

Gün Işığı kullanılabilirliği (Dav)

Daylight Availability (DAv) olarak bilinen yeni bir ölçüm, Reinhart ve Wien (2011) tarafından önerilmiştir. DAv, DA ve UDI verilerini birleştirmeyi amaçlamaktadır (ISO, 12567-1). Bu ölçüm, alanını "tamamen gün ışığı alan", "kısmen gün ışığı alan", "gün ışığı almayan" ve "aşırı aydınlık" olarak tanımlamaktadır. "Tam gün ışığı alan" alan sDA $_{300,50\%}$ 'ye göre bildirilir. "Kısmen gün ışığı alan" alan, sabah 8'den akşam 6'ya kadar zaman dilimi için DA en az %50 olduğunda ölçülür. DA $_{150,50\%}$ 'nin önemli bir avantajı, "tamamen gün ışığı alan" ve "gün ışığı almayan" arasında bir geçiş alanı oluşturmasıdır. (ISO, 2014). BS EN 15251'e göre %5 kriteri, termal değerlendirmelere benzer bir yöntem kullanılarak seçilmiştir. "Aşırı aydınlatılmış" alan, ısı kazanımı ve parlama yeteneğine sahiptir (Chi ve diğ., 2018). Değerlendirme açısından, %49-100 arasındaki herhangi bir sayı 'gün ışığı alan' düğümleri temsil eder (Lee ve diğ., 2019).

Gün ışığı parlama faktörü (DGI) ve gün ışığı parlama olasılığı (DGP), literatürde gün ışığı ölçütlerini belirlemede kullanılan diğer performans kriterleridir. Aşırı ve kontrolsüzce dağılan ışıktan kaynaklanan görsel algı kamaşmasıdır. Yapay aydınlatma veya parlak gün ışığında meydana gelir (Yılmaz, 2019). Parlama, görsel alanda doğrudan veya yansıyan bir ışık kaynağından kaynaklanan parlak ışığın varlığına bağlı olarak görme zorluğudur. İç, dış yüzeylerden yansıyan ışık ve doğrudan güneş ışığı kamaşma ile ilişkilidir. Aydınlık bir ortamda parlak ve karanlık alanlar arasında fazla fark olduğunda kamaşmaya neden olabilir (Hafız, 2015).

Gün ışığı parlama indeksi (DGI)

Gün ışığı koşullarında aydınlatmayı değerlendirmek için gün ışığı parlaması indeksi (DGI) kullanılmaktadır. Gün ışığı alan odalarda, güneş ışığı doğrudan odaya girdiğinde ve iç yüzeyleri aydınlattığında veya yüksek aydınlatmalı dış yüzeyler veya gökyüzü içeriden görüntülendiğinde rahatsızlık parlaması meydana gelir (Boubekri, Boyer, 1992; Osterhaus ve Bailey, 1992). DGI uzun süredir araştırılmıştır ve Hopkinson tarafından sürekli olarak ifade edilen orijinal rahatsızlık parlaması biçimi olan "Cornell" formülü, en yaygın biçimdir ve EnergyPlus tarafından kullanılır. Bununla birlikte, bu indeks, düzensiz pencere aydınlatmasında ve gerçek gökyüzü koşullarında parlamayı olduğundan daha fazla gösterme

eğilimindedir. Bu nedenle literatürde, uygunluğu ve doğruluğu tartışma konusudur (Alrubaih, 2013). Çizelge 2.3 'te belirli DGI değerleri ve açıklamaları verilmiştir.

Çizelge 2.3. DGI Metriği belirli değerleri (Chauvel ve diğ., 1982)

Alan	Bölge	DGI
Rahatsızlık bölgesi	Tahammül edilemez	>28
	Sadece tahammül edilemez	28
	Rahatsız	26
	Sadece rahatsız edici	24
Konfor alanı	Kabul edilebilir	22
	Tam kabul edilebilir	20
	Dikkat çekici	18
	Sadece algılanabilir	16

Günışığı parlama olasılığı (DGP)

Rahatsızlık veren parlama seviyesinden rahatsız olan insanların yüzdesi olarak tanımlanır. Bu yöntem parlama tahmini için nispeten yeni bir yaklaşımdır ve bir kişinin bir kamaşmadan etkilenme olasılığını tahmin etmek için kullanıcı tarafından yapılan öznel bir ölçümden türetilmiştir (Wienold ve Christoffersen, 2006). Diğer mevcut parlama çalışmalarıyla karşılaştırıldığında parlama duyarlılığına ilişkin kullanıcı tepkisine güçlü bir bağlantı sağlamak için görüşün genel parlaklığını, parlama kaynaklarının konumunu ve görsel kontrastı dikkate alır (Hafız, 2015). Bu yöntem 2006 yılında Wienold ve Christoffersen (2006) tarafından önerilmiş olup parlaklık kontrast bileşenine ek olarak gözlemcinin gözündeki düşey aydınlatmayı da içerir (Wienold ve Christoffersen, 2006) Diğer parlama endeksleriyle karşılaştırıldığında, bu yöntem düşey aydınlatma bileşeninin dahil edilmesi nedeniyle rahatsızlık veren parlamanın öznel algısıyla daha yüksek bir korelasyona sahiptir (Kurnia ve diğ., 2017). Wienold ve Christoffersen, (2006) DGP için şu kamaşma konforu kriterlerini önermiştir:

- DGP < 0,35 'algılanamayan' kamaşmayı,
- 0,35 < DGP < 0,40 'algılanabilen' kamaşmayı,
- 0,40 < DGP < 0,45 'rahatsız edici' kamaşmayı
- DGP > 0,45 'tahammül edilemez' kamaşmayı temsil eder (Jakubiec & Reinhart, 2010)

DGP' lerde (basitleştirilmiş rahatsızlık parlaması olasılığı) parlama kaynaklarının etkisi göz ardı edilir. Bu nedenle, doğrudan güneş ışığı veya aynasal yansıma olduğunda bu yöntem uygulanmamalıdır (Wienold, 2007).

Bir gölgeleme elemanı tasarımı için performans hedefi doğrultusunda hangi metriği, hangi metotla ölçülmesi gerektiği bu bölüme kadar anlatılmaktadır. Bu ölçüm metotları ülkelerin standartlarına ve bina fonksiyonuna göre değişmektedir. Bunlar; Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisliği Derneği (IESNA), Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE), Birleşik Krallık CIBSE, Araştırma İnşaatı Enstitüsü (Ulusal Araştırma Konseyi, Kanada), Brezilya Standardı NBR 5413, International Standard ISO 9050, TS EN ISO 7730 gibi standartlar; konut, ofis, müze gibi farklı fonksiyondan birçok mekânın iç mekân aydınlatma kodları, iç mekân termal koşullar için gerekli değerler verilmiştir. Ayrıca bu standartlar dışında, Yapılı Çevre Verimliliği için Kapsamlı Değerlendirme Sistemi (CASBEE, Japonya), LEED, BREAM gibi yeşil bina sertifika sistemlerinde de iç mekân gün ışığı konfor düzeyleri verilmiş ve mimarlardan bu kodlara uygun tasarım kriterleri belirlenmiştir (Alrubaih ve diğ., 2013). Örneğin, birçok çalışmada optimizasyon referansı olarak kullanılan LEEDv.4 için bazı metriklerin kabul edilebilir değerleri Şekil 2.4'te verilmiştir (Özdemir ve Çakmak, 2022).

	Dinamik Gün Işığı Değerlendirme Metotları		Leedv4 Standarları için Kabuledilebilir Değerler
Performance criteria	Gün Işığı Otonomisi (DA)	[300-3000 lux]	[300 lux]
	Faydalı Günışığı Aydınlığı (UDI)	[0-2000 lux]	[100-1000 lux]
	Mekansal Günışığı Özerkliği (sDA)	[0-%100]	[%60-%100]
	Yıllık Gün Işığı Maruziyeti (ASE)	[0-%100]	[0-%10]

Şekil 2.4. Leedv.4 için kabul edilen bazı metrikler (Özdemir ve Çakmak, 2022)

Ayrıca, gün ışığı değerlendirme metriklerinin yanında, çoğu çalışma enerji kullanımını ölçmek ve iç mekân termal koşullarını ölçebilmek adına kullanıcılardan geri dönüt alan metrikler kullanılmıştır. Bunlar bu tez kapsamında incelenen çalışmalarda, EUI, PMV, PPD, TCV gibi değerlerden oluşmaktadır.

Enerji kullanım yoğunluğu (EUI)

Dolaylı yoldan, gün ışığıyla ilişkili olan bir ölçümdür. Binaların enerji performansını değerlendirmek için kullanılır, metrekare veya ayak başına yıllık enerjiyi temsil eder ve

binanın toplam yıllık enerji tüketiminin toplam brüt kat alanına bölünmesiyle hesaplanmaktadır (Hinge, 2004). Enerji kullanım yoğunluğuna bakarak, gölgeleme elemanı tasarımından önce ve sonra aydınlatma enerjisinin farkı belirlenerek ölçme metodu oluşturulabilir (Ratajczak ve diğ., 2023).

Termal konfor, geniş bir insan grubu tarafından termal duyumun ve iç mekan çevre koşullarının kabul edilebilirliğinin küresel bir tahminini sağlayabilen Tahmini Ortalama Oy (PMV) ve Tahmini Memnuniyetsizlik Yüzdesi (PPD) endeksleri ile ifade edilir. Bu model, ilk olarak P.O. Fanger tarafından 1970 yılında geliştirilmiş ve daha sonra uluslararası standartlara dönüşmüştür (Fanger, 1970). ISO 7730 standardı ve ANSI/ASHRAE 55-2020 bu endekslerin hesaplanması ve uygulanması için referans alınan temel dokümanlardır (ASHRAE, 2020; ISO, 2005).

PMV (Predicted Mean Vote) (tahmin edilen ortalama oy)

İnsan vücudunun ısı dengesine dayalı yedi noktalı bir termal his skalasına dayanan PMV indeksi, geniş bir insan grubunun oylarının ortalamasını tahmin eden bir indekstir. Tahmin Edilen Ortalama Oy (PMV) indeksi, hava sıcaklığını, radyal ısıyı, nemi, hava akım hızını, giysileri ve aktivite değişkenlerini dikkate alarak hesaplanır ve bireyin çevresindeki termal koşullardan etkilenme düzeyini ölçer. PMV indeksi 3 ile +3 arasında değer alabilirken, uygun termal koşullar olduğunda -0,5 ile +0,5 arasında değer alır (Kadiroğulları, 2018)

PMV	Evaluation	Anlam
+3	Hot	Sıcak
+2	Warm	Ilık
+1	Slightly warm	Hafif ılık
0	Neutral	Nötr
-1	Slightly cool	Hafif serin
-2	Cool	Serin
-3	Cold	Soğuk

Şekil 2.5. PMV kabul değerleri (Kadiroğulları, 2018)

Tahmin edilen yüzde memnuniyetsizlik (PPD)

Bir ortamda bulunan termal açıdan memnuniyetsiz kişilerin sayısal yüzdesi, PPD değeri olarak bilinen bir indekstir. Ortalama memnuniyetsizlik oranı (PMV) ±0,5 olduğunda, ortamdaki memnuniyetsizliğin yüzde 10'unu geçmez (Kadiroğulları, 2018).

2.4. Gölgeleme Elemanı Sınıflandırılması

Literatürde gölgeleme elemanı sınıflandırması birçok referansta farklı konum, koşul, forma göre sınıflandırılmalar yapılmıştır. Yüksel (2009), gölgeleme öğelerini entegre sistemler ve yerel sistemler olarak iki kategoriye ayırmıştır. Yapı kabuğunun bir parçası olan düşey kanatlar, saçaklar, kafes sistemleri, tenteler ve panjurlar yerel gölgeleme elemanları olarak kabul edilir. Jaluziler ve stor perdeler ise cephe içine, dışına veya iki cephe arasına yerleştirilmiştir. Şahinoğlu (2012), gölgeleme unsurlarını daha geniş bir sistemde inceledi. Bu kategorinin altı kategorisi vardır: yatay ve düşey sabit dış gölgeleme elemanları, hareketli dış gölgeleme elemanları (yatay ve düşey), iki cephe arası gölgeleme elemanları, iç gölgeleme elemanları, doğal bileşenler ve gelişmiş gölgeleme sistemleri. Bu yöntem, yapay, doğal ve teknolojik gelişmeleri içeren bir bütünlük sağlamaktadır.

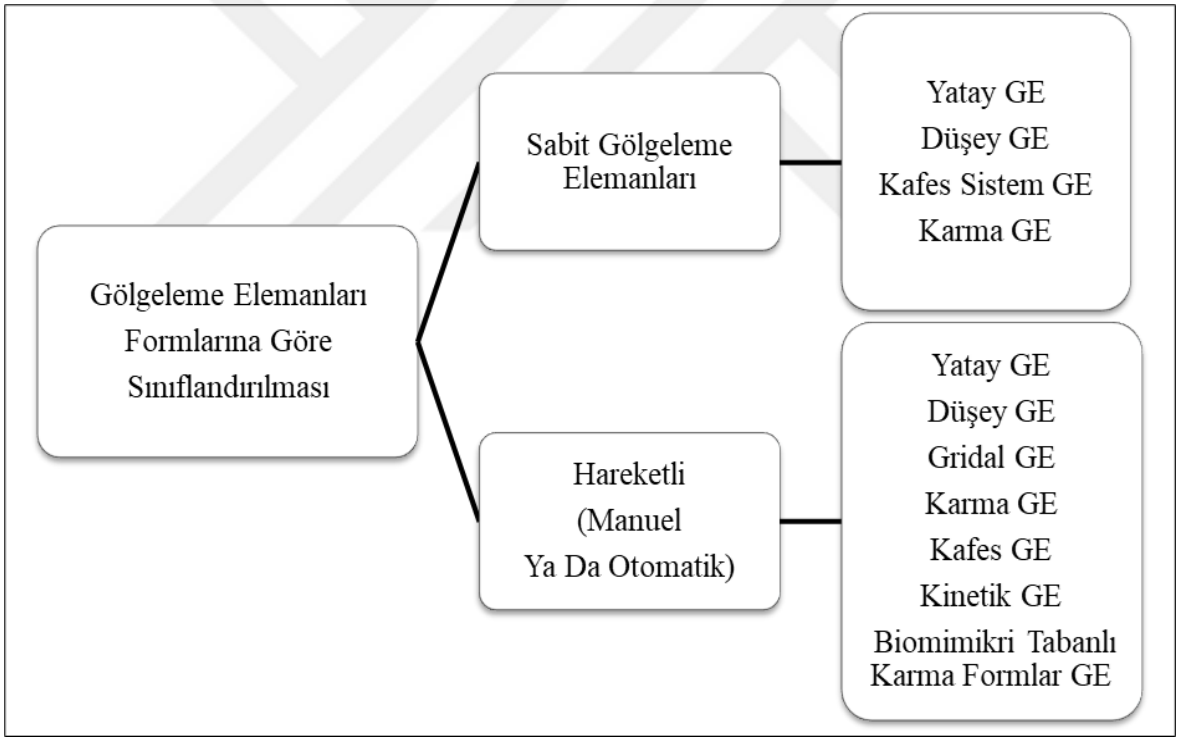
Kırımtat (2016), tarafından yapılan sınıflama, gölgeleme elemanlarını temel olarak hareketli ve sabit olarak iki kategoriye ayırmıştır. Sabit elemanlar saçak, yatay ve düşey panjurlar ve kafes sistemlerdir, ancak hareketli elemanlar stor perdeler, jaluziler, düşey jaluziler ve yaprak döken bitkiler gibi doğal elemanlardır.

Özyer (2017), gölgeleme elemanlarını iki farklı kategoriye ayırmayı önerdi. İlk sınıflandırma, elemanları doğal ve yapay olarak iki ana kategoriye ayırır. Yapay gölgeleme elemanları ise konumlarına göre üç kategoriye ayrılmıştır: bina dışında, bina yüzeyinde ve bina içinde. Sabit (yatay, düşey, karma ve paralel levha) ve hareketli (yatay, düşey, markiz, jaluzi ve kinetik) gölgeleme elemanları ikinci kategoriye girer.

Ceylan (2019), sürdürülebilir yapı kabuğuna birbirinden farklı avantajları olan gölgeleme elemanlarını, yatay, düşey, grid olarak ele almıştır. Koç (2019), gölgeleme unsurlarını yapay ve doğal olarak iki kategoriye ayırmıştır. Doğal elemanlar, ağaçlar ve çevredeki topografya ve mevcut binalar gibi yapı dışı unsurları içerir. Yapay elemanlar, kinetik durumlarına (sabit

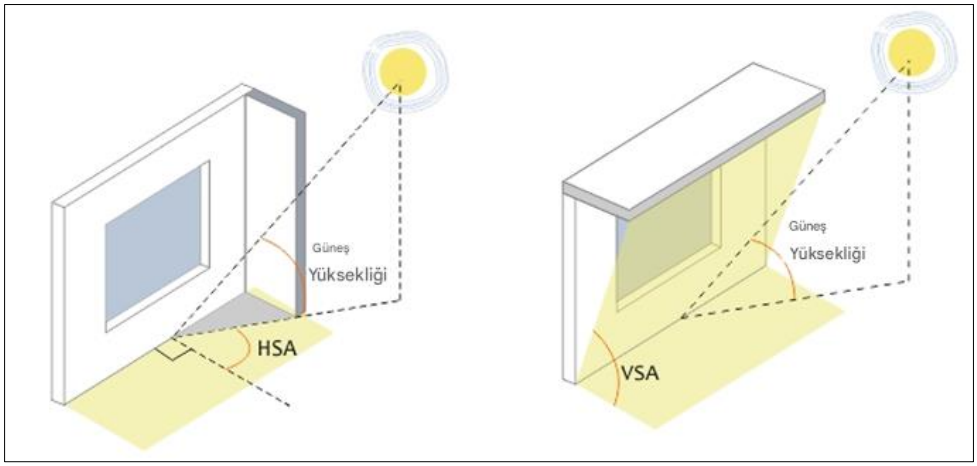
ya da hareketli) ve konumlarına (cephe içi, dışı veya çift kabuk arasında) göre kategorize edilmiştir. Bu bileşenler ayrıca kafes, yatay, düşey veya düzlem veya panel biçiminde tanımlanmıştır.

Erkan (2024), ise farklı kaynaklardan derlenerek, doğal, yapay ve gelişmiş sistemler olarak üç kategoriye ayırmıştır. Çevredeki yapılar, topografya ve bitki örtüsü gibi doğal unsurlardan oluşur. Gelişmiş sistemler, holografik optik elemanları, prizmatik camlar ve ışık rafları gibi teknolojik gelişmeler kullanır. Yapay elemanlar, biçimlerine (yatay, düşey, kafes, panel vb.), konumlarına (cephe içi, dışı, çift kabuk arası) ve kinetik durumlarına (sabit, manuel veya otomatik hareketli) göre alt gruplara ayırmaktadır. Bu çalışma kapsamında, literatürde bulunan sınıflandırmalardan, iç mekana gün ışığını dağıtma etkisi sebebiyle, formlarına göre sınıflandırması uygun görülmektedir.



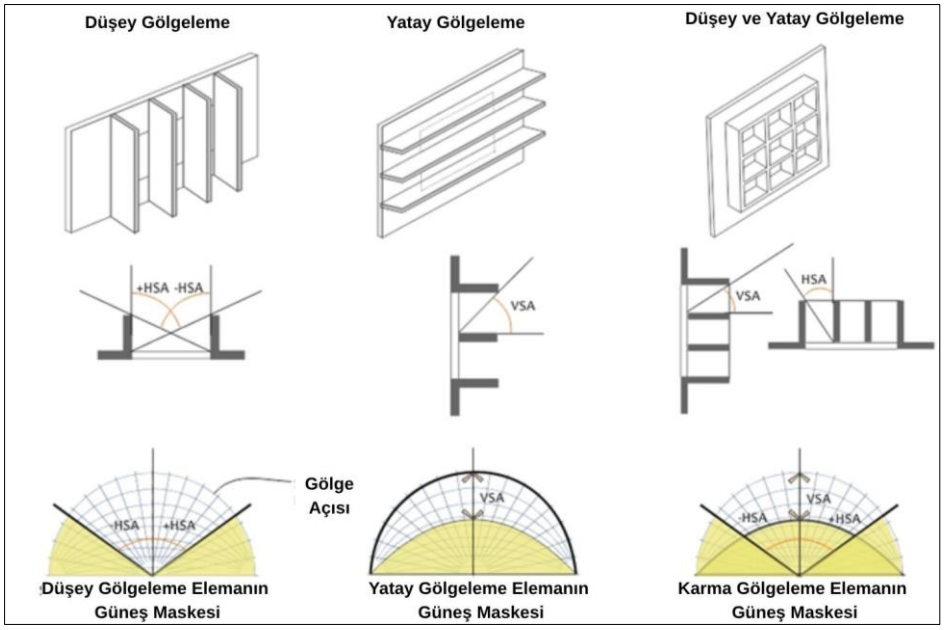
Şekil 2.6. Gölgeleme elemanları formlarına göre sınıflandırılması

*Sabit yatay gölgeleme elemanları;*yaz aylarında daha dik açıyla gelen güneş ışınlarını engelleyerek iç ortamın ısınmasını önler ve soğutma enerjisini düşürür. Kış aylarında, daha eğik açıyla gelen güneş ışınları mekânı ısıtır ve ısıtma enerjisinin azalmasına yardımcı olur. Bu nedenle Güney cephede kullanılması, doğu ve batı cephelere göre daha etkindir (National Energy Efficiency Platform, 2016).



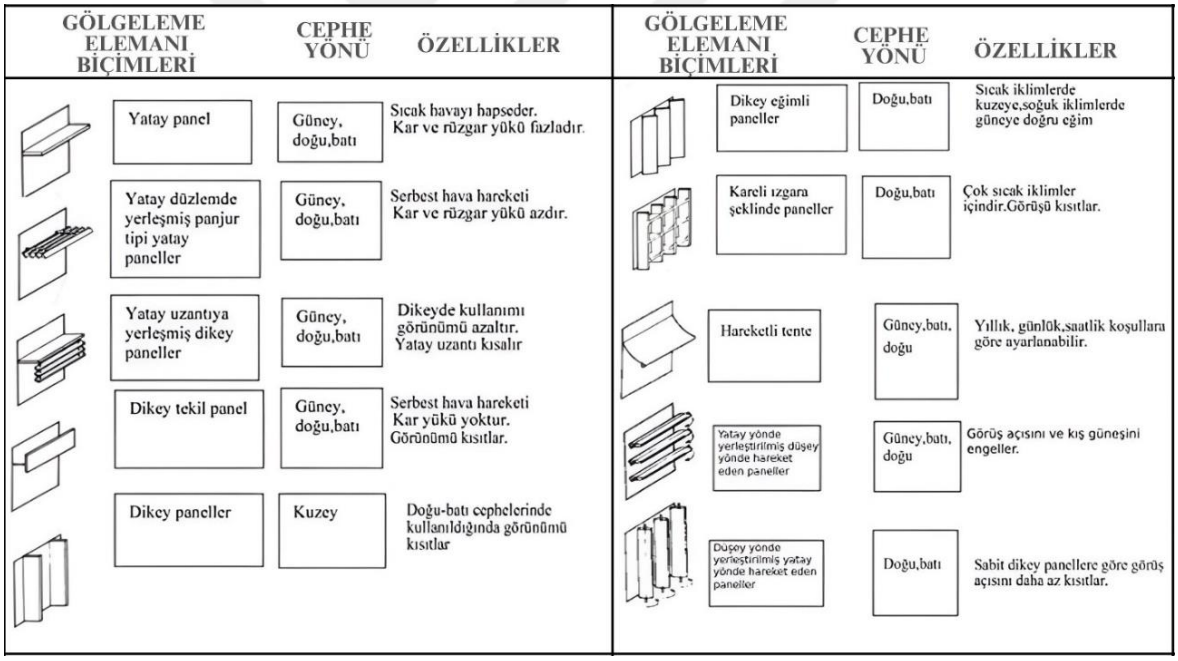
Şekil 2.7. Yatay gölge açısı (HAS) ve düşey gölge açısı (VSA)(National Energy Efficiency Platform, 2016)

*Sabit düşey gölgeleme elemanları;*ise sabah erken saatlerde ve öğleden sonra düşük açı ile gelen güneş ışınlarını engelleyebilir ve gölge oluşturabilir. Gün içindeki diğer zamanlarda güneş ışınlarını engellemede yeterli olmadığı için özellikle doğu ve batı cephelerde etkilidir. Güneş ışınlarını çok fazla engelleyemediği için yaz aylarında soğutma enerjisini azaltamaz. Kış aylarında, güneş ışınları büyük ölçüde yapı içine girdiği için binanın pasif ısı kazancına engel olmaz ve bu da ısıtma enerjisi tüketimini artırmamasıyla, enerji verimi sağlamaktadır (National Energy Efficiency Platform, 2016).



Şekil 2.8. Sabit, yatay, düşey, karma gölgeleme elemanları ve gölgelemenin grafiksel gösterimleri (National Energy Efficiency Platform, 2016)

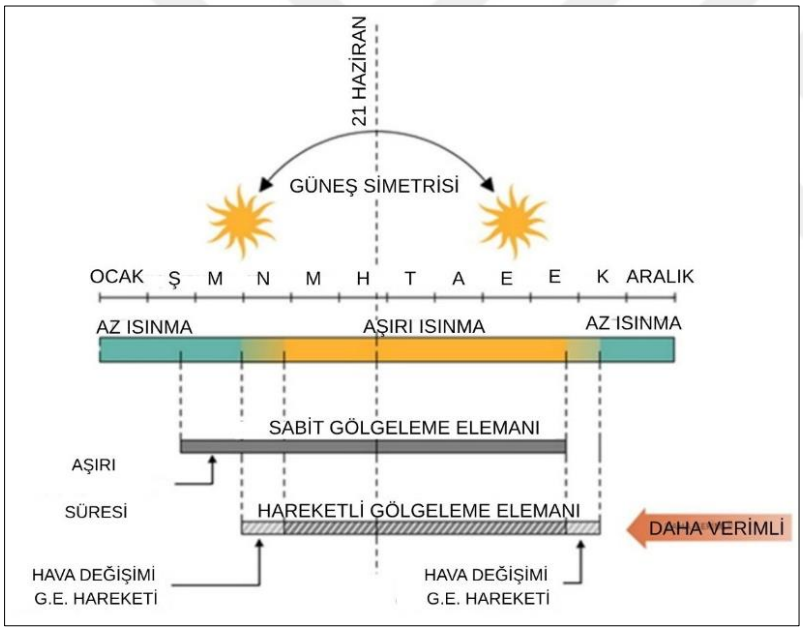
Sabit kafes gölgeleme elemanları ise; yatay ve düşey gölgeleme elemanlarının birlikte kullanılmasıyla oluşturulmuştur. Bu nedenle, yatay ve düşey gölgeleme elemanlarından herhangi birinin yetersiz kaldığı noktayı diğeri tamamlar, böylece güneş ışınlarının yapıya girmesini önemli ölçüde engeller. Güneş ışınlarının yüksek oranda engellenmesi, soğutma döneminde enerji tasarrufu sağlarken, ısıtma döneminde mekânda pasif ıs kazancı azaldığı için ısıtma enerjisi tüketimini artırır. Aydınlatma enerjisi açısından değerlendirildiğinde, yatay ve düşey bölümlere göre daha düşük doğal aydınlatma oranı ve daha fazla aydınlatma enerjisi tüketimi vardır çünkü güneş ışınlarının yapı içine girmesi yüksek oranda engellenmiştir (Timoçin, 2001; Lechner, 2015). Karma sistemler ise; yatay, düşey, kafes sistemlerin dışında ya da beraberinde kullanıldığı, farklı referanslarla form bulmuş, sistemlerdir. Aşağıdaki görsel gölgeleme elemanlarının biçimlerini ve en etkili olduğu cephedeki kullanımıyla özelliklerini vermektedir (Onuk, 2024; Lechner, 2015).



