



**YÜKSEK OFİS YAPILARINDA DİAGRID TAŞIYICI SİSTEM
BİÇİMLENİŞİNİN YAPISAL PERFORMANS VE İÇ ORTAM AYDINLIK
DÜZEYİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Serap EŞER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ŞUBAT 2023

ETİK BEYAN

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

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

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

Serap EŞER

09/02/2023

YÜKSEK OFİS YAPILARINDA DIAGRID TAŞIYICI SİSTEM BİÇİMLENİŞİNİN
YAPISAL PERFORMANS VE İÇ ORTAM AYDINLIK DÜZEYİ ÜZERİNDEKİ
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Serap EŞER

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Şubat 2023

ÖZET

Şehirlerde artan insan ve aktivite sayısı nedeniyle, kullanılan arazi miktarı sınırlanırken, yeni yaşam alanları ve ticari alan ihtiyacını karşılamak için yüksek yapılar dünya genelinde hızla artmaktadır. Son yıllarda, hesaplama araçlarının ve teknolojik çözümlerin geliştirilmesi sayesinde, yüksek yapıların tasarımı önemli gelişmeler göstermiştir. Bu, yüksek yapısal performansların ve kayda değer mimari çözümlerin elde edilmesini sağlayan, diagrid taşıyıcı sistem gibi yenilikçi yapısal sistemlerin inşa edilmesine yol açmıştır. Yüksek yapılarda diagrid taşıyıcı sistemin farklı geometrik biçimlenişinin yapısal performans ve çevresel etkilerine ilişkin araştırmalar sınırlıdır. Çalışmanın amacı yüksek yapılarda diagrid taşıyıcı sistemde farklı açı ve yoğunluktaki modül geometrilerinin, içsel yapısal kararlılığı ve verimliliği yansıtmasına, çelik malzeme miktarı ve gün ışığı aydınlatma düzeyi, dolayısıyla yıllık birincil ısıtma ve soğutma yükleri üzerindeki etkilerini araştırarak taşıyıcı sistem tasarımının yapının çevresel etkileri üzerindeki rolünü belirlemektir. Ankara ili Eskişehir Yolu Bölgesi'nde 42 katlı çelik diagrid taşıyıcı sisteme sahip bir yapı varsayılmıştır. Alternatif modeller SAP2000 V20 programında modellenmiş ve analiz edilmiştir. Seçilen üç sistemin karşılaştırılmalı olarak strüktür analizi yapılarak biçimin oluşumuna katkı sağlayan taşıyıcı elemanlarının somut performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Gün ışığı analizleri için Rhinoceros yazılımı ClimateStudio eklentisi kullanılmıştır. Yüksek yapılarda mimari tasarım kararlarının ve yapısal tasarım gerekliliklerinin karşılıklı olarak, yapısal davranışı, mimari tasarımı ve iç ortam konforunu nasıl etkileyeceği bütünsel bir yaklaşımla ele alınmıştır. Elde edilen verilere göre diagrid sistem yüksek yapı tasarımında cephe geometrisini belirlemede yol gösterici olabilecek yapısal bir dil geliştirilmeye çalışılmıştır.

Bilim Kodu : 80115
Anahtar Kelimeler : Yüksek yapılar, diagrid taşıyıcı sistem, sürdürülebilir yapısal tasarım, doğal aydınlatma
Sayfa Adedi : 113
Danışman : Doç. Dr. Asena SOYLUK
İkinci Danışman : Prof. Dr. İdil AYÇAM

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DIAGRID CARRIER SYSTEM FORMATION
ON STRUCTURAL PERFORMANCE AND INDOOR ILLUMINANCE LEVEL IN
HIGH RISE OFFICE BUILDINGS

(M.Sc. Thesis)

Serap EŞER

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2023

ABSTRACT

Due to the increasing number of people and activities in cities, while the amount of land used is limited, high-rise buildings are increasing rapidly around the world to meet the need for new living spaces and commercial areas. In recent years, thanks to the development of computational tools and technological solutions, the design of tall buildings has shown significant improvements. This has led to the construction of innovative structural systems, such as the diagrid load-bearing system, which enable high structural performances and remarkable architectural solutions. Research on the structural performance and environmental effects of the different geometric configuration of the diagrid carrier system in high-rise buildings is limited. The aim of the study is to determine the role of structural system design on the environmental effects of the structure by investigating the effects of module geometries of different angles and densities in the diagrid structural system in high-rise buildings, on the reflection of internal structural stability and efficiency, on the amount of steel material and daylight illumination level, and therefore on the annual primary heating and cooling loads. A structure with a 42-storey steel diagrid carrier system is assumed in the Eskişehir Highway Region of Ankara. Alternative models were modeled and analyzed in the SAP2000 V20 program. Concrete performance evaluations of the carrier elements contributing to the formation of the form were made by making a comparative analysis of the three selected systems. Rhinoceros software ClimateStudio plugin was used for daylight analysis. How architectural design decisions and structural design requirements mutually affect the structural behavior, architectural design and indoor comfort in high-rise buildings is discussed with a holistic approach. According to the data obtained, a structural language has been tried to be developed that can be a guide in determining the facade geometry in the diagrid system high-rise design.

Science Code : 80115

Key Words : Tall buildings, diagrid structural system, sustainable structural design, natural lighting

Page Number : 113

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Asena SOYLUK

Co-Supervisor : Prof. Dr. İdil AYÇAM

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında; bilgi, birikim ve tecrübelerini paylaşan, sabrı ile bana destek olan, her zaman samimiyet ve ilgisini gördüğüm kıymetli danışman hocalarım Doç. Dr. Asena SOYLUK'a ve Prof. Dr. İdil AYÇAM'a ve yapabileceğime inanan, bana sonsuz destek veren, güvenen aileme ve dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR.....	7
2.1. Yüksek Yapılar.....	7
2.2. Sürdürülebilir Yüksek Yapı Tasarımı	8
2.2.1. Sürdürülebilirlik kavramı	9
2.2.2. Yüksek yapılarda sürdürülebilir tasarım kriterleri	12
2.2.3. Yüksek yapılarda iç ortam konforu	16
2.2.4. Sürdürülebilir mimari tasarımda gün ışığı kullanımı	17
2.2.5. Sürdürülebilir taşıyıcı sistem tasarımı.....	20
2.2.6. Sürdürülebilirlik değerlendirme metodları.....	24
2.3. Diagrid Taşıyıcı Sistem.....	27
2.3.1. Diagrid sistemin gelişimi	29
2.3.2. Diagrid sistem çalışma prensibi	30
2.3.3. Modüller ve modülarite	31
2.3.4. Düğüm ve eleman tasarımı.....	41
2.3.5. Diagrid sistemde cephe tasarımı	42

	Sayfa
3. MATERYAL VE METOD	45
3.1. Yapısal Analiz	45
3.1.1. Diagrid modellerin oluşturulması.....	45
3.2. Gün Işığ Analizi	57
3.2.1. Ankara ilinin iklim verilerinin belirlenmesi	57
3.2.2. Ofis binası modelinin tanımlanması.....	58
3.2.3. Gün ışığı metriklerinin belirlenmesi	62
3.2.4. Aydınlatma analizinde kullanılan simülasyon yazılımları ve parametreleri	64
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	69
4.1. Yapısal Analiz	69
4.1.1. Temel model analiz sonuçları	69
4.1.2. Model 2 yapısal analiz sonuçları	72
4.1.3. Model 3 yapısal analiz sonuçları	75
4.1.4. Temel Model, Model 2 ve Model 3 yapısal analiz sonuçlarının karşılaştırılması	79
4.2. Gün Işığ Analiz Sonuçları	83
4.2.1. Ortalama aydınlık düzeyi	83
4.2.2. Yıllık güneş ışığına maruz kalma (ASE) analiz sonuçları	90
4.2.3. Mekânsal gün ışığı otonomisi (sDA) analiz sonuçları	94
5. SONUÇ	99
KAYNAKLAR	105
ÖZGEÇMİŞ	113

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. 2010-2022 yılları arasında Türkiye'de tamamlanmış 100m üzeri yüksek yapılar	8
Çizelge 2.2. TS EN 12464-1, CEN, CIE, CIBSE, DIN ve IES standardına göre ofis mekânlarında ve yardımcı alanlarda görev ve aktiviteye göre aydınlık düzeyi	19
Çizelge 2.3. EN 15978'e göre yaşam döngüsü aşamaları	25
Çizelge 2.4. Önceki çalışmalara ait optimal açı, çelik kütlesi ve maksimum üst deplasman değerleri.....	36
Çizelge 3.1. Periyot verileri tablo altlığı.....	52
Çizelge 3.2. Taban kesme kuvveti tablo altlığı	52
Çizelge 3.3. Maksimum deplasman değerleri tablo altlığı	53
Çizelge 3.4. Tepki spektrumu yöntemiyle modellenen yüksek yapılar için çelik sistemde kullanılan malzeme özellikleri	53
Çizelge 3.5. ZC zemin sınıfına ait çıktılar	56
Çizelge 3.6. Ankara iline ait mevsim normalleri.....	58
Çizelge 3.7. Alternatif modelleri pencere/duvar oranları	62
Çizelge 3.8. Farklı standartlara göre ofisler için tavsiye edilen aydınlık düzeyleri	68
Çizelge 4.1. Temel modelin ZC zemin sınıfına göre ilk 3 periyod değerleri	69
Çizelge 4.2. Temel modelin X ve Y yönünde ZC maksimum taban kesme değerleri ...	70
Çizelge 4.3. Temel model ZC zemin sınıfına göre maksimum deplasman (görelî kat ötelenmesi) değerleri	72
Çizelge 4.4. Model 2 ZC zemin sınıfına göre ilk 3 periyod değerleri	72
Çizelge 4.5. Model 2, X ve Y yönünde ZC maksimum taban kesme değerleri	73
Çizelge 4.6. Model 2- ZC zemin sınıfına göre maksimum deplasman (görelî kat ötelenmesi) değerleri	74
Çizelge 4.7. Model 2 ZC zemin sınıfına göre ilk 3 periyod değerleri	76
Çizelge 4.8. Model 3, X ve Y yönünde ZC maksimum taban kesme değerleri	77

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.9. Model 3- ZC zemin sınıfına göre maksimum deplasman (görelî kat ötelenmesi) değerleri	79
Çizelge 4.10. Temel model, model 2 ve model 3'e ait ortalama aydınlık düzeyleri	84
Çizelge 4.11. Temel model, model 2 ve model 3'e ait pencere/duvar oranları	84
Çizelge 4.12. Temel model, model 2 ve model 3'e ait ASE (1000lux/250) değerleri ...	90
Çizelge 4.13. Temel model, model 2 ve model 3'e ait mekânsal gün ışığı otonomisi değerleri	95

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Türkiye'de yıllara göre en yüksek yapılar.....	7
Şekil 2.2. Sürdürülebilirlik değerlendirme kriterleri.....	26
Şekil 2.3. (a) Ortogonal taşıyıcı sistem; (b) diagrid taşıyıcı sistem	28
Şekil 2.4. Diagrid sistemin temel geometrik yapısı	31
Şekil 2.6. Farklı yapı yükseklikleri için optimal diagrid açısı	33
Şekil 2.7. Üst yanal deplasman ve diagrid aşısı ilişkisi	33
Şekil 2.8. Farklı köşegen açısı desenleri diyagramlar	34
Şekil 2.9. Optimal değişken diagrid açısı	35
Şekil 2.10. Stres hattı ve bina modeli(solda), öneri yapısal modeller(sağda).....	38
Şekil 2.11. Tomei ve diğerlerinin çalışmasında bina modeli (solda) ve analiz edilen modeller.....	38
Şekil 2.12. Normal bina modeli	39
Şekil 2.13. Düzenli modeller	39
Şekil 2.14. (a) Lotte Super Tower'ın çelik düğümü; (b) Cyclone Tower'ın çelik düğümü	42
Şekil 3.1. Temel model kat planı	46
Şekil 3.2. Temel modele ait kiriş isimleri (solda), kolon isimleri (sağda).....	46
Şekil 3.3. Model 2 kat planı ve görünüş	49
Şekil 3.4. Model 2'ye ait kiriş isimleri (solda), kolon isimleri (sağda).....	49
Şekil 3.5. Model 3 kat planı ve görünüş	50
Şekil 3.6. Model 3'e ait kiriş isimleri (solda), kolon isimleri (sağda).....	51
Şekil 3.7. Yük kombinasyonları.....	55
Şekil 3.8. HHE800B ve HHE600B kolon planı.....	56
Şekil 3.9. ZC zemin sınıfı için spektrum eğrisi	57
Şekil 3.10. Ankara ili için aylara göre ortalama güneşlenme süresi.....	58
Şekil 3.11. Eskişehir yolu ve ofis yapılarının harita üzerindeki konumları.....	59

Şekil	Sayfa
Şekil 3.12. Gün ışığı analizinin yapılacağı ofis modülleri.....	60
Şekil 3.13. Alternatif modeller kat planları	61
Şekil 3.14. ClimateStudio mekânsal gün ışığı otonomisi (sDA) lejantı	67
Şekil 3.15. ClimateStudio gün ışığına maruz kalma (ASE) lejantı	67
Şekil 3.16. ClimateStudio yıllık ortalama aydınlık lejantı	68
Şekil 4.1. Temel modelin ZC zemin sınıfına göre ilk 3 periyod değerleri	69
Şekil 4.2. Temel modelin Mod 1 (a), Mod 2 (b), Mod 3 (c) görünüşü.....	70
Şekil 4.3. Temel modele ait kesit (a), deprem yükünde eksenel yük (b), moment (c) ve taban kesme (d) diyagramları.....	71
Şekil 4.4. Model 2'ye ait ZC zemin sınıfına göre ilk 3 periyod değerleri	73
Şekil 4.5. Model 2'ye ait Mod 1 (a), Mod 2 (b), Mod 3 (c) görünüşü	74
Şekil 4.6. Model 2'ye ait kesit (1), deprem yükünde eksenel yük (2), moment (3) ve taban kesme (4) diyagramları	75
Şekil 4.7. Model 3 'e ait ZC zemin sınıfına göre ilk 3 periyod değerleri	76
Şekil 4.8. Model 3'e ait Mod 1 (a), Mod 2 (b), Mod 3 (c) görünüşü	77
Şekil 4.9. Model 3'e ait kesit (1), deprem yükünde eksenel yük (2), moment (3) ve taban kesme (4) diyagramları	78
Şekil 4.10. Temel Model, Model 2 ve Model 3 için modal analiz değerleri	79
Şekil 4.11. Temel Model, Model 2 ve Model 3'e ait yapı ağırlık değerlerinin karşılaştırması.....	80
Şekil 4.12. Temel Model, Model 2 ve Model 3 için maksimum taban kesme değerlerinin karşılaştırılması	80
Şekil 4.13. Temel Model, Model 2 ve Model 3 için RESX (deprem yükleri altında) maksimum deplasman değerlerinin karşılaştırılması	81
Şekil 4.14. Temel Model, Model 2 ve Model 3 için WXP (rüzgâr yükleri) maksimum dönme değerlerinin karşılaştırılması	81
Şekil 4.15. Temel model, model 2 ve model 3 yıllık ortalama aydınlık değerleri	85
Şekil 4.16. Temel model, 1. kat planı yıllık ortalama aydınlık düzeyi.....	86
Şekil 4.17. Temel model, 2. kat planı yıllık ortalama aydınlık düzeyleri.....	86

Şekil	Sayfa
Şekil 4.18. Temel model, 3. kat planı yıllık ortalama aydınlık düzeyleri.....	87
Şekil 4.19. Model 2, 1. kat planı yıllık ortalama aydınlık düzeyleri	87
Şekil 4.20. Model 2, 2. kat planı yıllık ortalama aydınlık düzeyleri	88
Şekil 4.21. Model 2, 3. kat planı yıllık ortalama aydınlık düzeyleri	88
Şekil 4.22. Model 3, 1. kat planı yıllık ortalama aydınlık düzeyleri	89
Şekil 4.23. Model 3, 2. kat planı yıllık ortalama aydınlık düzeyleri	89
Şekil 4.24. Model 3, 3. kat planı yıllık ortalama aydınlık düzeyleri	90
Şekil 4.25. Temel model, model 2 ve model 3 yıllık ortalama gün ışığı maruziyeti (ASE) analiz sonuçları ve pencere/duvar oranı	91
Şekil 4.26. Temel model, 1. ve 2. kat planları aşırı aydınlatılan zemin alanları yıllık ortalaması	92
Şekil 4.27. Temel model, 3. kat planı aşırı aydınlatılan zemin alanları yıllık ortalaması	92
Şekil 4.28. Model 2, 1. ve 2. kat planları aşırı aydınlatılan zemin alanları yıllık ortalaması	93
Şekil 4.29. Model 2, 3. kat planı aşırı aydınlatılan zemin alanları yıllık ortalaması	93
Şekil 4.30. Model 3, 1. ve 2. kat planları aşırı aydınlatılan zemin alanları yıllık ortalaması	94
Şekil 4.31. Model 3, 3. kat planı aşırı aydınlatılan zemin alanları yıllık ortalaması	94
Şekil 4.32. Temel model, model 2 ve model 3 mekânsal gün ışığı otonomisi (sDA) değerleri ve pencere/duvar oranı (WWR) değerleri	95
Şekil 4.33. Temel model 1. ve 2. katlar mekânsal gün ışığı otonomisi değerleri.....	96
Şekil 4.34. Temel model 3. kat mekânsal gün ışığı otonomisi değerleri.....	96
Şekil 4.35. Model 2, 1. ve 2. katlar mekânsal gün ışığı otonomisi değerleri.....	97
Şekil 4.36. Model 2, 3. kat mekânsal gün ışığı otonomisi değerleri.....	97
Şekil 4.37. Model 3, 1. ve 2. katlar mekânsal gün ışığı otonomisi değerleri.....	98
Şekil 4.38. Model 3, 3. kat mekânsal gün ışığı otonomisi değerleri.....	98

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. IBM Pittsburgh binası (solda), John Hancock Center (ortada), The Bank of China Tower (sağda)	28
Resim 2.2. Diagrid taşıyıcı sistem örnekleri (a) Swiss Re Tower, London, (b) Tornado Tower, Doha, (c) Capital Gate, Abu Dhabi	29
Resim 2.3. (a) Swiss-Re Tower, (b) Hearst Tower, (c) Çin Merkez Televizyonu (CCTV) Genel Merkezi ve (d) Guangzhou Batı Kulesi.....	32
Resim 2.4. CCTV Genel Merkezi.....	37
Resim 2.5. Diagrid desenleri: düzenli, değişken açı, değişken yoğunluk Zhon Hong Tower (a), Lotte Super Tower(b), Longgang Tian'an Cyber Park(c), Sunrise Tower (d), Hypergreen Tower (e)	40
Resim 2.6. Guangzhou Opera Binası (solda), Aldar Tower (sağda)	43
Resim 2.7. Bow Encana Tower (solda), Tornado Tower (sağda)	44
Resim 3.1. Konsol kirişte gerilme çizgileri (solda), Transbay Transit Tower (sağda)...	48
Resim 3.2. Temel Model (a), Model 2 (b) ve Model 3 (c) üç boyutlu görünüşleri	51

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

%	Yüzde
cm	Santimetre
lx	Lüks
m	Metre
m ²	Metrekare

Kısaltmalar

Açıklamalar

ASE	Annual Sunlight Exposure
BEMS	Bina Enerji Yönetim Sistemi
BREEAM	Çevresel Değerlendirme Metodu
CIBSE	Chartered Institute of Building Service Engineers
CIE	Uluslararası Aydınlatma Komisyonu
CTBUH	Council on Tall Buildings and Urban Habitat
Da	Gün Işığı Otonomisi (Daylight Autonomy)
DF	Gün Işığı Faktörü (Daylight Factor)
IESNA	Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisleri Topluluğu
LEED	Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik
SAP 2000	Strüktürel Analiz Programı
sDA	Mekânsal Gün Işığı Otonomisi
TS EN	Türk Standardı Avrupa Normları
UDI	Faydalı Gün Işığı Aydınlanma Düzeyi

1. GİRİŞ

Problemin durumu/ konunun tanımı

İnşaat sektörü, dünya genelinde tüm fosil yakıtların %40'ının, hammaddelerin %30'unun, suyun %25'inin ve arazinin %12'sinin tüketiminden sorumludur. Katı atıkların %25'ini üretir ve sera gazlarının %33'ünü yayar [1], böylece enerji kıtlığı riskini artırır ve insan kaynaklı iklim değişikliğini hızlandırır. 2030 yılına kadar tüm dünyada 5 milyar insanın kentsel alanlarda yaşayacağı tahmin edilmektedir. 1950'de dünya nüfusunun % 30'u kentsel alanlarda yaşarken, kentlerde yaşayanların oranı 2000'de % 47'ye çıkmıştır ve 2030'da % 60'a çıkması beklenmektedir. Sürdürülebilirlik kavramına ve uygulamasına doğru ilerlenmediği takdirde, enerji kıtlığı, küresel ısınma, kentsel yayılma, hava kirliliği, taşan çöplükler, su kıtlığı, hastalık ve küresel çatışma yirmi birinci yüzyılın mirası olacaktır [2]. Bu konuda mimarlar, mühendisler, şehir planlamacıları, politikacılar, akademisyenler ve topluluk gruplarının işbirliği gerekmektedir.

Günümüz şehirleri, artan nüfus ve birçok çevre sorununa bağlı olarak hızlı kentleşme ile karşı karşıyadır. Yüksek arsa maliyetleri, kentsel genişlemeyi önleme çabası, tarımsal üretimi koruma gereksinimleri, yüksek yapıların ve dikey yapılaşmanın gelişmesine katkıda bulunmuştur [3]. Yüksek yapılar daha az arsa alanı kullanarak daha yüksek yoğunluklu yaşanabilir alanlar sağlanması yoluyla, kendi doğaları gereği sürdürülebilir yapıları çevreler oluşturulması bakımından büyük potansiyel göstermektedir. Bunun sonucu olarak kullanılabilir yeşil alanlar için daha fazla arsa alanından tasarruf edilebilir. Yüksek bir yapı, aynı toplam taban alanındaki çok sayıda az katlı binaya kıyasla, daha az yapı kabuğu yüzey alanına sahip olduğundan, enerji kullanımı, az katlı yapılara göre daha az olabilmektedir [4]. Bununla birlikte, yüksek yapılar inşaat, kullanım, bakım ve yıkım aşamalarında büyük miktarda kaynak gerektirir ve enerji tüketir. Etraflarına çok büyük oranda gölgeler bırakır ve zemine yakın alanlarda oluşan ve insanları rahatsız eden şiddetli yerel türbülanslara sebep olur. Yapılar çok sayıda çevresel soruna neden olurken, yüksek yapılar, muazzam miktarda malzeme kullanımına ve çeşitli çevresel zararlı süreçlere gereksinim duydukları için küresel enerjinin başlıca tüketicileri ve muazzam CO2 yayıcıları olarak kabul edilir [5]. Aynı zamanda yapıların yüksekliği arttıkça, yanal kuvvetlere direnmek için gereken yapısal malzeme miktarı da büyük miktarda artış göstermektedir [6]. Bu nedenle, malzeme tasarrufu sağlayan yapısal tasarım, sürdürülebilir bir yapıyı çevre için çok önemlidir.

Sürdürülebilir yapı tasarımı binaların yapısal verimliliğini arttırıp, yaşam döngüsü noktasında, ekonomik ve çevresel kayıpları önemli ölçüde azaltırken, enerji verimliliği, çevre dostu olma, uyarlabilirlik ve kaynakların verimli kullanımı gibi birçok faktörü ifade eder. Diagrid taşıyıcı sistem gibi verimli ve yenilikçi yapısal sistemleri kullanmak, binaların sürdürülebilirliğini ve yapısal verimliliğini önemli ölçüde arttırabilir [7]. İki eğimli köşegen ve bir halka kırıştan oluşan üçgen eleman, diagrid taşıyıcı sistemin temel bileşenidir. Son zamanlarda yüksek yapılarda diagrid taşıyıcı sistemin önemli ölçüde kullanılması, diğer geleneksel sistemlere kıyasla daha düşük miktarda yapısal malzeme kullanarak yüksek yanal dayanım (dolayısıyla düşük yanal deforme olabilirlik), iç mekanın daha az kolonla daha rasyonel kullanımını sağlayan mimari esneklik sağlaması, çeşitli biçimlerde karmaşık forma sahip yapıların inşa edilmesine izin veren modülerlik nedenlerinden kaynaklanmaktadır [8]. Genellikle yapı kabuğunda yer alan diagrid çapraz kolonlar, iç mekânda kolonların kaldırılmasıyla geniş ve esnek kullanım alanları oluşturur. Bina cephesinde, dikey kolonların kaldırılmasını ve kolon sayısının azalmasını sağlayan diagrid sistem sayesinde güneş enerjisi yapı içerisine daha fazla nüfus ederek, ısıtma enerjisi tüketimini ve yapay aydınlatma gereksinimini azaltılabilir [9]. Tübüler sistemlerle karşılaştırıldığında diagrid yapılar malzeme kullanımının azaltılması nedeniyle çevresel etkiyi, betonarme yapılar için %17-33, çelik yapılar için %28-41 oranında azaltmaktadır [10].

Güneşliği ve gölgeleme, sürdürülebilir yüksek yapılarda cephe tasarımının temel unsurlarıdır. Cephe, yüksek bir binada dış cephe yüzey alanının yüzde 90 ila 95'inden fazlasını kaplar, yani çatı alanı, cephe alanlarına kıyasla neredeyse önemsizdir. Bu nedenle, yüksek bir bina için enerji kazancı veya kaybı, büyük ölçüde cephenin biçimlenişine, kullanılan malzemeye ve teknolojiye bağlıdır [2]. İyi tasarlanmış bir cephe, bir binaya önemli bir karakter kazandırmanın yanı sıra binanın enerji tüketimini azaltmaya yardımcı olur, doğal aydınlatmayı iyileştirir, daha iyi iç ortam iklimi ve konfor sağlar. Cepheler yüksek bir yapının yalnızca estetik görünümünü ve mimari ifadesini vurgulamakla kalmaz, aynı zamanda binanın iç koşullarını kontrol etmek için de avantajlı bir şekilde kullanılabilir.

Yanal yük altındaki yüksek bina ve dikey konsol kiriş arasındaki analogi, yapının yüksekliği ve genişliği boyunca rijitlik ve mukavemet taleplerinin değişimine yanıt vermek için taşıyıcı sistem modelinin tekdüze olmaması gerektiğini göstermektedir. Problem mekaniğine ilişkin daha derin bir kavrayış, optimum diagrid modellerinin, eşdeğer konsol kirişin ana gerilim yörüngelerinin haritalanmasıyla elde edilebileceği gibi, hem bina yüksekliği hem de cephe

genişliği boyunca değişen aı ve yoğunluk ile yapılandırılması gerektiğini ortaya koymaktadır [11].

Araştırmanın amacı

Yüksek yapılarda diagrid taşıyıcı sistemin farklı geometrik biçimlenişinin yapısal performans ve çevresel etkilerine ilişkin araştırmalar sınırlıdır. Çalışmanın amacı yüksek yapılarda diagrid taşıyıcı sistemde farklı aı ve yoğunluktaki modül geometrilerinin, içsel yapısal kararlılığı ve verimliliği yansıtmalarına, elik malzeme miktarı ve gün ışığı aydınlatma düzeyi, dolayısıyla yıllık birincil ısıtma ve soğutma yükleri üzerindeki etkilerini araştırarak taşıyıcı sistem tasarımının yapının çevresel etkileri üzerindeki rolünü belirlemektir. 42 katlı bir bina için düzenli, değişken açılı ve değişken yoğunluklu farklı diagrid desenlere sahip üç farklı model yapısal davranışlarını ve yüksek yapılarda sürdürülebilir alanların sağlanması konusunda belirleyici önemli bir parametre olan iç ortam günüşığı düzeylerini karşılaştırmak amacıyla oluşturuldu, tasarlandı ve analiz edildi. Burada tartışılan tasarım stratejilerinin bütünsel bir çerçeveden ele alınmasıyla, yapısal tasarım gerekliliklerinin ve mimari tasarım kararlarının karşılıklı olarak, birbirlerini ve sürdürülebilirliği ne ölçüde etkilediği konusunda fikir vermesi amaçlanmaktadır. Sonuçlar gerçek bir tasarım çözümü olmasının yanı sıra, farklı düşünmeyi teşvik etmek için de ele alınabilir.

Araştırmanın önemi

Günümüzde, sınırlı kaynaklarımızı korumak için sürdürülebilir tasarım, özellikle bol miktarda kaynakla inşa edilen ve kullanım aşamasında da büyük miktarda enerji tüketen yüksek yapılar için en önemli yapı tasarımı konularından biridir. Diagrid taşıyıcı sistemin çapraz kolonları, yüksek yapılarda işletim enerjisini doğrudan etkileyen ve ısı kayıp ve kazançlarının büyük kısmının gerçekleştiği yapı kabuğunu şekillendirmektedir. Diagrid kolonların geometrik biçimlenmesi yapı kabuğundan gün ışığı alımını, yapay aydınlatmaya duyulan ihtiyacı ve ısıtma, soğutma için gerekli enerji miktarını etkiler. Diagrid taşıyıcı sistemde modül açılarının uygun değer aralığında tutulması ve yapısal gerekliliklere yanıt verecek biçimde tasarlanması daha az malzemeyle daha uygun bir yanal rijitlik sağlamaktadır. Optimal geometrinin belirlenmesi malzeme kullanımını ve bunun sonucu olarak somut (gömülü) enerjiyi etkilemektedir.

Önceki çalışmalarda; yapım safhasında minimum malzeme kullanımına imkan veren, yüksek oranda yapısal verimliliğin sağlandığı optimal modül geometrisinin belirlenmesine ve diagrid taşıyıcı sistem tasarımında yapı yüksekliği boyunca değişen açı ve yoğunluktaki diagrid modüllerin yapısal performans ve çelik malzeme kullanımı üzerindeki etkilerine yoğunlaşmıştır. Cephe genişliği boyunca diagrid modüllerin yoğunluk ve açı değişimlerinin yapısal performans üzerindeki etkisine ve modül geometrisinin doğrudan belirleyici olduğu doğal aydınlatma düzeyi ile ilgili az sayıda çalışma yapılmıştır. Modül geometrisindeki varyasyonlar yapısal kararlılık, malzeme tüketimi ve gün ışığı aydınlık düzeyi dolayısıyla aydınlatma, ısıtma ve soğutma yükleri üzerinde önemli etkilere sahip olabilir.

Sınırlılıklar

Diagrid yapıların farklı geometrik desenlerinin yapısal davranışlarının ve iç ortam konforunun bir parametresi olan gün ışığı seviyelerinin değerlendirilmesi ve modellenmesi için Ankara ili Eskişehir Yolu Bölgesi'nde 42 katlı çelik diagrid taşıyıcı sisteme sahip bir yapı varsayılmıştır. Bina modeli, bu çalışmanın yapısal çözümlerini diğer yaklaşımlarla elde edilen benzerleriyle karşılaştırmak için önceki çalışmalarda benimsenenle aynıdır. Varsayılan binanın plan alanı 36m×36 m, merkez çekirdeği 12m×12m'dir. Binanın toplam yüksekliği 168 m, kat yüksekliği 4 m'dir. Varsayılan bina üzerinden üç farklı diagrid modül açısı ve yoğunluğunda cephe biçimlenişine sahip model tasarlanmıştır. Gün ışığı analizinde alternatif diagrid modeller için tekrarlayan modül birimlerini temsil eden 3 katlı temel birimlerin gün ışığı aydınlık düzeyleri belirlenmiştir.

Materyal ve metod

Bu çalışmada; yüksek yapılarda sürdürülebilirlik ve diagrid taşıyıcı sistemlere ait literatür çalışması yapılmıştır. Alternatif modeller SAP2000 V20 programında modellenmiş ve analiz edilmiştir. Seçilen üç sistemin karşılaştırılmalı olarak strüktür analizi yapılarak biçimin oluşumuna katkı sağlayan taşıyıcı elemanlarının somut performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Alternatif modellerin gün ışığı aydınlık düzeyi ve olası kamaşma alanlarının belirlendiği simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Modellere ait 3 katlı temel birimler, Rhinoceros programıyla modellenmiştir. Gün ışığı analizleri için Rhinoceros yazılımı ClimateStudio eklentisi kullanılmıştır.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde; çalışmanın amaç, kapsam ve yöntemi açıklanmıştır. İkinci bölümde; sürdürülebilir yüksek yapı tasarımı ve diagrid taşıyıcı sistem tasarımı hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümün ilk aşamasında diagrid modül geometrilerinin varyasyonunun yüksek yapıların yapısal davranışı ve malzeme verimliliği üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Diagrid taşıyıcı sistemde farklı yoğunluklarda tasarlanmış modüllerden elde edilen temel model, model 2 ve model 3'ün yapısal analizi ve kullanılan malzeme miktarının hesaplanmasını kapsar. Temel model literatürden alınan verilerle oluşturulmuştur. Model 2'de cephe genişliği boyunca farklılaşan rijitlik veya mukavemet taleplerini karşılamak için diagrid modüller bina köşelerinde daha dik açılarla yoğunlaşmaktadır. Model 3'te diagrid modüllerin eğilme rijitliğinin yeterli olmaması sorununa çözüm önerisi olarak oluşturulmuştur. Önerilen modeller arasında yapısal ağırlık ve yapısal performans açısından (yükseklik boyunca deprem ve rüzgar yükleri altında üst deplasman dağılımı, taban kesme değerleri ve modal analiz sonuçları) karşılaştırma yoluyla değerlendirilir.

Üçüncü bölümün ikinci aşamasında gün ışığı simülasyon metodolojisi anlatılarak bu alanda kullanılan yazılımlar hakkında bilgi verilmiştir. Yıllık iklim tabanlı metrikler olan ortalama aydınlık düzeyi, gün ışığına maruz kalma değeri ve mekânsal gün ışığı otonomisi ve simülasyon parametreleri anlatılmıştır.

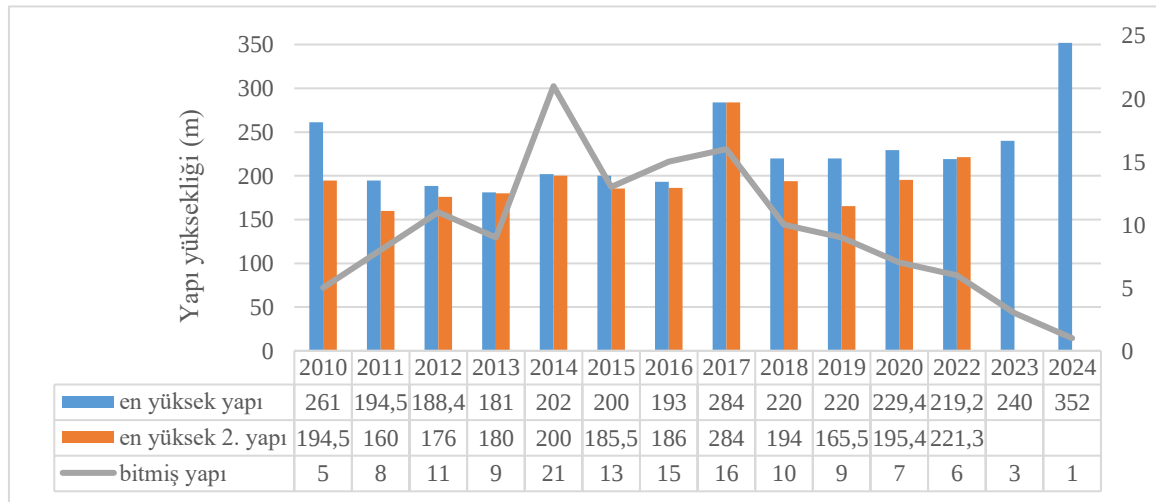
Dördüncü bölümde; yapısal performans analizi ve gün ışığı aydınlık düzeyi analizine ait bulgular verilmiştir. Beşinci bölüm olan son bölümde; yapısal performans analizi ve gün ışığı analizini kapsayan alan çalışmasına yönelik genel değerlendirmelere yer verilerek gelecekte bu alanda yapılacak çalışmalara yön verilmesi hedeflenmiştir.

2. LİTERATÜR

2.1. Yüksek Yapılar

Yüksek Binalar ve Kentsel Habitat Konseyi'ne (CTBUH) göre 14 veya daha fazla katlı veya 50 metreden yüksek bir bina "yüksek bina" olarak tanımlanabilir. Süper yüksek, 300 metre veya daha uzun bir binadır ve "mega yüksek", 600 metre veya daha yüksek bir yüksek binadır. Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği'ne göre yüksek yapı; bina yüksekliği 21.50 metreden veya yapı yüksekliği 30.50 metreden fazla olan binaları, çok yüksek yapı; bina yüksekliği 51.50 metreden veya yapı yüksekliği 60.50 metreden daha yüksek olan binalardır. Çevresel bağlama göre, en boy oranına göre ve gelişmiş teknolojilerin kullanımına göre bir yapının yüksek olma durumu değerlendirilebilir. Şekil 2.1.' de Türkiye'de yıllara göre en yüksek yapılara ait grafik görülmektedir.

Yirmi yıl önce dünyanın kentleşmiş nüfusu yalnızca yaklaşık %33'tü, bugün dünya nüfusunun yarısından fazlası kentsel ortamlarda yaşamaktadır. 2030 yılına kadar dünya nüfusunun %60'ının kentsel alanda yaşayacağı düşünülmektedir [12]. Dünyadaki birçok şehrin artan kentsel nüfuslarını barındırmak için dikey yapılaşmayı benimsemesi nedeniyle sürdürülebilir yüksek yapılar 21. yy 'da olağanüstü derecede önemli hale gelecektir [12]. Yüksek binalar, en enerji yoğun mimari tipolojilerden birini temsil ederken, aynı zamanda birçok kişinin gelecekteki sürdürülebilir toplulukların önemli bir bileşeni olacağına inandığı yüksek yoğunluklu çalışma ve yaşam koşullarını sunar [13].



Şekil 2.1. Türkiye'de yıllara göre en yüksek yapılar (Yazar tarafından hazırlanmıştır. Kaynak: CTBUH)

Çizelge 2.1. 2010-2022 yılları arasında Türkiye'de tamamlanmış 100m üzeri yüksek yapılar (Yazar tarafından hazırlanmıştır. Kaynak: CTBUH)

Kat Adedi	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2022	
20-35	3	2	8	4	6	4	7	8	4	5	2	3	56
36-45		5	2	2	8	7	5	4	4	3	2	5	47
46-55	2	1	1	3	7	2	3	1	1	1	3	2	27
56-...								3	1				4
Toplam	5	8	11	9	21	13	15	16	10	9	7	10	134

Yüksek yapılar gelecek için baskın bir mimari tipolojidir. Yüksek yapıların esas olarak inşa süreçlerinde gerekli olan büyük miktarda malzeme nedeniyle genellikle sürdürülemez olduğu düşünülmektedir. Bunun doğru olup olmadığını kontrol etmek ve sayısal olarak desteklemek için aza sayıda analiz yapılmıştır. Genel olarak yüksek bir yapı yerçekimi yüküne, deprem yüküne ve rüzgar yüküne dayanacak şekilde tasarlanmalıdır [14]. Çizelge 2.2’de 2010-2022 yılları arasında Türkiye’de tamamlanmış 100 m üzeri yüksek yapılar görülmektedir.

Yüksek binalar, sınırlı arazi kaynaklarının kullanımını optimize ettikleri için varlıkları içinde sürdürülebilir yapılar olarak kabul edilebilir. Ancak, inşa ve işletmede kullanılan büyük miktardaki doğal kaynakların tazmin edilememesi nedeniyle yüksek binaların sürdürülebilir olmadığı da söylenebilir. Bir yapısal sistemin sürdürülebilir olması için binanın enerji talebinde yıkıcı bir rol üstlenmemesi gerekir. Başarılı bir sürdürülebilir yüksek bina inşa etmek için hem yapısal sistem hem de enerji talebi senkronize olarak geliştirilmelidir [15].

Yüksek performanslı yüksek yapı tasarımının bazı faydaları enerji verimliliği, tasarım esnekliği, kaynakların korunması, iç mekan çevre kalitesinin sağlanmasıdır. Günışığı ve gölgeleme yeşil binalar için cephe tasarımının kilit unsurlarıdır. Yüksek bir binanın yüzey alanının %90-95’ini cephe sistemi oluşturmaktadır. Enerji kazanç ve kayıpları cephede kullanılan malzemeye ve teknolojiye bağlıdır. Yüksek yapıların hem somut hem de işletme enerji talepleri azaltılarak yaşam döngüsü enerji talebi azaltılabilir [16].

2.2. Sürdürülebilir Yüksek Yapı Tasarımı

Sürdürülebilir bir yüksek bina tasarlamak, yerel ve küresel çevreyi, yenilenebilir ve yenilenemez kaynakların mevcudiyetini, sosyal etki değerlendirmesini ve mimarların,

planlamacıların, mühendislerin, sosyal bilimciler, davranış bilimciler ve diğer toplum temelli grupların işbirlikçi girdilerini dikkate alarak tüm bina oluşumuna 360 derecelik bir bakış açısı gerektirir [2].

Genel olarak yüksek yapıların inşasında sürdürülebilirlik, tasarım, inşaat ve işletme aşamalarının çevre, ekonomi ve toplum üzerinde minimum olumsuz etkisi varsa sağlanabilmektedir. Yapıların inşası, kullanımından kaynaklanan etkiler hakkında farkındalık arttıkça, yapı mühendisliğinin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için oynadığı rol daha fazla kabul görmüştür [17]. Geniş anlamda “yeşil” terimi, genellikle, bir yapının çevre ve kullanıcılar üzerindeki olumsuz etkisini en aza indiren veya ortadan kaldıran tasarım, inşaat ve bakım uygulamalarını tanımlayan sürdürülebilirlik için kullanılır. Yüksek performanslı yüksek bina, yeşil teknolojileri kullanarak optimum performans gereksinimlerini karşılarken bina işlevlerinin en yüksek verimliliğini sağlayan binadır [2].

2.2.1. Sürdürülebilirlik kavramı

1989’da yayınlanan Brundtland Raporu’nda “Gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden şimdiki neslin ihtiyaçlarını karşılayan kalkınma” çağrısında bulunulmuştur [2]. Sürdürülebilir kalkınma terimi, yaşam kalitesinin artırılması ve böylece insanların sağlıklı bir çevrede yaşamasına ve mevcut ve gelecek nesiller için sosyal, ekonomik ve çevresel koşulların iyileştirilmesine olanak sağlamak olarak tanımlanabilir [18].

Sürdürülebilir kalkınmanın gelişen sosyal, ekonomik ve çevresel göstergeleri, küresel olarak yükselen bir sektör olan ve hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde oldukça aktif bir sektör olan inşaat sektörüne dikkat çekmektedir. Çevresel olarak, bu sektör yüksek enerji tüketiminden, katı atık oluşumundan, küresel sera gazı emisyonlarından, dış ve iç kirlilikten, çevresel hasardan ve kaynak tükenmesinden sorumludur [18].

Sürdürülebilirlik için bir dizi çevresel değerlendirme süreci, tasarım araçları ve kilit performans göstergeleri bulunmaktadır. Ancak bunların hiçbiri özellikle yüksek katlı inşaatların değerlendirilmesi için tasarlanmamıştır. Mevcut değerlendirme araçlarının örnekleri arasında Bina Araştırma Kuruluşu Çevresel Değerlendirme Metodu (BREEAM), Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik (LEED), İnşaat Mühendisliği Çevresel Kalite ve

Değerlendirme Ödülü (CEEQUAL), ARUP'un Sürdürülebilir Proje Değerlendirme Rutini (SPeAR), DTI'lar yer almaktadır [19].

Sosyal sürdürülebilirlik

Yüksek bina bir finans veya yerleşim bölgesine yerleştirildiğinde, çevresindeki doğal ve sosyo-ekonomik koşulları etkileyen bir etki alanı yaratır. Yüksek bina projesi, inşaat ve hizmet ömrü boyunca birçok iş alanı yaratabilir. Sürdürülebilir bir yaklaşım, yüksek bir binanın ömrünü toplumun gelecekteki ihtiyaçlarına uyumlu olacak şekilde tasarlayarak uzatır [19]. Genel bir strateji olarak, yüksek binalar, istihdam ve sosyal alanlar için fırsatlar sunarak toplumun sosyo-ekonomik büyümesine yatırım yapacak karma kullanım planlarını benimsemelidirler. Önerilen yüksek binaların işlevleri, yerel topluluk ihtiyaçlarını tamamlamalı ve karşılamalıdır [20, 21].

