

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ÇEVRESEL PERFORMANS ODAKLI ADAPTİF CEPHE MODÜLÜ İÇİN
AKILLI SİSTEM TASARIMI**



DOKTORA TEZİ

Erhan KARAKOÇ

Bilişim Anabilim Dalı

Mimari Tasarımda Bilişim Programı

MART 2021

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ÇEVRESEL PERFORMANS ODAKLI ADAPTİF CEPHE MODÜLÜ İÇİN
AKILLI SİSTEM TASARIMI**



DOKTORA TEZİ

**Erhan KARAKOÇ
(523152009)**

Bilişim Anabilim Dalı

Mimari Tasarımda Bilişim Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gülen ÇAĞDAŞ

MART 2021

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 523152009 numaralı Doktora Öğrencisi Erhan KARAKOÇ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ÇEVRESEL PERFORMANS ODAKLI ADAPTİF CEPHE MODÜLÜ İÇİN AKILLI SİSTEM TASARIMI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Gülen ÇAĞDAŞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. M. Birgül ÇOLAKOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hakan YAMAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Meral ERDOĞAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Neşe ÇAKICI ALP
Kocaeli Üniversitesi

Teslim Tarihi : **27 Ocak 2021**
Savunma Tarihi : **05 Mart 2021**





Aileme,



ÖNSÖZ

Yüksek Lisans ve Doktora eğitimim boyunca ve Doktora Tez aşamasında değerli zamanını, tavsiye ve anlayışını esirgmeden beni motive edip yönlendiren; değerli bilgi ve birikimlerini aktaran, anlayışı ve hoşgörüsüyle bu çalışmayı gerçekleştirmemde çok büyük payı olan, İTÜ Mimari Tasarımda Bilişim programının kurucusu sevgili hocam, Sayın Prof. Dr. Gülen ÇAĞDAŞ'a;

Yapıcı eleştirileri ve destekleri ile çalışmamı geliştirmemde büyük katkıları olan ve değerli zamanlarını esirgemeyen, tez izleme komitesindeki hocalarım Sayın Prof. Dr. Meryem Birgül ÇOLAKOĞLU'na ve Sayın Doç. Dr. Neşe ÇAKICI ALP'e;

Değerli tavsiyeleri ile tezimin son haline getirilmesinde büyük rolü olan, tez savunma jürisindeki hocalarım Sayın Prof. Dr. Meral ERDOĞAN'a ve Sayın Prof. Dr. Hakan YAMAN'a;

Her konuda ilgi ve özveri göstererek her zaman yanımda olduklarını bana hissettiren, beni yetiştirip bugünlere gelmeme vesile olan anneme, babama ve desteğini hep hissettiğim sevgili kardeşime;

Doktora öğrenimim sürecinde akademik, fikri ve manevi desteklerini esirgemeyen nişanım Y. Mimar Hülya ORAL'a, fikri ve psikolojik desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım Y. Mühendis-Mimar Alperen SARI'ya, Y. Mühendis Yiğitcan KÜÇÜKKAĞNICI'ya, Dr. Orkan GÜZELCİ'ye ve bu süreçte yolumun bir şekilde keşiştiği herkese ve her şeye;

Sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Mart 2021

Erhan KARAKOÇ
Y. Mimar



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Problem Tanımı.....	2
1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı	4
1.3 Tezde İzlenen Yöntem	6
1.4 Tezin Özgün Yönü ve Yaygın Etkisi	8
2. ADAPTİF MİMARLIK.....	11
2.1 Performans Kavramı ve Adaptif Mimarlık	11
2.2 Adaptif Mimarlığın Tanımı	14
2.2.1 Adaptif binaların sınıflandırılması	16
2.2.2 Adaptif ve adapte edilebilen binalar	18
2.3 Adaptif Yapı ve Bileşenleri.....	25
2.3.1 Adaptasyon unsurları	27
2.3.2 Adaptasyon süreci ve mekanizması	30
2.4 Adaptif Mimaride Tasarım Stratejileri	33
3. AKILLI BİNALARDA KONTROL STRATEJİLERİ VE KARAR VERİCİ SİSTEMLER.....	37
3.1 Akıllı Binalar	38
3.1.1 Akıllı bina tasarım yaklaşımları	43
3.2 Akıllı Cepheler	46
3.2.1 Akıllı cephe prototipleri	48
3.2.2 Gelişmiş akıllı cepheler.....	51
3.3 Kontrol Stratejilerinin ve Karar Verici Sistemlerin Çalışma Prensipleri	52
3.3.1 Kontrol stratejileri ve karar verme süreçleri	56
3.3.2 Kontrol stratejilerinin değerlendirilmesi	58
4. ÇEVRESEL PERFORMANS ODAKLI ADAPTİF BİR CEPHE MODÜLÜ VE GELİŞMİŞ AKILLI SİSTEM TASARIMI.....	63
4.1 Önerilen Kontrol Stratejisinin Karar Verme Süreci için Kavramsal Çerçeve..	64
4.1.1 Önerilen kontrol stratejisinde karar verme süreci	65
4.1.2 Önerilen kontrol stratejisinin değerlendirilmesi	68
4.2 Modülün Tasarımı ve Çalışma Prensipleri	70
4.2.1 Modülün işleyişi ve sistem kurgusu.....	73
4.2.2 Modülün karar verici algoritmaları	76

4.2.3 Modülün fiziksel üretimi.....	83
4.3 Modülün Simülasyonu.....	84
4.3.1 Modülün karar verici sisteminin simülasyonu	85
4.3.2 Modülün gerçek meteorolojik veriler ile simülasyonu	86
4.3.3 Modülün Akdeniz iklimine özgü senaryolar ile simülasyonu.....	93
4.4 Modülün Kısıtları	102
4.5 Modülün Potansiyelleri	104
5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	107
KAYNAKLAR.....	111
ÖZGEÇMİŞ.....	121



KISALTMALAR

PV	: Fotovoltaik (Photovoltaic)
AIF	: Gelişmiş Akıllı Cephe (Advanced Intelligent Façade)
EK.	: Elektrokromik
Sa.	: Zaman aralığı
Ö.d.	: Ölçümlenen değerler
İ.s.	: İstatistiki sıcaklık
D.s.	: Dış ortam sıcaklığı
H.s.	: Hedeflenen sıcaklık
S.i.m.s.	: Standart cephenin iç mekan sıcaklığı
AIF i.m.s.	: AIF modülünün uygulandığı cephenin iç mekan sıcaklığı
H.d.	: Hava durumu
A	: Açık
K	: Kapalı
Ak	: Aktif
Pa	: Pasif



SEMBOLLER

°C : Santigrat derece

Lx : Işık lüx oranı





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Literatürdeki dağıtık kontrollü akıllı cephe prototipleri	49
Çizelge 3.2 : Mevcut Kontrol Stratejileri ve İşleyiş Mekanizmaları	59
Çizelge 4.1 : Düşünen-Öngören Kontrol Stratejisi ve işleyiş mekanizmaları	68
Çizelge 4.2 : 23 Eylül 2018 (Zaman aralığı (Sa.), Ölçümlenen değerler (Ö.d.), İstatistiki sıcaklık (İ.s.), Dış ortam sıcaklığı (D.s.), Hedeflenen sıcaklık (H.s.), Standart cephenin iç mekan sıcaklığı (S.i.m.s.), AIF modülünün uygulandığı cephenin iç mekan sıcaklığı (AIF i.m.s.), Hava durumu (H.d.), Açık (A), Kapalı (K), Aktif (Ak), Pasif (Pa))	89
Çizelge 4.3 : 21 Aralık (Zaman aralığı (Sa.), Ölçümlenen değerler (Ö.d.), İstatistiki sıcaklık (İ.s.), Dış ortam sıcaklığı (D.s.), Hedeflenen sıcaklık (H.s.), Standart cephenin iç mekan sıcaklığı (S.i.m.s.), AIF modülünün uygulandığı cephenin iç mekan sıcaklığı (AIF i.m.s.), Hava durumu (H.d.), Açık (A), Kapalı (K), Aktif (Ak), Pasif (Pa))	90
Çizelge 4.4 : 21 Mart (Zaman aralığı (Sa.), Ölçümlenen değerler (Ö.d.), İstatistiki sıcaklık (İ.s.), Dış ortam sıcaklığı (D.s.), Hedeflenen sıcaklık (H.s.), Standart cephenin iç mekan sıcaklığı (S.i.m.s.), AIF modülünün uygulandığı cephenin iç mekan sıcaklığı (AIF i.m.s.), Hava durumu (H.d.), Açık (A), Kapalı (K), Aktif (Ak), Pasif (Pa))	91
Çizelge 4.5 : 21 Temmuz (Zaman aralığı (Sa.), Ölçümlenen değerler (Ö.d.), İstatistiki sıcaklık (İ.s.), Dış ortam sıcaklığı (D.s.), Hedeflenen sıcaklık (H.s.), Standart cephenin iç mekan sıcaklığı (S.i.m.s.), AIF modülünün uygulandığı cephenin iç mekan sıcaklığı (AIF i.m.s.), Hava durumu (H.d.), Açık (A), Kapalı (K), Aktif (Ak), Pasif (Pa))	92
Çizelge 4.6 : A senaryosu (Zaman aralığı (Sa.), İstatistiki sıcaklık (İ.s.), Dış ortam sıcaklığı (D.s.), Hedeflenen sıcaklık (H.s.), Standart cephenin iç mekan sıcaklığı (S.i.m.s.), AIF modülünün uygulandığı cephenin iç mekan sıcaklığı (AIF i.m.s.), Hava durumu (H.d.), Açık (A), Kapalı (K), Aktif (Ak), Pasif (Pa))	95
Çizelge 4.7 : B senaryosu (Zaman aralığı (Sa.), İstatistiki sıcaklık (İ.s.), Dış ortam sıcaklığı (D.s.), Hedeflenen sıcaklık (H.s.), Standart cephenin iç mekan sıcaklığı (S.i.m.s.), AIF modülünün uygulandığı cephenin iç mekan sıcaklığı (AIF i.m.s.), Hava durumu (H.d.), Açık (A), Kapalı (K), Aktif (Ak), Pasif (Pa))	97
Çizelge 4.8 : C senaryosu (Zaman aralığı (Sa.), İstatistiki sıcaklık (İ.s.), Dış ortam sıcaklığı (D.s.), Hedeflenen sıcaklık (H.s.), Standart cephenin iç mekan sıcaklığı (S.i.m.s.), AIF modülünün uygulandığı cephenin iç mekan sıcaklığı (AIF i.m.s.), Hava durumu (H.d.), Açık (A), Kapalı (K), Aktif (Ak), Pasif (Pa))	100



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Tezde izlenen yöntem.....	6
Şekil 2.1 : SPECS, Synthetic Oracle, Barcelona, İspanya, 2008 (URL-1).....	19
Şekil 2.2 : CITA, Vivisection, Charlottenberg Sanat Müzesi, Kopenhag, Danimarka, 2006 (URL-2).....	20
Şekil 2.3 : Sussex University, InQbate, Brighton, İngiltere, 2007 (URL-3).	20
Şekil 2.4 : Rietveld, Schröder House, Utrecht, Hollanda, 1924 (URL-4).	21
Şekil 2.5 : Derek Trowell Architects, BASF Evi, 2008, Nottingham Üniversitesi, İngiltere (URL-5, URL-6).....	21
Şekil 2.6 : Rogers ve Piano, Centre Pompidou, Paris, Fransa, 1977 (URL-7).	22
Şekil 2.7 : Foreign Office Architects, Yokohama Feribot Terminali, Yokohama, Japonya, 2002 (URL-8).....	23
Şekil 2.8 : Toronto Skydome'un kapalı hali, Toronto, Kanada, 1989 (URL-9).....	24
Şekil 2.9 : Toronto Skydome'un açık hali, Toronto, Kanada, 1989 (URL-10).	24
Şekil 2.10 : HP, Halo Telepresence System, Çoklu Siteler, 2007-2010 (URL-11)..	25
Şekil 2.11 : Herzog & de Meuron, Allianz Arena, Münih, Almanya, 2005 (URL-12).	25
Şekil 2.12 : Arap Dünyası Enstitüsü cephesi (solda) ve mekanizması (sağda), (URL13, URL-14).....	27
Şekil 2.13 : Kunsthaus Cephesi ve özellikleri (URL-15).	28
Şekil 2.14 : Rem Koolhaas'ın tasarlamış olduğu Floriac Evi, Bordeaux, Fransa, 1995 (URL-16).....	29
Şekil 2.15 : Kisho Kurukawa'nın Tokyo'da tasarlamış olduğu Nakagin Kapsül Kulesi ve birimler (URL-17).....	30
Şekil 3.1 : Böke, Knaack, Hammerling' e göre cepheye yönelik kavramlar (solda) akıllı teknik sistemler (sağda) (kaynak çevirisidir) (Böke ve diğ., 2019).	54
Şekil 3.2 : Kontrol mekanizması ve prototipin işleyişini gösteren akış şeması (kaynak çevirisidir) (Mozer, 2004).	56
Şekil 3.3 : Adaptif binalardaki; girdiler, parametreler, kontrol stratejileri ve eyleyiciler.	57
Şekil 4.1 : Önerilen adaptasyon süreci için potansiyel; girdiler, parametreler, kontrol stratejileri ve eyleyiciler.	64
Şekil 4.2 : Önerilen kontrol stratejisinin akış şeması (yapılandırılmamış durumda).	67
Şekil 4.3 : AIF modülünün tasarımı ve çalışma prensibi.....	70
Şekil 4.4 : AIF modülü; "Beyin" ve kontrol paneli (soldan sağa: algılayıcılar, Arduino kartları ve mikroişlemciler (altta: zamanlayıcı) Sabit sürücü ve destek birimi).	73
Şekil 4.5 : Karar destek sisteminin (beyin, algılayıcılar ve motorların) devre şeması ve donanımı (1: Arduino Mega 2560 Mikro işlemci, 2: LCD Panel, 3: Sıcaklık ve nem algılayıcıları, 4: LED kontrol sistemi, 5: Servo motor, 6: Step motor, 7: kontrol butonları 8: Işık ve aydınlık algılayıcıları	

(Kullanıcı varlığını tespit eden hareket algılayıcısı sıcaklık ve nem algılayıcılarına gömülüdür)).....	76
Şekil 4.6 : Yapılandırılmamış akıllı karar verici sistemin akış şeması.	77
Şekil 4.7 : AIF modülünün karar verici sisteminin akış şeması.	78
Şekil 4.8 : AIF modülünün karar verme sisteminin akış şeması; Düşünen- Öngören Kontrol Stratejisi.	82
Şekil 4.9 : AIF modülünün bileşenleri.....	84
Şekil 4.10 : Proteus yazılım arabiriminde karar verici sisteminin (beyin, algılayıcılar ve eyleyiciler) dijital simülasyonu.	85
Şekil 4.11 : A senaryosu, sıcaklık verisi grafiği (Dış Ortam Sıcaklığı (D.s.), AIF modülünün uygulandığı cephenin iç mekan sıcaklığı (AIF i.m.s.), İstatistiki sıcaklık (İ.s.), hedeflenen sıcaklık (H.s.), standart cephenin iç mekan sıcaklığı (S.i.m.s.)).....	96
Şekil 4.12 : B senaryosu, sıcaklık verisi grafiği (Dış Ortam Sıcaklığı (D.s.), AIF modülünün uygulandığı cephenin iç mekan sıcaklığı (AIF i.m.s.), İstatistiki sıcaklık (İ.s.), hedeflenen sıcaklık (H.s.), standart cephenin iç mekan sıcaklığı (S.i.m.s.)).....	98
Şekil 4.13 : C senaryosu, sıcaklık verisi grafiği (Dış Ortam Sıcaklığı (D.s.), AIF modülünün uygulandığı cephenin iç mekan sıcaklığı (AIF i.m.s.), İstatistiki sıcaklık (İ.s.), hedeflenen sıcaklık (H.s.), standart cephenin iç mekan sıcaklığı (S.i.m.s.)).....	101

ÇEVRESEL PERFORMANS ODAKLI ADAPTİF CEPHE MODÜLÜ İÇİN AKILLI SİSTEM TASARIMI

ÖZET

Günümüz teknolojik gelişmeleri, binaların çevresiyle olan ilişkilerinin yeniden sorgulanmasını gerekli kılmaktadır. Binalar çevreleri ile ilişki kurarak kendilerini değişen şartlara göre adapte edebilme potansiyeline sahiptirler. Çevresine adapte olan binalar ve bileşenleri Adaptif Mimarlık yaklaşımı altında değerlendirilmektedir. Adaptasyonun binalar için vazgeçilmez bir unsur olduğu görülmektedir. Teknolojiye bağlı olarak gelişen günümüz mimarlık anlayışında, binalar çevrelerindeki değişimleri algılayıp bunları veriye çevirip, bu verileri yorumlayarak adapte olmaktadır.

Akıllı binalar olarak nitelendirilen bu binalar çeşitli algılayıcı sistemleri ile donatılmışlardır. Bu algılayıcılar çevresel verilerin algılanıp, binanın veya bileşenin işleyici mekanizma tarafından değerlendirilmesi için aktarılmasını sağlamaktadır. Aktarılan bu veri çeşitli kontrol stratejileri ve karar verme süreçleri ile yorumlanmakta ve belirli durumlar için binanın adaptasyon sürecine katkı sağlayacak şekilde kullanılmaktadır. Tüm bu adaptasyon sürecinin esas amacı binanın performansına katkıda bulunmak ve bina kullanıcısının konfor koşullarını optimum seviyede tutmak olarak özetlenebilir. Bu sürecin en önemli parçası binaların ve bileşenlerinin yönetilmesini sağlayan kontrol stratejileri olarak nitelendirilebilir. Akıllı sistemler bir dizi karar verici sistemden oluşan kontrol stratejileri tarafından yönetilmektedir.

Akıllı binalarda bu stratejiler, “beyin” adı verilen bina yönetim sistemleri aracılığıyla tek bir merkezden yürütülmektedir. Akıllı cephelerde ise bina yönetim sistemine ve prosedürüne bağlı olarak ya da dağıtık olarak yürütülebilmektedir. Cephelerin kontrol edilmesinde, dağıtık sistemlerin kullanılması mekana ve kullanıcıya özgü seçimler sunduğundan, merkezi sistemlere kıyasla bazı avantajlar sağlayabilmektedir. Aynı zamanda algılayıcıların, işleyicilerin, eyleyicilerin ve veri depolama araçlarının boyutlarının küçülmesi, maliyetlerinin düşmesi gibi etkenler de düşünüldüğünde, günümüz performans odaklı, adaptif ve akıllı cephelerinin kontrol mekanizmalarında dağıtık sistemler daha öne çıkmaktadır.

Buna ek olarak adaptif ve akıllı cephelerin kontrol edilmesi sürecinde çeşitli çatışmalar ve parametrelerin hiyerarşik bir biçimde yönetilemediği durumlar da olabilmektedir. Bu çatışmaların sebepleri; bina kullanıcısı, çevresel ihtiyaçlar ve bina bileşenlerinin ihtiyaçlarının uyumsuzlukları olarak özetlenebilir. Bu çatışmalar; bina kullanıcısı için uygun konfor koşullarının sağlanamamasına, cephenin bileşenlerinin hareket sayısının fazlalığına bağlı olarak malzeme yorulmalarına, enerji etkinliğinin sağlanamamasına sebep olabilmektedir.

Tezde, belirtilen bu çatışmalara çözüm olması beklenen bir kontrol stratejisi ve karar verici sistem tasarlanması amaçlanmıştır. Bu strateji Düşünen-Öngören Kontrol Stratejisi olarak adlandırılmaktadır. Düşünen-Öngören Kontrol Stratejisi sayesinde bu çatışmaların en aza indirilmesi için hesaplamaya dayalı stokastik bir akıllı sistemin tasarlanması hedeflenmiştir. Önerilen kontrol stratejisi, girdilerin hiyerarşik olarak

yönetilmesini sağlayan Öncelik Algoritması ve sıcaklığın öngörülü bir biçimde kontrolünü sağlayan Kritik Karar Algoritmasından oluşmaktadır.

AIF (Gelişmiş Akıllı Cephe: Advanced Intelligent Façade) modülü bu kontrol stratejisinin ve karar verici mekanizma ile algoritmaların gömülü olduğu elektromekanik ve performans odaklı bir modüler cephe prototipidir. Belirli değer aralıklarında belirlenen tepkileri vermek üzere kurgulanan AIF modülü sıcaklık, ışık ve aydınlık düzeyi ve nem parametrelerini işleyiciler ile değerlendirip, eyleycilere iletmektedir. Eyleyciler, modülün katmanlarını açıp kapatarak ya da aktif veya pasif hale getirerek yönetirler. AIF modülü katlanabilir panjur ve elektrokromik akıllı cam olmak üzere iki katmandan oluşmaktadır. Bu katmanlar algoritmalar tarafından kontrol edilmektedir. Bu algoritmalar istatistiki verinin kaydedildiği veri tabanlarına bağlı olarak çalışmaktadırlar. Yönetim mekanizmasında gömülü olarak bulunan Düşünen-Öngören Kontrol Stratejisi sayesinde AIF modülü istatistiki veriyi ve anlık ölçümleri değerlendirerek eyleycilerin en etkin ve isabetli kararlara göre hareket etmesini sağlamak için tasarlanmıştır.

Bu tez kapsamında geliştirilen AIF modülünün kullanıcı konforunu sağlama ve binanın enerji etkinliğine katkıda bulunması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda AIF modülünün dijital ve fiziksel ortamda simülasyonları yapılmıştır. Modülün karar verici sisteminin simülasyonu ile modülün işlevi, istatistiki veriyi ve ölçülen anlık veriyi isabetli bir biçimde muhakeme ederek uygun tepkileri ürettiği gözlenmiştir. Aynı zamanda AIF modülünün yazılım ve donanımının bütüncül bir şekilde çalıştığı girdilerin, işleyicilerin ve eyleycilerin uyumlu işleyişlerinin olduğu belirlenmiştir.