Şekil 2.9. Gölgeleme elemanlarının en verimli olduğu cephe yönü ve özellikleri (Onuk, 2024; Lechner, 2015)

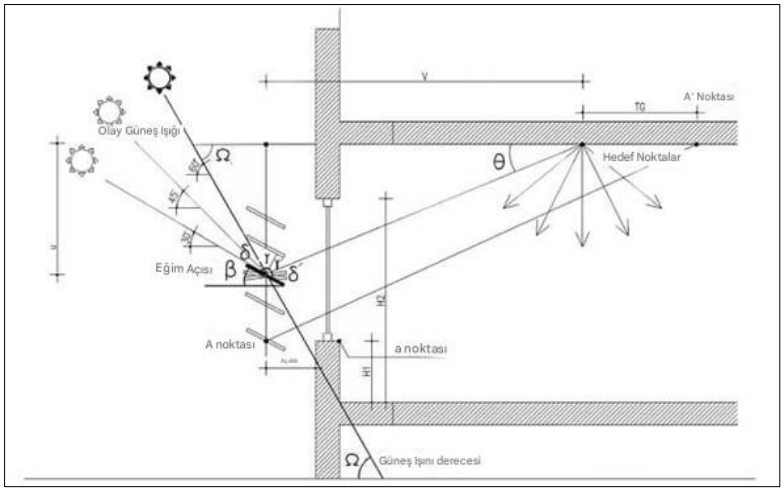
Literatürden elde edilen verilere göre, sabit formdaki gölgeleme elemanları, yıl, ay, gün içinde değişen hava koşulları ve iç mekânda istenilen konfor düzeyine uygun olarak tek bir gölgeleme kapasitesi vardır. Fakat hareketli gölgeleme elemanları, bulunduğu dış hava koşullarına uygun yıl içinde değişkenlik gösterebilen, performansı ön tasarımda ölçülebilen sistemlerdir (Baker ve Steemers, 2002). Mimarlıkta hareketli olarak gölgeleme elemanlarının hareketinin en büyük nedenlerinden biri güneşten etkin yararlanma isteğidir.

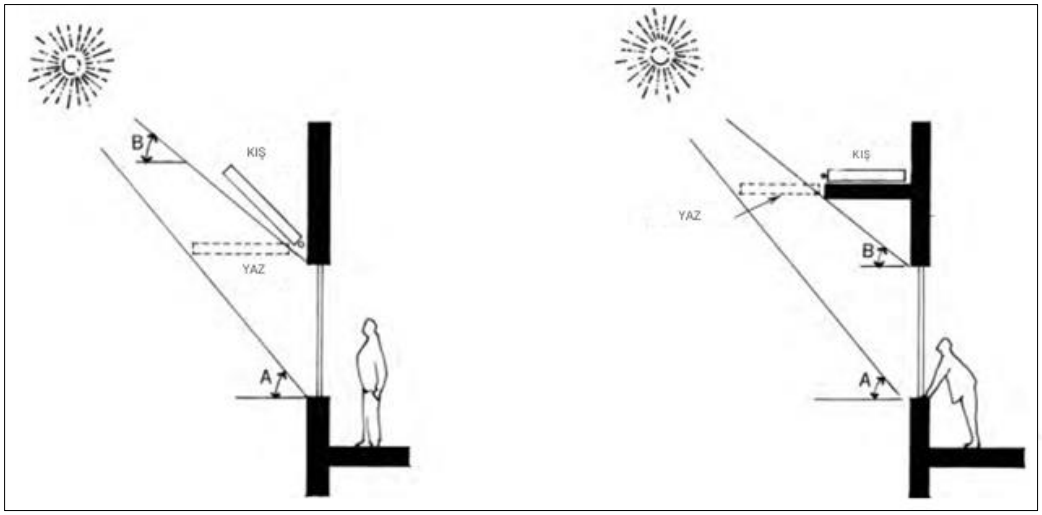
Cephede dıştan hareketli gölgeleme elemanlarının farklı iklim koşullarına, güneş ışınımınınım açısına ve yönüne bağlı olarak, değişen durumlara göre hareket edebilir. Hareketli gölgeleme elemanlarının düşük güneş geliş açılarına bağlı olarak yaygın ışınım ve kamaşma kontrolü bakımından yetersiz kalma problemi, hareketli gölgeleme elemanları ile çözülebilir. Çünkü iklim ve mevsim şartlarına ya da kullanıcı isteğine göre hareketli gölgeleme elemanı; toplanabilir, hareket edebilir, tamamen devre dışı bırakılabilir ya da otomasyon ile ilişkilendirilebilir. Hareketli gölgeleme elemanlarının sistemleri ile mekânın ısıl ve görsel performansı denetlenebilir. Sisteme gelen güneş ışınlarının geliş açısı, mekân aydınlık seviyesi, ısınım değeri gibi değerler otomatik kontrol sistemlerinde veri olarak kontrol edilebilir ve değişikliklere müdahale edilebilir. Bu nedenle, hareketli gölgeleme elemanlarının sistemleri pek çok iklim koşulunda kullanıma uygundur (Cirit, 2012).



Şekil 2.10. Bir yıl içindeki gölgelenme dönemi (The Carbon Neutral Design Project, 2020)

Hareketli gölgeleme elemanları içerisinde kinetik gölgeleme elemanları, günümüzde en çok tercih edilen tasarımlardır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte bilgisayar programlarıyla kolaylıkla tasarlanabilme, istenilen formun rahatça bilgisayar ortamında tasarlanabilmesi bağlamında çokça tercih edilir. Şekil 2.10'da hareketli gölgeleme elemanlarının eğimi, aralıklarının ayarlanması, açılıp kapanma hareketi ile iç mekan gün ışığı performansına etkisi görülmektedir. İç mekan gün ışığı performansı amacıyla, hareketli gölgeleme elemanlarının formu, deseni, malzeme özelliği, cepheden uzaklığı gibi birçok parametreye göre değişkenlik gösterebileceği anlaşılmaktadır.





Şekil 2.11. Gölgeleme elemanı hareketlerinin gün ışığına etkisi (Samadi ve diğ., 2020; Lechner, 2015)

Gölgeleme elemanlarının tasarımlarında etkili olan parametrelerin yıl, ay, gün içerisindeki değişkenliği sebebiyle, elemanlarının tasarımından maksimum fayda sağlanabilmesi için aynı şekilde dış hava koşullarındaki değişimlerin iç mekân konforunun optimum konforunun istenilen düzeye ulaşabilmesine olanak sağlayacak esneklikte tasarlanması beklenmektedir. Bu nedenle kinetik gölgeleme elemanları bahsedilen esneklik bağlamında bu çalışma kapsamında uygun görülmüştür.

3. KİNETİK GÖLGELEME ELMANI TASARIMI

Kinetik gölgeleme elemanları, zaman içinde değişen performans gereksinimlerine ve değişken sınır koşullarına yanıt olarak belirli işlevlerini, özelliklerini veya davranışlarını değiştirme yeteneğine sahip olan tasarımlardır ve bu esneklik, genel bina performansını sürekli olarak iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır (Juaristi, 2020).

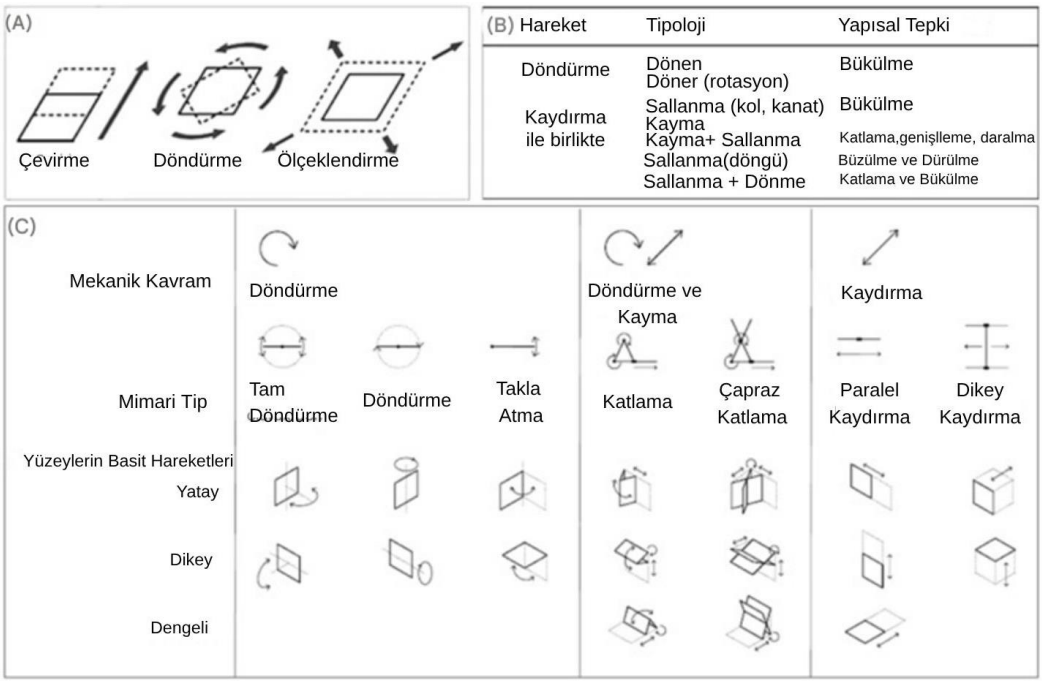
Kinetik gölgeleme elemanları, malzemeler, bileşenler ve sistemler açısından farklı olan yapı elemanlarını içerir. Kinetik gölgeleme elemanları, çevresel faktörleri, özellikle sıcaklık, nem, rüzgâr vb. gibi parametreleri dikkate alarak otomatik ya da manuel, şekil, form, yönlendirme veya aralık ayarlayabilme yeteneğine sahiptir. İç mekân konforunu artırırken enerji tüketimini azaltma potansiyeli barındırırlar. Bu elemanlar, ısıl kazançları düzenleyebilir ve gün ışığı derecelendirmesi yapabilir (Attia ve diğ., 2020). Bu nedenle kinetik gölgeleme elemanları diğer sabit ve hareketli elemanlara göre daha verimli olduğu sonucuna varılmaktadır.

Kinetik gölgeleme elemanına sahip yapılar, dinamik koşullardan yararlanarak enerji akışlarını yönetebilir ve bina sakinlerine fayda sağlayabilir (Liu ve diğ., 2009). Düşük enerji tüketimini ve iyi iç mekân çevre kalitesini birleştirerek yüksek performanslı bir bina tasarımı sağlar. Kinetik gölgeleme elemanı, bina sakinlerinin hem ısıl hem de görsel konforunu istenilen düzeye getirebilir ve aynı zamanda enerji tüketimini ve CO2 emisyonlarını önemli ölçüde azaltır (Aelenei, Aelenei ve Vieira, 2016). Attia ve diğ. (2018), gölgeleme elemanı güçlü yönleri arasında optimum gün ışığı, güneş kontrolü ve ısıtma ve soğutma yüklerinin optimizasyonu yer almaktadır. Kinetik gölgeleme elemanları, binanın genel performansını iyileştirmek için zaman içinde değişen gereksinimlerine ve değişken sınır koşullarına yanıt olarak belirli işlevleri, özellikleri veya davranışları değiştirebilir ve tersine çevirebilir (Loonen ve diğerleri, 2013). Yapı kabuğunun işlevsel gereksinimlerini karşılamak veya iyileştirmek için iç ve dış ortamdaki değişiklikler, ısı, hava ve su buharı akışı, yağmur, güneş radyasyonu, gürültü ve yangın gibi faktörlere yeterli yanıt vermelidir ancak bu özelliğe sahip gölgeleme elemanları, iç mekan konforu için uygun performansı gösterebilir. Başka bir deyişle, kinetik gölgeleme elemanı, performans hedefine uygun bir şekilde tasarlanırsa; kontrol edilebilir yalıtım ve ısıl kütle, radyant ısı değişimi, havalandırma, enerji kazanımı, gün ışığı, güneş kırıcı veya nem kontrolü sağlamaktadır (Aelenei ve diğ., 2016).

3.1. Kinetik Gölgeleme Elemanları Hareket Kabiliyetleri ve Mekanik Bileşenleri

Kinetik gölgeleme elemanlarının açıklık kapalılık oranı, hareket yönü, hareket kabiliyeti tasarımı açısından çok önemlidir. Bu parametreleri hangi referansa göre belirleneceği tamamıyla gölgeleme elemanlarının istenilen tasarım performansına göre belirlenmesi gerekmektedir. Çoğunlukla termal konfor, görsel konfor, enerji kazanımı gibi başlıca amaçlar kinetik gölgeleme elemanı tasarımlarında önemli rol oynar.

Kinetik bir gölgelendirme sisteminin mimari tasarımı, elemanın geometrik şeklini belirlemekle başlar ve çalışanların hareketlerini net bir şekilde algılar. Saha gereksinimlerini yansıtmalı ve güneş açıları veya günlük ve yıllık gelen güneş radyasyonu, gibi farklı iklim verilerine yanıt vermelidir (Frechin ve diğ., 2015; Gioavanni ve diğ., 2015; Kim ve diğ., 2015). Moloney 2011, uzaydaki herhangi bir tek hareket için üç temel hareket biçimini tanımlamıştır: ilki, koordinat eksenlerine paralel doğrusal bir kayma olan öteleme; ikinci, nesnenin uzaydaki yöneliminin koordinat eksenleri etrafında döndürülerek değiştirildiği dönme ve üçüncü, Şekil 3.1 (a) 'da gösterildiği gibi ölçekleme, birim boyutunu artırır veya azaltan hareket biçimidir. Bununla birlikte, Şekil 3.1 (b ve c)'de gösterildiği gibi, koordinat eksenlerinin sayısı gibi geometrik kısıtlamalarla ilgili serbestlik derecesine dayalı olarak her hareket türünden farklı tipolojiler (mimari tipler) geliştirilebilir. Bu hareketlerin her biri için, bir, iki veya üç eksene göre konum veya yöndeki değişim biçimine göre üç serbestlik derecesi vardır (Schumacher ve diğ., 2012). Örneğin, dönüş, döner (kısıtlı dönüş), döner (serbest dönüş) ve salınım (merkezden uzak dönüşlü kanat) olarak kategorize edilebilir (Kim ve diğ., 2015). Ayrıca, Şekil 3.1 (b)'de gösterildiği gibi, öteleme ve dönüş gibi iki temel hareketin kombinasyonu, genişleme, daralma, katlama, büzülme veya yuvarlanma gibi ek tipolojiler üretebilir. Bu kurallara dayanarak çeşitli modeller geliştirilebilir ve daha sonra iklim tabanlı bir çalışmayla analiz edilerek etkili gölgeleme konfigürasyonları belirlenebilmektedir (Moloney, 2009).

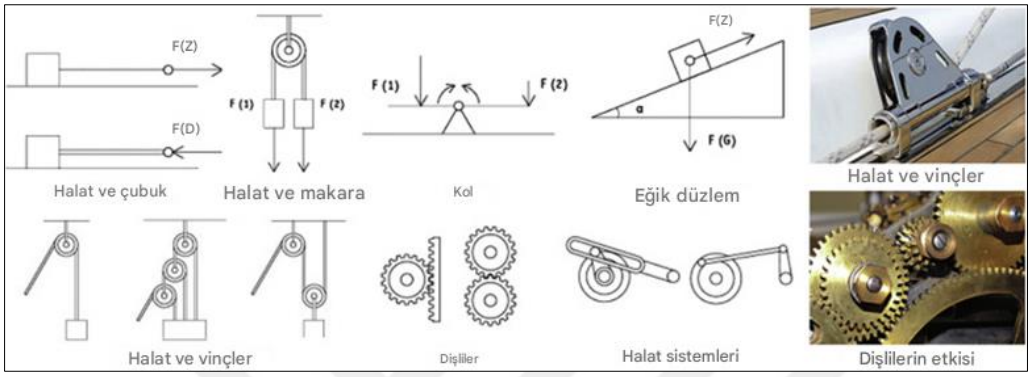


Şekil 3.1. (a) Katı cisimlerin uzaysal geometrik dönüşüm biçimleri (Moloney, 2009) (b) Hareket bozulmalarının tipolojileri (Fiorito ve diğ., 2016) (c) yapı elemanlarının (Schumacher ve Vogt, 2012) (Al-Masrani ve Al-Obaini, 2019)

Mekânik çalışmalar, hareket elemanlarını makro düzeyde bir bütün olarak sunan mimari konsepte dayalı olarak cihazın kinematik ve kinetik tasarımını inceler (Al-Masrani ve Al-Obaini, 2019). Schaeffer ve Vogt (2012), hareketi üretmek için karmaşık bir hareket zinciri oluşturan menteşeli eklemlerle birbirine bağlanan katı gövdelerden oluşan hareketli bileşenleri tanımlamaktadır. Birçok durumda, mimari parçaların uzaydaki hareketi, geometrik ve ardışık hareketlerden farklıdır. Şekil 3.1 (b ve c)'de gösterildiği gibi, mekanik hareketler her zaman iki ana harekete (çeviri ve dönüş) veya ikisinin bir kombinasyonuna indirgenebilir (Al-Masrani ve Al-Obaini, 2019).

Kinematik ve kinetik ölçekler, katı cisimlerin hareketini tanımlamak için kullanılır. Kinematik, "sadece hareketin zamansal sürecine atıfta bulunur ve bir veya daha fazla cismin zaman içindeki geometrik yer değiştirmesini kaydetmeyi içerir" (Schaeffer ve Vogt, 2012). Kinematik, süre, hız ve ivme gibi diğer temel ölçümlere ek olarak mesafenin ölçülmesine yardımcı olur. Bununla birlikte, kinetik terimi, herhangi bir hareketin analitik dinamik yaklaşımları kullanılarak değerlendirildiği ve uygulanan kuvvetin büyüklüğünün ve uygulama noktasının veya yönünün makineler olarak da bilinen mekanik cihazlar tarafından düzenlendiği göz önüne alındığında, hareketler ve kaynakları ile kuvvetler ve torklar arasındaki ilişkiyi ifade eder. Bu yöntem, bileşik ve basit modeller arasında farklılık

gösterebilmektedir (Schumacher ve Vogt, 2012). McCarthy ve Soh (2010), makineyi "genellikle bir güç kaynağı ve bu gücün kontrollü kullanımı için bir mekanizmadan oluşan bir sistem" olarak tanımladılar. Bu mekanizma, Şekil 3.2'te gösterildiği gibi, istenen kuvveti ve hareketi üretmek için çubuklar, halatlar, kasnaklar, kaldıraçlar, vinçler, dişliler ve diğer çeşitli parçaları kullanır.



Şekil 3.2. Mekanizmayı harekete geçirmek için kullanılan bazı mekanik cihazlar (Schumacher ve Vogt, 2012)

Gölgelendirme elemanlarının hareket türü, serbestlik derecesi, gölgelendirme elemanlarının boyutu ve ağırlığı ve cephe kapsama alanı gibi çeşitli faktörler, gölgelendirme elemanlarını hareket ettirmek için kullanılan çeşitli aktüatörler tipini belirler. Büyük cephe alanları için ağır hizmet tipi raf aktüatörleri ve katlama mekanizması için doğrusal aktüatör kolları gibi sık kullanılan aktüatör örnekleri, Şekil 3.3.'te gösterildiği gibi hareketli panjurlar ve çıta ayarlarıdır (Schumacher ve Vogt, 2012).



Şekil 3.3. Mekanizmayı harekete geçirmek için kullanılan aküatörler (Schumacher ve Vogt, 2012)

Kinetik cephe sistemleri için kullanılan doğrusal aktüatörlerin bazı modelleri ve Abu Dabi'deki Al-Bahr Kuleleri'nin katlanır paravanlarında kullanılan vidalı doğrusal aktüatörlerdir (Al-Masrani ve Al-Obaini, 2019).

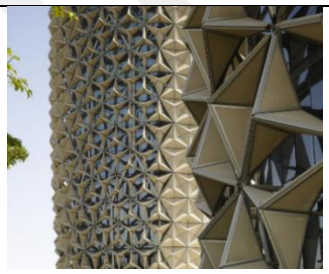
3.2. Kinetik Gölgeleme Elemanı Örnekleri

21. yüzyılın sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda, binaların enerji tüketimini azaltmak aynı zamanda iç mekan konforunu sağlamak adına kinetik gölgeleme elemanları tasarımı üzerinde araştırmalar giderek artmıştır. Değişken ortam koşullarına uyum sağlayabilen kinetik cepheler, teknolojik gelişmelerin hangi parametreler ile yapı kabuğuna entegre edileceği ve termal, görsel koşulların nasıl sağlanabileceği önemli konular haline gelmiştir. 2000'li yılların başından beri mimarlar projelerinde kinetik gölgeleme elemanları kullanmış ve Çizelge 3.1'de derlenmiştir.

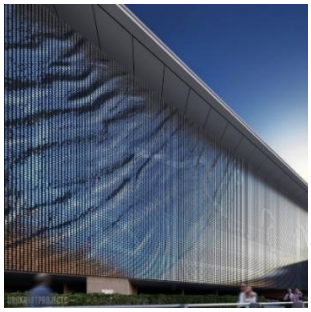
Çizelge 3.1. Kinetik gölgeleme elemanı uygulamaları ve açıklamaları

<table>
<tr><th rowspan="2">BİNA BİLGİSİ</th><th>HAREKET TİPİ</th><th>PERFORMANS AMACI</th><th rowspan="2">GÖRSEL</th></tr>
<tr><th colspan="2">SONUÇ</th></tr>
<tr><td rowspan="2">SDU-Güney Danimarka Kolding Üniversitesi 2014</td><td>Binanın cephesinde 1.200 üçgen alüminyum panel bulunur. Bu paneller, gün içindeki ışık şiddetine ve güneşin yönüne göre birbirinden bağımsız otomatik olarak açılıp kapanabilir.</td><td>• Gün Işığı Kontrolü
• Enerji Verimliliği
• Görsel Konfor
• Pasif İklimlendirme Stratejisi</td><td rowspan="2">
(Henning Larsen Architects; LEED, 2018)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Sonuç olarak enerji tüketimi azalmış, LEED sertifikası almış ve kullanıcıların memnuniyetiyle başarılı bir cephe olmuştur.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">M9-C Binası, Paris 2012</td><td>Delikli metal paneller ve hareketli güneş kırıcılardan oluşur. Güneşin açısına göre otomatik veya manuel olarak hareket eder. Bazıları yön değiştirerek, ışık miktarını düzenler ve bu da ihtiyaca göre farklılaşan çözümler sunar.</td><td>• Işık ve gölge kontrolü
• Termal konfor
• Enerji Verimliliği
• Görsel geçirgenlik ve mahremiyet</td><td rowspan="2">
(Archidaily, 2013; Ünlütürk, 2024)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Sonuç olarak; Fransa'nın HQE sertifikasını almış ve iç hava kalitesi ve termal konfor açısından yüksek standartlara ulaşmıştır. Kullanıcıların deneyimi, doğal ışık kalitesi sağlamıştır.</td></tr>
</table>

Çizelge 3.1. (devam) Kinetik gölgeleme elemanı uygulamaları ve açıklamaları

<table>
<tr><td rowspan="2">ITRI-
Tayvan
2014</td><td>Cephedeki ayarlanabilir güneş kırıcı paneller yer almaktadır. Güneşin gün içindeki pozisyonuna göre otomatik olarak açılıp kapanmaktadır.</td><td>• Güneş ışınımı kontrolü
• Isı yükü azaltmak ve enerji tüketimini minimuma indirmek
• Doğal havalandırmayı desteklemek</td><td rowspan="2">
(ITRI 2015, Architizer, 2012)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Sonuç olarak; Diamond – level EEWH (Taiwan’s green building label) sertifikası kazanmıştır. %40 enerji tasarrufu sağlamıştır.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">One Ocean, Thematic Pavilion
Güney Kore
SOMA Arc.
2012</td><td>Cephedeki kinetik sistem, deniz süngerlerinin açılıp kapanmasını taklit eden biyomimetik bir yaklaşımla geliştirilmiştir. 108 adet panel, güneş ışığını yakalayan otomatik sistemlerle açılıp kapanabilir. Gün boyunca güneşin açısına ve ısısına bağlı olarak gölgeleme sağlamaktadır.</td><td>• Güneş kontörlü
• Enerji verimliliği
• Görsel dinamizm</td><td rowspan="2">
(SOMA, 2012; Dezeen, 2011, Knipper ve diğ., 2012)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Sonuç olarak; Diamond – level EEWH (Taiwan’s green building label) sertifikası kazanmıştır. %40 enerji tasarrufu sağlamıştır.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Abu Dhabi Investment Council New Headquarters – Al Bahr Tower
2012</td><td>Hareketli mashrabiya paneller, kullanıcı müdahalesi olmadan iklime yanıt veren akıllı bir dış cephe haline gelmiştir.</td><td>• Güneş ışınımını kontrol etmek
• Enerji verimliliğini sağlar
• Görsel konfor sunmak
• İklimle uyumlu pasif strateji geliştirmek</td><td rowspan="2">
(ArchDaily, 2012; Fox, 2016, Brzezicki, 2021)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Sonuç olarak; LEED Silver sertifikası almıştır. Geleneksel cam binalara göre %50 enerji tasarrufu sağlamaktadır. Kullanıcı tecrübelerine göre, iç mekan termal ve görsel konfor sağlamaktadır.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Brisbane Airport Domestic Terminal Car Park Facade

Urban Art Projects+ Ned Khan

2012</td><td>250,000 adet alüminyum panel, rüzgara tepki vererek pasif bir şekilde sallanmasıyla oluşturulmuştur. Mekanik enerjiye dayanmaktadır. Maksimum görsel etki ve hava geçirgenliği sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.</td><td>• Pasif havalandırmayı desteklemek
• Görsel dinamizm yaratmak
• Gölgelendirme sağlamak
• Doğa ile etkileşim (rüzgar)</td><td rowspan="2">
(Urban Art Projects.; ArchDailyb. 2013)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Sıfır enerji ile hareket enerjisi sağlayarak, binanın enerji tüketimi 0’dır. Pasif havalandırma sağlamaktadır. Architizier A+Awards gibi ödüller almış kinetik mimaride öncü binalardan biri olmuştur.</td></tr>
</table>

Çizelge 3.1. (devam) Kinetik gölgeleme elemanı uygulamaları ve açıklamaları

<table>
<tr>
<td>The Kiefer Technic Showroom
Ernst Giselbretch
2007</td>
<td>Metal güneş kırıcılar, her biri birbirinden bağımsız motorlarla kontrol edilir. Güneş açısında göre farklı yönlere dönerek aşırı ısınmayı ve parlamayı kontrol altına tutar.</td>
<td>• Güneş kontrolü
• Enerji verimliliği
• Görsel konfor ve ışık kontrolü
• Estetik deneyim</td>
<td rowspan="2">
(ArchDaily, 2011; Ernst Giselbrecht + Partner Architects; Journal of Architectural Technology, 2012)</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">İç mekan iklimlendirme yükünü önemli ölçüde azalmış, böylelikle enerji verimliliği sağlamaktadır. Yüksek kullanıcı memnuniyeti, ışık kontrolü ve iç mekan kontrolü sağlamıştır.</td>
</tr>
<tr>
<td>Leawood Speculative Office
Kansan ABD
2007</td>
<td>Hareketli dış gölgelik paneller, manuel ya da otomatik olarak, yatay ve dikey olarak açılıp kapanabilir. Böylelikle gölgeleme derecesi ayarlanabilir. Basit motorlar ya a kullanıcı kontörlü ile düşük enerjili kontrol içermektedir.</td>
<td>• Güneş ışığını pasif olarak yönetmek
• Enerji tüketimini düşürmek
• Düşük maliyetli ve etkili kinetik cephe çözümü elde etmek</td>
<td rowspan="2">
(BNIM Architects; U.S. Green Building Council)</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">LEED Gold sertifikası almıştır. Pasif gölgeleme sistemi ile enerji kullanımı azalmıştır. Estetik + çevresel etki ile görsel kimlik kazanmıştır. Ofis çalışanlarının deneyimine göre iç mekan görsel konfor sağlamıştır.</td>
</tr>
<tr>
<td>Breath Box
Fransa