Enerji ve kaynak kullanımı

Yüksek bir yapının toplam enerji talebi somut, operasyonel enerji ve yıkım enerjisinden oluşur ve büyük miktardadır. Hong Kong'da gerçek hayattaki on yüksek katlı ofis binası üzerine Wang ve diğerlerinin yürüttüğü çalışmaya göre, ofis binalarının toplam enerji talebi, 50 yılda 51,78 GJ/m² ile 73,64 GJ/m² arasında değişmekte, toplam talebin %78-89'unu operasyonel enerji, %11-22'sini somut enerji oluşturmaktadır [22].

Somut enerji

Bir binanın malzemelerini çıkarmak, üretmek ve taşımak için gereken tüm enerjinin yanı sıra inşasını tamamlamak için gerekli olan tüm enerjiyi ifade eder. Somut enerji başlangıç enerjisi ve tekrar eden somut enerji olmak üzere iki kısma ayrılır. İlki hammaddenin çıkarılması, malzeme üretimi, malzemelerin sahaya taşınması ve binanın inşası için gereken enerji, ikincisi bakım ve tadilat için gereken enerjidir. Yüksek katlı binaların somut enerjisi, daha fazla malzeme tüketmeleri ve bu malzemelerin beton ve çelik gibi daha fazla enerji yoğun olması nedeniyle, az katlı yapılara kıyasla %50 daha yüksek olma eğilimindedir [22].

Operasyonel enerji

Bir binanın kullanımı ve işletilmesi yoluyla tüketilen enerjiyi ifade eder. İşletme aşamasında tüketilen enerjinin büyük kısmı ısıtma, soğutma ve aydınlatma faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Bu faaliyetlerin ticari binalardaki toplam enerji tüketiminin sırasıyla %12, %8 ve %18'ini oluşturduğu belirtilmektedir

Operasyonel enerji talebine göre daha düşük bir oranı temsil eden somut enerji talebinin günümüzde giderek artmasının nedenlerinden biri düşük enerjili ve sıfır enerjili bina eğilimidir. Yapı malzemelerinin miktarını azaltmaya yönelik herhangi bir çaba, yüksek binalarda gömülü enerjide önemli bir azalma sağlayacaktır [23]. Operasyonel enerji verimliliği stratejileri, kullanıcı davranışları, iklim değişikliği, kullanım evresi belirsizliklerine tabiyken, başlangıç somut enerjisi ile ilgili tasarruflar bina inşa edildiğinde sabit olduğundan daha güvenilirdir [24].

Yüksek binalar yüksek düzeyde operasyonel enerji talep ettiğinden, örneğin binanın enerji tedarik sistemlerinin mevcut ve gelecekteki 'düşük veya sıfır karbonlu' enerji tedarik altyapısı ile nasıl entegre edilebileceği gibi daha geniş kalkınma resmi bağlamında düşünülmelidir. Güneş, rüzgar ve jeotermal enerji kaynakları kullanılarak operasyonel enerji tüketimi azaltılabilir [20]. Şehir çapında bölgesel ısıtma sistemleri ağı veya şehir çapında birleşik ısı ve güç (CHP) ağı ile bağlantı kurma fırsatlarını da göz önünde bulundurabilir. CHP tesisleri, geleneksel enerji kaynaklarına kıyasla daha düşük yakıt gereksinimlerine ve daha düşük maliyetlere sahiptir. Yüksek binaların yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üçüncü taraf enerji merkezleri ile mümkün olduğu durumlarda entegrasyonu düşünülmelidir [20].

Yıkım enerjisi

Bir binanın yıkımı ve bertarafı için gerekli enerjidir.

Ulaşım

Yüksek yapı, toplu taşımaya yakın olduğunda ve bisiklet, yürüyüş gibi çevre açısından temiz ulaşım modlarını desteklediğinde sürdürülebilir hareketliliği destekler. Servis alanları

yürüme mesafesinde olduğunda, insanlar araba kullanmak yerine yürürler; ve bu nedenle, CO2 üretimi azalır [20].

2.2.2. Yüksek yapılarda sürdürülebilir tasarım kriterleri

Arsa kullanımı

Genellikle, arsa analizi, yüksek yapı da dâhil olmak üzere herhangi bir yapının şematik tasarımının bir parçasıdır. Terk edilmiş kentsel arazileri canlı mimari alanlara dönüştürerek, eski binaları yeniden işlevlendirerek ve mevcut topluluklara ve altyapıya yakın yeni alanlar seçerek sürdürülebilir stratejiler kullanılabilir [25]. Gözenekli veya geçirgen kaplama, geçirimsiz alanların azaltılması, yeraltı suyunun yeniden doldurulması, su kalitesinin iyileştirilmesi ve tutma havuzlarına olan ihtiyacın azaltılması dahil olmak üzere birçok avantaja sahiptir. Yerel çevre düzenlemesi, çeşitli kuşları, kelebekleri ve diğer hayvanları çekerek yerel ekolojii desteklediği için teşvik edilmelidir [13].

Küçük bir taban alanı üzerine yüksek bina inşa etmek, fazla yağışı emebilen ve yüzey akışını azaltabilen geçirgen arazi yüzeylerini potansiyel olarak artırır; bu durum, özellikle iklim değişikliği tahminlerinin giderek daha şiddetli fırtınalar ve yağışlar öngördüğü alanlarda önemlidir [20].

Pasif enerji kullanımı

İdeal olarak, sıfır enerjili, sıfır atıklı ve karbonsuz bir yüksek bina, sürdürülebilir yüksek binalar için nihai hedeftir. Mimarların ve mühendislerin, sürdürülebilir mimari ilkelerini takip ederek, aydınlatma, havalandırma, enerji, yapı malzemeleri vb. gibi çok çeşitli konuları aynı anda dikkate alan bina tasarımı için kapsamlı ve entegre bir yaklaşım benimsemeleri çok önemlidir. Bir binanın enerji tüketimi üzerindeki en büyük etki, bina tasarımcılarının boyut, biçim, şekil, dış yüzey ve çekirdeklerin konumu vb. ile ilgili olarak aldıkları temel erken karardır, tümü belirli saha bağlamına ve doğal çevreye göredir [20].

Rüzgar, önemli miktarda enerji gerektiren mekanik havalandırma kullanmak yerine doğal "serbest" havalandırma ve soğutma sağlamak için kullanılabilir. Havanın binanın iç mekanlarına girmesine ve içinden geçmesine izin vererek, doğal iklimlendirme sağlanabilir.

Temiz hava ayrıca daha sağlıklı bir iç ortam yaratabilir ve bina sakinlerinin konfor düzeyini ve üretkenliğini artırabilir [20].

Cephe teknolojileri

Cephe, yüksek bir binada dış bina yüzey alanının yüzde 90 ila 95'inden fazlasını kaplar. Bu nedenle, yüksek bir binanın enerji kazanımı veya kaybı, cephede kullanılan malzemeye ve teknolojiye bağlıdır [2]. Yapı kabuğunun termal performansını iyileştirerek ve uygun U faktörüne sahip yapı malzemeleri seçilerek karbon emisyonlarını %36 azaltmak mümkündür [26]

Güneş ışığının iç ortama alınmasına izin veren şeffaf camlı giydirme cephelere sahip yüksek binalar, daha yüksek ısı kazancı ve ısı kaybına yol açarak soğutma ve ısıtma yüklerini artırır. Aydınlatma performansını ve çalışma alanındaki ısı kazançlarını ve kayıplarını artırmak için farklı cam türleri ve uygulanabilir filmler de mevcuttur. Cephe mühendisliği çözümleri arasında çift cidarlı (bir hava boşluğu ile ayrılmış iki kat cam), bazen üçlü cidarlı ve doğal havalandırma sistemli cepheler bulunmaktadır [20].

Yapı kabuğunun termal performansı, verimli ve sürdürülebilir bir çözümün tasarımında başlangıç noktasıdır. Yüksek binalardaki cephe sistemleri, yüksek rüzgar yüklerine ve bina hareketlerine direnmek için basit ve güçlü detaylara ihtiyaç duyar. Bu nedenle sürdürülebilir yüksek bina tasarımında cephe sisteminin yapı ile entegre edilmesi zorunlu hale gelmektedir [15].

Akıllı sistemler

Bina yönetim sistemi (BMS), yangından korunma, güvenlik, iletişim, asansörler, HVAC sistemleri vb. gibi çeşitli bina sistemlerinin operasyonlarını yönetmek için kullanılan merkezi bir kontrol sistemidir. BMS'nin enerji ile ilgili hizmetlerle ilgilenen bileşeni, enerji yönetimi ve kontrol sistemi (EMCS) olarak da bilinen bina enerji yönetim sistemi (BEMS) tarafından kontrol edilir [20].

Yapı malzemeleri

Yüksek bir yapı, inşa sürecinde eşdeğer kullanılabilir alanlı az katlı bir binadan daha fazla malzeme kullanır. Konumuna bağlı olarak, yüksek bir bina yaklaşık 150 kg/m² brüt taban alanı miktarında çelik tüketirken, az katlı bir bina bunun yarısını kullanabilir. Daha fazla malzeme, üretim ve nakliye de daha fazla enerji kullanılması, daha fazla doğal kaynak tüketimi, daha fazla atık ve daha fazla CO₂ emisyonu anlamına gelir. Yerel kaynaklı malzemeler, atık proseslerinden elde edilen agregalar ve saha dışı veya yerinde prefabrikasyon, hammadde kullanımının azaltılmasına ve ayrıca maliyetin, enerji kullanımının ve en önemlisi çöp sahalarına duyulan ihtiyacın azaltılmasına katkıda bulunabilir. Yinelenen kat planları ve modüler yapısal eleman boyutları gibi tasarım kararları, malzemelerde önemli tasarruflar sağlayabilir [21].

Yapım yöntemleri ve yapısal tasarım yoluyla yapı malzemelerinde herhangi bir tasarruf, sürdürülebilirliğin iki önemli hedefi olan doğal kaynakların israfını önlemesi ve somutlaştırılmış enerjiyi azaltması bakımından önemlidir. Yüksek binalar için kullanılan hem çelik hem de beton, fosil yakıt yoğun malzemelerdir ve beton, çeliğe kıyasla daha yüksek karbon emisyon oranına sahiptir [16]. Çöl benzeri bir iklimde gece soğuyan havadan, gündüz kullanım saatlerinde soğutma enerjisi olarak faydalanmak için masif betonarme taşıyıcı sistem kullanılabilir. Ayrıca, geri dönüştürülmüş içerikten çelik taşıyıcı sistemlerin tasarlanıp uygulanması dikkate alınmalıdır [2].

Yerel malzemenin kullanımı pazar avantajına ek olarak nakliye mesafelerini ve yakıt tüketimini de azaltması nedeniyle nakliye kaynaklı somut enerjiyi düşürür. Sürdürülebilirlik perspektifinden malzeme seçiminde dikkat edilecek hususlar; yerel kullanılabilirlik, üretim enerjisi yoğunluğu, geri dönüşüm potansiyeli, geri dönüştürülmüş içerik, yenilenebilirlik potansiyeli, atıkları azaltma potansiyeli, kullanım ömrü, dayanıklılık ve bakım gereksinimidir [24].

Yaşam sonu evresi

Bileşenlerin ve yapı malzemelerinin yeniden kullanılması için yapıların sökülmesi süreci, inşaat sektörünün çevreye yüklediği katı atık yükünü önemli ölçüde azaltabilir. Yıkım

yoluyla doğal kaynaklar korunur, istihdam ve eğitim fırsatları yaratılır ve çöplüklerden yönlendirilen malzemeleri kullanan yerel işletmeler geliştirilir [20].

Dikey peyzaj

Dikey peyzaj, hava kalitesi, ambiyans, sosyal alan, görsel kalite, ekoloji, yağmur suyu yönetimi, enerji tasarrufunu arttırmayı, havayı temizleme ve kentsel ısı adası etkilerini azaltmayı amaçlar. Dikey peyzaj unsurları arasında gökyüzü bahçeleri, yeşil çatılar, yeşil teraslar, şelaleler, dikey yeşil duvarlar ve bir binanın etrafındaki sürekli bitki örtüsü rampaları bulunur [20].

Su tasarrufu

Tatlı su, değerli bir doğal kaynaktır ve yüksek binaların, su kullanımını azaltarak ve tuvalet sifonu, sulama ve diğer amaçlar için kullanmak üzere gri suyu toplayıp geri dönüştürerek suyu koruma konusunda büyük bir sorumluluğu vardır. Bu nedenle tasarımın erken evrelerinde yeni yaklaşımlarla su tüketimini ve atık su deşarjını en aza indiren sistemlerin geliştirilmesi gerekmektedir[20]

Yenilenebilir enerji

Yüksek binalar; yüzey alanı-hacim oranları göz önüne alındığında, Fotovoltaik (PV) teknolojiyi kullanma konusunda büyük potansiyele sahiptir. Coğrafi konum, PV'nin verimliliği üzerinde büyük fark meydana getirir. Çift cidarlı bir cephe kullanılması durumunda, dış cidar farklı formlarda tasarlanarak çözüme ulaşılabilir, böylece iç cidar dikey kalabilirken PV panelleri optimum eğimi karşılar. Optimum açılar sağlamak için güneş panellerini döndüren dinamik mekanik çözümler de mümkündür [20].

Yüksek binalar genelde zemin seviyesinden alt kotlarda inşa edilmeye başlandığından, jeotermal enerji binanın işleyişini desteklemek için kullanılabilir. Çin, Pekin'deki Linked Hybrid, yaklaşık 100 m (328 ft) derinliğe inen 660 jeotermal kuyu kullanmaktadır. Jeotermal kuyular, yapıyı yazın serinleterek ve kışın ısıtarak kazan veya elektrikli klima ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır [20].

Entegre tasarım, bir binada kullanım esnekliği için de geçerlidir. Bir yapı birkaç yıl sonra işlevselliğini yitirmezse sürdürülebilir kabul edilebilir. Yüksek binaların inşası, eleman standardizasyonu ve tekrarı nedeniyle genellikle verimli bir süreçtir. Tekdüzelik, yapısal parçaların üretimi ve nakliyesi için harcanan doğal kaynaklardan tasarruf sağlar, inşaat hızını da artırır [15].

2.2.3. Yüksek yapılarda iç ortam konforu

Gelişmiş ülkelerde insanlar zamanlarının %90'ından fazlasını iç mekanlarda geçirmektedir. Bu nedenle iç mekan koşullarının kullanıcı sağlığı, genel esenlik ve performansı üzerinde geniş kapsamlı etkileri vardır. Kapalı ortamlarda, bina kullanıcılarının konforunu etkileyen bir dizi fiziksel ve kimyasal parametre tanımlanmıştır. İç ortam kalitesi ile ilgili standartlar, bu parametrelerin kabul edilebilir aralıklarını tanımlamak için geliştirilmiştir. Standartlar termal konfor, iç hava kalitesi ve işitsel ve görsel koşullar gibi farklı çevresel faktörleri ayrı ayrı ele alır.

ASHRAE-55 ısı konforu “ısı ortamdan duyulan memnuniyeti ifade eden ve sübjektif değerlendirme ile değerlendirilen zihinsel durum” olarak özetlemektedir. İnsan vücudu, çevre ile sürekli ısı alışverişi yoluyla doğal olarak vücut sıcaklığını 37 °C'de tutmaya çalışır. İnsan vücudu ile çevre arasındaki ısı transferi iletim, konveksiyon, radyasyon, nem, giysi ve metabolizmadan kaynaklanan ana etkilerle ilişkilidir. Termal konforun tahmini karmaşık bir olgudur, bu nedenle uluslararası düzeyde, Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) 7730-2005, ASHRAE 55-2013, Avrupa Standartları EN 15251-2007 tarafından, iç ortam konforunun değerlendirilmesi için bazı standartlar sağlanmaktadır [27].

Görsel konfor, “görsel çevre tarafından indüklenen görsel esenliğin öznel bir durumu” olarak tanımlanır. Görsel koşullar, parlaklık dağılımı, aydınlatma ve homojenliği, parlama, ışığın rengi, renksel geriverim, kırpışma oranı ve gün ışığı miktarı gibi parametrelerle karakterize edilir [28].

Akustik konfor “akustik koşullardan memnun olma durumu” olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte, akustik konfor terimi yaygın olarak kullanılmamaktadır ve iyi bir akustik ortamın sağlanması, esas olarak rahatsızlık oluşumunun önlenmesi ile ilişkilendirilmektedir.

Ses ortamının kalitesi, hem sesin fiziksel özelliklerini hem de bir odanın fiziksel özelliklerini içeren çok sayıda fiziksel parametreye bağlıdır [29].

İç hava kalitesi, kapalı bir binada oturan bir kişi için iç mekân konforunun hesaplanmasında da önemli bir faktördür. İç hava kalitesi terimi, hava akımı, engellenen hava, kuru hava, nemli hava, koku ve iç havadaki kirleticilerin konsantrasyonunu ifade eder. Kirleticilerin/toz parçacıklarının konsantrasyonu iç hava kalitesini ve bina sakinlerinin sağlığını etkiler. Kapalı ortamdaki yüksek partikül konsantrasyonu enfeksiyonların yayılmasına, virüslere, göz tahrişine ve solunum problemlerine neden olur [27].

2.2.4. Sürdürülebilir mimari tasarımda gün ışığı kullanımı

Gün ışığı, bina kullanıcılarının sağlığını, üretkenliğini ve esenliğini artırarak binaların İç Ortam Kalitesini (IEQ) iyileştirebilir. Ayrıca yapay aydınlatma kullanımını azaltarak binalardaki enerji tüketimini önemli ölçüde etkileyebilir. Bilişsel sağlık çalışmaları, gün ışığına maruz kalmanın, insanların uyanıklık ve bilişsel performanstan sorumlu olan doğal sirkadiyen ritimlerini güçlendirebileceğini göstermiştir [30].

Çevresel koşullar insan sağlığını etkilediği ölçüde, doğal gün ışığına erişim insanlara hem fizyolojik hem de psikolojik olarak fayda sağlar. Özellikle işyerlerinde, doğal ışığın daha fazla işyeri üretkenliğine, stresin azalmasına ve çalışan memnuniyetinin artmasına yol açtığı görülmektedir. Farklı kültürlerde çalışan yetişkinlerin zamanlarının çoğunu kapalı mekanlarda geçirdikleri göz önüne alındığında kullanıcıların refahı için çalışma alanlarının koşullarının optimize edilmesi (akustik, hava kalitesi ve gün ışığı gibi iç ortam çevresel faktörlerinin iyileştirilmesi) kritik öneme sahiptir [31].

Tarihsel olarak, gün ışığı bir rahatlık olarak değil, bir hak ve gereklilik olarak görülmüştür. Gün ışığına erişimin korunması, dünyanın dört bir yanındaki şehirlerde kentsel imar politikalarında kendini gösterir. Gün ışığının insan sağlığına faydaları ve elektrik aydınlatma yükünü azaltmak için doğal ışık kullanmanın enerji tasarrufu potansiyeli göz önüne alındığında gün ışığı, bina sürdürülebilirliğinin temel bir bileşeni olarak kabul edilir [31]. Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik (LEED) sertifikası ve WELL Bina Standardı gibi çoğu yeşil bina derecelendirme sistemi, gün ışığına erişimi iyi olan binaları ödüllendirir [32]. İnsan sağlığı üzerindeki olumlu etkisi nedeniyle ve enerji tasarrufu, iç mekan gün ışığı,

hem çevresel hem de sosyal açıdan binaların genel sürdürülebilirliğine katkıda bulunur. Ayrıca gün ışığı bir binanın işletme geliri üzerinde kayda değer bir etkiye sahiptir ve bu nedenle doğal aydınlatmanın proje finansmanı ve yatırımın tüm aşamalarında dikkate alınması gerekmektedir [31].

Ofis binalarında aydınlatma enerjisi tüketiminin incelenmesi, enerji tasarrufu için çok önemlidir. Aydınlatma, ofis binalarında toplam enerji tüketiminin %20-40'ını oluşturmaktadır [33]. Önemli bir enerji etkin tasarım stratejisi olarak kabul edilen ofis binalarında doğal ışık kullanımı, maksimum faydanın sağlanabilmesi için dikkatli bir mimari tasarım gerektirir. Elektrik enerjisi tüketiminin aydınlatma stratejisi ile azaltılabileceği yaygın olarak bilinmektedir ve gün ışığından yararlanan binaların tasarımına yönelik ilgi artmaktadır. Ayrıca, doğal ışık kullanımı, bina kullanıcılarının üretkenliğini artırmak için önemli bir faktördür [34].

“Günüşığı mevcudiyeti” ifadesi, belirli bir yer, saat, tarih ve gökyüzü koşulunda güneşten ve gökyüzünden gelen gün ışığı miktarını ifade eder. Güneş, gökyüzü, binalar ve zemin parlaklık dağılımının ana kaynaklarıdır. Enlem, iklim ve bina yönelimi gün ışığı mevcudiyetini etkiler ve bu nedenle gün ışığı tasarımlarında incelenmelidir [35]. Günüşığı ölçümleri, tek bir noktada değerlendirilen anlık ölçümler ve bir binanın yıllık kullanım saatlerini kapsayan yıllık, iklime dayalı ölçümleri olmak üzere iki gruba ayrılır. İklim dayalı gün ışığı ölçümleri, günlük ve mevsimsel kalıplardaki gün ışığı değişikliklerini yansıtabilmektedir. Yaygın olarak kullanılan iklime dayalı ölçümler, Gün Işığı Otonomisi (DA), Yararlı Gün Işığı Aydınlığı (UDI) ile birlikte Mekânsal Gün Işığı Özerkliği ve Yıllık Güneş Işığına Maruz Kalma dâhil olmak üzere çoğunlukla yatay aydınlatmaya dayalıdır [36].

Aydınlık düzeyi belirli bir alana birim zaman aralığında gelen ışık akısı miktarıdır. 1 lümen değerinde ışığın 1 metrekare alana gelmesinin aydınlık düzeyi 1 lux (lm/m^2) tür ($1 \text{ lux} = 1 \text{ lümen} / 1 \text{ m}^2$). Doğal gün ışığı aydınlık değeri, yoğun bulutlu bir gökyüzünde 5000 lx'ten doğrudan güneş ışığında 40.000 lx'in üzerine kadar değişebilir. Gün ışığı faktörü ölçümü, bulutlu bir gökyüzü altında iç aydınlatma ve dış yatay aydınlatmanın aynı anda ölçülmesini gerektirir [37].

Çizelge 2.2. TS EN 12464-1, CEN, CIE, CIBSE, DIN ve IES standardına göre ofis mekânlarında ve yardımcı alanlarda görev ve aktiviteye göre aydınlık düzeyi

E (Ix):				E _o (Ix):		E _{min} (Ix):
Alan-Görev-Aktivite Türleri	TS EN 12464-1	IES	CIE	CIBSE	DIN	CEN
Dolaşım alanları (sikülasyon) Dosya ve fotokopi odaları vb.	300	50-150	300	50-100-150	200	300
Yazma okuma ve veri işleme	500	400	500	300	500	500
Teknik çizim	750		750	500-750	750	750
CAD çalışma birimleri	500	300	500	300-500	500	500

Aydınlatma için gerekli enerji, yüksek binalar için birincil enerji tüketiminin büyük bir bölümünü oluşturur ve doğal aydınlatma kullanılmasıyla büyük ölçüde azaltılabilir. Binanın genişliği, tavanın yüksekliği, pencerelerin yüksekliği ve genişliği, coğrafi konum ve güneşin gökyüzündeki mevsimsel yollarına göre binanın yönelimi, doğal aydınlatma üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yüksek binalarda genellikle yüksek oranda giydirmeye cam cepheler bulunur. Gün ışığı, pencerelerden bir binanın içine yaklaşık 3-6 m mesafeye kadar girer ve daha sık döşeme plakaları gün ışığının kullanımını en üst düzeye çıkarır [20].

Yüksek bina tasarımı, yükseklikle değişen dikey dış koşullardan etkilenir. Özellikle, çevredeki binaların yoğunluğu yüksekliğe göre değişir, bu da gölgelemenin azalmasına ve dolayısıyla gün ışığına erişimin artmasına neden olur. Ancak, bu aynı zamanda güneş radyasyonundan kaynaklanan ısı kazanımını da etkileyecektir. Bu nedenle, yüksek binalar, alt katlara daha az gün ışığı erişimi ve yüksek katlarda artan güneş maruziyeti yaşama eğilimindedir, bu da binanın yüksekliği boyunca tek tip olmayan günışığı stratejilerine ihtiyaç olduğunu gösterir. Ofis işlevleri için en uygun aydınlatma değeri göz önüne alındığında, tanımlanan aralık 300 ila 500 lüktür [38]. Çizelge 2.2.' de TS EN 12464-1, CEN, CIE, CIBSE, DIN ve IES standardına göre ofis mekânlarında ve yardımcı alanlarda görev ve aktiviteye göre aydınlık düzeyleri görülmektedir.

Bir binanın cephesinde gün ışığından yararlanmak için camları maksimuma çıkarmak ile termal konfor koşullarını ve ısıtma/soğutma yüklerini etkileyen ısı iletim özelliklerini minimuma indirmek arasında ince bir denge vardır. Dış bina yüzeyinin %25 ila %30'u kadar bir camlı alanın benimsenmesi, %50 pratik bir sınır olmak üzere optimum bir değerdir [20].

2.2.5. Sürdürülebilir taşıyıcı sistem tasarımı

Yapısal bir sistemin birincil rolü, zamana dayanacak sağlam bir bina için gerekli stabiliteyi, mukavemeti ve rijitliği sağlamaktır. Ayrıca yapısal sistem, binanın enerji stratejisine doğrudan katılmalıdır. Örneğin, döşemeler, ısı transferini azaltmak için bir termal kütle olarak kullanılabilir. Mimari olarak dış ortamla direkt temas halinde olan taşıyıcı sistem elemanları, yatay/dikey gölgeleme cihazları olarak işlev görebilir. Taşıyıcı sistem, atriyumları şekillendirebilir ve çerçeveleyebilir. Ayrıca rüzgarın hareketi için gereken açıklıkları oluşturarak ve destekleyerek rüzgar türbinlerinin kurulumunun planlanması ile etkileşime girebilir. Taşıyıcı sistemin en önemli özelliği, binanın mimari veya mekanik diğer bileşenlerine kıyasla uzun ömürlü olmasıdır. Bir yapısal sistemin sürdürülebilir olması için binanın enerji talebinde aşırı bir rol üslenmemesi gerekir [15].

Sürdürülebilir yapısal tasarımda; kaynak tüketimini en aza indirmek, yenilenebilir ve geri dönüştürülebilir kaynaklar kullanmak, doğal çevreyi korumak, sağlıklı ve toksik olmayan bir yapılı çevre üretmek, yapılı çevre üretiminde kalite standartlarını gözetirken yatırımcı ve kullanıcının ihtiyaçlarını karşılayan bir taşıyıcı sistemin üretilmesi sağlanmalıdır [17]. Çevresel etki enerji kullanımıyla yakından ilgili olduğundan, daha düşük enerji tüketimi ile ilişkili yapısal bileşenler ve malzemeler daha düşük çevresel etkiye sahip olacaktır. Sürdürülebilir taşıyıcı sistem tasarımı farklı parametreler ışığında ele alınabilir.

Form

Malzeme israfını en aza indirmek ve yapısal performansı artırmak için mimari formdan yararlanmak sürdürülebilir taşıyıcı sistem tasarımının hedeflerinden biridir [39]. Yüksek bir binanın formu, rüzgâr veya deprem yüklerine karşı daha dayanıklı olmasına yardımcı olabilir. Aerodinamik formlar, bina üzerindeki rüzgâr yüklerini azaltarak daha fazla yapısal verim sağlar. Yüksek yapı formunu inceltme, bükme, eğme, geri çekme ve açıklık bırakma, taşıyıcı sistemi daha verimli hale getiren ve yanal yüklere karşı daha fazla dayanma kapasitesi sağlayan değişikliklerden bazılarıdır [40].

Lacidogna ve diğerlerinin yapmış olduğu çalışmada, diagrid modüllerin eğimi, kat planı şekli ve bina en boy oranı gibi geometrik parametrelerin, diagrid yüksek binaların yapısal tepkisi üzerindeki etkisi araştırılmıştır [41]. Diyagonal eğimin, binanın yapısal davranışını

etkileyen ana geometrik parametre olduğu belirlenmiştir. 126 m, 168 m, 210 m ve 252 m yüksekliğindeki, kare, daire, altıgen ve sekizgen plan formundaki diagrid yapılar için, yanal yer değiştirmeleri en aza indiren optimal açı değerlerinin 64° – 72° aralığında olduğu ve binanın en boy oranı arttıkça arttığı bulunmuştur. Diyagonaller optimal açı değerinden saptığında, dairesel plan geometrisinin burulma eylemlerine dayanmak için en uygun form olduğu bulunmuştur. Ardekani ve diğerlerinin yapmış oldukları parametrik çalışmada 40 katlı çelik diagrid bir yapı, plan şekli ve kesit formunun yapısal ağırlık üzerindeki etkisi araştırılmıştır [40]. Sonuçlar; modellenen yapılar, üçgen ve dörtgen plan şeklinden daire doğru değiştikçe ve zeminden üstkatlara doğru içbükey bir biçimde incelen formlarda yapısal ağırlığın %18 daha az olduğunu göstermektedir.

Mirniazmandan ve diğerlerinin yapmış olduğu çalışmada alt ve üst planlardaki kenar sayıları rasgele artırılarak, 180 m yüksekliğinde diagrid taşıyıcı sisteme ve çeşitli kesit şekillerine sahip 64 parametrik model oluşturulmuştur [42]. Sonuçta 63° 'lik açı en az yanal üst kat deplasmanı sağlar. Temel plan için daire kesitli ve tepe için daireye ek olarak 12-10-8 kenarlı çokgen formlar mimari ve yapısal açıdan verimli binalar elde etmek için en iyi çözümlerdir.

Yükseklik

Genel olarak, bir binanın yüksekliği arttığında, yapının ağırlığını ve dolayısıyla yapım süresini azaltmak için taşıyıcı sistemin verimliliği çok önemli hale gelir. Bununla birlikte; Wang ve diğerlerinin Hong Kong' daki 10 mevcut yüksek katlı ofis binasının incelenmesi yoluyla gerçekleştirmiş oldukları çalışmada bina yüksekliği ile ağırlığı ve gömülü enerji arasında zayıf doğrusal regresyonların olduğu görülmektedir [22].

Taşıyıcı sistem

Yapısal sistemin türü malzeme kullanımını, enerji tüketimini, bakımı, yaşam döngüsü maliyetlerini, geri dönüşümü, risk yönetimini ve sera gazı emisyonlarını etkiler [17]. Yüksek yapılarda işletme enerjisi taleplerini azaltmaya çalışırken daha fazla enerji yoğun malzemeler ve teknolojik uygulamalar kullanılmaktadır. Bu durumda somutlaştırılmış enerji artmaktadır. Yapısal olarak daha verimli bir sistem, tasarım yönetmeliklerine göre daha az malzeme kullanır ve daha ekonomik yapılar üretir [5]. Diagrid taşıyıcı sistem, geleneksel

ofis binalarına göre %25 daha az enerji, geleneksek çerçeveli yapılara göre %20 daha az çelik tüketir ve mukavemet, sertlik ve süneklik açısından daha iyi performans sağlar [17].

Lankhorst ve diğerlerinin yaptığı çalışmada 150-250 m yükseklik aralığında, prekast, yerinde dökme beton ve çelik malzemeden oluşan yüksek yapılar, farklı taşıyıcı sistemlerin çevresel performansı açısından analiz edilmiştir [10]. Tüp sistemle kıyaslandığında diagrid sistem, beton modeller için %17-33, çelik modeller için %28-41 oranında çevresel etkiyi azaltmıştır. Cho ve diğerlerinin gerçekleştirdiği çalışmada çelik konstrüksiyon yüksek yapılarda geleneksel rijit çerçeve, çapraz çerçeve ve Outrigger (Dış Destek) taşıyıcı sistemlerin çelik miktarını azaltmadaki etkileri araştırılmıştır [43]. Chevron çapraz çerçevenin, rijit çerçeve modelden %28,3 daha az çelik kullanımına sahip olduğu bulunmuştur.

Bileşen

Taşıyıcı sistemlerin çevresel etkilerindeki en büyük payı %32-73 oranı ile döşeme sistemleri oluşturmaktadır. Somut enerji tüketimini etkileyen temel parametreler; döşeme tipi, servis çekirdeğinin formu, kolon yerleşimi ve kiriş yüksekliğidir [10, 44]. Uygun döşeme sistemi seçmek, kolon sayısını arttırarak, kiriş açıklıklarını azaltarak döşeme kalınlığını azaltmak somut enerji azaltılabilir [24].

Danatzko ve diğerlerinin yapmış olduğu çalışmada, bir döşeme, 4 kiriş 4 kolondan oluşan tek katlı bir yapı modellenmiş ve yapısal bileşenlerin sürdürülebilirliğinin değişen parametrelerden nasıl etkilendiği araştırılmıştır [45]. Sonuçlar bir beton kolon üretmek için gereken enerji miktarının bir çelik kolonunkinden yaklaşık beş kat daha fazla, ancak çelik kirişlerin üretiminde gerekli enerji miktarının beton kirişlerden daha büyük olduğunu göstermektedir.

Malzeme

Sürdürülebilir yapı malzemeleri düşük bakım, yeterli dayanıklılık, enerji verimliliği, kullanıcıların sağlığının, refahının ve konforunun iyileştirilmesi, yapının yaşam döngüsü boyunca çevreye daha az zarar verirken üretkenliği artırma açısından belirli faydalar sağlar [17]. Yapı malzemelerinin kullanımını en aza indirerek karbon emisyonlarını azaltmak mümkündür [26]. Yüksek yapılarda somut enerjinin büyük kısmını baskın yapısal

malzemeler olan beton ve çelik oluşturmaktadır [10]. Genel olarak ahşap çerçeve yapılar, betonarme ve çeliğe göre daha düşük somut enerjiye ve küresel ısınma potansiyeline sahiptir [45]. Malzeme üretimi ve yapım sürecinde tüketilen enerjiyi ölçmek için gömülü enerji kullanılmaktadır. Gömülü enerji analiz edilen nesneyi oluşturan her malzemeyi üretmek için tüketilen enerjidir [44].

Foraboschi ve diğerlerinin yaptığı çalışmada betonarme çekirdek ve betonarme yada çelik çerçeveden oluşan 20 ile 70 kat arası değişen yüksekliklerde referans yapıların taşıyıcı sistemlerinin somut enerjisi, beşikten kapıya yaklaşımıyla hesaplanarak karşılaştırılmıştır [44]. Sonuçlar betonarme çerçevelerin çelik çerçevelerden daha az gömülü enerjiye sahip olduğunu göstermektedir.

Xing ve diğerlerinin yapmış olduğu çalışmada, çelik ve betonarme olmak üzere iki farklı yapı taşıyıcı sisteminin yaşam döngüsü enerji tüketimi ve çevresel emisyonlar açısından karşılaştırılmıştır [46]. Çelik çerçeveli yapının yaşam döngüsü enerji tüketiminin kullanım aşaması haricinde, betonarme yapının %71,1'i olduğu, CO₂ emisyonunun %48,1 ve SO_x emisyonunda %51,6 daha az olduğu sonucuna ulaşılar. Ancak çeliğin ısı iletkenliğinin yüksek olması nedeniyle kullanım aşamasında enerji tüketimi ve çevresel emisyonlarının yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Moussavi ve Akbarnezhad'ın taşıyıcı sistem tipi, yapı yüksekliği ve yapı malzemesi gibi belirleyicilerin değiştiği 15 farklı alternatif oluşturarak yaptığı çalışmada betonarme yapıların yaşam sonu karbon emisyonlarının çelik yapılardan %50 daha yüksek olduğu sonucuna ulaşıldı [47]. Çelik yapıların yıkımı için betonarme yapılara göre daha az zaman ve enerji gerekmektedir. Ayrıca nakliye ve inşaat aşamalarında ortaya çıkan karbon emisyonlarının betonarme yapılarda çelik yapılara göre daha yüksek olduğu sonucuna ulaşıldı.

Çelik endüstrisi toplam küresel CO₂ emisyonlarının %25' ini oluşturarak çevreyi en çok kirleten sektörlerden biridir. Dünya çapında üretilen çeliğin büyük kısmı inşaat sektöründe yapısal eleman olarak kullanılmaktadır. Taşıyıcı sistemlerde kullanılan çelik miktarındaki ufak azalmalar bile çevresel etkiler açısından faydalı olacaktır [48]. Çeliğin içerdiği karbon emisyon birimi geri dönüşüm oranı ile ilgilidir. Geri dönüştürülmüş içeriğe sahip çelik malzemenin kullanımı durumunda, yüksek yapıların daha az karbon emisyonu üreteceği

sonucuna ulaşılabilir [49]. Prefabrike beton ya da çelik elemanlarla bir binanın inşası, yerinde dökme betona göre daha hızlıdır. Bu da çevresel etkiler üzerinde olumlu etki oluşturabilecek bir durumdur [10]. Nematchoua ve diğerlerinin (2022) ABD ve Çin'deki iki süper yüksek bina üzerinde yaptığı çalışmada her iki yapıda da kullanılan çelik malzemenin kg başına yaklaşık 1.77 kgCO₂ salınımına neden olduğu bulunmuştur.

Tehrani ve Froese' un gerçekleştirdiği çalışmada Kanada, Vancouver'daki 18 katlı iki konut binası, yerinde dökme beton çerçeveli bina ve yapıştırılmış lamine ahşap (glulam)-çapraz lamine ahşap (CLT) hibrit bina tasarım düşünülmüştür [50]. Sonuçlar betonarme binanın toplam birincil enerjisini ahşaptan %11 daha düşük olduğunu göstermiştir. Bunun nedeni CLT ve glulamın, betonarmeden 4,5 kat daha fazla hammadde enerjisine sahip olmasıdır.

2.2.6. Sürdürülebilirlik değerlendirme metodları

Binaların sürdürülebilirlik değerlendirmesi genellikle çok disiplinli bir yaklaşım gerektirmektedir çünkü binalar, benzersiz süreçlere göre bir araya getirilmiş farklı teknolojileri içeren ve bölgesel farklılıklara göre çevre, ekonomi ve toplum üzerinde çeşitli yönler üzerinde etki edebilen, yalnızca ham madde toplulukları değil, daha üst düzey ürünlerdir.

Yaşam döngüsü sürdürülebilirlik değerlendirmesi (LCSA)

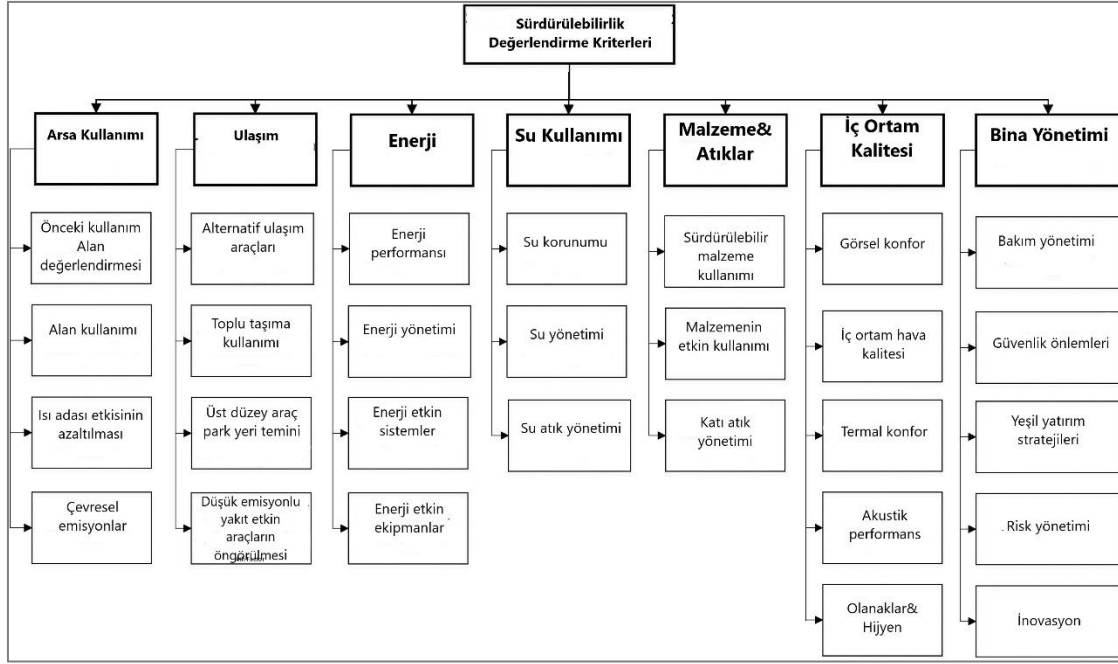
Yaşam döngüsü değerlendirmesi, bir yapının tasarlanması ve malzeme çıkarma, işleme, üretim, kullanım ve imhadan hizmet ömrü boyunca potansiyel etkisi ile ilişkili çevresel, sosyal ve ekonomik yönleri (üçlü alt çizgi) nicel olarak değerlendirmek için kullanılan bir tekniktir [17]. Çevresel yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA), bir yapıdan kaynaklanan potansiyel çevresel etkiyi analiz etmek için kullanılan bir araçtır. Yalnızca enerji veya sera gazı emisyonları ile sınırlı kalmayıp, aynı zamanda birçok organik ve organik olmayan bileşiğin havaya, suya ve toprağa emisyonunu, toksisiteyi ve "Beşikten-mezara" tüm yaşam döngüsü boyunca küresel ısınmaya kadar çevre üzerindeki etkileri nicel olarak belirler [50]. Avrupa'da GaBi ve SimaPro, ABD ve Kanada'da ATHENA, LCA yazılım araçlarından bazılarıdır. LCA, tüm bina tasarımı için karar verme aracı olarak malzeme düzeyinde çevresel performansın değerlendirilmesi ve önceden belirlenmiş bir dizi kritere dayalı olarak

tüm yapının performansının değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. Çizelge 2.3.2' te EN 15978' e göre yaşam döngüsü aşamaları görülmektedir.

Çizelge 2.3. EN 15978'e göre yaşam döngüsü aşamaları

BİNA DEĞERLENDİRME BİLGİSİ																													
BİNA YAŞAM DÖNGÜSÜ BİLGİSİ															BİNA YAŞAM DÖNGÜSÜ HARİCİ BİLGİSİ														
ÜRETİM AŞAMASI			İNŞAAT AŞAMASI		KULLANIM AŞAMASI							YIKIM AŞAMASI																	
A1	A2	A3	A4	A4	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3		C4													
HAMMADDE TEMİNİ			NAKLİYE		YAPIM-KURULUM		KULLANIM		BAKIM		ONARIM		DEĞİŞTİRME		YENİLEME		OPERASYONEL ENERJİ KULLANIMI		OPERASYONEL SU KULLANIMI		YAPI SÖKÜM-YIKIM		NAKLİYE		ATIK İŞLEME		BERTARAF		SİSTEM SINIRI DIŞINDAKİ FAYDALARVE YÜKLER
BEŞİKTEN KAPIYA																YENİDEN KULLANIM GERİ DÖNÜŞÜM GERİ KAZANIM													
BEŞİKTEN ALANA																													
BEŞİKTEN MEZARA																													
BEŞİKTEN BEŞİĞE																													

LCA, hammaddelerin topraktan elde edilmesiyle başlar, malzemelerin üretimi ve kullanımı ile devam eder ve bunların bertarafı ve geri dönüşümü ile sona erer [5]. Şekil 2.2.' de sürdürülebilirlik değerlendirme kriterleri görülmektedir.



Şekil 2.2. Sürdürülebilirlik değerlendirme kriterleri [51]

Yaşam döngüsü maliyeti (YDM), bir yapının inşaattan yıkım ve tadilatın son aşamasına kadar uzanan ömrü boyunca tahakkuk eden toplam maliyettir. Yapıların inşası, işletilmesi, bakımı ve rehabilitasyonu ve yıkımı nedeniyle ortaya çıkan maliyet, YDM'deki başlıca dahil edilenler ve göstergelerdir. YDM, tasarımcıları ve müşterileri farklı yatırım senaryoları hakkında bilgilendirmek ve bina tasarımını veya karar vermeyi optimize etmek için kullanılır [52]. ISO 15686-5:2017, binaların ve inşa edilmiş varlıkların LCC analizlerini gerçekleştirmek için yönergeler sağlar. Sosyal yaşam döngüsü değerlendirmesi (SLCA) herhangi bir ürünün yaşam döngüsü boyunca sosyal yönlerini (paydaşlar, sağlık ve güvenlik, çalışma saatleri, maaş, yaşam koşulları, fırsatlar, yerel topluluklar, tüketiciler ve kültür vb.) değerlendiren, geliştirilmekte olan nispeten yeni bir tekniktir [17].