AIF modülünün meteorolojik veriler ile yapılan iki aşamalı simülasyonu sonucunda modülün belirli değer aralıklarında etkin bir biçimde çalıştığı ve iç mekanda kullanıcı konforunun ve enerji etkinliğinin artırılmasına katkıda bulunduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda modülün bazı senaryolarda hareket sayısını minimize etmeye yönelik hesaplamalar yaptığı da belirlenmiştir.

Bu simülasyonların ve performans doğrulamalarının incelenmesi sonucunda, AIF modülün kısıtları ve geliştirilme potansiyelleri belirlenmiştir. Buna göre, AIF modülünün dağıtık kontrol stratejilerinin uygulandığı ve Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat endüstrisine katkı sağlayabilecek elektromekanik ve gelişmiş akıllı bir prototip olarak değerlendirilebileceği öngörülmüştür.

Tez beş ana başlıktan oluşmaktadır. Giriş bölümünde, problem tanımı, tezin amacı ve kapsamı, tezde izlenen yöntem, tezin özgün değeri ve yaygın etkisi anlatılacaktır.

İkinci bölümde, günümüzde adaptif mimarlık yaklaşımı literatürdeki çalışmalar ile değerlendirilmektedir. Performans kavramı ve performans odaklı tasarım yaklaşımı alandaki önemli araştırmacıların performans tanımları ile yaygın olarak kabul gören tanımlar irdelenmiştir. Ayrıca adaptif mimarlığın tanımı, türleri ve süreç içerisindeki gelişimi adaptif ve adapte edilebilen binalar bağlamında tartışılmıştır. Adaptasyonun neye göre tasarlandığına dair incelemelerde bulunulmuştur. Adaptif yapı ve bileşenleri ile adaptasyon unsurlarının birbirleriyle olan ilişkileri anlatılmış ve adaptasyon mekanizmasındaki rolleri tartışılmıştır. Tüm bu ilişkilerin incelenmesi ve literatürdeki çalışmaların irdelenmesi sonucunda ortaya çıkan adaptif mimaride tasarım stratejileri sistematik bir biçimde okuyucuya aktarılmıştır.

Üçüncü bölümde akıllı binaların kontrol stratejileri ve bu stratejilerin uygulanmasında önemli rol oynayan kararların oluşturulmasını sağlayan, karar verici sistemler anlatılarak modülün anlatıldığı dördüncü bölüm için teorik, teknik ve bilimsel alt

yapının hazırlanması amaçlanmıştır. Bu bölümde kontrol stratejileri ile karar verici sistemler ve bunların çalışma prensipleri ile binalardaki kullanımları örnek çalışmalar ile anlatılmıştır. Günümüz yenilikçi bina yaklaşımlarından olan akıllı binalar ve kontrol mekanizmaları bu bölümde ele alınmıştır. Bu bölümde, dağıtık sistemler ve prototipler incelenmiş ve mevcut kavramsal çerçeveler içerisinde üç farklı kontrol stratejisinin çizelgeler yardımıyla anlatımı gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda kontrol stratejileri ve karar verici sistemleri ile ilgili literatür baz alınarak yeni bir sentez oluşturulmuştur. Bu analizlerin sonucunda Geleneksel Kontrol Stratejisi, Koşullu Kontrol Stratejisi, Hiyerarşik Koşullu Kontrol Stratejisi'nin işleyişi, avantajları ve dezavantajları karşılaştırmalı olarak anlatılmıştır.

İlk üç bölümde anlatılan, modülün kuramsal altyapısının ve kavramsal çerçevesinin anlaşılabilirliğine ışık tutacak olan bölümler, dördüncü bölümde uygulamalı bir şekilde anlatılmıştır.

Dördüncü bölüm, ardışık olan üç aşamayı anlatmaktadır. Bu ardışık süreç; önerilen kontrol stratejisini, bu stratejinin uygulandığı iki katmanlı elektromekanik ve gelişmiş akıllı cephe modülü olan AIF'in; simülasyonu ile performansının doğrulanması işlemlerini sistematik bir şekilde anlatmaktadır. Dördüncü bölümde, tez kapsamında geliştirilen özgün kontrol stratejisi olan Düşünen-Öngören Kontrol Stratejisinin kavramsal çerçevesi oluşturulmuştur. Önerilen kontrol stratejisinin işleyişi, avantajları ve dezavantajları değerlendirilmiştir.

Modülün Tasarımı ve Çalışma Prensibi bölümünde, literatürdeki bilgiler ışığında, problem tanımında ifade edilen çatışmaları önlemek için tasarlanmış AIF modülünün çalışma prensibi, işleyişi ve sistem kurgusu karar verici algoritmaları ve fiziksel üretimi detaylı bir biçimde görseller akış diyagramları yardımıyla anlatılmıştır. Bu bölümde AIF modülünün tasarım sürecinin ve ilkelerinin akıllı bir sistem tasarımı ve adaptif mimarlık bağlamında tartışılması ve çıkarımlarda bulunulması hedeflenmiştir. Aynı zamanda simülasyon öncesi öngörüler ve beklenen sonuçlara da bu bölümde değinilmektedir.

Modülün simülasyonunun yapıldığı bölüm üç başlık altında toplanmıştır. İlk olarak yapay uyaranlar kullanılarak modülün çalışırılığı denetlenmiştir. İkinci olarak İstanbul'un ekinoks tarihlerindeki iklim verilerine göre simülasyonu yapılmıştır. Üçüncü olarak ise, modülün başarılı olduğu iklimsel verilere benzer veriler üretilmiş ve modül tekrar bir performans simülasyonuna tabi tutulmuştur.

Dördüncü bölümün sonunda tasarım, üretim ve simülasyon sonuçları göz önüne alınarak modülün kısıtları tartışılmıştır. Aynı zamanda geliştirilme potansiyelleri ve kullanım alanları da bu bölümde tartışılmıştır.

Tezin sonuç ve tartışma bölümünde, adaptif mimarlık, akıllı binalar ve cepheler ile ilişkili kavramlar tartışılmıştır. Tezin araştırma soruları ile ilgili bilgiler paylaşılmış ve bu kavramların potansiyelleri ile kullanım alanları geliştirilen akıllı sistem bağlamında ele alınarak değerlendirilmiştir. Aynı zamanda geliştirilen modülün sağladığı olanaklar ve özgün yönleri vurgulanmıştır.



INTELLIGENT SYSTEM DESIGN FOR ENVIRONMENTAL PERFORMANCE ORIENTED ADAPTIVE FAÇADE MODULE

SUMMARY

Performance-oriented adaptive façades and intelligent control systems and decision-making mechanisms optimize the façade according to more than one parameter and manage it via advanced algorithms. However, some parameters may conflict with each other in some special cases and for various reasons. Due to these conflicts, building efficiency may decrease or occupant comfort conditions may not be provided. When the studies in the literature are examined, although there are many reasons for this, three main reasons can be mentioned for the conflict between parameters in intelligent control systems of adaptive façades.

The first of these reasons is that in buildings with more than one person, occupants demand different comfort conditions. Decentralized façade systems can be used as a solution to this problem. In this way, each façade module can be programmed according to different needs and various occupants.

The second reason is the conflict between the occupant and the façade control strategy and decision-making system. In this situation, there may be conflicts between the parameter levels desired by the occupant, the temperature parameter that requires a certain time to be brought to the desired level even if it is entered into the intelligent system, and the parameters such as instantaneously changing illumination level, light level and humidity. These conflicts cause the intelligent system design and decision-making processes of the façade to not be operated efficiently.

The third reason can be expressed as the conflict between energy efficiency and occupant comfort conditions. Façade systems may not be able to make the right and efficient decision in terms of energy efficiency and environmental performance if the occupant insists on the exact value of the temperature occupant wants. At the same time, this situation causes the front to remain active continuously and the number of movements per unit time to increase. This situation may cause the components of the façade to be exposed to material fatigue and shorten the service life and in some cases to fail the functioning of the façade.

When all these reasons are examined, this thesis, which started with the prediction that the Thinker-Predicting Control Strategy, which is adapted and based on certain hierarchical rules, may be a solution to these decision conflicts, is detailed by integrating this control strategy into the Advanced Intelligent Façade (AIF) module. Production of this module in digital and physical environment; Subjecting it to simulation and testing phases, this prediction was actually a correct determination.

Within the scope of the thesis:

- How can the hardware and software integration of the intelligent system be achieved in the design of a façade module based on the Thinking-Predicting Control Strategy using Critical Decision Algorithms and Priority Algorithm?

- What are the basic principles and methods in digital and physical design, production and simulation of the design of the AIF module, a performance-oriented adaptive and intelligent façade prototype?

Answers will be sought in the context of the developed control strategy, module and simulation results.

In this thesis, it is aimed to produce and implement the Thinking-Predicting Control Strategy based on the Critical Decision Algorithm and Priority Algorithm, which will help to resolve the conflicts expressed in the problem definition. In line with the research questions specified in the problem definition of this study, it is aimed to harmoniously design the façade, its components and an intelligent system based on performance-oriented principles. In this design process, it is determined to use algorithms that will provide optimum comfort conditions for the occupant by evaluating the indoor and outdoor conditions of the façade in the most efficient way.

The aim of this thesis is to develop and simulate the Advanced Intelligent Façade (AIF) module. The AIF module is a performance-oriented, intelligent and electromechanical prototype that responds to environmental conditions. The module has a multi-layer design controlled by advanced algorithms based on multi-criteria optimization. This module is a performance-oriented, adaptive and intelligent prototype designed to sense indoor and outdoor temperature, daylight level and humidity parameters with the help of sensors and produce the appropriate responses thanks to electromechanical systems.

Systematically adapting to various environmental conditions, the AIF module contributes to sustainability as it saves energy. The AIF module is aimed to contribute to the Architecture, Engineering and Construction (AEC) industry as an innovative product. For this purpose, digital and physical simulations have been made on the module and the design has been optimized according to the results and production has been carried out.

The developed AIF module is designed as an autonomous and auto-reactive system controlled by a decision-making system that includes algorithm hierarchy. A rule-based algorithm based on multi-criteria optimization directly controls each layer to increase the efficiency of the façade. Designed using materials that meet different needs in parallel with the developing material technology, the module consists of two layers, shutter and smart glass. These layers are designed to play an active role in ensuring interior comfort, aiming optimum conditions that would be difficult for a single layer to achieve. In this respect, the AIF module is intended to be a prototype design with optimum performance.

The AIF module is an intelligent system that activates passive systems to balance data recorded in the database with perceived environmental data. This means that the façade system is a highly reactive architectural prototype rather than an automation system.

The AIF module uses two integrated algorithms to resolve conflicts in the decision-making phase in adaptive and intelligent façades. The AIF module is internally controlled by the Priority Algorithm and the Critical Decision Algorithm. This mechanism, called decision making algorithms, helps to provide all comfort parameters by making the most appropriate decision with the help of the hardware and software in the system. Sensors are embedded in the AIF module, which measures the weather conditions to determine the condition of the layers actively or passively.

The module developed in the thesis can be evaluated as a unique approach in its field in terms of the adaptation of a predictive control strategy and the combination of

Priority Algorithm and Critical Decision Algorithms in the decision-making hierarchy and adaptation to the façade. The fact that the module planned to be designed is an intelligent system that is living and perceiving and activates passive systems in the direction of balancing by taking its own data from the environment, which indicates that this façade system is an adaptive and reactive product rather than an automation.

At the same time, the algorithm has made it possible to evaluate the interaction sensor façade module, which is planned to be added to the module in order to perceive whether there is an occupant in the building with the help of sensors, as a performance oriented, reactive and interactive module.

The fact that the module is not satisfied with only the data from the sensors during the decision-making phase constitutes its unique feature compared to other modules in the literature. The use of statistical data (daily temperature, illumination values, etc.) for the module developed within the scope of the thesis to initiate the operation in critical situations is a mechanism designed to increase the efficiency of the module.

The smart glass technology used in the layers of the designed module and the use of a single façade layer in different functions and the strategic control of this layer by a decision-making algorithm to ensure comfort conditions can be described as another unique aspect of the module.

With the two-stage simulation and performance validation of the AIF module, the module provides optimum conditions for the inputs determined under certain conditions at certain intervals, increases the comfort of the interior, contributes to energy efficiency and contributes to minimizing the material fatigue by minimizing the number of movements.

With all these features, it is anticipated that the intelligent system design mechanism of the AIF module, which has been designed, produced and simulated, will be a pioneering prototype for the advanced intelligent and electromechanical façade systems that are developed.

The thesis consists of five main titles. In the introduction chapter, the definition of the problem, the purpose, method, scope and content of the thesis will be explained.

In the second chapter, today's adaptive architecture approach is evaluated with the studies in the literature. The concept of performance and performance-oriented design approach are examined with the definitions. The adaptive architecture and poetic potentials of the related concepts and the predictions about what the contributions they can make to architectural design are shared. In addition, the definition of adaptive architecture and its development in the process are discussed in the context of adaptive and adaptable buildings.

Examinations were made regarding what the adaptation was designed for. The adaptive building and its components and the relationship of adaptation elements with each other are explained and their roles in the adaptation mechanism are discussed. Design strategies in adaptive architecture, which emerged as a result of examining all these relations and examining the studies in the literature, were systematically conveyed to the reader.

In the third chapter, it is aimed to prepare the theoretical, technical and scientific background for the fourth chapter, where the module is explained via the control strategies of intelligent buildings and the decision-making systems that enable the implementation of these strategies. In this chapter, control strategies and decision-

making systems and their working principles and their use in buildings are explained with case studies. Intelligent buildings and control mechanisms, one of today's innovative building approaches, are discussed in this chapter.

The concepts of green building, nearly zero energy building and zero energy building and the relationships of these designs with the concept of sustainability are explained. Intelligent façade prototypes using performance-oriented adaptive and intelligent building approaches using internal management systems have been comparatively analyzed. By explaining the advanced intelligent façade concept, the module in the fourth chapter is pointed out.

In this chapter, decentralized studies in the literature are examined and three different control strategies are explained with the help of tables within the existing conceptual frameworks. At the same time, a new synthesis has been created based on the studies in the literature on control strategies and decision-making systems. As a result of these analyzes, the functioning of Traditional Control Strategy, Conditional Control Strategy, Hierarchical Conditional Control Strategy and their advantages and disadvantages are explained comparatively.

The chapters that are described in the first three chapters and will shed light on the understanding of the theoretical background and conceptual framework of the model are explained in a practical way in the fourth chapter.

The fourth chapter describes three consecutive stages. This sequential process; the produced alternative control strategy; the AIF module, which is a two-layer electromechanical and adaptive façade module in which this strategy is applied; it systematically expresses the process of verifying the efficiency of the module by simulation.

In the fourth chapter, the original control strategy developed within the scope of the thesis is explained. As a result of these investigations, the conceptual framework of the Thinking-Predicting Control Strategy was created, since no example was found to offer a solution to the conflicts of the factors mentioned in the problem definition of the thesis. In this chapter the functioning, advantages and disadvantages of the Thinking-Predicting Control Strategy developed are evaluated.

In the design and working principal chapter of the module, the working principle, operation and system setup decision-making algorithms and physical production of the AIF module, which is designed to prevent conflicts expressed in the problem definition, are explained in detail with the help of visual flow diagrams and charts.

In this chapter, it is aimed to discuss the design process and principles of the AIF module in the context of an intelligent system design and adaptive architecture and to make inferences. At the same time, pre-simulation predictions and expected results are also mentioned in this chapter.

The chapter where the module is simulated is grouped under three headings. First, the functionality of the system was checked and the functionality of the module was checked by using artificial stimuli. Secondly, it was simulated according to the climate data of Istanbul at the equinox dates. Thirdly, data similar to the climate parameters for which the module is successful was produced. Then the module was subjected to performance simulation and validation using these data.

At the end of the fourth chapter, the limitations of the module are discussed considering the design, production and simulation results. Development potentials and areas of use are also discussed in this chapter.

In the conclusion and discussion chapter of the thesis, concepts related to adaptive architecture, intelligent buildings and façades are discussed. The compiler information regarding the research questions of the thesis was shared and the potentials and usage areas of these concepts were evaluated in the context of the developed adaptive system.





1. GİRİŞ

Performans kavramı içeriğe, bağlamına ve uygulandığı yere göre değişkenlik gösterdiğinden dolayı performans odaklı tasarımın genel bir tanımı yoktur. Tam olarak bir tanımı olmamasına karşın, geniş bir perspektiften baktığımızda performans odaklı tasarım, hesaplamalı tasarım alanlarının tamamı ile ilişkilidir. Performans odaklı tasarım, tasarım nesnesine yapılan etki ve sonucunda oluşan tepki ile ilgili önerilerde bulunur ve sürecin aktif olarak bu bağlamda değerlendirilip geliştirilmesine imkan tanır. Performans odaklı tasarım yaklaşımı, mimarlık ekseninde ele alındığında yapı formunun belirlenmesinden malzeme seçimine, strüktürel sistemlerden çevre düzenlenmesine kadar çok sayıda mimari tasarım probleminin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Performans odaklı tasarım, çevresel etkenlerin tasarımı yönlendirmesi sonucunda, bina kullanıcısının mekanı konforlu bir biçimde deneyimlemesine yardımcı bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım sürdürülebilirliğe ve döngüsel ekonomiye katkı sunar ve binaların çevre üzerindeki olumsuz etkilerini önleme potansiyeline sahiptir. Yaşam alanlarımızın ve mekanların sürekli olarak farklılaştığı günümüzde, çevresel etkenler bu farklılaşmada büyük bir öneme sahiptir.

İklimsel değişiklikler ve küresel ısınma gibi çağımızın odak problemlerine karşı; binalarda performans odaklı, adaptif ve akıllı sistemlerin daha yaygın bir biçimde kullanılmasına ihtiyaç vardır. Değişen çevresel faktörlere göre, binalar da bu değişime paralel şekilde ele alınmalıdır. Tüm bu yönleriyle çevresel parametrelere göre değişebilen performans odaklı, adaptif binalar ve akıllı sistem tasarımları bu paradigma değişimine ideal bir alternatif olarak düşünülebilir.

Adaptif Binalar pek çok bileşenin birbirleriyle uyum içerisinde kullanıldığı farklı sistemlere sahip çok katmanlı yapılar olarak tanımlanabilir. Performans ve adaptasyon bağlamında baktığımızda en önemli yapı bileşenleri ise dış mekan ve iç mekan arasında ayırıcı bir rol üstlenen ve konfor şartlarının uygun bir biçimde sağlanmasına

yardımcı cephelerdir. Günümüzde cephelerin, yüzyıllardır kullanımını devam eden standart yapım sistemleri ve malzemelerinden kaynaklı olarak mimaride pasif sistemlerden daha çok aktif sistemler ön plana çıkmıştır. Fakat aktif sistemlerin binaların işletim maliyetleri ve sürdürülebilirlik konuları başta olmak üzere pek çok sebepten dolayı tercih edilebilir bir yaklaşım olmadığı görülmektedir. Cephe tasarımı konusunda henüz gelişme aşamasında olan performans odaklı yüzeyler ve malzemeler ile bunların kontrol edilmesini sağlayan karar destek sistemleri, karar verici sistemler ve akıllı sistemler ile bunların kontrolünü sağlayan çeşitli kuralları barındıran kontrol stratejileri bu problem için bir çözüm önerisi olarak öngörülebilir.

Bu tezde; performans odaklı tasarım ve stratejileri, mimaride karar verici sistemler, adaptif mimarlık bağlamında karar verici sistemler ve akıllı sistemler ve mimarlık alanında uygulamaları olan akıllı bina ve cepheler; tasarlanıp üretilen modül ve içinde gömülü bulunan kontrol stratejisi bağlamında tartışılacaktır.

1.1 Problem Tanımı

Performans odaklı adaptif cepheler ve akıllı kontrol sistemleri ile karar verici mekanizma, cepheyi birden fazla parametreye göre optimize etmekte ve gelişmiş algoritmalar yardımıyla yönetmektedir. Ancak bazı parametreler, bazı özel durumlarda ve çeşitli sebepler ile birbiriyle çatışabilmektedirler. Bu çatışmalar nedeniyle bina sistemlerinin performans verimliliği düşebilmekte veya kullanıcı konfor koşulları sağlanamayabilmektedir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde bu soruna dair pek çok sebep olsa da adaptif cephelerin akıllı kontrol sistemlerindeki karar çatışmaları için üç temel sebepten söz edilebilir.

Bu sebeplerden ilki, birden çok kişinin bulunduğu binalarda, bina kullanıcılarının farklı konfor koşulları talep etmesinden kaynaklanır. Bu sorununun çözümü olarak dağıtık kontrol stratejileri ve içsel cephe sistemleri kullanılabilir. Bu sayede her bir cephe modülü kendi içerisinde farklı ihtiyaçlara göre programlanabilmektedir.

İkinci sebep ise bina kullanıcısı ile cephe kontrol stratejisi ve karar verici sistem arasındaki çatışmalardır. Bu çatışmada kullanıcının istediği parametrenin seviyesi, akıllı sisteme girilse bile istenen düzeye getirilmesi belirli süre isteyen sıcaklık

parametresi ile anlık değişen ışık ve aydınlık düzeyi ve nem gibi parametreler arasında çatışmalar olabilmektedir. Bu çatışmalar, cephenin akıllı sistem tasarımının ve karar verme sürecinin verimli bir şekilde işletilememesine sebep olmaktadır.

Üçüncü sebep ise enerji etkinliği ile bina kullanıcısının konfor durumlarının çatışması olarak ifade edilebilir. Kullanıcının, kendi istediği sıcaklığın tam değerinde ısrarcı olması durumunda cephe sistemleri enerji etkinliği ve çevresel performans açısından doğru ve verimli kararı veremeyebilmektedir. Aynı zamanda bu durum cephenin sürekli olarak aktif kalmasına ve birim zamandaki hareket sayısının artmasına sebep olmaktadır. Bu durum, cephenin bileşenlerinin malzeme yorulmasına maruz kalmasına, servis ömrünün kısalmasına ve bazı durumlarda cephenin işleyişini gerçekleştirememesine sebep olabilmektedir.