Geçici Kinetik Pavyon

Nas Architecture

2014</td>
<td>800 adet paslanmaz çelik aynalı plak, rüzgarla serbestçe hareket eden pasif sitemlerdir. Daha çok estetik bir görüntü için dinamik bir cephe amacıyla tasarlanmış bir cephedir.</td>
<td>• Çevreyle etkileşim kurmak
• Dinamik cephe deneyimi sunmak
• Pasif kinetik sistemle sıfır enerji tüketimi</td>
<td rowspan="2">
(Designboom, 2014; Fox, 2016)</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">Cephedeki kinetik hareket tamamen rüzgar enerjisi ile sağlandığından, enerji kullanımı sıfırdır. Bu kinetik farkındalık sağlayan estetik bir cephedir.</td>
</tr>
<tr>
<td>The Penumbra Pavillion
Mumbai, Hindistan
Geçici Kinetik Pavyon
2016</td>
<td>221 hareketli panel içeren bir sistemdir. Gölgeleme derecesine göre açılarını değiştirir. Güneşin hareketine göre gölgeleme yüzeyi oluşturur.</td>
<td>• Güneş ışığını parametrik olarak kontrol etme
• Çevreye duyarlı tasarım geliştirme
• Dijital üretim + kinetik sistem entegrasyonu</td>
<td rowspan="2"></td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">İklim adaptasyonu sağlanarak yapıldığından maksimum gölgelendirme verimi sağlanmıştır. Kalıcı yapılarda uygulanabilecek düşük enerji tüketimli bir gölgeleme sisteminin prototipin temsil etmektedir.</td>
</tr>
</table>

Çizelge 3.1. (devam) Kinetik gölgeleme elemanı uygulamaları ve açıklamaları

<table>
<tr>
<td rowspan="2">Media-Tıc Binası

Barselona, İspanya

Cloud 9

2010</td>
<td>ETFE adında hafif, esnek plastik membran bir malzeme ile, ısı ve ışık sensörlerine bağlı olarak hareket eden bir mekanizmadır. Güneş ışığı yoğun olduğunda yastıklar şişer ve gölgeleme artırılır.</td>
<td>• Güneş ışığını kontrol etme
• Enerji verimliğini artırma
• Karbon ayak izini azaltmak</td>
<td rowspan="2">
(Cloud 9 Architects, n.d; ArchDaily, 2010)</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">Sonuç olarak; LEED Gold düzeyinde enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik hedefleri gerçekleştirilmiştir. Bina iç sıcaklık kontrolü konfor düzeyinde sağlanmıştır. %20’ye yakın enerji tasarrufu sağlanmıştır.</td>
</tr>
<tr>
<td rowspan="2">Energy And Environment Innovation Building

Tokyo, Japan

2012</td>
<td>Cepheye yerleştirilmiş PV paneller güneşin geliş açısına göre açılıp kapanmaktadır. Sadece enerji üretmek ile kalmaz güneş ışığını keserek iç ortam ısıl dengesini sağlamaya yardımcı olur.</td>
<td>• Aydınlar ve soğutma yüklerini azaltmak
• Karbon salınımını minimuma indirmek
• Enerji verimli bir bina tasarımı yapmak</td>
<td rowspan="2">
(The MP Report, 2012)</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">Sonuç olarak; karbon salınımını %60 oranında azaltılmıştır. Soğutma yükleri düşürülmüş, doğal ışık kullanımı optimize edilmiştir. Binanın ihtiyacı olan enerjiyi büyük oranda kendi bünyesinde kullanılmasına yardımcı olur.</td>
</tr>
<tr>
<td rowspan="2">University Of Western Australia EZONE

Avustralya

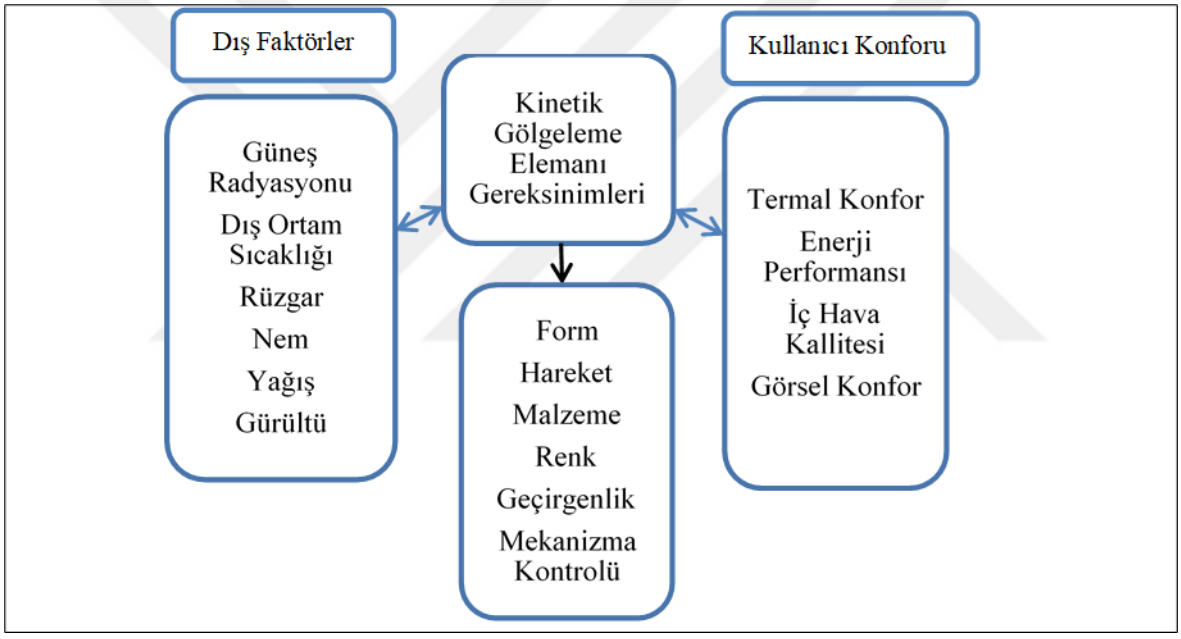
2020</td>
<td>Sabit açılarla yerleştirilmiş ‘petal’ adı verilen panellerden oluşturulan bir cephedir. Cephe hareketlerinin açılıp- kapanma hareketleri gün ışığını optimize etmektedir. Kampüsteki ağaçların hareketini taklit etmektedir.</td>
<td>• Güneş ışığını filtreleyerek iç mekan sıcaklığını kontrol etmek
• Enerji verimliliğini artırmak
• Doğal aydınlatmayı maksimize etmek</td>
<td rowspan="2">
(The University of Western Australia, 2020)</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">Cephe tasarımı, güne ışığını kontrol ederek soğutma ihtiyacını azaltmaktadır ayrıca enerji tüketimini düşürür. Gün ışığını iç mekana eşit şekilde dağıtarak yapay aydınlatma ihtiyacını azaltır. Yapay aydınlatmaya olan ihtiyacı düşürmektedir.</td>
</tr>
</table>

Çizelge 3.1’de bulunan örneklerden görüldüğü üzere; enerji verimliliği, gün ışığı iyileştirme, iç mekan termal ve görsel konforu optimize etme gibi ve nadirde olsa enerji üretimi gibi amaçlarla çeşitli formlarda kinetik gölgeleme elemanı uygulamaları yapılmıştır. Genel olarak hepsinin sonucunda, elemanlar istenilen düzeyi büyük ölçüde karşılamışlardır. Bu da sürdürülebilir mimarlık kapsamında özellikle, iklimlendirme sistemlerine olan ihtiyacı

düşürerek kinetik gölgeleme elemanlarının doğru bir şekilde uygulanması ile çoğu pasif tasarım stratejisinden daha verimli olduğunu göstermektedir.

3.3. Kinetik Gölgeleme Elmanı Tasarım Süreci

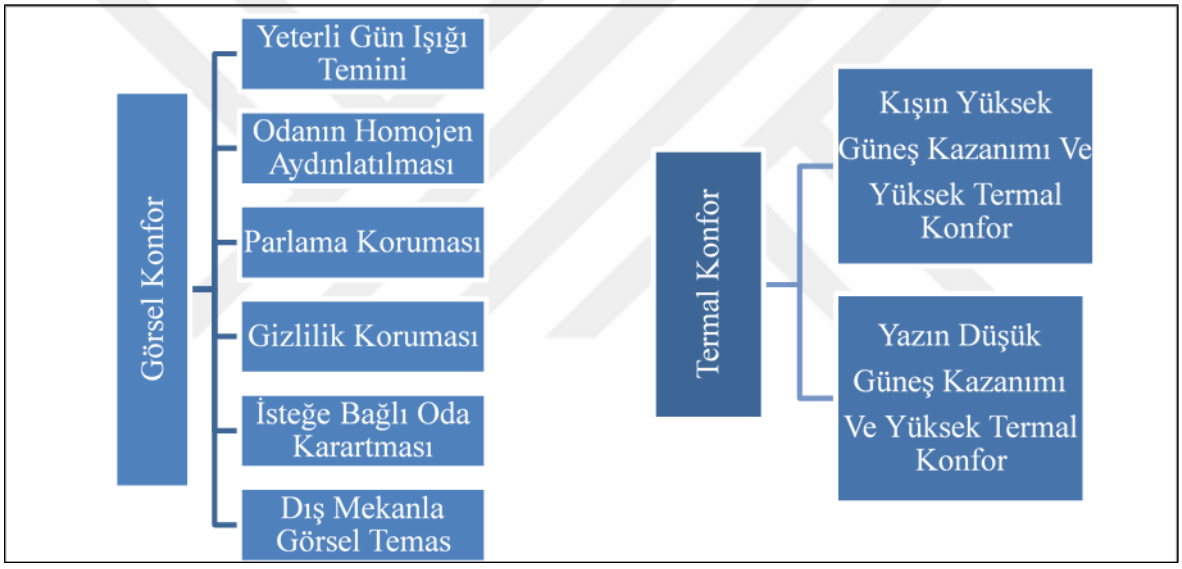
Kinetik gölgeleme elemanı tasarımı yapabilmek için gerekli olan, tasarım kriterlerini ve yöntemlerini, kullanıcı konfor koşullarını, eleman hareketlerini bu bölüme kadar açıklanmış ve tasarım bilgisine ulaşılmıştır. Bu bölüme kadar ki bölümlerden özetle kinetik gölgeleme elemanı tasarım sürecine etki eden dış faktörler ve kullanıcı konforu gereksinimleri Şekil 3.4'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Kinetik gölgeleme elemanı tasarımında etkili olan faktörler (Aelenei ve diğ., 2016; Seyrek ve diğ, 2021 'den yararlanılmıştır)

Kinetik gölgeleme elemanları tasarımında etkili olan parametreler iki ana gruptan oluşmaktadır: iklim verileri (örneğin güneş radyasyonu, dış ortam sıcaklığı) ve kullanıcı gereksinimleri/konfor hedefleri. Bu iklimsel veriler, kinetik elemanların formu, hareket biçimi (dönme, katlanma, sürgülü), malzeme türü, renk ve ışık geçirgenliği gibi morfolojik özelliklerini belirlemede doğrudan rol oynar. Kullanıcı konforu ve işlevsel beklentiler ise bu morfolojik özelliklerin sınırlarını tanımlamaktadır. Al-Masrani & Al-Obaidi (2019) bu parametreleri sistematik biçimde ele alarak, dinamik gölgeleme sistemlerinin tasarım ve performans stratejilerini açıklamaktadır (Al-Masrani & Al-Obaidi, 2019). Kinetik

gölgeleme elemanlarından beklenen performans kriterleri arasında, kullanıcıların hem görsel hem de termal konfor gereksinimleri yer almaktadır (Şekil 16). Termal gereksinimler, kış aylarında yüksek güneş kazanımı sağlama ve yaz aylarında aşırı güneş kazanımını engelleme amacı taşırken; görsel konfor kriterleri arasında yeterli günışığı seviyesi, homojen aydınlatma, parlamadan korunma (glare control), mahremiyet, isteğe bağlı karartma, dış mekanlarla görsel temas imkânı, hoş renk algısı ve renk doğruluğu bulunmaktadır. Bu kriterler, kinetik gölgeleme elemanlarının formu, hareket kabiliyeti, malzeme ve optik özellikleri gibi morfolojik parametrelerle doğrudan ilişkilidir. Literatürde, bu sistemlerin tasarımında kullanıcı ve çevresel koşulların konfor temelli kriterlerle belirlenmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Hosseini ve diğ., 2019).



Şekil 3.5. Kinetik gölgeleme sistemleri için görsel ve termal gereksinimler (Kuhn ve diğ., 2001)

Kinetik gölgeleme elemanı sürecinde, performans amacı ve gereksinimleri belirlendikten sonra gölgeleme elemanının formu ve hareketinin, bu gereksinimleri karşılayacak morfolojiye sahip olması beklenmektedir. Literatürden elde edilen bilgilere dayanarak, kinetik gölgeleme elemanları tasarlarken beş ana faktörün dikkate alınması gerekir:

- Kinetik desenin biçimi ve boyutu,
- Hareketin türü ve yönü,
- Doğrudan güneş ışığını engelleme yeteneği,
- Gün ışığı kalitesini iyileştirme,
- Dışarıyla minimum düzeyde temas sağlama (Mahmoud ve Elghazi, 2016).

Bütün bu faktörler aynı anda dikkate alınarak tasarım yapılması birçok karmaşık sistemlerin bir araya getirilmesini ve bu da çok sayıda alt birimden oluşması problemini yaratmaktadır. Mimaride birçok disiplinin bir araya gelmesi, doğrudan tasarımı etkileyen sorunlara neden olur. Bu karmaşıklığı düzenlemek ve iş akışını hızlandırmak için yeni tasarım ve hesaplama yaklaşımları içeren yeni tasarım teknikleri geliştirilmektedir. Bu tekniklerden birisi, özellikle kinetik mimarlık kapsamında tercih edilen parametrik tasarımdır (Öner, 2017). Gölgeleme elemanının, hareket tipi, biçimi, malzeme özellikleri, binanın konumu, elemanların cephedeki konumu, derinliği, iklim özellikleri gibi birçok değişkenin kontrol edilmesi ve istenilen performansa yönelik konumlandırılması gibi birçok kontrol mekanizmasını yönetebilmek için son yıllarda parametrik tasarım kullanılır. Parametrik tasarımın son zamanlarda çokça kullanılmasının nedeni, parametrik tasarımı sadece karmaşık yapıları modellemek için bir araç olarak değil, aynı zamanda yenilik ve yaratıcılık için bir model olarak görülmesidir (Oxman, 2017).

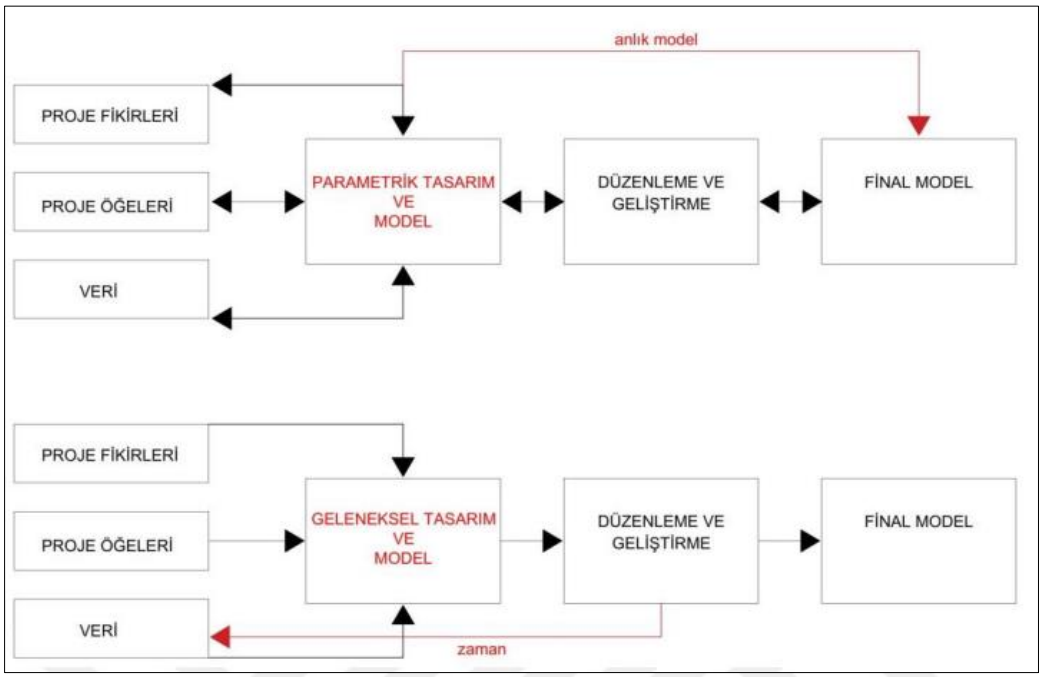
4. KİNETİK GÖLGELEME ELEMANIN PARAMETRİK TASARIMI

Kinetik gölgeleme elemanı tasarlarken tasarımcılar çoğunlukla, dijital ortamda birçok parametreyi kolaylıkla değiştirilebilmeye olanak tanıyan, parametrik tasarımdan yararlanırlar. Parametrik modeller, adaptasyon yetenekleri ve hareket becerisiyle, bu çalışma kapsamında problem edilen, yapıların enerji etkinliği ve soğutma yüküne etkiyen performansına uygun, bir kinetik gölgeleme elemanı tasarlamaya sağlamaktadır (Razzaghmanesh, 2015). Sayısal tasarım araçlarının kullanımı, yapıların ve mimari geometrilerin geliştirilme olanaklarını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Hosseini ve diğ., 2019). Bu nedenle kinetik gölgeleme elemanı tasarımlarında parametrik tasarım araçlarını kullanmak günümüz şartlarında değişken hava koşullarına yanıt verme konusunda kolaylık sağlar.

Parametrik modelleme, çeşitli parametrelere göre kurulabilen ve bu değerlerin süreç içerisinde değişimine olanak veren, böylece sonuç olarak oluşan formun kontrollü olarak sürekli değişebilmesine müsaade eden modelleme yöntemidir, fakat tasarımın geometrinin belirlenebilmesi için sınır değerlerin belirlenebilmesi gerekir (Akipek ve İnceoğlu, 2007). Mimarlık alanında, parametrik yaklaşımlar; çeşitli kuram, yöntem ve teknikleri içerir ve bu yaklaşımlar farklı problem alanlarında, çeşitli ölçeklerdeki karar süreçlerinde, planlama ve tasarım amaçlarıyla uygulanmaktadır. Parametrik tasarım mimarlıkta, girdi olarak oluşturulan parametrelere farklı değerler vererek çeşitli tasarımlar oluşturur. Parametreler arasındaki ilişkileri belirlemek için denklemler, eşitlikler vb. kullanılır. Bu tasarım yöntemi ayrıca, konsept aşamasındaki projelerde çevre verileri parametreler olarak programa girilebilmekte ve analizler yapılabilmektedir (Woodbury, 2010).

Tasarım süreci birçok parametreye bağımlı olduğundan tasarım sürecini zorlaştırır ve bu zorluklar tekrar, deneme ve yenileme gerektirir. İlk model oluşturulduktan sonra tasarımcının tasarıma hemen müdahale etmesi zor olduğundan, bu süreç geleneksel tasarım metodunda oldukça zaman alıcıdır. Fakat, parametrik tasarım araçlarıyla aynı anda tasarım bileşenlerini koordine etmek mümkündür. Tasarım süreci sonunda optimum tasarıma ulaşıldığında, tasarım süreci tekrarlanabilmektedir. Özellikle karmaşık ve çeşitli uzmanlık gerektiren projelerde zamandan tasarruf etmek için faydalı olması sebebiyle gölgeleme

elemanı tasarımlarında tercih edilmektedir. Geleneksel tasarım süreci ve parametrik tasarım süreci karşılaştırılması Şekil 4.1'de gösterilmektedir (Öner, 2017).



Şekil 4.1. Geleneksel tasarım süreci ve parametrik tasarım süreci karşılaştırılması (Öner, 2017)

Son on yılda, bilgisayarların tasarım sürecindeki uygulaması büyük bir evrim geçirmiştir. Bilgisayar, yalnızca dijital bir tasarım aracı olmaktan çıkıp, tasarım görevlerinin otomasyonu, tasarım çözümlerinin üretilmesi veya tasarım sürecinde binanın veya parçalarının performansının değerlendirilmesi için bir hesaplama aracı olarak iş akışına girmiştir (Cassini, 2022).

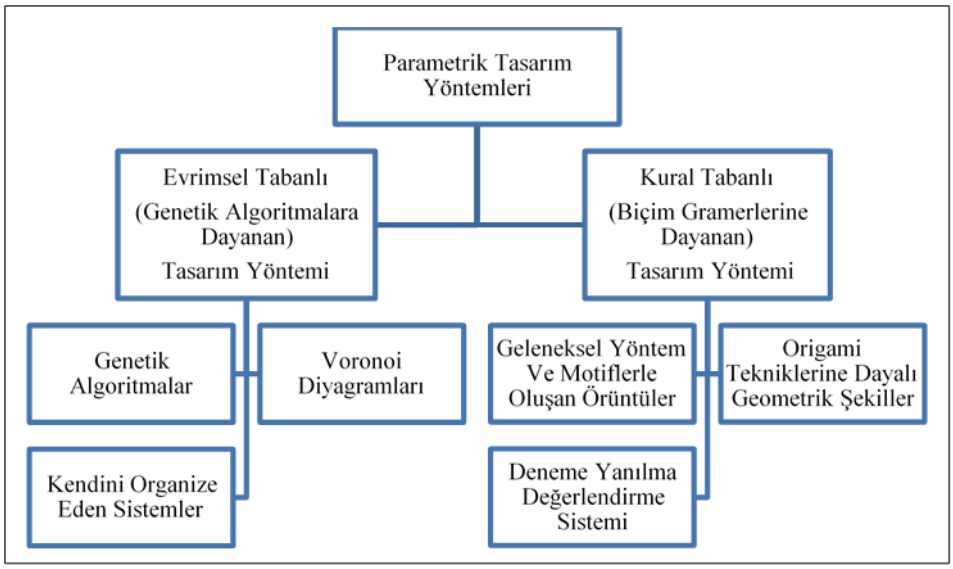
Tasarımcıların form bulma süreçlerinde, otomatik geri bildirimleri algoritmalar aracılığıyla kullanmaları; parametrik tasarım kapsamında değerlendirilmektedir (parametrik, algoritmik tasarım gibi terimleri içerir). Parametrik yaklaşımla en iyi çözüm aranırken optimizasyon algoritmaları kullanıldığında bu süreç üretken tasarım (generative design) olarak adlandırılır. Üretken tasarım, tasarım seçeneklerini manuel olarak araştırma ihtiyacını azaltmak ve parametrik yöntemlerle farklı varyasyonları otomatik olarak değerlendirmek amacıyla geliştirilmiştir. Bilgisayarlar, insan operatörlere kıyasla alternatif tasarım varyasyonlarını çok daha hızlı işleyebilir, böylece karmaşık tasarım alanlarının derinlemesine incelenmesi mümkün olur (Caetano, 2020).

Üretken tasarım, belirli bir tasarım hedefleri ve kısıtlamaları kümesinden çok sayıda farklı çözüm üretmek için algoritmalar kullanan bir tasarım yaklaşımıdır. Üretken tasarım, tasarımcının otomasyon yoluyla alternatifleri tanımlama, keşfetme ve seçme yeteneğini artırmak için hesaplamayı kullanan birçok uygulama ve tekniği bünyesinde barındırmaktadır. Parametrik tasarımda ise, tasarımcı parametreleri belirler ve süreci kontrollü şekilde yönetmektir (Aish ve Woodbury, 2005). Özellikle karmaşık modellemelerde, parametrik tasarımın kullanımı tasarım disiplini açısından oldukça önemlidir. Bu tez kapsamından incelenen kinetik gölgeleme elemanı tasarım yöntemlerinden, yapılan son çalışmalarda en çok kullanılan yöntemdir.

4.1. Parametrik Tasarım Modelleme Yöntemleri

Parametrik tasarım, tasarımcının niyeti ile tasarım tepkisi arasındaki ilişkiyi tanımlayabilen, kodlayabilen ve açıklayabilen parametreleri ve kuralları ifade eden algoritmik bir yaklaşıma dayalı bir süreç olarak tanımlanabilir (Touloupaki ve Theodosiou, 2017). Bu yöntem esas olarak, komut dosyası oluşturma yoluyla geometriyi esnek bir şekilde tanımlama ve oluşturma, karar değişkenlerini ve kısıtlamaları (parametreleri) geometriye bağlama, nesneler arasında karşılıklı bağımlılıklar kurma ve bu nesnelerin dönüşümsel davranışını tanımlama gibi verimli bir yoldan oluşmaktadır. Böyle bir yaklaşım, geometri ve bileşenler üzerinde dinamik kontrol sunarak, tasarımcının aynı anda birden fazla varyantı değerlendirerek karmaşık problemler için uygun çözümler aramasına olanak tanımaktadır (Cassini, 2022).

Parametrik modelleme, parametreler üzerine kuruludur ve bu değerlerin değiştirilmesine izin verir, böylece sonuç biçimi sürekli olarak parametrelerin kontrolü altında değişebilmektedir. Parametrik modellerde tasarım geometrik olarak sınırlandırılmalıdır (Akipek ve İnceoğlu, 2007). Kinetik cephelerin performansını belirlemek için parametrik tasarım sistemlerinin kullanılması son zamanlarda deneysel ve simülasyon çalışmalarına konu olmuştur. Kahramanoğlu ve Alp (2021), kinetik cepheleri parametrik tasarım kullanarak oluşturulan çalışmalar iki modelleme yöntemi altında incelenmiştir. Evrimsel Tabanlı modeller ve Şekil Gramerleri, bunları oluşturmak için kullanılır. Genetik algoritmalar (Genetic Algorithms), Voronoi Diyagramları ve Kendini Organize Eden/Kendiliğinden Oluşan Sistemler (Emergent Architecture) evrimsel tabanlı modellerin üç farklı kategorisinde incelenmiştir (Kahramanoğlu ve Alp, 2021) (Şekil 4.2).



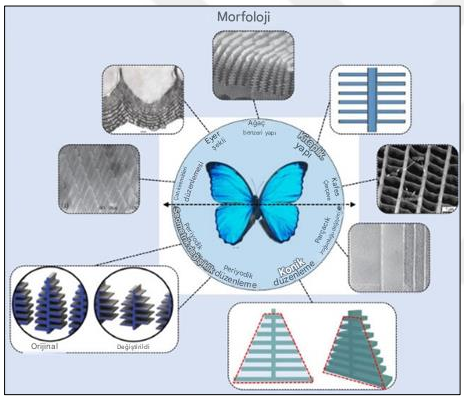
Şekil 4.2. Parametrik tasarım yöntemleri sınıflandırılması (Belek ve Yamaçlı 2023; Kahramanoğlu ve Alp, 2021 yararlanılarak oluşturulmuştur)

Biçim gramerine dayalı tasarım, deneme-yanılma yoluyla optimum çözümler arayan bir yaklaşımdır. Temel geometrik bileşenler üzerinden dönüşüm kurallarıyla şekil üreten hesaplamalı bir sistemdir ve tasarımcının parametreleri süreç boyunca değiştirmesine izin vermesiyle tasarım sürecine zaman açısından kolaylık sağlamaktadır (Oxman, 2006). Bu yöntem, kinetik iskelet, topolojik yüzey ve parametrik model gibi farklı bileşenleri aynı anda manipüle ederek çeşitli varyasyonlar oluşturur ve en iyi tasarım seçimine karar vererek süreci sonuçlandırır (Kolarevic, 2001). Genetik Algoritmalara dayalı tasarım süreci ise, canlı organizmaların hayatta kalma stratejilerine benzer şekilde formun kurallara bağlı olarak evrimini sağlarken, esnek ve işlevsel çözümler sağlamaktadır (Oxman, 2006). Tasarımcı parametrik tasarım yöntemlerinden birini kullanarak kinetik gölgeleme elemanı için parametrelere dayanan bir yöntemle tasarımını oluşturabilir. Fakat tasarım için kullanılan yöntem sınırlandırılmaması açısından bu yöntemlerden birini kullanmak zorunlu değildir, tasarımcı özgün yeni bir yöntemlerde kullanabilir.