Eko-verimlilik analizi (EVA)

Sürdürülebilirliğin bir yönü olan eko-verimlilik analizi (EVA), farklı ürünlerin ve tasarım alternatiflerinin sürdürülebilirlik performansını ölçmek için çevresel ve ekonomik performans göstergelerini birleştiren alternatif bir araç olarak ortaya çıkmıştır. EEA sürdürülebilirlik performansını ISO 14045, temelinde değerlendirir, ISO 14040 ve ISO 14044 uyarınca çevresel etkiyi ve beşikten mezara yaşam döngüsü yaklaşımındaki maliyetleri birleştirir. Çevresel etkileri, su ayak izi ve hava emisyonları (karbon ayak izi) olmak üzere altı kategoride ölçer [53].

Sosyo eko-verimlilik dengesi (SEEBalance®)

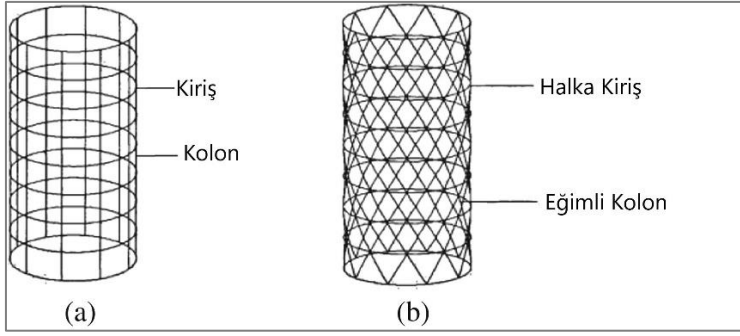
Bir ürün veya süreç nedeniyle sürdürülebilirliğin üç yönü üzerindeki etkileri değerlendiren yenilikçi bir araçtır. _Eko-verimlilik analizinin, sosyal göstergeleri değerlendiren sosyal analizle bütünsel bir tabloya entegre edilmesidir ve bu da uygulayıcıların ilgili bilgileri bir genel bakış sisteminde çözmesine olanak tanır. SEEBalance® daha kapsamlı bir araçtır ve karar verme süreçleri için bütünsel bir bakış açısı sağlar, böylece sürdürülebilirlik faydalarının ve ödünleşimlerinin belirlenmesine yardımcı olur [54].

Derecelendirme araçları

BREEAM, İngiltere'de geliştirilen ve 1990 yılında ticari kullanıma sunulan ilk sürdürülebilirlik derecelendirme aracıdır. Bundan sonra, ABD'de LEED ve Kanada'da Green Globes, 1990'larda geliştirilen ilk araçlar oldu. Bina derecelendirme araçlarının çokluğuna rağmen, BREEAM ve LEED en sık kullanılanlardır ve Green Globes, CASBEE (Japonya), Green Star (Avustralya), DGNB (Almanya), BEAM Plus (Hong Kong), Green Mark (Singapur) ve Envision ve Estidama (BAE) dikkat çekenlerdir. Derecelendirme araçları binaların sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Derecelendirme araçlarının çoğu bir gösterge sistemi, puanlama sistemi ve derecelendirme sisteminden oluşmaktadır. Gösterge sistemi, çeşitli performansları sınıflandırır ve katmanlara ayırır; puanlama sistemi, önemlerine göre çeşitli göstergelere farklı krediler ve ağırlıklar atar; ve derecelendirme sistemi, puanlama sisteminin çıktısına dayalı olarak binanın genel performansını değerlendirir ve derecelendirir [55].

2.3. Diagrid Taşıyıcı Sistem

Diagrid kavramı diyagonal ve ızgara kelimelerinin birleşimidir ve taşıyıcı sistem elemanlarının konfigürasyonunda üçgenleme yoluyla bütünlüğünü ve sağlamlığını elde eden yapısal bir sistemi tanımlar [5]. Şekil 2.3'te de görüldüğü üzere diagrid sistem; ortogonal yapı olarak da adlandırılan, dikey kolonlar ve yatay kirişlere sahip geleneksel yapıdan farklı olarak, eğimli kolonlara ve halka kirişlere sahiptir [56].



Şekil 2.3. (a) Ortogonal taşıyıcı sistem; (b) diagrid taşıyıcı sistem [56]

Diagridin geometrik doğası, "tanımladığı herhangi bir alan içinde tutarlı kalan optik bir hafiflik ve kristallik etkisi" vererek bina estetiğine yön verir. Diagrid modelinin doğal geometrik esnekliği, değişen yapısal ve/veya mimari taleplere uyarak yapılandırılabilir ve kafesleme, derecelendirme, farklılaşma ve diagonallik dâhil olmak üzere çok çeşitli ek optik etkileri ortaya çıkarır. Diagrid yapılar ciddi yanal rijitlik ve mukavemet kapasitesini dikkate değer malzeme ekonomisiyle birleştirir ve böylece muazzam yapısal verimliliğe olanak sağlar [57]. Diagrid sistem geleneksel ofis binalarına göre %25 daha az enerji, geleneksel çerçeveli taşıyıcı sisteme göre %20 daha az çelik tüketir ve mukavemet, sertlik ve süneklik açısından daha iyi performans sağlar [17].



Resim 2.1. IBM Pittsburgh binası (solda), John Hancock Center (ortada), The Bank of China Tower (sağda) [58]

2.3.1. Diagrid sistemin gelişimi

19. yüzyılın sonlarında, yüksek binaların ilk tasarımlarında, yanal kuvvetlere direnmede diyagonal destek elemanlarının etkinliği kabul edildi. Yükseklik talebinin artmasıyla birlikte, rüzgar veya deprem yükleri gibi yanal hareketlerin artan önemi nedeniyle yeni yapısal sistemlerin benimsenmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle, sonraki yıllarda, çerçeveli tüp, modüler tüp ve iç içe tüp sistemler gibi yeni yüksek bina tipolojileri geliştirilmiştir [59]. Diagrid sistemlerinin ortaya çıkmasına yol açan ilk adımlardan biri olan, 1960'ların sonlarında Chicago'daki 100 katlı John Hancock Binası'nda diyagonaller, yapısal etkinliği en üst düzeye çıkarmak ve estetik inovasyondan yararlanmak için bina cepheleri boyunca yerleştirildi [6]. Diagrid taşıyıcı sistemin ilk örnekleri Resim 2.1'de görülmektedir.



Resim 2.2. Diagrid taşıyıcı sistem örnekleri (a) Swiss Re Tower, London, (b) Tornado Tower, Doha, (c) Capital Gate, Abu Dhabi [59]

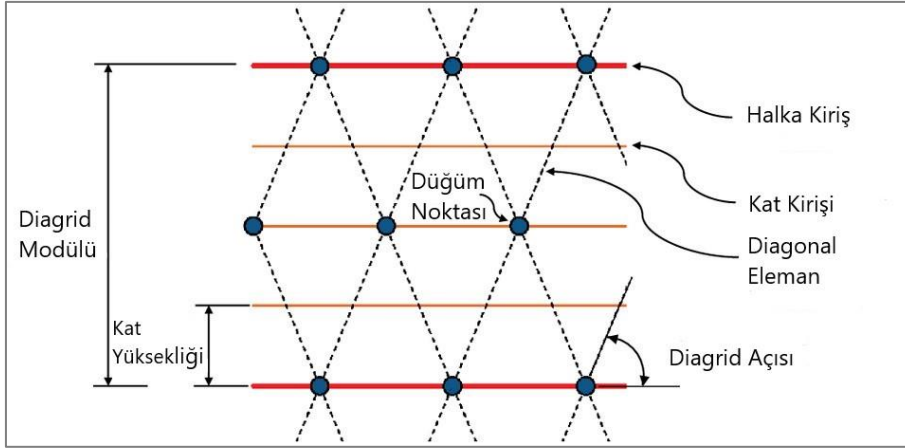
Birkaç on yıl sonra, diyagonal elemanların sadece yanal hareketlere dayanmak için değil, aynı zamanda dikey yükleri taşımak için de kullanılabildiği ve geleneksel kolonları artık gerekli kılmadığı anlaşıldı. Birkaç kata yayılabilen mega köşegenler, binanın dış cephesine yerleştirildi ve yapının estetik potansiyelini de artırdı. Bu yeni yapı türü, geleneksel dikey kolonların eğilme davranışı yerine eğimli köşegenlerin aksenel direnç mekanizmasından yararlanarak rijitlik açısından dikkate değer bir performans sağladı. Köşegenlerin çok yönlülüğü nedeniyle, diagrid taşıyıcı sistem, Resim 2.2'de görüldüğü gibi, etkileyici karmaşık şekilli yüksek binaların inşa edilmesine izin verdi.

Diagridlerin binalar için çağdaş bir biçimsel yapısal dil olarak kullanımı 2000'li yılların başında başlamıştır, örnekler Londra'da bulunan London City Hall (2002) ve Swiss ReTower (2004) ve New York'taki Hearst Magazine Tower (2006)'dır [58]. 20. yüzyılın sonunda ve özellikle 21. yüzyılın ilk on yılında, yüksek binalar diğer ülkelerde, özellikle Asya'da, yani Çin, Malezya, Suudi Arabistan ve Birleşik Arap Emirlikleri'nde de tasarlanmaya ve uygulanmaya başlandı. Bu coğrafi kayma ile birlikte, hem yapısal performansı hem de mimari etkiyi artırmaya izin veren konik ve bükülmüş yapılar gibi yeni tür sistemler ortaya çıktı. Son olarak, hem yapısal davranışı iyileştirme ihtiyacını hem de karmaşık şekilli etkileyici yüksek binaları yapılandırma ihtiyacını birleştirerek, ilk diagrid (diyagonal+ızgara) sistemleri inşa edilmiştir [59].

Aslında, temel elemanların (köşegenlerin) birleştirilmesinden oluşan diagrid yapılar, istenen yapısal şekle ulaşılan kadar geometrik desen değiştirilebilir. Bu nedenle, Londra'daki Swiss Re Tower (Şekil 4a) ve Doha'daki Tornado Tower (Şekil 4b) örneğinde olduğu gibi, dikkate değer mimari etkiler elde eden çift eğrilikli yapılar hayata geçirildi. Ayrıca, Abu Dabi'deki Capital Gate 'de olduğu gibi serbest biçimli diagrid binaları tasarlamayı mümkün kılar (Bkz. Resim 2.2) [59].

2.3.2. Diagrid sistem çalışma prensibi

Diagridler veya diyagonal ızgaralar, yerçekimi ve yanal yüklere karşı direnci, dikey kolon ihtiyacını ortadan kaldıran üçgen bir eleman sisteminde birleştiren binalar inşa etmek için yapısal bir tasarım stratejisidir [9]. Bu sistem genellikle binanın çevresine yerleştirilir. Üçgenleme kat kenar kirişlerinin ızgaraya bağlandığı yerde elde edilir. Diagrid sisteminin geliştirilmesinin arkasındaki ana fikir, dikey kolonların kaldırılmasına olanak tanımasıdır. Yerçekimi yüklerini taşımak üzere tasarlanmış dikey kolonlar, yanal stabilite sağlayamaz [60]. Diyagonal ızgara, düzgün aralıklıysa, üçgen konfigürasyonu sayesinde tüm yerçekimi yüklerinin yanı sıra yanal stabilite sağlar. Saf bir diagrid yapısı, yanal stabilite sağlamak için geleneksel betonarme veya çelik çekirdeğe ihtiyaç duymaz. Bir diagrid yapı dikey konsol kiriş olarak modellenir. "Modül", ızgaranın elmas şeklinin uçtan uca yayıldığı kat sayısını ifade eder. Çapraz ızgaranın modüllerinin boyutu, yapı yüksekliğinin eşit olarak bölünmesiyle belirlenir [58].

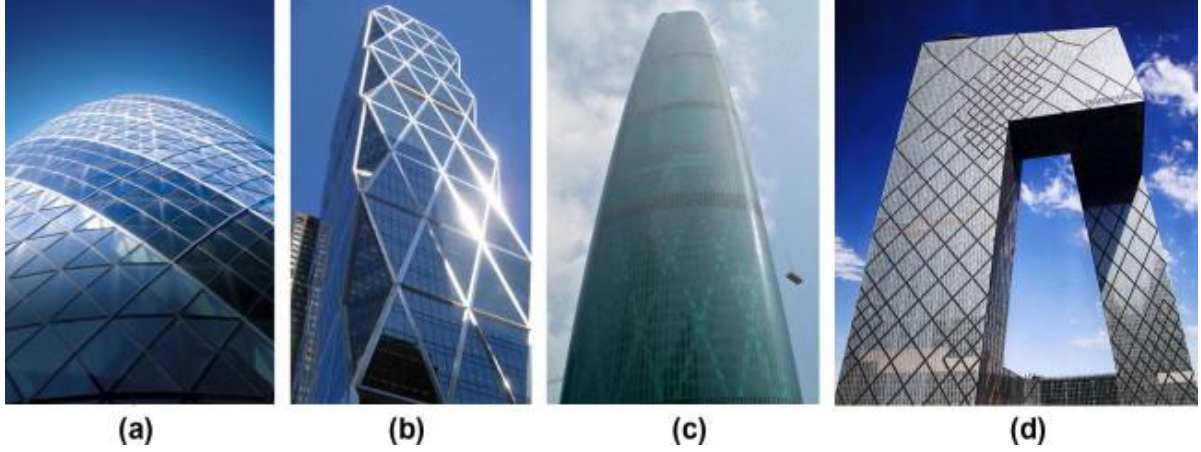


Şekil 2.4. Diagrid sistemin temel geometrik yapısı [61]

Elmas şeklindeki modüller, temel yapısal üçgenlemeyi tamamlamak için düğümden düğüme bağlantı kullanılarak en geniş noktalarında desteklenmelidir. Yatay destek genellikle, üçgeni tamamlamak için düğümü çerçeveleyen zeminin kenar kirişi tarafından oluşturulur. Diagridin mevcut uygulamaları, üçgen örgünün daha kolay deforme etme ve eğri veya daha rastgele geometrik formlar oluşturma yeteneğinden yararlanmaktadır. Çoğu diagrid yapıda, dış diyagonaller ile çekirdek arasındaki kolonlar ortadan kaldırılmıştır. Daha çarpıcı diagrid örnekleri de günışığının etkin kullanımını sağlamaktadır [58]. Köşegenler hem eğimli kolonlar hem de çapraz elemanlar olarak hareket eder, yalnızca aksenal kuvvetleri taşır ve yalnızca aksenal deformasyonlara maruz kalır, böylece raf deformasyonlarını ve kesme gecikmesi etkilerini en aza indirir [62]. Şekil 2.5’te diagrid sistemin temel geometrik yapısı görülmektedir.

2.3.3. Modüller ve modülarite

Yüksek bir bina için diagrid sistem dikey bir konsol gibi hareket etmeli ve çok sert olmalıdır. Diagrid sisteminin tabandaki moment kuvvetlerine ve tepeye doğru kesme kuvvetlerine direnmesi gerekir. Diagrid yapılarda modül, elmas şeklinin uçtan uca bağlantı düğümleri arasında dikey olarak ölçülen kat sayısını ifade eder. Modüllerin boyutu ve düzeni, binanın yapısal tasarımını, eleman boyutlandırmasını ve düğüm tasarımını etkiler. Bu seçimler de mimari tasarımı doğrudan etkiler [63].

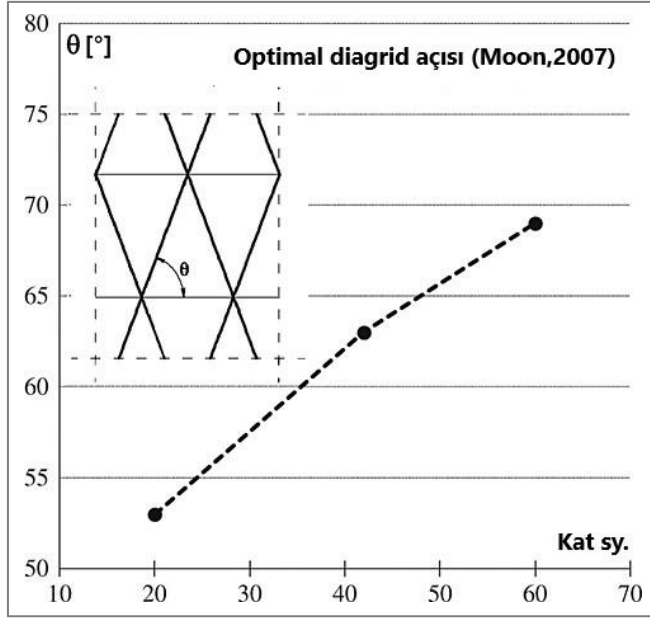


Resim 2.3. (a) Swiss-Re Tower, (b) Hearst Tower, (c) Çin Merkez Televizyonu (CCTV) Genel Merkezi ve (d) Guangzhou Batı Kulesi [64]

Diagrid yapılarının yüksek verimliliğinin altında yatan ana neden geometrik modeldir; geometri aslında sadece diagridlerin yapısal verimliliğini değil, Resim 2.3'te de görüldüğü gibi aynı zamanda form çok yönlülüğünü ve estetik özelliklerini de yorumlamak için anahtar kelimedir [57]. Binanın geometrisi, eksantrik yükleme oluşumu, yapısal verimlilik, kat yükseklikleri, pencere düzeni ve pencere boyutları için gereksinimler, binanın yükseklik/genişlik oranı, çekirdek tasarımı (yanal yük direncine yardımcı olma veya olmama), rüzgar ve sismik yükler diagrid sisteminin tasarımını ve modülün seçimini etkileyecektir [58].

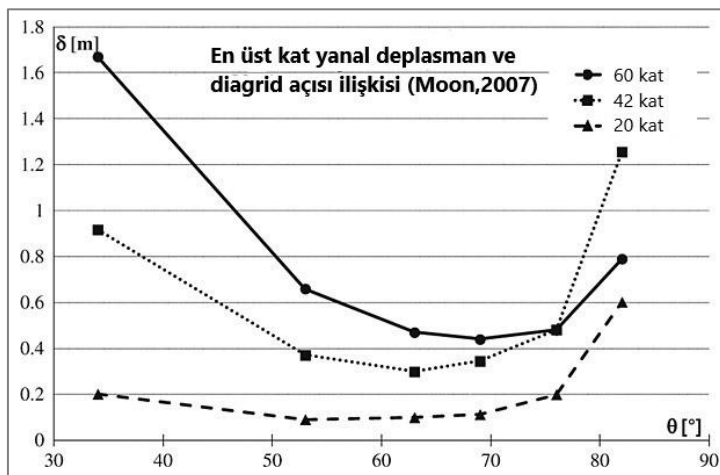
Modül açısı

Diagrid sistemin formunu, pencere boyutunu ve yerleşimini ve ayrıca projede kullanılan kaynak miktarını doğrudan etkileyen optimal modül boyutunu belirlemek için birçok mühendislik araştırması devam etmektedir. Moon ve diğerlerinin gerçekleştirdiği çalışmada yaklaşık 7 en-boy oranına sahip 60 katlı diagrid yapılar için, diagrid açısının optimal aralığının yaklaşık 65° ila 75° olduğu bulunmuştur [6]. Yaklaşık 5 en-boy oranına sahip 42 katlı binalar için, aralık yaklaşık 10° daha düşüktür, çünkü bina yüksekliği azaldıkça toplam yanal deplasman için eğilmenin önemi azalır.



Şekil 2.5. Farklı yapı yükseklikleri için optimal diagrid açısı [6]

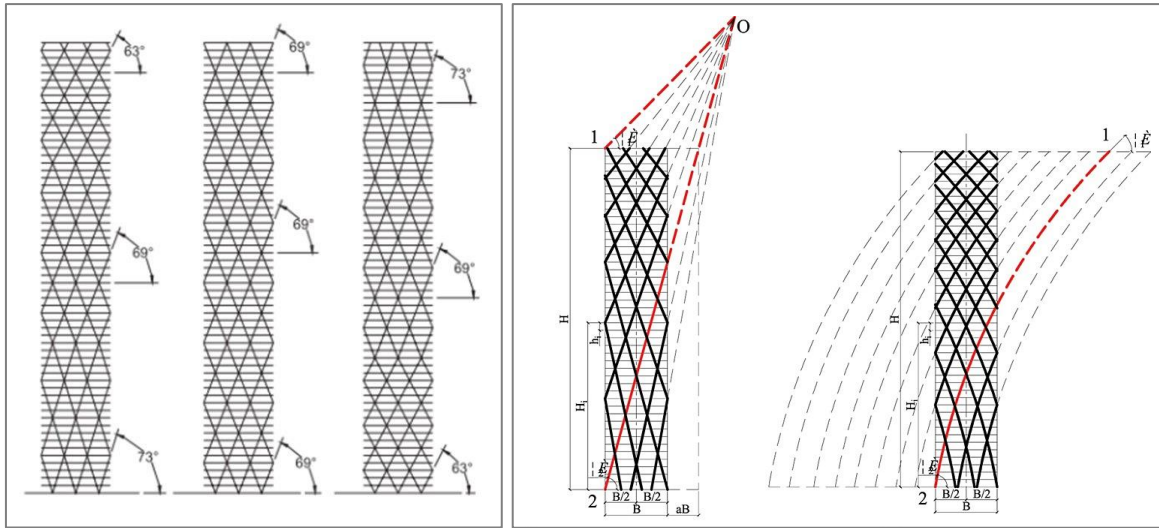
Diagrid yapılar üzerinde son zamanlarda yapılan çalışmalarda, bazı yazarlar köşegen açısının büyük rolünün altını çizerek, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da görüldüğü gibi bina narinliği ile optimal değerlerin artması gerektiğini öne sürmüşlerdir [11, 64-66]. Yapısal açıdan konfigürasyonun olası optimizasyon stratejileri, bina cepheleri boyunca değişen boyut, ölçek, açı ve/veya derinlik ile mozaikleşirken üçgen temel birimin geometrik özelliklerinin varyasyonlarına karşılık gelir.



Şekil 2.6. Üst yanal deplasman ve diagrid açısı ilişkisi [6]

Değişken açılı diyagram Moon ve Zhang ve diğerleri tarafından çok ince binalar için tek biçimli açılı konfigürasyonlardan daha verimli tasarım çözümleri olarak önerilmiş ve

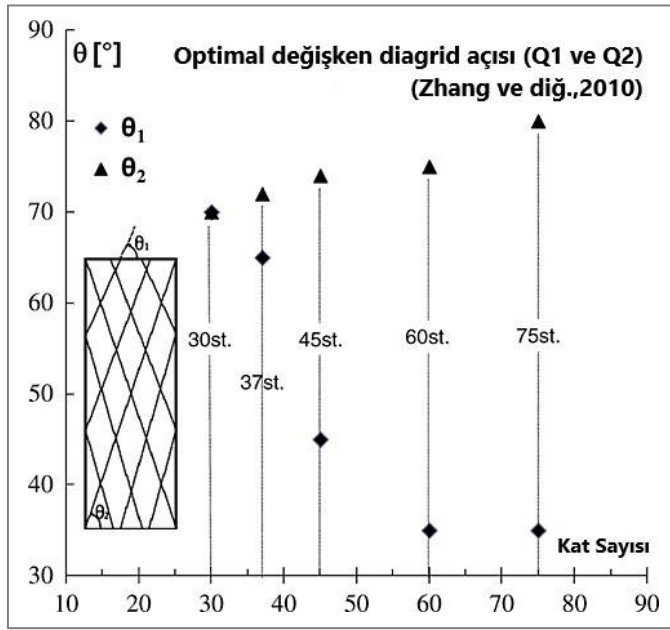
incelenmiştir [65, 66, 67]. Ayrıca, yerel gerilmelerdeki değişikliklere yanıt vermek için diagrid modülün bina cepheleri boyunca farklı ölçeklendirildiği CCTV Genel Merkezi'nde değişken yoğunluklu bir diagrid geometrisi görülmektedir [57]. Maksimum eğilme rijitliği için kolonların optimal açısı 90° ve maksimum kesme rijitliği için diyagonallerin açısı yaklaşık 35° olduğundan, diagrid yapıların köşegen elemanlarının optimal açısının bu açılar arasında olması beklenir. Çekirdek, herhangi bir destek olmaksızın sadece yerçekimi yüklerini taşıyacak şekilde tasarlanabilir [6]. Diagrid yapılar yüksek kesme rijitliğine sahip çekirdeklere ihtiyaç duymazlar çünkü kesme, çevre üzerinde bulunan diagridler tarafından taşınabilir. Kayma deformasyonu daha baskın hale geldiğinden, kat yüksekliği azaldıkça optimal açı da azalır [68].



Şekil 2.7. Farklı köşegen açı desenleri diyagramları: (a) tabanda daha dik köşegenler ile değişen açı, (b) düzgün açı, (c) üstte daha dik açı ile değişen açı [67], (d) düz köşegenlerle değişen açı, (e) eğri köşegenlerle değişen açı, [69]

Yapısal model, yükseklik boyunca eğilme ve kesme rijitliği taleplerinin varyasyonunu karşılamak amacıyla, tek tip olmamalı, binanın tepesinden tabanına doğru kademeli olarak daha dik olan diagrid modülleriyle tasarlanmalıdır [11, 65, 66]. Bununla birlikte, problem mekaniğine ilişkin daha derin bir bakış açısı, bina cephesindeki eşdeğer konsol kirişin ana gerilme yörüngelerinin haritalanmasıyla elde edilebileceği gibi, hem bina yüksekliği hem de cephe genişliği boyunca değişen açı ve yoğunluğa sahip köşegenlerle optimal diagrid modellerinin yapılanması gerektiğini ortaya koymaktadır [70]. Şekil 2.7'de farklı köşegen açı desenleri görülmektedir.

Belirli taban açısı ve üst açıdan oluşan iki temel geometrik değişkenle, yükseklik boyunca değişken açılı kavisli ve düz diagrid modüllerden oluşan 30, 37, 45, 60 ve 75 katlı bina senaryolarının oluşturulduğu Zhao ve Zhang'ın çalışmasında; Şekil 2.8'de de görüldüğü gibi taban açısının, yanal direnci artırmada ve dolayısıyla malzeme kullanımını azaltmada başrolü oynadığı bilgisine ulaşıldı [69]. Düz diagrid köşegenlere sahip model için optimal taban açısı 70° - 80° , üst açı 35° - 45° aralığında; kavisli diagrid köşegenlere sahip modelde optimal taban açısı 76° - 84° , üst açı 55° - 65° aralığında bulundu.



Şekil 2.8. Optimal değişken diagrid açısı [66]

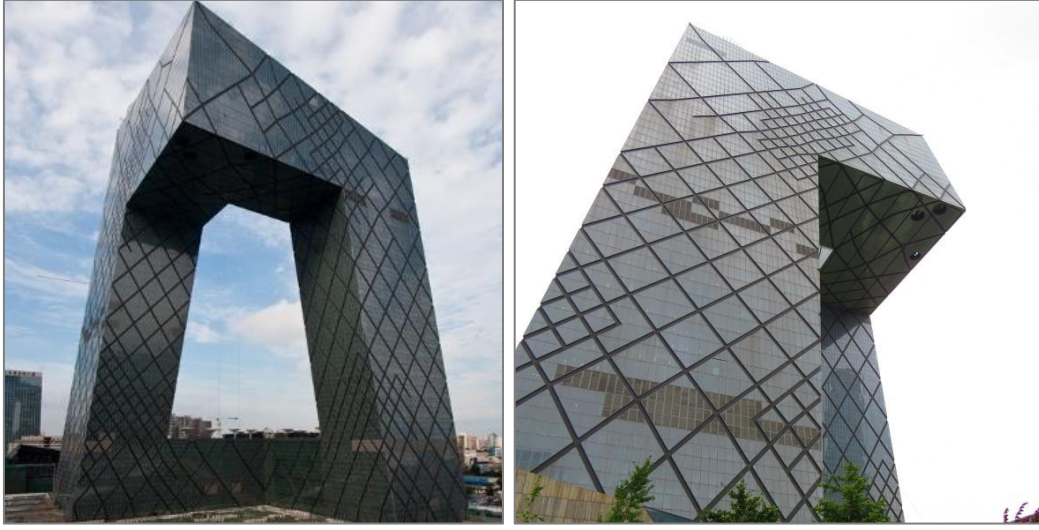
Zhang ve diğerlerinin çalışmalarında; diagrid taşıyıcı sistemin değişen açılarının yapısal potansiyelini araştırmak için 30, 37, 45, 60 ve 75 katlı bir çelik bina modelleri yapı yüksekliği boyunca kademeli olarak değişen açılara sahip köşegenlerle tasarlanmıştır [66]. Binanın en-boy oranı arttıkça, optimal alt açı artarken, karşılık gelen optimal üst açı azaldığı, değişken açı konfigürasyona sahip modüllerin, tekdüze açılı modüllerden daha iyi yapısal performans ve %11'e kadar malzeme tasarrufu sağladığı sonucuna ulaşıldı. Çizelge 2.4'te Önceki çalışmalara ait optimal açı, çelik kütlesi ve maksimum üst deplasman değerleri görülmektedir.

Çizelge 2.4. Önceki çalışmalara ait optimal açı, çelik kütlesi ve maksimum üst deplasman değerleri (yazar tarafından düzenlenmiştir)

Referans	Kat sayısı	H/B	Çelik kütlesi	Max. Üst deplasman(m)	Optimal açı(sabit)	Optimal açı (değişken)
[6]	42	4,66	1620 ton	0,30	63°	
	60	6,66	6080 ton	0,43	69°	
[65]	40	4,3	883 ton	0,30	69°	
	60	6,5	3820 ton	0,46	69°	
	80	8,7	11172 ton	0,62		73°-69°-63°
[11]	90	6,6	0,9 kN/m ²	≤ 0,70	70°	
[41]	36	4,2	993 ton	0,06 min.	64,54°	
	48	5,6	1269 ton	0,17 min.	70,35°	
	60	7	1586 ton	0,37 min.	70,35°	
[63]	90	9,7	3,03 kN/m ²	0,70	69°	
[71]	42	5,4	1215 ton	0,21	66,8°	
		7	1276 ton	0,22	71,6°	
		9,8	1457 ton	0,38	76,6°	
[72]	60	5,8	30,63 kN/m ²	0,28		75°-65°
[73]	48	5,3	3684 ton	0,37	69°	
	60	6,6	9086 ton	0,47	69°	
[64]	90	6,6	0,84 kN/m ²	0,61		70°-67°-60°
[74]	68	5	0,5 kN/m ²	0,60	60°-70°	

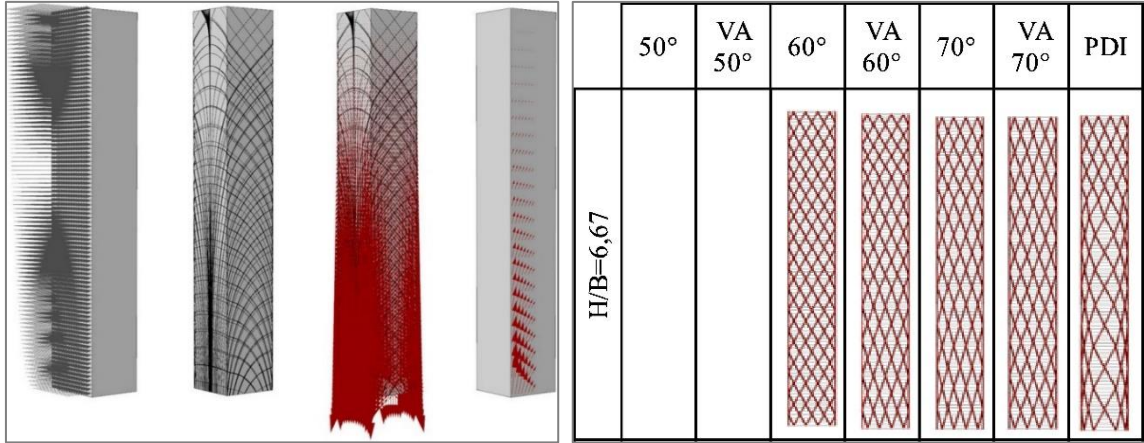
Modül yoğunluğu

Diagrid taşıyıcı sistemde modül yoğunluğu veya topoloji, köşegenlerdeki iç kuvvetlerin yoğunluğuna göre ayarlanabilir. Pekin'deki 54 katlı CCTV merkezinde (Bkz. Resim 2.4) diagrid modül yoğunluğu yapının yüksekliği ve genişliği boyunca kasıtlı olarak değiştirilmiştir. Diagrid deseni, yapısal elemanlardaki kuvvet miktarına göre, kuvvetlerin daha büyük olduğu yerlerde modüller daha yoğun olacak şekilde ayarlanmıştır. Konsol kısım, yapısal elemanlardaki yük aktarma yolunda karmaşıklığa neden olmaktadır; burada diagrid taşıyıcı sistem, bu tür komplikasyonlara çok yönlü bir çözüm sunmaktadır. Cephe, diagrid elemanlardaki yük yolunu ifade eder [9].



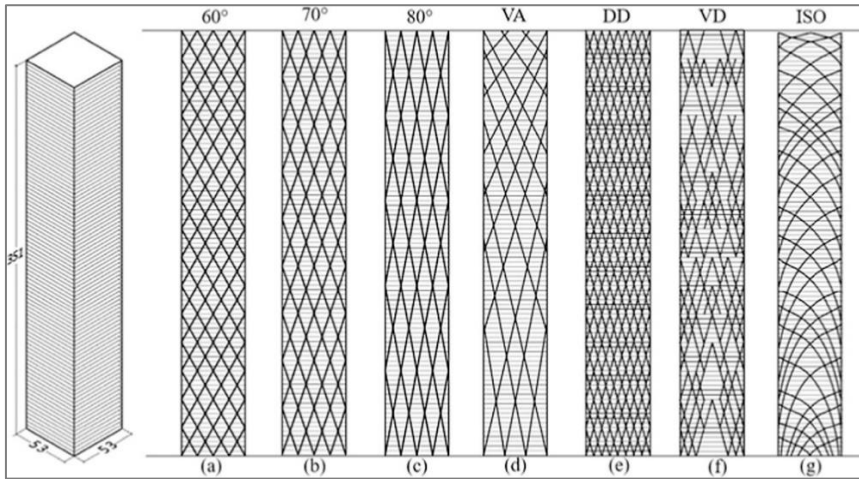
Resim 2.4. CCTV Genel Merkezi (<https://www.skyscrapercenter.com/building/cctv-headquarters/1068>)

Yüksek binaların yapısal tasarımının altında yatan basitleştirilmiş mekanik konsept olarak dikey konsol kiriş kavramını varsayarak, değişken açı konfigürasyonları, yükseklik boyunca bağıl eğilme ve kesme rijitliği talebinin değişkenliğini karşılamak için en iyi çözümleri sağlamaktadır [70]. Bu nedenle, yapısal elemanların iç kuvvetlerin yönüne ve büyüklüğüne göre cepheye yerleştirilmesi, yerel mukavemet ve rijitliği ve dolayısıyla yapısal verimliliği iyileştirecektir. Tam ve Mueller tarafından sunulan bir çalışmada yapının topolojisi tasarım alanı için hesaplanan gerilme hatları alanlarına yaklaştıkça yapısal performansın arttığı görülmektedir [75]. Cascone ve diğerlerinin yapmış olduğu çalışmada; yüksek yapılarda tüp taşıyıcı sistemler için ana gerilme hattından esinlenen modellerin benimsenmesi önerilmiştir [70]. Şekil 2.9'da görüldüğü gibi öneri modellerde, ana stres yörüngelerine göre tanımlanan diyagonal eğim ile diagrid benzeri desenler kullanılır. Çalışmada köşegen sayısını değiştirmeden sadece köşegenlerin eğimini değiştirerek (zaten özünde verimli) özellikle en-boy oranı 5 ve 6.67 olan modellerde diagridlerin verimliliğini daha da geliştirdiği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 2.9. Stres hattı ve bina modeli(solda) [70], öneri yapısal modeller(sağda) [70]

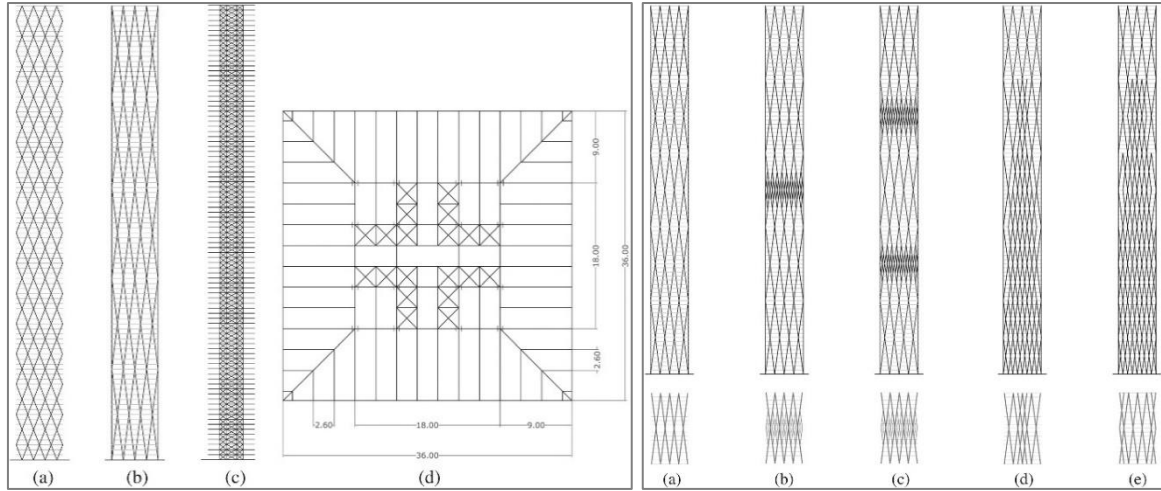
Tomei ve diğerlerinin yapmış olduğu çalışmada, 53x53m kare tabanlı ve 351 m yüksekliğindeki bir bina modeli, Şekil 2.10'da görüldüğü gibi düzenli (tekdüze açı ve yoğunluk) ve değişken açı ve değişken yoğunlukta diyagram örüntüleri oluşturarak alan çalışması olarak tanımlanmıştır [11]. Yapıya eşdeğer konsol kirişin ana gerilme çizgilerinin cephede haritalanmasıyla elde edilen başka bir çözüm de düşünülmüştür. Sonuçlar 70° açığa sahip modelin yapısal ağırlık bakımından en verimli çözüm olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.10. Tomei ve diğerlerinin çalışmasında bina modeli (solda) ve analiz edilen modeller (sağda): (a) 60°; (b) 70°; (c) 80°, (d) Değişken Açı pateni (VA); (e) Çift Yoğunluk modeli (DD); (f) Değişken Yoğunluk modeli (VD); (g) stres çizgileri pateni (ISO) [11]

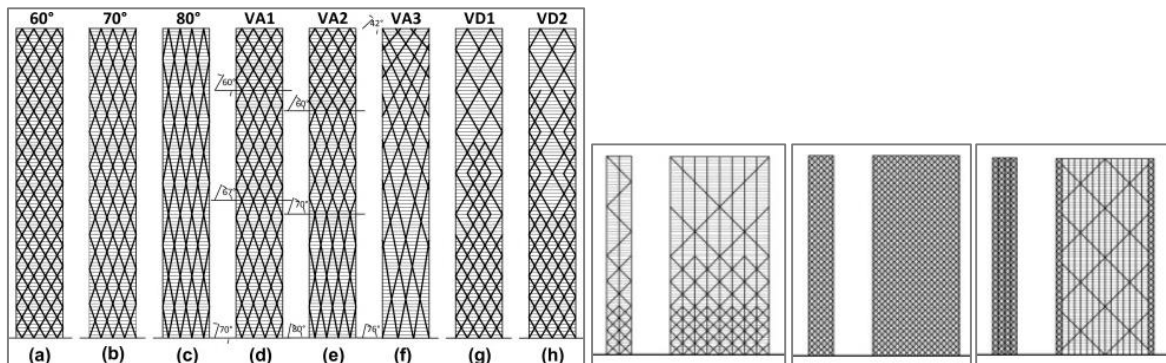
Angelucci ve Mollaioli rijitlik talebini eleman boyutundan ziyade forma göre tahsis etme konseptine dayanan alternatif bir yaklaşımı araştıran çalışmalarında 36m kare tabanlı ve 351m yüksekliğindeki bir yapı modellenmiştir [63]. Rijitliğe dayalı tasarım yaklaşımıyla

60°-70°'lik bir diagrid eğim aralığının optimallik koşullarına yol açtığı sonucuna varılmıştır. 82°'lik açı için farklı modül yoğunluğunda modeller üretilmiş (Bkz. Şekil 2.11), diagrid modüllerin tabandan tepeye doğru seyreltilmesiyle ve bina köşelerinde yoğunlaştırılmasıyla elde edilen değişen desen yoğunluğundaki modelin, düzenli desene sahip modele göre çelik ağırlığında %56 azalma ve 0,67 m üst deplasman sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 2.11. Normal bina modeli: (a) 69° diagrid, (b) 82° diagrid, (c) çekirdek kesit ve (d) plan(Solda), Değişken yoğunluklu modeller: cephe ve detay (a) $\theta = 82^\circ$; (b) P1; (c) P2; (d) P3; (e) P4(Sağda) [63]

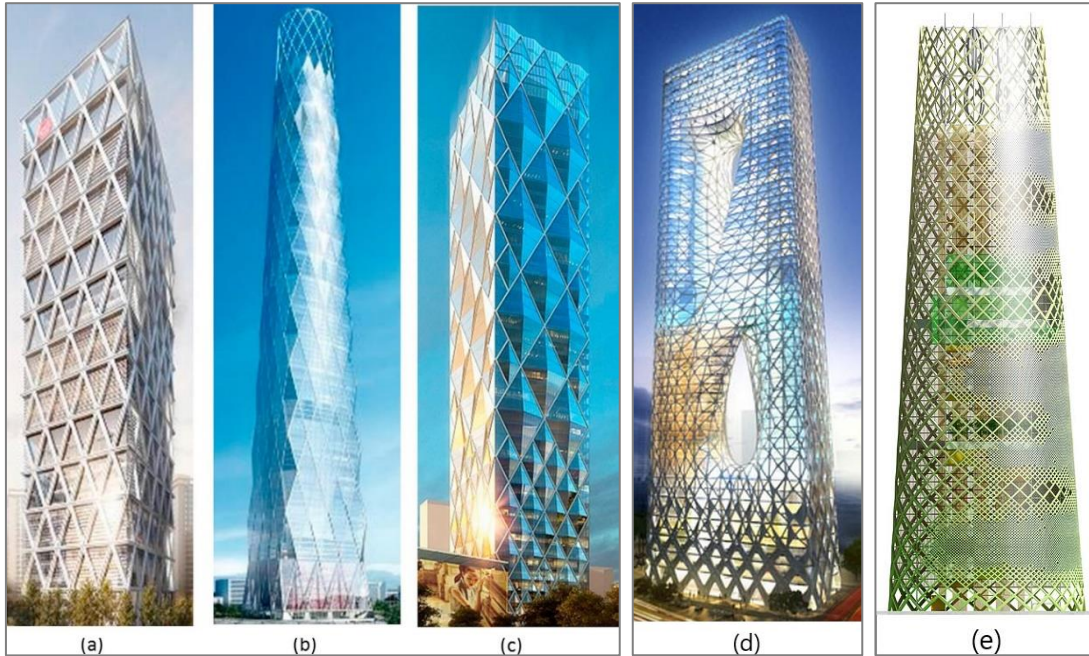
1953'te Illinois Institute of Technology'de Mies Van Der Rohe'nin gözetiminde geliştirdiği Yüksek Lisans Tezinde Goldsmith, yüksek yapılar için, değişken yoğunluklu, çok yoğun ve mega-diyagonal bir çözüm olmak üzere üç çaprazlı taşıyıcı sistem önerdi [64].