Tüm bu sebepler incelendiğinde, adapte edilmiş ve belirli hiyerarşik kurallara bağlı Düşünen-Öngören Kontrol Stratejisinin bu karar çatışmalarına bir çözüm önerisi olabileceği öngörüsüyle başlayan bu tez, bu kontrol stratejisinin Gelişmiş Akıllı Cephe (Advanced Intelligent Façade: AIF) modülüne gömülü olarak bütünleştirilmesiyle detaylandırılmıştır. Bu modülün dijital ve fiziksel ortamda üretilmesi; simülasyon ve test aşamalarına tabi tutulması bu öngörünün aslında doğru bir tespit olduğunu göstermiştir.

Tez kapsamında:

- Kritik Karar Algoritmalarının ve Öncelik Algoritmasının kullanıldığı Düşünen- Öngören Kontrol Stratejisine dayalı bir cephe modülünün tasarımında, akıllı sistemin donanım ve yazılım entegrasyonu nasıl sağlanabilir?
- Performans odaklı adaptif ve akıllı bir cephe modülü olan AIF modülünün tasarımının dijital ve fiziksel ortamda tasarım, üretim ve simülasyonunda temel ilke ve yöntemler nelerdir?

Sorularına geliştirilen kontrol stratejisi, modül ve simülasyon sonuçları bağlamında cevaplar aranacaktır.

1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı

Problem tanımı içerisinde ifade edilen çatışmaların çözümlenmesine yardımcı olacak Kritik Karar Algoritması ve Öncelik Algoritmasına dayalı Düşünen-Öngören Kontrol Stratejisinin üretilmesi ve uygulanması amaçlanmaktadır. Tezde Problem Tanımı bölümünde belirtilen araştırma soruları doğrultusunda, performans odaklı ilkelere dayalı cephenin, bileşenlerinin ve akıllı bir sistemin uyumlu bir biçimde tasarlanması hedeflenmiştir. Bu tasarlama sürecinde cephenin iç mekandaki ve çevresindeki koşulları en iyi şekilde değerlendirerek, kullanıcı için optimum konfor koşullarını sağlayacak algoritmalar kullanmak bir diğer amaç olarak belirlenmiştir.

Bu tezde, adaptif cephelerin günümüz mimarlığındaki yerini, adaptif cephelerin çeşitlerini ve karakteristik özelliklerini tez kapsamında geliştirilen kontrol stratejisinin gömülü olduğu Gelişmiş Akıllı Cephe (Advanced Intelligent Façade: AIF) modülünün geliştirilmesi ve simüle edilmesi amaçlanmıştır. AIF, çevresel koşullara cevap veren, performans odaklı, akıllı ve elektromekanik bir modüldür.

AIF modülü, çok kriterli optimizasyona dayalı gelişmiş algoritmalar tarafından kontrol edilen çok katmanlı bir tasarıma sahiptir. Bu modül, algılayıcılar yardımıyla iç ve dış sıcaklık, gün ışığı seviyesi ve nem parametrelerini algılayarak, elektromekanik sistemler sayesinde uygun tepkiyi üretmek üzere tasarlanmıştır; performans odaklı, adaptif ve akıllı bir prototiptir. Çeşitli çevresel koşullara sistematik olarak adapte olan AIF modülü; binanın enerji etkinliğine ve çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmaktadır. AIF modülünün, mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörüne yenilikçi bir ürün olarak katkıda bulunması hedeflenmektedir. Bu amaçla, modül dijital ve fiziksel simülasyonlar test edilmiş olup, modülün tasarımı sonuçlara göre optimize edilerek üretim gerçekleştirilmiştir.

Geliştirilen AIF modülü, karar verme algoritmalarını içeren bir mekanizma tarafından kontrol edilen otonom ve tepkimeli bir sistem olarak tasarlanmıştır. Çok kriterli optimizasyona dayalı bir kural tabanlı algoritma, cephenin verimliliğini artırmak için her katmanı doğrudan kontrol eder. Gelişen malzeme teknolojisine paralel olarak farklı ihtiyaçlara cevap veren malzemeler kullanılarak tasarlanan modül, panjur ve akıllı cam olmak üzere iki katmandan oluşmaktadır. Bu katmanlar, iç konforun sağlanmasında aktif rol oynayarak tek bir katmanın sağlanması zor olan

optimum koşulları hedeflemek için güdülenmişlerdir. Bu yönüyle AIF modülünün performansının optimum düzeyde olduğu bir tasarım olması amaçlanmıştır.

Tez kapsamında adaptif mimarlık yaklaşımının temelleri ve literatürdeki çalışmalar performans ve adaptasyon kavramları bağlamında ele alınmıştır. Aynı zamanda adaptif mimarlığın tanımı, sınıflandırılması, adaptif ve adapte edilebilen binalar günümüz örnekleri üzerinden tartışılmaktadır. Buna ek olarak, adaptif yapı ve bileşenleri, adaptasyon unsurlarının adaptasyon sürecine ve mekanizmasına olan etkileri ve birbirleri ile kurdukları ilişkiler incelenerek adaptif mimarlık alanındaki tasarım stratejileri ile ilgili çeşitli değerlendirmelerde ve çıkarımlarda bulunulmuştur.

Bu kapsamda ele alınan ve akıllı mimarlık yaklaşımı altında incelenen örnekler tezde anlatılan modelin ana kurgusunun oluşturulmasına katkı sağlamaktadır. Tezde, kontrol stratejileri ile karar verici sistemlerin işleyişleri, akıllı binalar ve bileşenleri bağlamında ele alınmıştır. Bu sistemlerin enerji etkinliğine ve kullanıcı konforuna olan katkıları çeşitli örnek çalışmalar ile okuyucuya aktarılmaktadır. Akıllı bina kavramları ile ilişkili kavramlar olan yeşil bina, yaklaşık sıfır enerjili bina ve sıfır enerjili bina kavramları tartışılmıştır. Tasarlanan kontrol stratejileri ve geliştirilen cephe prototipleri belirlenen tasarım ve işleyiş parametrelerine göre değerlendirilerek, ideal bir kontrol stratejisinde ve prototipte olması gereken yaklaşımlara yönelik öngörülerde bulunulması tezin kapsamının belirleyici noktaları olmuştur.

Tez kapsamında, incelenen kontrol stratejilerindeki eksikliklerin giderilmesini amaçlayan Düşünen-Öngören Kontrol Stratejisinin kavramsal çerçevesi kurgulanmıştır. Bu kontrol stratejisi içerisinde önemli görevler üstlenen Kritik Karar Algoritması ve Öncelik Algoritması sayesinde, bina enerji etkinliğinin ve kullanıcı konforunun artırılması, cephenin hareket sayısının en aza indirilmesi sağlanmıştır. Düşünen-Öngören Kontrol Stratejisinin gömülü olduğu AIF modülünün tasarım ve çalışma prensipleri ile üç farklı simülasyon ile değerlendirilmesi bu tez kapsamında detaylı bir biçimde irdelenmiştir. Aynı zamanda, AIF modülünün kısıtlarının ve potansiyellerinin belirlenmesi, tezde üretilen ürünlerin değerlendirmesi olarak düşünülebilir. Tüm bu yönleri göz önüne alındığında tez kapsamında; adaptif mimarlık, akıllı binalar ve cepheler ile ilişkili kavramların tasarlanan üretilen ve simülasyonu yapılan AIF modülünün literatüre olan katkısı tartışılmış; bilişim

teknolojilerinin gelişimine paralel olarak değişen yeni kavramların günümüz mimarlık anlayışına olan etkileri değerlendirilmiştir.

1.3 Tezde İzlenen Yöntem

Tezde izlenen yöntem 2 aşamadan oluşmaktadır. Bunlardan ilki literatür araştırması ve mevcut kontrol stratejileri ile prototiplerin incelenmesi, ikincisi ise Düşünen-öngören Kontrol Stratejisinin adapte edildiği AIF modülünün üretilmesi ve test edilmesidir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 : Tezde izlenen yöntem.

Literatür araştırmasında güncel mimarlık yaklaşımları olan adaptif mimarlık ve akıllı bina kavramı örnekler ışığında tüm yönleriyle analiz edilerek ele alınmıştır. Bunlara ek olarak adapte edilebilir mimarlık, tepkimeli mimarlık, kinetik mimarlık, etkileşimli mimarlık gibi kavramlar performans odaklı tasarım bağlamında değerlendirilmiştir.

Literatür araştırması sonucu elde edilen veriler analizi sonucunda akıllı binalar, cepheler ve prototipler ile onların kontrol edilmesinde büyük rol oynayan kontrol stratejilerinin ve karar verici sistemlerin incelenmesi ile araştırma alanı daraltılmıştır. Bu sayede literatürde değinilmemiş bazı noktalar ve denenmemiş kontrol yöntemlerinin tespit edilmesi sağlanmıştır. Bu kuramsal altyapı, değerlendirmeler ve tespitler, tezin 2. ve 3. bölümlerini oluşturmaktadır.

Literatür araştırması ve mevcut kontrol stratejilerinin ve prototiplerin detaylı incelenmesi sonucunda, Düşünen-Öngören Kontrol Stratejisi için bir kavramsal çerçeve oluşturulmuştur. Oluşturulan bu strateji çeşitli donanım ve yazılım araçları kullanılarak iki katmanlı, elektrokromik ve özgün bir cephe modülü olan AIF' e eklenmiştir. Bu sayede AIF modülünün dijital ve fiziksel ortamda üretimi sağlanmıştır.

Sonrasında önerilen kontrol stratejisinin gömülü olduğu AIF modülü, üç aşamalı bir simülasyona ve performans doğrulamasına tabi tutulmuştur. Bu simülasyonlardan ilki modülün karar verici sisteminin simülasyonudur. Proteus ile yapılan bu simülasyon sonucunda modülün yazılım ve donanımının bütünleşik olarak çalıştığı ve bileşenlerin uyumlu tepkiler ürettiği gözlenmiştir. Aynı zamanda tepki sürelerinin uygunluğu denetlenmiştir.

İkinci simülasyon, gerçek meteorolojik veriler ile yapılan bir simülasyondur. Burada Rhinoceros, Python ve Diva ile eklentileri kullanılarak bir simülasyon modeli oluşturulmuş ve modülün 4 ayrı senaryo ile test edilmesi sağlanmıştır. Bu simülasyon sonuçlarının değerlendirmesi ile modülün verimli ve verimsiz olduğu meteorolojik verilerin ve aralıkların tespit edilmesi sağlanmıştır. Buna ek olarak, tespit edilen değer aralıklarına ve analizlere göre daha detaylı bir simülasyonun alt yapısının hazırlanması amaçlanmıştır.

Üçüncü simülasyon ise modülün Akdeniz iklimine özgü senaryolar ile teste tabi tutulmasını içermektedir. Bu simülasyon modelinde ikinci simülasyon sonuçlarında

başarılı olunan sıcaklık aralıkları esas alınmıştır. Aynı zamanda modülün işlerliğinin denetlenmesi için yağış gibi faktörler de senaryolara eklenmiştir. Buna ek olarak ölçümlenen veya daha önce kaydedilen verilerden hangisinin kullanılacağına karar veren gri kutu yöntemi ile istatistiki verilerin kullanıldığı kara kutu yöntemi simülasyon modeline eklenmiştir. Bu sayede modülün, simülasyon modelinde Kritik Karar Algoritması ve Öncelik Algoritmasını hangi durumlarda ve ne sıklıkla kullandığının ölçümü yapılmıştır. Uygun tepkinin verildiği durumlar tespit edilmiş ve verilemediği durumlarda ise geri bildirim mekanizmasının etkin bir biçimde çalışıp çalışmadığı denetlenmiştir.

Simülasyon sonuçlarına göre AIF modülünün ve içerisinde gömülü olarak bulunan Düşünen-Öngören Kontrol Stratejisinin kısıtları ve potansiyelleri belirlenmiştir. Buna göre AIF modülü, veri tabanına kaydedilmiş olan verileri, algılanan çevresel verilerle dengelemek için cepheyi pasif bir sistem olarak kullanıp etkinleştiren akıllı bir sistemdir. Buna göre, AIF modülünün bir otomasyon sistemi yerine oldukça reaktif bir mimari prototip olduğu anlamına gelmektedir. Bu değerlendirmeler ve tespitler tezin 4. bölümünü oluşturmaktadır.

Tüm bu değerlendirmelere göre AIF modülü, adaptif ve akıllı cephede karar alma aşamasındaki çatışmaları çözmek için kontrol stratejisinde kurgulanan bütünleşik iki algoritmayı kullanmaktadır. AIF modülü, Öncelikli Algoritması ve Kritik Karar Algoritması tarafından dağıtık olarak kontrol edilir. Karar verici sistemlerden oluşan bu mekanizma, sistemdeki donanım ve yazılım aracılığıyla en isabetli kararı vererek, tepkiyi oluşturup belirlenen konfor parametrelerinin sağlanmasına yardımcı olduğu sonucuna ulaşılmaktadır

1.4 Tezin Özgün Yönü ve Yaygın Etkisi

Tezin özgün yönleri ve yaygın etkisi, literatür araştırması ve geliştirilen Düşünen-Öngören Kontrol Stratejisi ile gömülü olduğu AIF modülü olmak üzere iki kısımda ele alınabilir.

İlk kısımda, literatür araştırması sonucunda; adaptif binaların sınıflandırılması, adaptasyon mekanizmalarının incelenmesi ve bu sürecin sistematik bir biçimde ele alınması tezin literatüre katkılarından biri olarak nitelendirilebilir. Buna ek olarak, akıllı binaların incelenerek karar verici sistemlerin ele alınması ve karar verme

süreçlerinin incelenmesi ile literatürde geçen kontrol stratejilerinin sınıflandırılarak işleyişlerinin, avantajlarının ve dezavantajlarının incelenmesi tezin literatüre diğer bir katkısı olarak nitelendirilebilir. Tezin bir diğer önemli katkısı da akıllı cephe prototiplerinin incelenmesi, teknik eksiklerin tespit edilmesi ve prototip geliştirmek isteyenler için özgün bir kılavuz olarak kurgulanması olarak düşünülebilir.

İkinci kısımda ise geliştirilen kontrol stratejisi, AIF modülü ile performans değerlendirilmesi ve modülün kısıtları ile potansiyellerinin belirlenmesi tezin özgün katkıları olarak düşünülebilir.

Düşünen-Öngören Kontrol Stratejisinde ilk olarak öngörülü bir sistemin kullanılması ve istatistiki verinin doğrudan karar verme sürecine dahil edilmesi daha önce literatürde ele alınmamış konulardır. Aynı zamanda stratejide yer alan istatistiki verilerin ve ölçümlenen verilerin hangi durumda, hangi performans kriterini iyileştirmek amacıyla kullanılacağına hesaplanması bu stratejinin bir diğer özgün noktası olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu karar verme stratejisinin işleyişine katkıda bulunan ve sıcaklık parametresi için özel olarak tasarlanmış olan Kritik Karar Algoritması ile parametrelerin hiyerarşik bir şekilde değerlendirilmesini ve karar çatışmalarının önlenmesini sağlayan Öncelik Algoritmasının kurgulanması bu tezin en önemli ve özgün yönü olarak nitelendirilebilir.

Kurgulanan bu stratejinin ve etkin karar verme sürecinin bileşenleri olarak nitelendirilen algoritmalar ve belirlenen kurallar tezin yaygın etkisi olarak düşünülebilir. Geliştirilen bu algoritmaların yeni geliştirilen prototiplere adaptasyonu ile akıllı cephelerin, kullanıcı konforu odaklı ve enerji etkin bir şekilde kurgulanabileceği ve bu durumun karar verme süreçlerinde bir paradigma değişimine yol açabileceği öngörülmektedir.

Bu stratejinin gömülü olduğu AIF modülünün tasarımında kullanılan donanımın, cephe katmanları ile birleştirilmesi ve bunun için izlenen yol tezin bir diğer özgün değeri olarak ifade edilebilir. AIF modülünün kontrolünü sağlayan donanım ile bileşenlerinin yazılımı ile bütünleşik olarak çalışmasına imkan veren bir kurguya sahip olması ve bunun sağlanmasında kullanılan yöntemler bir diğer önemli katkı olarak değerlendirilebilir. Donanım ve yazılımın muhakeme yoluyla AIF modülünün katmanlarını kontrol etmesi sonucunda oluşan durumların üç aşamalı performans değerlendirmesine tabi tutularak etkinliğinin doğrulanması, bu modülün işlevliğini

gösterir niteliktedir. Tezde bu değerlendirmelerin sonucuna göre, AIF modülünün, enerji etkinliği ve kullanıcı konforuna olan katkıları ve katmanların hareket sayısını en aza indirmesi yönüyle literatürde önemli ve özgün bir değere sahip olduğu görülmektedir. Aynı zamanda AIF modülünün katmanlarının birinin elektrokromik faz değişimine dayalı akıllı bir cam olması ve bu katmanın açılma-kapanma ve aktif-pasif olma hareketini gerçekleştirerek ışık geçirgenliğini optimize etmesi önemli bir yaklaşımdır. Bu akıllı cam katmanının katlanabilir bir polikarbonat katman ile birlikte tepki vermesi ve bunun donanımla bütünleşik olarak çalışan algoritmalar ile sağlanması modülün potansiyel kullanım alanlarını artıran önemli ve özgün bir değeri olarak değerlendirilebilir.



2. ADAPTİF MİMARLIK

Adaptasyon, sistemin değişen şartlar altında, fiziksel değerleri çoklu parametrelere göre değiştirebilme ve tasarım değişkenleri açısından istenen fonksiyonel durumu sağlama yeteneği olarak düşünülebilir (Crawley ve diğ., 2004; Fricke & Schulz, 2005).

Negroponte, tepkimeli çevre kavramını “karmaşık ya da basit hesaplamaların bir sonucu ve işlevi olarak daha büyük ya da daha az değişiklikleri tetikleyerek önemli bir role sahip olma” şeklinde değerlendirmiştir (Negroponte, 1975). Teknolojik gelişmelere bağlı olarak ve bu açıklamayla paralellik gösterecek şekilde adaptif mimarlık alanında çeşitli yaklaşımlar ve kavramlar geliştirilmeye başlanmıştır. Adaptif mimarlık mikro ölçekten, makro ölçeğe (Loonen ve diğ., 2013) farklı bina tipolojilerinde (Aelenei ve diğ., 2016; Romano ve diğ., 2018) de gördüğümüz performans odaklı (Favoino ve diğ., 2018; Loonen ve diğ., 2017) dinamik (Bakker ve diğ., 2014; Barozzi ve diğ., 2016; Zuk & Clark, 1970) bir tasarım yaklaşımıdır.

2.1 Performans Kavramı ve Adaptif Mimarlık

Tarihsel süreç içerisinde tartışılan ve bu tartışmalara bağlı olarak değişen yaklaşım, yapıların nasıl tasarlanacağına yanında, tasarımın hangi disiplinler ile ne tür ilkelere bağlı kalınarak sonuçlandırılacağıdır. Örneğin “Biçim işlevi takip eder (form follows function)” yirminci yüzyılda mimarlık alanında geçerli olmuş bir yaklaşım olmasına rağmen günümüzde “Biçim performansı takip eder (form follows performance)” şeklindeki yaklaşımlar prensip olarak öne çıkmaktadır (Hensel & Menges, 2008). “Biçimin performansı takip etmesi” prensibi, doğadaki sistemlerden esinlenilerek ve günümüz teknolojik imkanlarından yararlanılarak, bilişim teknolojilerinin geliştiği ve disiplinler arası yakınsamanın olduğu bir dönem için etkin bir yaklaşım olarak nitelendirilebilir. Öyle ki bu yaklaşım, günümüz inovatif bina literatürünü oluşturan, adaptif ve performatif yapıların yapılmasında en önemli yaklaşım olarak değerlendirilebilir.

Bilişim teknolojilerinin ve hesaplamalı tasarım yaklaşımının günümüz mimari tasarım anlayışında ve tasarımın her aşamasında sağlamış oldukları avantajlarına rağmen, performans verilerinin tasarım süreci içerisinde düşünülmesi Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat Endüstrisi'nde henüz herkes tarafından kabul gören ve kullanılan bir yaklaşım değildir. Performans kavramı genellikle tasarımın erken aşamalarında değil de son aşamalarında; özellikle de mühendisliğin devreye girdiği aşamalarda, belirli ölçütlere göre hesaplamalı tasarım araçları ile simüle edilmesi ve bu verilere göre değerlendirilmesi şeklinde olmaktadır.

Performans odaklı tasarımda, tasarımın hangi performans ögelerine ve özel faktörlere bağlı olacağı önemlidir. Bu faktörler çevresel, strüktürel, sanatsal doğa esinli olabilmektedir. Günümüz mimarlık yaklaşımlarında hesaplamalı tasarım ile özellikle çevresel performans odaklı bina tasarımlarında önemli gelişmeler olmuştur. Binanın statik bir obje olmasından çok dinamik ve etkenlere göre kendini yeniden değiştirip adapte olabilen binalar olarak nitelendirilmesi performans odaklı tasarım yaklaşımının uygulanmasının bir sonucudur. Bu anlayışa dayalı olarak binalar, çevreyle veya herhangi bir performansa göre tasarlanabilmekte ve binanın performans girdilerine ve faktörlerine göre optimizasyonu sağlanabilmektedir (Karakoç, 2015; Karakoç & Çağdaş, 2015).

Rivka Oxman'a göre Performatif mimarlık topolojik modeller tasarlama, parametrik ilişkiler ile tasarlama ve etkileşim kurarak tasarlama, biçim optimizasyonu ile biçim üretme ve bütünleşik sistem tasarımı alanlarında kullanılmaktadır (Oxman, 2008). Burry ve Murray'e göre parametrik tasarımlar, hesaplamalı yaklaşımlarla oluşturulan tasarımlarda temsil edilirler ve çeşitli parametreler kullanarak geometrik strüktürü adapte ederler (Burry & Murray, 1997). Parametreler kullanılarak oluşturulan bir tasarım ürünüde topolojik ilişkiler ve girdiler, bu yönüyle performans odaklı tasarımda belirgin bir rol üstlenirler.