4.1.1. Evrimsel tabanlı (genetik algoritmalara dayanan) tasarım yöntemi

Evrimsel algoritmalar, özellikle karmaşık tasarım sorunları için etkili çözümler sunmak için biyolojik mekanizmaları taklit eder. Seçim, mutasyon ve çaprazlama gibi süreçlerle en iyi çözümü bulmaya çalışılmaktadır (Deb, 2001). Biyolojik çeşitliliğin temelini oluşturan adaptasyon ve varyasyon süreçleri, yeni tasarım çözümlerine dahil edilerek yeni tasarım yöntemlerini oluşturmaktadır (Bentley ve Corne, 2002). Mimaride bu algoritmaların

kullanımı, özellikle parametrik tasarımın gelişmesiyle birlikte artmıştır. Kinetik cepheler gibi hareketli sistemlerde, doğadaki canlılardan esinlenen formlar aracılığıyla uygulanmaya başlanmıştır (Badarnah ve Knaack, 2008). Doğadaki yapısal verimlilik örneklerini inceleyerek biyomimikri yaklaşımı, enerji, su ve malzeme kullanımında sürdürülebilir çözümler geliştirilmesini desteklemektedir (Zari, 2007). Bu bağlamda, algoritmik ve biyolojik ilkeleri bütünleştiren yaklaşımlar, gelecekteki enerji etkin, sürüdürülebilir yapıların oluşturulmasında önemli bir rol oynamaktadır. Evrimsel mimari yaklaşımında temel alt kavram olan genetik algoritmada, kodlar ve algoritmalar, doğada canlıların oluşumunda ve biçimlenmesinde yönlendirici olan genleri işlemektedir. Genetik algoritmalar kural dizilidir, parametreler tasarım sırasında işlenmektedir ve değerleri değişmektedir (Akipek, 2004).



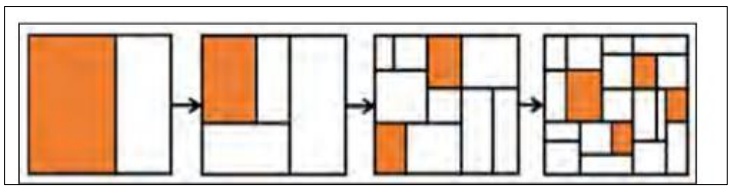
Şekil 4.3. Kelebek kanatlarından çıkarılan biyomimikri prensiplerine dayalı tasarım yaklaşımı (Hosseini ve diğ., 2024)

Örneğin, Şekil 4.3.'de tasarım sürecinin görselleştirildiği, karmaşık biçimler yerine uygun kinetik davranışa sahip basit formların görsel konforu ve gün ışığı performansını artırmak için daha etkili olup olmadığını araştırmaktadır. Kelebek kanadından esinlenen "periyodik etkileşimli bölge" tasarımı, biyomimetik ve parametrik yöntemlerle geliştirilen kinetik cephede öne çıkmıştır. Sonuçlar, konik formlu basit bir cephenin daha karmaşık yapılardan daha iyi çalıştığını ve görsel konforu en üst düzeye çıkardığını göstermektedir (Hosseini ve diğ., 2024).

4.1.2. Kural tabanlı (biçim gramerlerine dayanan) tasarım yöntemi

Biçim gramerleri, 70'li yıllarda Geoerge Stiny ve Jim Gibs tarafından geliştirilmiştir. Kural tabanlı tasarım yöntemlerinden en çok kullanılan, biçim ve form türetmeye dayalı bir yaklaşımdır. Biçim gramerlerini diğer türetici tasarımlardan ayıran en önemli özellik, biçimlerle değil, soyut sembollerle veya harflerle tanımlanmasıdır. Geometri ve matematik için temel kurallar vardır. Nokta, çizgi, yüzey ve masif, biçim kurallarının oluşturulmasında kullanılan unsurlardır. Basit aritmetik işlemler (toplama, çıkarma vb.) ve temel öklid dönüşümleri (döndürme, yansıtma vb.) biçim arası ilişkiler ve türetmeler için kullanılır (Tok, 2008).

Biçim gramerine dayalı tasarım, kurala dayalı bir hesaplamalı tasarım yaklaşımıdır ve şekil üretimini belirli kurallara göre yapmaktadır. Bu sistem, çizgiler, yüzeyler, noktalar ve hacimler gibi temel geometrik öğeleri kullanarak tasarım alanını tanımlar ve dönüşüm kurallarına göre yeni formlar oluşturur (Stiny & Gips, 1972). Özellikle mimarlık alanında, biçim gramerleri, tasarım sorunlarını yaratıcı bir şekilde çözmek için kullanılır. Ayrıca, kurala dayalı seçim ve deneme-yanılma süreçleri tasarımcıya esnek bir karar verme ortamı sağlamaktadır (Knight, 1994). Biçim grameri ve parametrik modelleme entegrasyonu, tasarım sürecinin her aşamasında kontrol sağlar ve bu da tasarımdaki farklılıkların sistematik bir şekilde keşfedilmesini sağlar (Duarte, 2005). Origami tekniklerinden esinlenen biçim grameri tabanlı üretken tasarım sistemleri, katlama, açılma ve hareket mekanizmalarını içeren yaratıcı, uygulanabilir ve kullanıcıyla etkileşimli çözümler sunar. Bu sistemler özellikle kinetik eleman tasarımı için kullanılabilir (Li et al., 2019).



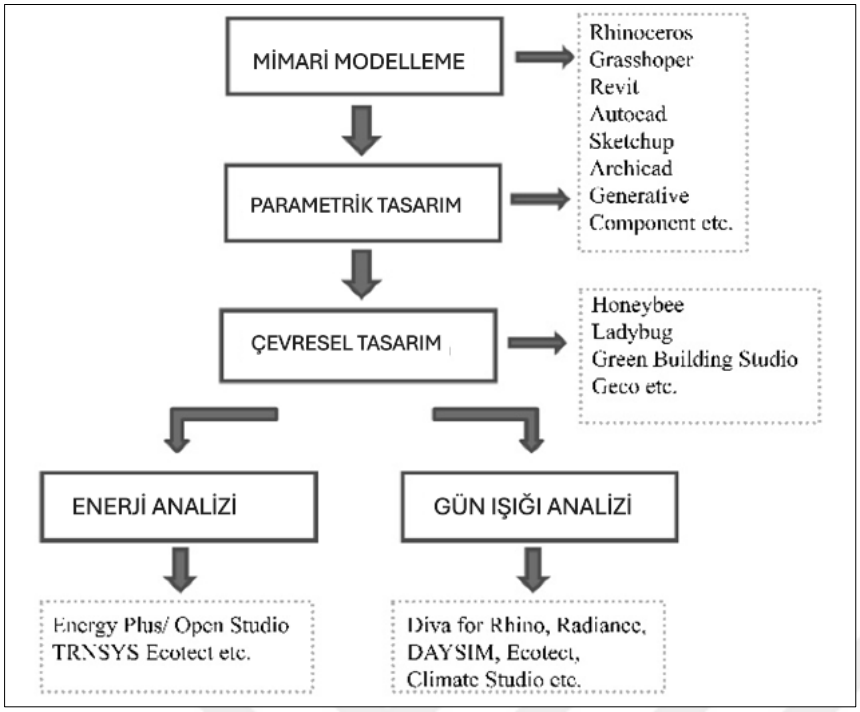
Şekil 4.4. Diyagramatik biçim grameri kural seti (Kunkhet, 2015)

Parametrik tasarım etkisi ile ilgili araştırmalar, tasarım sürecinde morfodinamik (kullanıcı tarafından tanımlanmış kısım) ve morfogenetik (otomatik kısım) bakış açılarını birleştirerek yürütülmektedir. Bu nedenle, kullanıcı tarafından tanımlanmış parametreler ile dijital tasarım araçlarının birleştirilmesi, tasarımın sınırlarını genişletebilir, yeni tasarım

yaklaşımlarını denenebilir ve yeni inşaat tekniklerini yaratabilir ve böylece teorik ve pratik olarak tasarım alanında yeniliklere yol açabilir (Kahramanoğlu ve Alp, 2021). Bu tez çalışmasında incelenen çalışma örneklerinde bu iki tasarım yöntemi ile karşılaşılmıştır, fakat teknolojinin gelişmesiyle gelecek yıllarda farklı tasarım yöntemleri geliştirilebileceği ön görülmektedir.

4.2. Kinetik Gölgeleme Elemanı Tasarım Sürecinde Parametrik Tasarım Araçları

Kinetik gölgeleme sistemlerinin günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte; parametrelerinin hızlıca değiştirilebildiği, simülasyon ve analiz araçlarıyla bütünleşmiş çalışarak tasarım ve optimizasyon süreçlerine dahil edildiği görülmektedir. Parametrik modelleme araçları ve algoritmalar kullanılarak form, hareket biçimi, açı ve boyut değişkenlerinin sistematik test edilmesi, kinetik gölgeleme tasarımlarının performansını artırmakta; bu sayede aydınlatma, ısıtma, enerji verimlilik ve görsel konfor açısından dengeli çözümler geliştirme imkânı doğmaktadır. Bu bağlamda, Mahmoud ve Elghazi (2016) çalışması; dönme ve kayma hareketine sahip kinetik cephe sistemlerini parametrik olarak tasarlayıp simülasyon ve optimizasyon yoluyla farklı senaryoları analiz ederek performans farklarını ortaya koymaktadır (Mahmoud ve Elghazi, 2016). Başka güncel bir örnek olarak, Kim ve arkadaşlarının (2024) çalışması, farklı panel konfigürasyonlarını parametrik olarak modelleyip simülasyonla test ederek, LEED v4.1 günışığı kriterlerini aşabilecek optimizasyon senaryolarını ortaya koymaktadır (Kim ve diğ., 2024). Parametrik tasarım sürecinde kullanılan araçlarını akışı Şekil 4.5’de verilmiştir.



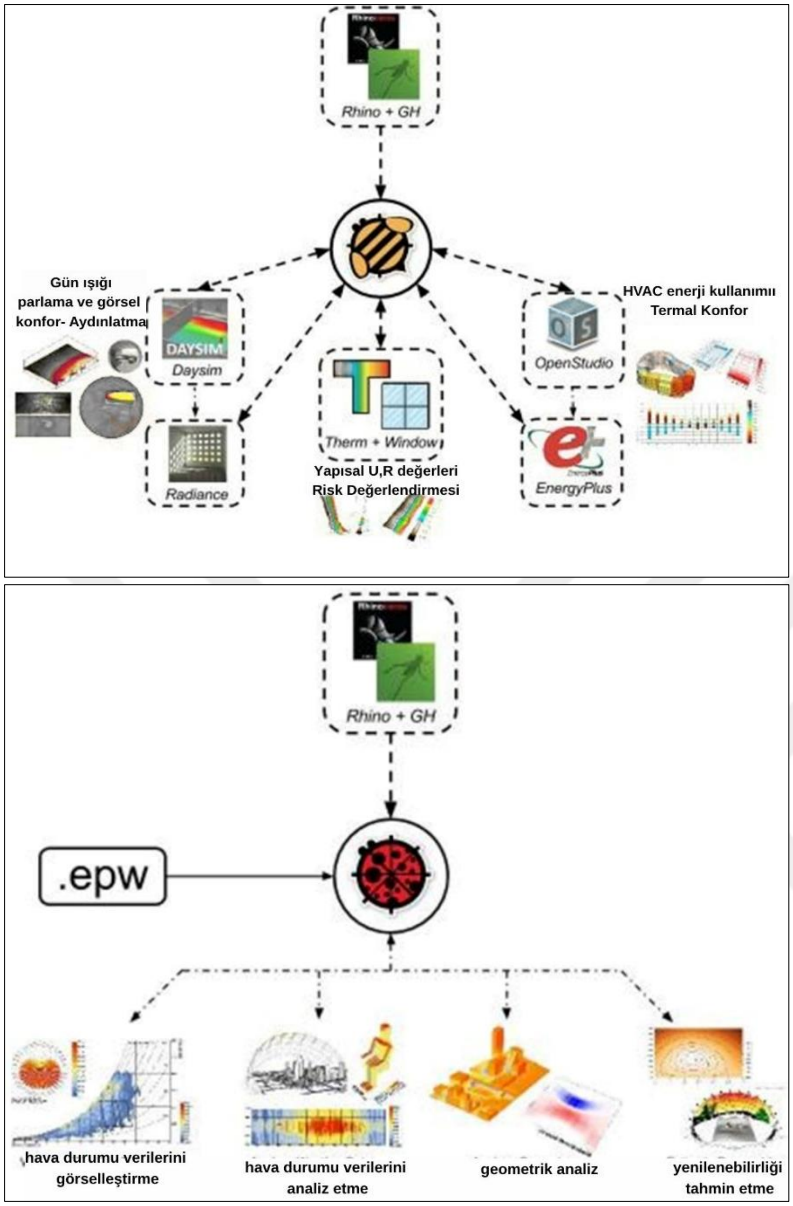
Şekil 4.5. Parametrik tasarım sürecinde kullanılan araçların sistematik şeması (Seyrek ve diğ. 2021 yararlanılmıştır)

Parametrik tasarım araçları, özellikle Rhino, Grasshopper, DIVA, Ladybug, Honeybee gibi yazılımlar, kinetik gölgeleme elemanı tasarımında önemli bir rol oynamaktadır. Bu araçlar, belirlenen kinetik gölgeleme elemanlıları dijital ortama aktarmak için kullanılır. Literatürde, parametrik tasarım araçlarının kinetik gölgeleme elemanı tasarımı ve enerji verimliliği değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanıldığı pek çok çalışma bulunmaktadır. Ayrıca, EnergyPlus gibi enerji ve termal simülasyon araçları, kinetik gölgeleme elemanı tasarımının ısıl performansını değerlendirmek için kullanılabilir. Rhino, Grasshopper, Dynamo, Ladybug, Honeybee, EnergyPlus ve TRNSYS gibi araçlarla yapılan çeşitli çalışmalarda kinetik gölgeleme elemanı tasarımları simüle edilmiş ve analiz edilmiştir (Toussi, 2020). Kullanım yoğunluğunu; literatür çalışmaları tarafından ve sektördeki kullanıcılar tarafından kullanımı Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Parametrik tasarım araçlarının kullanım yoğunluğu (Zhao ve Angelis, 2019)

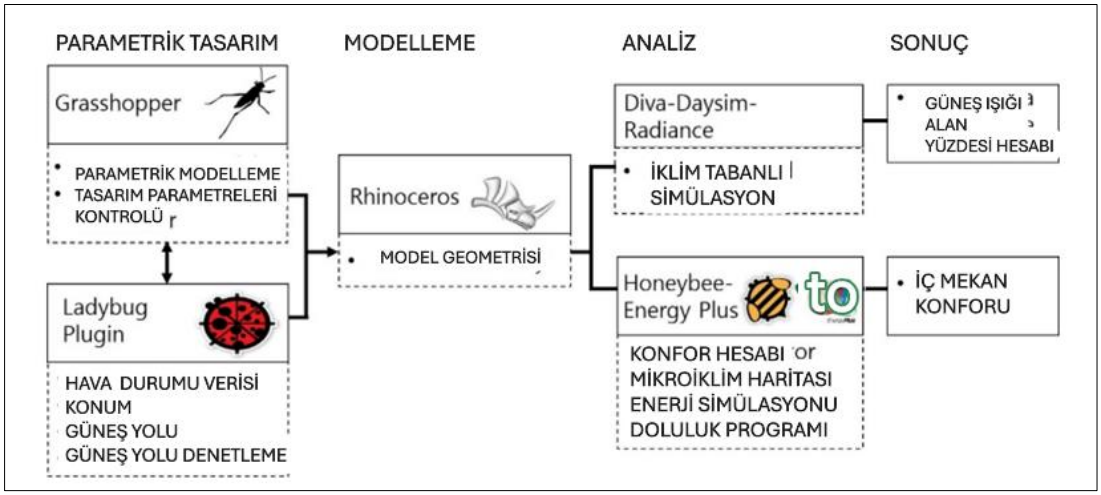
Literatürdeki Makaleler	Sektördeki Kullanıcılar
Rhino +Grasshopper	Rhino+ Grasshopper
Generative Components	Revit +Dynamo
Sketchup +Pluggins	Generative Components
Autocad+ Autolısp	
Diğerleri	

Parametresel tasarım yazılımı, 2008 yılında ortaya çıkarılan; Catia, 3D MAX, 3D Maya, Revit, Rhinoceros 3D tabanlı Grasshopper, Dynamo, GenerativeComponents, gibi birçok firma ve yazılım geliştiricisi tarafından geliştirilen yeni bir araçtır. Ancak Grasshopper, mimarlık, şehir planlama, yapısal çalışma, çevre analizi, makine mühendisliği, ses çalışması, tıp, moda, dekorasyon ve diğer alanlarda kullanılan en yaygın yazılımdır. Örneğin, Grasshopper'daki bir eklenti olan "Ladybug", herhangi bir yer için çevresel durum hakkında kapsamlı bilgiler içeren standart EnergyPlus hava durumu dosyasını (.epw) içe aktarabilir (Rogler, 2015). Ek olarak, bu çevresel bilgileri proje verilerine parametreli olarak bağlanabilir, böylece hava durumunun ve konumun incelenen proje üzerindeki etkisini anlaşılabilmektedir. Başka bir örnek, Grasshopper'daki bir eklenti olan "Honeybee"dir. Bu eklenti, OpenStudio, Daysim, Radiance ve EnergyPlus için bir motor olarak kullanılırken, gün ışığı analizi, güneş radyasyonu, ışın izleme çalışması, rüzgâr hızı, nem, ısıtma ve soğutma enerji tüketimi vb. verileri gösterebilir. Şekil 4.6’de bu eklentilerin yapabildiği analizleri göstermektedir.



Şekil 4.6. LadyBug ve Honeybee Eklentisi (Ladybug Tools, 2014)

Bu eklentiler aynı anda bağlanabilir ve birbirleriyle etkileşime girebilir, böylece daha iyi ve daha verimli sonuçlar elde edilmektedir. Düşük performanslı bir bilgisayar kullanarak aynı anda birçok parametreyle ilgilenebilmesine rağmen, Grasshopper karmaşık bir modeli işlemek için 3D MAX'e kıyasla iki ila beş dakika daha uzun sürebilir. Bununla birlikte, Grasshopper, Revit ve 3D MAX gibi parametrik tasarım yazılımlarına kıyasla doğru ve hızlı sonuçlar üretebilmektedir (Eltaweel ve Yuehong, 2017). Aşağıda verilen Şekil 4.7'de ki görseller çalışmalarda kullanılan parametrik tasarımını ve simülasyon araçlarını gösteren akış şemaları verilmiştir.



Şekil 4.7. Çalışmalardan elde edilen parametrik tasarım akış şeması ve araçları (Panya ve diğ., 2021; Tabadkani ve diğ., 2018)

Şekil 4.7'den çıkarılan modelleme için Rhinoceros programı kullanılmıştır. Parametrik tasarımı ve parametrelerin kontrolü için, Grasshopper kullanılmış ve hava durumu verileri güneş yolu ve denetlenmesi için Ladybug eklentisi kullanılmıştır. Analiz kısmında ise Diva, Daysim, Radiance eklentileri ile iklim tabanlı simülasyonu kullanılmış ve gün ışığı alan yüzdesi hesabı ile modelin hareketine göre yılın hangi zamanlarının verimli olduğu belirlenmiştir. Honeybee ise iç mekan konforu için gerekli metriklerin sonuçlarını göstermektedir. Energy Plus, enerji simülasyonu ile gölgeleme elemanı ile ne kadar enerji tasarrufu elde ettiğini göstermektedir. Bu kurgu çalışmalarda çok oldukça fazla kullanılmasının sebebi, günışığı değerlendirilmesi ve enerji kullanımı için gerekli tüm verileri analiz sonuçları ile göstermektedir. Fakat, parametrelerin fazla olmasından kaynaklanan, analiz sonuçları çok fazla veri içerebilir, tüm sonuçların arasından istenilen performansa hangi verinin uygun olacağının kararı genellikle, optimizasyon ile belirlenmektedir.

5. KİNETİK GÖLGELEME ELEMANLARI TASARIMINDA KULLANILAN OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ

Kinetik gölgeleme elemanı tasarımında, birçok parametrenin birbiriyle olan etkileşimini analiz etmek ve performans odaklı, sürdürülebilir çözümler üretmek amacıyla araştırmacılar optimizasyon yöntemlerine başvurmaktadır. Bu sistemlerde; enerji verimliliği, ışık-gölge kontrolü, yapısal optimizasyon gibi kriterler dikkate alınarak parametrik araçlar ile çok senaryolu analizler yapılabilmektedir. Örneğin, Jahanara & Fioravanti (2017), kinetik gölgeleme sistemini Rhino/Grasshopper ve DIVA yazılımlarıyla modellendikten sonra optimizasyon algoritmaları aracılığıyla günışığı performansı ve enerji yüküne ilişkin senaryoları karşılaştırarak tasarım alternatiflerini değerlendirmektedir (Jahanara & Fioravanti, 2017). Optimizasyon çalışmalarının vaat ettiği kapsamlı analize rağmen, değişkenlerin ilkel bir bina modeline bile dahil edilmesi, simülasyon çalıştırmalarının sayısını katlanarak artırabilir ve potansiyel olarak sonuç on binlere ulaşabilir. Özellikle, üst eşik değerleri olmayan sürekli değişkenlerin kullanımı, sonsuz sayıda simülasyonla sonuçlanabilir (Kim ve diğ., 2024).

Optimizasyon tekniklerinin önceden belirlenmiş kriterleri ister maksimize edilmiş ister minimize edilmiş olsun, en iyi çözüm alanı içinde arama sürecini yönlendiren yapılandırılmış bir karar alma çerçevesi, sağlamaktadır. Özellikle zaman içindeki çevresel değişikliklere uyum sağlayan dinamik gölgeleme sistemleri için, değişkenler iklim faktörlerini, zamansal koşulları ve gölgeleme cihazlarının yapılandırma parametrelerini kapsayabilmektedir (Chi ve diğ., 2021).

Gerçek hava koşullarının sayısız olasılığı nedeniyle öngörülemez iklimsel değişkenler, zamansal değişkenler, yıl boyunca gün ışığı saatlerinde dalgalanan güneş ışığı varlığı, kinetik gölgeleme elemanlarının, gün ışığı performansına göre tepkisel davranışları, kullanıcı konforu seviyesi, gölgeleme elemanı malzemelerinin özellikleri gibi etkenler, göz önüne alındığında birçok çalışmada optimizasyon süreci büyük önem taşımaktadır. Sonuç olarak, zamansal değişken, kinetik gölgeleme sistemleri hareket, dönme, yapıdan uzaklığı veya ölçek değişikliği gibi fiziksel eylemlerle saatlik olarak çevresel değişikliklere tepki verdiğinden, gölgeleme elemanlarının yapılandırmasını ve operasyonel parametrelerini önemli ölçüde etkiler. Bu nedenle, gölgeleme elemanlarının, geometrik özellikleri, çevresel değişikliklere yanıt vermedeki etkinliklerini belirler (Charpentier, 2020). Özetleyecek

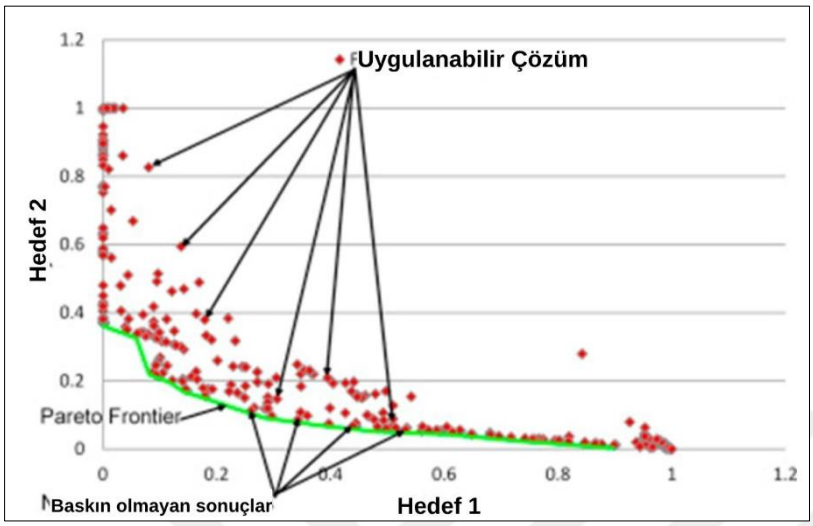
olursak hem iklimsel değişkenler hem de gölgeleme elemanlarının yapılandırma değişkenleri, optimizasyon sürecinde dikkate alınması gereken temel faktörleri oluşturur; bu değişkenlerin sadece iki kümesiyle bile, potansiyel genom sayısı ve karşılık gelen simülasyon çalıştırmaları binlere ulaşabilmektedir (Kim ve diğ., 2024).

Optimizasyon problemleri, hedef fonksiyonlarının sayısına göre, tek amaçlı optimizasyon problemleri ve çok amaçlı optimizasyon problemleri olarak ikiye ayrılabilir. Tek amaçlı optimizasyon problemlerinde, problemi çözmenin amacı, minimum veya maksimum değeri elde edilen yanıtın kalitesini tam olarak yansıtan tek bir hedef fonksiyonunu iyileştirmektir. Ancak bazı durumlarda, özellikle tasarım problemlerinde, yalnızca bir hedefe dayalı olarak bir optimizasyon problemine varsayımsal bir cevap puanlamak mümkün değildir. Bu tür problemlerde, birkaç hedef fonksiyonu tanımlamalı ve hepsinin değerini aynı anda optimize etmeliyiz. Çok amaçlı optimizasyon, optimizasyon konuları arasında en aktif ve yaygın olarak kullanılan araştırma alanlarından biridir. Mimari problemlerde iki tür sorundan bahsedilebilir, biri birkaç çatışan hedefin varlığı, diğeri ise çok karmaşık ve kapsamlı bir arama alanıdır. Bu nedenle, birçok çalışma, optimum çözümleri değerlendirmek ve elde etmek için Çok Amaçlı Optimizasyon tekniklerini uygulamaya çalışmıştır (Touissi, 2020).

Çok Amaçlı Optimizasyon yöntemi, genellikle birçok kinetik gölgeleme elemanı tasarımı çalışmalarında istenilen performansın birçok amacı optimize etmek için kullanılır ve özellikle evrimsel algoritmalara dayalı optimizasyon yöntemini kullanarak çözüm üretimi sağlanır. Genetik algoritmalar ise evrimsel optimizasyon algoritması türüdür. Evrimsel hesaplamalar ve genetik algoritmalar, çoklu hedefli sorunları çözmek ve arama uzayını taramak için verimli sonuçlar elde etmek için tasarımlarda kullanılmıştır (Estkowski, 2013). Mimarlıkta genetik algoritmalar kullanmak, parametrik tasarım ve performans odaklı analiz süreçleri için çok uygundur. Çünkü, performans ölçütleri sayısal olarak ölçülebilir, tasarımlar parametrelerle tanımlanabilir ve çok çeşitli kombinasyonlar denenebilir (Cassini, 2022).

Ayrıca, çalışmalarda kullanılan çok amaçlı optimizasyon problemlerinde, genellikle birbiriyle çelişen hedef fonksiyonlar vardır. Bu tür problemlerde tek bir en iyi çözüm yoktur onun yerine en iyi denge noktası vardır, bu denge noktaları kümesi Pareto Front kavramı ile açıklanır Kullanılan optimizasyon araçlarında bu kümelenme grafik üzerinde izdüşüm

olarak veri göstermektedir ve mimara en iyi çözüm uzayını sunmaktadır (Acar, Kaska ve Tokgoz, 2021).



Şekil 5.1. Örnek bir çalışmadaki pareto front grafiği (Machairas ve diğ., 2014)

Belirli problemlere uyarlanabilecek Genetik Algoritmanın birçok geliştirilmiş varyasyonu vardır. Birbiriyle çelişen birden fazla amaç fonksiyonlarını optimize etmek için; NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algortihm II), SPEA2 (Strenght Pareto Evolutionry Algorithm 2), MOEA/D (Multi- Objective Evolutionry Algorithm based on Decomposition) gibi pareto front kullanan, çok amaçlı versiyonlar geliştirilmiştir. Bunların arasında çalışmalarda en çok kullanılan NSGA-II versiyonudur, pareto frontu kullanır ve diğerlerine göre daha hızlı sonuç vermektedir (Deb, 2011). Özellikle son yıllarda çoğu araştırmada parametrik tasarım araçlarıyla birlikte geliştirilen ve birlikte kullanılan optimizasyon araçlarıyla doğruluğunun kontrol edilmesine büyük kolaylık sağlanmaktadır. Aşağıda son zamanlarda çalışmalarda çokça tercih edilen optimizasyon yöntemleri verilmiştir.