Şekil 2.12. Düzenli modeller: (a) $\theta = 60^\circ$; (b) $\theta = 70^\circ$; (c) $\theta = 80^\circ$. Değişken açı modelleri: (d) VA1; (e) VA2; (f) VA3. Değişken yoğunluk modelleri: (g) VD1; (h) VD2(Solda), Goldsmith tarafından önerilen yüksek binalar için köşegenleştirilmiş yapı çözümleri [64]

Montuori ve diğerlerinin yapmış oldukları çalışmada; düzenli örüntülerle karakterize edilen diagrid yapılar, Şekil 2.12’de görüldüğü gibi yapı yüksekliği boyunca köşegenlerin açısı ve köşegen sayısı değiştirilerek elde edilen alternatif geometrik konfigürasyonlarla karşılaştırılmıştır [64]. 90 katlı bir model bina için sekiz farklı diagrid deseni tasarlanmıştır. Yapısal ağırlık ve rijitlik açısından, VA1, 70° ve 60° kalıpları verimlilik parametresinin en yüksek değerlerini gösterdiği, 80° ve VA3 kalıplarının daha az verimli modeller olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

SOM tarafından önerilen Lotte Süper Tower, yanal yüklere karşı koymada diyagonal elemanları optimize etmek için yükseklik boyunca değişken açığa sahip bir diagride sahiptir. SOM tarafından bazı tasarımlarda bina cepheleri boyunca farklı ölçeklendirilmiş taban birimlerine sahip diagridler de gözlemlenebilir (örn. Longgang Tian'an Cyber Park). Miami'deki 1000 Müze binasının ve Kuala Lumpur'daki Zaha Hadid tarafından tasarlanan Sunrise Tower'ın, Jacques Ferrier tarafından tasarlanan Hypergreen kulesinin projeleri, çeşitli diagridler ve değişken geometrilili diagrid benzeri desenler arasında sadece bazı örneklerdir (Bkz. Resim 2.5) [11].



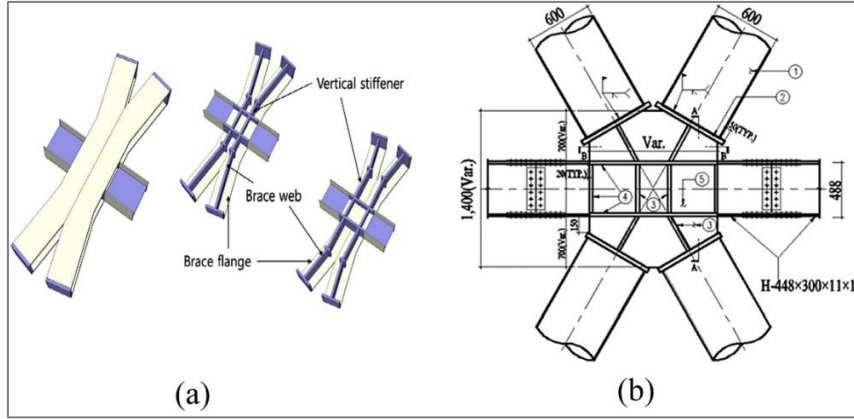
Resim 2.5. Diagrid desenleri: düzenli, değişken açı, değişken yoğunluk Zhong Hong Tower (a), Lotte Super Tower(b), Longgang Tian'an Cyber Park(c), Sunrise Tower (d), Hypergreen Tower (e) [11]

Yapısal optimizasyon

Çalışmalar mevcut tasarım uygulamalarına dayalı olarak taşıyıcı sistemde kullanılan çelik elemanların ortalama enine kesitlerinin çoğu durumda aşırı boyutlandırılmış olduğunu göstermektedir. Yapısal tasarımcılar tarafından optimizasyon odaklı bir yaklaşım kullanılacak olursa toplam çelik ağırlığının güvenlik yada hizmet kaybı olamadan %36' ya kadar azalacağı düşünülmektedir [48].

2.3.4. Düğüm ve eleman tasarımı

Bir diagrid yapı, diagrid elemanlarının modüllerden oluşan belirli, tipik olarak üçgenlenmiş bir modelde bir dizi düğüme bağlanmasıyla inşa edilir. Kuvvetler düğümler boyunca aksel olarak aktarılmaktadır. Diagrid yapıların düğümleri, betonarme, çelik ve beton dolgulu çelik boru düğümler olmak üzere üç türe ayrılır. Betonarme düğümler düşük maliyetlidir ve kolayca imal edilebilir ancak deprem anında çatlama eğilimi gösterir. Çelik düğümler, yüksek mukavemet ve hafif olma avantajlarına sahiptir, ancak burkulma hatasına eğilimlidir [58]. En yaygın çelik düğümlere Lotte Super Tower 'daki ve Cyclone Tower 'daki düğümler örnek olarak verilebilir (Bkz. Şekil 2.13). Beton dolgulu çelik düğümlerde, çelik boru betonu sınırlayarak betonun mukavemetini artırır ve beton ayrıca çeliğin burkulma kırılmasını önlemeye yardımcı olur. Ancak iki çeşit malzemenin bir arada kullanılmasından dolayı düğümlerin işlenmesinde bazı zorluklar yaşanmaktadır. Şekil açısından, diagrid yapıların düğümleri genellikle X -tip düğümler, herhangi başka bir açıyla bağlantı kurmak için kullanılan K-tipi düğümler, genellikle diagrid yapılardan ortogonal yapılara geçiş bölgesinde kullanılan Y tipi düğümlerden oluşmaktadır. En önemli faktör daha güçlü bağlantı, daha zayıf bileşen sağlamaktır. Takviye plakası kullanmak, bağlantının çok güçlü olmasını sağlayabilir [56].



Şekil 2.13. (a) Lotte Super Tower'ın çelik düğümü; (b) Cyclone Tower'ın çelik düğümü [56]

Geleneksel dikdörtgen biçimli binalarda, aynı konfigürasyona sahip birçok düğüm yapılandırılacağı için diagrid düğümünün prefabrikasyonu nispeten kolay ve ekonomik bir şekilde yapılabilir [68]. Bina formu daha düzensiz hale geldikçe, inşa edilebilirlik açısından uygun inşaat modülleri oluşturmak kritik öneme sahiptir. Düzensiz bir bina formundan modülerlik oluşturmak ve ardından bina formunu oluşturulan düzene göre ayarlamak bir yaklaşım olabilir. Başka bir yaklaşım, inşaat modüllerini nispeten düzenli hale getirmek ve bağlantıları herhangi bir düzensizliğe uyum sağlayacak şekilde tasarlamak olabilir [68].

2.3.5. Diagrid sistemde cephe tasarımı

Diagrid taşıyıcı sistem yapısal bir seçim olsa da, bu seçim genellikle belirli bir görünüm veya estetik arayışıyla motive edilir, bu nedenle tasarımdaki mevcut eğilim, diagrid taşıyıcı sistemin kullanımını sergilemek için bina üzerinde ifade edilmesidir. Cephede diagridin boyutunun vurgulanıp vurgulanmaması kararı öncelikle estetik bir seçimdir. Giydirme cephede yapısal diagridin yerini ifade etme seçimi projeden projeye değişir. Üçgen veya doğrusal giydirme cephe sistemi kullanma kararı, binanın biçiminin yanı sıra diagrid yapının genel boyutuna bağlı olarak değişmektedir. Giydirme cephenin modülerliği, genellikle kat yüksekliğine ve sabit ve açılabilir pencere gereksinimlerine uyacak şekilde elmas veya üçgen şekillerin boyutlarını biçimlendirir [58].

Diagrid yapılar, sadece dikdörtgen değil, üçgen, baklava veya paralelkenar şeklindeki giydirme cephe üniteleri ile de inşa edilebilmektedir. Diagrid yapılar için ortogonal olmayan giydirme cephe üniteleri, inşa edilebilirlikleri, performansları ve estetik dışı vurum için dikkatli tasarım ve yapım stratejileri gerektirir. Giydirme cepheler, onları fiziksel olarak

destekleyen taşıyıcı sistemle bütünleşik olarak tasarlanmalıdır. Rüzgâr yüklerinin öncelikle bina cephelerine uygulandığını ve ardından taşıyıcı sisteme iletildiğini de unutmamak gerekir [68]. Ek olarak, cepheden çıkıntı yaparak inşa edildiğinde diagrid sistemler, bu yapı tipinin çevresel bir faydası olan güneş kırıcı olarak işlev görme yeteneğine sahiptir [76].

Üçgen giydirme cephe

Eğrisel forma sahip olan diagrid taşıyıcı sistemli yüksek yapılar, diagrid modülleri üçgen formlu giydirme cephe elemanlarına bölme eğilimindedir. Giydirmce cephe elemanlarının ölçeği, eğimli elemanlar bulunmadan binanın kavisli görünmesi için uygun olmalıdır. Üçgen form doğal havalandırmada hava akışını sağlaması ve yağmur sızmasını önleyecek şekilde suyu yönlendirme avantajına sahiptir. Zaha Hadid tarafından tasarlanan Resim 2.6'da görülen Guangzhou Opera Binası gibi kavisli geometriler için üçgen formlar uygundur [60].



Resim 2.6. Guangzhou Opera Binası (solda), Aldar Tower (sağda) [60]

Abu Dabi'deki Aldar Genel Merkezi'nde (Bkz. Resim 2.6), diagrid elemanların dış cephedeki konumunu ifade etmek için belirgin bir baklava deseni oluşturulmuştur. Büyük baklava desenli modüllerin her birinin içindeki üçgen desen, bitişik modüllerden bağımsızdır. Bu, yatay tirizlerin hizalanmamasını mümkün kılmaktadır.

Dikdörtgen giydirmce cephe

Formu nispeten düzlemsel olan diagrid yüksek yapılar için genellikle doğrusal bir giydirmce cephe düzeni seçilir. Genellikle özelleştirilmiş üçgen cephe elemanlarından daha ucuzdur. Ticari ofis işlevleri için bu pencereler, panjur ve gölgeleme elemanı tasarımı için ve iç

mekânda bölücü duvarlar için pratik çözümler sağlamaktadır. Resim 2.7’de görülen Guangzhou IFC ve Bow Encana Tower gibi yüksek diagrid binalar gibi birçok cephe çözümü, kat yüksekliği ile aynı yükseklikte pencereler kullanmaktadır.



Resim 2.7. Bow Encana Tower (solda), Tornado Tower (sağda) [76]

Bir yapısal sistem giydirme cepheden farklı bir formda inşa edildiğinde görsel olarak daha büyük bir etkiye sahip olması muhtemeldir. Örneğin, SOM'un Barselona, İspanya'daki 44 katlı Hotel Arts'ın dış iskeleti, giydirme cepheden çıkıntı yaparak binayı daha ayırt edilebilir hale getirir ve ifade gücünü en üst düzeye çıkarır. Katar, Doha'da bulunan Tornado Kulesi (Bkz. Resim 2.7), diyagonal kolonları vurgulayan bantların arkasından kesintisiz olarak geçen doğrusal giydirme cephe sistemi kullanılmıştır [76].

3. MATERYAL VE METOD

Diagrid taşıyıcı sistemde modüllerin boyutu ve düzeni, binanın yapısal tasarımını ve mimari tasarımı doğrudan etkiler. Bu tezde yüksek yapılarda mimari tasarım kararlarının ve yapısal tasarım gerekliliklerinin karşılıklı olarak, yapısal davranışı, mimari tasarımı ve iç ortam konforunu nasıl etkileyeceği bütünsel bir yaklaşımla ele alınmıştır. Elde edilen verilere göre diagrid sistem yüksek yapı tasarımında cephe geometrisini belirlemede yol gösterici olabilecek yapısal bir dil geliştirilmeye çalışılmıştır. Çalışma, yapısal analiz ve gün ışığı analizi olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır.

3.1. Yapısal Analiz

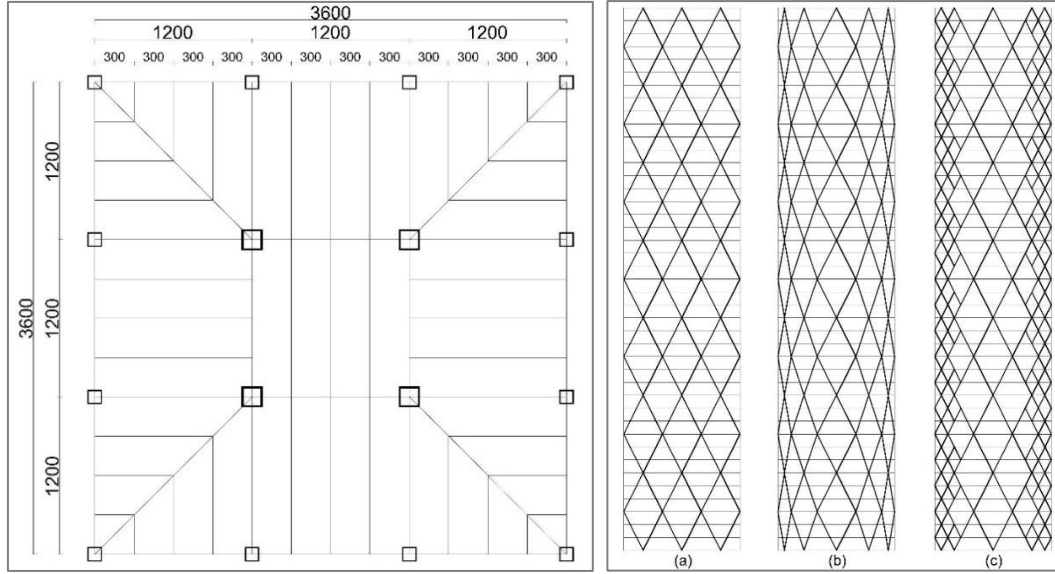
Önceki çalışmalarda; yapısal optimizasyon sürecinde diagrid modüllerin cephe yüksekliği boyunca açı ve yoğunluk değerlerinin değişimi ele alınmıştır. Cephe genişliği boyunca değişen açı ve yoğunluklardaki diagrid modüllere sahip taşıyıcı sistemin analizi ile ilgili çalışmalar sınırlıdır. Bu tezde diagrid modül geometrilerinin tasarımını belirleyen etmen yapı genişliği boyunca değişen kuvvet yollarına göre biçimlenen farklı eksenel mukavemet ve rijitlik taleplerinin karşılanmasıdır.

3.1.1. Diagrid modellerin oluşturulması

Diagrid yapıların farklı geometrik desenlerinin modellenmesi ve değerlendirilmesi için Ankara ilinde Eskişehir Yolu Bölgesi'nde 42 katlı çelik diagrid taşıyıcı sisteme sahip üç farklı modül geometrisinde model varsayılmıştır. Şekil 3.1'de üç farklı modele ait görseller verilmiştir.

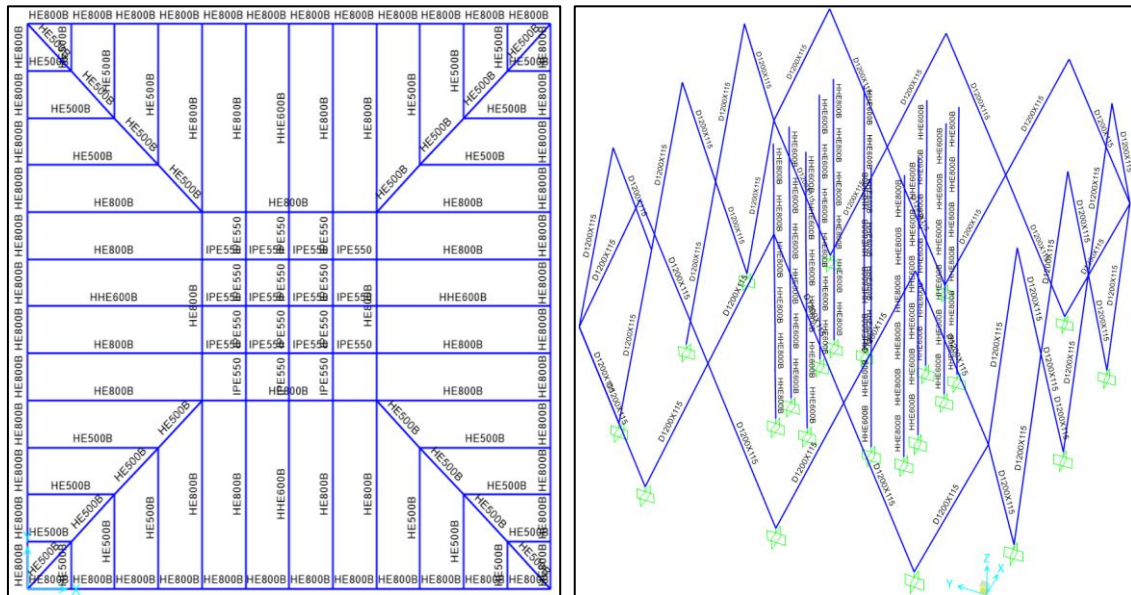
Temel model

Varsayılan binanın plan alanı $36\text{m} \times 36\text{m}$, merkez çekirdeği $12\text{m} \times 12\text{m}$ 'dir. Binanın toplam yüksekliği 168 m, kat yüksekliği 4 m'dir. Bina SAP2000 V20 programında iterasyon yöntemiyle modellenmiş dinamik ve statik analiz yapılmıştır.



Şekil 3.1. Temel model kat planı, (a) temel model görünüş, (b) model 2 görünüş, (c) model 3 görünüş

Moon' un çalışmasındaki; düzenli diagrid desende bina yüksekliği boyunca 63° 'ye eşit minimum diagrid ağırlığı sağlayan ve tek tip diyagonal eğim ile karakterize edilen, basitleştirilmiş rijitlik tabanlı tasarım prosedürüne göre yapısal çözümü tasarlanan model, Temel model (Bkz. Şekil 3.1) olarak belirlenmiştir [6]. Diagrid kolonları arasındaki optimum açığa ilişkin önceki çalışmalara dayanarak, modellerdeki ortalama açının 60 ile 65 derece arasında olduğu kabul edilir [6, 65]. Şekil 3.2'de Temel modele ait kiriş ve kolon isimleri görülmektedir.

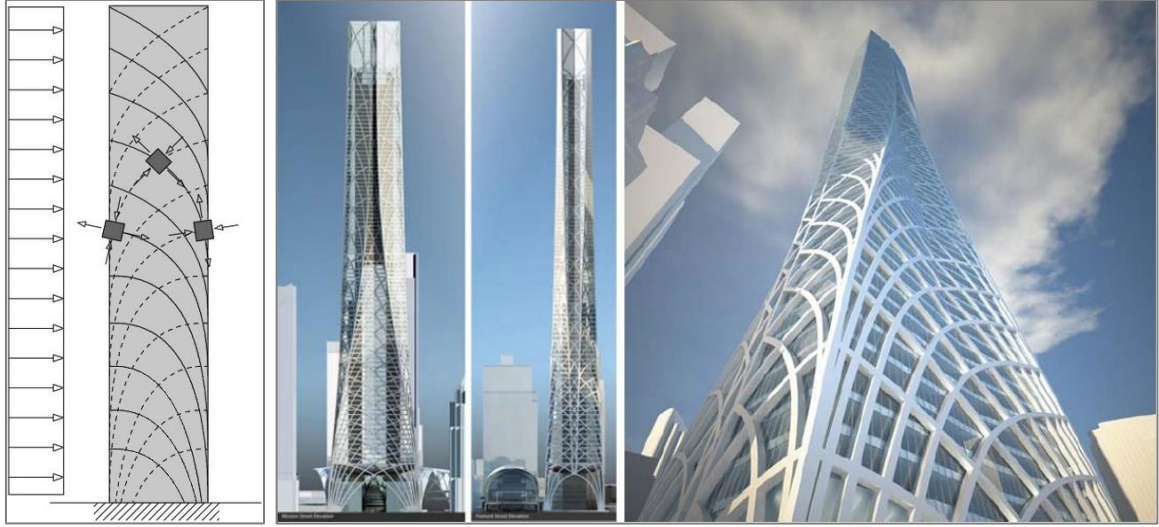


Şekil 3.2. Temel modele ait kiriş isimleri (solda), kolon isimleri (sağda)

Model 2

Binayı, yatay yük altında üç boyutlu dikey konsol kiriş olarak ele aldığımızda, eğilme ve kesme rijitliği talepleri binanın genişliği ve yüksekliği boyunca değişmektedir. Ayrıca, yüksek binaların yapısal tasarımı genellikle rijitlik tarafından yönetilirken, diagridler için baskın tasarım kriteri, üçgen modelin doğal rijitliği nedeniyle yerel mukavemet talebi olabilir. Köşegenlerin bina cephesinin kenarlarında daha dik ve yoğun olduğu ve merkeze doğru daha az eğimli hale geldiği bir dağılım, bina cephesinin genişliği boyunca devrilme momentinden kaynaklanan farklı eksenel mukavemet taleplerinin karşılanmasını sağlar ve yapının eğilme rijitliğini aynı anda en üst düzeye çıkarır [77]. Cascone ve diğerlerinin yapmış olduğu bir diğer çalışmada, referans binaya eşdeğer konsol kirişin temel gerilme yörüngelerini taklit eden, bina cephesinin hem yüksekliği hem de genişliği boyunca değişen diagrid eğimleriyle karakterize edilen özellikle en-boy oranı 5 ve 6.67 olan yapılarda diagrid taşıyıcı sistemin verimliliğini daha da geliştiren optimum performans sağlayan desenler kullanılmıştır [70].

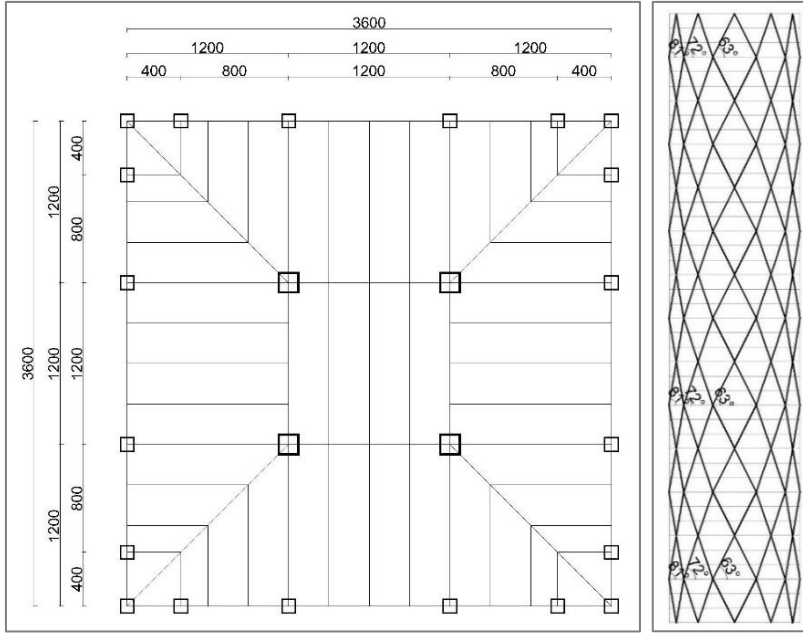
Kiriş benzeri davranışa sahip yapılar için optimize edilmiş bir yapısal modelin, yükseklik boyunca ve genişlik boyunca bu tür gerilme değişikliklerini takip etmesi ve barındırması gerekir. Bu nedenle, yapısal elemanların cepheye iç kuvvetlerin yönüne ve büyüklüğüne göre yerleştirilmesi, yerel dayanım ve rijitliği ve dolayısıyla genel yapısal verimliliği artıracaktır. Resim 3.1’de görüldüğü üzere Transbay Transit Tower’da, temel gerilme yörüngeleri diyagramı matematiksel olarak yorumlanır ve bir tübüler konfigürasyonunu tanımlamak için kule formunun üzerine bindirilir.



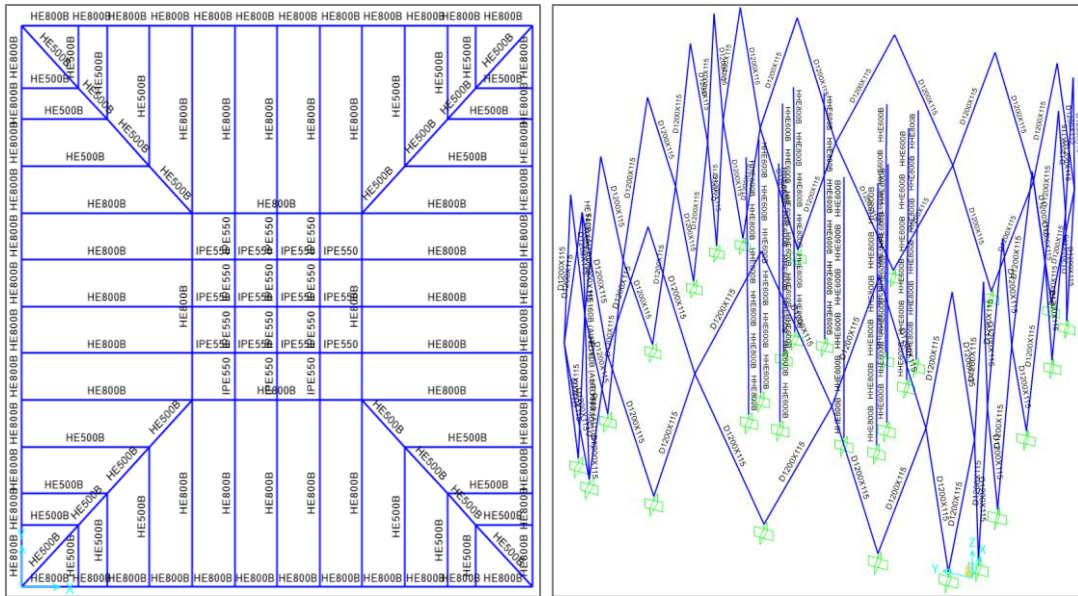
Resim 3.1. Konsol kirişte gerilme çizgileri (solda), Transbay Transit Tower (sağda) [70]

Tam ve Mueller tarafından sunulan bir çalışmada yapının topolojisi, tasarım alanı için hesaplanan gerilme hatları alanlarına yaklaştıkça yapısal performansın arttığı görülmektedir [75]. Ayrıca Moon ve diğerleri yaptıkları çalışmada 60 katlı bir yapı için 63°'lik bir diagrid açısına sahip iki farklı diagrid yapısal şeması incelemiştir [6]. Şema 1, dört dikey köşe sütunu içerir; şema 2'de eğilme rijitliğinin bir kısmını sağlayan tüm dikey kolonlar kaldırılmıştır. Şema 2, biraz daha büyük elemanlar gerektirir ve Şema 1'den yaklaşık %10 daha fazla çelik kullanır. Her iki şema da yüksek binalar için çok etkili yapılar oluşturabilir. Bununla birlikte, şema 2 daha ilginç bir estetik seçimdir, daha değerli kullanım alanlarının yanı sıra daha iyi dış ortam algısı sağlayan sütunsuz köşe alanları oluşumunu sağlar [6].

Bu düşüncelerden yola çıkarak, bu tezde, cephe genişliği boyunca farklılaşan rijitlik talebini ve baskın tasarım kriteri olan rijitlik veya mukavemeti taleplerini karşılamak için diagrid modüllerin bina köşelerinde daha dik açılarla yoğunlaştığı model 2 önerilmiştir. Model 2'de 36x36 m kare planlı 42 katlı temel model üzerinden bina köşelerindeki kolon aks aralıkları azaltılarak bir model üretilmiştir. Her cepheye fazladan iki diagrid modül eklenmiştir. Diagrid modüller temel gerilme yörüngelerini taklit ederek ve yapının köşelerinde dikey kolonların sağladığı verimlilikten faydalanmak için köşelere doğru dikey kolon formuna yaklaştırılmaya çalışılarak diagrid modüllerin açı değerleri sırasıyla 63°, 72°, 81° olarak alınmıştır. Yukarıdaki stratejilere göre elde edilen diagrid modelinin bir görünümü Şekil 3.3'te verilmiştir. Model 2'ye ait kolon kiriş isimleri Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Model 2 kat planı ve görünüş



Şekil 3.4. Model 2'ye ait kiriş isimleri (solda), kolon isimleri (sağda)

Model 3

Diagrid taşıyıcı sistem rüzgar yükleri altında binaya gerekli yanal rijitliği sağlamasına rağmen, dik açılı ve birden fazla katı kapsayan diagrid modülü içinde yer alan kat seviyelerinde, katlar arası büyük ötelenmeler ortaya çıkmaktadır [78]. Üçgen modülde, diyagonal uzunluk boyunca, ara katların diyagonal elemanla kesiştiği konumlarda konsantre yanal yükler uygulanır. Bu nedenle, üçgen konfigürasyonu sayesinde bina yapısının genel

Çalışmanın yapısal analiz kısmının gövdesini periyot verilerinin, taban kesme kuvveti değerlerinin ve deplasman değerlerinin görselleştirilmesi ve sayısal verilerin tablo grafiklerle ifade edilmesi oluşturmuştur. Analizlerin ilk aşamasında ZC zemin sınıfında ilk üç periyot değeri görselleştirilmiş, oluşturulan Çizelge 3.1 iki yatay sütuna ayrılmış, mod sayısı ve periyot verileriyle işlenmiştir.

Çizelge 3.1. Periyot verileri tablo altlığı

Mod sayısı	Periyot (sn)
Mod 1	
Mod 2	
Mod 3	

Yapısal analizin 2. Aşamasında alternatif modellerin ilk iki modu yatay ötelenme ve 3. modu burulma şeklinde meydana gelmiştir. Çizelge 3.2’de Temel model, model 2 ve model 3, Sap2000 programında analizleri yapılarak Mod 1, Mod 2 ve Mod 3’teki davranışları görsel anlatımla sunulmuştur. 3. aşamada taban kesme kuvveti değerleri X ve Y yönünde ZC zemin sınıfında değerlendirilmiştir.

Temel modele, model 2 ve model 3’e ait kesit, deprem yükünde eksenel yük, moment ve taban kesme diyagramları görselleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Taban kesme kuvveti tablo altlığı

Alternatif Modellerin ZC Zemin Sınıfına Göre Taban Kesme Değerleri	
X	Y

4. aşama rüzgar ve deprem yükleri altında alternatif modellerin deplasman değerlerinin incelenmesini kapsamaktadır. Çizelge 3.3’te maksimum deplasman değerleri tablo altlığı görülmektedir. Sonuncu kısımda yukarıda verilen aşamalar karşılaştırılmış, grafik verileriyle birlikte alternatif modellerin analiz sonuç verileri değerlendirilmiştir.

Çizelge 3.3. Maksimum deplasman değerleri tablo altlığı

Alternatif modeller ZC zemin sınıfına göre maksimum deplasman (görelî kat ötelenmesi) değerleri			
LinRespSpec (max)	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)
RESX (Deprem Yükleri)			
WXP (Rüzgâr Yükleri)			

Çalışmada alternatif modellerin maruz kalacağı yükler hesaplanırken dikkate alınan yönetmelikler ve standartlar şunlardır:

- Çelik hesapları ve yapım kuralları için: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 ve Çelik Yapıların Tasarım Hesap ve Yapım Kuralları 2018 [80]
- Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri için: TS498-1997 [81], TS EN 1993-1-3, TS EN 1993-1-4 [82]
- Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 [83]

Çizelge 3.4. Tepki spektrumu yöntemiyle modellenen yüksek yapılar için çelik sistemde kullanılan malzeme özellikleri

Eleman	Eleman Cinsi	Elastisite modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (GPa)	Akma Sınırı (GPa)	Kayma Modülü (GPa)	Poisson Oranı	Isı Genleşme Katsayısı (1/°C)	Birim Ağırlık (kN/m ³)
S355	Çubuk (Frame)	214.14	520.00	362.0	82.362	0.30	1.170E-05	78.49

Tepki spektrumu yöntemiyle modellenen yüksek yapı tip örnekleri için çelik malzemeden oluşan çekirdek, kolonlar ve çelikten oluşan çapraz taşıyıcı elemanlar kullanılmıştır. Çizelge 3.4'te tepki spektrumu yöntemiyle modellenen yüksek yapılar için çelik sistemde kullanılan malzeme özellikleri görülmektedir. Döşeme malzemesi trapez üstüne beton döşeme olarak tasarlanmıştır. Döşeme içerisinde kayma kamaları kullanılarak, rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Sistemin tasarımında kullanılan S355 yapısal çelik olup (HE800B, HE600B ve IP550 profil), gerekli özellikleri tablo 6'da verilmiştir. Çekirdekte tercih edilen kolonlar çelik HHE800B ve HHE600B olarak tasarlanmıştır. Ana kirişlerde HE800B ve HE600B, tali kirişlerde IPE550 profilleri planlanmıştır. Döşemelerde ise kayma kamaları kullanılarak rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Alternatif modellerin cephesinde kullanılan çapraz elemanlar ise D1200*115 profilinden oluşmaktadır Yapılara etki eden sabit yükler, zati

yükler, kar yükleri, yatay ve düşey deprem yükleri AISD-ASD 89'a uygun olarak alınmış ve yük kombinasyonları değerlendirilmiştir (Şekil 20). Hesaplamalarda dikkate alınan yükler düzgün yayılı yük olarak aktarılmıştır. Hesaplamalarda temel model, model 2 ve model 3 için dikkate alınan yükler şunlardır:

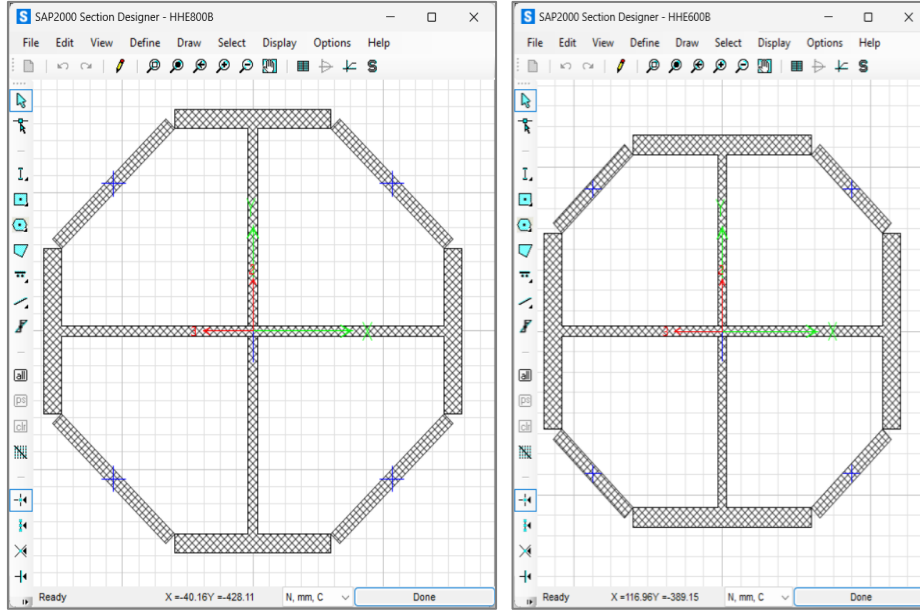
- Kaplama yükü (betonarme döşeme + kaplama): Betonarme döşeme yükü sistem tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır. 15 cm döşeme seçilmiştir. $G=0.15 \text{ m} \times 2.5 \text{ t/m}^3 = 0.375 \text{ t/m}^2$
- Hareketli yük: Ofis türü yapılarda TS498-1997 uyarınca 0.35 t/m^2 yük değeri dikkate alınmıştır.
- Duvar yükü: Duvar yükleri ve cephe yükleri ilave olarak 0.35 t/m^2 yük değeri dikkate alınarak uygulanmıştır.
- Kar: TS498-1997 milli ek olarak dikkate alınmış ve yapı yüksekliği de dikkate alınarak 150 kg/m^2 yük çatıya uygulanmıştır.
- Sıcaklık: Meteorolojik faktörler dikkate alınarak 10°C değeri dikkate alınmıştır.
- Rüzgâr yükü: Yönetmeliğin belirttiği değerler alınmıştır. Analiz programı bu verileri otomatik olarak almaktadır. Rüzgâr yükleri pozitif ve negatif olarak uygulanmıştır.

Şekil 3.7'de modellere uygulanan yük kombinasyonları, Şekil 2.8'de de çelik kolon planları görülmektedir.

KOMBİNASYON ADI	KOMBİNASYON AÇIKLAMASI
YDKT01	1.4 SW + 1.4 G + 1.4 F + 1.0 T
YDKT02	1.2 SW + 1.2 G + 1.6 Q + 0.5 QR + 1.2 F + 1.0 T
YDKT03	1.2 SW + 1.2 G + 1.6 Q + 0.5 S + 1.2 F + 1.0 T
YDKT04	1.2 SW + 1.2 G + 1.6 Q + 0.5 R + 1.2 F + 1.0 T
YDKT05	1.2 SW + 1.2 G + 1.6 QR + 1.0 Q + 1.2 F + 1.0 T
YDKT06	1.2 SW + 1.2 G + 1.6 S + 1.0 Q + 1.2 F + 1.0 T
YDKT07	1.2 SW + 1.2 G + 1.6 R + 1.0 Q + 1.2 F + 1.0 T
YDKT08	1.2 SW + 1.2 G + 1.6 QR + 0.8 WXP + 1.2 F + 1.0 T
YDKT09	1.2 SW + 1.2 G + 1.6 QR + 0.8 WXN + 1.2 F + 1.0 T
YDKT10	1.2 SW + 1.2 G + 1.6 QR + 0.8 WYP + 1.2 F + 1.0 T
YDKT11	1.2 SW + 1.2 G + 1.6 QR + 0.8 WYN + 1.2 F + 1.0 T
YDKT12	1.2 SW + 1.2 G + 1.6 S + 0.8 WXP + 1.2 F + 1.0 T
YDKT13	1.2 SW + 1.2 G + 1.6 S + 0.8 WXN + 1.2 F + 1.0 T
YDKT14	1.2 SW + 1.2 G + 1.6 S + 0.8 WYP + 1.2 F + 1.0 T
YDKT15	1.2 SW + 1.2 G + 1.6 S + 0.8 WYN + 1.2 F + 1.0 T
YDKT16	1.2 SW + 1.2 G + 1.6 R + 0.8 WXP + 1.2 F + 1.0 T
YDKT17	1.2 SW + 1.2 G + 1.6 R + 0.8 WXN + 1.2 F + 1.0 T
YDKT18	1.2 SW + 1.2 G + 1.6 R + 0.8 WYP + 1.2 F + 1.0 T
YDKT19	1.2 SW + 1.2 G + 1.6 R + 0.8 WYN + 1.2 F + 1.0 T
YDKT20	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.5 QR + 1.6 WXP + 1.2 F + 1.0 T
YDKT21	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.5 QR + 1.6 WXN + 1.2 F + 1.0 T
YDKT22	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.5 QR + 1.6 WYP + 1.2 F + 1.0 T
YDKT23	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.5 QR + 1.6 WYN + 1.2 F + 1.0 T
YDKT24	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.5 S + 1.6 WXP + 1.2 F + 1.0 T
YDKT25	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.5 S + 1.6 WXN + 1.2 F + 1.0 T
YDKT26	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.5 S + 1.6 WYP + 1.2 F + 1.0 T
YDKT27	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.5 S + 1.6 WYN + 1.2 F + 1.0 T
YDKT28	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.5 R + 1.6 WXP + 1.2 F + 1.0 T
YDKT29	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.5 R + 1.6 WXN + 1.2 F + 1.0 T
YDKT30	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.5 R + 1.6 WYP + 1.2 F + 1.0 T
YDKT31	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.5 R + 1.6 WYN + 1.2 F + 1.0 T
YDKT32	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.2 S + 1.0 EXP + 0.3 EYP + 1.0 T
YDKT33	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.2 S + 1.0 EXP - 0.3 EYP + 1.0 T
YDKT34	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.2 S - 1.0 EXP + 0.3 EYP + 1.0 T
YDKT35	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.2 S - 1.0 EXP - 0.3 EYP + 1.0 T
YDKT36	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.2 S + 1.0 EXN + 0.3 EYN + 1.0 T
YDKT37	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.2 S + 1.0 EXN - 0.3 EYN + 1.0 T
YDKT38	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.2 S - 1.0 EXN + 0.3 EYN + 1.0 T
YDKT39	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.2 S - 1.0 EXN - 0.3 EYN + 1.0 T
YDKT40	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.2 S + 1.0 EYP + 0.3 EXP + 1.0 T
YDKT41	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.2 S + 1.0 EYP - 0.3 EXP + 1.0 T
YDKT42	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.2 S - 1.0 EYP + 0.3 EXP + 1.0 T
YDKT43	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.2 S - 1.0 EYP - 0.3 EXP + 1.0 T
YDKT44	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.2 S + 1.0 EYN + 0.3 EXN + 1.0 T
YDKT45	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.2 S + 1.0 EYN - 0.3 EXN + 1.0 T
YDKT46	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.2 S - 1.0 EYN + 0.3 EXN + 1.0 T
YDKT47	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.2 S - 1.0 EYN - 0.3 EXN + 1.0 T
YDKT48	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.2 S + 1.0 RESX + 0.3 RESY + 1.0 T
YDKT49	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.2 S + 1.0 RESX - 0.3 RESY + 1.0 T
YDKT50	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.2 S - 1.0 RESX + 0.3 RESY + 1.0 T
YDKT51	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.2 S - 1.0 RESX - 0.3 RESY + 1.0 T
YDKT52	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.2 S + 1.0 RESY + 0.3 RESX + 1.0 T
YDKT53	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.2 S + 1.0 RESY - 0.3 RESX + 1.0 T
YDKT54	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.2 S - 1.0 RESY + 0.3 RESX + 1.0 T
YDKT55	1.2 SW + 1.2 G + 1.0 Q + 0.2 S - 1.0 RESY - 0.3 RESX + 1.0 T
YDKT56	0.9 SW + 0.9 G + 1.6 WXP + 1.0 T
YDKT57	0.9 SW + 0.9 G + 1.6 WXN + 1.0 T
YDKT58	0.9 SW + 0.9 G + 1.6 WYP + 1.0 T
YDKT59	0.9 SW + 0.9 G + 1.6 WYN + 1.0 T
YDKT60	0.9 SW + 0.9 G + 1.0 EXP + 0.3 EYP + 1.0 T
YDKT61	0.9 SW + 0.9 G + 1.0 EXP - 0.3 EYP + 1.0 T
YDKT62	0.9 SW + 0.9 G - 1.0 EXP + 0.3 EYP + 1.0 T
YDKT63	0.9 SW + 0.9 G - 1.0 EXP - 0.3 EYP + 1.0 T
YDKT64	0.9 SW + 0.9 G + 1.0 EXN + 0.3 EYN + 1.0 T
YDKT65	0.9 SW + 0.9 G + 1.0 EXN - 0.3 EYN + 1.0 T
YDKT66	0.9 SW + 0.9 G - 1.0 EXN + 0.3 EYN + 1.0 T
YDKT67	0.9 SW + 0.9 G - 1.0 EXN - 0.3 EYN + 1.0 T
YDKT68	0.9 SW + 0.9 G + 1.0 EYP + 0.3 EXP + 1.0 T
YDKT69	0.9 SW + 0.9 G + 1.0 EYP - 0.3 EXP + 1.0 T
YDKT70	0.9 SW + 0.9 G - 1.0 EYP + 0.3 EXP + 1.0 T
YDKT71	0.9 SW + 0.9 G - 1.0 EYP - 0.3 EXP + 1.0 T
YDKT72	0.9 SW + 0.9 G + 1.0 EYN + 0.3 EXN + 1.0 T
YDKT73	0.9 SW + 0.9 G + 1.0 EYN - 0.3 EXN + 1.0 T
YDKT74	0.9 SW + 0.9 G - 1.0 EYN + 0.3 EXN + 1.0 T
YDKT75	0.9 SW + 0.9 G - 1.0 EYN - 0.3 EXN + 1.0 T
YDKT76	0.9 SW + 0.9 G + 1.0 RESX + 0.3 RESY + 1.0 T
YDKT77	0.9 SW + 0.9 G + 1.0 RESX - 0.3 RESY + 1.0 T
YDKT78	0.9 SW + 0.9 G - 1.0 RESX + 0.3 RESY + 1.0 T
YDKT79	0.9 SW + 0.9 G - 1.0 RESX - 0.3 RESY + 1.0 T
YDKT80	0.9 SW + 0.9 G + 1.0 RESY + 0.3 RESX + 1.0 T
YDKT81	0.9 SW + 0.9 G + 1.0 RESY - 0.3 RESX + 1.0 T
YDKT82	0.9 SW + 0.9 G - 1.0 RESY + 0.3 RESX + 1.0 T
YDKT83	0.9 SW + 0.9 G - 1.0 RESY - 0.3 RESX + 1.0 T

KOMBİNASYON ADI	KOMBİNASYON AÇIKLAMASI
GKT01	1.0 SW + 1.0 G + 1.0 F + 0.75 T
GKT02	1.0 SW + 1.0 G + 1.0 Q + 1.0 F + 0.75 T
GKT03	1.0 SW + 1.0 G + 1.0 QR + 1.0 F + 0.75 T
GKT04	1.0 SW + 1.0 G + 1.0 S + 1.0 F + 0.75 T
GKT05	1.0 SW + 1.0 G + 1.0 R + 1.0 F + 0.75 T
GKT06	1.0 SW + 1.0 G + 0.75 Q + 0.75 QR + 1.0 F + 0.75 T
GKT07	1.0 SW + 1.0 G + 0.75 Q + 0.75 S + 1.0 F + 0.75 T
GKT08	1.0 SW + 1.0 G + 0.75 Q + 0.75 R + 1.0 F + 0.75 T
GKT09	1.0 SW + 1.0 G + 1.0 WXP + 1.0 F + 0.75 T
GKT10	1.0 SW + 1.0 G + 1.0 WXN + 1.0 F + 0.75 T
GKT11	1.0 SW + 1.0 G + 1.0 WYP + 1.0 F + 0.75 T
GKT12	1.0 SW + 1.0 G + 1.0 WYN + 1.0 F + 0.75 T
GKT29	1.0 SW + 1.0 G + 0.7 RESX + 0.21 RESY + 1.0 F + 0.75 T
GKT30	1.0 SW + 1.0 G + 0.7 RESX - 0.21 RESY + 1.0 F + 0.75 T
GKT31	1.0 SW + 1.0 G - 0.7 RESX + 0.21 RESY + 1.0 F + 0.75 T
GKT32	1.0 SW + 1.0 G - 0.7 RESX - 0.21 RESY + 1.0 F + 0.75 T
GKT33	1.0 SW + 1.0 G + 0.7 RESY + 0.21 RESX + 1.0 F + 0.75 T
GKT34	1.0 SW + 1.0 G + 0.7 RESY - 0.21 RESX + 1.0 F + 0.75 T
GKT35	1.0 SW + 1.0 G - 0.7 RESY + 0.21 RESX + 1.0 F + 0.75 T
GKT36	1.0 SW + 1.0 G - 0.7 RESY - 0.21 RESX + 1.0 F + 0.75 T
GKT37	1.0 SW + 1.0 G + 0.75 Q + 0.75 QR + 0.75 WXP + 1.0 F + 0.75 T
GKT38	1.0 SW + 1.0 G + 0.75 Q + 0.75 QR + 0.75 WXN + 1.0 F + 0.75 T
GKT39	1.0 SW + 1.0 G + 0.75 Q + 0.75 QR + 0.75 WYP + 1.0 F + 0.75 T
GKT40	1.0 SW + 1.0 G + 0.75 Q + 0.75 QR + 0.75 WYN + 1.0 F + 0.75 T
GKT41	1.0 SW + 1.0 G + 0.75 Q + 0.75 S + 0.75 WXP + 1.0 F + 0.75 T
GKT42	1.0 SW + 1.0 G + 0.75 Q + 0.75 S + 0.75 WXN + 1.0 F + 0.75 T
GKT43	1.0 SW + 1.0 G + 0.75 Q + 0.75 S + 0.75 WYP + 1.0 F + 0.75 T
GKT44	1.0 SW + 1.0 G + 0.75 Q + 0.75 S + 0.75 WYN + 1.0 F + 0.75 T
GKT45	1.0 SW + 1.0 G + 0.75 Q + 0.75 R + 0.75 WXP + 1.0 F + 0.75 T
GKT46	1.0 SW + 1.0 G + 0.75 Q + 0.75 R + 0.75 WXN + 1.0 F + 0.75 T
GKT47	1.0 SW + 1.0 G + 0.75 Q + 0.75 R + 0.75 WYP + 1.0 F + 0.75 T
GKT48	1.0 SW + 1.0 G + 0.75 Q + 0.75 R + 0.75 WYN + 1.0 F + 0.75 T
GKT65	1.0 SW + 1.0 G + 0.75 Q + 0.75 S + 0.525 RESX + 0.158 RESY + 1.0 F + 0.75 T
GKT66	1.0 SW + 1.0 G + 0.75 Q + 0.75 S + 0.525 RESX - 0.158 RESY + 1.0 F + 0.75 T
GKT67	1.0 SW + 1.0 G + 0.75 Q + 0.75 S - 0.525 RESX + 0.158 RESY + 1.0 F + 0.75 T
GKT68	1.0 SW + 1.0 G + 0.75 Q + 0.75 S - 0.525 RESX - 0.158 RESY + 1.0 F + 0.75 T
GKT69	1.0 SW + 1.0 G + 0.75 Q + 0.75 S + 0.525 RESY + 0.158 RESX + 1.0 F + 0.75 T
GKT70	1.0 SW + 1.0 G + 0.75 Q + 0.75 S + 0.525 RESY - 0.158 RESX + 1.0 F + 0.75 T
GKT71	1.0 SW + 1.0 G + 0.75 Q + 0.75 S - 0.525 RESY + 0.158 RESX + 1.0 F + 0.75 T
GKT72	1.0 SW + 1.0 G + 0.75 Q + 0.75 S - 0.525 RESY - 0.158 RESX + 1.0 F + 0.75 T
GKT73	0.6 SW + 0.6 G + 1 WXP + 0.75 T
GKT74	0.6 SW + 0.6 G + 1 WXN + 0.75 T
GKT75	0.6 SW + 0.6 G + 1 WYP + 0.75 T
GKT76	0.6 SW + 0.6 G + 1 WYN + 0.75 T
GKT93	0.6 SW + 0.6 G + 0.7 RESX + 0.21 RESY + 0.75 T
GKT94	0.6 SW + 0.6 G + 0.7 RESX - 0.21 RESY + 0.75 T
GKT95	0.6 SW + 0.6 G - 0.7 RESX + 0.21 RESY + 0.75 T
GKT96	0.6 SW + 0.6 G - 0.7 RESX - 0.21 RESY + 0.75 T
GKT97	0.6 SW + 0.6 G + 0.7 RESY + 0.21 RESX + 0.75 T
GKT98	0.6 SW + 0.6 G + 0.7 RESY - 0.21 RESX + 0.75 T
GKT99	0.6 SW + 0.6 G - 0.7 RESY + 0.21 RESX + 0.75 T
GKT100	0.6 SW + 0.6 G - 0.7 RESY - 0.21 RESX + 0.75 T

Şekil 3.7. Yük kombinasyonları



Şekil 3.8. HHE800B ve HHE600B kolon planı

Yüksek yapılarda, görselliğin şeffaflık etkisiyle sağlanması, doğal ışıktan yararlanması ve strüktürü açıkça ifade etmesi açısından cam sıklıkla kullanılan bir malzemedir. Bu sebeple modellenen yüksek yapılarda mimari tercih olarak kaplama malzemesi olarak cam tercih edilmiş ve kaplama yükleri de cam malzemesinden oluşturulmuştur. Spektrum katsayısı yerel zemin koşullarına ve yapı doğal periyoduna bağlı olan bir değerdir. Çizelge 3.5'te görüldüğü üzere modeller ZC yerel zemin sınıfına göre ele alınmıştır. Şekil 3.9'da ZC zemin sınıfı için spektrum eğrisi görülmektedir.