Etkileşimli tasarımda; insanın bina bileşenleri ile etkileşmesi sayesinde tasarım süreci yürütülüp sonuçlandırılabilir. Etkileşimli tasarımlar yerine göre durağan ya da dinamik olabilmektedir (Oral & Karakoç, 2015a, 2015b). Günümüz teknolojilerinin kullanımı ile esnek ve yeniden yapılandırılabilir tasarımlara dayanan ve biçimden bağımsız olarak üretilen mekanlar, performans faktörleri ve topolojik ilişki ağı ile biçimlenirler (Oxman, 2008).

Dinamik ve kinetik binalar farklı strüktürel kurgulara imkan tanır. Bu yönüyle, beden ve mekanın etkileşimli olması gibi çeşitli tasarım kurgularının oluşmasına katkı sağlamaktadırlar (Fox, 2016; Fox & Kemp, 2009) . Günümüzde, mimarlığın çeşitli sanatsal performans alanlarıyla ilişkili olmasında ve tasarımın diğer disiplinleri ile beraber çalışmasında, mimarlıkta performans odaklı yaklaşımların ve gelişen bilişim teknolojilerinin önemi büyüktür.

Aynı zamanda, performans odaklı tasarım, çevresel etkilerin (rüzgar, sıcaklık, nem vs.) simülasyonlar yardımıyla tasarım sürecinde yer alması bakımından önemlidir. Performans odaklı yaklaşımlar ile gerçekleştirilen yapının tasarımında kurallara bağlı tasarım olanakları kullanılır (Kolarevic, 2004; Kolarevic & Malkawi, 2005). İstenildiğinde sadece performans faktörlerine göre yeni bir tasarım ürünü üretilebileceği gibi , istenildiğinde de üretilen bir tasarım, performans girdilerine göre yeniden biçimlendirilip çeşitli girdilere göre simüle edilebilir (Karakoç & Çağdaş, 2015; Kolarevic & Parlac, 2015; Oxman, 2008).

Performans odaklı cepheler çeşitli girdilere göre değişerek, enerji etkin hale gelen farklı morfolojiler ortaya çıkarabilme potansiyeline sahiptirler (Karakoç & Çağdaş, 2015). Bir çevresel etkiye verilen cevap, performans odaklı tasarımda farklı görsel kurgular oluşmasını sağlayabilmektedir. Tüm bu yönleriyle, performans odaklı mimarlık yaklaşımında, çevresel etkilere göre oluşan adaptif tepkiler, bina morfolojilerinin şekillendirilmesinde önemli rol oynarlar.

Performatif tasarımlar mimari-insan-çevre ilişkisinin yeniden tanımlanması açısından önemli stratejilerdir. Performatif kurguların gerektiği mimari ürünler, performans odaklı stratejilerin potansiyel uygulama alanları içerisindedir. Sonuç olarak, performatif mimarlığın tam tanımının olmamasına bağlı olarak, performans odaklı stratejiler olarak bahsedilen ilişkili konuların çoğaltılabileceği öngörülmektedir. Performans odaklı mimarlık, tasarım sürecindeki muğlaklığa bağlı olarak çok farklı stratejiler ve yöntemler kullanılmasını gerektiren ve bu yönüyle mimariyi zenginleştiren önemli bir kavramdır.

Grobman'a göre, hesaplamalı tasarımda, tasarım aracının nasıl kullanıldığını incelemek için bilgi türlerini veya parametre türlerini tanımlamamız gerekmektedir. Bu bilgi türleri statik ve dinamik olmak üzere ikiye ayrılırlar. Statik bileşenler, mimari nesneye veya forma bağlanabilen sabit, hareketsiz bir durumu tanımlarlar. Dinamik

bileşenler bir sürece ya da eyleme odaklanırlar. Buna örnek olarak, bina morfolojisinin değişmesi gösterilebilir. Hesaplamalı tasarımda araçlarının mimarlık alanındaki kullanımını incelendiğinde, güncel gelişmelerin dinamik parametrelerle ilgili olduğu görülmektedir (Grobman, 2013).

Mimari bir ögenin, çeşitli parametrelere kendini adapte ederek dinamik bir biçimde kendini değiştirebilmesi ve performans kriterlerine göre tasarımın temel ilkeleri düştüğünde, performans odaklı adaptif mimarlık, bu ifadeyi tam olarak açıklayan bir kavramdır.

2.2 Adaptif Mimarlığın Tanımı

Adaptif Mimarlık, uyarlanmanın ve uyum sağlamanın ötesinde çevreye, uyarana, kullanıcıya ve belirlenen diğer parametrelere göre dinamik ve esnek bir şekilde, performans türlerinin herhangi birine odaklı olarak yapıyı tasarlamak olarak özetlenebilir. Günümüzde, inovatif tasarım yöntemleri ve veri odaklı mimarideki son gelişmeler düşünüldüğünde, binanın tasarım ve üretim aşamalarından, bina yaşam döngüsüne kadar tüm süreçlerde adaptasyonun önemi ortaya çıkmaktadır (Attia ve diğ., 2015; Attia ve diğ., 2020; de Boer ve diğ., 2011; Foged & Kirkegaard, 2010; Loonen ve diğ., 2015; Zarzycki & Decker, 2019). Adapte olan bina belirlenen uyarana karşı tepki verip kendini o uyarana göre adapte edebilir. Adaptif bir binada en önemli nokta adaptasyon parametrelerinin seçimidir. Bu seçim binanın formu, fonksiyonu, işlevi, ölçeği, konumu ve buna benzer tüm tasarım parametrelerini doğrudan veya dolaylı olarak etkilemektedir. Adaptif bina neye, nasıl tepki verileceğinin sistematik bir biçimde tasarlandığı bütünleşik sistemler ve mekanizmalar bütünü olarak tanımlanabilir.

Adaptif binalar enerji etkinliğini sağlamak, bileşenlerin birbiriyle uyum içerisinde çalışmasını sağlamak, kullanıcının ihtiyaçlarına göre adapte olmak, bina işletim maliyetlerini düşürmek gibi senaryolar için tasarlanmış ve inşa edilmişlerdir. Bu özellikler göz önüne alındığında, adaptif mimarlık yaklaşımı planlı ve öngörülebilir durumlarda bina, kullanıcısı ve çevresi için pek çok olumlu özellikler barındırmaktadır. Buna karşın parametrelerde öngörülemeyen değişimler de olabilmektedir. İklim değişikliği, yapıyı çevrenin planlanandan farklı olarak inşa edilmesi gibi birçok öngörü dışı parametre, adaptif binaların en büyük dezavantajı olarak nitelendirilebilir. Bununla birlikte, adaptif binalardan herhangi bir müdahale

olmaksızın, yaşam öngörülerini süresince uyum sağlaması beklenmemelidir. Çeşitli parametre değişimleri ve ihtiyaç farklılaşmalarına bağlı olarak bu adaptasyonda gerektiğinde yeniden yapılandırılabilir. Tüm bu katkılara ve adaptasyon imkanlarına rağmen adaptif binalar yine de sınırlı bir biçimde çevrelerine adapte olmayı amaçlayacak şekilde tasarlanmışlardır.

Mimarlık alanındaki güncel araştırmalara göre, bina cepheleri bağlamında adaptif mimarlık yaklaşımı, literatürde genellikle benzer terimler ile ilişkilendirilmektedir:

- Akıllı (Ahmed ve diğ., 2015; Böke, 2020; Böke ve diğ., 2019; Buckman ve diğ., 2014; Clements-Croome, 2004; Fox & Yeh, 2000; Ghaffarianhoseini ve diğ., 2016; Hayes-Roth, 1995; Johnsen & Winther, 2015; Kensek & Hansanuwat, 2011; Knaack & Klein, 2008; Masri, 2015; Megahed, 2018; Wigginton & Harris, 2013);
- Etkileşimli (Attia ve diğ., 2019; Bakker ve diğ., 2014; Fox, 2016; Fox & Kemp, 2009);
- Reaktif; yeniden yapılandırılabilir; dönüşlü; esnek; duyarlı (Heiselberg ve diğ., 2012; Jayathissa ve diğ., 2017; Kronenburg, 2007; Meagher, 2015; Negroponte, 1975; Velikov & Thün, 2013);
- Kinetik (Asefi & Foruzandeh, 2011; Barozzi ve diğ., 2016; Fortmeyer & Linn, 2014; M. A. Fox & Yeh, 2000; Grobman & Yekutieli, 2013; Moloney, 2011, 2011; Pesenti ve diğ., 2015; Wang ve diğ., 2012; Zuk & Clark, 1970);
- Biyomimetik, doğa esinli (ElDin ve diğ., 2016; Hammer, 2016; López ve diğ., 2017; Reichert ve diğ., 2015);
- Aktif (Morrison ve diğ., 2007; Ochoa & Capeluto, 2008; Xu & Van Dessel, 2008);
- Uzlaşmacı, uyarlanabilir (Chmarra ve diğ., 2009; Schmidt & Austin, 2016; Schmidt & Eguchi, 2014);
- Ayarlanabilir; gelişmiş (Heiselberg ve diğ., 2012);
- Kontrol edilebilir (Kensek & Hansanuwat, 2011; Kim & Kim, 2010; Konstantoglou & Tsangrassoulis, 2016);
- Yaşayan; değiştirilen; taşınabilir (Bayes, 1994; Beesley & Armstrong, 2014; Diniz & Turner, 2007; Kronenburg, 2013; Schumacher ve diğ., 2012);

- Seçici; hassas; duyarlı (Arnesano ve diğ., 2019; Fox & Yeh, 2000; Loonen ve diğ., 2015; Loonen ve diğ., 2013; Reichert ve diğ., 2015; Velikov & Thün, 2013; Zarkadis ve diğ., 2014).

2.2.1 Adaptif binaların sınıflandırılması

Her ne kadar Romano ve diğerleri (2018) adaptif binaları; akıllı, gelişmiş, etkileşimli, tepkimeli, kinetik ve biyomimetik, dönüştürülebilir ve taşınabilir binalar olarak sınıflandırmış olsalar da adaptif binalar; akıllı, gelişmiş, etkileşimli, tepkimeli, kinetik ve biyomimetik olarak sınıflandırılabilirler. Dönüştürülebilir ve hareketli cepheler, kinetik mimari başlığı altında değerlendirilebilirler. Ayrıca, farklı iklim koşullarında kullanılan ve çeşitli üretim sistemlerine göre yapılandırılacak şekilde tasarlanmış adaptif cephelerde farklı konseptler bir arada kullanılabilir. Buna ek olarak, bu alandaki sınıflandırmanın bilimsel yaklaşımdaki farklılıklarla ilgili kesin bir kısıtlamaya sahip olmadığı görülmektedir. Bu sebeple alandaki kavramların kullanıldığı bağlama göre ifadelendirildiği gözlemlenmektedir. Akıllı ve gelişmiş binalar tezin, Akıllı Binalarda Karar Verici Sistemler ve Kontrol Stratejileri bölümünde detaylı bir biçimde incelenecektir. Etkileşimli, tepkimeli, kinetik ve biyomimetik binalar ise yazının devamında anlatılmaktadır.

Etkileşimli bir cephenin bir tepki oluşturabilmesi için insan girdisi gerekmektedir. Uyarıcı türü etkileşimli cephelerde önemli bir olgudur. Ayrıca algılayıcılar ve otomatik bir bina yönetim sistemi ile donatılabilir ve ayrıca iç mekandaki enerji tasarrufunu optimize etmek için programlanabilir (Velikov & Thün, 2013). Bu cepheler, farklı kullanıcı profillerine göre programlanabilir ve insan-mekân etkileşimini farklı bir ölçüğe taşıyabilir. Kullanıcı merkezli bir yaklaşım olması sebebiyle özellikle gelişmiş cephe sistemlerinde çok sık karşımıza çıkmaktadır. Çünkü etkileşim kavramı, bina ve insan etkileşiminin ötesinde aslında makine olarak adlandırdığımız adaptif cephenin de tekil veya çoğul kullanıcıya göre değişmesine göre evrilmiştir.

Günümüz mimari düşüncesinde, işlevsel tepkiler, sistemin fiziksel değerlerini değiştiren tasarım parametreleri ile değişen şartlar altında amaçlanan işlevselliği sağlamak için kendini adapte etme yeteneği olarak tanımlanabilir (Ferguson ve diğ. 2007). Tepkimeli yapı elemanları, bütünlük yapı konseptlerinin geliştirilmesinde

önemli teknolojiler olabilir (Heiselberg ve diğ., 2012). Tepkimeli binalar ve cepheler, çevreyi izlemek ve işletilebilir bina elemanlarının kontrolünü otomatikleştirmek için algılayıcılar ve eyleyiciler kullanan teknoloji sistemleri olan adaptif binanın mekanizmaları olarak tanımlanmaktadır (Meagher, 2015). Tepkimeli terimi, binanın performans gereksinimlerini arttırmak için cephenin ayarlanmasına izin veren dinamik yapı elemanlarını ifade eder.

Velikov ve Thün'e göre, tepkimeli cepheler gerçek zamanlı algılama, iklime uyumlu dinamik öğeler, otomasyon ve kullanıcıyı geçersiz kılma yeteneğine sahiptirler (2013). Tepkimeli cepheler, işlevsel ve performans odaklı olma bakımından akıllı cephelere benzemektedir. Akıllı cepheler, tepkimeli cephelerden farklı olarak, bina sistemi zaman içinde kendini adapte etmesini ve öğrenmesini sağlayan gelişmiş algoritmalar gibi etkileşimli özelliklere sahiptir. Ayrıca, kullanıcıların çevresel koşulları kontrol etmek için cephe elemanlarını fiziksel yönetme kabiliyeti gibi etkileşimli yönleri de kapsamaktadır (Velikov & Thün, 2013). Tepkimeli cepheler, kullanıcının ihtiyaçlarına cevap vererek dış ve iç çevre değişimleri ile optimum enerji performansı arasında uygun bir dengeyi korumaya yardımcı olacak şekilde kontrol edilip gömülü sistemler kullanılarak yeniden yapılandırılmaktadır.

Kinetik mimari, doğası gereği yer değiştirebilen, deforme olabilen, genişletilebilen veya hareket edebilen bir mimari form olarak tanımlanmaktadır (Zuk & Clark, 1970). Kinetik cephelerin, iklim koşulları, farklı yerler, değişken işlevsel gereksinimler veya acil durumlar gibi sınır koşullarına göre verimli bir şekilde adapte edilmesi gerekmektedir. Bu cephelerde cephenin kinetiğinin sağlanması için, hareketi oluşturan bir harekete geçirme kuvvetine, etkiye veya uyarıcıya ihtiyaç vardır.

Biyomimetik binalar, doğa esinli tasarım yaklaşımına dayanan adaptif yapılardır. Doğa, mimari tasarım ve cepheler için her zaman büyük bir ilham kaynağı olmuştur. Bu yaklaşım, seçilen bir biyolojik ilkeye dayanır, ancak biyolojik ilkedeki cepheye ara bir soyutlama aşaması gerektirir (Loonen et al., 2015). Bu görüşe göre, biyomimetik cepheler mevcut duruma canlılar ile çevresel faktörler arasındaki ilişkiye benzer şekilde tepki vermelidir. Biyomimetik cephelerde, verilen bu tepki doğadaki tepkiye benzer şekilde ve işlevde olmalıdır.

Bir binada bütün bu yaklaşımlar bulunabileceği gibi, uyaranlara ve seçilen parametrelere göre bir ya da daha fazla yaklaşımda bulunabilmektedir. Günümüzde hibrit adaptasyon olarak adlandırdığımız bu yaklaşımlar binanın adaptasyon seviyesini bir başka boyuta taşımaktadır. Adaptasyonun adapte edilmesi ya da adaptasyonun yeniden yapılandırılması sayesinde, 21. Yüzyıl adaptif mimarlık örneklerinde çok görülen bu kurgular, geleceğin bina tipolojilerinin adaptif olmasında büyük rol oynamaktadır.

2.2.2 Adaptif ve adapte edilebilen binalar

Binalar el yordamıyla veya araçlar kullanılarak adapte edildiği için bütün binaların bir derece adapte edilebilir olarak kabul edilmesi doğal bir yaklaşımdır. Stewart Brand'in 1994 yılında yazmış olduğu "Binalar Nasıl Öğrenir? (How Buildings Learn)" kitabında, binaların farklı adaptasyon seviyeleri ve bunların farklı zaman ölçeklerinde nasıl uygulanacağına dair bir fikir vermektedir (Brand, 1994). Bu nedenle, adaptif mimari teriminin tanımı bu bağlamda değerlendirilmelidir. Bütün binaların adapte edilebilir olduğu görüşü hesaplamalı tasarım araçlarının henüz yeterince gelişmediği yıllardan beri mevcuttur. Bu tanımın asıl belirleyicisi ise adapte edilebilir bina ile adaptif bina arasındaki ayrımı yaptığımızda daha netleşecektir.

Adapte edilebilir manuel ve otomatik olarak veya başka araçlar kullanılarak binanın çevre şartlarına ya da kullanıcı isteklerine göre adapte edilmesidir. Adaptif bina ise çevre şartlarına uyum sağlamak üzere tasarlanmış binalar olarak özetlenebilir. Adaptif binalar algılayıcılar, işleyiciler, eyleyiciler, kontrolörler ve diğer hesaplamalı tasarım araçları ve mekanizmaları kullanılarak, otonom olarak veya insan müdahalesiyle (veya her ikisi ile), yapının performans odaklı bir biçimde adaptasyonu amacıyla tasarlanan binalardır.

Adaptif mimarinin ortaya çıkışından bu yana pek çok farklı yaklaşım ile birlikte kullanıldığı izlenmektedir. Bunlar kültürel toplumsal, organizasyonel ve iletişim boyutlarında ele alınabilirler. Bu yaklaşımlar adaptif mimari ürünün ne için tasarlandığını ve hangi amaca hizmet ettiğini süreç olarak görmemize yarayacak olan bir sınıflandırma olarak kabul edilebilir.

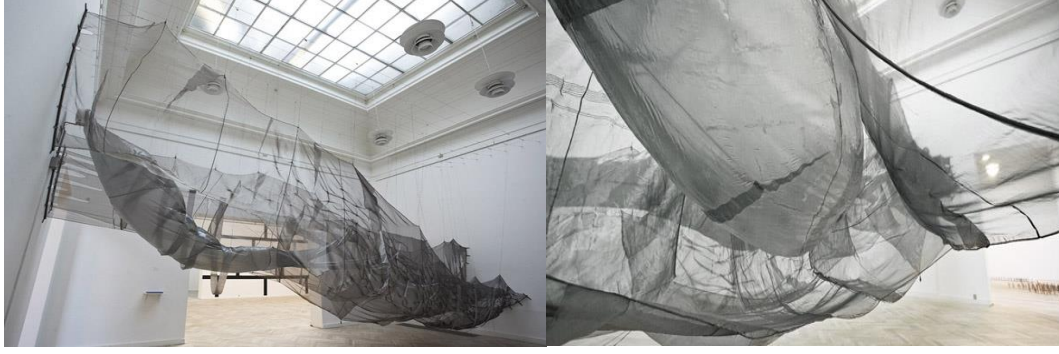
Kültürel üretime yönelik adaptif alanlar geniş bir tasarım geçmişine sahiptir. Tiyatro salonları ve konser salonları, farklı etkinliklere adapte olmalarını sağlayan

teknolojilere sahiptir. Bu adaptasyonun gerçekleşmesini sağlayan karmaşık bir seri gömülü veya açık mekanizmaya sahiptirler. Çeşitli parametrelere uyum sağlayan başka kültürel odaklı alanlar da var. Örneğin, SPECS grubu özel bir bilimsel tartışmayı sunmak veya göstermek amacıyla adaptif yaklaşımlara başvuru olan Synthetic Oracle projesini tasarlamışlardır. SPECS grubu araştırmacıları, bu projeyi insanların, zihnin çalışma şeklini anlatmamaya yardımcı olacak şekilde kurgulamıştır. Bu projede araştırmacılara keşif yapabilmek için tasarlanan deneysel alanlar, insan aklının nasıl çalıştığına ışık tutmaktadır (Şekil 2.1)



Şekil 2.1 : SPECS, Synthetic Oracle, Barcelona, İspanya, 2008 (URL-1).

Benzer bir çalışmada ise mimari keşif ve inceleme yoluyla belirli bir sorunu göstermek için adaptif alanlar oluşturulmuştur. Bu süreçte üretilen örneklerden birkaçı Kopenhag'da sergilenmektedir. Burada somut fiziksel malzemeler ile somut olmayan dijital veriler arasındaki karmaşık ilişkiler, mekan büyüklüğündeki robotik membranlar ile çözümlenmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : CITA, Vivisection, Charlottenberg Sanat Müzesi, Kopenhag, Danimarka, 2006 (URL-2).

Sussex Üniversitesi'ndeki InQbate alanı, bu konuda ilginç bir örnek olarak karşımıza çıkmaktadır. Proje kapsamında geliştirilen mekanda, esnek projeksiyonlara ve ses prodüksiyonlarına izin vermek için dönebilen bölmeleri, perdeleri ve esnek oturma alanlarını yüksek teknolojili dijital teknolojilerle birleştirmek esas amaç olarak belirlenmiştir (Şekil 2.3)



Şekil 2.3 : Sussex University, InQbate, Brighton, İngiltere, 2007 (URL-3).

Adaptif tasarımın en önemli kullanım amaçlarından biri yaşam tarzıdır. Geleneksel Japon iç mimarisi, erken modernistlerin getirdiği bir strateji olan yüksek derecede adapte edilebilir iç mekanlar üreterek mekansal kısıtlamalara cevap vermektedir. Rietveld'in Schröder evi, sakinlerin mekanı ihtiyaçlarına göre adapte olmalarını sağlamak için kayar ve katlanır bölmeler sunmaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4: Rietveld, Schröder House, Utrecht, Hollanda, 1924 (URL-4).

Geleneksel ya da modern olan göçebe yaşam tarzı, taşınabilir ancak çoğu zaman yeniden yapılandırılabilir binaların inşa edilmesine yol açmaktadır. Çevresel sürdürülebilirlik kilit bir faktördür ve binalar özellikle ortaya çıkan CO2 emisyonlarını azaltmak amacıyla adapte olmak üzere tasarlanmıştır. Bu tür binalara pek çok örnek olmasına rağmen pasif sistemlerin kullanım oranları bakımından BASF evi projesi önemli bir yer arz etmektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 : Derek Trowell Architects, BASF Evi, 2008, Nottingham Üniversitesi, İngiltere (URL-5, URL-6).