- Galapagos bunların en bilinen örneğidir, Grasshoper'ın eklentisi olan Galapagos, evrimsel algoritmalar kullarak parametrik modellerde optimum çözümler bulur. Tasarımcı değiştirilebilir parametreler ve hedef fonksiyonları tanımladıktan sonra Galapagos bu fonksiyonları minimize ya da maksimize eder. Güneş ışığı optimizasyonu, yapısal verimlilik gibi kullanım alanları vardır (Machairas ve diğ., 2014)
- MATLAB, matematiksel modelleme, analiz ve optimizasyon için çok yönlü bir platformdur. Hamdy ve diğerlerinin (2009) de belirttiği gibi, Matlab kullanımı tasarımcıya excel bağlantısı, veri tabanlarının kullanımı, veri analizi, çizim işlevleri, eğri

uydurma işlevleri, grafiksel kullanıcı arayüzü vb. gibi ek özelliklerinden yararlanma fırsatı verir (Hamdy, 2009).

- Octopus, başka bir Grasshopper eklentisidir, çok hedefli evrimsel optimizasyon sağlamaktadır. Galapagos ile farkı birden fazla hedefi aynı anda değerlendirebilir. Enerji verimliliği, Ladybug ve Honeybee ile kullanıldığında çevresel analiz ve bina performans değerlendirmesi yapabilir (Robert McNeel & Associates.).
- Autodesk Revit+Dynamo+ Refinery, Dynamo ile oluşturulan parametrik modellerin çoklu senaryo değerlendirmesini ve optimizasyonunu yapar. Mimaride yerleşim düzeni gün ışığı erişi gibi konulara optimizasyon sunar (Turrin ve diğ., 2011).

Günümüzde çokça kullanılan ancak bina tasarımının optimizasyonuna odaklanan makalelerde nadiren bulunan diğer bazı evrimsel algoritmalar, parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO), simüle edilmiş tavlama (SA) ve karınca kolonisi optimizasyonudur. PSO algoritması üçü arasında en yaygın olanıdır ve termal simülasyon yazılımı ile birleştirme sunan hazır rutinlere sahip genel bir optimizasyon programı olan GenOpt'ta uygulanmıştır. (Machairas ve diğ., 2014).

6. BÖLÜM SONUCU

Tezin literatür çalışması kısmına kadar elde edilen verilerle, gölgeleme elemanı tasarlayabilmek için her adımda karşılaşılan konu başlıkları ortaya konmuştur. Gölgeleme elemanından beklenilen performans kriterleri, bu kriterlere etki eden dış ortam koşulları, kullanıcı ihtiyaçları, iç mekân termal ve görsel konforu için gün ışığı ölçüm metotları ve yöntemleri açıklanmıştır.

Bu verilerin sonucunda günümüzde özellikle sıcak iklim bölgelerinde soğutma enerjisine olan ihtiyacı düşürmesini ve aynı zamanda istenilen iç mekân konforunu sağlamaya yardımcı en etkili gölgeleme elemanının, kinetik gölgeleme elemanı olduğu görülmüştür. Kinetik gölgeleme elemanı tasarımı yapabilmek için ise günümüzde, teknolojik araçlarıyla kolaylıkla kullanabilen, dış ortam hava şartlarına yanıt verebilen ve istenilen forma performans gereksinimleri gereği kolaylıkla ulaşılmasına müsaade eden parametrik tasarımdan yararlanılmaktadır. Değişkenlerin çokluğunun ve kontrol edilebilirliği açısından parametrik tasarım ve geleneksel tasarım yöntemleri arasındaki fark incelenmiştir ve son yıllarda parametrik tasarımın daha etkin kullanıldığı görülmüştür. Parametrik tasarım yöntemlerinin neler olduğu ve araçlarının günümüzde kolaylıkla nasıl kullanıldığı ve bu araçlarla bütünleşmiş iklimsel verileri simüle eden eklenti araçları açıklanmıştır. Parametrik tasarım oluşturulduktan sonra, istenilen performansa uygunluğunu kontrol eden ve uygun çözümü bulmaya yardımcı olan, optimizasyon yöntemleriyle ve parametrik tasarım araçlarına eklenti optimizasyon araçları açıklanmıştır. Kinetik gölgeleme elemanı tasarımı için gerekli tüm parametreler literatürden alınan verilere göre bu tezde, iki ana başlık altında toplanmış ve Çizelge 6.1'de verilmiştir. Bunlar, gölgeleme elemanına doğrudan etkiyen faktörler ve gölgeleme elemanından bağımsız bulunduğu ortamın özelliklerinden oluşan faktörler olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Kinetik gölgeleme elemanı yalnızca kendi özelliklerinden değil aynı zamanda dış ortam koşulları, kullanıcı kriterlerinden veya ortamdan yansıyan ısı, ışık nem gibi faktörlere bağlı olabildiğinden elemandan bağımsız ortam özellikleri, tasarım için çok önemlidir. Bu nedenle dış ortam koşulları ve gölgeleme elemanına doğrudan etkiyen bağımsız değişkenler, kinetik gölgeleme elemanı tasarımından ayrı düşünülemez. Çizelge 6.1., kinetik gölgeleme elemanı tasarımı için gerekli olan tüm değişkenleri vererek, araştırmacılara ve mimarlara, çalışmalarına kolaylık sağlayacak ve özet bir literatür niteliği taşımaktadır.

Çizelge 6.1. Kinetik gölgeleme elemanı tasarımı için gerekli parametreler

<table>
<tr><th colspan="4">Kinetik Gölgeleme Elemanı Tasarımı İçin Gerekli Parametreler</th></tr>
<tr><td colspan="2">Gölgeleme Elemanın Tasarımını Doğrudan Etkileyen Faktörler</td><td colspan="2">Gölgeleme Elemanından Bağımsız Bulunduğu Ortamın Özellikleri</td></tr>
<tr><td>Formu
- Düşey Panjur
- Yatay Panjur
- Karma Tasarım
- Uzay Kafes Vb.</td><td>Tasarım Performans Hedefi
- Görsel Konfor,
- Termal Konfor,
- Enerji Tasarrufu Vb.</td><td>- Binanın Konumu ve İklim Özellikleri
- G.E. Bina Cephesindeki Konumu (Kuzey, Güney Vs.)</td><td>- Bina Tipi (Ofis, Okul, Hastane Vs.)

- Kişi Sayısı</td></tr>
<tr><td>Gün Işığı Performans Ölçütü Ve Yöntemi
- ASE
- sDA
- DGP
- EUI Vb.</td><td>Gölgeleme Elemanın Hareketi
- Dönme
- Katlanma
- Kayma Vs.</td><td>- Kullanıcının İç Mekandaki Konumu

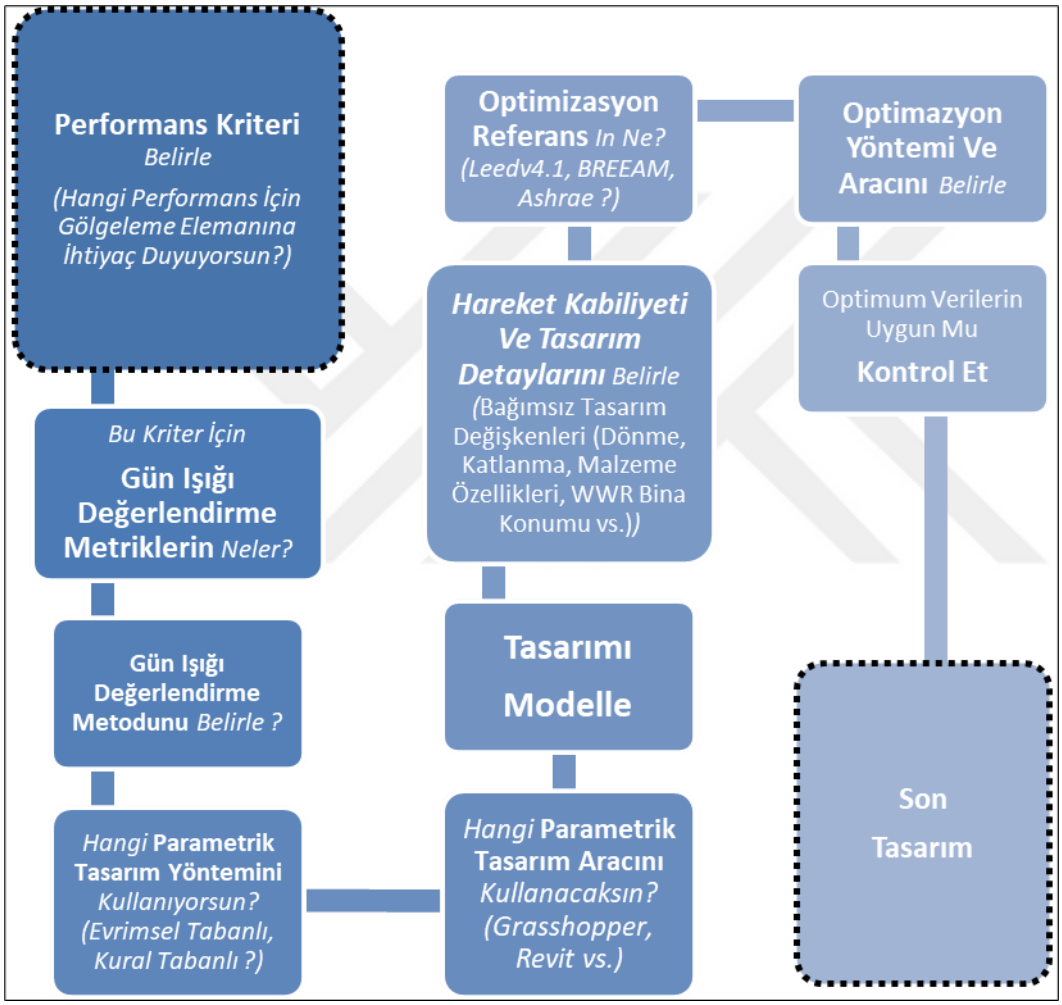
- HVAC Sistemi</td><td>Bina Cephesi Pencere Duvar Oranı (WWR)</td></tr>
<tr><td>Parametrik Tasarım Yöntemi Ve Aracı
- Biçim Grameri Dayanan Tasarım
- Genetik Algoritmalara Dayanan Tasarım</td><td>Malzeme Özellikleri
- Materyal (Ahşap, Metal, Plastik Vs.)
- Saydamlık Oranı
- Renk
- Yansıtıcılık Oranı
- Sayı</td><td colspan="2">Bulunduğu Ortamdaki Malzeme Özellikleri Değerleri (İç-Dış Duvar, Zemin, Tavan)
- Kalınlık
- İletkenlik
- Isıl Emicilik
- U, R Değerleri
- Yansıtıcılık Değeri Vs.</td></tr>
<tr><td>Optimizasyon Yöntemi ve Aracı
- Çok Amaçlı Optimizasyon (MOO)
- NSGA II Vb.
- Simülasyon Araçları (Ladybug, Honeybee Vs.)</td><td>Tasarım Detayları
- Yapı Cephesinden Uzaklığı
- Gölgeleme Elemanı Derinliği
- G.E. Boyutu (Ölçek)
- Panjur İse Açılıp Kapanma Oranları
- G.E. Eğim Açıları Vs.</td><td colspan="2">- Dış Hava Bağıl Nem

- İç Mekânda Varsa Yapay Aydınlatma

- Güneş Radyasyonu</td></tr>
</table>

Tabloda yer alan parametrelerin hangi sırayla kullanılacağı ve bu parametrelerin tasarım sürecinin hangi aşamalarında değerlendirilmesi gerektiğini daha sistematik ve anlaşılır bir şekilde ortaya koymak amacıyla kapsamlı bir akış şeması hazırlanmıştır. Bu akış şeması, kinetik gölgeleme elemanı tasarımında izlenmesi gereken süreci adım adım tanımlayarak, tasarım kararlarının ardışık yapısını ve bu kararların hangi performans parametreleriyle

ilişkili olduğunu görselleştirmektedir. Aynı zamanda, her bir tasarım aşamasında dikkate alınması gereken çevresel, işlevsel ve estetik kriterler ile bu kriterlerin hangi tasarım girdileriyle örtüştüğünü açıkça ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda geliştirilen şema, özellikle erken tasarım aşamasında karar verme süreçlerini kolaylaştırmayı, tasarımcıya bütüncül bir perspektif sunmayı ve performans odaklı tasarım yaklaşımının yapısal olarak nasıl kurgulanabileceğine dair yol gösterici bir araç sunmayı hedeflemektedir.



Şekil 6.1. Kinetik gölgeleme elemanı akış şeması

Söz konusu akış şeması, literatürde yer alan hem güncel hem de geçmiş dönem çalışmaların bulguları ile bu araştırma kapsamında elde edilen nitel ve nicel veriler dikkate alınarak sistematik biçimde tasarlanmıştır. Kinetik gölgeleme elemanı tasarım sürecine doğrudan etki eden iklim verileri, kullanıcı gereksinimleri, enerji performansı, gün ışığı kontrolü, malzeme özellikleri gibi çok boyutlu parametreler; birbirleriyle olan etkileşim düzeyleri, bağımlılık ilişkileri ve performans üzerindeki etkileri gözetilerek bütüncül bir çerçevede bir araya

getirilmiştir. Bu yaklaşım, yalnızca mevcut araştırmanın metodolojik temelini oluşturmakla sınırlı kalmayıp; farklı iklim bölgeleri, bina tipolojileri ve kullanım senaryoları için uyarlanabilir esnek bir analiz, karar verme ve optimizasyon aracı olarak da değerlendirilmektedir.

Metodoloji şemaları, mimarlık ve sürdürülebilir tasarım araştırmalarında, karmaşık sistemlerin çok boyutlu ilişkilerini açıkça ortaya koymak ve tasarım sürecinin doğrusal olmayan yapısını yönetilebilir hâle getirmek amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Bu tür şemalar, özellikle parametreler arası etkileşimin yüksek olduğu kinetik gölgeleme elemanları gibi disiplinler arası konularda, tasarımcı ve araştırmacılara hem kavramsal hem de operasyonel düzeyde yol gösterici bir araç işlevi görmektedir. Mevcut çalışmada oluşturulan akış şeması, literatürde çoğu zaman dağınık hâlde sunulan bilgi parçalarını tek bir sistematik yapı altında birleştirerek, karmaşık tasarım süreçlerinin daha anlaşılır, karşılaştırılabilir ve yeniden üretilebilir bir biçimde modellenmesine olanak sağlamaktadır.

Bu yönüyle şema, yalnızca çalışmanın kuramsal altyapısını güçlendirmekle kalmamakta; aynı zamanda gelecekte yapılacak araştırmalarda benzer sistematik yaklaşımların geliştirilmesine zemin hazırlayabilecek bir referans modeli niteliği taşımaktadır. Tezin metodoloji bölümünde yer alan tasarım süreci kurgusu da bu akış şeması üzerine inşa edilmiştir. Böylelikle hem teorik çıkarımların hem de tasarım yöntemlerinin nasıl uygulanacağına dair yönlendirmelerle birbirini tamamlayan bir bütünlük içinde ilerlemesi sağlanmış; araştırma, metodolojik tutarlılık ve tasarım açısından pratik fayda sunan bütüncül bir çerçeve sunmuştur.

7. MATERYAL VE METOT

Tezin bu bölümünde, 2015–2025 yılları arasında literatürde yayımlanan toplam 103 çalışma incelenmiş; kinetik gölgeleme elemanı tasarımlarına ilişkin bilgiler doğrultusunda yapılan değerlendirme sonucunda, 59 çalışma analiz kapsamında yer almaya uygun bulunmuştur. Bu seçili çalışmalarda öncelikli olarak ele alınan bina fonksiyonu, iklim bölgesi ve yerel iklim verileri gibi parametreler ayrıntılı şekilde incelenmiş; her bir çalışmanın bulunduğu iklimsel bağlam doğrultusunda tasarım hedefleri belirlenmiştir. Belirlenen iklim verilerine göre, gölgeleme elemanının tasarım hedefleri tanımlanmış ve bu hedeflere ulaşmak amacıyla, gölgeleme elemanı tasarımında etki olan bağımsız değişkenler ve bağımlı değişkenlerin ilişkisi irdelenmiştir. Kullanılan optimizasyon yaklaşımları ile bu yaklaşımlar doğrultusunda elde edilen optimum değerler analiz edilmiştir.

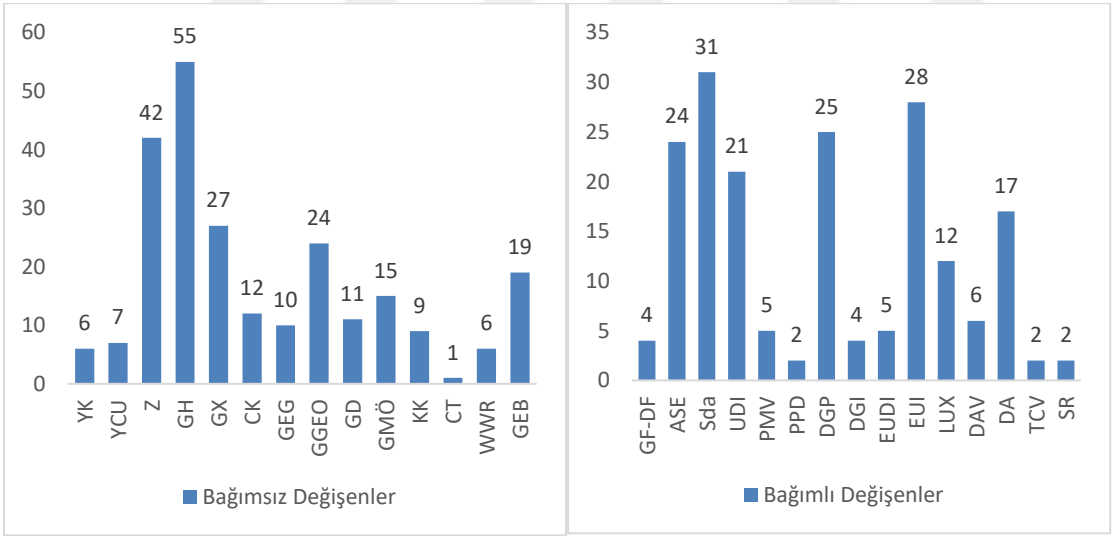
İncelenen çalışmalarda bağımsız ve bağımlı değişkenler tanımlandıktan sonra, tasarım sürecinde kullanılan modelleme yöntemleri, simülasyon araçları ve optimizasyon tekniklerine dair bilgiler sistematik biçimde sınıflandırılmıştır. Elde edilen bulgular doğrultusunda her bir çalışmanın tanımladığı hedefe ulaşıp ulaşmadığına dair değerlendirmeler yapılmış ve sadece performans iyileştirmesi olan çalışmalar dikkate alınmıştır. Bu verilerin bütüncül bir şekilde sunulabilmesi ve karşılaştırılabilirliğinin artırılması amacıyla, bu tez kapsamında özgün bir yöntemle geliştirilen "Kinetik Gölgeleme Elemanı Literatür Değerlendirme Tablosu" oluşturularak analiz süreci yapılandırılmıştır. Bağımlı değişkenler tasarımcının performans hedefine göre belirlendikten sonra, bu hedef için optimum bağımsız değişkenler belirlenir. Bağımsız değişkenler, tasarımın özgünlüğüne bağlı olarak; zaman, yapının konumu, gölgeleme elemanı hareketi (dönme, kayma, katlanma vb.), açıklık kapalılık oranı, yapı cephesinden uzaklığı, gölgeleme elemanı malzeme özelliği, gibi birçok değişkenlerden oluştuğu belirlenmiştir. Çalışmaların performans hedeflerine göre sınıflandırmak, aynı performansa hangi değişkenlerin hizmet ettiğini görebilmeyi sağlamak için, çalışmalar öncelikle amaçlarına göre tasnif edilmiştir ve Çizelge 7.1’de gösterilmiştir. Ayrıca tasarımcıların, gölgeleme elemanı tipi ile hedefleri arasında ilişki kurulabilmesi açısından tabloda ayrıca gösterilmiştir. Bu çizelgede bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında bir iletişim varlığı incelenmiş ve değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Çizelge 7.1. Kinetik gölgeleme elemanı literatür değerlendirme tablosu

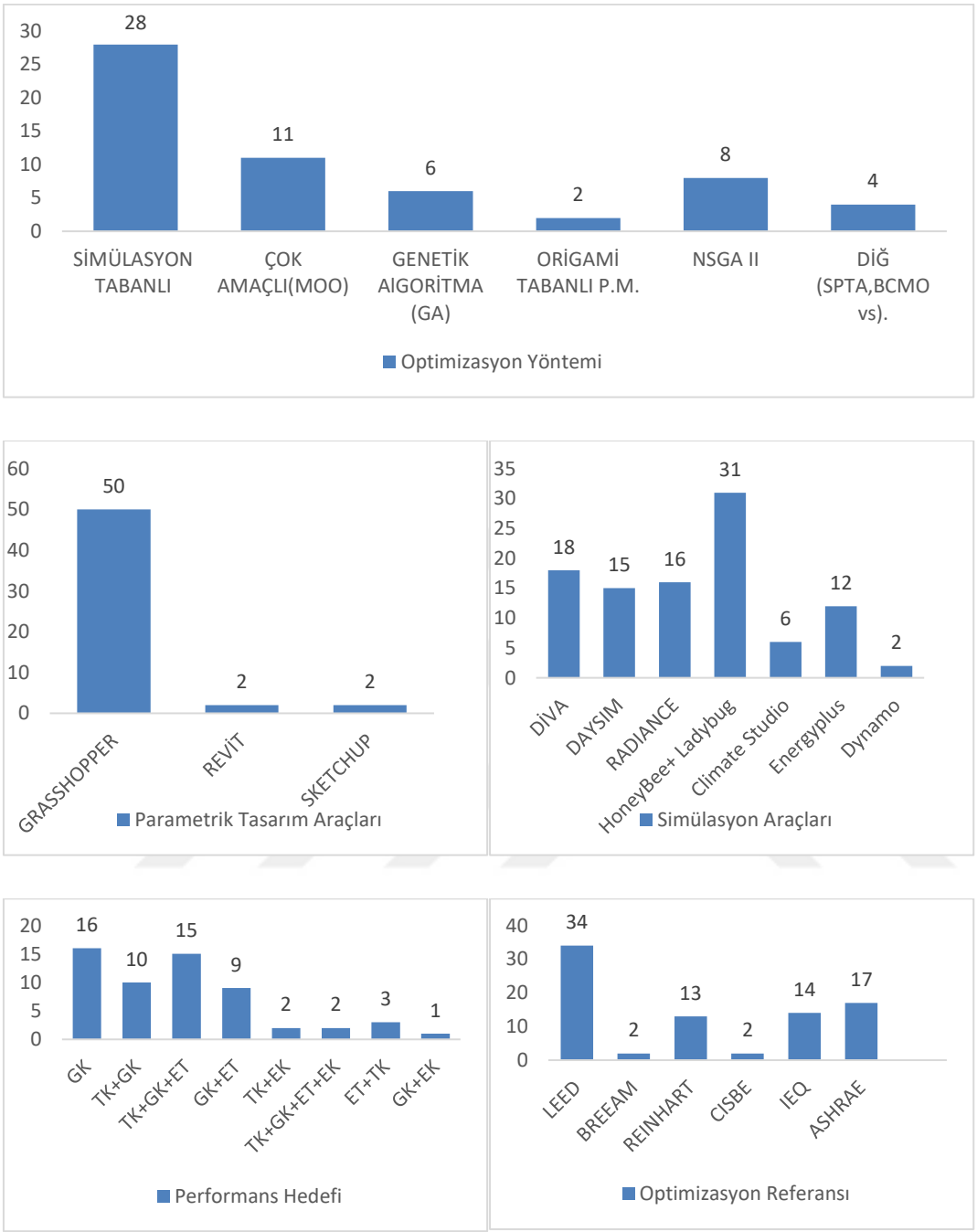
PERFORMANS HEDEFİ (ÇALIŞMA SAYISI)	BAĞIMSIZ DEĞİŞKENLER																BAĞIMLI DEĞİŞENLER																ELEMAN FORMU			
	Y.K	YCU	Z	G.H.	G.X.	C.K.	G.GEO.	G.E.G	G.D.	G.M.Ö	K.K.	C.T.	WWR	G.E. B.	GF- DF	ASE	sDA	UDI	PMV	PPD	DGP	DGI	EUDI	EUI	LUX	Dav	Da	TCV	SR	YATAY PANJUR	DİKEY PANJUR	KARMA-HİBRİT	UZAY- KAFES
	YAPININ KONUMU	YAPI CEPHESİNDEN UZAKLIK	ZAMANLAR (EKİNOKS GÜNLERİ, SAATLER)	G.E. HAREKETİ (DÖNME - KAYMA - KATLANMA-AÇILIP KAPANMA ORANLARI)	G.E. VAR OLUP OLMAMA DURUMU	G.E. CEPHE KONUMU VEYA YÖNÜ	G.E. GEOMETRİSİ VE YÖNELİMİ (YÜKSEKLİK, UZUNLUK, DİKEY, YATAY, KARMAŞIK SİSTEM)	G.E. MALZEME GEÇİRGENLİĞİ (SAYDAMLIK-OPAKLIK- YANSITICILIK)	G.E. DERİNLİĞİ(Y AKS)	G.E. MALZEME ÖZELLİKLERİ (MATERYAL,RENK , SAYI)	KULLANICI KONUMU	CAM TÜRÜ	PENCERE ORANI (WWR)	G.E. BOYUTU (ÇİÇEK, EN, BOY)	GÜN IŞIĞI FAKTÖRÜ	YILLIK GÜN IŞIĞINA MARUZ KALMA	MEKANSAL GÜN IŞIĞI ÖZERKLİĞİ	FAYDALI GÜN IŞIĞI AYDINLIK DÜZEYİ	ÖN GÖRÜLEN ORTALAMA OY	BEKLENEN YÜZDE MEMNUNİYETSİZLİK	GÜNIŞIĞI PARLAMA OLASILIĞI	GÜNIŞIĞI PARLAMA ENDEKSİ	AŞILMIŞ FAYDALI GÜNIŞIĞI AYDINLIĞI	ENERJİ KULLANIM YOĞUNLUĞU (kwh/m²a)	GÜN IŞIĞI PERFORMANSI	GÜN IŞIĞI KULLANILABİLİRLİĞİ(daylit, overlit,partially)	GÜNIŞIĞI OTONOMİSİ (gÜN IŞIĞI ÖZERKLİĞİ - GÜN IŞIĞI OTONOMİSİ)	TERMAL KONFOR İHLALİ	SOLAR RADYASYON				
GÖRSEL KONFOR (16)	3		15	D8 KY2 / KT5 AK6	9	4	8	3	2	M2 / S3	3		2	3		6	8	13			13	2	1	2	4	2	2			4	2	10	8
GÖRSEL KONFOR TERMAL KONFOR (10)	1	1	9	D7 KY1 / KT6 AK6	7	1	3	1	2	R1 / M1	4	1	3	3		7	8	5			7	1	3	1	4	1	4			1	1	7	6
GÖRSEL KONFOR TERMAL KONFOR ENERJİ TASARUFU (15)	1	2	8	D11 KY2 / KT3 AK9	5	3	7	6	3	M3 / S3	1		1	5	2	6	6	7	4	2	2	1	1	12	4	1	8	2	1	9	2	4	5
TERMAK KONFOR ENEJİ KAZANIMI (2)		1	1	AK1	1									1		2	6	7			2			2						1	6	6
GÖRSEL KONFOR ENERJİ TASARUFU (9)		2	6	AK6 KT3 / D6 KY1	2	2	2		3	S1	1		1	4	2	3	5	4			2			6	4	1	3			1	-	7	7
GÖRSEL KONFOR ENERJİ KAZANIMI ENERJİ TASARUUF (1)			1		1		1											1						1						-	-	1	1
GÖRSEL KONFOR TERMAL KONFOR ENERJİ TASARUFU ENERJİ KAZANIMI (2)	1	1	1	D2			1			S				1		1	2	1	1		1			2					1	1	-	1	-
TERMAL KONFOR ENERJİ TASARUFU (3)			1	D1 AK1 / KT1	2	1	2		1					2			1							3						-	-	3	-
GÖRSEL KONFOR ENERJİ KAZANIMI (1)				KT1		1										1	1							1						-	-	1	1

* Z: Zaman, YK: Yapı Konumu, GH: Gölgeleme Elamanı Hareketi (D: Dönme, KT: Katlanma, KY: Kayma, AK:Açılıp Kapanma), GMÖ: Gölgeleme Elemanı Özelliği (R: Renk, S: Sayı, G: Geçirgenlik, M: Malzeme), GD: Gölgeleme Elemanı Derinliği, GGEO: Gölgeleme Elemanı Geometrisi, GEB: Gölgeleme Elemanı Boyutu, GX: Gölgeleme Elemanı Varlığı, KK: Kullanıcı Konumu, YCU: Yapı Cephesinden Uzaklığı, CK: Cephedeki Konumu, TK: Termal Konfor, GK: Görsel Konfor, EK: Enerji Kazanımı, ET: Enerji Etkinliği.