Çizelge 3.5. ZC zemin sınıfına ait çıktılar

Yerel Zemin	S_s	S_1	S_{D_s}	S_{D_1}	PGA	PGV
ZC	0.323	0.122	0.420	0.183	0.140	10.170

S_s : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

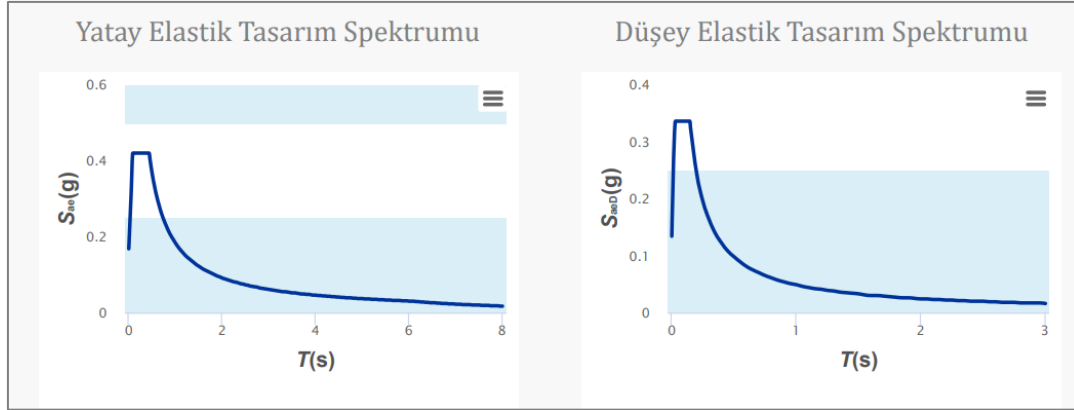
S_{D_s} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{D_1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA: En büyük yer ivmesi [g]

PGV: En büyük yer hızı [cm/sn]

ZC: Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalardan oluşan zemin cinsi



Şekil 3.9. ZC zemin sınıfı için spektrum eğrisi

3.2. Gün Işığı Analizi

Kullanıcı konforu ve üretkenliği için önemli bir rol oynayan iç ortam aydınlatma koşulları, binanın enerji performansı ve iç ortam konfor koşulları üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Diagrid kolonların geometrik biçimlenmesi yapı kabuğundan gün ışığı alımını, yapay aydınlatmaya duyulan ihtiyacı ve ısıtma, soğutma için gerekli enerji miktarını etkilemektedir. Alternatif modellerin iç mekân günışığı ve aydınlık seviyelerini belirlemek amacıyla ClimateStudio enerji benzetim programından yararlanılmıştır. Geliştirilen modeller Rhinoceros üç boyutlu modelleme aracı kullanılarak modellenmiş, Rhinoceros eklentisi olan ClimateStudio enerji benzetim programı kullanılarak gün ışığı analizleri yapılmış ve modellere ait bulgular karşılaştırılmıştır. Ölçümler yıllık aydınlatma profillerinden, Ankara ilinin yerel iklim dosyası kullanılarak oluşturulan gün ışığından kaynaklanan iç aydınlatma veya parlaklık serilerinden türetilmiştir.

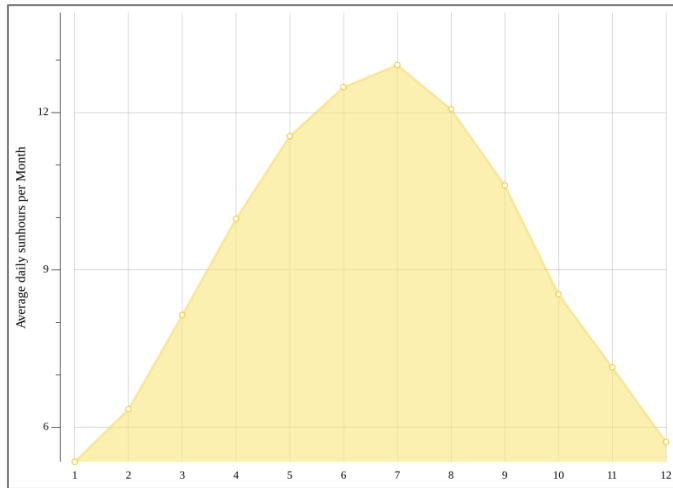
3.2.1. Ankara ilinin iklim verilerinin belirlenmesi

Ankara şehrinde sıcak ve ılıman iklim görülmektedir. Kış aylarında yaz aylarından çok daha fazla yağış düşmektedir. Köppen-Geiger'e göre iklim Csa'dır. Ankara ilinin yıllık ortalama sıcaklığı 12.6 °C 'dir. Yıllık ortalama yağış miktarı 413.6 mm'dir. 14.6 mm yağışla Ağustos yılın en kurak ayıdır. Ortalama 51 mm yağış miktarıyla en fazla yağış Mayıs ayında görülmektedir. 24.3 °C sıcaklıkla Ağustos yılın en sıcak ayıdır. Ocak ayında ortalama sıcaklık 0.9 °C olup yılın en düşük ortalamasıdır.

Çizelge 3.6. Ankara iline ait mevsim normalleri (<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=ANKARA>)

ANKARA	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	0.9	2.7	6.7	11.5	16.5	20.6	24.2	24.3	19.6	13.9	7.3	2.8	12.6
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4.7	7.4	12.2	17.5	22.8	27.3	31.0	31.0	26.5	20.3	13.0	6.7	18.4
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-2.2	-1.2	1.9	6.0	10.5	14.1	17.2	17.4	13.1	8.4	2.7	-0.3	7.3
Ortalama Güneşlenme Süresi(saat)	2.2	3.6	4.8	6.3	7.7	9.3	10.6	10.2	8.8	6.3	4.3	2.4	6.4
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	13.6	12.7	13.9	13.4	14.5	11.5	4.6	5.10	5.50	9.23	8.93	14.0	126.9
Aylık Toplam Yağış Miktarı	38.6	36.6	46.9	44.5	51.0	40.2	14.8	14.6	17.9	33.4	31.9	43.2	413.6
Ölçüm Periyodu (1927-2021)													
En yüksek sıcaklık (°C)	18.4	21.3	27.8	31.6	34.4	37.0	41.0	40.4	39.1	33.3	24.7	20.4	41.0
En düşük sıcaklık (°C)	-25	-24	-19	-7.2	-1.6	3.8	4.5	5.5	-1.5	-9.8	-17	-24	-25

Çizelge 3.6’da görüldüğü gibi yıl boyunca ortalama sıcaklık 12.6 °C dolaylarında değişim göstermektedir. Ankara’da günlük en fazla güneşli saatin görüldüğü ay, ortalama 10.6 saatlik güneşlenme süresi ile Temmuz’dur. Ankara’da günlük en az güneşli saat olan ay, günde ortalama 2.2 saat güneşlenme süresi ile Ocak ayıdır. Şekil 3.10’da Ankara ili için aylara göre ortalama güneşlenme süresi görülmektedir.

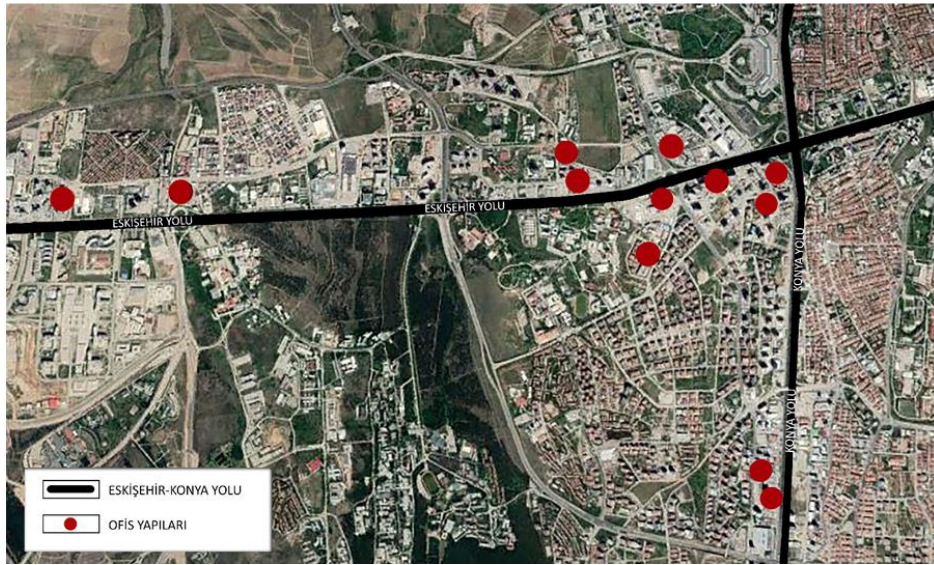


Şekil 3.10. Ankara ili için aylara göre ortalama güneşlenme süresi (<https://tr.climate-data.org/asya/tuerkiye/ankara/ankara-172/#climate-table>)

3.2.2. Ofis binası modelinin tanımlanması

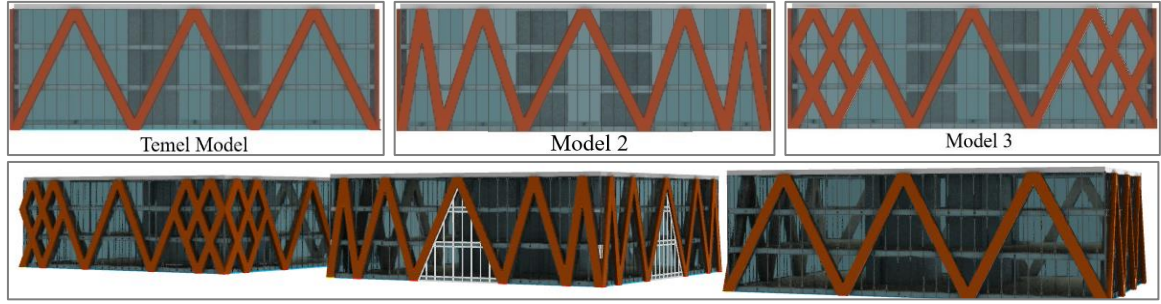
Ankara ili, Eskişehir yolu üzerinde olduğu varsayılan 42 katlı ofis binası 36x36m boyutlarında ve kare planlıdır. Asansör, merdivenler, wc ve depo alanlarının yer aldığı

çekirdek 12x12m boyutlarındadır. Dış cepheler ve iç çekirdek arası mesafe 12 m'dir. Kat yüksekliği 4m'dir. Şekil 3.11'de görüldüğü üzere Eskişehir yolu bölgesi yoğun yapılaşma oranına sahip, iş ve sosyal yaşam alanlarının geliştiği, kullanıcı kitlesinin arttığı ve ofis yapılarıyla Ankara'nın en fazla ofis stoğuna sahip bölgesidir. Ofis binası olduğu kabul edilen binanın kullanıcılar tarafından en yoğun kullanım sabah 8:00-11:00 ile öğleden sonra, 13:00-17:00 arasındır.



Şekil 3.11. Eskişehir yolu ve ofis yapılarının harita üzerindeki konumları

42 katlı ofis modellerinin üç katta bir tekrarlayan diagrid modüllerini kapsayan katlar, gün ışığı analizi yapılacak alanlar olarak sınırlandırılmıştır. Şekil 3.12'deki üç katlı ofis modüllerinin serbest bir ufka sahip ve engel bulunmayan zemin seviyesinde olduğu varsayılmıştır.



Şekil 3.12. Gün ışığı analizinin yapılacağı ofis modülleri; model 3(solda), model 2 (ortada), temel model (sağda)

Ofis yapılarının cephelerinde diagrid çelik kolonlar arası cam giydirme cephe düşünülmüştür. ASHRAE [84] standartlarına dayalı olarak; duvarlarda %45, tavanda %80, zeminde %25, mobilya ve kapılarda %50 yansıtıcılık değerine sahip malzeme kullanılmıştır. Diagrid kolonların galvanizli çelik kaplamalarının da %25 yansıtıcılık oranına sahip olduğu varsayıldı. Dış cephede argon dolgulu çift katmanlı güneş kontrollü Low-e cam (6+12+6) kullanılmıştır. U değeri $1,3 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, SHGC (güneş enerjisi toplam geçirgenlik katsayısı) 0,31'dir. LEED standartlarına göre çalışma düzlem yüksekliği, 30 inç yani 76 cm'dir. Bu sebeple gün ışığı performansının analiz edildiği sensörlerin bulunduğu referans düzlem, zeminden 76 cm yüksekliğe yerleştirilmiştir. Referans düzleme sensörler enine 150 cm, boyuna 150 cm aralıklarla yerleştirilmiştir. Ofis modellerine ait kat planları Tablo 10'da verilmiştir.

	TEMEL MODEL	MODEL 2	MODEL 3
1. KAT PLANI			
2. KAT PLANI			
3. KAT PLANI			

Şekil 3.13. Alternatif modeller kat planları

Yapı kabuğu opak ve saydam yüzeylerden oluştuğundan, yüzeylerin oran değişimi iç mekânlara ulaşan güneş enerjisi miktarını değiştirmektedir. Tez kapsamında pencere alanının tüm cephe yüzey alanına oranı olan pencere/duvar oranı (WWR) modellere göre değişim göstermektedir. Şekil 3.13'te alternatif modellere ait kat planları verilmiştir. Çizelge 3.7'de temel model, model 2 ve model 3' e ait pencere duvar oranları gösterilmektedir.

Çizelge 3.7. Alternatif modelleri pencere/duvar oranları (WWR)

	TEMEL MODEL	MODEL 2	MODEL3
1. KAT	% 72,5	% 65,4	% 62,7
2. KAT	% 71,25	% 61,9	% 57,3
3. KAT	% 71,6	% 64,2	% 62,2

3.2.3. Gün ışığı metriklerinin belirlenmesi

Gün ışığını bina içine nüfus etmesinin en önemli amaçlarından biri, aydınlatma için kullanılan elektrik miktarını azaltabilmektir. Gün ışığı performansının değerlendirilmesi, gün ışığı tasarımında ve enerji uygulamasında hayati bir adımdır çünkü bu, yapay aydınlatmanın tamamen veya kısmen yerini alacak gün ışığı kullanılabilirliğini gösterir. İç mekan gün ışığı performansı, coğrafi konum ve yerel iklim ve gün ışığı mevcudiyeti, bina geometrisi, pencere özellikleri, pencere-duvar oranı ve yön, yakındaki binalardan kaynaklanan engeller ve bina sakinlerinin aydınlatma ortamına yönelik eylemleri gibi bir dizi faktörden etkilenir. İç mekan gün ışığı performansının incelenmesi, temel olarak, gün ışığı faktörü, gün ışığı katsayısı, gün ışığı özerkliği ve benzeri gibi gün ışığı mevcudiyeti ölçümlemleri kullanan yazılım simülasyonu ve saha ölçümü yoluyla yapılır [85]. Aşağıda, yaygın olarak kullanılan bazı günışığı performans ölçümleri ve ayrıca günışığı performansını değerlendirme yöntemleri tanıtılmaktadır.

Gün ışığı aydınlığı

Birimi lüks olan Gün Işığı Aydınlığı, gün ışığının iç ortamı ne kadar parlak aydınlatabileceğini gösteren, en çok kullanılan gün ışığı performans metriklerindendir. Tasarım aydınlatma düzeyi göreve, izleyicinin yaşına, hız ve doğruluk gereksinimlerine ve görev geçmişine bağlıdır. Örneğin, Dubois 100-300 lux' ün kağıt işi için çok karanlık olduğunu ancak bilgisayar çalışması için uygun olduğunu, 500 lux' ün üzerindeki aydınlatma seviyesinin ise kağıt işi için ideal ancak bilgisayar işi için çok parlak olduğunu belirtti [86]. Brezilya Standardı NBR 5413, okul binasındaki sınıfların ortalama aydınlatma seviyelerinin 200 ila 500 lux arasında olmasını tavsiye ederken [87], IESNA komitesi ofisler, sınıflar ve kütüphane tipi alanlar için 300 lux'lük bir hedef aydınlatmayı tercih etmektedir [88].

Gün ışığı faktörü (DF)

Engelsiz bulutlu gökyüzü altında, mahfaza içindeki bir noktadaki iç mekan gün ışığı aydınlatmasının o noktadaki dış mekan aydınlatmasına oranı olarak tanımlanır. DF, bina tasarımında iç gün ışığı aydınlatmasını değerlendirmek için geleneksel bir yaklaşımdır. Ortalama gün ışığı faktörü (DFave) genellikle tasarım kriteri olarak kullanılır ve ofisler için %2 ile %5 arasında bir DFave değeri önerilir. Li ve Tsang'ın çalışmasında, her kattaki yandan aydınlatmalı ofisler, simüle edilmiş DF değerine dayalı olarak çevre, ara ve iç bölgeler olmak üzere üç bölgeye ayrıldı [89]. Her bölge sırasıyla %5'ten fazla %2–5 ve %2'den az DF aralığına sahiptir. Çevre bölgede hiç aydınlatma elektriği kullanılmadığı, aydınlatma elektriğinin %50'sinin ara bölgede tüketildiği ve iç bölgede tüm ışıkların yanacağı varsayılarak kabaca bir enerji tasarrufu tahmini yapılmıştır. Bununla birlikte, iç aydınlatmanın dış aydınlatmaya oranı gerçek gökyüzü altında büyük ölçüde değiştiğinden ve doğrudan güneş ışığının etkisi göz ardı edildiğinden, DF yaklaşımı doğrulukta önemli bir kayba neden olabilir. Ancak bulutlu gökyüzü gün ışığı tasarımı için en zorlu senaryo olarak kabul edilebileceğinden, yine de yararlı bir gün ışığı ölçüsüdür [90].

Günişliği katsayısı (DC)

Günişliği Katsayısı yöntemi Tregenza ve Waters tarafından önerilmiştir. DF yöntemiyle karşılaştırıldığında, gün ışığı katsayısı yönteminin, çeşitli gökyüzü koşulları ve güneş konumları altında gökyüzü elemanlarının parlaklığındaki dinamik değişiklikleri dikkate aldığından, iç mekan gün ışığı aydınlatma seviyesini tahmin etmek için daha gerçekçi bir yöntem olduğu düşünülmektedir. DC yöntemi, gökyüzünün birkaç parçaya bölündüğünü ve her parçanın bir noktadaki iç aydınlatma düzeyine katkıda bulunduğunu varsayar, karmaşık ve zaman alıcı bir hesaplama süreci gereklidir. DAYSIM ve RADIANCE gibi bilgisayar yazılımları tarafından gerçekleştirilir [85].

Gün Işığı otonomisi (DA)

Minimum aydınlatma eşiğinin yalnızca gün ışığı tarafından karşılandığı, yılın dolu saatlerinin yüzdesi olarak tanımlanan iklim tabanlı bir metriktir. Genel olarak, DA'nın %50'yi geçtiği alan yeterli gün ışığı alanı olarak kabul edilir. "Sürekli gün ışığı otonomisi (DAcon)" ve "maksimum gün ışığı otonomisi (DAmx)", gün ışığı otonomisinin iki

modifikasyonudur. İlki, gün ışığının kısmi katkısını, gerekli minimum aydınlık seviyesinden daha düşük olduğunda aydınlığa atfeder; ikincisi, gün ışığı aydınlatmasının tavsiye edilen aydınlatmanın 10 katı olduğu parlama riskinin artacağı durum zaman yüzdesini ifade eder [85]. Rogers ve Goldman, DAcon seviyesini sırasıyla %80–100, %60–80 ve %40–60 olarak mükemmel, iyi ve yeterli gün ışığı tasarımı olarak sınıflandırmış ve DAMax'ın kabul edilebilir sınırı olan %5'i önermiştir [91].

Faydalı gün ışığı aydınlığı (UDI)

Yıllık aydınlık dağılımını üç kutuya bölmek için alt ve üst eşikleri kullanan gün ışığı aydınlığından geliştirilmiş bir kavramdır. Genellikle 100 lux ve 2000 lux alt ve üst eşikler olarak ayarlanır, üst bölme ($UDI > 2000$ lux), görsel ve termal rahatsızlığa yol açabilecek aşırı gün ışığının olduğu zamanı gösterir; alt bölme ($UDI < 100$ lux) gün ışığının yetersiz olduğu zamanı ve ara bölme ($UDI 100\text{--}2000$ lux) yararlı gün ışığını gösterir. Ara bölme ayrıca bir "tamamlayıcı" (100-500 lux) ve "otonom" (500-2000 lux) aralığa bölünebilir. UDI, Gün Işığı Otonomisi ile birlikte, şu anda en yaygın kullanılan iki gün ışığı değerlendirmesi dinamik veya iklim tabanlı metriktir ve aydınlatma simülasyon yazılımı aracılığıyla elde edilebilir [92].

3.2.4. Aydınlatma analizinde kullanılan simülasyon yazılımları ve parametreleri

Hesaplamalı simülasyon, yapılı çevrede gün ışığı kullanılabilirliğini analiz etmek için güçlü bir araçtır. Ayrıca, minimum enerji tüketimi ile konforlu yapılı çevrenin elde edilebilmesi için tasarımcıya veya karar vericilere optimum tasarım stratejisini veya çözümünü seçmede yardımcı olabilir. Algoritmalar, aydınlatma dağıtım problemlerini çözmek için aydınlatma simülasyon programında uygulanmaktadır. Günümüzde en çok uygulanan iki aydınlatma algoritması vardır: Radiance (Daysim) ve Relux ile temsil edilen ışın izleme (görünümüne bağlı algoritma) ve radyosity (sahneye bağlı algoritma) [85].

Daysim, Radiance'ı yerel iklim verilerine (Perez gökyüzü modeli) ve gün ışığı katsayısına dayalı olarak yıllık aydınlatma ve parlaklık profillerini hesaplamak için kullanan, Radiance tabanlı dinamik bir gün ışığı simülasyon programıdır. Daysim'den alınan doluluk, elektrik aydınlatma kullanımı ve panjurların durumu için saatlik çizelgeler, EnergyPlus gibi diğer enerji simülasyon yazılımlarına girdi olarak okunabilir. Doğrudan Radiance veya Daysim'de

bir bina modellemek uygun değildir, ancak Google SketchUp ve Ecotect gibi bina modelleme programları, binayı modellemek ve simülasyon sonuçlarını görselleştirmek için uygun bir platform sağlar [93]. Relux, yapay aydınlatma ve gün ışığı simülasyonu yapabilen, radyosite tabanlı bir programdır (noktadan noktaya yöntem). Ayrıca foto-gerçekçi kalitede görüntüler üretmek için değiştirilmiş Radiance ışın izleme teknolojisini kullanır. Relux'ün bir avantajı, üreticilerden kapsamlı bir armatür kitaplığı içermesidir; ayrıca program içerisinde bina modellemesi için kullanıcı dostu ara yüz içermektedir [85].

Bu teze ait alan çalışmasında, tek bir eklentiyle tüm gün ışığı analizleri yapılabildiğinden dolayı ClimateStudio yazılımı tercih edilmiştir.

Rhinoceros

Rhinoceros, Rhino olarak bilinmektedir. Karmaşık geometri oluşturma yeteneğine sahip bir üç boyutlu modelleme aracıdır. NURBS ve poligon kafes modellemeye bağlıdır. Rhino, Grasshopper gibi birçok eklentiye sahiptir (www.rhino3d.com).

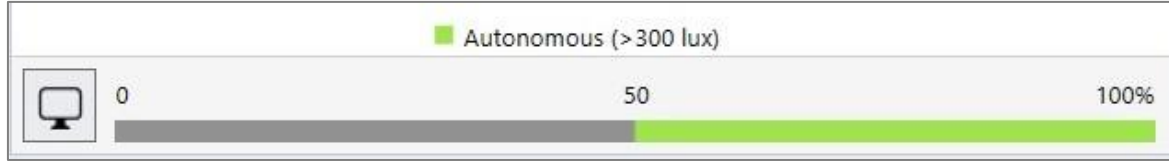
ClimateStudio

İnşaat sektörü için çevresel performans analiz yazılımı olan ClimateStudio, Rhinoceros 3D için bir eklentidir. Simülasyon iş akışları, tasarımcıların ve danışmanların binaları enerji verimliliği, gün ışığı erişimi, yapay aydınlatma performansı, görsel ve termal konfor ve diğer kullanıcı sağlığı ölçütleri için optimize etmesine yardımcı olur. Energyplus ve Radiance tabanlı bir teknoloji üzerine inşa edilen ClimateStudio 30.000'den fazla hava durumu dosyasından oluşan aranabilir bir kitaplık içerir, dinamik gölgeleme ve IES LM-83 standartlarını kullanarak sDA'yı doğru şekilde hesaplar [94]. Climate studio içerisindeki gün ışığı kullanılabilirliği iş akışı, çeşitli gün ışığı mevcudiyeti ölçümlerinin hesaplanmasını destekler. Bu ölçümler, gün ışığına bağlı olarak, belirli koşullar altında veya tüm yıl boyunca iç mekan aydınlatma dağılımlarını değerlendirir. Gün ışığı mevcudiyetinin ölçülmesine odaklanan çok sayıda sözleşme, uyumluluk yönergesi ve akreditasyon sistemi vardır. Bu temelleri karşılamak için, ClimateStudio'nun sunduğu alt iş akışlarından biri de Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik (LEED), ABD Yeşil Bina Konseyi (USGBC) tarafından sürdürülen bir yeşil bina derecelendirme sistemidir. Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik (LEED) programı, 2014'te yayınlanan yeni LEED sürüm 4'te gün ışığı aydınlatması kredisi

için iki uyum yolundan biri olarak, iklim tabanlı dinamik gün ışığı metrikleri olan mekânsal gün ışığı otonomisi (sDA) ve yıllık gün ışığı maruziyeti (ASE) kullanımını benimsemiştir [95]. Sistem, Gün Işığı Kredisini elde etmek için simülasyona dayalı iki seçenek sunar. Burada açıklanan 1. Seçenek, tüm yıl boyunca gün ışığı mevcudiyetini simüle ederken, 2. Seçenek zaman içinde belirli iki anda gün ışığı mevcudiyetini simüle eder. İlk simülasyon geçişi tamamlandıktan sonra veya kaydedilen bir sonuç yüklendikten sonra, sonuçlar paneli beş temel metriğe sahip bir gösterge tablosu gösterir.

Mekânsal gün ışığı otonomisi (sDA)

Mekânsal Günüışığı Otonomisi, belirli bir yıllık saat miktarı için belirli bir aydınlık seviyesini karşılayan zemin alanı yüzdesini kullanarak, gün ışığı aydınlatmasının yeterliliğini test etmek için geliştirilmiştir. Örneğin, sDA(300, %50), kullanılan saatlerin %50'si için aydınlatma seviyesinin 300 lüksten fazla olduğu alanın yüzdesini ifade eder [96]. Mekânsal gün ışığı otonomisi metriği (sDA300/%50), yıl boyunca kullanım saatlerinin (örn.08:00-18:00) en az %50'si için 300 lx aydınlatmaya sahip olan zemin alanının yüzdesini ifade eder [97]. sDA metriği, 2012 yılında Aydınlatma Mühendisleri Topluluğu (IES) LM-83-12 [94] tarafından tanımlandı. Reinhart ve Walkenhorst tarafından geliştirilen günüışığı otonomisi (DA) metriğine dayalı olarak, belirli bir yıllık saat miktarı için belirli bir aydınlatma seviyesinde belirli bir zemin alanı için gün ışığı aydınlatmasının yeterliliğini ölçer [30]. IES, analiz alanının %55 veya daha fazlasının, 10 saatlik bir günlük programa dayalı olarak yılın saatlerinin en az %50'si için 300 lux'lük bir aydınlatma eşiğini karşılamasını veya aşmasını tavsiye eder. Mekânsal gün ışığı özerkliği için oda alanının tercih edilen minimum yüzdesi olarak %75 önerilir. Simülasyon, analiz noktalarının %2'sinden fazlası 1.000 lüksten fazla aldığıda doğrudan güneş ışığını engellemek için gölgeleme elemanı tasarımı düşünülmelidir [94]. Mekânsal gün ışığı otonomisi metriği kullanılarak simülasyon alanı "gün ışığı alanı", "kısmen gün ışığı alanı" ve "aşırı ışık alanı" olarak sınıflandırılır. İlk olarak, "gün ışığı alanı" alan yüzdesi, kullanılan saatlerin en az %50'si için aydınlatma seviyeleri 300 ve 3000 lx arasına düştüğünde rapor edilir. İkinci olarak, "kısmen gün ışığı alanı" alan, kullanılan saatlerin %50'sinden azı, gün ışığı yetersizliğini temsil eden 300 lx'lik minimum aydınlatma ile karşılaştığında ölçülür. Son olarak, gün ışığı aydınlatması kullanılan saatlerin %5'inden fazlası için maksimum eşiği aştığında, "aşırı aydınlatılmış" alan rapor edilir. "Aşırı aydınlatılmış" alan, ısı kazanımı potansiyelini belirtir.



Şekil 3.14. ClimateStudio mekânsal gün ışığı otonomisi (sDA) lejantı

Yıllık güneş ışığına maruz kalma (ASE)

2012 yılında Aydınlatma Mühendisleri Topluluğu (IES) LM-83-12 tarafından tanımlanan ASE metriği, doğrudan güneş ışığına potansiyel bir görsel rahatsızlık kaynağı olarak bakar ve belirli bir saat boyunca belirli bir doğrudan güneş ışığı aydınlatma seviyesini aşan zemin alanı yüzdesini ölçer [94]. Aşırı aydınlatılan kat alanının yüzdesini ifade eder ve doğrudan güneş ışığının bir sonucu olarak görsel rahatsızlık olasılığının bir göstergesidir [97]. 250 saatin üzerinde ve doğrudan 1000 lüks üstü güneş ışığı alan konumlardır. Bu metrik için %10 eşik değeri ve üzeri tatmin edici olmayan görsel konfor alanlarını, %7 nötr ve %3 kabul edilebilir alanları temsil etmektedir. IES LM-83-12 standardı, doğrudan güneş ışığının yanı sıra ASE metriği tarafından ele alınmayan başka parlama kaynaklarının da olduğunu kabul eder [30]. ASE'yi kabul edilebilir seviyelere düşürmek için otomatik panjurları veya elektrokromik cam sistemleri kullanılabilir.



Şekil 3.15. ClimateStudio gün ışığına maruz kalma (ASE) lejantı

Ortalama aydınlık

Tüm dolu saatler boyunca, düzenli olarak kullanılan zemin alanındaki ortalama aydınlık değeridir. Gösterge tablosunda metriği seçmek, Rhino görünümünde hem ortalama hem de saatlik aydınlatma verilerinin incelenmesini sağlar. Birleşik Krallık CIBSE İç Aydınlatma Yasası, ofislerin tasarım aydınlatma seviyesinin 500 lx olmasını önerir. 500 lx'lik bir tasarım aydınlatması, gelişmiş ülkelerin çoğunda olağan bir durumdur. Sonuç olarak, elektrikli aydınlatma genellikle çalışma düzlemi boyunca eşit olarak 500 lx (yapay) aydınlatma sağlayacak şekilde tasarlanır. Yeterli gün ışığı mevcut olduğunda, elektrikli aydınlatma, bina

kullanıcıları veya bazı kontrol mekanizmaları tarafından azaltılabilir veya tamamen kapatılabilir [35]. Tablo 8’de farklı standartlara ait ofisler için tavsiye edilen aydınlık düzeyleri verilmektedir.

Çizelge 3.8. Farklı standartlara göre ofisler için tavsiye edilen aydınlık düzeyleri [88]

Standartlar	Genel	Çalışma alanı	Okuma
IESNA Standardı	100-500	300-500	300-500
Avrupa Standardı	200-500	500	500
CIE/ISO Standardı	200-500	500	500
CIBSE Kodu	300	500	500

Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisleri Topluluğu (IESNA) göreve, oturan kişinin yaşına, arka plan yansımasına, görsel keskinliğe ve gerekli doğruluğa dayalı olarak çalışma düzleminde önerilen tasarım aydınlatma düzeylerini belirlemiştir. Bu tavsiyeler, elektrik aydınlatma yüklerini en aza indirecek şekilde uyarlanmıştır. Günışığı aydınlatma uygulamalarında, IESNA tavsiyesinin iki veya daha fazla katı ışık seviyeleri, parlama, bağlı parlaklık ve termal konforun yeterince hesaba katılması koşuluyla çalışanlar için genellikle kabul edilebilir seviyededir [35].



Şekil 3.16. ClimateStudio yıllık ortalama aydınlık lejantı

Çalışma kapsamında temel model, model 2 ve model 3 Rhinoceros üç boyutlu modelleme aracında modellendikten sonra ClimateStudio simülasyon aracıyla gün ışığı analizleri gerçekleştirildi. LEED v4 Daylight Option 1 iş akış şeması yoluyla gün ışığı metrikleri oluşturuldu. Mekânsal gün ışığı otonomisi (sDA), yıllık güneş ışığına maruz kalma (ASE), ortalama aydınlık metrikleri ve puanlama sistemi kullanılmıştır. IESNA standardına göre ofis binalarında kullanım alanları için önerilen aydınlatma değeri 500 lüks olarak belirlendiğinden dolayı, bu tez çalışmasında gün ışığı analizlerinde 500 lüks aydınlık seviyesi kullanılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Yapısal Analiz

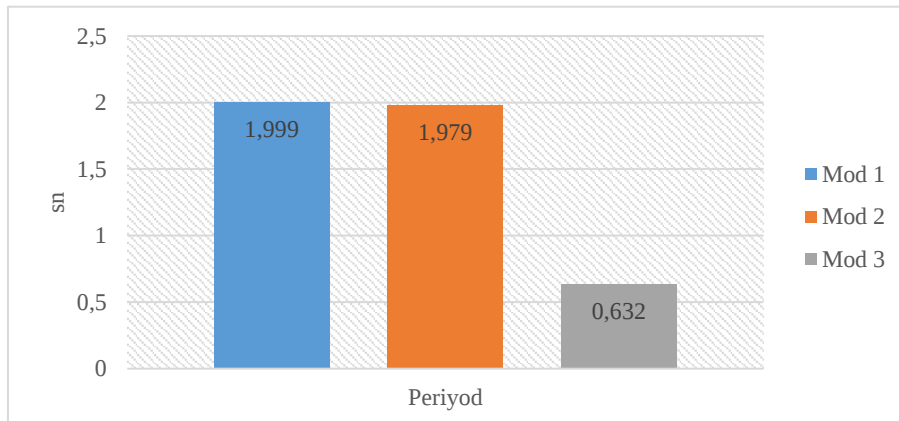
4.1.1. Temel model analiz sonuçları

Yapısal sistemine ait periyot verileri, temel modele ait ilk 3 mod değerleri Çizelge 4.1’de karşılaştırılmaktadır. İlk 3 mod yapısal sistemin nasıl davrandığını ile ilgili analizleri kapsamaktadır. İlk 3 mod yönetmelikte verilen, birbirine dik x ve y yatay deprem doğrultularının her birinde, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının yapı toplam kütlelerinin %90’ından daha az olmaması kuralına göre belirlenmiştir [98]. İlk 3 mod göz önüne alındığında hesaplanan etkin kütlelerin toplamının yapı toplam kütlelerinin %90’ından daha az olmaması kuralına uyulmuştur.

Çizelge 4.1. Temel modelin ZC zemin sınıfına göre ilk 3 periyod değerleri

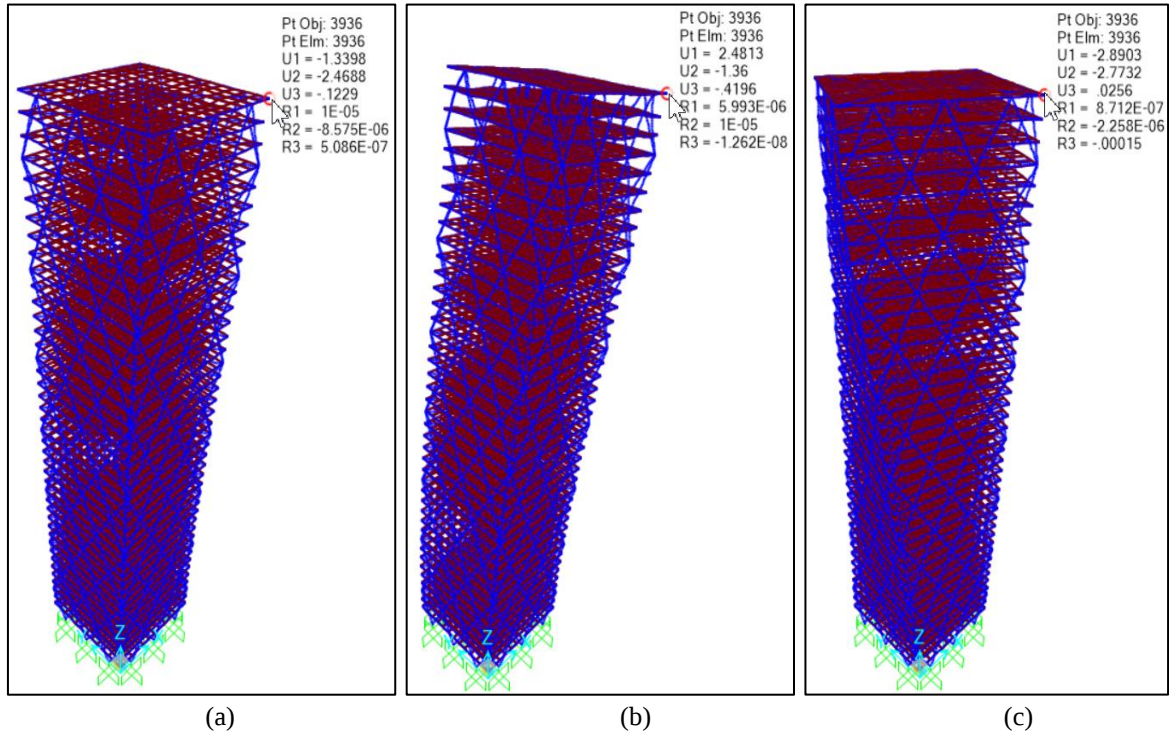
Mod sayısı	Periyod (sn)
Mod 1	1,999
Mod 2	1,979
Mod 3	0,632

Temel model için modal analiz görsellerini içeren yapıya ait ilk 3 mod davranışlarından ilk iki mod y ve x yönünde yatay ötelenmeye karşılık gelirken, 3. mod burulma şeklinde ortaya çıkmaktadır. Şekil 4.1’de temel modelin ilk üç periyod ZC zemin sınıfına göre grafik haline getirilmiştir. Kare plana sahip yüksek yapının yapısal sisteminin ilk modu Şekil 4.2a’da görülmektedir. Mod 1 (T=1,999 sn, y ötelenmesi).