Adaptif binalar değişen koşullarla başa çıkmak için tasarlanmıştır. Binaların kullanımları farklı zaman ölçeklerinde değişmektedir. Bu değişiklikler; tek bir gün boyunca farklı aktivitelerle hızlı değişim, yeniden organize edilmesi sonucu orta vadeli değişim ve yalnızca binanın kendisini değil çevresini de etkileyebilecek uzun vadeli değişiklikler olarak özetlenebilir. Farklı zaman ölçeklerine cevap verme ihtiyacı, bölmelerin amaçlarına bağlı olarak farklı esneklik düzeylerine sahip olduğu Pompidou Center örneği üzerinden gösterilebilir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 : Rogers ve Piano, Centre Pompidou, Paris, Fransa, 1977 (URL-7).

Organizasyonel durumlar adaptif binaların avantaj sağladığı en önemli konulardan biri olmuştur. Değişen açık uçlu mekan tasarımları esnekliğe izin veren çeşitli mekan kurgularının oluşturulması, oluşan mimarinin adaptif olmasını sağlamıştır. Ortaya çıkan kurgular farklılaşabilen ve çeşitli zaman dilimlerindeki değişen yoğunluk miktarlarına göre adapte olabilmektedir. Adapte edilebilirlik aynı zamanda mekanın fonksiyonel olarak değişebilen alan ihtiyacına cevap verebilecek şekilde işlemesine olanak tanır.

1970'lerde elektronik bina yönetim sistemlerinin ve otomasyon teknolojilerinin geliştirilmesi binaların adaptif olmasını kolaylaştıran en önemli etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Aynı zamanda bu durum toplumsal motivasyonla örtüşmeye başlamıştır.

Modern ofis binaları sıklıkla verimli tasarım ve işletmeyi sürdürülebilirlik hedefleriyle birleştirmektedir. Sonraki dönemlerde ise bu yöntemler sadece ofis binaları veya kamusal binalarda değil özel konutlarda ve bireysel sitelerde de kullanılmaya başlanmıştır.

Günün farklı saatlerindeki araç ve yaya trafiğinin farklılaşması ve sıkışmasına bir öneri olarak Foreign Office Architect'in Yokohama feribot terminali verilebilir (Şekil 2.7). Geniş açık plan alanları, farklı yolcu sirkülasyonuna izin verecek şekilde tasarlanan bu binanın, kullanıcıları ulusal ve uluslararası uçuşlar için ayırmak suretiyle işleyişi optimize edilmiştir. Bu durum sirkülasyonun adaptif bir biçimde çözülmesi sayesinde gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2.7 : Foreign Office Architects, Yokohama Feribot Terminali, Yokohama, Japonya, 2002 (URL-8).

Adaptif binalar aynı zamanda sosyal etkileşimlerin artırılmasında ve farklılaşan iletişim kurgularının ve örüntülerinin çözümlenmesinde önemli rol oynarlar. Örneğin Toronto'da bulunan Skydome projesinde yeniden organize edilebilen ve oyunun kurgusuna göre etkileşimli olarak değişebilen bir oturma düzeni kurgulanabilmektedir (Şekil 2.8 ve Şekil 2.9). Bu adaptif mimarinin bir alt sınıflandırması olan etkileşimli mimarlık alanında özellikle önemli bir örnek olarak kabul edilmektedir.



Şekil 2.8 : Toronto Skydome'un kapalı hali, Toronto, Kanada, 1989 (URL-9).



Şekil 2.9 : Toronto Skydome'un açık hali, Toronto, Kanada, 1989 (URL-10).

Sosyal iletişimi geliştirmek amacıyla binaların ve mekanların adapte olmasının dijital yolları da vardır. Konferans teknolojilerini, fiziksel mimari tasarıma gömülü olarak dizayn etmek, özellikle seyahat ihtiyacını azaltmak amacıyla çoklu fiziksel alanlar arasında köprü kurmak için tasarlanmış adaptif mimarinin sunmuş olduğu diğer bir imkan olarak görülmektedir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 : HP, Halo Telepresence System, Çoklu Siteler, 2007-2010 (URL-11).

Sosyal etkileşime daha az odaklanmak yerine mesaj vermek amacıyla tasarlanmış, kelimenin tam anlamıyla bir örgütün kurumsal imajını taşıyan binalar mevcuttur. Konuyla ilgili olarak medya cepheleri hızla gelişen bir alandır. Münih futbol arenasının için iyi bir örnek olarak nitelendirilebilir. Dış cephesi, hangi takımın stadyumda oynadığına bağlı olarak renk değiştirmektedir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 : Herzog & de Meuron, Allianz Arena, Münih, Almanya, 2005 (URL-12).

2.3 Adaptif Yapı ve Bileşenleri

Adaptif mimaride neye tepki verileceği ve bu tepkinin nasıl olacağı konusu önemli bir yer tutmaktadır. Adaptif binalar kullanıcılara, çevreye ve nesnelere tepki verirler. Verdikleri tepki kurgulandıkları duruma göre değişmektedir. Bina bazı durumlarda birden çok uyarana da tepki verebilmektedir. Bu tür durumlarda her bir uyarana verilen

tepki uyaranın türüne göre değişebildiği gibi bazı durumlarda aynı tepkinin verilmesi de mümkün olmaktadır.

Mimarlar, adaptif binalar tasarlarırken, binanın adapte olacağı olguyu kullanıcılar olarak seçebilirler. Bu tasarımın sonucunda bireyler mimari düzeni değiştirme ve farklılaştırma yetkisine sahip olabilir. Aynı zamanda bina kendilerine belirli bir şekilde otomatik olarak yanıt verebilir ya da sizi tanıyarak tepkisini ona göre değiştirebilir. Kullanıcılara tepki veren binalar tasarlamının en önemli noktasını birden çok insanın aynı anda bu etkileşime katılması olarak nitelendirebiliriz. Bu durumlarda binanın tepkiyi hangi bireye yönelik olarak vereceği ve nasıl bir tepki geliştireceği planlanmalıdır.

Adaptif mimarlık, dış ortama tepki verecek şekilde tasarlanabilir. Çevreye göre değişen mimari yapılarda esas amaç performansın iyileştirilmesini sağlamaktır. Bu yüzden çevreye adapte olmak üzere tasarlanan binalar performans odaklı olarak tasarlanmıştır (Borg ve diğ., 2016; Favoino ve diğ., 2018; Loonen ve diğ., 2017). Bu sayede adaptif mimari ürünleri sürdürülebilirliğe ve enerji korunumuna katkıda bulunmaktadır. Adaptif elemanlar ayrıca, iç mekandaki kullanıcıya da tepki verirler (Attia ve diğ., 2018; Luna-Navarro ve diğ., 2020). Örneğin, kullanıcılar için ideal seviyede olmasını sağlamak, aynı zamanda belirli bir konfor seviyesine ulaşmada enerji harcamalarını kontrol etmek için de tasarlanmıştır. Konfor koşullarının geliştirilmesini sağlamak ve iç mekan ile dış mekandaki iklimsel ve çevresel koşulları değerlendirip buna tepki veren yapılar üretmek adaptif mimarinin en önemli kullanım alanlarından biri olarak görülebilir.

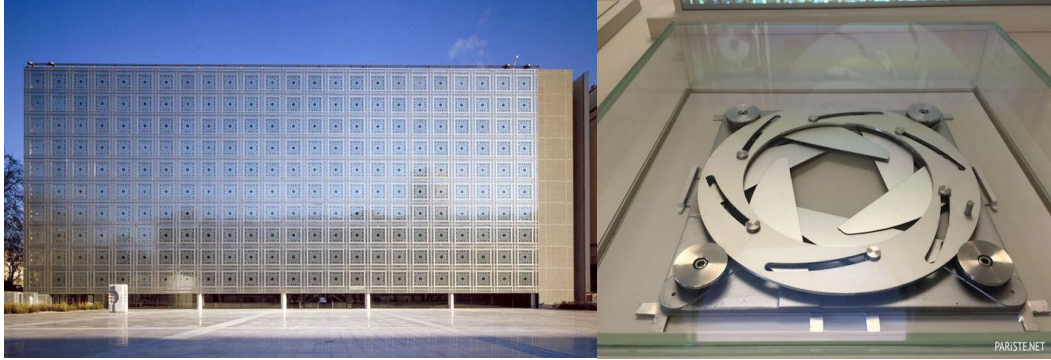
Nesnelere tepki olarak adaptasyon, adaptif mimarinin nispeten daha az yaygın bir kullanılan bir şeklidir. Binaların içinden geçen nesnelere tepki verdiği düşünülebilir. Örneğin, bir bina, belirli, özellikle değerli bir nesne mevcut olduğunda, belirli insan kategorisine erişimi otomatik olarak kısıtlayabilir. Benzer şekilde, bir depo, belirli bir teslimatın geleceği beklentisiyle doğru yükleme yuvasını hazırlayabilir. Binalardaki nesnelere, binalarda uyum sağlama sürecinde daha doğrudan bir rol oynayabilir. Sürekli olmayan yoğun gürültünün bulunduğu havaalanı gibi yerlerde uçuş sırasında gürültünün etkisinin azaltılması amacıyla binanın istenmeyen ses üreten nesnelere geçerken, akustik özelliklerini etkin hale getiren binalar buna örnek olarak gösterilebilir.

2.3.1 Adaptasyon unsurları

Adaptasyon unsurları Adaptif Mimari'de merkezi bir rol oynamaktadır. Binalar adaptasyonu sağlarken adaptasyon unsurlarından yararlanmaktadırlar. Bu unsurlar yapının farklı düzeyde adaptif olmalarını sağlamaktadırlar. Bir binadaki tüm unsurlar adapte olabileceği gibi gerektiğinde tek bir unsurun adaptif olduğu tasarım yaklaşımları da mevcuttur. Adaptasyon unsurlarını yüzeyler, bileşenler ve modüller ile teknik sistemler olarak özetleyebiliriz.

Dış ve iç yüzeyler uyum sağlamak için yapılabilir. Adaptif dış yüzeyler tipik olarak cepheler ve bina kabukları olarak adlandırılabilirler. Literatürdeki pek çok yaklaşım (de Boer ve diğ., 2011; Foged & Kirkegaard, 2010; Loonen ve diğ., 2013; Zarzycki & Decker, 2019) cephelerin adaptif olduğu yaklaşımlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Temel olarak iki çeşit adapte olma durumu öngörülmektedir. İlki mekanik olarak adapte olma. Mekanik adaptasyonlar, bileşenlerini mekanik olarak değiştirerek mimari yüzeyin görünümünü ve genel özelliklerini değiştirir. Jean Nouvel'in Paris'teki Arap Dünyası Enstitüsü (Şekil 2.12) buna verilebilecek en tanınmış örnektir. Her ne kadar belirli bir süre çalışamaz hale gelse bile bu binanın cephesi mekanik anlamda adapte olmanın en önemli göstergelerindedir.



Şekil 2.12 : Arap Dünyası Enstitüsü cephesi (solda) ve mekanizması (sağda), (URL13, URL-14).

Mekanik adaptasyonun dışında, ikinci olarak yüzey elemanlarının ekran veya aydınlatma teknolojileri kullanarak adapte olma özelliği ile öne çıkmaktadır. Bu adaptasyon bazı durumlarda gerçek bir adaptasyonu ya da etkileşimi tamamlayacak şekilde olsa da bazı durumlarda sadece birer görsel değişimden ileri gidememektedir. Ekran ve aydınlatma teknolojileri kullanılarak adapte olma medya cephelerin öncülleri olarak görülmektedir (Wiethoff & Gehring, 2012). Peter Cook'un Colin Fourier ile

birlikte tasarlamış olduğu Kunsthaus bunun en bilinen örneği olarak gösterilmektedir. Aydınlatma ve ekran teknolojileri, yüzey elemanlarını adapte etmek için ikinci teknik yolu sunmaktadır. Bu teknolojiler medya cephesinin orijinal çekirdeğidir.



Şekil 2.13 : Kunsthaus Cephesi ve özellikleri (URL-15).

Bir başka yüzey adaptasyonu türü, dekoratif değişiklikler yapmak ve iç mekanın karakterini değiştirmekle ilgili adaptasyon olarak sınıflandırılabilir. Bu adaptasyonlar genellikle estetik amaçlıdır ve fonksiyonel çözümleri amaçlamazlar. Bazı durumlarda ise dekoratif olarak kullanılabilen fonksiyonel iç mekan öğelerinde hem fonksiyonel hem de estetik kaygı güdülebilir. Bu konuyla ilgili olarak değişken duvar kağıtları ve ekran iç bölme duvarları örnek gösterilebilir.

Bileşenler ve modüller, binanın bütünü oluşturur. Bu parçalar binanın adapte olmasını sağlamak için seçilen bir diğer yol olarak düşünülebilir. Binanın cephe döşeme ve taşıyıcı sistem gibi parçalarının yanı sıra daha küçük ölçekte parçaları da mevcuttur (Hartkopf & Loftness, 1999). Örneğin bir iç bölme duvarı veya asma tavan yahut bir mobilya buna örnek olarak gösterilebilir. Binaların adaptif olmasını sağlamak için bazı bileşenlerin değişken ve esnek olarak tasarlanması ve yerleştirilmesi gerekmektedir (Loonen ve diğ., 2015). Bu durum hem mekanın esnek olmasını sağlamakta hem de adaptif kullanımlara zemin hazırlamaktadır. Binaların bileşenlerinin adapte olması doğrudan mekansal özelliklerini de etkilemekte ve mekanın adapte olmasını sağlamaktadır.

Yatay ve düşeyde kullanılan iç bölmelere verilebilecek en önemli örnek Rem Koolhaas'ın 1995 yılında tasarladığı Floriac Evi örnek gösterilebilir. Ev döşemelerin ve iç bölmelerin farklılaşabilen dinamik halde tasarlanmasıyla adaptif bir örnek olarak kabul edilmektedir.



Şekil 2.14 : Rem Koolhaas'ın tasarlamış olduğu Floriac Evi, Bordeaux, Fransa, 1995 (URL-16).

Bu tür adaptif mekanların bir seviye ötesine geçtiğimizde adapte edilebilir birimlerin olduğunu görmekteyiz. Bu birimler birleşerek bir yapı bütünü oluşturmaktadır. Kisho Kurukawa'nın Tokyo'da tasarlamış olduğu Nakagin Kapsül Kulesi bunun en önemli örneği olarak gösterilebilir. Tasarımda sirkülasyon alanlarının ve servis alanlarının sabit olduğu bir kuleye eklenen yaşam birimleri göze çarpmaktadır. Bu birimler gereklilik ve ihtiyaca göre sökülerek taşınabilmekte ve yeniden konumlandırabilmektedir.



Şekil 2.15 : Kisho Kurukawa'nın Tokyo'da tasarlamış olduğu Nakagin Kapsül Kulesi ve birimler (URL-17).

Adaptasyonun son unsuru teknik sistemleri içermektedir. Bu sistemler binanın algılayıcılar ve eyleyiciler yardımıyla adapte olmasını sağlarlar (Hayes-Roth, 1995).

Diğer elektronik ve mekanik veya elektromekanik sistemler ile havalandırma gibi bina temel sistemlerinin birlikte çalışarak bina kullanıcısının daha konforlu ortamlarda bulunmasına imkan sağlamaktadırlar. Bu sistemler otomasyonun bir parçası olarak ele alınabileceği gibi adaptasyonun omurgasını da oluşturabilmektedirler. Örneğin, iç mekan konforunun sağlanmasında ve bina ile olan etkileşimin yürütülmesinde en önemli yapı bileşeni olarak karşımıza çıkmaktadırlar.

2.3.2 Adaptasyon süreci ve mekanizması

Adaptasyon yöntemleri binanın nasıl adapte olduğunu göstermektedir. Bina adapte olurken neler tarafından etkiye maruz kaldığını ve bu etkiye olan tepkisinin neler olabileceği bu bölümde anlatılacaktır. Adaptasyon süreci farklı adaptiflik seviyelerine göre değişebilmektedir. Binanın tamamı adaptif ise bu süreçler daha karmaşık olabilmektedir. Bina adapte olurken öncelikle bir girdi gerekmektedir. Bu girdi bir insan hareketi olabilirken, algılayıcılardan alınan bir veri de olabilmektedir. Süreci başlatan etkiler adaptif binaların farklı sınıflandırmalarında farklı etkiler olabilmektedir. Örneğin adaptif binaların altında sınıflandırılan interaktif bir mimari

üründe bu etki insanın mekanik veya dijital etkileşimi olabilmektedir. Girdiler adaptif mimarlık yaklaşımında adaptasyon sürecinin başlamasını sağlayan önemli bir olgudur.

İşleyiciler ise girdilerin sonunda verilmesi gereken tepkinin eyleyiciler yardımıyla oluşmasını sağlamaktadır. İşleyiciler tepkinin nasıl olacağını ve hangi mimari enstrümanlar ile olacağına karar vermektedir. İşleyiciler bazı durumlarda doğrudan girdiler ile ilişkili olabilmektedir. Genellikle mekanik süreçlerde bu işleyiş doğrudan olmaktadır.

Eyleyiciler ise işleyicilerden gelen emri uygulamakta ve dijital veya mekanik etkiyi görünür kılmaktadır. Eyleyiciler bu emirleri doğrudan uygularlar. Eyleyicilerin açık veya kapalı olması durumu ise emir geldikten sonra tekrar işleyicilere bildirilmektedir. Bu nedenle girdiler, işleyiciler ve eyleyiciler arasında dönüşümlü ve doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Metnin devamında, girdiler, işleyiciler ve eyleyicilerle bunların ilişkileri anlatılacaktır.

Girdiler adaptasyon mekanizmasına göre değişkenlik göstermektedir. Adaptif bina türlerine göre bu girdiler de değişmektedir (Kronenburg, 2007). Örneğin; interaktif binaların girdileri insan ve ona ait olan hareketler olarak nitelendirilmektedir. Aynı zamanda tepkimeli mimarlık ürününde çevresel etkiler ve değişimler birer girdi kabul edilmektedir. Kinetik cephelerde ise mekanik bir etki (itme, çekme, döndürme vd.) diğer mekanik mekanizmayı uyarabilmektedir. Bu nedenle kinetik binalarda girdiler genellikle mekanik olmaktadır.

Akıllı binalarda ise girdiler, veriler olarak karşımıza çıkmaktadır. Dönüşebilen dinamik tasarımlarda da girdiler, binaların etkileşim türüne göre değişebilmektedir. Etkileşim yöntemlerinin tasarıma göre farklılaşması nedeniyle girdileri doğrudan sınıflandırmak mümkün görünmemektedir. Bu yönüyle ele aldığımızda en önemli veri kaynaklarını iki sınıfta inceleyebiliriz. Bunlardan ilki mekanik girdiler diğeri ise dijital girdiler yani veriler olarak düşünülebilir.

Mekanik girdiler fiziksel olarak uyarının yönüne şiddetine ve türüne göre değişmektedir. Adaptasyon itme, çekme, döndürme ve buna benzer fiziksel etkilerin işleyiciye aktarıldığı sistemler olarak tasarlanmaktadır (Shahin, 2019). Bazı adaptif binalarda bu durum özellikle cephelerde ve iç bölmelerde sıklıkla görülmektedir. İhtiyaca göre cephe katmanlarının açılıp kapanması veya döndürme yoluyla

değiştirilmesi buna önemli bir örnek olarak gösterilebilir. Aynı zamanda basınç yoluyla değişen doğa esinli yaklaşımlar da mevcuttur. Bitkilerdeki turgor basıncı gibi farklılaşan basınç miktarlarından yararlanarak hareket eden mimari elemanlar da mevcuttur. Bu nedenle mekanik etkiler tasarıma göre farklılaşmakta ve buna göre yeniden değerlendirilmektedir.

Dijital girdiler binalarda özellikle dijital teknolojilerin gelişimine bağlı olarak yaygınlaşmıştır. Algılayıcı teknolojilerinin gelişmesi ve ölçüm elemanlarının türlerinin artmasına bağlı olarak baskın hale gelmiştir. Binalardaki adaptasyonu sağlayan veriler algılayıcılar yardımıyla edinilmektedirler. Algılayıcılar binaların duyu organları gibi çalışırlar. İnsan nasıl dışarıyı algılamak için görme, işitme, duyma gibi duyu organlarını kullanıyorsa binalarda algılayıcılar yardımıyla kendi çevresindeki değişimleri veri olarak aktarmada kullanılmaktadırlar.

Yakınlık ve uzaklık algılayıcıları, ışık ve aydınlık seviyesi algılayıcıları, sıcaklık algılayıcıları, hava kalitesi algılayıcıları, nem algılayıcıları gibi algılayıcılar başlıca veri kaynakları olarak kabul edilmektedir. Algılayıcılar, sayesinde çevresel bilgiler ve nesnelere veya canlılar ile ilgili olan etkileşimler tespit edilebilmektedirler. Bu veriler adaptasyonu yönlendiren nicel kaynaklar olarak kabul edilmektedirler.

İşleyiciler tepkinin ölçüsünü türünü belirlemektedir. Tepkinin hangi mimari öge ile olacağı ve nasıl bir tepki olacağını belirlemek işleyicinin görev tanımındadır. İşleyiciler kendisine gelen girdileri işleyerek eyleyicilere iletmektedirler. İşleyiciler mekanik tepkiler işleyip değerlendirebildiği gibi dijital girdileri de değerlendirebilmektedir.

İşleyiciler, mekanik girdileri etkisini büyüterek ve küçülterek, türlerini değiştirerek işlemektedirler. Bunu yaparken mekanik aktarım yöntemlerini kullanmaktadırlar. Mekanik aktarımlarda dişli, miller, perçinli yüzeyler ve buna benzer mekanik araçları kullanılabilirler. Bu aktarımlarda etkinin mekanizmasının mekanik olarak farklılaşabilmesi gerekmektedir.