Tabloda verilen çalışmaların, bağımsız değişkenleri ve bağımlı değişkenleri arasında kurduğu ilişki, optimizasyon yöntemi ve referansı, geometrik biçimleri verilmiştir. Bu tezde, gölgeleme elemanı tasarımını oluşturan bağımlı değişkenlerin aynı amaca yönelik hareket, özellik veya detaylarının, benzer bağımsız değişkenlerle aralarındaki ilişki olduğu görülmektedir. Bu ilişkilerin birçok çalışmada benzerlik göstermesi, aralarındaki ilişkilerin karşılaştırılmalı analizi ile ortaya konmuş bu da aynı performans amacı için oluşturulan kinetik gölgeleme elemanı tasarımlarına yeni tasarım yöntemleri oluşturabileceğini göstermektedir. Bu yöntemlerin oluşturulması, gelecekte birçok gölgeleme elemanı çalışmasına kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir. Bu ilişki değerlendirilirken; performans amacına göre, gün ışığı değerlendirme metrik ve metotların, bağımsız değişkenleri oluşturacağından, ilk aşama olarak performans amacının belirlenmesi olması gerektiği kararı verilmiştir. Daha sonra bu amaca yönelik tasarıma etkiyen bağımlı değişkenlerin (malzeme özellikleri, zaman, eleman hareketi vs.), bağımsız değişkenlere etkisi sıralanmıştır. Bu karşılaştırılmalı analize göre 5 farklı amaç oluşturulmuştur ve aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.



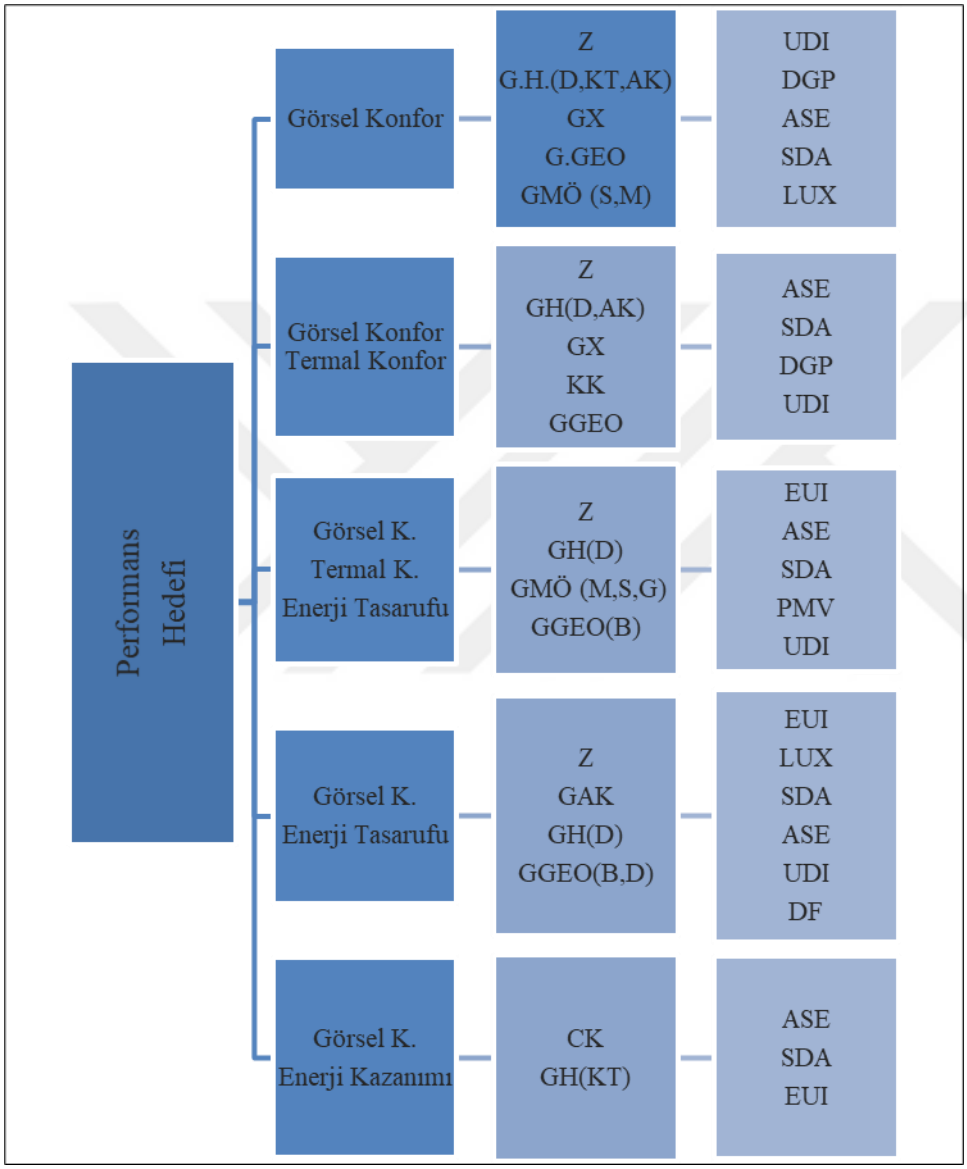
Şekil 7.1. İncelenen çalışmalardaki genel bilgiler ve yoğunluk grafikleri



Şekil 7.1. (devam) İncelenen çalışmalardaki genel bilgiler ve yoğunluk grafikleri

Şekil 7.1'de ki grafikler çalışmaların performans hedefi, bağımsız değişkenler, bağımlı değişkenler, optimizasyon yöntemi, optimizasyon araçları, parametrik tasarım ve simülasyon araçlarını göstermektedir. Son 10 yılda yapılmış olan 59 çalışmanın çoğunlukla simülasyon tabanlı optimizasyon yöntemi ve parametrik tasarım araçlarından Rhino + Grasshopper aracını kullandığı görülmektedir. Bu tür yazılımlar tasarım süreci için gerekli olan simülasyon ve optimizasyon eklenti araçlarına sahip olduğundan çoğunlukla diğer modelleme araçlarına kıyasla daha fazla tercih edildiği görülmektedir. Tüm bu veriler

kapsamında bağımlı ve bağımsız değişkenlerin arasında kurulan ilişki Şekil 7.2' de ki akış grafiklerinde gösterilmektedir. Benzer amaçlarla tasarlanan kinetik gölgeleme elemanına etkiyen bağımsız değişkenlerin benzer bağımlı değişkenlere etkisi araştırmalarda dikkat çekmektedir.



Şekil 7.2. İncelenen çalışmalardan amaca yönelim tasarım yöntemleri

Şekil 7.2 kapsamında, gelecekte gerçekleştirilecek çalışmalarda kullanılmak üzere bağımlı değişkenlerin bağımsız değişkenlerle olan ilişkisini gösteren bir iletişim yapısı ortaya konmuştur. Bu grafiksel temsiller, özellikle kinetik gölgeleme elemanı tasarımı üzerine yapılacak araştırmalarda, tasarım sürecinde karşılaşılan karar verme aşamalarında ve tasarım

detaylarının belirlenmesinde araştırmacı ve tasarımcılara kolaylık sağlamayı amaçlamaktadır.

Grafiklerin oluşturulmasında, son on yıl içerisinde literatürde yayımlanmış çalışmalar temel alınmış; bu çalışmalar arasındaki referanslar karşılaştırmalı bir analiz yöntemiyle incelenerek sadeleştirilmiş ve ortak hedeflere uygun yöntemsel yaklaşımlar ortaya çıkarılmıştır. Grafiklerde yer alan değişkenler, benzer tasarım amaçlarına sahip çalışmaların frekanslarına göre değerlendirilmiş; belirli bir tasarım amacı doğrultusunda değerlendirilen çalışmalarda %50'nin üzerinde tekrar eden değişkenler "ana etken" olarak tanımlanmıştır. Bu yaklaşım, tasarım sürecinde kritik rol oynayan parametrelerin önceliklendirilmesini mümkün kılarak, özellikle erken tasarım aşamasında karar destek aracı olarak işlev görmesini hedeflemektedir.

Söz konusu analiz, kinetik gölgeleme elemanı tasarım sürecinde yer alan "tasarım detayı belirleme" aşamasının sistematik biçimde yapılandırılmasına katkı sağlamış ve bu aşama, literatür incelemesinin sonunda yer alan genel akış şemasıyla bütünleştirilerek kapsamlı bir yol haritası oluşturulmuştur. Bu yol haritası, çalışmanın temel çıktılarından biri olarak, Çizelge 7.2'te grafiksel olarak sunulmaktadır.

Çizelge 7.2. Kinetik gölgeleme elemanı tasarımı için önerilen kılavuz

<table>
<tr><td colspan="8">İlk Veri: BİNA VE KONUM</td></tr>
<tr><td rowspan="14">BİRİNCİ ADIM</td><td>İklim Verileri</td><td colspan="6">Energy Plus Weather, Clımate Studıo Vs.</td></tr>
<tr><td rowspan="13">Performans Hedefi</td><td rowspan="13">Gün Işığı Değerlendirme Metrikleri</td><td>Performans Hedefi</td><td>BİRİM</td><td>OKUL</td><td>KONUT</td><td>OFİS</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Görsel Konfor</td><td>DGP</td><td>≤ 0.35 (iyi)</td><td>≤ 0.35 (iyi)</td><td>≤ 0.35 (iyi)</td></tr>
<tr><td>DGI</td><td>≤ 21 (ideal)</td><td>≤ 21 (ideal)</td><td>≤ 21 (ideal)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">GK+ TK</td><td>UDI</td><td>≥ 60% önerilir</td><td>≥ 50% yeterli</td><td>≥ 60% önerilir</td></tr>
<tr><td>LUX 100-2000</td><td>300-500</td><td>100-300</td><td>300-500</td></tr>
<tr><td>sDA 300/50</td><td>≥ 55%</td><td>≥ 55%</td><td>≥ 55%</td></tr>
<tr><td>ASE 1000/ 250</td><td>≤ 10%</td><td>≤ 10%</td><td>≤ 10%</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Termal Konfor</td><td>TCV</td><td>Anket</td><td>Geri bildirim</td><td>Subjektif</td></tr>
<tr><td>PPD</td><td>≤ 10% Memnuni yetsiz</td><td>≤ 10% Memnuniyet siz</td><td>≤ 15% Memnuniyet siz</td></tr>
<tr><td>PMV</td><td>≤ 80</td><td>≤ 50–70</td><td>≤ 100</td></tr>
</table>

Çizelge 7.2. (devam) Kinetik gölgeleme elemanı tasarımı için önerilen kılavuz

		Enerji Etkinlik Ölçütü	Enerji Kullanım Yoğunluğu	EUI	≤ 80	≤ 50–70	≤ 100
			Elektrik Tüketim Değeri	Kwh	70-110 kWh/m².yıl	40-90 kWh/m².yıl	90-160 kWh/m².yıl
			Yıllık Kullanım Maaliyeti	₺/ yıl	-	-	-
Tasarım Girdisi Bağımlı Değişkenler Belirlendi.							
İKİNCİ ADIM	Tasarım Detayı	Direkt	Gölgeleme Elemanı Hareketi	Dönme	Katlanma	Kayma	Ölçek
			Eleman Konumu	Yapı Kabuğu İçinde	Kabuk İçinde	Kabuk Dışında	Kabuk Dışından Uzaklığı
			G.E.M.Ö.	Renk	Sayı	Materyal	Geçirgenlik
			Geometrik Değişkenliği	G.E. Derinlik	Boyut		
		Ortam Verisi	Kullanıcı Konumu	HVAC Sistemi		Ortam Yüzeylerinin Özellikleri	
			WWR	Açıklığın Cephesi		Kişi Sayısı	
Tasarım Girdisi Bağımsız Değişkenler Belirlendi.							
ÜÇÜNCÜ ADIM	Tasarım Yöntemi	YÖNTEM	Kural Tabanlı + Evrimsel Tabanlı+ Yatay + Düşey + Karma				
		ARAÇ	TASARIM	Grasshopper+ Rhino	Revit + Dynamo		Gc
			ENERJİ ANALİZİ	Ecotect Energy Plus Radiance Energy Plus Radiance Daysim	Green Building Studio Energy Analysis For Dynamo		Energy Plus Dynamo
			ÇEVRESEL ANALİZ	Ladybug + Honeybee Vs.	Ladybug + Honeybee, ClimateStudio,Vs.		Geco , Ecotect
Model ve Simülasyon Verileri Oluşturuldu.							
DÖRDÜNCÜ ADIM	Optimizasyon	Yöntem	Çok Amaçlı O.	Simülasyon Tabanlı O.	Genetik Algoritmalar		
		Araçlar	GALAPAGOS	WALLIENCE	OCTOPUS	DYNAMO+OPTİMO	
		Referans	LEED	BREAM	CISBE	REINHART	
Tasarlanan modelin performans hedefi için optimum tasarım detayı (bağımsız değişken) bulundu. Son Tasarıma Karar verildi.							

Hazırlanan kılavuz, araştırmacının kabul ettiği varsayımlar doğrultusunda, belirli bir konumda yer alan (iklim verileri ve coğrafi konumu tanımlanmış) bir yapı için kinetik gölgeleme elemanı tasarımı yapılmak istendiği varsayılan örnek bir senaryo üzerinden kurgulanmıştır. Yol haritasının ilk aşamasında, tasarımın performans hedefine uygun olarak kullanılacak gün ışığı değerlendirme metrikleri belirlenmiştir. Ardından, bu performans hedefi doğrultusunda tasarımın detayları, literatürde sunulan yöntem ve stratejiler temel alınarak seçilmiş ve bu kapsamda tasarım değişkenleri tanımlanmıştır.

Bir sonraki adımda, belirlenen değişkenler doğrultusunda uygun parametrik tasarım yöntemleri ve dijital modelleme araçları seçilerek tasarım modeli oluşturulabilmektedir. Bu model, son aşamada ise uygun optimizasyon yöntemleri ve simülasyon araçlarıyla performans açısından test edilerek değerlendirilebileceği adımı oluşturmaktadır. Bu kılavuzu kullanan araştırmacı tasarımcılar, hedefledikleri performansa uygun kinetik gölgeleme elemanı tasarımına verilen adımlardaki kutuları işaretleyerek tasarımlarını oluşturması hedeflenerek, optimum sonucu alabilecekleri tasarımlar yapmaları hedeflenmiştir. Söz konusu yol haritasının, tasarımcılara ve alanında uzman araştırmacılara pratik bir rehberlik sağlayarak, kinetik gölgeleme elemanı tasarım sürecini sistematik ve uygulanabilir bir biçimde gerçekleştirmelerine katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mimarlar, yapılı fiziki çevrenin sadece işlevsel açıdan ihtiyaçlarına değil, çevresel tüm fayda ve zararlarından da sorumludur. Bu nedenle, mimarların günümüzde en önemli toplumsal sorunlardan olan iklim ve enerji krizleri gibi sorunlara karşı fiziki çevreye katkıda bulunan çözümler üretmesi sorumluluklarını yerine getirmesi açısından çok önemlidir. Sürdürülebilir bir çevre için mimarların çevreye duyarlı, enerji etkin ve toplumsal fayda gözeten tasarımlar yapmaları, bu sorunların çözümüne önemli ölçüde katkı sağlayabilir.

Özellikle, günümüz sıcaklıkların artması ve giderek artacağı ön görüsüyle binaların soğutmaya olan ihtiyacı her geçen yıllarda artacağı bilinen bir gerçektir. Bu nedenle özellikle sıcak iklimlerde binaların ısıtma- soğutma sistemlerine duyduğu ihtiyaç artmakta, dolaylı olarak bu sistemleri çalıştıracak enerji sistemlerini kullanma gereksinimleri de artmaktadır. Bu enerji sistemlerinin kullanımını azaltmak için doğal enerji ve ısı kaynağı olan güneşin, yapılar üzerindeki olumsuz etkinliğine çözüm olarak, gölgeleme elemanı üzerinde araştırmalar ve yenilikçi tasarımlar yapılmaktadır. Tez kapsamında, gölgeleme elemanı tasarımına etki eden tasarım parametreleri belirlenmiş, bu parametrelerin en etkin şekilde kullanımının, güneş ışıklarının geliş açısına, bulduğu çevrenin iklimsel verilerine, kullanıcının performans hedefine yanıt verebilen kinetik gölgeleme elemanları olduğu sonucuna varılmıştır.

Kinetik gölgeleme elemanı tasarımı; küresel sıcaklıkların artmasıyla gelecek yıllarda sürdürülebilir fiziki çevrede pay sahibi olan yapı sektöründeki binaların soğutmaya olan ihtiyacı problemini, azaltmak için en etkili çözüm yollarından bir tanesi olduğu anlaşılmıştır. Kinetik gölgeleme elemanı tasarımına etki eden birçok tasarım parametreleri olması, tasarım sürecini karmaşıklaştırmaktadır, bu nedenle diğer gölgeleme elemanlarından (sabit, hareketli vs.) çok daha verimli olmasına rağmen daha az oranla tercih edilmektedir. Bu tezde kinetik gölgeleme elemanı tasarımı için araştırmacılara karşılaştırmalı yöntem ile birçok çalışmadan alınan tasarım süreçlerinden yararlanılarak, yeni tasarım yöntemleri oluşturmuştur. Bu da kinetik gölgeleme elemanı tasarımı yapmak isteyen araştırmacılara kılavuz sağlayarak süreci kolaylaştıracağı ve tercih edilmesinin önündeki problemleri kaldıracağı düşünülmektedir.

Kinetik gölgeleme elemanı alanında bugüne kadar gerçekleştirilen çok sayıda çalışma, farklı bağlam ve amaçlara özgü yöntemler içermekte olup, her bir araştırmanın kendine has tasarım süreci kurgusuna sahip olduğu görülmektedir. Bu çeşitlilik, yeni bir kinetik gölgeleme elemanı geliştirmek isteyen araştırmacıların, mevcut çalışmalardaki yöntemleri doğrudan uygulamak yerine, tasarım parametrelerini yeniden değerlendirmesini ve sıklıkla baştan yapılandırmasını gerekli kılmaktadır. Bununla birlikte, literatürdeki yöntemlerin doğrudan karşılaştırılabilir olmaması, performans ölçütlerinin farklılık göstermesi ve veri değerlendirme süreçlerindeki çeşitlilik, tasarım sürecinin gereksiz yere uzamasına yol açabilmektedir. Ayrıca, çalışmaların kullanılabilirliğinin analiz edilmesi, yöntemlerin uygulanabilirliğinin sınanması ve tasarım parametreleri arasındaki etkileşimlerin net biçimde ortaya konması da araştırmacılar açısından zaman alan süreçsel zorluklar yaratmaktadır.

Bu tez, söz konusu karmaşıklığı azaltmak amacıyla, tasarım sürecine yönelik pratik ve sistematik bir kılavuz geliştirmeyi hedeflemektedir. Önerilen yöntem, tasarım sürecini sadeleştiren, adım adım yönlendiren ve tasarımcıya karar alma sürecinde kolaylık sağlayan bir yapı üzerine kuruludur. Çalışmada, tasarım yöntemleri performans hedefleri doğrultusunda sınıflandırılmış; tasarımcıların, önceden belirlenmiş hedeflere uygun olarak uygun yöntemi seçip yol haritasını takip etmesiyle optimum tasarımın elde edilmesi amaçlanmıştır. Ancak, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkilerin özellikle elemanın formu ile doğrudan bağlantılı olduğu dikkate alınarak, seçilen yöntemin yalnızca hedeflenen performans parametreleri açısından değil, tasarım parametreleri tablosunda yer alan tüm bağımsız değişkenler bakımından da kontrol edilmesi önerilmektedir. Bu yaklaşım, tasarımın yalnızca belirli bir ölçütü değil, bütüncül performansını da güvence altına almayı hedeflemektedir.

Geliştirilen kılavuz, tasarım sürecinin tüm aşamalarını sistematik biçimde tanımlamakta; ilk adımda tasarımcıdan performans amacına yönelik temel verilerin toplanmasını sağlamakta, ardından her bir aşamada hangi analizlerin yapılacağı, hangi karar noktalarının dikkate alınacağı ve hangi tasarım parametrelerinin değerlendirileceğini açık biçimde belirtmektedir. Bu sayede, yalnızca bina ölçeğinde genel bir tasarım yapmak isteyen bir mimar veya tasarımcı, yol haritasını takip ederek, bina tasarımından kinetik gölgeleme elemanının detaylı tasarım aşamasına kadar kesintisiz biçimde ilerleyebilmektedir. Böylelikle hem gelecek araştırmalarda hem de uygulama projelerinde kinetik gölgeleme

elemanı kullanımına yönelik pratik, tekrarlanabilir ve ölçeklenebilir bir yöntem sunulmuş olmaktadır. Bu yöntem, farklı iklim bölgelerinde, bina tipolojilerinde ve kullanıcı senaryolarında uyarlanabilecek esnekliği ile gelecekteki tasarım çalışmalarına da yön verebilecek potansiyel taşımaktadır.

Kılavuzu kullanacak olan gelecek çalışmalara öneri olarak;

- Yol haritası amaçlara göre sınıflandırılmıştır fakat tasarım süreci içerisinde diğer amaçlardaki yöntemlerinde incelenmesi gerektiği önerilmektedir.
- Kılavuzu kullanmadan önce kinetik gölgeleme elemanı tasarımlarıyla ilgili araştırma yapılması kılavuzun daha rahat bir biçimde okunması ve anlaşılması için önem taşımaktadır. Gerekli olan bilgisayar programlarını, simülasyonları ve tasarım yöntemleri hakkında öncesinde bilgi sahibi olmak, gerektiği takdirde disiplinler arası çalışmalar yapılması halinde ile kılavuzun daha da somut adımlar içereceği düşünülmektedir.
- Kılavuzu kullanırken dikkate alınması gereken konulardan bir tanesi, uygulama projelerinde veya prototip üretilme aşamasına geçilmesine karar verilirse, kullanılacak malzemeleri, üretim yöntemleri, üretim masrafları gibi konular dikkate alınarak kılavuzun gerekli yerlerde tekrar düzenlenmesi önerilmektedir. Aksi takdirde, enerji etkin kinetik gölgeleme elemanı üretimi esnasında oluşabilecek enerji kullanımı ve maaliyetleri, tasarımın amorti edebileceğinden büyük miktarlar çıkarabilmesi öngörülmektedir. Bu nedenle, üretim odaklı tasarım yapan araştırmacı ya da tasarımcıların, hesaplamalı optimizasyon yöntemleri kullanılması önerilmektedir.
- Çalışmada teknolojik gelişmelerle güncel olarak denetlenmesi açısından, son 10 yılın çalışmaları değerlendirilmiştir. Bu gelecek yıllardaki yapılacak olan çalışmaların eklenmesi ile sonuçların değişebileceği durumu oluşması muhtemeldir. Bu nedenle çalışmalarda bulunan yeni yöntemler diğer yöntemlerin girdilerinde göz önüne almalarında fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

Sonuç olarak, bu araştırma, teknik sınıflandırmayı ve tasarım pratikliğini birleştirerek sürdürülebilir mimariye anlamlı bir çerçeve katmaktadır. Kinetik gölgeleme tasarım sürecini performansa dayalı hedeflerle uyumlu hale getirerek, mimarların ve araştırmacıların daha verimli, çevreci ve sürdürülebilir yapı kabukları geliştirmelerini sağlayarak, yarının sürdürülebilir şehirlerini şekillendirmede önemli bir rol oynamaktadır. Yakın gelecekte karşı

karşıya olduğumuz iklim krizleri ve enerji krizine, özellikle sıcak iklimlerin ihtiyacı olan soğutma enerjisini büyük oranda düşürecek kinetik gölgelerini elemanın tasarımını pratik hale getiren bu kılavuz yardımıyla, mimarlar fiziki çevreye olan sorumluluğunu uygun oranda yerine getirmektedir.

KAYNAKLAR

Abedini, M. H. (2024), Analyzing the ımpact of different shading devices on energy consumption and thermal comfort in office buildings using machine learning and Energy Simulation in Three Different Climates of Iran, *Trans Med* OA, 2(2), 01-08.

Acar, U., Kaska, O., Tokgoz, N. (2021). Multi-objective optimization of building envelope components at the preliminary design stage for residential buildings in Turkey. *Journal of Building Engineering*, 1(42), 102499.

Aelenei, D., Aelenei, L., Vieira, C. P. (2016). Adaptive façade: Concept, applications, research questions. *Energy Procedia*, 91, 269-275.

Ahmed, M. M., Abdel-Rahman, A. K., Bady, M., Mahrous, E. (2016). The thermal performance of residential building integrated with adaptive kinetic shading system. *International Energy Journal*, 16(3), 97-106.

Aish, R., Woodbury, R. (2005). Multi-level interaction in parametric design. In *International symposium on smart graphics*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 151-162.

Akimov, L., Bezborodov, A., Badenko, V. (2023). Example-based dynamic façade design using the facade daylighting performance improvement (FDPI) indicator. In *Building Simulation* . Beijing: Tsinghua University Press.

Akipek, F., Ö., İnceoğlu, N. (2007). Bilgisayar destekli tasarım ve üretim teknolojilerinin mimarlıktaki kullanımları. *Megaron, 2*(4), 237-253.

Akipek, Ö.F. (2004). *Bilgisayar Teknolojilerinin mimarlıkta tasarım geliştirme amaçlı kullanımları*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Aksamija, A. (2013). *Sustainable Facades: Design Methods For High-Performance Building Envelopes*. Canada: Wiley, 256.

Alkadri, M. F. (2021). Solar Geometry in Performance of the Built Environment: An Integrated Computational Design Method for High-Performance Building Massing Based on Attribute Point Cloud Information. *A+ BE| Architecture and the Built Environment*, (13), 1-260.

Al-Masrani, S. M., Al-Obaidi, K. M. (2019). Dynamic shading systems: A review of design parameters, platforms and evaluation strategies. *Automation in construction*, *102*, 195-216.

Alrubaih, M. S., Zain, M. F. M., Alghoul, M. A., Ibrahim, N. L. N., Shameri, M. A., Elayeb, O. (2013). Research and development on aspects of daylighting fundamentals. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *21*, 494-505.

Al-Tamimi, N. A., Fadzil, S. F. S. (2011). The potential of shading devices for temperature reduction in high-rise residential buildings in the tropics. *Procedia Engineering*, *21*, 273-282.

Anaç, M. (2019). *Cephe gölgeleme elemanlarının ısıtma ve soğutma yükleri üzerine etkisi,* Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Ashraf, N., Abdin, A. R. (2024). Biomimetic design synthesis and digital optimization of building shading skin: A novel conceptual framework for enhanced energy efficiency. *Energy and Buildings*, 323, 114824.

Attia, S., Bilir, S., Safy, T., Struck, C., Loonen, R., Goia, F. (2018). Current trends and future challenges in the performance assessment of adaptive façade systems. *Energy and Buildings*, 179, 165-182.

Attia, S., Hamdy, M., O'Brien, W., Carlucci, S. (2013). Assessing gaps and needs for integrating building performance optimization tools in net zero energy buildings design. *Energy and buildings*, 60, 110-124.