Şekil 4.1. Temel modelin ZC zemin sınıfına göre ilk 3 periyod değerleri

Kare plana sahip yüksek yapının yapısal sisteminin ikinci modu Şekil 4.2b’de görülmektedir. Mod 2 ($T=1,979$ sn, x ötelenmesi). Kare plana sahip yüksek yapının yapısal sisteminin üçüncü modu Şekil 4.2c’de görülmektedir. Mod 3 ($T=0,632$ sn, burulma).

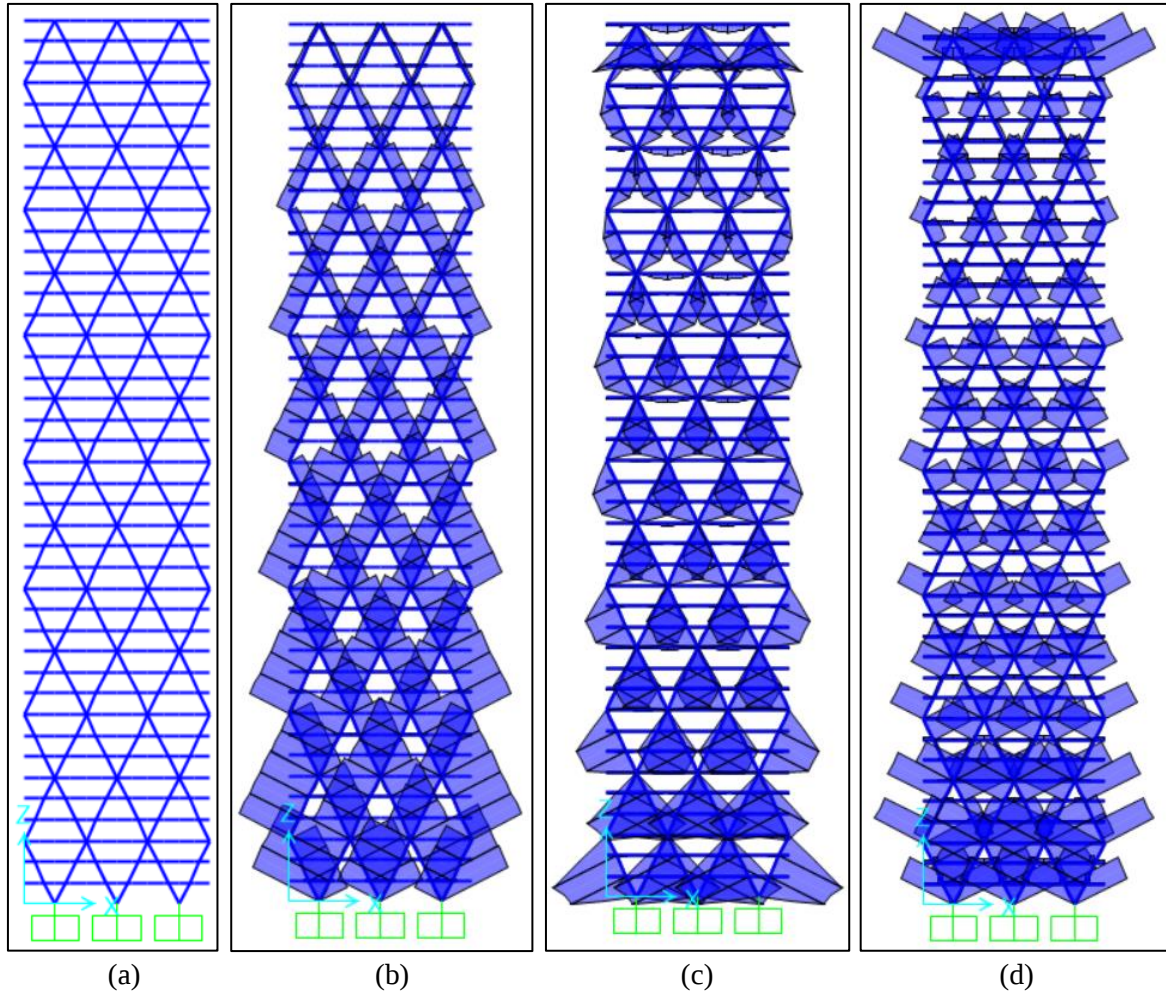


Şekil 4.2. Temel modelin Mod 1 (a), Mod 2 (b), Mod 3 (c) görünüşü

Çizelge 4.2’de Temel modelin ZC zemin sınıfı için x-y yönünde maksimum taban kesme kuvveti değerleri görülmektedir. Şekil 4.3a’da Temel modele ait kesit, Şekil 4.3b’de deprem yükünde eksenel yük, Şekil 4.3c’de moment diyagramı, Şekil 4.3d’de taban kesme diyagramı görselleştirilmiştir.

Çizelge 4.2. Temel modelin X ve Y yönünde ZC maksimum taban kesme değerleri (kN)

Temel Modelin ZC Zemin Sınıfına Göre Taban Kesme Değerleri	
X	Y
6650,59 kN	343,128 kN



Şekil 4.3. Temel modele ait kesit (a), deprem yükünde aksel yük (b), moment (c) ve taban kesme (d) diyagramları

Temel model için yüksek yapının en üst noktasında ZC yerel zemin sınıfında, RESx yük kombinasyonunda (deprem yükleri), U1 yönünde (X yönünde) maksimum deplasman değeri 20,85172 mm bulunmuştur. Temel model için yüksek yapının en üst noktasında ZC yerel zemin sınıfında, RESx yük kombinasyonunda (deprem yükleri), U2 yönünde (Y yönünde) maksimum deplasman değeri 1,758358 mm bulunmuştur. Temel model için yüksek yapının en üst noktasında ZC yerel zemin sınıfında, RESx yük kombinasyonunda (deprem yükleri), U3 yönünde (Z yönünde) maksimum deplasman değeri 2,40052 mm bulunmuştur. Çizelge 4.3'te temel modele ait deplasman değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.3. Temel model ZC zemin sınıfına göre maksimum deplasman (görelî kat ötelenmesi) değerleri

Temel model ZC zemin sınıfına göre maksimum deplasman (görelî kat ötelenmesi) değerleri			
LinRespSpec (max)	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)
RESX (Deprem Yükleri)	20,85172	1,758358	2,40052
WXP (Rüzgâr Yükleri)	60,52892	0,566531	-6,2047

Temel model için yüksek yapının en üst noktasında ZC yerel zemin sınıfında, WXP yük kombinasyonunda (rüzgar yükleri), U1 yönünde (X yönünde) maksimum deplasman değeri 60,52892 mm bulunmuştur. Temel model için yüksek yapının en üst noktasında ZC yerel zemin sınıfında, WXP yük kombinasyonunda (rüzgar yükleri), U2 yönünde (Y yönünde) maksimum deplasman değeri 0,566531 mm bulunmuştur. Temel model için yüksek yapının en üst noktasında ZC yerel zemin sınıfında, WXP yük kombinasyonunda (rüzgar yükleri), U3 yönünde (Z yönünde) maksimum deplasman değeri -6,2047 mm bulunmuştur.

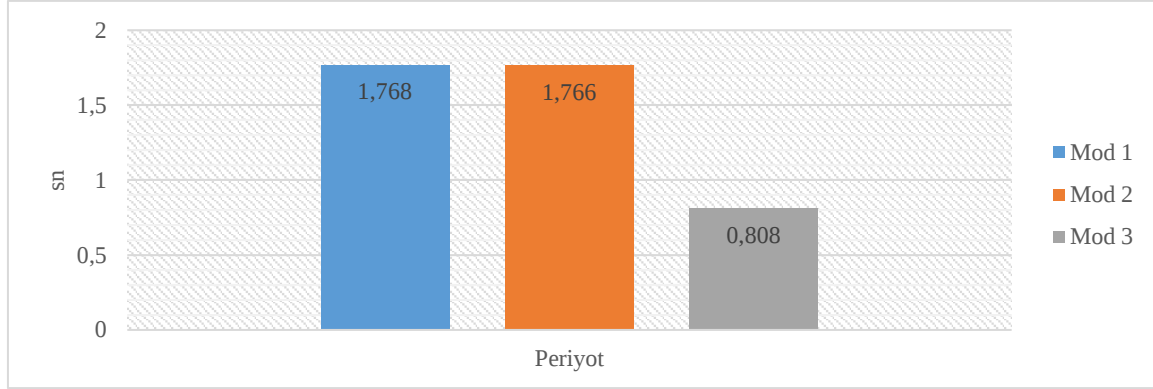
4.1.2. Model 2 yapısal analiz sonuçları

Yapısal sistemine ait periyot verileri, Model 2'ye ait ilk 3 mod değerleri Çizelge 4.4'te karşılaştırılmaktadır. İlk 3 mod yapısal sistemin nasıl davrandığını ile ilgili analizleri kapsamaktadır. İlk 3 mod yönetmelikte verilen, birbirine dik x ve y yatay deprem doğrultularının her birinde, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının yapı toplam kütlelerinin %90'ından daha az olmaması kuralına göre belirlenmiştir [98]. Şekil 4.4'te görüldüğü gibi ilk 3 mod göz önüne alındığında hesaplanan etkin kütlelerin toplamının yapı toplam kütlelerinin %90'ından daha az olmaması kuralına uyulmuştur.

Çizelge 4.4. Model 2 ZC zemin sınıfına göre ilk 3 periyod değerleri

Mod sayısı	Periyod (sn)
Mod 1	1,768
Mod 2	1,766
Mod 3	0,808

Model 2 için modal analiz görsellerini içeren yapıya ait ilk 3 mod davranışlarından ilk iki mod y ve x yönünde yatay ötelenmeye karşılık gelirken, 3. mod burulma şeklinde ortaya çıkmaktadır. Kare plana sahip yüksek yapının yapısal sisteminin ilk modu Şekil 4.5a'da görülmektedir. Mod 1 (T=1,768 sn, y ötelenmesi).



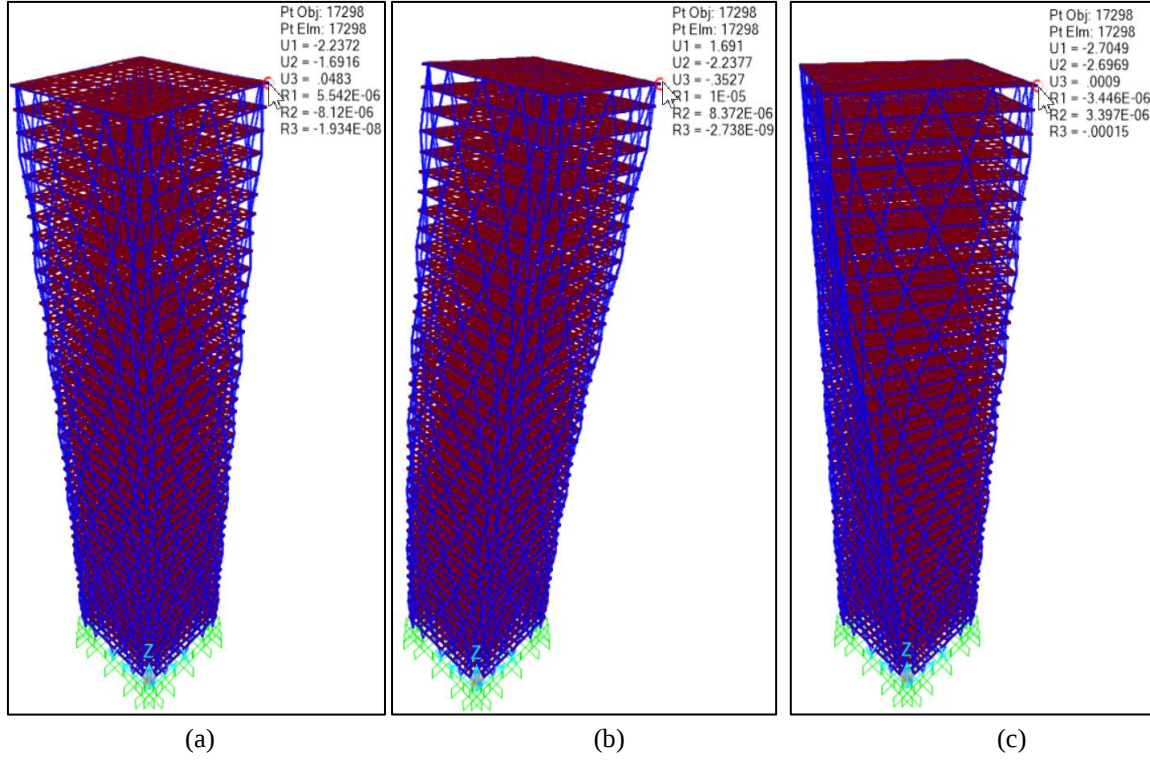
Şekil 4.4. Model 2'ye ait ZC zemin sınıfına göre ilk 3 periyod değerleri

Kare plana sahip yüksek yapının yapısal sisteminin ikinci modu Şekil 4.5b'de görülmektedir. Mod 2 ($T=1,766$ sn, x ötelenmesi). Kare plana sahip yüksek yapının yapısal sisteminin üçüncü modu Şekil 4.5c'de görülmektedir. Mod 3 ($T=0,808$ sn, burulma).

Çizelge 4.5'te Model 2'nin ZC zemin sınıfı için x-y yönünde maksimum taban kesme kuvveti değerleri görülmektedir. Şekil 4.6'da model 2'ye ait kesit, deprem yükünde eksenel yük, moment diyagramı ve taban kesme diyagramı görselleştirilmiştir.

Çizelge 4.5. Model 2, X ve Y yönünde ZC maksimum taban kesme değerleri (kN)

Model 2- ZC Zemin Sınıfına Göre Taban Kesme Değerleri	
X	Y
7026,16 kN	45,917 kN



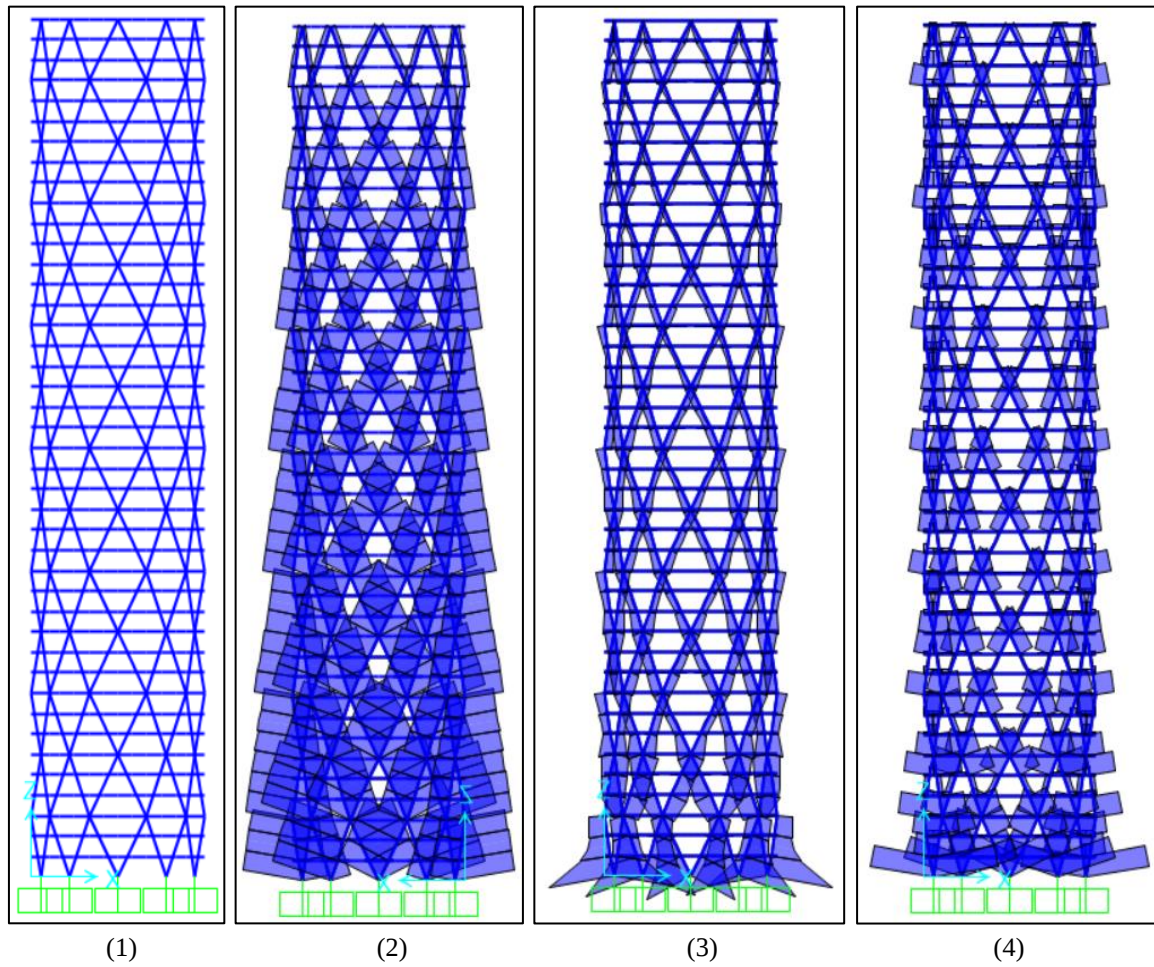
Şekil 4.5. Model 2'ye ait Mod 1 (a), Mod 2 (b), Mod 3 (c) görünüşü

Model 2 için yüksek yapının en üst noktasında ZC yerel zemin sınıfında, RESx yük kombinasyonunda (deprem yükleri), U1 yönünde (X yönünde) maksimum deplasman değeri 18,70345 mm bulunmuştur. Model 2 için yüksek yapının en üst noktasında ZC yerel zemin sınıfında, RESx yük kombinasyonunda (deprem yükleri), U2 yönünde (Y yönünde) maksimum deplasman değeri 0,969337 mm bulunmuştur. Model 2 için yüksek yapının en üst noktasında ZC zemin sınıfında, RESx yük kombinasyonunda (deprem yükleri), U3 yönünde (Z yönünde) maksimum deplasman değeri 1,71911 mm bulunmuştur. Çizelge 4.6'da Model 2'ye ait deplasman değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.6. Model 2- ZC zemin sınıfına göre maksimum deplasman (görelî kat ötelenmesi) değerleri

Model 2 ZC zemin sınıfına göre maksimum deplasman (görelî kat ötelenmesi) değerleri			
LinRespSpec (max)	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)
RESX (Deprem Yükleri)	18,70345	0,969337	1,71911
WXP (Rüzgâr Yükleri)	46,7738	0,057657	-3,9047

Model 2 için yüksek yapının en üst noktasında ZC yerel zemin sınıfında, WXP yük kombinasyonunda (rüzgar yükleri), U1 yönünde (X yönünde) maksimum deplasman değeri 46,7738 mm bulunmuştur. Model 2 için yüksek yapının en üst noktasında ZC yerel zemin sınıfında, WXP yük kombinasyonunda (rüzgar yükleri), U2 yönünde (Y yönünde) maksimum deplasman değeri 0,057657 mm bulunmuştur. Model 2 için yüksek yapının en üst noktasında ZC yerel zemin sınıfında, WXP yük kombinasyonunda (rüzgar yükleri), U3 yönünde (Z yönünde) maksimum deplasman değeri -3,9047 mm bulunmuştur (Bkz. Çizelge4.6).



Şekil 4.6. Model 2'ye ait kesit (1), deprem yükünde eksenel yük (2), moment (3) ve taban kesme (4) diyagramları

4.1.3. Model 3 yapısal analiz sonuçları

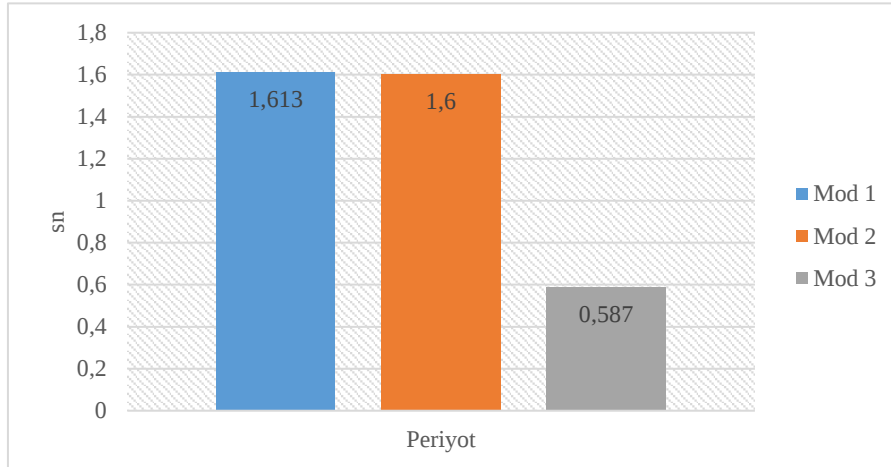
Yapısal sistemine ait periyot verileri, Model 3'e ait ilk 3 mod değerleri Çizelge 4.7'de karşılaştırılmaktadır. İlk 3 mod yapısal sistemin nasıl davrandığını ile ilgili analizleri

kapsamaktadır. İlk 3 mod yönetmelikte verilen, birbirine dik x ve y yatay deprem doğrultularının her birinde, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının yapı toplam kütlelerinin %90'ından daha az olmaması kuralına göre belirlenmiştir [98]. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi ilk 3 mod göz önüne alındığında hesaplanan etkin kütlelerin toplamının yapı toplam kütlelerinin %90'ından daha az olmaması kuralına uyulmuştur.

Çizelge 4.7. Model 2 ZC zemin sınıfına göre ilk 3 periyod değerleri

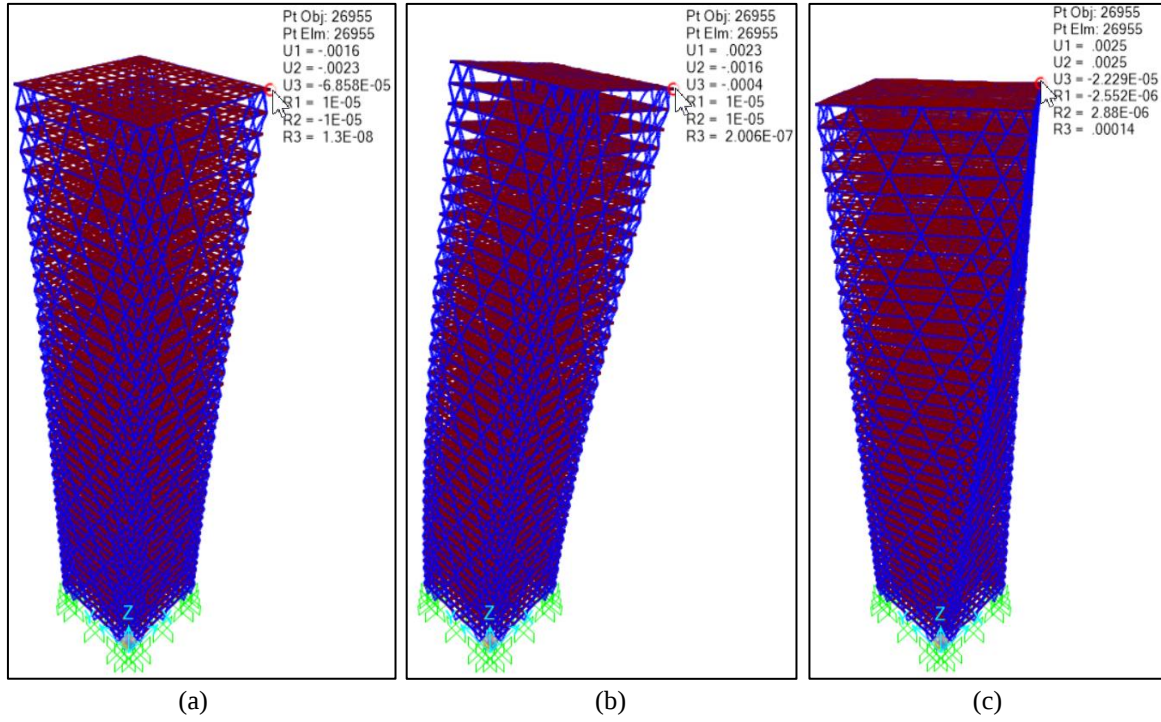
Mod sayısı	Periyod (sn)
Mod 1	1,613
Mod 2	1,600
Mod 3	0,587

Model 3 için modal analiz görsellerini içeren yapıya ait ilk 3 mod davranışlarından ilk iki mod y ve x yönünde yatay ötelenmeye karşılık gelirken, 3. mod burulma şeklinde ortaya çıkmaktadır. Kare plana sahip yüksek yapının yapısal sisteminin ilk modu Şekil 4.8a'da görülmektedir. Mod 1 (T=1,613 sn, y ötelenmesi).



Şekil 4.7. Model 3 'e ait ZC zemin sınıfına göre ilk 3 periyod değerleri

Kare plana sahip yüksek yapının yapısal sisteminin ikinci modu Şekil 4.8b'de görülmektedir. Mod 2 (T=1,600 sn, x ötelenmesi). Kare plana sahip yüksek yapının yapısal sisteminin üçüncü modu Şekil 4.8c'de görülmektedir. Mod 3 (T=0,587 sn, burulma).

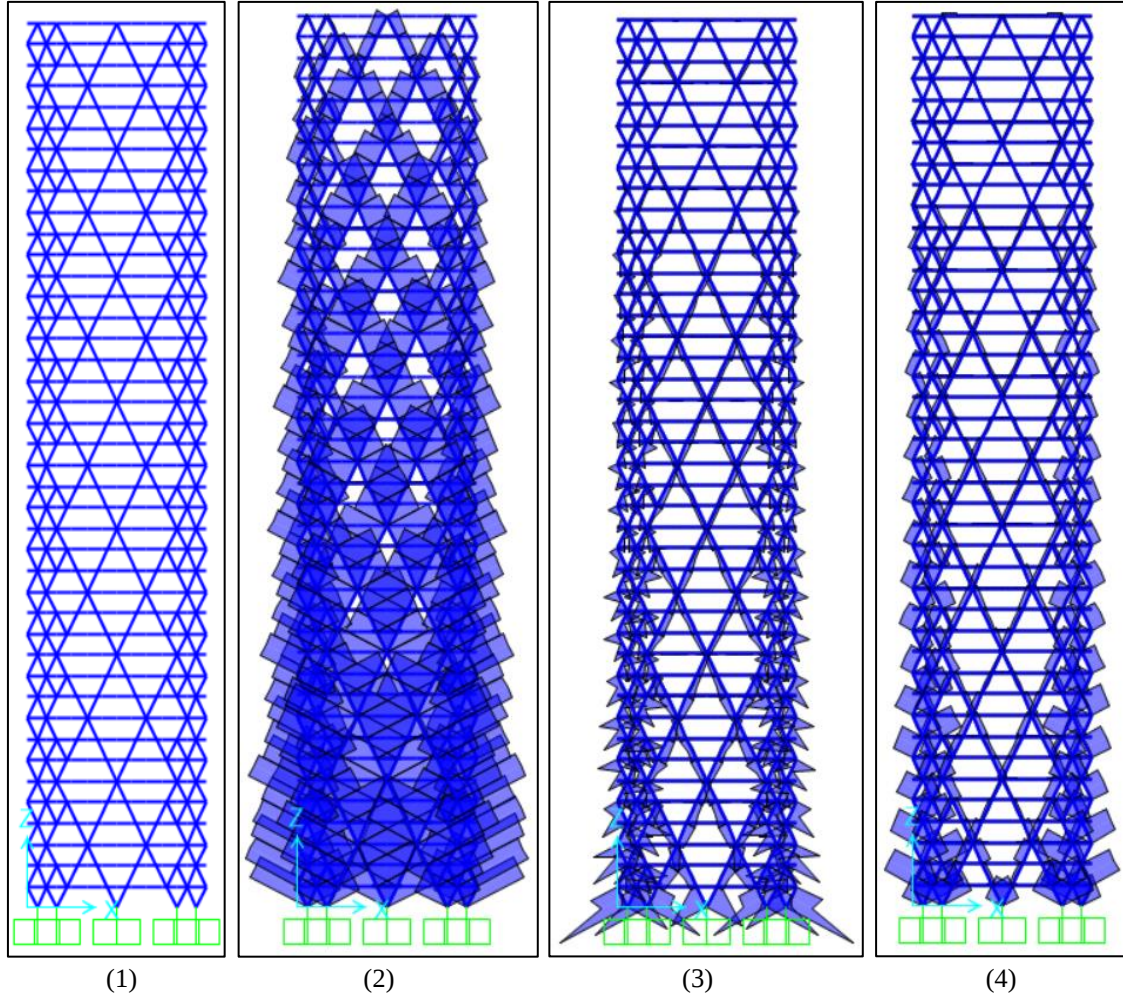


Şekil 4.8. Model 3'e ait Mod 1 (a), Mod 2 (b), Mod 3 (c) görünüşü

Çizelge 4.8'de Model 3'ün ZC zemin sınıfı için x-y yönünde maksimum taban kesme kuvveti değerleri görülmektedir. Şekil 4.9'da Model 3'e ait kesit, deprem yükünde eksenel yük, moment diyagramı ve taban kesme diyagramı görselleştirilmiştir.

Çizelge 4.8. Model 3, X ve Y yönünde ZC maksimum taban kesme değerleri (kN)

Model 3- ZC Zemin Sınıfına Göre Taban Kesme Değerleri	
X	Y
7579,76 kN	288,141 kN



Şekil 4.9. Model 3'e ait kesit (1), deprem yükünde aksenal yük (2), moment (3) ve taban kesme (4) diyagramları

Model 3 için yüksek yapının en üst noktasında ZC yerel zemin sınıfında, RESx yük kombinasyonunda (deprem yükleri), U1 yönünde (X yönünde) maksimum deplasman değeri 15,02226 mm bulunmuştur. Model 3 için yüksek yapının en üst noktasında ZC yerel zemin sınıfında, RESx yük kombinasyonunda (deprem yükleri), U2 yönünde (Y yönünde) maksimum deplasman değeri 1,293179 mm bulunmuştur. Model 3 için yüksek yapının en üst noktasında ZC yerel zemin sınıfında, RESx yük kombinasyonunda (deprem yükleri), U3 yönünde (Z yönünde) maksimum deplasman değeri 1,79198 mm bulunmuştur. Çizelge 4.9'da Model 2'ye ait deplasman değerleri verilmektedir.

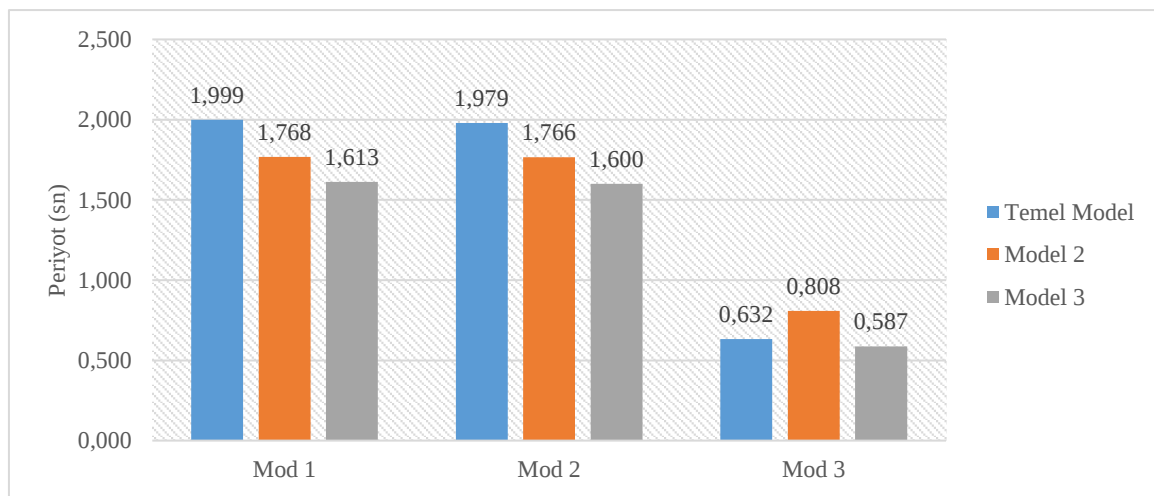
Çizelge 4.9. Model 3- ZC zemin sınıfına göre maksimum deplasman (görelî kat ötelenmesi) değerleri

Temel model ZC zemin sınıfına göre maksimum deplasman (görelî kat ötelenmesi) değerleri			
LinRespSpec (max)	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)
RESX (Deprem Yükleri)	15,02226	1,293179	1,79198
WXP (Rüzgâr Yükleri)	37,63188	0,220358	-4,0499

Model 3 için yüksek yapının en üst noktasında ZC yerel zemin sınıfında, WXP yük kombinasyonunda (rüzgar yükleri), U1 yönünde (X yönünde) maksimum deplasman değeri 37,63188 mm bulunmuştur. Model 3 için yüksek yapının en üst noktasında ZC yerel zemin sınıfında, WXP yük kombinasyonunda (rüzgar yükleri), U2 yönünde (Y yönünde) maksimum deplasman değeri 0,220358 mm bulunmuştur. Model 3 için yüksek yapının en üst noktasında ZC yerel zemin sınıfında, WXP yük kombinasyonunda (rüzgar yükleri), U3 yönünde (Z yönünde) maksimum deplasman değeri -4,0499 mm bulunmuştur. Çizelge 4.9’da Model 3’e ait dönme (burulma) değerleri verilmektedir.

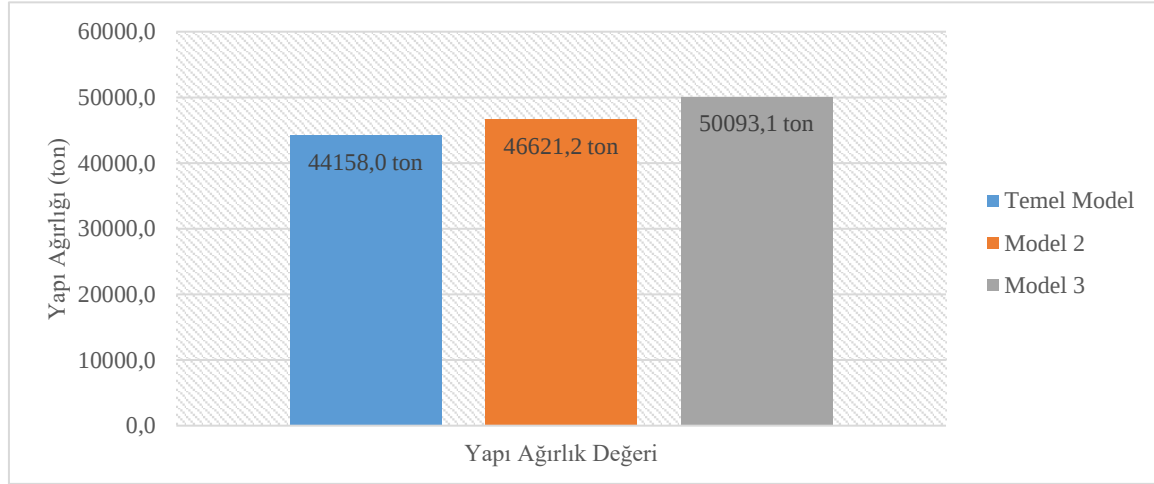
4.1.4. Temel Model, Model 2 ve Model 3 yapısal analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Üç farklı diagrid modül geometrisinde tasarlanan yüksek yapıların ilk 3 modu dikkate alınarak yapılan modal analizin karşılaştırmalı grafiği Şekil 4.10’da gösterilmiştir.



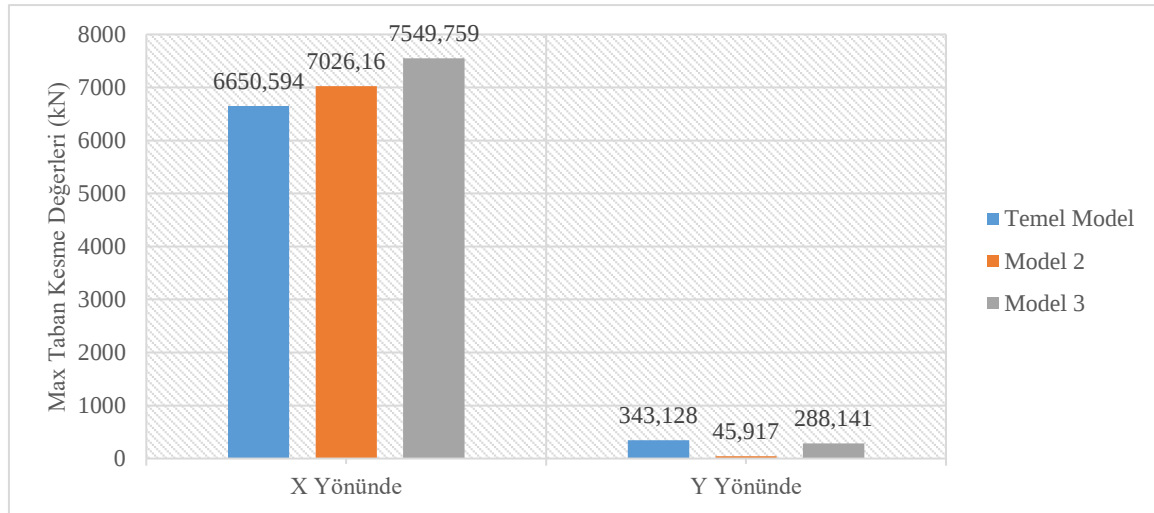
Şekil 4.10. Temel Model, Model 2 ve Model 3 için modal analiz değerleri

Cephe genişliği boyunca değişen aç ve modül yoğunluklarında tasarlanan üç farklı diagrid yüksek yapının, yapı ağırlık değerleri Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



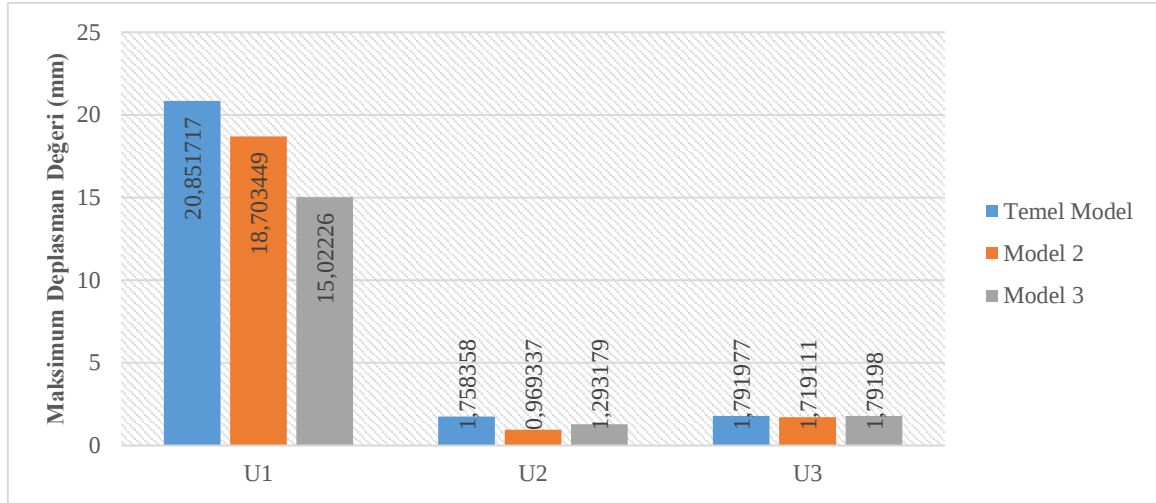
Şekil 4.11. Temel Model, Model 2 ve Model 3'e ait yapı ağırlık değerlerinin karşılaştırması

Cephe genişliği boyunca değişen aç ve modül yoğunluklarında tasarlanan üç farklı diagrid yüksek yapı için, yerel zemin sınıfı ZC dikkate alınarak yapılan maksimum taban kesme değerlerinin karşılaştırması Tablo Şekil 4.12’de verilmiştir.



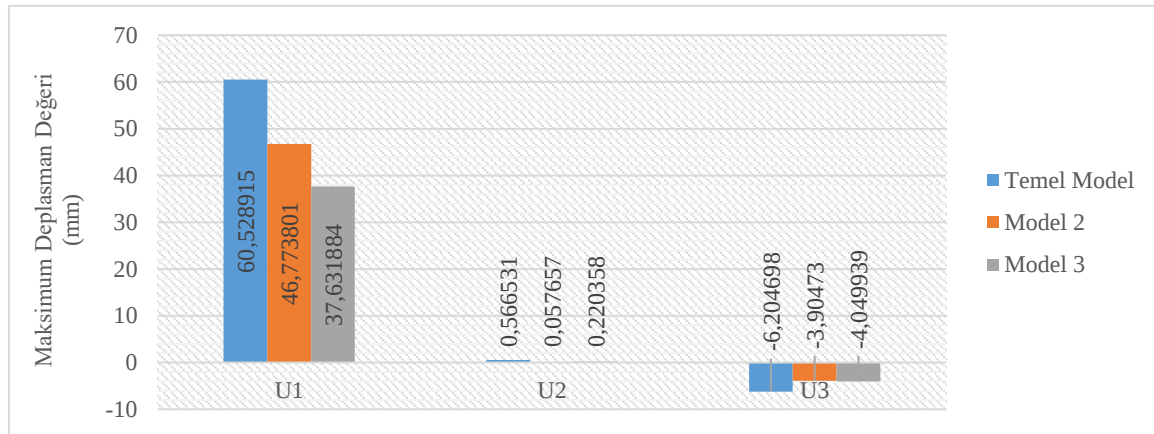
Şekil 4.12. Temel Model, Model 2 ve Model 3 için maksimum taban kesme değerlerinin karşılaştırılması (kN)

Cephe genişliği boyunca değişen aç ve modül yoğunluklarında tasarlanan üç farklı diagrid yüksek yapı için, yerel zemin sınıfı ZC dikkate alınarak yapılan maksimum deplasman değerlerinin karşılaştırması Şekil 4.13’te verilmiştir.



Şekil 4.13. Temel Model, Model 2 ve Model 3 için RESX (deprem yükleri altında) maksimum deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Cephe genişliği boyunca değişen açı ve modül yoğunluklarında tasarlanan üç farklı diagrid yüksek yapı için, yerel zemin sınıfı ZC dikkate alınarak yapılan maksimum deplasman değerlerinin karşılaştırması Şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.14. Temel Model, Model 2 ve Model 3 için WXP (rüzgâr yükleri) maksimum dönme değerlerinin karşılaştırılması

Yapının rijitliğinin fazla olması durumunda, yapı salınımı azalır ki bu da yapı periyotlarında azalmaya neden olmaktadır. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi Temel Model, Model 2 ve Model 3 için ilk 3 Mod değerleri karşılaştırıldığında, temel modelin Mod 1 değeri 1,999 sn değeri %100 alındığında, Model 2'nin Mod 1 değerine göre %11,6 daha yüksek, Model 3'ün Mod 1 değerine göre %19,3 yüksek çıkmıştır. Temel modelin Mod 2 değeri 1,979 sn değeri %100 alındığında, Model 2'nin Mod 2 değerine göre %10,8 daha yüksek, Model 3'ün Mod 2

değerine göre %19,2 yüksek çıkmıştır. Temel modelin Mod 3 değeri 0,632 sn %100 alındığında, Model 2'nin Mod 3 değerine göre %27,8 daha düşük, Model 3'ün Mod 3 değerine göre %7,1 yüksek olduğu görülmektedir. Periyot değerleri ışığında Model 3'ün, Temel Model ve Model 2'den daha rijit bir davranış sergilediği görülmektedir.