Algılayıcılardan gelen veriler işleyiciler tarafından değerlendirilmektedir. İşleyiciler karmaşık analizler yapıp çıkarımlarda bulunabilmekte ve muhakeme yapabilmektedirler. Bunun yanı sıra işleyiciler programlanan tepkiyi üretmek için tasarlanmış olan bir mekanizma olarak da yorumlanabilir. İşleyiciler insanın beyni gibi

davranırlar. Bu sayede verilerin işlenmesi için kurgulanmış adaptif bina mekanizmasının en önemli noktasını oluştururlar. Genellikle bir yazılım yoluyla yönetilmektedirler. Bu sayede girdileri değerlendirerek eyleyicilere nasıl bir emir göndereceklerini belirlemektedirler. Bu yönetimi yazılımların karmaşıklık düzeyine göre farklılaşabilen mekanizmalar sayesinde verileri yorumlayarak yapmaktadırlar.

Bu işleyiciler bazı durumlarda bina yönetim eklenerek konfor koşullarının artırılması ve cephelerin yönetilmesi gibi işlerde aktif olarak yer alabilmektedirler. Karmaşık yazılımlar ile birden çok veriyi ya da değişken verileri kullanarak çeşitli optimizasyonlar için programlanabilmektedirler. Bu sayede eyleyicilerin kontrolünü sağlayarak onların adaptif bir biçimde çalışmasına yardımcı olurlar.

Eyleyiciler tepki mekanizmasının son basamağını oluştururlar. İşleyicilerden gelen emirlerin doğru bir biçimde uygulanmasını sağlarlar. Bu emirler mekanik ve dijital olabilmektedirler.

Mekanik emirler doğrudan aktarım yoluyla yapılmaktadırlar. Örneğin bir dişlinin dönmesi sonucu diğer bir dişli aktif hale gelebilmekte ve son adım olan bir cephe modülünün açılmasını sağlayabilmektedir. Buna ek olarak mekanik tepkiler herhangi bir yazılım olmadan sadece mekanik bazı kurallar sayesinde tepkilerini eyleyicilere iletebilmektedirler. Bu aktarımlar da yine mekanik olmaktadır. Manüel olan bütün adaptasyon yöntemlerinde mekanik sistemler ve fiziksel uyaranlar kullanılmaktadır. Bu sayede son tepki de mekanik bir şekilde gerçekleşmektedir.

Binalardaki mekanik olmayan dijital adaptasyonlar ise amaçlanan etkileri yerine getirmek için çeşitli eyleyicilere bağlıdır. Aydınlatma, havalandırma, klima kontrolü, servo ve step motorlar, hidrolik ve pnömatik eyleyiciler ile çeşitli medya ekranları da bu kapsamdaki eyleyicilere örnek olarak gösterilebilmektedir. Eyleyiciler, konfor koşullarının sağlanmasında önemli rol oynamaktadırlar. Aynı zamanda çeşitli efektlerin yaratılmasında önemli bir role sahiptirler. Cephelerin hareket etmesini ve binaların bu sayede enerji tasarrufu sağlayabilmesine olanak tanırırlar.

2.4 Adaptif Mimaride Tasarım Stratejileri

Adaptif mimarlığın farklı tasarım stratejileri vardır. Sürdürülebilirliği sağlamak ve çevre ile etkileşimin artırılmasına yönelik olarak tasarlanan cepheler olduğu gibi

sanatsal amaçlar için tasarlanan adaptif mimarlık ürünleri de mevcuttur. Bu nedenle Adaptif mimarideki tasarım stratejilerini belirli başlıklara indirgemek gereklidir.

Tartışmaya daha detaylı açıdan bakmak için adaptif mimarlık literatüründe yer alan birkaç stratejinin vurgulanması yerinde olacaktır (Attia ve diğ., 2020; Heidari Matin & Eydgahi, 2019; Liu ve diğ., 2015; Loonen ve diğ., 2013; Loonen ve diğ., 2017; Megahed, 2018; Ochoa & Capeluto, 2008; Tabadkani ve diğ., 2020). Bu başlık altında sözü edilen stratejiler, adaptif mimarlığın tüm stratejilerini barındırmamaktadır. Çünkü bu stratejiler günümüz teknolojilerinin ve yaklaşımlarının öngördüğü ölçüde uygulanabilmektedir.

Dinamik olmaları adaptif binaların en önemli özelliği olarak görülebilir. Binaların çevresindeki değişikliklere göre tepki vermeleri ve onlar ile uyum içinde olmaları için dinamik olmaları gerekmektedir. Bu nedenle adaptif tasarım stratejileri literatüründe dinamik ve kinetik mekanlar ile bina kabukları sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Binalar vereceği tepkileri eyleyiciler yardımıyla görünür hale getirirler. Öyle ki binanın bütünü dinamik olarak tasarlanabilirken kimi durumlarda bir ögenin ya da bir yapı elemanı bloğunun dinamik olarak tasarlanması da mümkündür. Binanın uyaranlara karşı tepki vermesi ya da bir estetik kurgu oluşturması, dinamik olması sayesinde mümkün olmaktadır.

Bina yaşam döngüsü boyunca gerekli ihtiyaçlara göre tasarlanması bir diğer önemli adaptif bina tasarım stratejisi olarak görülebilir. Bu sayede binanın kullanıcısı değişse bile bina bu kullanıcıya adapte olabilecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bu anlamda binanın gerek kişi sayısına gerek ise işleve göre yeniden adapte olabilmesi gerekmektedir. Adaptif binalar gelecekteki ihtiyaçlar gözetilerek ve gereken değişimler öngörülerek tasarlanmalıdır. Bu adaptif tasarım yaklaşımı, binanın sürdürülebilirliğine katkı sağlamasına ve kalıcı olmasına zemin hazırlar. Adaptif binaların uzun vadede zamana göre ve ihtiyaca göre değişebilir olmasının yanı sıra adaptif binalar gün içerisindeki değişimlere ve daha kısa zaman dilimindeki değişimlere uyum gösterebilirler. Hızlı adaptasyonlar binanın adaptiflik seviyesini artırır. Uzun ve kısa vadedeki değişimlere adapte olacak şekilde tasarlanan binalar çevre ve kullanıcı ile ilişkinin daha iyi kurulmasına imkan tanır. Bu stratejinin uygulanmasındaki en önemli problem plansız değişen çevresel koşullar (iklim

değişimi, imar durumu değişiklikleri, yağış rejimi değişimi vd.) ve binanın tasarım aşamasında olmayan istisnai durumlar olarak özetlenebilir.

Adaptif binaların tasarım stratejilerinden bir diğeri ise kullanıcı odaklı olmalarıdır. Adaptif binalar kulacının konforunu ön planda tutarken çevresiyle uyum içinde olmak için tasarlanmalıdır. Kullanıcı konforunun değişkenliğine uyum gösterebilmelidirler. Adaptif binalar çevresinde olan değişiklikleri algılayarak kullanıcılarının bu değişimlerden olumlu bir biçimde etki görmesi için zemin hazırlarlar. Bu sayede konfor koşullarının optimum düzeyde tutulmasını sağlarlar. Aynı zamanda kullanıcı ile etkileşime geçerek, girdilere göre değişen tepkilerinin isabetli olup olmadığının denetlenmesini sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır.

Adaptif mimaride girdilerin, işleyicilerin ve eyleyicilerin uyumlu bir biçimde çalışması temel tasarım stratejisini oluşturmaktadır. Girdiler tasarımcının istediği şekilde değil kullanıcı konforunu sağlayacak ve çevresel değişimlere karşı uyum gösterecek şekilde uygun bir biçimde seçilmelidir. Aynı zamanda işleyiciler, binanın performansının optimizasyonunu sağlayabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Binanın karar verme mekanizmaları bu durum gözetilerek tasarlandığında bina hem sürdürülebilirliğe katkı sağlayacak hem de kullanıcı konforunu artırabilecektir.

Adaptif binaların tasarım aşamasında manuel veya otomatik olarak; elektronik, mekanik veya elektromekanik, pnömatik ve buna benzer pek çok sisteme uyum gösterecek şekilde tasarlanması stratejisi güdülmelidir. Bu sistemlerin yalnızca biri kullanılabildiği gibi hibrit sistemler ile çevreye ve kullanıcıya uyumlarının artırılmasında önemli bir tasarım stratejisi olarak görülebilir.



3. AKILLI BİNALARDA KONTROL STRATEJİLERİ VE KARAR VERİCİ SİSTEMLER

Kontrol stratejileri, binanın etkin ve doğru kararı verebilmesi için tasarlanmış karar verici sistemlerin yönetilmesini sağlayan mekanizmalardır. Binalarda kontrol stratejileri ve karar verici sistemler, bilgi ağlarındaki belirsiz verileri ve bilgi tabanlı yazılım algoritmalarını birleştirerek enerji durumlarını, termal yapılarını ve diğer çevresel parametrelerini öğrenebilirler. Bina yönetim sistemi, bina karar destek sistemine sahip "beyin" dir (Wigginton ve Harris, 2013). Kroner, bina yönetim sisteminin tüm bilgilerin harici algılayıcılardan, bilgi ağlarından geldiği merkezi işletim birimi olduğunu belirtmektedir. Çalıştırma elemanlarının uygun kontrollü tepkilerini tanımlar (Kroner, 1997). Akıllı bir bina yönetim sistemi, algılayıcılar ve istatistiksel veriler yardımıyla meteorolojik değişikliklere yanıt verebilir (Clements-Croome, 2004; Ghaffarianhoseini ve diğ., 2016). Pasif stratejilere dayalı sistemlerin maksimum kapasitesini kullanarak binalar ve cephelerindeki kontrol edilebilir unsurları harekete geçirerek sıcaklık, gün ışığı ve nem değerlerini ayarlamak en önemli fonksiyonlardan biridir. Akıllı binalar ve bileşenleri karar verme sistemleri, sınırlı veya gelişmiş makine öğrenimine sahip olabilir.

Binalardaki konfor problemlerinin çözümünde performatif bileşenler, kullandıkları optimizasyon sistemleri ile önemlidirler. Performatif bileşenlerin tasarlanmasında bilgisayar destekli tasarım üretim sistemleri kullanılmaktadır. Akıllı binaların ve bazı bileşenlerinin dinamik olması geleneksel tasarım yöntemleriyle pek mümkün görünmemektedir (Wigginton & Harris, 2013). Bunun en önemli nedeni binaların bileşenlerinin kontrol stratejilerinin denetimindeki, belirli karar destek sistemleri ya da karar verici sistemler ile yönetilmeleridir. Bu sistemler algılayıcılar tarafından algılanan verilerin çeşitli algoritmalar ve kural tabanlı mekanizmalar ile değerlendirilmesini sağlamaktadırlar.

Karar destek sistemleri ve karar verici sistemler, değerlendirmeler ve muhakeme sonuçlarına göre binanın sistemlerinin belirli bir kontrol stratejisine göre çalışmasını

sağlamaktadırlar. Bu algoritmalar ve sistemler, bilgisayarlar ve programlar yardımıyla optimum kararın verilerek tüm konfor parametrelerinin sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Bina içerisinde kullanılan sistematik algılayıcılar sayesinde, gerek görüldüğünde çeşitli algoritmalarla bunu hesaplayarak gereken yere ısı iletimi sağlamak ve bunu yaparken de pasif sistemlerin enerji etkinliğine katılımını artırmaktadır. Sistematik algılayıcılar, aynı zamanda dış çeperde de bulunmakta ve dışarıdaki hava sıcaklığını ölçerek gerektiğinde binanın performans parametreleri doğrultusunda dışarıya açılmasını sağlamaktadırlar.

3.1 Akıllı Binalar

Gelişmiş izleme ve kontrol sistemleriyle donatılmış binalar, akıllı binalar olarak kabul edilir (Clements-Croome, 2004; Ghaffarianhoseini ve diğ., 2016; Masri, 2015). Akıllı binanın ana yönü dinamik olmaktır. Binaların, çevrelerindeki değişikliklere tepki vermesi ve bunlarla uyumlu olması için dinamik olması gerekir (Attia ve diğ., 2015; Clements-Croome, 2004; Loonen ve diğ., 2015). Bu nedenle dinamik ve kinetik bina, akıllı mimarlık literatüründe sıklıkla karşımıza çıkmaktadır.

Tüm bina veya cephesi dinamik olarak tasarlanabildiği gibi, sadece cephenin bir unsuru veya bir bileşeni de dinamik olarak tasarlanabilir (Kolarevic & Parlac, 2015). Dinamik yapısı göz önüne alındığında, akıllı bina ve cephesi tepki verebilir ve performatif bir yapı oluşturabilir (Hammad & Abu-Hijleh, 2010; Johnsen & Winther, 2015; Wang ve diğ., 2012).

Akıllı sistemler tarafından yapılması gereken birincil işlevler, elektromekanik sistemlerdeki algılayıcılar, kontrol işlemcileri ve eyleyicilere karşılık gelen algı, muhakeme ve eylemler olarak tanımlanabilir (Hayes-Roth, 1995). Wigginton ve Harris'e göre, bina tasarımındaki çevresel hedef, bina konfor sistemleri için çaba göstermek, yenilenebilir enerji kaynaklarını, mevcut ısı kazanımlarını ve konfor koşullarını korumak için minimum enerji tüketerek başlangıçtaki toplam enerji ihtiyacını en aza indirmek olmalıdır. İdeal olarak, binanın kendisi bir “enerji santrali” dir (2002).

Akıllı bileşenler binaların kendi kendine yetebilmesine katkıda bulunmaktadır. Binalarda tüketilen enerji miktarı temel olarak yapıya, ısıl özelliklere, iklimsel özelliklere, binanın kullanım örüntüsüne ve aktif olduğu saatlere göre akıllı sistemin ısıtma, havalandırma, saatlerine ve binayı ısıtmak ve soğutmak için kullanılan sistemlerin özelliklerine bağlıdır. Tüm bu karar verme sistemi parametrelerine göre tasarlanan akıllı binalar, enerjinin verimli kullanılmasını sağlamak için çevreleri ile uyumlu çalışabilirler (Masri, 2015).

Gelişen teknoloji ile akıllı bina konsepti, günlük yaşamın bir parçası haline gelmiştir. Paralel olarak, gelişmiş izleme ve kontrol sistemlerine sahip binalar akıllı binalar olarak kabul edilir. Akıllı sistemler, belirsiz verileri bilgi ağlarında ve bilgi tabanlı yazılım algoritmalarında birleştirerek enerji durumlarını, termal yapılarını ve diğer çevresel parametrelerini öğrenme potansiyeline sahiptirler. Adaptif ve akıllı bina sistemleri, geçmiş ve son meteorolojik verileri ilişkilendiren ve iklim koşullarına adapte olan istatistiksel bilgilerle yenilikçi karar verme sistemlerinin tasarlanmasında önemli bir referans noktası olmuştur. Akıllı binalar sadece mevcut durumu değil, süreçteki istatistiksel bilgileri de değerlendirebilir.

Burada belirtildiği üzere, performans odaklı adaptif ve akıllı binalar, aşağıdaki özelliklerden bir veya daha fazlasının varlığı ile değerlendirilebilir:

- Mevcut çevresel gereksinimlere göre tasarlanmış performans odaklı araçlar ve bileşenler ile tasarlanmak;
- Eşzamanlı olarak enerji kullanımını veya depolanması açısından güneş ışınlarına tepki vermek;
- Güneş ışığını konfor koşullarına göre tahmin edici ve etkili bir şekilde kullanmak, engellemek veya depolamak;
- Havalandırma sistemine izin veren gelişmiş mekanik sistemlere sahip olmak;
- Dış cepheleri yönetmek veya kendi kendini kontrol eden bir mekanizma olarak çalışmak için bina otomasyon sistemine uyumlu bir kontrol sistemine veya modül içine gömülü bir karar verici sisteme sahip olmak;

Olarak özetlenebilir.

Akıllı binalar ve bileşenleri gerektiğinde performans odaklı davranarak, sıcaklığı kendi kapasiteleri ölçüsünde depolamaktadırlar. Isı depolamasının yanı sıra cephelerdeki güneş kolektörleri, güneş ışığının verimli olduğu zaman dilimlerinde mekanik sistemlerle yüzey alanlarını genişletmektedir. Genişleyen yüzeye gelen ışımaları elektrik enerjisine çevirerek depolayabilmektedirler. Binalarda ısı gereksinimi olduğunda bu elektrik enerjisini ısıya çevirerek bina içerisinde ısı gereksinimi olan yerlere yönlendirmekte ve binanın enerji korunumuna katkıda bulunmaktadır. Akıllı cepheler güneş ışınlarını, bütün bir bina kabuğunu güneş kırıcıları gibi kullanarak engelleyebilmektedirler. Bu engelleme sayesinde, iç mekana giren güneş ışığı miktarını optimize ederek binadaki sıcaklık düzeyini ayarlayabilmekte ve bu ışığı batarya benzeri depolama ünitelerinde, elektrik olarak depolayarak gerektiğinde ısıtma ve soğutma işlemlerinde de kullanabilmektedirler.

Akıllı binalar ve bileşenleri, görsel konfor problemlerine çözüm olarak, doğal ışığın etkin bir biçimde kullanımına göre kurgulanmışlardır. Bunun sağlanamadığı durumlarda yapay aydınlatmayı kullanıcı ihtiyaçlarına göre adapte edebilmek ve ışık değişimlerine performans odaklı tepkiler verebilmek için tasarlanmışlardır. Yapay ışık kullanımının bina kullanıcılarına ek bir maliyet getireceği bilindiğinden, akıllı binalarda doğal ışık kullanımına daha çok önem verilmektedir. Doğal ışık (güneşe bağlı olduğundan) iç mekandaki sıcaklık düzeyleri üzerinde de etkili olmaktadır. Bu nedenle, ideal miktarda doğal güneş ışığından yararlanamayan mekanların bulunması binalardaki konforu azaltmakta ve performans değerlerine negatif yönde katkıda bulunmaktadır. Akıllı binalar ve bileşenleri güneş ışığının etkisini iyileştirerek uygun aydınlatmayı pasif ve doğal olarak sağlamaya katkıda bulunabilmektedirler. Bunlar, engelleme ya da depolama hareketi dışında, parlaklığın farklı olduğu durumlarda da yüksek düzeydeki güneş ışığını süzmekte ve bu sayede mekanın konfor düzeyine katkıda bulunmaktadır.

Örneğin, bilgisayar destekli tasarım ve üretim sistemlerinin kullanıldığı parametrik tasarımların kullanımı sayesinde, bütünüyle güneş kırıcısı gibi hareket eden akıllı cepheler inşa edilmiştir. Cephelerin akıllı ve adaptif oluşu ve parametrik örüntülerle bu dinamikliğin sağlanması aynı zamanda estetik açıdan da önemlidir. Güneş kontrolü için hareket eden cepheler aynı zamanda çeşitli parametrik algoritmalar ile yönetildiğinden estetik çeşitli kurgular ortaya çıkarmakta ve cephelerde çeşitli mimari

örüntülerin oluşmasını sağlamaktadır. Gerektiğinde eksenler boyunca hareket eden cepheler yeni formlar oluşturulmasına da katkıda bulunmaktadır. Bu yeni formların oluşturulması binanın sıradanlığının kırılması ve estetik fark edilebilirliğinin de artmasını sağlamaktadır.

İşitsel konfor sorunları iç mekandaki gürültüyü ve sesin berraklığını azaltan her şeyi kapsamaktadır. İşitsel konfor problemlerinde ise gürültü özellikle şehirdeki yoğunluğun artması; beton, asfalt gibi ses yansıtıcı malzemelerin daha fazla miktarlarda kullanılması, yerleşim yerleri veya binalar arasında gerekli mesafelerin bulunmaması (bitişik nizamlar ile ses duvarı oluşumu gibi) ve bina fonksiyonlarının belirli bölgelerde farklılaşması (endüstriyel alanların yaşam alanlarına doğru kaymaları) gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır.

Akıllı binalarda işitsel konfor sorunlarının çözümü için en önemli bileşenler cephelerdir. Bunlar, gelen seslerin ölçümünü yaparak onları sönmüleyebilecek veya gerektiğinde ses izolasyonunu sağlayabilecek şekilde tasarlanmışlardır. Parametrik olarak tasarlanan dinamik cephelerde, ses probleminin olduğu yerler algılayıcılar aracılığıyla tespit edilerek, belirlenen yerlerde katman kaydırma (yeni bir katmanı kaydırarak katman sayısını değiştirme vb.) ya da ses kaynağına yakın olan cephe elemanını kalınlaştırma (ya da ses kesici bir gaz ile şişirme vb.) gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu sayede sesin yükseldiği yerlerde kaynağına yakın olan cephe elemanı harekete geçerek o sesi sönmümler ve içeriye o sesin gelmesini engelleyecek sistemi aktifleştirerek kontrol algoritmasının çalışmasını başlatır.

Sistem kendi önlemini aldıktan sonra tekrar algılayıcılarla ölçüm yapar ve eğer yeterli miktarda ses sönmümlenmesi sağlanamamışsa başka bir önlem almak için tekrar bir hesaplama yapar ve algoritmayı tekrar çalıştırır.

Binalarda sağlıklı hava için havalandırma şarttır. Bina kullanıcıları konfor düzeyi daha yüksek ve enerji korunumu daha iyi seviyede olan mekanlarda yaşayabilmek için pasif havalandırma sistemlerini kullanabilmektedirler. Binalarda hava sirkülasyonunun yeterli düzeyde olmaması, havadaki karbondioksit miktarını artırarak havanın sağlıklı olmasına sebep olabilir. Aktif havalandırma sistemlerinin kullanılması, binanın işletim maliyetini artırmasından ve sürdürülebilirliğe olan olumsuz etkisinden dolayı etkin bir çözüm olarak görülmemektedir. Binadaki nem oranının belli bir

düzeşin üzerine çıkması ve nemin tahliye edilememesi binanın servis ömrünü kısaltmakta ve zaman içerisinde binaya zarar vermektedir.