Attia, S., Lioure, R., Declaude, Q. (2020). Future trends and main concepts of adaptive facade systems. *Energy Science &Engineering*, 8(9), 3255–3272.

Badarnah, L., Knaack, U. (2008). Biomimetic principles for innovative design. *Inspiration and Process in Architecture*, 1(1), 1–8.

Baker, N., Steemers, K. (2014). *Daylight Design Of Buildings: A Handbook For Architects and Engineers*. London: Routledge, Taylor & Francis e-Library,4-31.

Bakmohammadi, P., Noorzai, E. (2022). Investigating the optimization potential of daylight, energy and occupant satisfaction performance in classrooms using innovative photovoltaic integrated light shelf systems. *Science and Technology for the Built Environment*, 28(4), 467-482.

Bande, L., Hamad, H., Alqahtani, D., Alnahdi, N., Ghunaim, A., Fikry, F., Alkhatib, O. (2022). Design of innovative parametric/dynamic façade integrated in the library extension building on UAEU campus. *Buildings*, 12(8), 1101.

Başaran, Ö. (2015). *Kinetik Gölgeleme Elemanları Entegre Edilmiş Bir Binanın Enerji Etkinliğinin Arttırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Baydoğan, M. Ç., Özkantar, V. (2023). Evaluation of daylight performance metrics according to country guidelines: The case of educational buildings in Turkey. *Energy and Buildings*, 297, 113487.

Bektaş Ekici, B., Orhan, G., Yüksel, E. N. (2022). Investigation of the effect of window and shading elements on building energy needs. *PLANARCH- Design and Planning Research*, 6(2), 40-46.

Belek, A. N., Yamaçlı, R. (2023). Kinetik Cephe Sistemlerinin Performansa Dayalı Tasarımı ve Tasarım Süreci. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 6(2), 180-201.

Bentley, P. J., Corne, D. W. (2002). An introduction to creative evolutionary systems. In *Creative evolutionary systems*,Morgan Kaufmann, 1-75.

Besbas, S., Nocera, F., Zemmouri, N., Khadraoui, M. A., Besbas, A. (2022). Parametric-based multi-objective optimization workflow: Daylight and energy performance study of hospital building in Algeria. *Sustainability*, 14(19), 12652.

Boubekri, M. (2014). Daylighting design: *Planning Strategies And Best Practice Solutions*. Basel, Berlin, Boston: Birkhäuser Verlag GmbH,44-66.

Brown, G. Z., DeKay, M., Sun, W. (2001). Light: Architectural design strategies. *Jon Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA*.

Brzezicki, M. (2021). A typology of adaptive façades. An empirical study based on the morphology of glazed facades. *Cogent Arts & Humanities*, 8(1), 1960699.

Brzezicki, M. (2024). A Systematic Review of the Most Recent Concepts in Kinetic Shading Systems with a Focus on Biomimetics: A Motion/Deformation Analysis. *Sustainability*, 16(13), 56-97.

Caetano, I., Santos, L., Leitão, A. (2020). *Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. Frontiers of Architectural Research*, 9 (2), 287-300.

Carlucci, F., Loonen, R. C., Fiorito, F., Hensen, J. L. (2023). A novel approach to account for shape-morphing and kinetic shading systems in building energy performance simulations. *Journal of Building Performance Simulation*, 16(3), 346-365.

Casini, M. (2022). Advanced digital design tools and methods. In M. Casini (Ed.), *Construction* 4(1*)*,263–334.

Ceylan, Ö. (2019*). Gelişmiş Cephe Sistemlerinde Güneş Kontrolü: Ankara'daki Bir Ofis Binasında Performans Analizi Özge Ceylan*, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Charpentier, V., Meggers, F., Adriaenssens, S., Baverel, O. (2020). Occupant-centered optimization framework to evaluate and design new dynamic shading typologies. *PloS one*, 15(4), e0231554.

Chauvel, P., Collins, J. B., Dogniaux, R., Longmore, J. (1982). Glare from windows: current views of the problem. *Lighting Research Technology*, 14(1), 31-46.

Chi, D. A., González M, E., Valdivia, R., Gutiérrez J, E. (2021). Parametric design and comfort optimization of dynamic shading structures. *Sustainability*, 13(14), 7670.

Chi, D. A., Moreno, D., Navarro, J. (2017). Design optimisation of perforated solar façades in order to balance daylighting with thermal performance. *Building and Environment*, 125, 383-400.

Chi, D. A., Moreno, D.,Navarro, J. (2018). Correlating daylight availability metric with lighting, heating and cooling energy consumptions. *Building and Environment*, 132, 170-180.

Choi, H. S. (2023). Kinetic photovoltaic facade system based on a parametric design for application in signal box buildings in Switzerland. *Applied Sciences*, 13(7), 4633.

Cıbse, T. (2006) TM37: *Design for Improved Shading Control*, Chartered Institution of Building Services Engineers, London, 1-36.

Cirit, A. (2012). *Binalarda Güneş Kontrol Elemanlarının Soğutma Enerjisi Yüklerine Etkisinin İrdelenmesine İlişkin Bir Çalışma,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Deb, K. (2011). Multi-objective optimisation using evolutionary algorithms: an introduction. ın *multi-objective evolutionary optimisation for product design and manufacturing*, London: Springer London. 3-34.

Dino, İ. G. (2017). Binalarda Güneş Kontrol Yöntemlerinin Optimizasyon Temelli Performans Değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, *5*(3), 71-87.

Duarte, J. P. (2005). A discursive grammar for customizing mass housing: The case of Siza's houses at Malagueira, *Automation in Construction*, 14(2), 265–275.

Dubois, M. C. (2001). Impact of solar shading devices on daylight quality, *Lund, Lund University*, 45-106.

Elghandour, A., Saleh, A., Aboeineen, O., Elmokadem, A. (2016). Using parametric design to optimize building's façade skin to improve indoor daylighting performance. In *Proceedings of the 3rd IBPSA-England Conference BSO*, 353-361.

Elghazi, Y. S., Mahmoud, A. H. A. (2016). Origami explorations: a generative parametric technique for kinetic cellular façade to optimize daylight performance. *Proc. eCAADe* ,399-408.

Eltaweel, A., Yuehong, S. U. (2017). Parametric design and daylighting: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 1086-1103.

Engin, S. (2022). *Kinetik Cephe Sistemlerinin Yapı Performansına Günışığı, Kamaşma Ve Enerji Performansı Üzerindeki Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Evins, R. (2013). A review of computational optimisation methods applied to sustainable building design. *Renewable and sustainable energy reviews*, 22, 230-245.

Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*.Copenhagen, Danish Technical Press, 120-201.

Ferschin, P., Di Angelo, M., Brunner, G. (2015, July). Rapid prototyping for kinetic architecture. In *2015 IEEE 7th International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS) and IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM)*, 118-123.

Fikery, A. A., Hamed, R. E. D., Ali, N. A. (2024). Improve Lighting Balance Performance and Energy Consumption by Using Kinetic Adaptive Skin for Office Space in Cairo, Egypt. *Architecture*, 12(1), 478-498.

Fiorito, F., Sauchelli, M., Arroyo, D., Pesenti, M., Imperadori, M., Masera, G., Ranzi, G. (2016). Shape morphing solar shadings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 863-884.

Fox, M. (2016). *Kinetic architecture: Design for active envelopes*. New York: Princeton Architectural Press, 28-96.

Freewan, A. A. (2014). Impact of external shading devices on thermal and daylighting performance of offices in hot climate regions. *Solar Energy*, 102, 14-30.

Gherri, B., (2015), *Assessment of Daylight Performance in Buildings*, Southampton: WIT Press,791-802.

Giovannini, L., Verso, V. R. L., Karamata, B., Andersen, M. (2015). Lighting and energy performance of an adaptive shading and daylighting system for arid climates. *Energy Procedia*, 78, 370-375.

Golzan, S. S., Pouyanmehr, M., Sadeghi Naeini, H. (2023). Recommended angle of a modular dynamic façade in hot-arid climate: daylighting and energy simulation. *Smart and Sustainable Built Environment*, 12(1), 27-37.

Gültekin, A.B., Farahbakhsh, E.B., (2015), 'Cam Yapı Malzemelerinin Enerji Performanslarının Değerlendirilmesi', 2nd International Sustainable Buildings Symposium, 824-833.

Güncü, A., Kurnuç, A., (2013), Güneş Enerjisine Dayalı Yenilikçi Kinetik Yapı Kabuğu Uygulamaları, *Uluslararası Mühendislik ve Fen Bilimlerinde Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu,* 1292-1302.

Gür, N. V., Aygün, M. (2009). Mimaride sürdürülebilirlik kapsamında değişken yapı kabukları için bir tasarım destek sistemi. *İTÜDERGİSİ/a*, 7(1), 74-82.

Hafiz, D. (2015). Daylighting, space, and architecture: a literature review. *Enquiry The ARCC Journal for Architectural Research*, 12(1), 1-8.

Hamdy, M., Hasan, A., Siren, K. (2009). Combination of optimisation algorithms for a multi-objective building design problem. *Eleventh International IBPSA Conference Glasgow,* 173-179.

Hassan, A., Abdin, A., Ezzeldin, S. (2017). Parallel parametric simulation for optimizing non-conventional solar screens: An approach for balancing daylight and thermal performance in hot arid climates. In *International Conference for Sustainable Design of the Built Environment-SDBE London ,* 258.

Hinge, A. (2004). *Efficiency Metrics and Data Issues*, in *Proceedings of the 6th International Conference on Energy Efficiency in Commercial Buildings* (ss. x-y). American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE), 120-127.

Hosseini, S. M., Heidari, S., Attia, S., Wang, J., Triantafyllidis, G. (2024). Biomimetic kinetic façade as a real-time daylight control: complex form versus simple form with proper kinetic behavior. *Smart and Sustainable Built Environment*, 2046-6099.

Hosseini, S. M., Mohammadi, M., Schröder, T., Guerra-Santin, O. (2021). Bio-inspired interactive kinetic façade: Using dynamic transitory-sensitive area to improve multiple occupants' visual comfort. *Frontiers of Architectural Research*, 10(4), 821-837.

Hosseini, S. M., Mohammadi, M., Schröder, T., Guerra-Santin, O. (2020). Integrating interactive kinetic façade design with colored glass to improve daylight performance based on occupants' position. *Journal of Building Engineering*, 31, 101404.

Hosseini, S.M., M. Mohammadi, O. Guerra-Santin. (2019). Interactive kinetic façade: Improving visual comfort based on dynamic daylight and occupant's positions by 2D and 3D shape changes, *Building and Environment* 165, 1-15.

IES LM-83-12: Approved Method. (2013). IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE), Illumination Engineering Society.

IESNA, I. (2012). LM-83-12 IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE). *New York, NY, USA: IESNA Lighting Measurement*.

Illuminating Engineering Society of North America (IES). (2012). *IES LM-83-12: Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)*. IES.

Im, O. K., Kim, K. H., Amirazar, A., Lim, C. (2019, April). A unified framework for optimizing the performance of a kinetic façade. *In Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design*, 1-8.

ISO, E. (2014). Thermal Insulation-Building Elements—In-Situ Measurement of Thermal Resistance and Thermal Transmittance, Part 1: Heat Flow Meter Method.

ISO, E. 12567-1, Thermal Performance of Windows and Doors–Determination of Thermal Transmittance by the Hot-Box Method. *Part*, 1, 12567-1.

ISO, I. (2005). 7730: Ergonomics of the thermal environment Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. *Management*, 3(605), e615.

İnterent: Henning Larsen Architects.*Kolding Campus* Web: https://henninglarsen.com/projects/university-of-southern-denmark-campus-kolding Erişim Tarihi: 31.05.2025.

İnternet: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.(ASHRAE) (2020). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2020: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. ASHRAE. Web:https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-55-thermal-environmental-conditions-for-human-occupancy Erişim Tarihi: 31.05.2025.

İnternet: ArchDaily (2015). "University of Southern Denmark / Henning Larsen Architects." Web: https://www.archdaily.com/590576/sdu-campus-kolding-henning-larsen-architects Erişim Tarihi: 31.05.2025.

İnternet: ArchDaily. (2012). *Al Bahr Towers / Aedas Architects*. Web:https://www.archdaily.com/244064/al-bahr-towers-aedas-architects Erişim Tarihi: 31.05.2025.

İnternet: ArchDaily. "M9-C / Ateliers Jean Nouvel + FRES Architects." Web: https://www.archdaily.com/287863/m9-c-building-bp-architectures?ad_source=search&ad_medium=projects_tab Erişim Tarihi: 31.05.2025.

İnternet: ArchDailyb. (2013). *Kinetic façade by UAP and Ned Kahn*. Web: https://www.archdaily.com/ Erişim Tarihi: 31.05.2025

İnternet: Architizer.. *ITRI Central Taiwan Campus*. Web: https://architizer.com/blog/inspiration/collections/kinetic-architecture-in-practice/Erişim Tarihi: 31.05.2025.

İnternet: ASHRAE. (2013). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2013: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.* Web:https://ierga.com/hr/wp-content/uploads/sites/2/2017/10/ASHRAE-55-2013.pdf Erişim Tarihi: 12.03.2025.

İnternet: Bio Architecture Formosana *ITRI Green Office Project*. (2018) Web: https://www.bioarchitecture.com.tw/ Erişim Tarihi: 31.05.2025.

İnternet: BNIM Architects – Leawood Speculative Office BNIM Architects. (2024) *Leawood speculative office*. Web: https://www.bnim.com/projects/leawood-speculative-officeErişim Tarihi: 31.05.2025.

İnternet: Bureau, S.N. (2023) *Turkey imposes regulation on buildings to meet 5% energy needs from re, Saur Energy International*. Web: https://www.saurenergy.com/solar-energy-news/turkey-imposes-regulation-on-buildings-to-meet-5-energy-needs-from-re Erişim Tarihi: 31.05.2025.

İnternet: Council, U. G. B. (2014). LEED v4 user guide. *Washington DC* Web: *https://www.usgbc.org/resources/leed-v4-user-guide* Erişim Tarihi: 31.05.2025

İnternet: Designboom. (2014). *Breath Box reflective pavilion in France by NAS Architecture*. Web: https://www.designboom.com/architecture/nas-architecture-breath-box-reflective-pavilion-02-13-2014/ Erişim Tarihi: 31.05.2025

İnternet: Dezeen *One Ocean Pavilion by SOMA*. https://www.dezeen.com/2012/05/18/one-ocean-pavilion-by-soma/ Erişim Tarihi: 31.05.2025

İnternet: Ernst Giselbrecht + Partner Architects. (2007) *Kiefer Technic Showroom*. Web: https://www.giselbrecht.at/projekte/gewerbe_industriebauten/kiefer/index.html Erişim Tarihi: 15.06.2025

İnternet: European Commission. (2021, December 15). *Proposal for a revision of the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)*. Web: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_6683

İnternet: High Performance Commercial Buildings – USGBC U.S. Green Building Council. (n.d.). *High performance commercial buildings*. Web: https://www.usgbc.org Erişim Tarihi: 15.06.2025

İnternet: IEA (2020), *Global Energy and CO2 emissions in 2020 – global energy review 2020 – analysis - IEA*. Web: https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020/global-energy-and-co2-emissions-in-2020 Erişim Tarihi; 30 Mayıs 2025.

İnternet: Institute for Building Environment and Energy Conservation. (2010). *CASBEE for New Construction: Technical Manual 2010 Edition.* Web: https://www.ibecs.or.jp/CASBEE/english/download/CASBEE-NC_2010manual.pdf Erişim Tarihi: 15.06.2025.

İnternet: International Energy Agency (IEA). (2023). *Energy Efficiency 2023*. Web: https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-202 Erişim Tarihi: 30 Temmuz 2025.

İnternet: International Energy Agency. (2024). *Buildings – Analysis*. Web: https://www.iea.org/energy-system/buildings?utm_s Erişim Tarihi: 30 Temmuz 2025.

İnternet: International Institute of Refrigeration. (2024). *World Energy Outlook 2024: Cooling drives electricity demand, especially in developing countries*. Web: https://iifiir.org/en/news/world-energy-outlook-2024-cooling-drives-electricity-demand-especially-in-developing-countries?utm_Erişim Tarihi: 30 Temmuz 2025.

İnternet: Japan Sustainable Building Consortium. (2010). *CASBEE for New Construction 1: Tool-1 (2010 edition).* Webhttps://www.ibecs.or.jp/CASBEE/english/download/CASBEE-NC_2010manual.pdf Erişim Tarihi: 15.06.2025.

İnternet: Kadıroğulları, K. (2018, Kasım). *Termal Koşullar*. Fizik Mühendisleri Odası. Web: https://www.fmo.org.tr/wp-content/uploads/2018/11/6-KADIR-KADIROGULLARI-TERMAL-KOSULLAR.pdf Erişim Tarihi: 18.01.2025.

İnternet: Ladybug Tools. *Ladybug Tools for Grasshopper and Rhino*. (2018) Food4Rhino. Web: https://www.food4rhino.com/en/app/ladybug-tools Erişim tarihi: 3 Haziran 2025.

İnternet: National Energy Efficiency Platform (2015). *Shading*. Web: https://nzeb.in/knowledge-centre/passive-design/shading/ Erişim Tarihi: 02.06.2025.

İnternet: Robert McNeel Associates. (2025) *Grasshopper – Algorithmic modeling for Rhino*. Web: https://www.grasshopper3d.com/ Erişim tarihi: 3 Haziran 2025

İnternet: Saint-Gobain. (2021). *How to design for visual comfort using natural light*. Web: https://www.saint-gobain.sg/news/how-design-visual-comfort-using-natural-light Erişim tarihi: 3 Haziran 2025

İnternet: SOMA Architects. *One Ocean Pavilion – Expo 2012 Yeosu*. Web: https://www.soma-architecture.com/index.php?page=theme_pavilion&parent=2 /Erişim Tarihi: 31.05.2025

İnternet: T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2022, Aralık 13). *Binalarda yenilenebilir enerji zorunluluğu 1 Ocak'ta başlıyor*. Web: https://www.csb.gov.tr/binalarda-yenilenebilir-enerji-zorunlulugu-1-ocakta-basliyor-bakanlikfaaliyetleri37361#:~:text=Y%C3%B6netmelikle%201%20Ocak%202023%20tarihinden,kaynaklar%C4%B1ndan%20kar%C5%9F%C4%B1lamalar%C4%B1%20zorunlu%20hale%20getirildi Erişim Tarihi: 31.05.2025.

İnternet: The Carbon Neutral Design Project: Society of Building Science Educators; American Institute of Architects. *Carbon neutral design strategies*. Web: https://www.tboake.com/carbon-aia/strategies1a.html Erişim Tarihi: 15.06.2025.

İnternet: The MP Report. (2012). *Energy and Environment Innovation Building in Tokyo, Japan*. Web: https://thempreport.wordpress.com/2012/09/25/energy-and-environment-innovation-building-in-tokyo-japan/Erişim Tarihi: 31.05.2025.

İnternet: The University of Western Australia. (2025). *EZONE UWA Student Hub*. Web: https://www.uwa.edu.au/facilities/ezoneErişim Tarihi: 31.05.2025.

İnternet: TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası. (2008). *Binalarda enerji performansı yönetmeliği*.Web:https://www.emo.org.tr/mevzuat/mevzuat_detay.php?kod=111&utm_ Erişim Tarihi: 31.07.2025.

İnternet: United Nations Environment Programme (UNEP). (2022). *Emissions Gap Report 2022*. Web: https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2022 Erişim Tarihi: 30.05.2025.

İnternet: Urban Art Projects.. *Brisbane Airport kinetic facade*. Web: https://www.uapcompany.com/ Erişim Tarihi: 31.05.2025.

Jahanara, A., Fioravanti, A. (2017). Kinetic Shading System as a means for Optimizing Energy Load. A Parametric Approach to Optimize Daylight Performance for an Office Building in Rome. *35th International Conference of CAADe,* 231-240.

Jakubiec, J. A., Reinhart, C. (2011). DIVA 2.0: Integrating daylight and thermal simulations using Rhinoceros 3D, Daysim and EnergyPlus. In *Building Simulation 2011*, 2202-2209.

Jalloul, H. (2020). *Sustainable and adaptive architecture: rethinking the capabilities of cost-efficient intelligent facades in extreme climates.* Master Thesis, Lebanon: Faculty of Architectural Engineering. Beirut Arab University, Beirut.

Jayathissa, P., Caranovic, S., Hofer, J., Nagy, Z., Schlueter, A. (2018). Performative design environment for kinetic photovoltaic architecture. *Automation in Construction, 93*, 339-347.

Juaristi, M., R. Loonen, F. Isaia, T. G´omez-Acebo and A. Monge-Barrio. 2020. Dynamic Climate Analysis for early design stages: a new methodological approach to detect preferable Adaptive Opaque Facade Responses, *Sustainable Cities and Society*, 1-69.

Kahramanoğlu, B., Alp, N. Ç. (2021). Kinetik Sistemli Bina Cephelerinin Modelleme Yöntemlerinin İncelenmesi. *AURUM Journal of Engineering Systems and Architecture*, 5(1), 119-138.

Karamanlıoğlu, Ş., (2011) *Enerji Etkin Bina Cephe Sistemlerine Yönelik Yaklaşımların İrdelenmesi,* Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Khidmat, R. P., Fukuda, H., Paramita, B., Qingsong, M., Hariyadi, A. (2022). Investigation into the daylight performance of expanded-metal shading through parametric design and multi-objective optimisation in Japan. *Journal of Building Engineering*, 51, 104241.

Kılıç, Z. A. (2018). *Cephe açıklıklarının iç mekandaki günışığı performansına etkisinin konut örneğinde incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kızılörenli, E., Maden, F. (2023). Modular responsive facade proposals based on semi-regular and demi-regular tessellation: Daylighting and visual comfort. *Frontiers of Architectural Research*, 12(4), 601-612.

Kızılörenli, E., Tokuç, A. (2022). Parametric optimization of a responsive façade system for daylight performance. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 7(1), 72-81.

Kim, D. H., Luong, H. T., Nguyen, T. T. (2024). Optimizing the shading device configuration of kinetic façades through daylighting performance assessment. *Buildings*, 14(4), 1038.

Kim, H., Asl, M. R., Yan, W. (2015). Parametric BIM-based energy simulation for buildings with complex kinetic façades. In *Proceedings of the 33rd eCAADe Conference*, 1,657-664.

Kirimtat, A. (2016). *Design and computational optimization of an integrated shading device into a building* , Yüksek Lisans Tezi, Yaşar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Knight, T. W. (1994). Transformations in design: A formal approach to stylistic change and innovation in the visual arts. *Cambridge: Cambridge University Press*,23-130.

Knippers, J., Scheible, F., Oppe, M., Jungjohann, H. (2012). Bio-inspired Kinetic GFRP-façade for the Thematic Pavilion of the EXPO 2012 in Yeosu. In *International Symposium of Shell and Spatial Structures (IASS 2012)*, 90(6), 341-347.

Knowles, R. L. (2003). The solar envelope: its meaning for energy and buildings. *Energy and buildings*, 35(1), 15-25.

Koç, S. G. (2019). *Sıcak-Nemli İklim Bölgelerinde Gölgeleme Elemanı Kullanımının Bina Enerji Performansına Etkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kolarevic, B. (2003). Architecture in the digital age. *Design and Manufacturing. Nueva York-Londres: Spon Press-Taylor & Francis Group*, 10-23.

Korsavi, S.S., Zomorodian, Z.S., Tahsildoost, M. (2016). Visual comfort assessment of daylit and sunlit areas: A longitudinal field survey in classrooms in Kashan-Iran, *Energy And Building*, 128, 305-318.

Kuhn, T. E., Bühler, C., Platzer, W. J. (2001). Evaluation of overheating protection with sun-shading systems. *Solar Energy*, 69, 59-74.

Kun, F. (2005). *Turizm Amaçlı Yapıların İklimle Dengeli Tasarımı Kapsamında Soğutma Yükü Açısından Değerlendirilmes*i, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kurnia, K. A., Azizah, D. N., Mangkuto, R. A., Atmodipoero, R. T. (2017). Visual comfort assessment using high dynamic range images under daylight condition in the main library building of Institut Teknologi Bandung. *Procedia engineering*, 170, 234-239.

Lechner, N. (2015) Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects. Haboken: John Wiley andSons, Hoboken, 23.

Lee, J., Boubekri, M., Liang, F. (2019). Impact of building design parameters on daylighting metrics using an analysis, prediction, and optimization approach based on statistical learning technique. *Sustainability*, *11*(5), 1474.

LEED (2018) *Certification Database Sustainability by Design: Innovation in Building Envelope Performance*. New York: MIT Press, 208-2046.

Le-Thanh, L., Le-Duc, T., Ngo-Minh, H., Nguyen, Q. H., Nguyen-Xuan, H. (2021). Optimal design ofan Origamiinspired kinetic façade by balancing composite motion optimization for improving daylight performance and energy efficiency. *Energy*, 219, 119557.

Li, S., Wang, K. W., Kota, S. (2019). Mechanics of origami-inspired structures: A review. *Extreme Mechanics Letters*, 22, 132–144.

Lin, C. H., Tsay, Y. S. (2021). A metamodel based on intermediary features for daylight performance prediction of façade design. *Building and Environment*, *206*, 108371.

Liu, M., Wittchen, K., Heiselberg, P., (2015), Control strategies for intelligent glazed façade and their influence on energy and comfort performance of office buildings in Denmark, *Applied Energy*, 145, 43-51.

Liu, Q., Han, X., Yan, Y., Ren, J. (2023). A parametric design method for the lighting environment of a library building based on building performance evaluation. *Energies*, 16(2), 832.

Liu, Y., Wang, W., Li, Z., Song, J., Fang, Z., Pang, D., Chen, Y. (2023). Daylighting performance and thermal comfort performance analysis of west-facing external shading for school office buildings in cold and severe cold regions of China. *Sustainability*, 15(19), 14458.

Loonen, R. C., Trcka, M., Hensen, J. L. (2011). Exploring the potential of climate adaptive building shells. In *12th International IBPSA Building Simulation Conference*, 2148-2155.

Loonen, R.C.G.M., Trčka, M., Cóstola, D., Hensen, J.L.M., (2013), Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 25, 483– 493.

Machairas, V., Tsangrassoulis, A., Axarli, K. (2014). Algorithms for optimization of building design: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 31, 101-112.

Maçka Kalfa, S., (2014) *Türkiye İklim Bölgelerinde Konut Binaları için Isıtma ve Soğutma Yüklerinin Belirlenmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım.* Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Mahdavinejad, M., Bazazzadeh, H., Mehrvarz, F., Berardi, U., Nasr, T., Pourbagher, S., Hoseinzadeh, S. (2024). The impact of facade geometry on visual comfort and energy consumption in an office building in different climates. *Energy Reports*, 11, 1-17

Mahmoud, A. H. A., Elghazi, Y. (2016). Parametric-based designs for kinetic facades to optimize daylight performance: Comparing rotation and translation kinetic motion for hexagonal facade patterns. *Solar Energy*, 126, 111-127.

Manav, B. (2005). *Ofislerde aydınlık düzeyi, parıltı farkı ve renk sıcaklığının görsel konfor koşullarına etkisi: Bir model çalışması*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Mangkuto, R. A., Koerniawan, M. D., Apriliyanthi, S. R., Lubis, I. H., Atthaillah, Hensen, J. L. M., Paramita, B. (2022). Design Optimisation of Fixed and Adaptive Shading Devices on Four Façade Orientations of a High-Rise Office Building in the Tropics. *Buildings*, 12(1), 25.

Mardaljevic, J., Heschong, L., Lee, E. (2009). Daylight metrics and energy savings. *Lighting Research & Technology*, 41(3), 261-283.

Matin, N. H., Eydgahi, A., Gharipour, A. (2025). Sustainable design: minimizing discomfort glare through data-driven methods for responsive facades. *Sustainability*, 17(2), 783.

Mazria, E., (1979), *The Passive Solar Energy Book*, Emmaus, Pennsylvania: Rodale Press, 5-66.

McCarthy, J. M.ve Soh, G. S. (2010). *Geometric design of linkages* (Vol. 11). London: Springer Science & Business Media,179-200.

Moloney, J. (2011). *Designing kinetics for architectural facades: state change*. New York: Routledge Taylor & Francis Group,3-70.

Moon, P. (1942). Illumination from a non-uniform sky. *Illum. Energy*, 37, 707-726.