Şekil 4.12'de görüldüğü gibi, cephede 63° açılarda 3 kat yüksekliğinde düzenli diagrid modüllerden oluşan diagrid taşıyıcı sisteme sahip Temel Model'in ZC yerel zemin sınıfında x yönünde maksimum taban kesme değeri 6650,59 kN olup %100 alındığında, Model 2'ye göre % 5,6 daha düşük, Model 3'e göre % 13,6 daha düşük sonuç göstermiştir. Temel modelin y yönünde maksimum taban kesme değeri 343,13 kN %100 alındığında, Model 2'ye göre % 86,6 daha yüksek, Model 3'e göre %16 daha yüksek değerde olduğu görülmektedir. Model 3'ün maksimum taban kesme değerlerinin x yönünde temel model ve model 2'ye göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Temel modelin maksimum taban kesme değerlerinin y yönünde model 3 ve model 2'ye göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Maksimum deplasman değerleri yapının en üst noktasına göre Şekil 4.13'te görüldüğü üzere, Temel Model'in ZC yerel zemin sınıfında deprem yüklerine göre maksimum deplasman değeri 20,85172 mm olup %100 alındığında, Model 2'ye göre %10,31 daha yüksek, Model 3'e göre %28 daha yüksek değerde olduğu görülmektedir. Maksimum deplasman değerleri yapının en üst noktasına göre Tablo 25'te görüldüğü üzere, Temel Model'in ZC yerel zemin sınıfında rüzgar yüklerine göre maksimum deplasman değeri 60,52892 mm olup %100 alındığında, Model 2'ye göre %22,7 daha yüksek, Model 3'e göre %37,8 daha yüksek değerde olduğu görülmektedir. Bu farklılaşma oranları; yatay yükler altında Model 3'ün, Temel Model ve Model 2'ye göre; Model 2'nin de Temel Model'e göre daha rijit bir davranış sergilediğini göstermektedir.

Şekil 4.11'de Temel Model, Model 2 ve Model 3'ün taşıyıcı sistem ağırlık değerlerine bakıldığında; Temel Model 44158 ton olup % 100 alındığında, Model 2'ye göre %5,6 daha düşük, Model 3'e göre %13,4 daha düşük değerde olduğu görülmektedir. Model 2 ve 3'ün Temel Model'den daha yüksek ağırlık değerlerine sahip olmalarının nedeni; Model 2'de cephe genişliği boyunca artan açı değerlerine sahip iki diagrid modül daha eklenmesi, Model 3'teki ağırlık artışının nedeni yüksek yapının köşeleri boyunca diagrid modül yoğunluğunun iki katına çıkarılmasıdır.

Cephede 63° açılarda 3 kat yüksekliğinde düzenli diagrid modüllerden oluşan diagrid taşıyıcı sisteme sahip Temel Model'in, 3 kat yüksekliğindeki diagrid modül açılarının cephe genişliği boyunca arttığı Model 2'nin ve üç kat yüksekliğindeki ve 63° lik açılara sahip diagrid modüllerinin yoğunluğunun yapının köşelerinde iki katına çıktığı Model 3'ün yatay ve düşey yükler altındaki statik ve dinamik davranışları incelenmiştir. Diagrid modüllerin açısı, yoğunluğu ve yapıdaki konumları, yatay yükler altında yapının davranışını önemli ölçüde etkilemektedir. Analizler sonucunda yapısal gerekliliklere göre şekillenen diagrid modüllerin cephe biçimlenişi düşey ve yatay yükler altında şekillenmektedir.

Cephe genişliği boyunca yapısal taleplerin farklılaşması nedeniyle diagrid modüller yapı köşelerine doğru dik ya da yoğun olarak biçimlenmiştir. Yapı köşelerindeki bağlantı noktalarının artması ve eleman yoğunluğunun artması nedeniyle model 3 deplasman değerleri daha küçük, taban kesme değeri daha büyüktür. Bu yüzden Mod 1, Mod 2 ve Mod 3 burulma değeri diğer modellere göre daha düşük çıkmıştır. Daha rijit bir yapı olduğu söylenebilir. Ancak yapı köşelerindeki yoğunlaşma nedeniyle yapısal ağırlık bakımından diğer modellerden daha yüksek değerdedir.

4.2. Gün Işığı Analiz Sonuçları

Bu bölümde Rhinoceros programında modellenen ofis yapılarının ClimateStudio eklentisi kullanılarak Ankara ili iklim verileri için yapılan gün ışığı analizlerinin sonuçlarına yer verilmektedir. Analiz sonuçları iş akış şemasında verildiği gibi yıllık iklim tabanlı metrikler olan ortalama aydınlık düzeyi (avg. Lux), gün ışığına maruz kalma değeri (ASE) ve mekânsal gün ışığı otonomisi (sDA) sonuçlarını içermektedir.

4.2.1. Ortalama aydınlık düzeyi

Çizelge 4.10'da temel model, model2 ve model 3'e ait ortalama aydınlık düzeyleri analiz sonuçları verilmiştir. Temel modelin yıllık ortalama aydınlık düzeylerine bakıldığında 1. Katın 3171 lux, 2. Katın 3141 lux ve 3. Katın 3249 lux değerlerinde olduğu görülmektedir. Model 2'ye ait yıllık ortalama aydınlık düzeylerine bakıldığında 1. katta 2699 lux, 2. Katta 2421lux ve 3. Katta 2869 lux değerlerinde olduğu görülmektedir. Model 3'e ait yıllık ortalama aydınlık düzeylerine bakıldığında 1. katta 2370 lux, 2. Katta 2141 lux ve 3. Katta

2550 lux değerlerinde olduğu görülmektedir. Tüm modellerde ve tüm katlar için, ofis yapılarında gerekli olan 500 lux aydınlatma düzeyi karşılanmaktadır.

Çizelge 4.10. Temel model, model 2 ve model 3'e ait ortalama aydınlık düzeyleri (avg.lux)

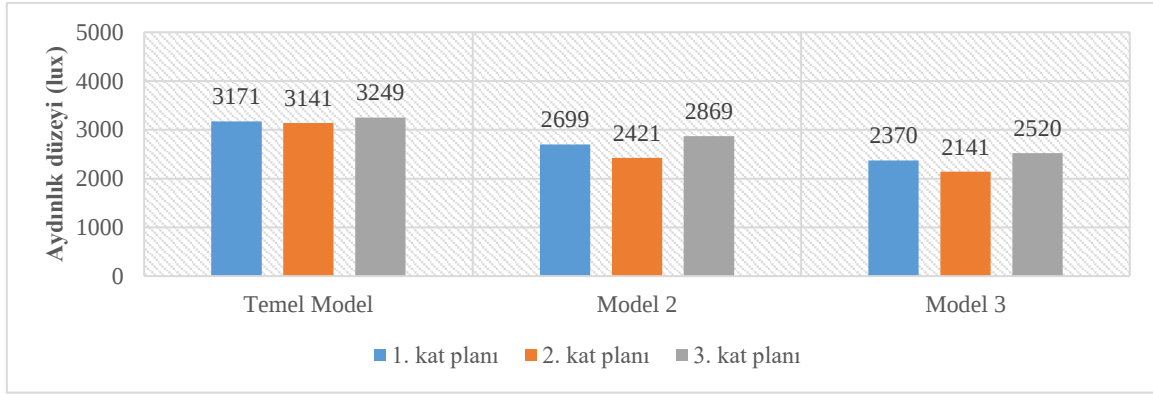
	PUANLAMA (LEED)	TEMEL MODEL	MODEL 2	MODEL 3
1. KAT PLANI	3	3171	2699	2370
2.KAT PLANI	3	3141	2421	2141
3. KAT PLANI	3	3249	2869	2520

Alternatif modellere ait en yüksek lux değeri, temel modelde 3. Kata ait (Bkz. Şekil 4.18), en düşük lux değeri ise en düşük pencere/duvar oranına dolayısıyla en yüksek modül yoğunluğuna sahip model 3'te 2. kata (Bkz. Şekil 4.22) ait yıllık ortalama aydınlatma düzeyidir. Ortalama aydınlık düzeyi haritalarına bakıldığında temel modelde (Bkz. Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18) aydınlık düzeyleri 5000 lux üzeri alanların oranının model 2 ve model 3'e göre daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır. Çizelge 4.11'de tüm modellere ve kat planlarına ait pencere duvar oranları görülmektedir.

Çizelge 4.11. Temel model, model 2 ve model 3'e ait pencere/duvar oranları (WWR)

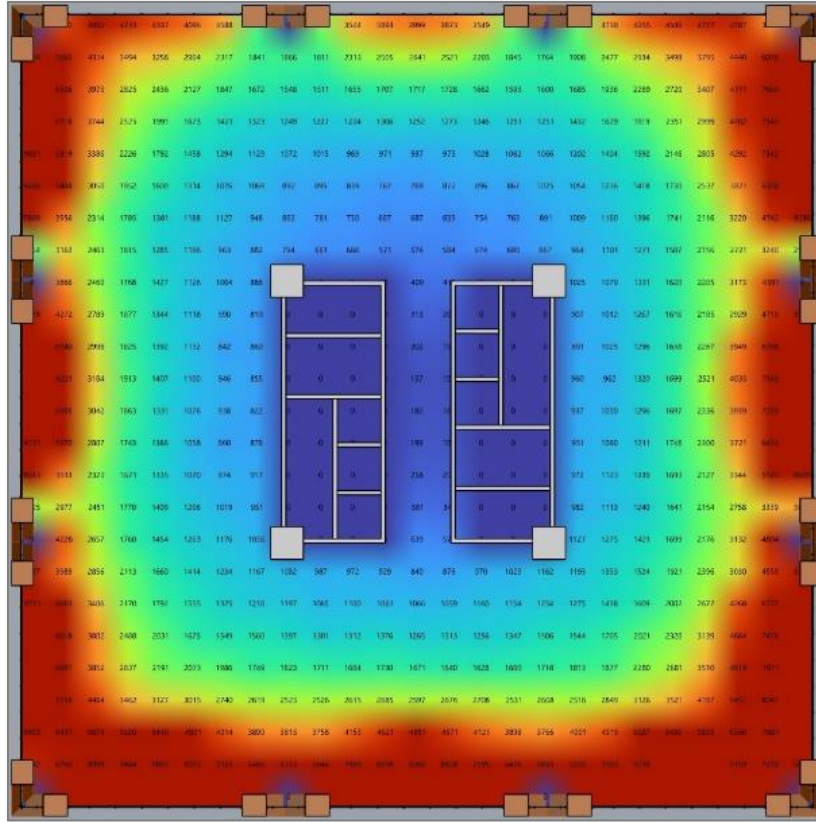
	PUANLAMA (LEED)	TEMEL MODEL	MODEL 2	MODEL 3
1. KAT PLANI	3	% 72,5	% 65,4	% 62,7
2.KAT PLANI	3	% 71,2	% 61,9	% 57,3
3. KAT PLANI	3	% 71,6	% 64,2	% 62,2

Diagrid modüllerin yoğunluğunun arttığı model 3'te 5000 lux üzeri alanların oranının daha düşük olduğu görülmektedir (Bkz. Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24). Alternatif modellere kat planı bağlamında bakıldığında; model 3 için, cephede en düşük pencere/duvar oranına ve en yüksek modül yoğunluğuna sahip olan 2. katta en düşük yıllık ortalama aydınlık düzeyi görülmektedir.

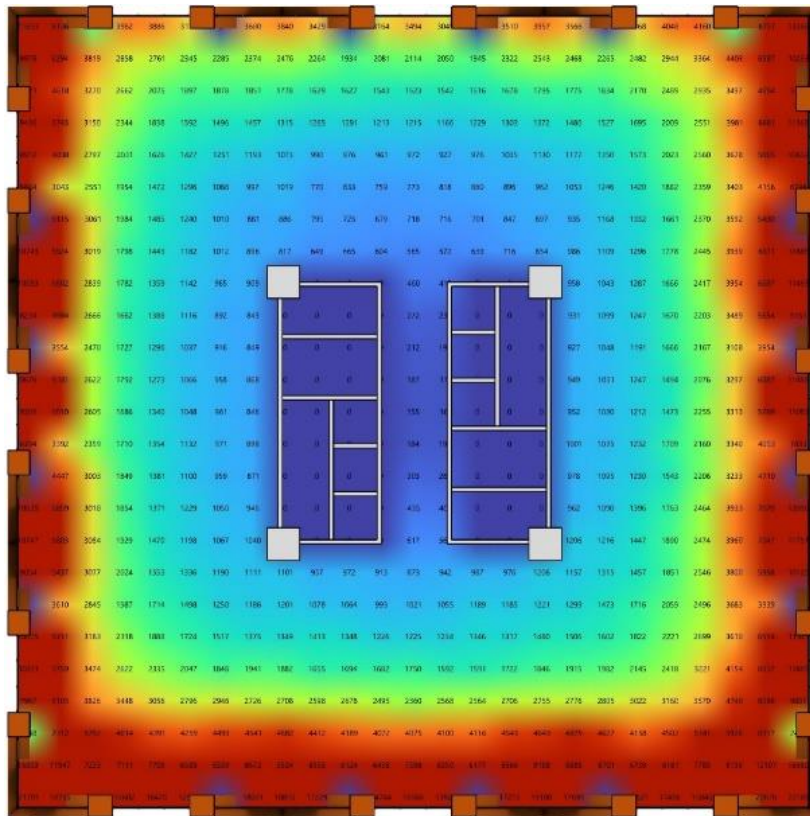


Şekil 4.15. Temel model, model 2 ve model 3 yıllık ortalama aydınlık değerleri (lux)

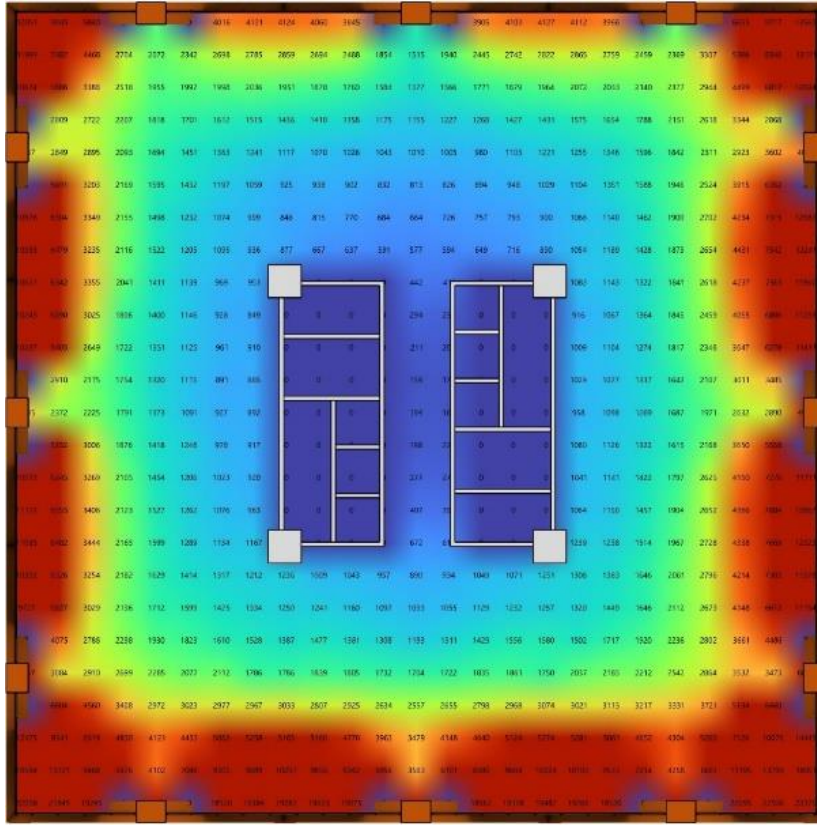
Şekil 4.15'te tüm modellerin kat planlarına ait yıllık ortalama aydınlık değerleri grafiği verilmiştir. Temel model için; pencere/duvar oranı ve aydınlık düzeyi arasındaki ters orantı durumu farklılaşmakta olup, 2. en düşük WWR oranına sahip olan 3. katta en yüksek yıllık ortalama aydınlık düzeyi görülmektedir. Buradaki farklılaşmanın nedeni; temel modelde yakın değerlerde olan pencere/duvar oranlarının değişiminden ziyade kat sırasının aydınlık düzeyi oluşumunda daha belirleyici rol oynaması olabilir. Benzer durum diğer modeller için de söz konusu olup en yüksek aydınlık düzeyleri her model için 3. katlarda görülmektedir. 5000 lux ve üzeri alanlar görsel konforsuzluk ve aşırı ısınma sorunlarını beraberinde getirebilmektedir. Model 2'ye ait, Şekil 4.18'de 1. kat planı, Şekil 4.19'da 2. kat planı, Şekil 4.20'de 3. kat planı ortalama aydınlık düzeyleri görülmektedir.



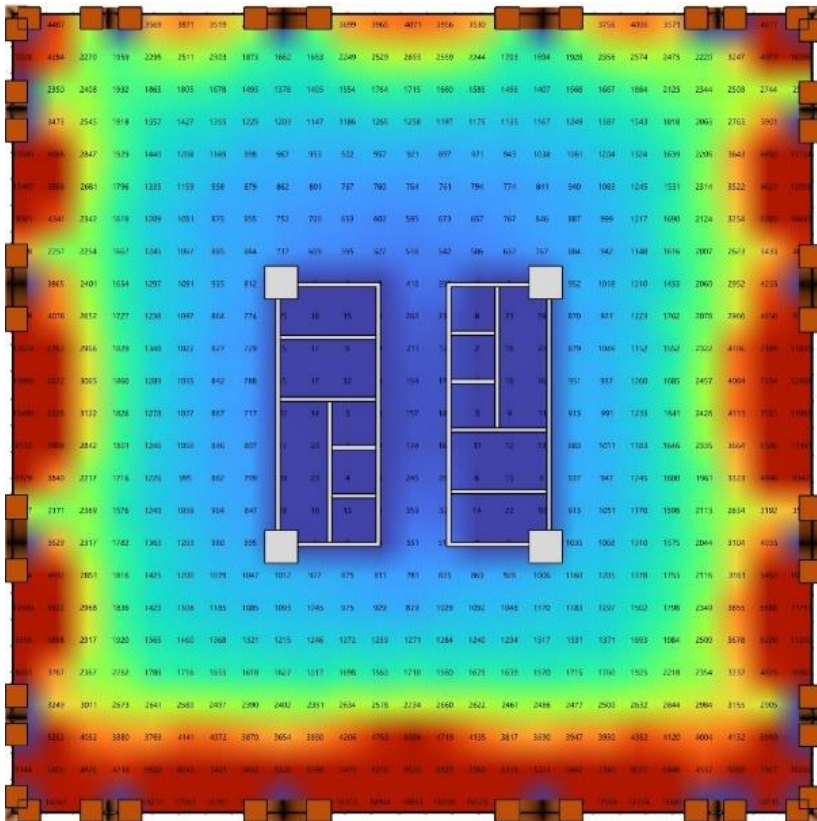
Şekil 4.16. Temel model, 1. kat planı yıllık ortalama aydınlık düzeyi



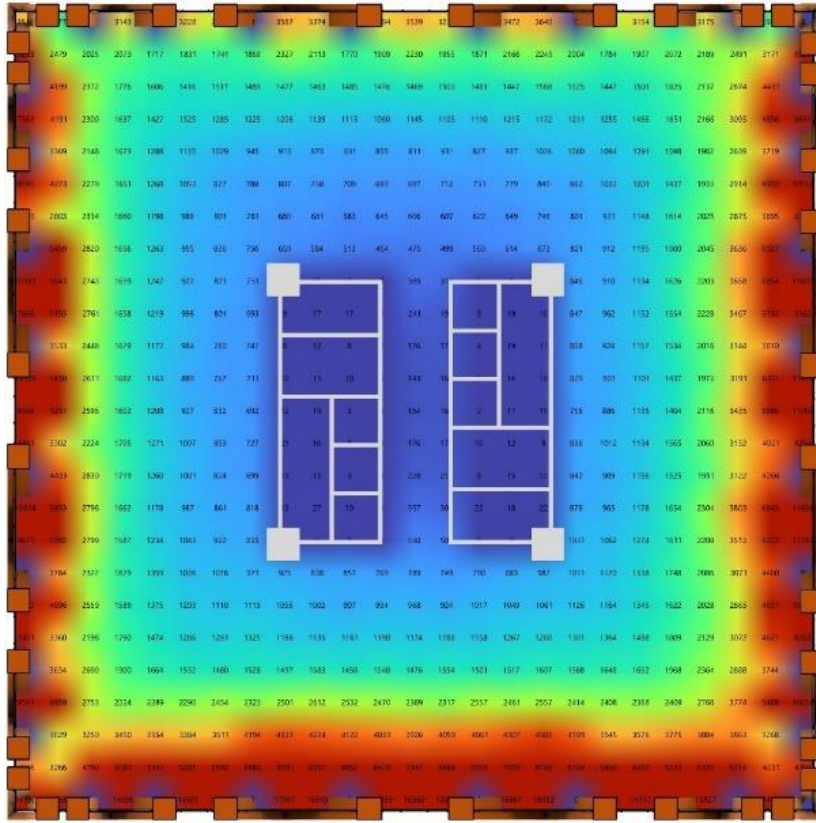
Şekil 4.17. Temel model, 2. kat planı yıllık ortalama aydınlık düzeyleri



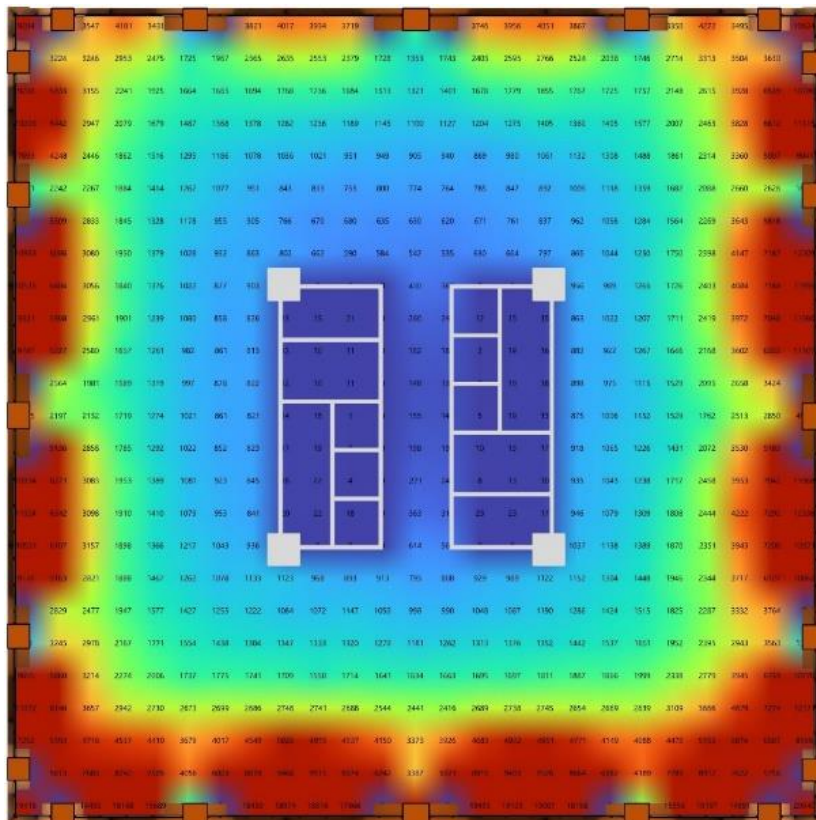
Şekil 4.18. Temel model, 3. kat planı yıllık ortalama aydınlık düzeyleri



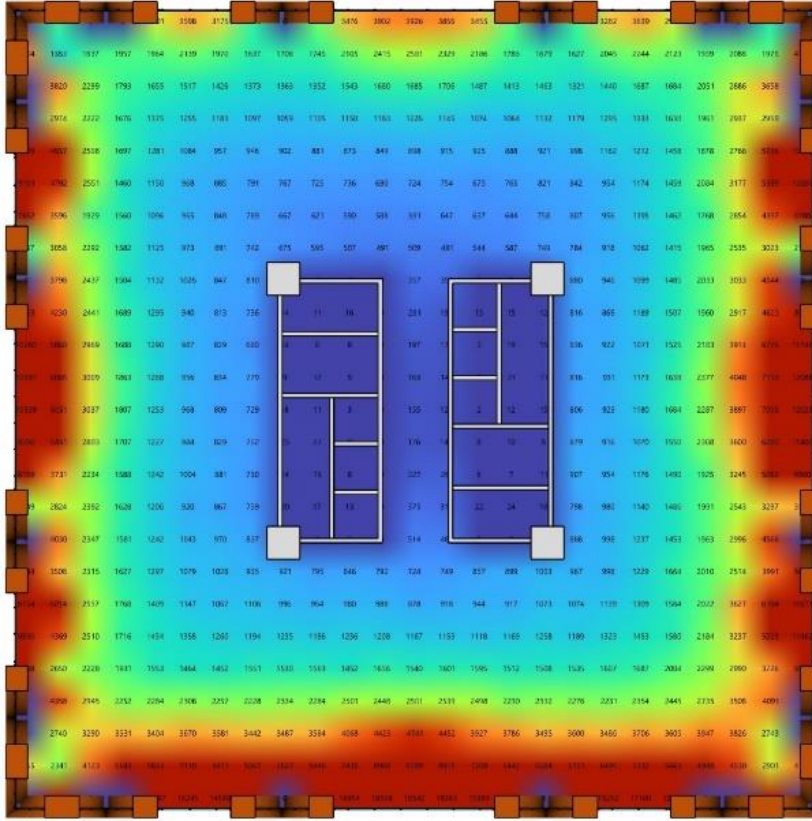
Şekil 4.19. Model 2, 1. kat planı yıllık ortalama aydınlık düzeyleri



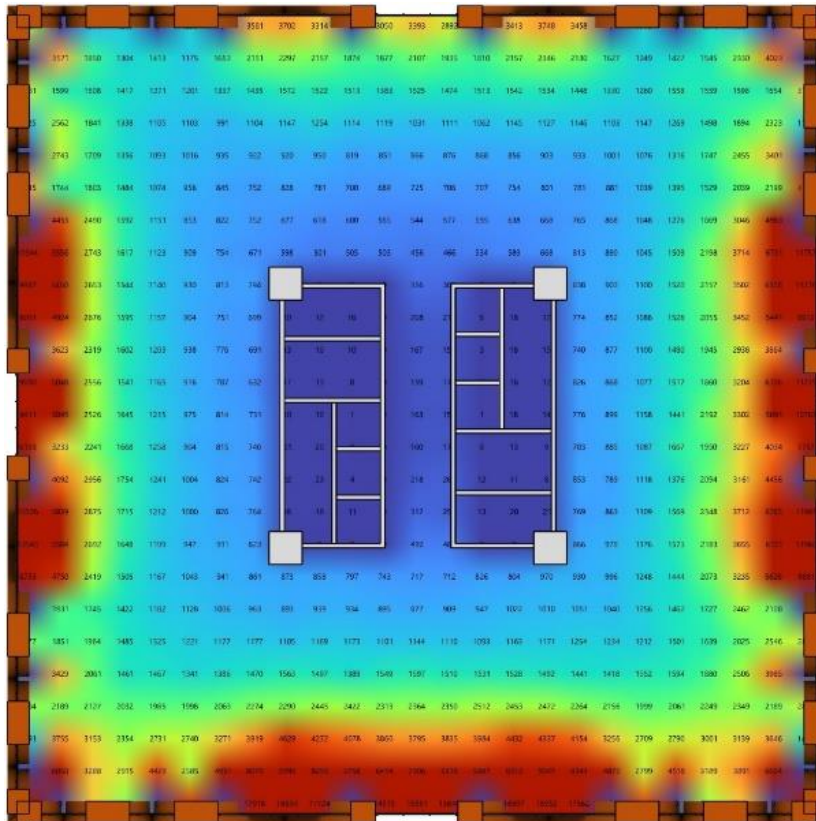
Şekil 4.20. Model 2, 2. kat planı yıllık ortalama aydınlık düzeyleri



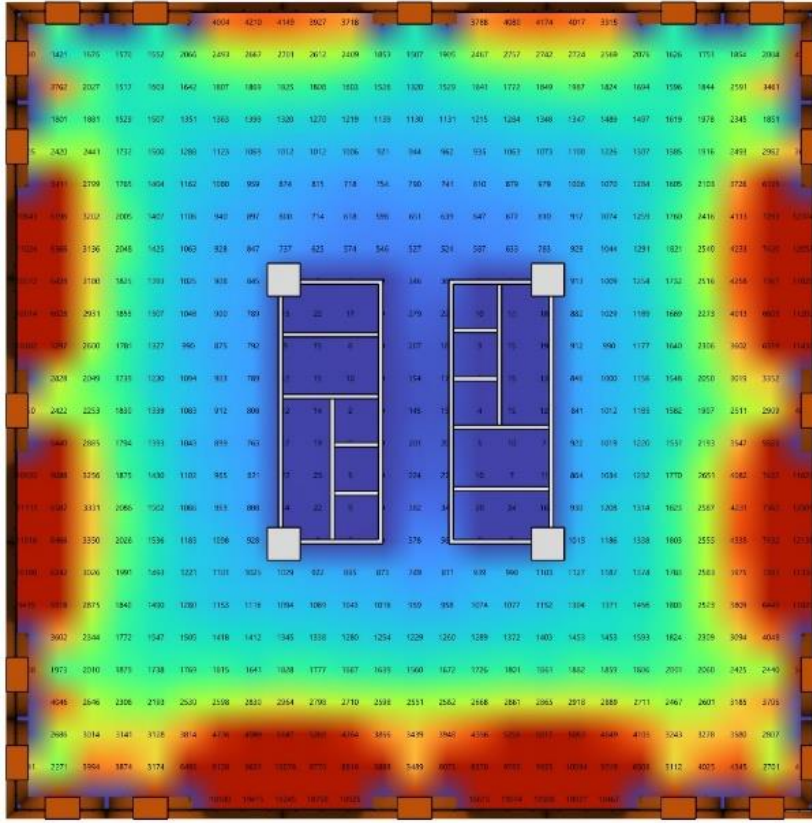
Şekil 4.21. Model 2, 3. kat planı yıllık ortalama aydınlık düzeyleri



Şekil 4.22. Model 3, 1. kat planı yıllık ortalama aydınlık düzeyleri



Şekil 4.23. Model 3, 2. kat planı yıllık ortalama aydınlık düzeyleri



Şekil 4.24. Model 3, 3. kat planı yıllık ortalama aydınlık düzeyleri

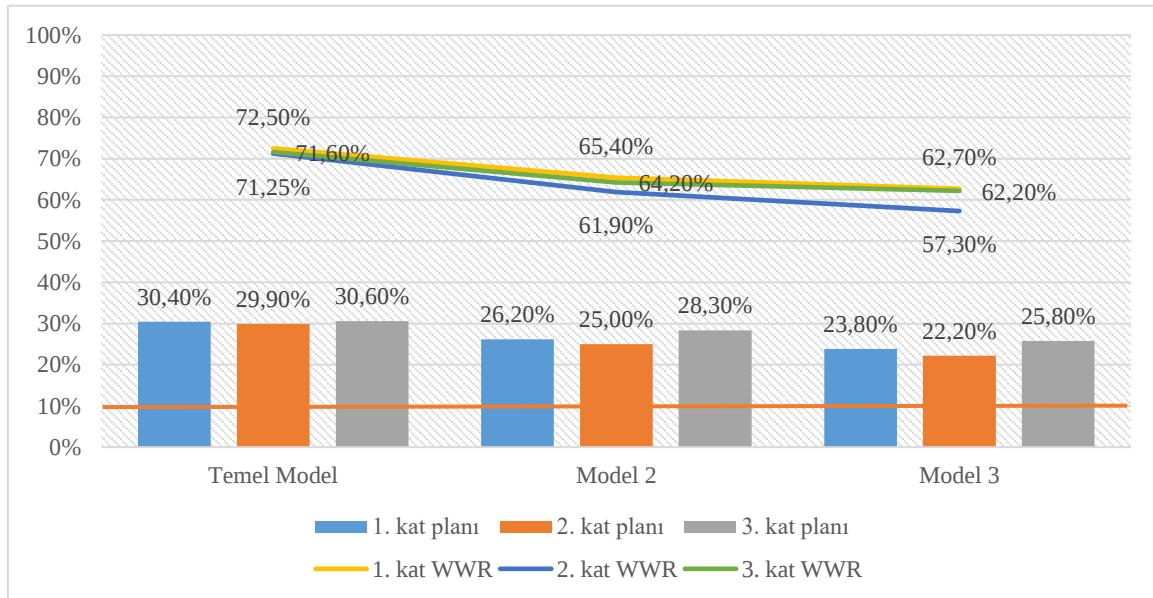
4.2.2. Yıllık güneş ışığına maruz kalma (ASE) analiz sonuçları

Yıllık 250 saatten fazla 1000 lux ve üzeri doğrudan güneş ışığına maruz kalan alanın yüzdesini ifade eden ve görsel rahatsızlık olasılığının bir göstergesi olan ASE değerlerine bakıldığında Çizelge 4.12’de görüldüğü üzere, temel modelde; 1. Katın % 30,4, 2. Katın % 29,9 ve 3. Katın % 30,6 değerlerinde olduğu görülmektedir. Model 2’ye ait ASE değerlerine bakıldığında 1. katta % 26,2, 2. Katta % 25 ve 3. Katta % 28,3 değerlerinde olduğu görülmektedir. Model 3’e ait ASE değerlerine bakıldığında 1. Katta % 23,8, 2. Katta % 22,2 ve 3. Katta %28,8 değerlerinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.12. Temel model, model 2 ve model 3’e ait ASE (1000lux/250) değerleri

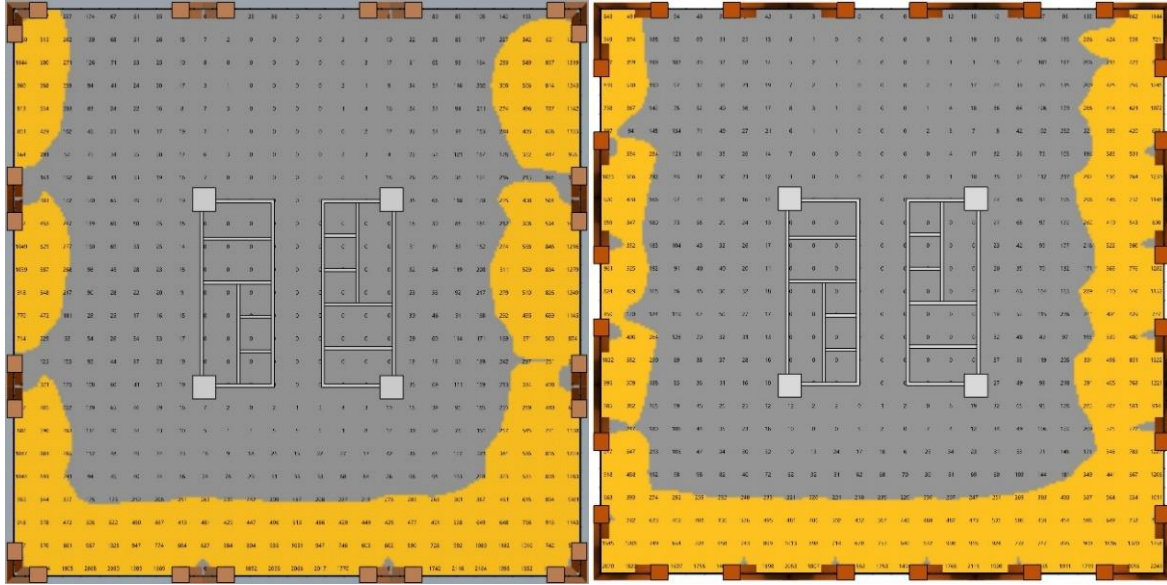
	PUANLAMA (LEED)	TEMEL MODEL	MODEL 2	MODEL 3
1. KAT PLANI	3	% 30,4	% 26,2	% 23,8
2.KAT PLANI	3	% 29,9	% 25,0	% 22,2
3. KAT PLANI	3	% 30,6	% 28,3	% 25,8

Ofis binaları için gerekli aydınlık düzeyini ifade eden 500 lux üzeri aydınlık düzeyine sahip alanların mümkün olduğu kadar fazla ve 1000 lux üzeri aydınlık düzeyine sahip alanların yüzdesinin mümkün olduğu kadar az olması istenmektedir. LEED v4 ve IES tarafından minimum kabul edilebilir zemin alanı, ASE için %10 olarak belirlenmiştir [94, 95]. Şekil 4.25'te de görüldüğü gibi temel model, model 2 ve model 3'e ait tüm katlarda ASE için eşik değer olan % 10 sınırı aşılmış olup, kabul edilebilir sınıra en yakın değer, model 3'te % 57,3 pencere/duvar oranına (WWR) sahip 2. katta görülmektedir. Kabul edilebilir sınırdan en uzak değer temel modelde %71,6 pencere/duvar oranına (WWR) sahip 3. Katta görülmektedir. Bu durum tüm modeller ve katlar için görsel rahatsızlık durumu olasılığı anlamına gelebilmektedir.

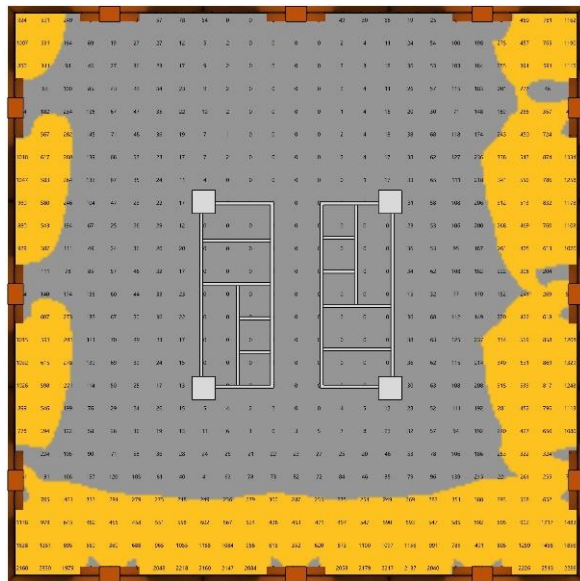


Şekil 4.25. Temel model, model 2 ve model 3 yıllık ortalama gün ışığı maruziyeti (ASE) analiz sonuçları ve pencere/duvar oranı (WWR)

Cephede diagrid modüllerin yoğunluğunun artması dolayısıyla pencere/duvar oranının artması ASE değerinin kabul edilebilir sınıra yaklaşmasına neden olmaktadır. ASE değerinin kabul edilebilir sınıra yaklaşmasını sağlamak için gölgeleme sistemi tasarımı, otomatik panjurlar ya da elektrokromik cam gibi dinamik cam sistemlerinin kullanımı düşünülebilir. Temel model, model 2 ve model 3'e ait yıllık gün ışığı maruziyeti (ASE) haritaları Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28, Şekil 4.29, Şekil 4.30 ve Şekil 4.31'de görülmektedir.



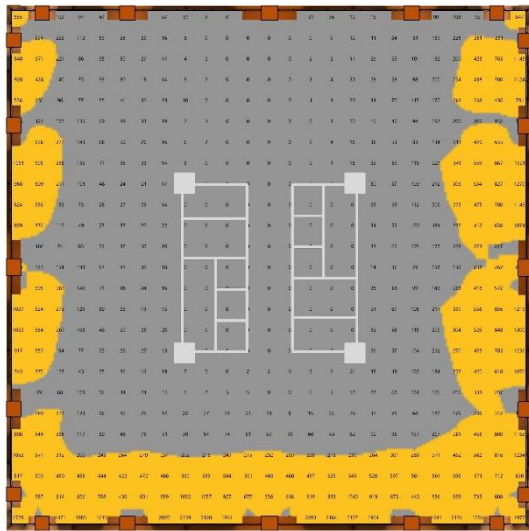
Şekil 4.26. Temel model, 1. ve 2. kat planları aşırı aydınlatılan zemin alanları yıllık ortalaması



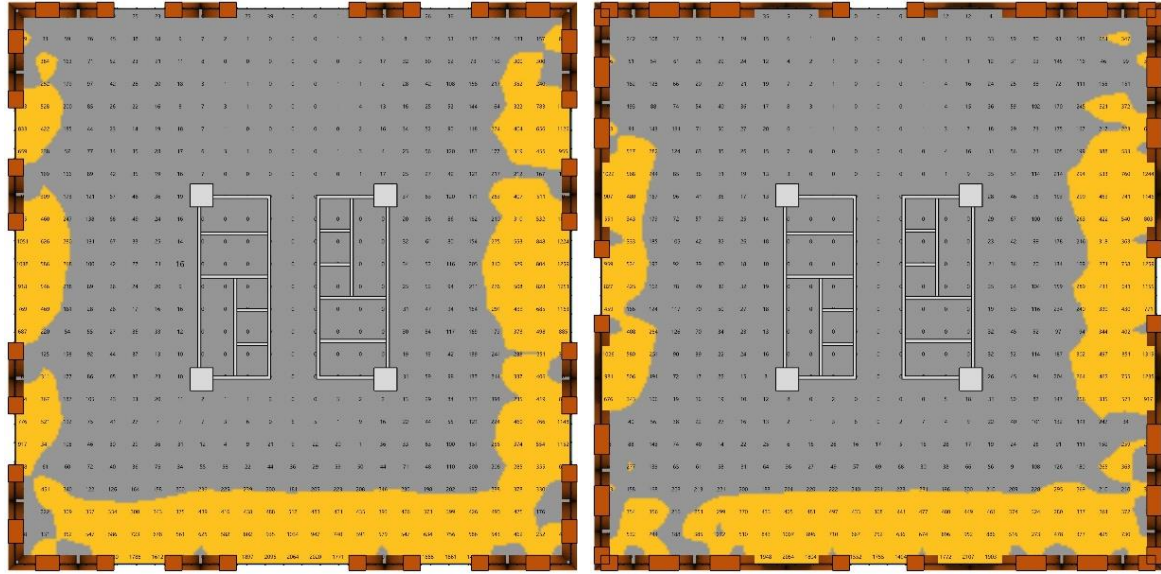
Şekil 4.27. Temel model, 3. kat planı aşırı aydınlatılan zemin alanları yıllık ortalaması



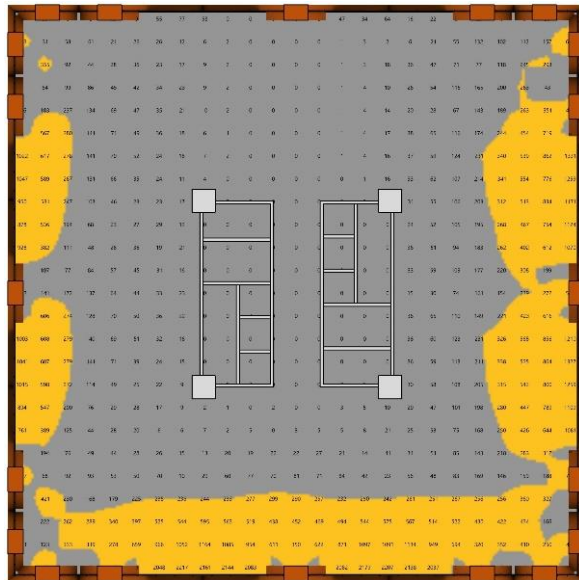
Şekil 4.28. Model 2, 1. ve 2. kat planları aşırı aydınlatılan zemin alanları yıllık ortalaması



Şekil 4.29. Model 2, 3. kat planı aşırı aydınlatılan zemin alanları yıllık ortalaması



Şekil 4.30. Model 3, 1. ve 2. kat planları aşırı aydınlatılan zemin alanları yıllık ortalaması



Şekil 4.31. Model 3, 3. kat planı aşırı aydınlatılan zemin alanları yıllık ortalaması

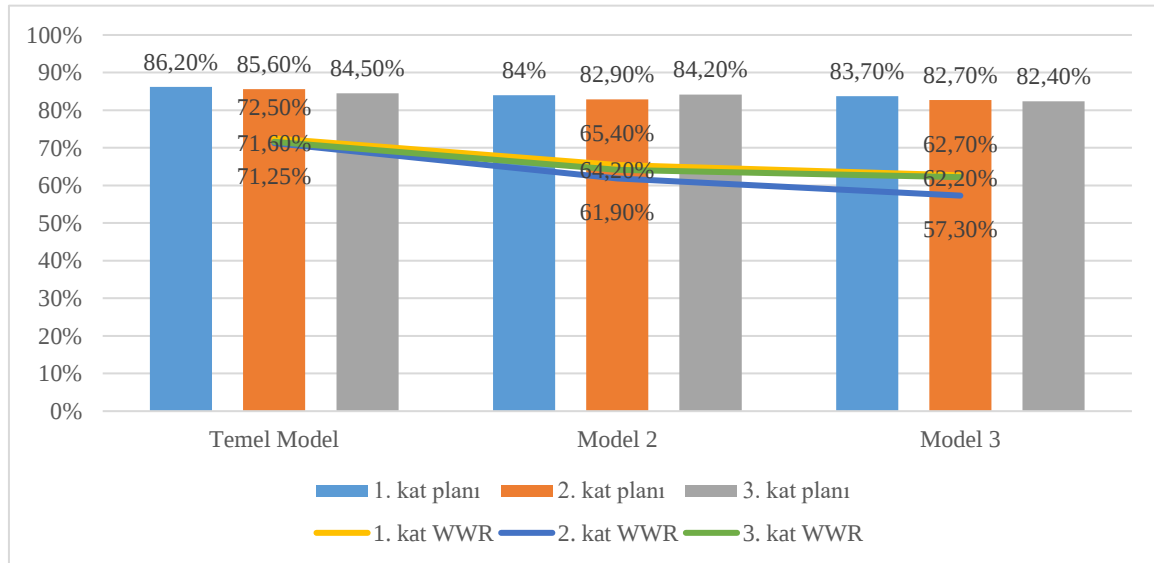
4.2.3. Mekânsal gün ışığı otonomisi (sDA) analiz sonuçları

Yıl boyunca kullanılan saatlerin en az %50'si için 300 lx aydınlatmaya sahip olan zemin alanının yüzdesini temsil eden mekânsal gün ışığı otonomisi metriği kullanılarak simülasyon alanı "gün ışığı alan", "kısmen gün ışığı alan" ve "aşırı ışık alan" olarak sınıflandırılır.