Akıllı cephelede gerektiğinde cephenin açılarak hava kalitesini artırması sağlanabilmektedir. Hava kalitesi algılayıcılarının tepki mekanizmasını başlatması sayesinde, gerektiğinde binanın içerisindeki hava kalitesinin yetersiz olmasına bağlı olarak, cephe bütün olarak ya da kısmen açılarak cephenin havalandırılması sağlanmaktadır. Bu sayede bina pasif olarak havalandırılmakta ve binanın sağlıklı olmasına katkıda bulunmaktadır. Bunu yaparken ısı ve görsel konforu da göz önünde bulunduracaktır. Akıllı cephelelerin işletim süreçlerinde cephenin temiz havayı içine alabilmesi için oluşturulması gereken açıklıklar (porlar ve yarı geçirgen yüzeyler), buralardan gelen yabancı maddeleri de gerektiğinde süzebilmekte ve sadece temiz havanın iç mekana dahil edilmesini sağlamaktadır.

Akıllı binalar, tüm konfor sistemlerinin birlikte çalışmasını sağlayarak, gerekli cephe hareketlerinin binayı her yönden konforlu hale getirmesini sağlamaya yardımcı olurlar. Akıllı sistemin performans çıktıları analiz edilirse, yönetilen bazı parametrelerin algoritmalar tarafından kontrol edildiği tespit edilebilir. Bu sistemler diğer mekanik ve elektronik sistemlerle birlikte çalışır ve karar destek mekanizması, tasarım sürecindeki karar boşluklarını doldurur. Aynı zamanda, tasarım sürecinden itibaren çevre koşullarındaki değişikliklere göre cepheyi kontrol ederek iç mekan konforunu daha da artırmayı hedefler. Ayrıca bu karar destek sistemleri, aldıkları kararlarda iki konfor parametresinin birbiriyle çelişmemesini sağlamak için kurgulanmış algoritmaları kullanır (Luna-Navarro ve diğ., 2018; Tabadkani ve diğ., 2020). Örneğin; kışın pasif sistemle ile havalandırma yapmak sıcaklık parametresi ile çatıştığından hava kalitesinin bir yaz gününe göre düşük seviyede olması kabul edilebilirdir. Bu tür çatışmaların çözümü dördüncü bölümde detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

Bina tasarımındaki enerji etkinliğine dair hedef, bina konfor sistemlerini çalıştırmak, mevcut enerji durumunu korumak ve bu sayede dışarıdan alınması gereken enerjiyi minimize etmek olmalıdır. Enerjinin minimize edilmesi de yeterli değil ise var olan enerjiyi ileride kullanmak üzere depolamaktır. Diğer bir ifade ile, ideal olanı binanın kendi kendinin “güç istasyonu” olmasıdır (Clements-Croome, 2004; Ghaffarianhoseini ve diğ., 2016; Wigginton & Harris, 2013). Binaların kendi kendine

yetebilmesinde, akıllı bina tasarım yaklaşımlarının önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Bir binada tüketilen enerji, binanın yapısına, binanın ve çevresinin ısı özelliklerine, binanın bulunduğu yerin iklim özelliklerine, binanın kullanım süresi örüntüsüne, binayı ısıtmak ve soğutmak için kullanılan aktif sistemlerin yapısal özelliklerine bağlıdır. Tüm bu parametreleri değerlendiren akıllı binalar, çevre ile uyum içinde dengeli bir biçimde çalışabilir ve enerjinin verimli kullanımına katkı sağlayabilirler. Bu özellikleri sayesinde Akıllı binalar, günlük yaşamımızda daha sık karşılaştığımız bir kavram haline gelmektedir.

Wigginton ve Harris (2004) binaların ve binaları oluşturan tüm sistemlerin akıllı olarak tanımlanabilmesi için gerekli olan başlıca özellikleri; bina yönetim sistemi, çevresel verileri algılayan algılayıcılar, duyarlı yapay aydınlatma ve güneş kontrol elemanları, havalandırma kontrol elemanları, kullanıcı kontrolü ve çift katmanlı cephe elemanları olarak belirtmiştir.

3.1.1 Akıllı bina tasarım yaklaşımları

Teknolojinin gelişimine paralel olarak akıllı binaların mimari tasarım yaklaşımlarında daha sıklıkla kullanıldığı gözlemlenmektedir. Akıllı binalar enerji tüketimlerine göre farklı ölçeklerde ve kurgularda tasarlanabilirler. Özellikle çeşitli enerji ve sürdürülebilirlik sertifikaları açısından değerlendirildiğinde, farklı bakış açılarının akıllı bina tasarım yaklaşımlarını ve ilgili kavramları şekillendirildiği görülebilir. Bu doğrultuda günümüz literatüründe akıllı bina tasarım yaklaşımlarının kullanıldığı kavramlar;

- Yeşil Bina (Green Building) (Council, 1996; Olubunmi ve diğ., 2016; Yudelson, 2007, 2010),
- Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina (N-Zeb, Nearly Zero Energy Building) (Annunziata ve diğ., 2013; Congedo ve diğ., 2015; D'Agostino & Mazzarella, 2019; Kurnitski ve diğ., 2011; Pikas ve diğ., 2014),
- Sıfır Enerjili Bina (Zeb, Zero-energy Building)(Attia, 2020; Lund ve diğ., 2011; Marszal ve diğ., 2011; Williams ve diğ., 2016),

Olarak özetlenebilir. Bu kavramlar bina tasarım yaklaşımlarındaki paradigma değişikliklerini gözleyebilmemiz için anahtar kelimeler olarak değerlendirilebilirler.

Akıllı çeşitli binalar kontrol türlerine ve farklı zaman ölçeklerine göre tasarlanabilirler (Loonen ve diğ., 2015; Loonen ve diğ., 2013; Tabadkani ve diğ., 2020; Zarzycki & Decker, 2019).

Bina kontrol türleri, dışsal ve içsel olmak üzere ikiye ayrılır (Loonen ve diğ., 2013). Algılayıcılar, işlemciler ve eyleyiciler, karar vermek ve yanıt vermek için dışsal kontrol stratejilerinde kullanılır. Dışsal kontrol sistemlerinin geri bildirim mekanizması sayesinde, akıllı bina, kendi kararının sonuçlarını ölçebilir ve gerektiğinde eyleyiciye ilettiği kararlarda revizyonlar yaparak cephenin yeniden adapte olmasına izin verebilir.

Dışsal kontrol sistemleri merkezi ve dağıtık olarak ikiye ayrılır. Merkezi kontrol sisteminde, binanın tüm işletim sistemleri ve kontrol sistemleri "beyin" adı verilen tek bir yapı ve hiyerarşiye bağlıdır (Wigginton ve Harris, 2002). Bu hiyerarşi tüm bileşenleri değerlendirir ve buna göre karar verir (Grobman & Yekutieli, 2013). Merkezi sistemler, işlemcileri tek bir merkezde toplamak açısından avantajlı sistemlerdir. Ancak bazı bölgesel sorunların çözümünde dezavantajlı sistemler olarak değerlendirilebilirler. Dağıtık sistemler, bireysel veya modüler işlemcilerin kendi kararlarını değerlendirerek verileri işleyen gömülü sistemler olarak tanımlanabilir. Bu sebeple dağıtık sistemlerde alınan karar, yalnızca o bölgedeki ünitenin eyleyiciler tarafından etkinleştirilmesini sağlayarak bölgesel yanıtı izin verir (Loonen ve diğ., 2013). Bu sistemlerin entegrasyonunun bina otomasyon sistemine adapte edilmesi, merkezi sistemlere göre daha zordur. Bununla birlikte, akıllı binanın belirli bölgelerindeki birden çok kişi ve değişken iklim koşullarına daha hızlı ve daha etkili yanıt verebilirler.

İçsel kontrol stratejileri, doğal potansiyelleri içeren iklime uyumlu akıllı tasarım stratejisi olarak tanımlanabilir. Kontrol edilen akıllı bina, nem, sıcaklık, rüzgar hızı ve hava kalitesine göre içsel olarak tepki verir. İçsel tasarım stratejilerindeki tepkiler genellikle akıllı ve adaptif malzemelerle sağlanır (Attia ve diğ., 2020; Liu ve diğ., 2009; Loonen ve diğ., 2013; Wigginton & Harris, 2013; Yoon, 2020).

Akıllı binalar çeşitli çevresel etkilere maruz kalarak tasarımları gereği bu uyarılara uygun tepkiler vermektedir. Bu tepkilerin ölçekleri eş-zamanlı ya da saniyenin altında olabileceği gibi günlük veya mevsimlik ölçekte de olabilmektedir.

Bu ölçeğin belirlenmesinde uyarının öncelik durumuna kullanıcının seçimleri gibi pek çok parametre belirleyici olabilmektedir. Bu zaman ölçekleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Saniye: bu ölçekteki tepkiler genellikle stokastik olarak çalışırlar. Yağış veya kuvvetli esinti gibi uyarılar genellikle bu zaman ölçeğinde tepki vermek üzere tasarlanmışlardır. Aynı zamanda ofis binaları gibi fonksiyonu özelleştirilmiş binalarda ışık miktarı ve yansıma düzeyleri görsel konfor açısından çok önemli olduğundan ışık seviyesi de bu ölçekte tepki vermeye ayarlanabilirler.
- Dakika: Bulutlu hava durumlarında doğal ışığın kullanılabilirliğini sağlamak amacıyla, akıllı cephelerin tepki süresi dakika ölçeğinde tepkiler vermek üzere tasarlanabilirler. Enerji talebini azaltmak ve görsel konforu artırmak için gün ışığı kullanımını ve güneş gölgelemeyi optimize etmeyi amaçlayan tüm adaptif ve akıllı cephelerin şeffaflık derecelerini dakikalar içerisinde değiştirebilirler. Aynı zamanda düşünen veya öngören binalarda çatışan parametreler olması durumunda da benzer şekilde tepki süresi dakika ölçeğine ulaşabilir.
- Saat: Güneşin gökyüzünde açılma hareketinin doğrudan etkili olduğu bir süreçtir. Güneşin yörüngesel doğuş ve batış hareketlerinin esas alınarak düzenlenmesi süreçlerinde ölçüm süreleri de saat ölçeğine göre ayarlanabilmektedir. Tüm bu yönüyle bina için, insanın biyolojik saatine yakın bir görev görürler.
- Gün: Genelde bina kullanıcısının hareketlerine yönelik tepkiler veren binalarda kullanılmaktadır. Örneğin tek bir kişinin yaşadığı bir konutta o kişi belirlediği iki gün boyunca evi kullanmıyor ise akıllı sistemler bu duruma göre tasarlanabilmektedirler. Bu süre zarfında bina kendini enerji korunum moduna alarak kullanıcı konforu parametresi yerine enerji tasarrufunu öncelikli parametre haline getirebilmektedir.
- Mevsim: Mevsimlerdeki çevresel koşullardaki değişkenliğe uyum sağlamak, akıllı binalarda sıklıkla görülen bir tasarım yaklaşımıdır. Kış, ilkbahar, yaz ve sonbaharın tümü, tüm iklim tiplerinde kendine özgü farklı ihtiyaçlar ve sistem ayarlamalarına ve katmanların yeniden yapılandırılmasına ihtiyaç duyabilirler. Akıllı sistemlerin sağladığı bu adaptasyon sayesinde önemli performatif faydalar ve enerji kazanımları sağlaması beklenmektedir. Bu ölçekteki

adaptasyonlar sayesinde, özellikle binanın dış katmanları sıcaklığı ya da ışığı depolayabilmekte, engelleyebilmekte veya uygun bir biçimde süzebilmektedirler.

Tüm bu akıllı bina tasarım yaklaşımları düşünüldüğünde binanın konumu, tasarlandığı iklim bölgesi, kullanıcı istekleri gibi pek çok tasarım sorusu belirlenen bu yaklaşımları şekillendirerek en verimli ve konforlu binayı kullanıcıya sunmayı hedeflemektedirler.

3.2 Akıllı Cepheler

Cephe, aktif ve pasif sistemler aracılığıyla konfor koşulları sağlayarak dış ve iç mekanın önemli bir rol oynadığı katman olarak tanımlanabilir (Moghtadernejad ve diğ., 2019; Romano ve diğ., 2018). Standart cephe malzeme ve sistemlerinin yaygın kullanımı göz önünde bulundurularak, iç mekan konforunda pasif sistemlerden daha çok ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri gibi aktif sistemler kullanılmaktadır (Freewan, 2014; Kim ve diğ., 2012). Ancak aktif sistemler, işletme maliyetleri ve çevreye olan negatif etkilerinden dolayı, verimliliğine ve çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmazlar, aktif sistemler verimli bir çözüm değildirler. Çeşitli kontrol stratejileri ve akıllı sistemlerle kontrol edilen malzemelerden oluşan yenilikçi ve performatif yapı elemanları ve akıllı cephe sistemleri, aktif sistemlerin dezavantajlarına yanıt olarak önerilmektedir (Hayes-Roth, 1995).

Akıllı cephe terimi, bir cephenin çevresel koşullara göre değişme hassasiyetini göstermelidir (Fox & Yeh, 2000). Wigginton ve Harris'e göre bir cephenin akıllı olarak tanımlanması için aşağıda belirtilen sistem özelliklerinden çoğunun veya tümünün bulunması gerekmektedir (2002):

- Bina yönetim sistemi,
- Çevresel veri algılayıcıları,
- Hassas yapay aydınlatma
- Güneş kontrol elemanları,
- Havalandırma kontrol elemanları,
- Kullanıcı kontrolü,
- Çift katmanlı cephe elemanları.

Akıllı cepheler, kısıtlı dış mekan etkileşimi ile enerji verimliliğini artıran bina katmanlarıdır. Çevresel faktörlere göre farklılık gösterebilen, bina konforunu artıran, sürdürülebilir bir bina sağlayan ve binanın işletme maliyetlerini azaltan akıllı cepheler, binanın ömrünü uzatmak için etkili bir çözüm olarak kabul edilebilir (Borg ve diğ., 2016; Wang ve diğ., 2012). Tüm bu özellikleriyle adaptif ve akıllı cephelerin, statik cepheden üstün oldukları söylenebilir (Hammad & Abu-Hijleh, 2010; Johnsen & Winther, 2015). Ayrıca Hasselaar, akıllı cephenin statik cephelerden, özelliklerini adapte edebilecek ve değişen çevre koşulları arasında aracılık edebilecek şekilde farklı olması gerektiğini belirtmiştir (Hasselaar, 2006). Buna ek olarak; ısı, ışık, nem, yağmur, güneş radyasyonu, gürültü gibi fonksiyonel talepleri karşılamak için; akıllı cephe, iç ve dış çevre etkilerine uygun şekilde yanıt vermelidir (Attia ve diğ., 2015; Struck ve diğ., 2015).

Akıllı cephe, çevresel parametreleri etkin bir şekilde kontrol ederek, bina kullanıcıları için konforlu ve optimum koşullar temin etmektedir (Gupta ve diğ., 2016; Rossi ve diğ., 2012). Ayrıca cepheler, rahat bir alan sağlamak için ihtiyaç ve tercihlere anında cevap vererek iklim koşullarına uyum sağlar ve enerji tasarrufu sağlamaktadır (Loonen ve diğ., 2013; Karakoç, 2015). Akıllı cepheler genellikle iç ve dış mekanları ayıran ve işlevlerini, özelliklerini veya davranışlarını geçici performans gereksinimlerine ve özel koşullara göre zaman içinde değiştirebilen çok işlevli sistemler olarak tanımlanmaktadır (Loonen ve diğ., 2015; Struck ve diğ., 2015).

Akıllı cepheler, kontrol sistemlerinin, akıllı malzemelerin, yenilikçi bina detaylarının kullanıldığı ve günümüz teknolojik yaklaşımlarının uygulandığı iç ve dış ortamları ayıran bina katmanlarıdır (Clements-Croome, 2004; Hayes-Roth, 1995; Knaack & Klein, 2008; Kroner, 1997; Masri, 2015; Velikov & Thün, 2013). Ayrıca, optimizasyona yönelik karar verme sistemleri, akıllı malzemeler ve diğer teknolojik ayrıntılar kullanılarak adaptif cepheler aracılığıyla binaların sürdürülebilirliğe olan katkısı artırılmaktadır (Attia ve diğ., 2015). Kontrol ve malzeme teknolojisi gibi teknolojik gelişmelere paralel olarak adaptif ve akıllı cepheler için potansiyel uygulama alanları sürekli gelişmektedir (Shahin, 2019). Akıllı cephenin uygulanabilirliğine yardımcı olan bir diğer teknolojik ilerleme, algılayıcı teknolojilerinin geliştirilmesidir (Panchalingam & Chan, 2019).

Akıllı cepheler ve malzemeler adaptiftirler ve buna bağlı olarak değişken ihtiyaçlara cevap verirler (Fox & Yeh, 2000). Akıllı cepheler, gelişen malzeme teknolojisine paralel olarak mimarlık alanında önemli bir rol oynama potansiyeline sahiptir. Performans odaklı adaptif ve akıllı cephelerde optimizasyon, kullanılan akıllı malzemeler ve bileşenler sağlanabilmektedir.

Adaptif ve akıllı cepheler, çevresel faktörleri etkin bir şekilde kontrol ederek kullanıcıya rahat ve ideal koşullar sağlar. İklim değişikliğinin sürekli yaşandığı bölgelerde, çevreye uyum sağlayabilecek binalar tasarlanmalıdır. Dahası, bu tür cepheler mevcut hava koşullarına adapte olur, enerji tasarrufu sağlar ve kullanıcılara rahat alan sağlamak için ihtiyaçlarına ve tercihlerine hızlı bir şekilde cevap vererek yardımcı olmaktadır (Attia ve diğ., 2019; Attia ve diğ., 2018; Loonen ve diğ., 2013). Adaptif ve akıllı cepheler genellikle iç ve dış mekanı ayıran çok işlevli sistemler olarak tanımlanır ve geçici performans gereksinimlerine ve özel koşullara göre zaman içindeki işlevlerini, özelliklerini veya davranışlarını değiştirebilmektedirler (Bakker ve diğ., 2014; Loonen ve diğ., 2015).

3.2.1 Akıllı cephe prototipleri

Adaptif Cephelerin kontrol sistemleri birden fazla parametrenin optimize edilmesini sağlayan karar verme mekanizmasına sahiptir. Bu mekanizma sayesinde, cephe optimum kararları hedefleyerek verimli çalışır. Karar verici sistem, cepheyi çoklu parametrelere göre optimize eder ve cepheyi gelişmiş algoritmalar yardımı ile yönetir.

Akıllı cephe prototipleri Çizelge 3.1'de gösterilen eyleyici mekanizmalarına, hareket tiplerine, malzeme sistemlerine ve kullanılan algoritmalar ve yazılımlara göre incelenmişlerdir. Seçilen prototipler dağıtık karar verme mekanizması ile tasarlanan ve henüz endüstriyel uygulaması olmayan modellerdir.

Çizelge 3.1 : Literatürdeki dağıtık kontrollü akıllı cephe prototipleri.

Makale Başlığı ve Yazarları	Prototipin Adı	Algılayıcılar	Eyleyici	Hareket tipi	Malzeme	Yazılımlar ve Algoritmalar
Performative Building Skin Systems, (Biloria & Sumini, 2009)	The Stomata Membrane	Sıcaklık, aydınlık, nem, rüzgar	Motorlar ve doğrusal eyleyiciler	Doğrusal hareket (bitki stomasına benzer)	ETFE levhalar, metal çerçeve	Generative component, Max msp&jitter
Adaptive Distributed Robotics for environmental Performance, Occupant Comfort and Architectural Expression, (Rossi ve diğ., 2012)	Adaptive Solar Envelope (ASE)	Işık algılayıcıları, ince PV film	Servo motorlar	Mekanik dönme ve güneşi takip etme	İnce PV film	Arduino, Q-learning
Integration of Environmental Sensors with BIM: API, (K. M. Kensek, 2014)	-	Fotosel (Işık)	Servo motorlar	45 derece dönme	Ahşap panel	Revit. Dynamo, Arduino, Processing
Integrating Physical and Digital Prototypes Using Parametric BIM in the Pursuit of Kinetic Façade, (Mallasi, 2016)	-	Sıcaklık, aydınlık	Servo motor ve doğrusal eyleyici	Doğrusal Hareket ve dönme	Hafif gergi kumaş, ahşap çerçeve	Revit/API, Arduino
The Adaptive Solar Façade: From Concept to Prototypes, (Nagy ve diğ., 2016)	Adaptive Solar Façade (ASF) Module	Sıcaklık, ışık ve aydınlık, nem, PV	Esnek pnömatik silikon	Dönme, şişme, inme, güneşi takip etme	Bükülmüş lazer kesim çelik	Arduino, EasyVR, Diva
Sunshades About Designing Adaptable Solar Façades, (Carl ve diğ., 2017)	Miuso	Işık algılayıcıları	Pnömatik valfler	Katlanma, dönme, şişme, inme	Organik PV	Grasshopper Arduino, Solar Swarm

Çevresel algılayıcılar incelendiğinde, ışığa duyarlı olan algılayıcıların fotosel olarak da kullanılabileceği görülmüştür. Işık algılayıcısı ve sıcaklık algılayıcısı, akıllı cephelerin birçoğunda ortak bir bileşen olarak kabul edilebilir. Bu nedenle tüm prototiplerdeki ölçümlerde, önceliğin güneş etkisi olduğu anlamına gelmektedir. Işık algılayıcılarının yanında sıcaklık ve nem algılayıcıları de bütünleşik ya da ayrı olarak kullanılmaktadır. Bu algılayıcıların her birinin eyleyicilerin kontrol edildiği mekanizmayı farklı hızlarda ve şekillerde etkilemektedir. Ayrıca bazı algılayıcılar arasında bir hiyerarşi gözlemlenmektedir.

Çizelge 3.1 incelendiğinde, eyleyiciler arasında, ortak bir bulguya ulaşamamıştır. Her prototip, bulunduğu çevreye, işlevine ve tasarım sorununa özel olarak tasarlanmışlardır. Genel olarak, motorlu eyleyiciler ve pnömatik eyleyiciler olarak iki ana yaklaşımdan bahsedilebilir. Motorlu eyleyiciler servo ve step motorlar iken pnömatik eyleyiciler ise valfler ve esnek sistemlerdir. Eyleyiciler, hareket türlerini ve tasarımlarını belirlemede çok önemli bir rol oynamaktadırlar. Hareket türleri, eyleyici mekanizmalarında olduğu gibi tasarıma ve koşullara göre değişen bir yapıya sahiptir.