Muneer, T. (2007). *Solar radiation and daylight models(2nd ed.),* Edinburgh: Elsevier Butterworth-Heinemann,61-133.

Narangerel, A., Lee, J. H., Stouffs, R. (2016). Daylighting based parametric design exploration of 3D facade patterns. e*CAADe(*34*)*, 379-388.

Nazari, S., MirzaMohammadi, P. K., Sajadi, B., Ha, P. P., Talatahari, S., Sareh, P. (2023). Designing energy-efficient and visually-thermally comfortable shading systems for office buildings in a cooling-dominant climate. *Energy Reports*, 10, 3863-3881.

Neseliler, P., Akgün, Y., Kavuncuoğlu, C. (2025). Proposal for a kinetic façade system based on curved line folding technique. *Intelligent Buildings International*, 1-14.

Ochoa, C. E., Aries, M. B., Van Loenen, E. J., Hensen, J. L. (2012). Considerations on design optimization criteria for windows providing low energy consumption and high visual comfort. *Applied energy*, 95, 238-245.

Okutan, H., 2008, *Gün ışığı ile aydınlatmanın temel ilkeleri ve gelişmiş gün ışığı aydınlatma sistemleri,* Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 132.

Olbina, S., Beliveau Y. (2009). Developing a transparent shading device as a daylighting system. *Building Research and Information*, 37(2), 148-163.

Olgyay, V. (1963). *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. Princeton University Press, 11-224.

Omer, A. M. (2008). Energy, environment and sustainable development. *Renewable and sustainable energy reviews*, 12(9), 2265-2300.

Oraby, H. A. E. A. A., El-Borombaly, H., Abd El Fatah, M. (2023). Optimizing daylighting performance for educational buildings by using parametric material system, *Researched Square*, 1-15.

Oxman, R. (2008). Performance-based design: current practices and research issues. *International journal of architectural computing*, 6(1), 1-17.

Oxman, R. (2017). Thinking difference: Theories and models of parametric design thinking. Design Studies, 4-39.

Öner, D. (2019). *Uyum gösteren gölgeleme bileşenlerinin parametrik tasarım araçlarıyla performans değerlendirmesi.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Özdemir, H., Çakmak, B. Y. (2022). Evaluation of daylight and glare quality of office spaces with flat and dynamic shading system facades in hot arid climate. *Journal of Daylighting*, 9(2), 197-208.

Özyalın, S. (2021). *Ofis mekanlarında dinamik cam e güneş kırıcı kullanımının görsel konfor ve enerji performansı bakımından irdelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Panya, D. S., Kim, T., Choo, S. (2020). A methodology of interactive motion facades design through parametric strategies. *Applied sciences*, 10(4), 1218.

Pérez-Carramiñana, C., González-Avilés, Á. B., Castilla, N., Galiano-Garrigós, A. (2024). Influence of Sun Shading Devices on Energy Efficiency, Thermal Comfort and Lighting Comfort in a Warm Semi-Arid Dry Mediterranean Climate. *Buildings*, 14(2), 556.

Pesenti, M., Masera, G., Fiorito, F. (2015). Shaping an origami shading device through visual and thermal simulations. *Energy Procedia*, 78, 346-351.

Rafati, N., Hazbei, M., Eicker, U. (2023). Louver configuration comparison in three Canadian cities utilizing NSGA-II. *Building and Environment*, 229, 109939.

Rahimzadeh, S. D. (2015). *Use Of Parametric Modelling and Climate-Based Metrics For The Efficient Design Of Daylight Strategies In Buildings With Complex Geometries.* Master Thesis, Master of Science in Architecture, Queensland University of Technology, Brisbane.

Ratajczak, J., Siegele, D., Niederwieser, E. (2023). Maximizing energy efficiency and daylight performance in office buildings in BIM through RBFOpt model-based optimization: The GENIUS project. *Buildings*, *13*(7), 1790.

Razzaghmanesh, D. (2015). *Impact Of Parametric Design On Designing Performative Facades.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Reinhart, C. (2019). Daylight performance predictions. In *Building performance simulation for design and operation* , London: Routledge. 221-269.

Reinhart, C. F., Mardaljevic, J., Rogers, Z. (2006). Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. Leukos, 3 (1),7- 31.

Reinhart, C. F., Wienold, J. (2011). The daylighting dashboard–A simulation-based design analysis for daylit spaces. *Building and environment*, 46(2), 386-396.

Reinhart, C., Rakha, T., Weissman, D. (2014). Predicting the daylit area—A comparison of students assessments and simulations at eleven schools of architecture. *Leukos*, *10*(4), 193-206.

Rogler, K. (2015). Energy Modeling and Implementation of Complex Building Systems, Master Thesis, Syracuse University, School of Architecture Dissertations and Theses, New York.

Sabry, S. M., El-Ela, M. A., Farag, M. A. (2015). Development of form proportions configurations in office building skins in order to improve daylight levels using "Parametric Design Methods". *Journal of American Science*, 11(11), 212-219.

Sadegh, S. O., Gasparri, E., Brambilla, A., Globa, A. (2022). Kinetic facades: An evolutionarybased performance evaluation framework. *Journal of Building Engin eering*, 53, 104408.

Samadi, S., Noorzai, E., Beltrán, L. O., Abbasi, S. (2020). A computational approach for achieving optimum daylight insi de buildings through automated kinetic shading systems. *Frontiers of Architectural Research*, *9*(2), 335-349.

Sangtarash, F., Fayaz, R., Nikghadam, N., Matini, M. R. (2022). Optimal window area of a kinetic facade to provide daylight in an office building in Tehran. *Space Ontol. Int. J*, 11, 61-75.

Sankaewthong, S., Horanont, T., Miyata, K., Karnjana, J., Busayarat, C., Xie, H. (2022). Using a biomimicry approach in the design of a kinetic façade to regulate the amount of daylight entering a working space. *Buildings*, 12(12), 2089.

Santos, M. T., Akutsu, M., de Brito, A. C. (2016). Method for determining the efficiency of shading devices. In *50th International Conference of the Architectural Science Association*, 1-10.

Schumacher, M., Schaeffer, O., Vogt, M. M. (2012). *Move: architecture in motion-dynamic components and elements*. Basel:Walter de Gruyter, 145-240.

Seyrek, C. I., Widera, B., Woźniczka, A. (2021). Sustainability-related parameters and decision support tools for kinetic green façades. *Sustainability*, 13(18), 10313.

Sheikh, W. T., Asghar, Q. (2019). Adaptive biomimetic facades: Enhancing energy efficiency of highly glazed buildings. *Frontiers of Architectural Research*, 8(3), 319-331.

Shen, L., Han, Y. (2022). Optimizing the modular adaptive façade control strategy in open office space using integer programming and surrogate modelling. *Energy and Buildings*, *254*, 111546.

Shı, X., Tablada, A., Wang, L.a., Wu, Q. (2019). The Impact Of Dynamıc Facade Typology On Daylıght And Energy Performance: Comparıng Rotatıon And Foldıng Motıon, *International Conference on Applied Energy*, 328.

Sommese, F., Hosseini, S. M., Badarnah, L., Capozzi, F., Giordano, S., Ambrogi, V., Ausiello, G. (2024). Light-responsive kinetic façade system inspired by the Gazania flower: A biomimetic approach in parametric design for daylighting. *Building and Environment*, 247, 111052.

Stiny, G. And Gips, J. (1972). Shape grammars and the generative specification of painting and sculpture. *Information Processing* 71, 1460–1465.

Stkowski, T. (2013). *Towards a generative design system based on evolutionary computing*, Yüksek Lisans Tezi, Oslo School Of Architecture And Design, Oslo.

Sun, Y., Wu, Y., Wilson, R. (2018). A review of thermal and optical characterisation of complex window systems and their building performance prediction. *Applied Energy*, 222, 729-747.

Szokolay, S. V. (2007). *Solar Geometry. PLEA Note 1 (2).* Brisbane: PLEA: Passive and Low Energy Architecture International in association with Department of Architecture, The University of Queensland, 1-45.

Şahinoğlu, S. (2012). *Gölge Elemanlarının Pencerenin Isıtma/Soğutma Enerjisi ve Görsel Konfor Performansına Etkisinin Değerlendirilmesi,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, İstanbul.

Şener, F. Y. (2014). *Sürdürülebilir Çevre İçin Mimari Aydınlatma Sistemi Tasarımında Kullanılabilecek Bir Yaklaşım,* Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Tabadkani, A., Banihashemi, S., Hosseini, M. R. (2018). Daylighting and visual comfort of oriental sun responsive skins: A parametric analysis. In *Building simulation* Tsinghua University Press. 11, 663-676.

Tabadkani, A., Shoubi, M. V., Soflaei, F., Banihashemi, S. (2019). Integrated parametric design of adaptive facades for user's visual comfort. *Automation in Construction, 106*, 102857.

Timoçin, A.S., (2001). *Bina Cephe Oluşumu ve Bina Ekonomisi Açısından Güneş Kontrol Sistemlerinin İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, İstanbul.

Tok, H. (2008). *Gramer Tabanlı Mimari Tasarım: Mardin'de İlköğretim Okulu Tipolojileri*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Toodekharman, H., Abravesh, M., Heidari, S. (2023). Visual comfort assessment of hospital patient rooms with climate responsive facades. *Journal of Daylighting*, 10(1), 17-30.

Touloupaki, E., Theodosiou, T. (2017). Performance simulation integrated in parametric 3D modeling as a method for early stage design optimization—A review. *Energies*, 10(5), 637.

Toussi, H. E. (2020). The application of evolutionary, generative, and hybrid approaches in architecture design optimization. *NEU Journal of Faculty of Architecture (NEU-JFA)*, 2(2), 1-20.

Toutou, A., Fikry, M., Mohamed, W. (2018). The parametric based optimization framework daylighting and energy performance in residential buildings in hot arid zone. *Alexandria Engineering Journal*, 57(4), 3595-3608.

Tran, T. N., Seomun, G., Lee, R., Lee, H., Yoon, J., Kim, D. (2023). Development and implementation of Photovoltaic Integrated Multi-Skin Façade (PV-MSF) design based on geometrical concepts to improve building energy efficiency performance. *Sustainability*, 15(3), 2788.

Turrin, M., Von Buelow, P., Stouffs, R. (2011). Design explorations of performance driven geometry in architectural design using parametric modeling and genetic algorithms. *Advanced Engineering Informatics*, 25(4), 656-675.

Tzempelikos, A., Athienitis, A. K. (2007). The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand. *Solar Energy*, 81(3), 369-382.

Ünlütürk, M. S. (2024). Integration Thermal and Daylight Performance of Responsive Facades: A Comprehensive Literature Review. *A+ Arch Design International Journal of Architecture and Design*, 10(2), 114-130.

Valitabar, M., GhaffarianHoseini, A., Attia, S. (2022). Advanced control strategy to maximize view and control discomforting glare: a complex adaptive façade. *Architectural Engineering And Design Management*, 18(6), 829-849.

Wagdy, A., Elghazi, Y., Abdalwahab, S., Hassan, A. (2015). The balance between daylighting and thermal performance based on exploiting the kaleidocycle typology in hot arid climate of Aswan, Egypt. In *AEI*, 300-315.

Wang, L., H. Wong, N., Li, S. (2007). Facade design optimization for naturally ventilated residential buildings in Singapore. *Energy and Buildings*, 39(8), 954-961.

Wang, M., Jia, Z., Tao, L., Wang, W., Xiang, C. (2025). Optimizing the tilt angle of kinetic photovoltaic shading devices considering energy consumption and power Generation—Hong Kong case. *Energy and Buildings*, 326, 115072.

Wienold, J. (2007). Dynamic simulation of blind control strategies for visual comfort and energy balance analysis. *Proceedings: Building Simulation*, 1197-1204.

Wienold, J., Christoffersen, J. (2006). Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. *Energy and buildings*, 38(7), 743-757.

Yaman, Y., Kızılörenli, E., Tokuç, A. (2025). Multi-Objective Optimization of a Folding Kinetic Facade System Proposal for Thermal, Daylight, and Energy Performances. *Gazi University Journal of Science*, 38(1), 1-16.

Yang, X., Zhang, S., Xu, W. (2019). Impact of zero energy buildings on medium-to-long term building energy consumption in China. *Energy Policy*, 129, 574-586.

Yu, X., Su, Y. (2015). Daylight availability assessment and its potential energy saving estimation–A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *52*, 494-503.

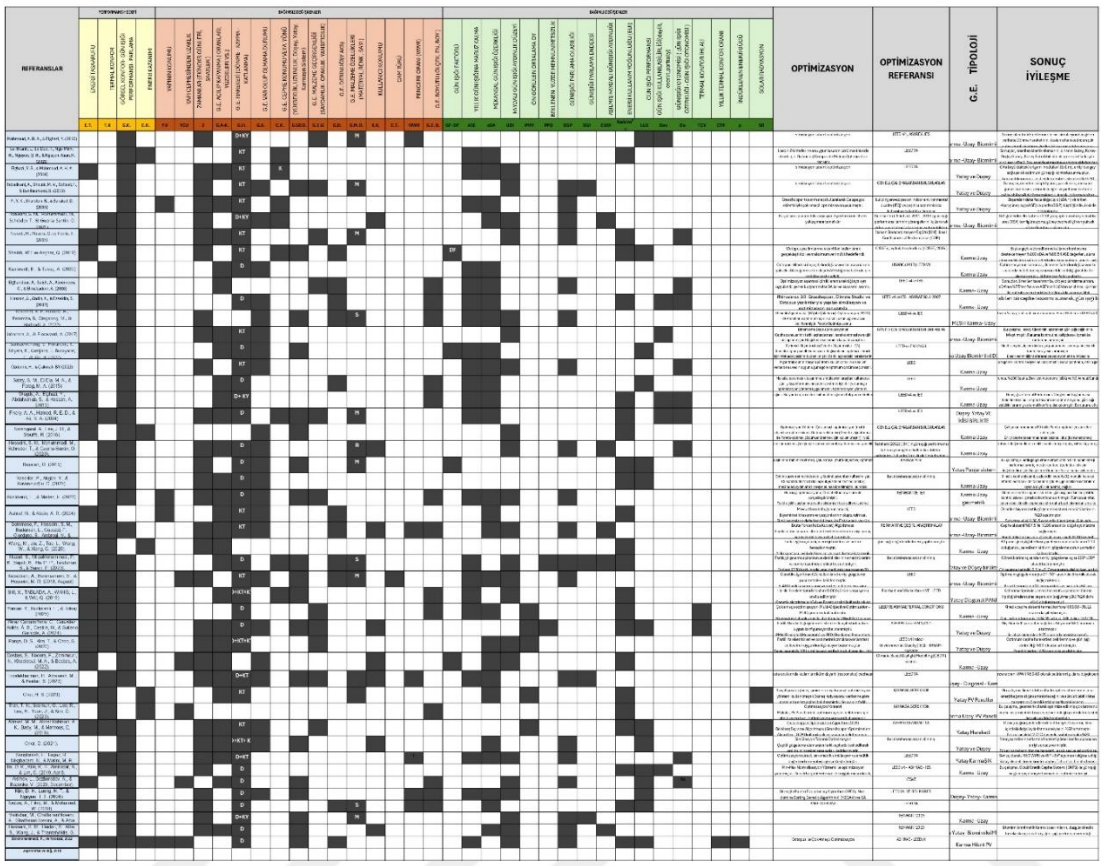
Yüksel, G., (2009), *Evaluating The Energy Efficient Solar Control Strategies On Building Facades Through A Case Study*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Zari, M. P. (2007). Biomimetic approaches to architectural design for increased sustainability. *In Proceedings of the Sustainable Building Conference*, 033.

Zhao, S., De Angelis, E. (2019). Performance-based generative architecture design: A review on design problem formulation and software utilization. *Journal of Integrated Design and Process Science*, *22*(3), 55-76.

EKLER

EK-1. İncelenen 59 çalışmanın analiz tablosu



Amaç	Referans	Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	Optimizasyon Yöntemi	Gölgeleme Elemanı Formu
GÖRSEL KONFOR	Mahmoud ve Elghazi , 2016	• Z • G.H. (D+KY) • GMÖ (M+G) • WWR	LUX Dav	LEEDv4 ASHRAE90.1–2010 IES	Karma Uzay Kafes
	Tabadkani ve diğerleri 2019	• Z • G.H. (KT) • G.X. • G.GEO. • G.M.Ö.(M+G)	UDI DGP DGI	Belirli çalışmalardan Veriler	Karma Uzay Kafes
	Yi, ve diğerleri 2019	• Z • ZYK • GH(KT+AK) • CK	ASE sDA DGP	IEQ Belirli çalışmalardan Veriler	Karma Uzay Kafes
	Elghandour ve diğerleri, 2016	• GHAK • GMÖG • GD • GEB	ASE SDA DGP DA	LEEDV4 IES	Karma Uzay Kafes
	Shen ve Han, 2022	• Z • GX • GGEO • G(AK)	UDI DGP	Belirli çalışmalardan Veriler	Karma Modüler Form Ve Yatay

EK-1. (devam) İncelenen 59 çalışmanın özet tablosu

Amaç	Referans	Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	Optimizasyon Yöntemi	Gölgeleme Elemanı Formu
Görsel Konfor	Khidmat, ve di ğerleri 2022	• Z • G.X. • G.GEO • GD • GMÖ(S) • GEB	ASE sDA UDI DGP	LEEDV4 IES	Karma Uzay Kafes Mesh
	Jahanara ve diğerleri, 2017	• Z • GH (KT+AK) • GX	UDI Dav	Belirli çalışmalardan Veriler	Karma Uzay Kafes Biomimikri
	Özdemir ve Çakmak, 2022	• Z • G.H.(KT) • G.X.	ASE sDA UDI DGP	LEEDV4	Karma Uzay Kafes
	Öner, 2019	• Z • G.H.(D+KY+KT+AK) • GX • G.GEO. • KK	sDA DGP LUX	LEEDV4	Yatay – Dikey
	Kim ve diğ., 2024	• Z • GH(D) • GX • G.GEO. • WWR • GEB	ASE SDA UDI LUX	LEEDV4 Belirli çalışmalardan Veriler	Dikey-Yatay-Karma
	Valitabar ve diğ., 2022	• Z • GH(D) • G.GEO • GMÖ(S)	UDI DGP DGI	Belirli çalışmalardan Veriler	Karma Uzay Kafes
	Hosseini ve diğ., 2024	• Z • GH(D+AK) • G.GEO • KK	SDA UDI DGP EUDI	Reinhart (2019)	Karma Yatay Biomimikri
	Brzezicki, 2024	• Z • YK • GH(D+AK)	UDI EUI DA DGP LUX	Reinhart (2019) Walkenhorst	Yatay Panjur Sistem
	Matin ve diğ., 2025	• Z • KK • GH(D) • CK • YK	DGP	LEEDv4	Yatay Ve Düşey Panjur Sistem
	Lin ve Tsay, 2021	• Z • YK • GGEO • GX	DGP LUX IDU	LEEDv4	Karma Modüler
	Mangkuto ve diğ., 2022	• Z • GX • CK • GMÖ(S) • GH(D)	SDA ASE DGP UDI	LEEDv4	Yatay Panjur Sistem
	Liu ve diğ., 2023	• Z • CK • GGEO • GX	DGP LUX UDI	LEEDv4	Karma Modüler

EK-1. (devam) İncelenen 59 çalışmanın özet tablosu

Amaç	Referans	Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	Optimizasyon Yöntemi	Gölgeleme Elemanı Formu
Termal Konfor Görsel Konfor	Hosseini ve diğ., 2021	• Z • G.H.(D+KY) • GX • CK • KK	ASE SDA DGP EUDI	Reinhart (2011, 2019)	Karma Biomimikri
	Kızılörenli ve Tokuç, 2022	• Z • GH (D+AK) • GX	ASE sDA	USGBC LEEDv4	Karma Uzay Kafes
	Hosseini ve diğ., 2020	• Z • GH(D+AK) • GX • GMÖ (R) • KK	UDI DGP EUDI Da	Reinhart (2011)	Karma Uzay Kafes
	Kızılörenli ve Maden, 2023	• YK • Z • GH(D+AK) • GX • G.GEO. • GEB	ASE SDA UDI DGP	Reinhart IES	Karma Uzay Kafes Geometrik
	Sommese, ve diğ., 2024	• Z • GD • GX • GH (KT+AK) • KK • WWR • GEB	SDA UDI DGP EUDI	Reinhart Belirli çalışmalardan Veriler	Karma Uzay Kafes Biomimikri
	Tabadkani ve diğ., 2018	• Z • YCU • G.H.(KT) • GX • GGEO • GD • GMÖ(M) • CT	ASE SDA UDI DGP	LEEDv4	Karma Uzay Kafes Biomimikri
	Toodekharman ve diğ., 2023	• Z • GH (D+KT+AK • GX • G.GEO • GMÖG • KK • WWR	ASE SDA DGI DGP DA	LEEDv4	Dikey Diagonal Karma
	Sangtarash ve diğ., 2022	• Z • GH (D+KT+AK) • WWR	ASE SDA UDI DGP Da	LEEDv4 MOEA NSGAIIPAES	Yatay Karma
	Im, ve diğ., 2019	• Z • GH(D)	EUI Dav SI	LEEDv4 ASHRAE IES	Karma Uzay Kafes
	Chuan-Hsuan ve Yav Shan, 2021	• Z • GGEO • GD • GH(Ö+AK)	SDA ASE DA	LEEDv4 IES WELL	Karma Panel

EK-1. (devam) İncelenen 59 çalışmanın özet tablosu

Amaç	Referans	Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	Optimizasyon Yöntemi	Gölgeleme Elemanı Formu
Enerji Tasarrufu + Görsel Konfor + Termal Konfor	Pesenti ve diğ., 2015	• Z • GH (KT+AK) • GMÖ(M+G)	UDI DGP EUI Da	İtalyan Stardizasyon Örgütü (UNI) Ideal Coefficients Of Performance (COP)	Uzay Kafes Origami
	Hassan ve diğ., 2017	• GH(D) • GX • GD • GEB	ASE SDA EUI DAV DA	LEEDv4 IES ASHRAE 90.1-2007	Karma Uzay Kafes
	Sankaewthong, ve diğ., 2022	• Z • GH (D+AK) • GX • GGEO	GF-DF ASE SDA LUX	LEEDv4EN 12464	Karma Uzay Kafes Biomimikri Dikey
	Fikery, ve diğ., 2024	• Z • G.H.(D+AK) • CK • GGEO • GMÖ(S+G)	ASE SDA EUI Da	LEEDv4 IES	Dikey Yatay İkisi Birlikte Karma
	Başaran, 2015	• Z • GH(D) • GMÖ(M) • GGEO	GF-DF EUI LUX	Belirli çalışmalardan Veriler	Yatay Panjur
	Nazari ve diğ., 2023	• GH(D+AK) • CK • GGEO • GD • GMÖ(S)	ASE UDI DGP DGI EUDI CDA PPD	Belirli çalışmalardan Veriler	Yatay Dikey Birlikte
	Shi ve diğ., 2019	• GH (D+KT+KY+AK) • CK • GGEO • GEB	ASE UDI EUI	REİNHART WALKENHORST LEEDv4	Yatay Diagonal Panjur
	Yaman ve diğ., 2025	• GH(D) • GMÖG • GEB	ASE SDA EUI TCV PMV	LEEDv4 ASHRAE	Karma Uzay Kafes
	Pérez-Carramiñana ve diğ., 2024	• Z • GH(D+AK) • GX • GGEO • GMÖG • KK	EUI LUX TCV PMV PPD	ASHRAE 55 EN 15251	Yatay Dikey
	Panya ve diğ., 2020	• Z • GH (D+KY+KT+AK) • GX • GMÖG	SDA UDI PMV	LEEDv4 IES BREAM CASBEE	Yatay Dikey
	Ahmed, Abdel-Rahman, Bady, ve Mahrous, 2016	• GH(AK) • GMÖG • GEB	EUI LUX PMV SR	ASHRAE 55	Yatay Hareketli

EK-1. (devam) İncelenen 59 çalışmanın özet tablosu

Amaç	Referans	Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	Optimizasyon Yöntemi	Gölgeleme Elemanı Formu
Enerji Tasarrufu Görsel Konfor Termal Konfor	Oraby, ve diğ., 2023	• YCU • GH(D) • GX • GMÖ(S) • WWR	SDA EUI DA	LEEDv4.1	Karma Uzay Kafes
Enerji Tasarrufu + Termal Konfor	Rafati ve diğ., 2023	• YK • GMÖ(S+M) • GD • GH(D)	UDI EUI	ASHRAE90.12019	Yatay Panjur
	Bande ve diğ, 2021	• Z • GH(AK)	EUI DA	LEEDv4	Karma Uzay Kafes
	Chi ve diğ., 2017	• GGEO • GMÖ(S)	UDI DA EUI	LEEDv4	Karma Uzay Kafes Kafes
	Wang ve diğ., 2025	• Z • GAK • GX	EUI	Belirli çalışmalardan Veriler	Karma Uzay Kafes
	Tran ve diğ., 2023	• YCU • GEB	EUI	Belirli çalışmalardan Veriler	Karma Uzay Kafes
	Ashraf ve Abidin., 2024	• G.H.(KT+AK) • GX	SDA EUI	LEEDv4	Karma Kafes Biomimikri
	Carluccı, 2023	• GX • GGEO • CK • GH(Ö) • GD • GEB	EUI	LEEDv4	Yatay Düşey Karma
	Elghazi ve Mahmoud, 2016	• Z • GH(KT+AK) • CK	ASE SDA UDI	LEEDv4	Karma Uzay Kafes Biomimikri
	Sheikh, WT ve Asghar, Q. (2019)	• Z • GH(KT) • CK • GGEO • GD	DF EUI LUX	CISBE	Karma Uzay Kafes Biomimikri
	Sabry ve diğ., 2015	• GH(D+AK) • GD • GEB	ASE SDA LUX	LEEDv4	Karma Uzay Kafes
	Wagdy ve diğ., 2015	• G.H. • (D+KY+AK) • GEB	ASE SDA EUI DAV DA	LEEDv4 IES	Karma Uzay Kafes
	Neseliler ve diğ., 2025	• Z • GH(D+AK) • GX	EUI LUX	Belirli çalışmalardan Veriler	Karma Uzay Kafes
	Besbas ve diğ., 2022	• YCU • Z • GHAK • GX • KK	GF-DF SDA UDI EUI	Climate-Based Daylight Modelling (CBDM) metric	Karma Uzay Kafes
	Akimov,Bezborodov Badenko, 2023	• YCU • GH(D+AK) • GEO • GEB	UDI DGP LUX DA	IESVE	Karma Uzay Kafes
	Toutou ve diğ., 2018	• Z • GH(D) • WWR • GD • GMÖ(S) • GEB	SDA EUI LUX	LEEDv4.1	Yatay Paralel

EK-1 (devam) İncelenen 59 çalışmanın özet tablosu

Amaç	Referans	Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	Optimizasyon Yöntemi	Gölgeleme Elemanı Formu
Enerji Tasarrufu Görsel Konfor	Jayathissa ve diğ., 2018	• GH(AK) • GD • CP • GGEO(S) • GEB	EUI	-	Karma Uzay Kafes Kafes Pv
	Golzan ve diğ., 2023	• Z • GH(D) • GX	DA UDI DGP EUI	-	Karma Uzay Kafes
Enerji Tasarrufu Görsel Konfor Enerji Kazanımı	Narangerel ve diğ., 2016	• GX • G.GEO.	UDI EUI	Belirli çalışmalardan Veriler	Karma Uzay Kafes
Enerji Tasarrufu+ Görsel Konfor + Termal Konfor+ Enerji Kazanımı	Choi, 2023	• Z • Y.K. • G.H.(D) • G.M.Ö. • G.E.B.	SDA EUI SR PMV	-	Yatay Panjur
	Bakmohammadi, ve Noorzai, 2022	• YCU • CK • GD • GH(D) • GGEO	UDI DGP ASE EUI LEX EUI P CTR	ASHRAE LEEDv4.1	Yatay Ve Düşey, Pv
Görsel Konfor Enerji Kazanımı	Le-Thanh ve diğ., 2021	• G.H.(KT) • C.K.	ASE SDA EUI	LEEDv4.1	Karma Uzay Kafes Origami



Gazili olmak ayrıcalıktır