Çizelge 4.13. Temel model, model 2 ve model 3'e ait mekânsal gün ışığı otonomisi değerleri

	PUANLAMA (LEED)	TEMEL MODEL	MODEL 2	MODEL 3
1. KAT PLANI	3	% 86,2	% 84,0	% 83,7
2.KAT PLANI	3	% 85,6	% 82,9	% 82,7
3. KAT PLANI	3	% 84,5	% 84,2	% 82,4

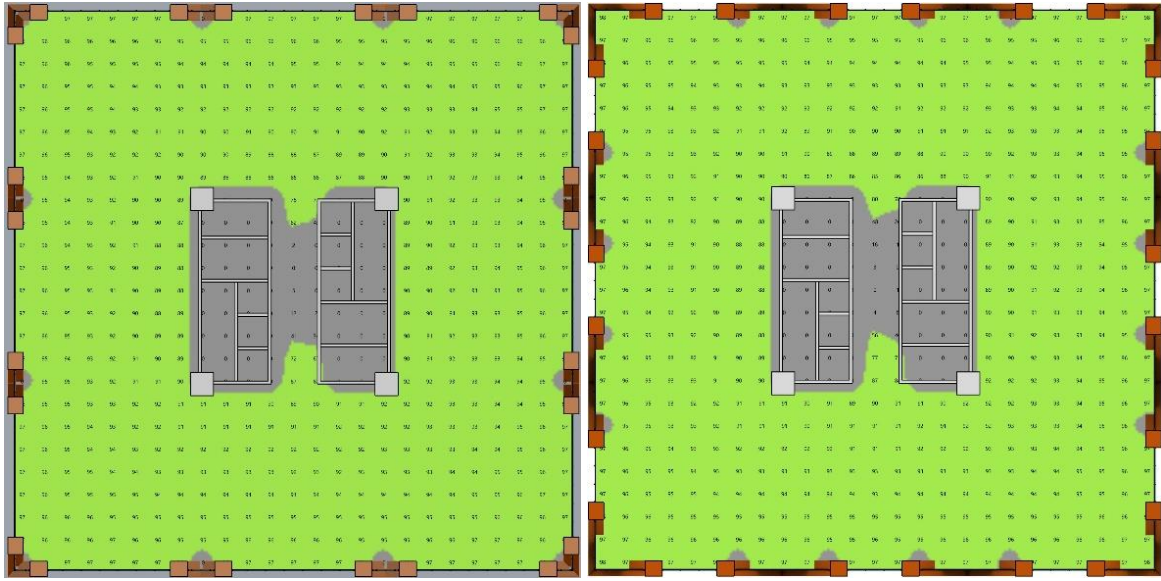
Çizelge 4.13'te, temel modelin; gün ışığı aydınlatma yeterliliğinin bir ölçüsü olan mekânsal gün ışığı otonomisi (sDA) değerlerine bakıldığında 1. katta % 86.2, 2. katta % 85.6 ve 3. katta % 84.5 değerleri görülmektedir. Model 2'ye ait mekânsal gün ışığı otonomisi (sDA) değerlerine bakıldığında 1. katta %84.0, 2. katta % 82.9 ve 3. katta % 84.2 değerlerinde olduğu görülmektedir. Model 3'e ait mekânsal gün ışığı otonomisi (sDA) değerlerine bakıldığında 1. katta % 83.7, 2. katta % 82.7 ve 3. katta % 82.4 değerlerinde olduğu görülmektedir. Mekânsal gün ışığı otonomisi için IESNA tarafından önerilen aydınlatılan alanının tercih edilen minimum yüzdesi olarak %75 üstü değeri tüm modellerde ve tüm katlar için sağlanmaktadır [99].



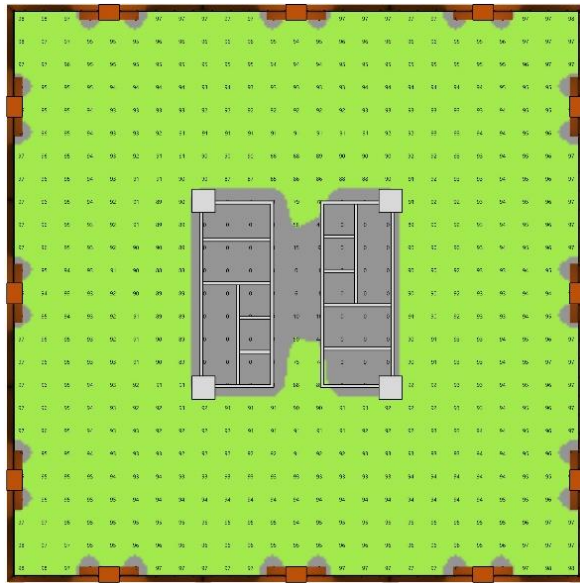
Şekil 4.32. Temel model, model 2 ve model 3 mekânsan gün ışığı otonomisi (sDA) değerleri ve pencere/duvar oranı (WWR) değerleri

Bu da yapay aydınlatmaya duyulan ihtiyacın büyük orandan azaltılması anlamına gelmektedir. Kullanılan saatlerin en az %50'si için aydınlatma seviyeleri 300 ve 3000 lx arasına düştüğü için tüm katlar ve modeller için aydınlatma yeterliliğinin sağlandığı söylenebilir. Şekil 4.32'de görüldüğü gibi mekânsal gün ışığı otonomisi değeri (sDA) temel modelde 1. Kat planı için en yüksek değerde olduğu görülmektedir. sDA değerinin model

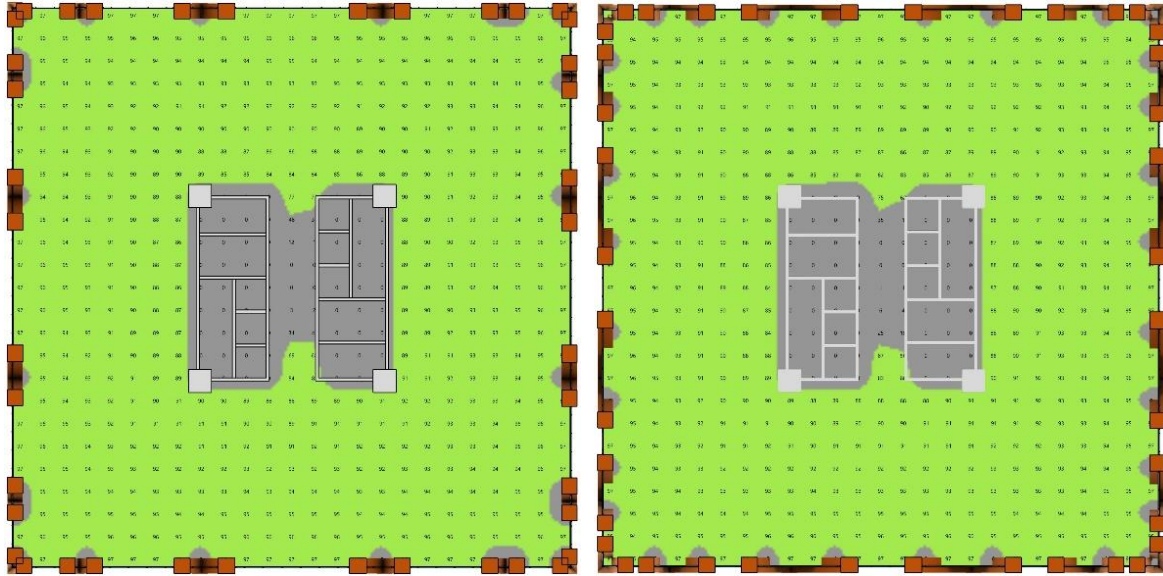
3'te 3. Kat planı için en düşük değerdedir. Mekânsal gün ışığı otonomisi değerleri ve alternatif modellerin diagrid modül yoğunlukları arasında ters orantı mevcuttur. Modül yoğunluğu arttıkça dolayısıyla pencere/duvar oranı (WWR) azaldıkça mekânsal gün ışığı otonomisi değerlerinin, yeterli gün ışığı alanı seviyesini ifade eden % 75 değerinin altında kalmamak koşuluyla düştüğü görülmektedir. Temel model, model 2 ve model 3'e ait mekânsal gün ışığı otonomisi (sDA) haritaları Şekil 4.33, Şekil 4.34, Şekil 4.35, Şekil 4.36, Şekil 4.37 ve Şekil 4.38'de görülmektedir.



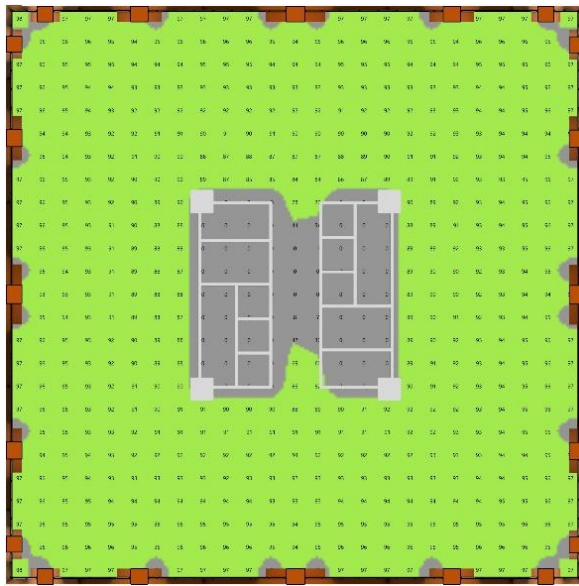
Şekil 4.33. Temel model 1. ve 2. katlar mekânsal gün ışığı otonomisi değerleri



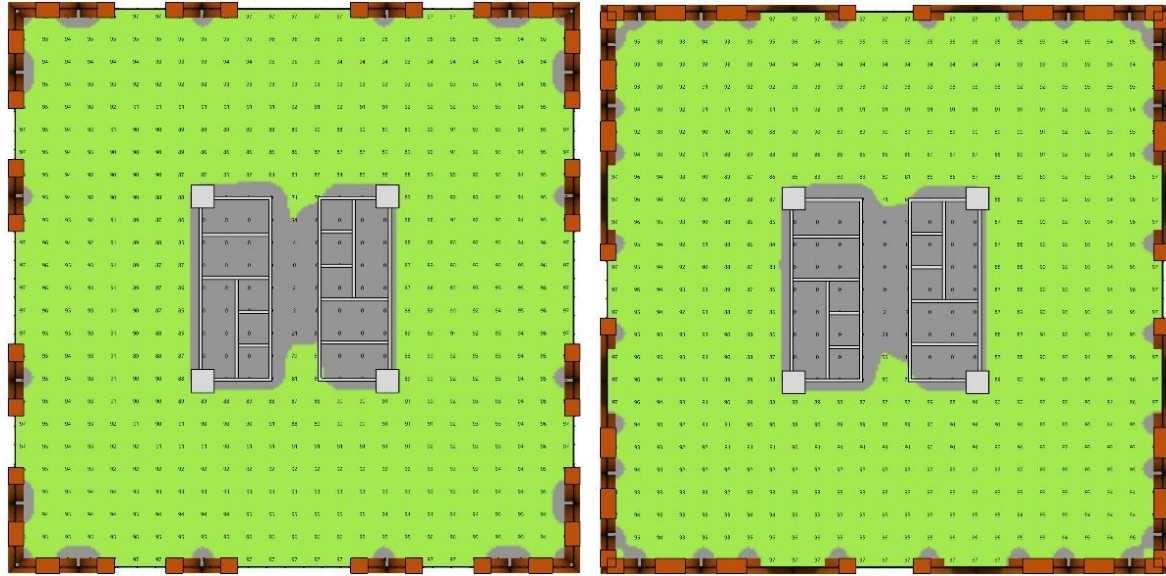
Şekil 4.34. Temel model 3. kat mekânsal gün ışığı otonomisi değerleri



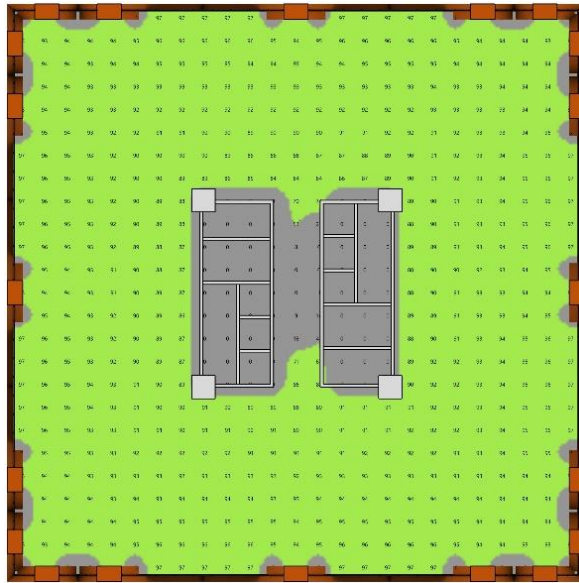
Şekil 4.35. Model 2, 1. ve 2. katlar mekânsal gün ışığı otonomisi değerleri



Şekil 4.36. Model 2, 3. kat mekânsal gün ışığı otonomisi değerleri



Şekil 4.37. Model 3, 1. ve 2. katlar mekânsal gün ışığı otonomisi değerleri



Şekil 4.38. Model 3, 3. kat mekânsal gün ışığı otonomisi değerleri

5. SONUÇ

Yapılı çevrenin geleceği, mühendisler ve mimarlar tarafından sürdürülebilir, akıllı binalar tasarlamak için kullanılan yöntem ve tekniklere bağlıdır. Gelecek çevre için ne getirirse getirsin, yüksek binaların çevre, uzun vadeli ekonomik büyüme ve insan ihtiyaçları dikkate alınarak sürdürülebilir hale gelmesi gerekmektedir.

Diagrid taşıyıcı sistem, temel olarak tüp şeklindeki sistemin mekanizmasına ve temel üçgen elemanın eksenel ağırlıklı davranışına bağlı olduğundan yüksek binalar için verimli bir sistemdir. Ağ şeklinde yüzeyin modülerlik özellikleri ve çok yönlülüğü nedeniyle, estetik potansiyele sahip karmaşık şekilli binalar inşa edilebilir. Diagridlerin gücü, geometrik özelliklere dayalı olarak yapısal performanslarını daha da optimize etme olasılığına da bağlıdır. Bu sürdürülebilirlik açısından çok önemli bir noktadır. Güvenlik ve hizmet verebilirlik gerekliliklerine uyum sağlarken, malzeme kaynaklarının sınırlandırılması ihtiyacıyla birlikte, diagrid tüp sistemler, geleceğin verimli, çekici ve sürdürülebilir yüksek binalarının inşası için başlıca adaylardır.

Bu tezde yüksek yapılarda mimari tasarım kararlarının ve yapısal tasarım gerekliliklerinin karşılıklı olarak, yapısal davranışı, mimari tasarımı ve iç ortam konforunu nasıl etkileyeceği bütünsel bir yaklaşımla ele alınmıştır. Elde edilen verilere göre diagrid sistem yüksek yapı tasarımında cephe geometrisini belirlemede yol gösterici olabilecek yapısal bir dil geliştirilmeye çalışılmıştır. Yüksek yapılarda diagrid taşıyıcı sistemin farklı geometrik biçimlenişinin yapısal performans ve çevresel etkilerine ilişkin bir araştırma yürütülmüştür. Diagrid yapıların farklı geometrik desenlerinin yapısal davranışlarının ve iç ortam konforunun bir parametresi olan gün ışığı seviyelerinin değerlendirilmesi ve modellenmesi için Ankara ili Eskişehir Yolu Bölgesi'nde 42 katlı çelik diagrid taşıyıcı sisteme sahip bir yapı varsayılmıştır. Düzenli, değişken açılı ve değişken yoğunluklu farklı diagrid desenlere sahip üç farklı model yapısal davranışlarını ve yüksek yapılarda sürdürülebilir alanların sağlanması konusunda belirleyici önemli bir parametre olan iç ortam günışığı düzeylerini karşılaştırmak amacıyla oluşturuldu, tasarlandı ve analiz edildi. Burada tartışılan tasarım stratejilerinin bütünsel bir çerçeveden ele alınmasıyla, yapısal tasarım gerekliliklerinin ve mimari tasarım kararlarının karşılıklı olarak, birbirlerini ve sürdürülebilirliği ne ölçüde etkilediği konusunda fikir vermesi amaçlanmıştır. Sonuçlar gerçek bir tasarım çözümü olmasının yanı sıra, farklı düşünmeyi teşvik etmek için de ele alınabilir.

Cephede 63° açılarda 3 kat yüksekliğinde düzenli diagrid modüllerden oluşan diagrid taşıyıcı sisteme sahip Temel Model'in, 3 kat yüksekliğindeki diagrid modül açılarının cephe genişliği boyunca arttığı Model 2'nin ve üç kat yüksekliğindeki ve 63° lik açılara sahip diagrid modüllerinin yoğunluğunun yapının köşelerinde iki katına çıktığı Model 3'ün yatay ve dikey yükler altındaki statik ve dinamik davranışları incelenmiştir. Diagrid modüllerin açısı, yoğunluğu ve yapıdaki konumları, yatay yükler altında yapının davranışını önemli ölçüde etkilemektedir. Analizler sonucunda yapısal gerekliliklere göre şekillenen diagrid modüllerin cephe biçimlenişi dikey ve yatay yükler altında şekillenmektedir.

Cephe genişliği boyunca yapısal taleplerin farklılaşması nedeniyle diagrid modüller yapı köşelerine doğru dik ya da yoğun olarak biçimlenmiştir. Yapı köşelerindeki bağlantı noktalarının artması ve eleman yoğunluğunun artması nedeniyle model 3 deplasman değerleri daha küçük, taban kesme değeri daha büyüktür. Bu yüzden Mod 3 burulma değeri diğer modellere göre daha düşük çıkmıştır. Daha rijit bir yapı olduğu söylenebilir. Ancak yapı köşelerindeki yoğunlaşma nedeniyle yapısal ağırlık bakımından diğer modellerden daha yüksek değerdedir. Analizler sonucunda modellerin inşası için gerekli olan toplam çelik kütlesi, mevcut literatürde benzer kat alanı ve yüksekliğe sahip diagrid çelik yapılar için gerekli olan toplam çelik kütlesine göre yüksek değerdedir. Bu durumun ortaya çıkma nedeni; zemin sınıfları arasındaki farklılıklar, Türkiye'deki mevcut yönetmelikler ve kullanılan çelik malzemenin performans özellikleri olarak görülebilir.

Önemli bir enerji etkin tasarım stratejisi olarak kabul edilen ofis binalarında doğal ışık kullanımı, maksimum faydanın sağlanabilmesi için dikkatli bir mimari tasarım gerektirmektedir. Gün ışığının insan sağlığına faydaları ve elektrik aydınlatma yükünü azaltmak için doğal ışık kullanmanın enerji tasarrufu potansiyeli göz önüne alındığında gün ışığı, bina sürdürülebilirliğinin temel bir bileşeni olarak kabul edilmektedir. Ayrıca gün ışığı bir binanın işletme geliri üzerinde kayda değer bir etkiye sahiptir ve bu nedenle doğal aydınlatmanın proje finansmanı ve yatırımın tüm aşamalarında dikkate alınması gerekmektedir. Ofis binalarında toplam enerji tüketiminin önemli bir kısmını oluşturan aydınlatma doğal ışık kullanımı, bina kullanıcılarının üretkenliğini artırmak için önemli bir faktördür. Aydınlatma için gerekli enerji, yüksek binalar için birincil enerji tüketiminin büyük bir bölümünü oluşturur ve doğal aydınlatma kullanılmasıyla büyük ölçüde azaltılabilir.

Çalışmanın aydınlatma analizi kısmında erken tasarım aşamasında cephe tasarımının iç mekan aydınlatma performansına etkisini araştırılmıştır. Araştırma; belirli bir iklim bölgesi, mekan tipi ve boyutları ile sınırlandırılmıştır. Ankara ilinde olduğu varsayılan 42 katlı çelik diagrid bir yapı için oluşturulan temel model, model 2 ve model 3 için diagrid modül geometrilerindeki bina cephesi boyunca değişen açı ve yoğunluk değişken parametre olarak kabul edilmiştir.

Üç farklı model için üç katta bir tekrarlayan farklı modül geometrilerinin iç ortamın gün ışığı metriklerine dolayısıyla iç ortam konforuna ve enerji tüketimine olan etkisinin araştırılması hedeflenmiştir. Erken tasarım aşamalarında performans çözümleri araştırmak için bilgisayar destekli simülasyon programlarından yararlanılmıştır. Bu çalışmanın başka bina tiplerine ve gelecekte yapılacak kompleks sistemlere yön vereceği düşünülmektedir. Temel model, model 2 ve model 3 için toplamda 9 farklı kat planında gün ışığı analiz çalışması yapıldı.

Tüm modellerde ve tüm katlar için, ofis yapılarında gerekli olan 500 lux aydınlatma düzeyi karşılanmaktadır. Alternatif modellere ait en yüksek lux değeri, temel modelde 3. Kata ait, en düşük lux değeri ise en düşük pencere/duvar oranına dolayısıyla en yüksek modül yoğunluğuna sahip model 3'te 2. kata ait yıllık ortalama aydınlatma düzeyidir. Ortalama aydınlık düzeyi haritalarına bakıldığında temel modelde aydınlık düzeyleri 5000 lux üzeri alanların oranının model 2 ve model 3'e göre daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır. Diagrid modüllerin yoğunluğunun arttığı model 3'te 5000 lux üzeri alanların oranının daha düşük olduğu görülmektedir. 5000 lux ve üzeri alanlar görsel konforsuzluk ve aşırı ısınma sorunlarını beraberinde getirebilmektedir.

Temel model, model 2 ve model 3'e ait tüm katlarda Yıllık Güneş Işığına Maruz Kalma metriği için eşik değer olan % 10 sınırı aşılmış olup, kabul edilebilir sınıra en yakın değer, model 3' te % 57,3 pencere/duvar oranına (WWR) sahip 2. Katta görülmektedir. Kabul edilebilir sınırdan en uzak değer temel modelde %71,6 pencere/duvar oranına (WWR) sahip 3. Katta görülmektedir. Bu durum tüm modeller ve katlar için görsel rahatsızlık durumu olasılığı anlamına gelebilmektedir. Mekânsal gün ışığı otonomisi için IESNA tarafından önerilen aydınlatılan alanının tercih edilen minimum yüzdesi olarak %75 üstü değeri tüm modellerde ve tüm katlar için sağlanmaktadır. Bu da yapay aydınlatmaya duyulan ihtiyacın büyük orandan azaltılması anlamına gelmektedir. Kullanılan saatlerin en az %50'si için

aydınlatma seviyeleri 300 ve 3000 lx arasına düştüğü için tüm katlar ve modeller için aydınlatma yeterliliğinin sağlandığı söylenebilir.

Temel modelin, diğer modellere göre yüksek deplasman değerleri, düşük taban kesme değeri ve yüksek Mod 3 burulma değeri ile daha az rijit bir yapı olduğu söylenebilir. Fakat gerekli olan çelik malzeme miktarı diğer modellere göre daha düşük değerdedir. İç ortam aydınlık değerlerine bakıldığında ise görsel konforsuzluk ve aşırı ısınma sorunlarını beraberinde getirebilecek olan aşırı aydınlık alanlarının yüzdesi diğer modellere göre daha yüksek çıkmıştır. Model 3'ün, diğer modellere göre düşük deplasman değerleri, yüksek taban kesme değeri ve düşük Mod 3 burulma değeri ile daha rijit bir yapı olduğu söylenebilir. Fakat gerekli olan çelik malzeme miktarı diğer modellere göre daha yüksek değerdedir. İç ortam aydınlık değerlerine bakıldığında ise görsel konforsuzluk ve aşırı ısınma sorunlarını beraberinde getirebilecek olan aşırı aydınlık alanlarının yüzdesi diğer modellere göre daha düşük çıkmıştır. Tüm modellerde yapay aydınlatmaya duyulan ihtiyacın büyük orandan azaltılması anlamına gelecek olan, doğal aydınlatma seviyeleri uydun değer aralığında olduğu için aydınlatma yeterliliğinin sağlandığı söylenebilir.

Yapılan analizler sonucunda diagrid yapılarda modüllerin geometrik biçimlenişinin yapısal davranış, malzeme kullanımı ve iç ortam konforu dolayısıyla sürdürülebilirlik üzerinde önemli etkilere sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Gelecekteki çalışmalar farklı yükseklikte, plan geometrisinde, farklı modül açısı ve yoğunluklarında diagrid yapıların yapısal davranışlarının araştırılmasına, iç ortam aydınlık analizi, ısıtma ve soğutma yükleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yoğunlaşabilir.

Bir cephenin tasarımı, ölçeği binaninkinden inşaat detaylarına kadar değişen özelliklere atıfta bulunan çok sayıda tasarım kararının bir sonucudur. Böyle bir soruna olası tasarım çözümleri karmaşıktır ve bu nedenle, iyi performans gösteren çözümlere güvenle ulaşmak istiyorsak, tasarım alanının bu tür sistematik bir araştırması gerekir. Ayrıca, cephe tasarımında karşılaşılan tasarım hedeflerinin çelişkili doğası, karar vermenin mümkün olduğunca bilgiye dayalı olması için soruna en iyi ödünleşimli çözümlerin tanımlanması gerektiğini belirtir. Yukarıdaki nedenlerin tümü, cephe tasarımında karar vermeyi desteklemek için hesaplamalı bir karar destek sistemine duyulan ihtiyaca işaret etmektedir. Tüm bu yönleri ele alan, çok kriterli yaklaşımları izleyen ve farklı profesyonel ve akademik

figürleri ve yeterlilikleri içeren daha fazla araştırma, diagrid yapılarının yüksek bina tasarımı ve yapımında dünya çapında daha geniş çapta kullanılmasına yol açacaktır.

KAYNAKLAR

1. Azzouz, A., Borchers, M., Moreira, J., and Mavrogianni, A. (2017). Life cycle assessment of energy conservation measures during early stage office building design: A case study in London, UK. *Energy and Buildings*, 139, 547-568. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.089>
2. Ali, M. M., and Armstrong, P. J. (2008). Overview of sustainable design factors in high-rise buildings. Proc. of the CTBUH 8th World Congress,
3. Jani, K., and Patel, P. V. (2013). Analysis and design of diagrid structural system for high rise steel buildings. *Procedia Engineering*, 51, 92-100.
4. Al-Kodmany, K. (2018). Sustainability and the 21st century vertical city: A review of design approaches of tall buildings. *Buildings*, 8(8), 102.
5. Mavrokapnidis, D., Mitropoulou, C. C., and Lagaros, N. D. (2019). Environmental assessment of cost optimized structural systems in tall buildings. *Journal of Building Engineering*, 24, 100730.
6. Moon, K. S., Connor, J. J., and Fernandez, J. E. (2007). Diagrid structural systems for tall buildings: characteristics and methodology for preliminary design. *The Structural design of tall and Special Buildings*, 16(2), 205-230.
7. Chatzikonstantinou, I., Ekici, B., Sarıyıldız, İ. S., and Koyunbaba, B. K. (2015). Multi-objective diagrid façade optimization using differential evolution. 2015 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC),
8. Scaramozzino, D., Lacidogna, G., and Carpinteri, A. (2020). New Trends Towards Enhanced Structural Efficiency and Aesthetic Potential in Tall Buildings: The Case of Diagrids. *Applied Sciences*, 10, 3917. <https://doi.org/10.3390/app10113917>
9. Asadi, E., & Adeli, H. (2017). Diagrid: An innovative, sustainable, and efficient structural system. *The Structural design of tall and Special Buildings*, 26(8), e1358.
10. Lankhorst, G. J., Arts, J., Terwel, K. C., & Jonkers, H. M. (2019). Life Cycle Analysis. *CTBUH Journal*(3), 28-35.
11. Tomei, V., Imbimbo, M., & Mele, E. (2018). Optimization of structural patterns for tall buildings: The case of diagrid. *Engineering Structures*, 171, 280-297. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.05.043>
12. Al-Kodmany, K. (2016). Sustainable tall buildings: cases from the global south. *Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research*, 10(2), 52.
13. Gonçalves, J. C. S. (2010). *The environmental performance of tall buildings*. New York: Routledge. 21-25.
14. Wang, X., and Liu, X. (2015). Blue Star: The proposed energy efficient tall building in Chicago and vertical city strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 241-259.

15. Elnimeiri, M., and Gupta, P. (2008). Sustainable structure of tall buildings. *The Structural design of tall and Special Buildings*, 17(5), 881-894. <https://doi.org/10.1002/tal.471>
16. Oldfield, P. (2019). *The sustainable tall building: a design primer*. New York: Routledge. 55-58.
17. KC, S., and Gautam, D. (2021). Progress in sustainable structural engineering: a review. *Innovative Infrastructure Solutions*, 6(2), 1-23.
18. Ortiz, O., Castells, F., and Sonnemann, G. (2009). Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. *Construction and Building Materials*, 23(1), 28-39. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.11.012>
19. Al-Kodmany, K. (2016). *New suburbanism: sustainable tall building development*. New York: Routledge, 82-86.
20. Al-Kodmany, K. (2012). Sustainable tall buildings: toward a comprehensive design approach. *International Journal of Sustainable Design*, 2(1), 1-23.
21. Wood, A. (2007). Sustainability: a new high-rise vernacular? *The Structural design of tall and Special Buildings*, 16(4), 401-410.
22. Wang, J., Yu, C., and Pan, W. (2018). Life cycle energy of high-rise office buildings in Hong Kong. *Energy and Buildings*, 167, 152-164.
23. Shreve, T. (2018). *Designing for Embodied Energy: An Examination of BIM Integrated LCA Using Residential Architecture in Rochester, NY*. Rochester Institute of Technology.
24. Azari, R., and Abbasabadi, N. (2018). Embodied energy of buildings: A review of data, methods, challenges, and research trends. *Energy and Buildings*, 168, 225-235.
25. Al-Kodmany, K., and Ali, M. M. (2013). *The future of the city: Tall buildings and urban design*. WIT press.
26. Nematchoua, M., Asadi, S., and Reiter, S. (2022). Estimation, analysis and comparison of carbon emissions and construction cost of the two tallest buildings located in United States and China. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-16.
27. Ganesh, G. A., Sinha, S. L., Verma, T. N., and Dewangan, S. K. (2021). Investigation of indoor environment quality and factors affecting human comfort: A critical review. *Building and Environment*, 204, 108146. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108146>
28. Yang, W., and Moon, H. J. (2019). Combined effects of acoustic, thermal, and illumination conditions on the comfort of discrete senses and overall indoor environment. *Building and Environment*, 148, 623-633. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.11.040>

29. Frontczak, M., & Wargocki, P. (2011). Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. *Building and Environment*, 46(4), 922-937. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.021>
30. Dutra de Vasconcellos, G. (2017). Evaluation of annual sunlight exposure (ASE) as a proxy to glare: a field study in a NZEB and LEED certified office in San Francisco.
31. Turan, I., Chegut, A., Fink, D., and Reinhart, C. (2020). The value of daylight in office spaces. *Building and Environment*, 168, 106503. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106503>
32. Institute, I. W. B. (2020). WELL certification. In: The International WELL Building Institute New York.
33. Wang, C., Yan, D., and Ren, X. (2016). Modeling Individual's Light Switching Behavior to Understand Lighting Energy Use of Office Building. *Energy Procedia*, 88, 781-787. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.06.128>
34. Ko, D. H., Elnimeiri, M., and Clark, R. J. (2008). Assessment and prediction of daylight performance in high-rise office buildings. *The Structural design of tall and Special Buildings*, 17(5), 953-976.
35. Alrubaih, M. S., Zain, M. F. M., Alghoul, M. A., Ibrahim, N. L. N., Shameri, M. A., and Elayeb, O. (2013). Research and development on aspects of daylighting fundamentals. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 494-505. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.057>
36. Kong, Z., and Jakubiec, J. A. (2021). Evaluations of long-term lighting qualities for computer labs in Singapore. *Building and Environment*, 194, 107689. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107689>
37. Shameri, M. A., Alghoul, M. A., Elayeb, O., Zain, M. F. M., Alrubaih, M. S., Amir, H., and Sopian, K. (2013). Daylighting characteristics of existing double-skin façade office buildings. *Energy and Buildings*, 59, 279-286. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.12.025>
38. Kim, H.-i. (2016). Study on Integrated Workflow for Designing Sustainable Tall Building-With Parametric method using Rhino Grasshopper and DIVA for Daylight Optimization. *KIEAE Journal*, 16(5), 21-28.
39. Moon, K. (2013). Sustainable Structural Engineering For Complex-shaped Tall Buildings. Proceedings of the Thirteenth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-13), 4-5.
40. Ardekani, A., Dabbaghchian, I., Alaghmandan, M., Golabchi, M., Hosseini, S. M., and Mirghaderi, S. R. (2020). Parametric design of diagrid tall buildings regarding structural efficiency. *Architectural Science Review*, 63(1), 87-102. <https://doi.org/10.1080/00038628.2019.1704395>
41. Lacidogna, G., Scaramozzino, D., and Carpinteri, A. (2020). Influence of the geometrical shape on the structural behavior of diagrid tall buildings under lateral and torque actions. *Developments in the Built Environment*, 2, 100009.

42. Mirniazmandan, S., Alaghmandan, M., Barazande, F., and Rahimianzarif, E. (2018). Mutual effect of geometric modifications and diagrid structure on structural optimization of tall buildings. *Architectural Science Review*, 61(6), 371-383.
43. Cho, Y. S., Kim, J. H., Hong, S. U., and Kim, Y. (2012). LCA application in the optimum design of high rise steel structures. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 3146-3153. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.076>
44. Foraboschi, P., Mercanzin, M., and Trabucco, D. (2014). Sustainable structural design of tall buildings based on embodied energy. *Energy and Buildings*, 68, 254-269.
45. Danatzko, J. M., Sezen, H., and Chen, Q. (2013). Sustainable Design And Energy Consumption Analysis For Structural Components. *Journal Of Green Building*, 8(1), 120-135. <https://doi.org/10.3992/Jgb.8.1.120>
46. Xing, S., Xu, Z., and Jun, G. (2008). Inventory analysis of LCA on steel- and concrete-construction office buildings. *Energy and Buildings*, 40(7), 1188-1193. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.10.016>
47. Moussavi Nadoushani, Z. S., and Akbarnezhad, A. (2015). Effects of structural system on the life cycle carbon footprint of buildings. *Energy and Buildings*, 102, 337-346. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.05.044>
48. D'Amico, B., and Pomponi, F. (2018). Sustainability tool to optimise material quantities of steel in the construction industry. *Procedia CIRP*, 69, 184-188.
49. Zhao, X., and Haojia, M. (2015). Structural system embodied carbon analysis for super tall buildings. *Procedia Engineering*, 118, 215-222.
50. M. C. Caruso, C. M. D. A. A. P., and Manfredi, G. (2017). Methodology for Life-Cycle Sustainability Assessment of Building Structures. *ACI Structural Journal*, 114(2). <https://doi.org/10.14359/51689426>
51. Mahmoud, S., Zayed, T., and Fahmy, M. (2019). Development of sustainability assessment tool for existing buildings. *Sustainable Cities and Society*, 44, 99-119. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.09.024>
52. Pal, S. K., Takano, A., Alanne, K., and Siren, K. (2017). A life cycle approach to optimizing carbon footprint and costs of a residential building. *Building and Environment*, 123, 146-162. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.051>
53. Thibodeau, C., Bataille, A., and Sié, M. (2019). Building rehabilitation life cycle assessment methodology—state of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 103, 408-422. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.037>
54. Saling, P., Perez, A. A., Kölsch, P., and Grünenwald, T. (2020). Generation, Calculation and Interpretation of Social Impacts with the Social Analysis of SEEBalance®. In M. Traverso, L. Petti, and A. Zamagni (Eds.), *Perspectives on Social LCA: Contributions from the 6th International Conference* (pp. 75-94). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01508-4_8

55. Mattinzioli, T., Sol-Sánchez, M., Moreno, B., Alegre, J., and Martínez, G. (2021). Sustainable building rating systems: A critical review for achieving a common consensus. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(5), 512-534. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1732781>
56. Liu, C., Li, Q., Lu, Z., and Wu, H. (2018). A review of the diagrid structural system for tall buildings. *The Structural design of tall and Special Buildings*, 27(4), e1445.
57. Montuori, G. M., Mele, E., Brandonisio, G., and De Luca, A. (2014). Design criteria for diagrid tall buildings: Stiffness versus strength. *The Structural design of tall and Special Buildings*, 23(17), 1294-1314.
58. Boake, T. M. (2014). *Diagrid structures: systems, connections, details*. Walter de Gruyter. 123-128.
59. Lacidogna, G., Scaramozzino, D., and Carpinteri, A. (2019). A matrix-based method for the structural analysis of diagrid systems. *Engineering Structures*, 193, 340-352.
60. Boake, T. M. (2016). The Emergence of the Diagrid-It's All About the Node. *International Journal of High-Rise Buildings*, 5(4), 293-304.
61. Palacio-Betancur, A., and Soto, M. G. (2022). Structural Properties of Tall Diagrid Buildings Using a Neural Dynamic Model for Design Optimization. *Journal of Structural Engineering*, 148(3), 04021283. [https://doi.org/doi:10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0003271](https://doi.org/doi:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0003271)
62. Mele, E., Toreno, M., Brandonisio, G., and De Luca, A. (2014). Diagrid structures for tall buildings: case studies and design considerations. *The Structural design of tall and Special Buildings*, 23(2), 124-145.
63. Angelucci, G., and Mollaioli, F. (2017). Diagrid structural systems for tall buildings: Changing pattern configuration through topological assessments. *The Structural design of tall and Special Buildings*, 26(18), e1396.
64. Montuori, G. M., Mele, E., Brandonisio, G., and De Luca, A. (2014). Geometrical patterns for diagrid buildings: Exploring alternative design strategies from the structural point of view. *Engineering Structures*, 71, 112-127. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.04.017>
65. Moon, K. S. (2008). Optimal grid geometry of diagrid structures for tall buildings. *Architectural Science Review*, 51(3), 239-251.
66. Zhang, C., Zhao, F., and Liu, Y. (2012). Diagrid tube structures composed of straight diagonals with gradually varying angles. *The Structural design of tall and Special Buildings*, 21(4), 283-295.
67. Moon, K. S. (2008). Sustainable structural engineering strategies for tall buildings. *The Structural design of tall and Special Buildings*, 17(5), 895-914.
68. Moon, K. (2009). Design and construction of steel diagrid structures. *School of Architecture. Yale University. New Haven. USA*, 398-405.

69. Zhao, F., and Zhang, C. (2015). Diagonal arrangements of diagrid tube structures for preliminary design. *The Structural design of tall and Special Buildings*, 24(3), 159-175.
70. Cascone, F., Faiella, D., Tomei, V., and Mele, E. (2021). Stress lines inspired structural patterns for tall buildings. *Engineering Structures*, 229, 111546. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111546>
71. Ashtari, P., Karami, R., and Farahmand-Tabar, S. (2021). Optimum geometrical pattern and design of real-size diagrid structures using accelerated fuzzy-genetic algorithm with bilinear membership function. *Applied Soft Computing*, 110, 107646. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107646>
72. Bhat, K. A., and Danish, P. (2021). Analyzing different configurations of variable angle diagrid structures. *Materials Today: Proceedings*, 42, 821-826. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.372>
73. Gerasimidis, S., Pantidis, P., Knickle, B., and Moon, K. S. (2016). Diagrid structural system for high-rise buildings: Applications of a simple stiffness-based optimized design. *International Journal of High-Rise Buildings*, 5(4), 319-326.
74. Mele, E., Imbimbo, M., and Tomei, V. (2019). The effect of slenderness on the design of diagrid structures. *International Journal of High-Rise Buildings*, 8(2), 83-94.
75. Tam, K.-M. M., and Mueller, C. T. (2015). Stress line generation for structurally performative architectural design.
76. Al-Kodmany, K., and Ali, M. M. (2016). An overview of structural and aesthetic developments in tall buildings using exterior bracing and diagrid systems. *International Journal of High-Rise Buildings*, 5(4), 271-291.
77. Cascone, F., Faiella, D., Tomei, V., and Mele, E. (2021). A Structural Grammar Approach for the Generative Design of Diagrid-Like Structures. *Buildings*, 11(3), 90. <https://www.mdpi.com/2075-5309/11/3/90>
78. Montuori, G. M., Mele, E., Brandonisio, G., and De Luca, A. (2014). Secondary bracing systems for diagrid structures in tall buildings. *Engineering Structures*, 75, 477-488. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.06.011>
79. Aysu, O. B. (1999). *Yüksek bina taşıyıcı sistemleri* (Publication Number 84937) Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
80. ÇYTHYE-2018. (2018). Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar. In. Anklara, Türkiye.
81. TSE, T. S. E. (1997). TS 498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri. Ankara, Türkiye.
82. TSE, T. S. E. (2007). TS 1991 – 1 – 3, Yapılar Üzerindeki Etkiler-Bölüm 1-3: Genel Etkiler-Kar Yükleri. In. Ankara, Türkiye.
83. TBDY-2018. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. In. Ankara, Türkiye.

84. Ashrae, A. (2005). Handbook of fundamentals. *American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, GA.*
85. Yu, X., and Su, Y. (2015). Daylight availability assessment and its potential energy saving estimation –A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 494-503. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.142>
86. Dubois, M.-C. (2003). Shading devices and daylight quality: an evaluation based on simple performance indicators. *Lighting Research & Technology*, 35(1), 61-74.
87. Krüger, E. L., and Dorigo, A. L. (2008). Daylighting analysis in a public school in Curitiba, Brazil. *Renewable Energy*, 33(7), 1695-1702.
88. Iesna. (2000). IESNA lighting handbook. In: Illuminating Engineering Society of North America New York, NY.
89. Li, D. H., and Tsang, E. K. (2008). An analysis of daylighting performance for office buildings in Hong Kong. *Building and Environment*, 43(9), 1446-1458.
90. Du, J., and Sharples, S. (2011). Assessing and predicting average daylight factors of adjoining spaces in atrium buildings under overcast sky. *Building and Environment*, 46(11), 2142-2152.
91. İnternet: Rogers, Z., and Goldman, D. (2006). Daylighting metric development using daylight autonomy calculations in the sensor placement optimization tool. *Boulder, Colorado, USA: Architectural Energy Corporation*: URL: [http://www.archenergy.com/SPOT/SPOT_Daylight% 20Autonomy% 20Report. pdf](http://www.archenergy.com/SPOT/SPOT_Daylight%20Autonomy%20Report.pdf), Son Erişim Tarihi: 05.03.2023.
92. Mardaljevic, J., Heschong, L., and Lee, E. (2009). Daylight metrics and energy savings. *Lighting Research & Technology*, 41(3), 261-283. <https://doi.org/10.1177/1477153509339703>
93. Reinhart, C. F., and Wienold, J. (2011). The daylighting dashboard–A simulation-based design analysis for daylit spaces. *Building and Environment*, 46(2), 386-396.
94. İnternet: LM, I. (2013). Approved method: IES spatial Daylight autonomy (sDA) and annual sunlight exposure (ASE). *Illuminating Engineering Society*. URL: <https://www.ies.org/product/ies-spatial-daylight-autonomy-sda-and-annual-sunlight-exposure-ase>, Son Erişim Tarihi: 05.03.2023.
95. Council, U. G. B. (2014). LEED v4 for building design and construction. *USGBC Inc.*
96. Mohsenin, M., and Hu, J. (2015). Assessing daylight performance in atrium buildings by using Climate Based Daylight Modeling. *Solar Energy*, 119, 553-560. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.05.011>
97. Wagdy, A., and Fathy, F. (2015). A parametric approach for achieving optimum daylighting performance through solar screens in desert climates. *Journal of Building Engineering*, 3, 155-170. <https://doi.org/10.1016/j.job.2015.07.007>
98. TSE, T. S. E. (1980). Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları. *Ankara, Türkiye*, 648.

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



Gazili olmak ayrıcalıktır