Çizelge 3.1'deki örnekler incelendiğinde, herhangi bir ortak hareket tipi bulunmamaktadır. Motorlu eyleyiciler doğrusal, dönme ve güneş izleme hareketleri gözlenirken, pnömatik eyleyicili sistemlerde hava atarak inme ve şişirme hareketleri gözlenmektedir. Malzeme sistemleri hareket düzenlerine ve eyleyicilerin biçimine ve sistemine göre değişiklik göstermektedir. Her tasarım, farklı malzeme sistemlerine göre yapılmakta ve uygulanmaktadır. Tüm cephelerde dış mekan kullanımına uygun malzemeler seçilmiştir. Algoritmalar ve yazılımlar incelendiğinde, iki durum dışında her durumda Arduino kullanımı öne çıkmaktadır. Arduino, ekonomik olarak uygun, öğrenmesi ve prototipe uygulanması kolay olduğu için model üretimlerinde yaygın bir şekilde kullanılan bir sistemdir.

Literatürde, adaptif cephe tasarımı parametrelerinin çatışması için iki ana sebepten bahsedilmektedir. Her şeyden önce, bu çatışmalar, farklılaştırılmış konfor koşulları isteyen kullanıcılar tarafından ortaya çıkar. İkincisi, kullanıcılar ve karar verme algoritmaları arasındaki çatışmalardır (Luna-Navarro ve diğ., 2018).

Ayrıca, birbirleriyle çatışan parametrelerin optimizasyonu ile ilgili problemler ortaya çıkabilir. Örneğin; dış parlaklık miktarı konfor koşullarından yüksek olduğunda, cam

tabaka opak hale dönüştürülür. Opak cam tabaka aynı zamanda iç kısmın güneş ışığından yoksun kalmasına ve iç mekânın soğumasına neden olur. Benzer durumlarda parametrelerin birbirini etkilemesi, adaptif cepheleri kontrol eden daha verimli karar verme algoritmaları tasarlamının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

3.2.2 Gelişmiş akıllı cepheler

Bina gibi hem kullanıcı hem de fiziksel çevreye uyum sağlama durumunda olan karmaşık sistemlerde ise yukarıda bahsedilen türlerin hibrit olarak kullanılması son dönemde yaygın biçimde gözlenmektedir. Gelişmiş olarak nitelendirilebilecek bu akıllı ve adaptif cepheler, bir binanın ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma gereksinimlerine katkıda bulunabilecek iklim koşullarına cevap verebilecek ve enerji tasarrufu önlemleriyle iç mekanın konforunu artırabilecek verimli ve ayırıcı bir katmandır. Gelişmiş ve diğer enerji verimli cephe konseptleri arasındaki temel fark, akıllı yapı elemanlarının, bina izleme sistemlerinin ve enerji sistemlerinin gelişmiş kontrolle birlikte uygulanmasıdır (Ad ve diğ., 2011). Ek olarak, gelişmiş cepheler, farklı özelliklerin aynı cephe sistemi içerisinde bütünleşik bir şekilde birleştirilebilmesi nedeniyle farklı kategoriler altında değerlendirilebilir. Gelişmiş cepheler aynı anda, kinetik, akıllı, etkileşimli ve tepkimeli cephelerin birinin veya birden fazlasının özelliklerini gösterebilirler. Bu yönüyle gelişmiş cepheler hibrit sistemler olarak nitelendirilebilirler.

Akıllı cephelerin uygulama alanları günümüzdeki teknolojilerin gelişmelerine paralel olarak belirgin hale gelmektedir. Bu cephelerin potansiyellerinin artmasındaki en belirgin faktörler, karar verici kontrol mekanizmalarının gelişmesi, malzeme teknolojisinin ve tasarıma, üretime yardımcı olan yazılımların ara yüzlerinin gelişmesi olarak ifade edilebilir (Karakoç, 2015; Karakoç & Çağdaş, 2015).

Karar verici kontrol mekanizmaları, adaptif cephelerin etkin olabilmesi için tasarlanmış olan çeşitli kural tabanlı mekanizmalar ile elektronik, mekanik ya da elektromekanik sistemlerin ve ölçüm sistemlerinin bir arada kullanıldığı sistemlerdir. Uzman insanın hesaplama kapasitesinin çok daha üzerinde hassaslıkta ve netlikte, sayısal analizler ve hesaplamalar yapabilen sistemlerin, hesaplamalı tasarım alanının gelişimine paralel olarak, kullanıcı konforu için bekleneni daha iyi karşılayabileceği

öngörülmektedir. Aynı zamanda karar verici kontrol mekanizmalarının, sürdürülebilirliğe katkı sağlayacak olan Yeşil Bina, Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina, Sıfır Enerjili Bina gibi kavramların gelişmesine ve yaygınlaşmasına olan katkıları günümüzde daha da belirgin hale gelmiştir.

Malzeme teknolojisinin gelişmesi cephelerin dinamik olması açısından önemlidir. Son yıllarda öne çıkan yeniden yapılandırılabilir bileşenler ve adapte edilebilen yapı elemanları, cephenin dinamik tepkiler vermesini sağlamaktadırlar. Adaptif cephelerin üretilmesine katkı sağlayan malzemelerin daha da çeşitlenmesi ve çeşitli kullanımlara imkan sağlayan yeni kompozit materyallerin türevlerinin üretilmesinin (Fernandes ve diğ., 2013; Juaristi ve diğ., 2018; Kheybari & Hoffmann, 2019; Lee ve diğ., 2013; Yoon, 2020; Zarzycki & Decker, 2019) ve nano-teknolojinin ilerlemesine paralel olarak geliştirilen yeni malzemelerin (Gallo & Romano, 2017; Juaristi ve diğ., 2018; Reichert ve diğ., 2015; Yoon, 2020) inşaat ve mimarlık endüstrisinde bu cephelerin kullanılmasında ve yaygınlaşmasında büyük kolaylıklar sağlayacağı öngörülmektedir.

Tasarım sürecine yardımcı programlar, yazılımlar ve kodlar ile bilgisayar destekli tasarım ve üretim sistemleri (L. Aelenei ve diğ., 2018; Attia ve diğ., 2020; Azar ve diğ., 2020; Loonen ve diğ., 2015) yaygın olarak kullanılmasına karşın yakın gelecekte daha çok gelişeceği düşünülen bir alan olarak nitelendirilebilir. Yakın zaman içerisinde, hesaplamalı tasarım sistemleri ve yardımcı yazılımların, cephelerin tasarım ve üretiminde kullanılacak olan mimari unsurları ve bileşenleri tasarlayarak binanın katmanlarının üretiminde ve inşasında önemli olacakları öngörülmektedir.

3.3 Kontrol Stratejilerinin ve Karar Verici Sistemlerin Çalışma Prensipleri

Bina yönetim sistemi; akıllı binaların esas özelliği bina karar destek sistemi olan beyindir. Bina yönetim sistemi merkezi işletim ünitesidir, bilgilerin tamamı çeşitli dış algılayıcılardan ve bilgi ağlarından buraya ulaşır ve eyleyici elemanların uygun kontrollü tepkilerini tanımlar. Akıllı bir bina yönetim sistemi meteorolojik değişimlerini izleyerek kontrol edebilir. En önemli fonksiyonlarından biri binadaki kontrol edilebilir elemanları aktive ederek sıcaklığı ayarlamak ve bunu pasif sistemleri maksimum düzeyde kullanarak yapmaktır. Akıllı cephelerin karar destek sistemleri makine öğrenmesine dayalı öğrenme kabiliyetine sahip olabilirler. Bilgi ağları ve bilgi tabanlı yazılım algoritmaları belirsiz verileri birleştirerek, kendi enerji durumunu ve

termal yapısını öğrenebilen, geçmişteki ve yakın zamandaki meteorolojik verileri ilişkilendiren, iklimsel koşullara, istatistiki bilgilere adapte olan yeni karar destek sistemlerinin tasarlanmasında önemli bir nirengi noktası olmuşlardır.

Çevresel veriler; birçok akıllı bina iç ve dış çevresel koşullar arasında ilişki kuran eş zamanlı verileri toplayıp kaydedebilirler. Bu veriler genellikle akıllı sistemlerin kontrol kararlarındaki önemli belirleyicilerdir. En belirgin ölçütler, rüzgâr hızı ve yönü, dış ortam sıcaklığı, güneş ısı, dâhili hava ve oda sıcaklıkları, gün ışığı seviyesi ve bağıl nem oranı olmaktadır. Bu ölçümler genellikle algılayıcılar yardımıyla yapılmaktadır.

Duyarlı yapay aydınlatma, güneş ışığı ve ışımalarını kontrol eden bir sistem, enerji etkin bir aydınlatmanın ve ısı dengesinin en önemli ögesidir. Enerji etkin binalarda, optimum doğal ışık seviyesi ve sıcaklık ayarlanarak bina kendini enerjiyi en iyi kullanacak şekilde güdüler.

Akıllı aydınlatma sistemleri kullanıcı algılayıcıları aracılığıyla etkinleştirilebilmekte ve hassas aydınlatma seviyelerine karşı ayarlanabilmektedir. Gün ışığı kontrol elemanları, pasif sistemler ile enerji tüketimini azaltma ve gün ışığının maksimum düzeyde kullanma, enerji etkin tasarımının temel hedeflerinden biri olarak kabul edilmektedir. Işık geçirgenliği uygun ihtiyaçlara göre, değişken ve ayarlanabilir olmalıdır.

Güneş kontrol elemanları, güneşin binaların temel enerji kaynağı olarak kullanılması gerektiğinden yola çıkarak tasarlanmış olup günün belirli zaman aralıklarına göre kurgulanan algoritmalar ile kontrol edilirler. Bu algoritmaların tümü karar destek sistemlerine bağlı akıllı sistemler tarafından yönetilirler.

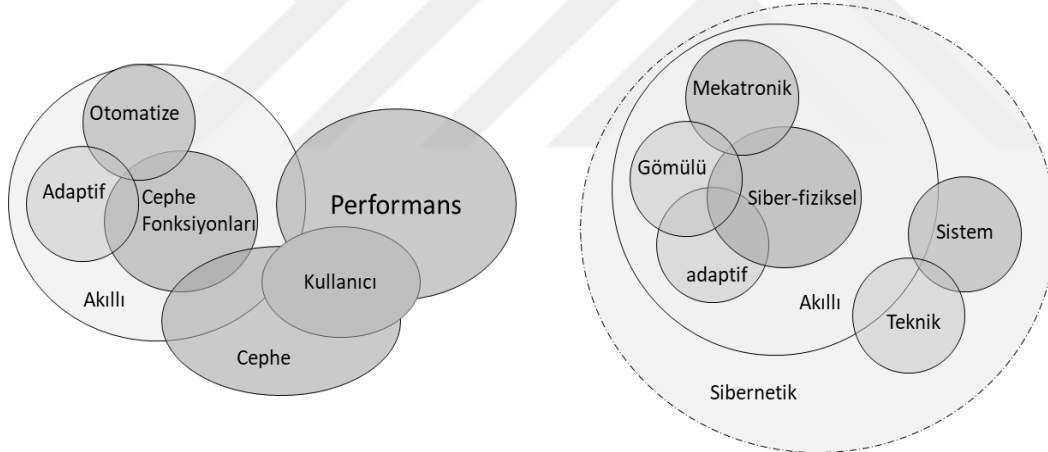
Havalandırma kontrol elemanları; havalandırma etkinliğinin artması ve hareketli kabuklar, elektromekanik cepheler gibi, bina sisteminin işletilebilir elemanları sayesinde daha yüksek oranda kullanıcı kontrolü için otomatik olarak ayarlanabilirler. Bu hareketli elemanlar şiddetli rüzgâr ve fırtına gibi sakıncalı durumlarda otomatik olarak kapanabilir. Akıllı karar destek sistemleri ve elektro mekanik sistemler doğal havalandırma yüzünden ortaya çıkan ses ve hava kirliliği gibi bazı temel problemlerin üstesinden gelmesine de yardımcı olmaktadır.

Kullanıcı kontrolü; Kullanıcılar tüm yakın çevrelerinin kişisel kontrollerini maksimum seviyede yapabilmelidir. Bu durum genellikle akıllı teknolojiler ile başarılabilir.

Sistemlerin gerektiği zaman el yordamıyla kullanılması ve kullanıcı varlığının tespitinin sağlanması sistemlerin verimli kullanılabilmesi açısından önemlidir.

Çift kabuk cephe; Çift kabuk cephe sistemi, gün ışığının maksimize edilmesi ve enerji performansını artırmak için fırsat yaratan ikincil cam örtünün ilave edilmesi ile oluşan bir sistemdir. Bu sistem gerekli katmanın aktif hale gelmesi ile sistemin optimize çalışmasını sağlar. Gerekli konfor koşuluna göre bir katmanın özelliğinin değiştirilmesini kontrol edebilir.

Literatürde, sınırların ve ayırt edici durumların belirsiz olmasından dolayı akıllı cepheler ve adaptif cepheler kavramı çok farklı kapsamlarda ele alınmaktadır. Kolarevic ve Malkawi'ye göre (2005) performans bütün durumları kapsarken; Böke, Knaack, Hammerling'e göre (2019) akıllı kavramı adaptif mimarlığı kapsar ve performans kavramıyla ortak alanları sınırlıdır (Böke ve diğ., 2019) (Şekil 3.1). Bu tez kapsamında performans kapsamının adaptif cephe ve akıllı cephe sistemleri kapsama durumu çeşitli yaklaşımların karşılaştırmalı olarak incelenmesi yoluyla tartışılacaktır.



Şekil 3.1 : Böke, Knaack, Hammerling' e göre cepheye yönelik kavramlar (solda) akıllı teknik sistemler (sağda) (kaynak çevirisidir) (Böke ve diğ., 2019).

Wigginton ve Harris'e göre binaların akıllılığı üzerine yapılan örnek çalışmalar göstermektedir ki cephe hem iç ortamdaki dış ortama, dış ortamdaki iç ortama enerji akışını hem de farklı yollarla da enerji akışını etkileyen, farklı işlevler, tasarlanma amacı ve karakteristiğine göre, akıllı binalarda ve cephelerinde gözlenmektedir. Bu İşlevler aşağıdaki gibi özetlenmektedirler (Wigginton & Harris, 2013):

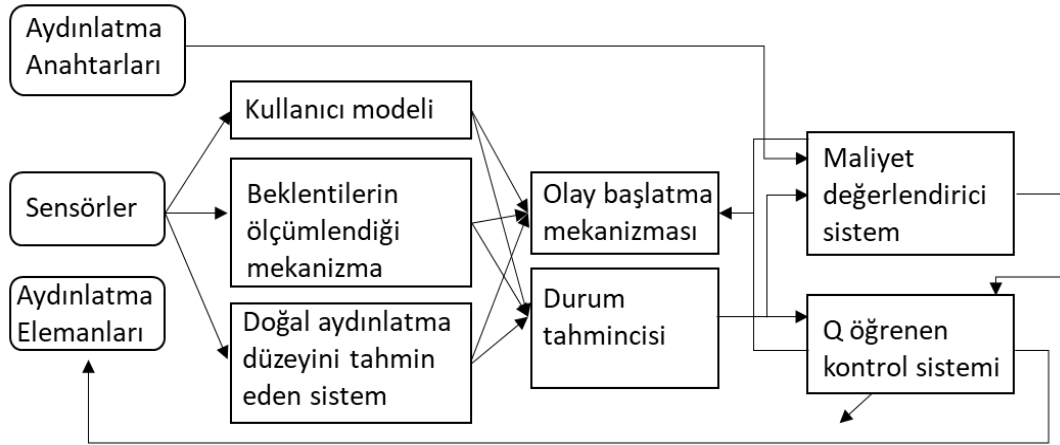
- Gün ışığını artırma (örneğin; ışık rafları/reflektörler)
- Gün ışığının maksimuma çıkarılması (örneğin yüksek oranda cam, atrium)

- Güneşten koruma (örneğin; panjurlar/jaluziler)
- Yalıtım (örneğin; gece panjurları, kepenkler)
- Havalandırma (örneğin; otomatik damperler)
- Isı toplama (örneğin; güneş kolektörleri)
- Isıyı uzaklaştırma (örneğin; konsollar/güneş kırıcılar)
- Sesin hafifletilmesi (örneğin; akustik damperler)
- Elektrik üretme (örneğin; Fotovoltaik yüzeyler)
- Basınç farklarının kullanılması (örneğin havalandırma bacaları)

Velikov ve Bartram tarafından Michigan Üniversitesinde bir araştırma projesi kapsamında geliştirilen Kuzey Evi prototipi (North House Prototype) tepkimelerin performans odaklı olması yönüyle önemli bir örnek olarak gösterilebilir (Velikov & Bartram, 2009; Velikov & Thün, 2013).

ALIS (Adaptive Living Interface System) olarak adlandırılan bu model, binanın pasif sistemlerini kullanarak enerji kullanımını minimize etmekte ve binanın çevre koşullarına optimum düzeyde tepki vermesine katkıda bulunmaktadır. İnternete bağlı bir karar destek sistemi yardımıyla dışardaki iklimsel durumun algılanması ve panellerin motorlar yardımıyla kontrol edilmesi sağlanmaktadır (Velikov & Bartram, 2009).

Michael Mozer ve ekibinin Colorado Üniversitesi'nde geliştirdiği Adaptif Ev Projesi (Adaptive House Project) enerji optimizasyonu için, bina otomasyon sistemlerinin kullanıldığı aktif ve pasif sistemleri bir arada kullanmayı amaçlayan performans odaklı bir örnektir (2004). Tasarımın işleyişi ve akış şeması şekil 3.2'de gösterilmiştir.



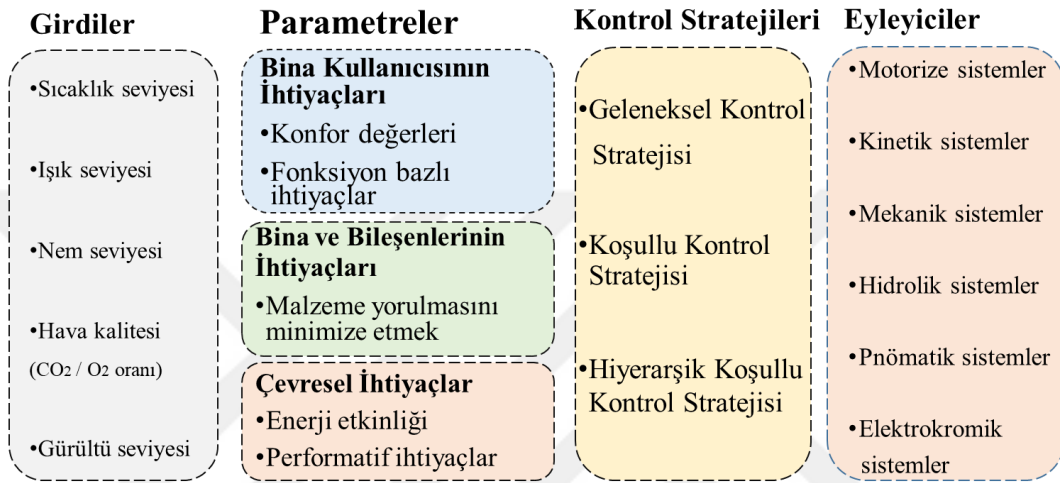
Şekil 3.2 : Kontrol mekanizması ve prototipin işleyişini gösteren akış şeması (kaynak çevirisidir) (Mozer, 2004).

Algılayıcılar yardımıyla kontrol sağlayan bir model olan proje kapsamında tepki süreleri ile ilgili yazılımlar halen geliştirilmektedir. Model, aydınlık düzeyi parametresinin optimizasyonu üzerine kurulmuş, tekil parametre optimizasyonu üzerinden tasarlanmıştır. Bu modelde dikkat çeken en önemli özellik, makine öğrenmesinin kullanımı ile kullanıcı hareketlerinin analizi ve öngörülebilir etkileşimlere imkan vermesidir. Çeşitli senaryoların yazılım tarafından öğrenilmesi (Q learning controller) ile aydınlık düzeyi parametresinin kullanıcıya göre değiştirilmesi önemli bir yaklaşım olarak değerlendirilmiştir (Mozer, 2004).

3.3.1 Kontrol stratejileri ve karar verme süreçleri

Adaptif cepheler ve kontrol stratejileri teknolojiye paralel olarak gelişmektedir. Algılayıcı teknolojilerinin geliştirilmesi, binanın yönetim sistemlerinin girdileri daha doğru algılamasını sağlamıştır. Motorlu sistemlerin daha etkin çalışması sayesinde, eyleyicilerin daha doğru ve hassas tepki vermesi sağlanmaktadır. Mikroişlemcilerin, yonga setlerinin, veri setlerinin ve mikro disklerin geliştirilmesi, kontrol stratejilerinin daha iyi çalışmasını katkıda bulunmaktadır. Günümüzde donanım alanındaki bu gelişmeler yazılım alanındaki gelişmeler ile de desteklenmiştir. Yazılımda farklılık gösteren gelişmiş ve görece karmaşık algoritmaların tasarımı, adaptif cephelerin verimliliğini ve işlevselliğini daha da artırmaktadır. Çevresel performans odaklı adaptif cephelerde girdiler, işleme faktörleri ve süreçleri, kontrol stratejileri ve eyleyiciler cephenin adaptasyon süreci ve mekanizması üzerinde önemli etkiye sahiptir.

Literatürde bulunan bina kontrol sistemlerinde birçok farklı strateji tespit edilmiştir (Bakker ve diğ., 2001; Böke, 2020; Clements-Croome, 2004; Drgoňa ve diğ., 2020; Heidari Matin & Eydgahi, 2019; Megahed, 2018; Tabadkani ve diğ., 2020; Wigginton & Harris, 2013). Kullanıcı ihtiyaçları, çevresel ihtiyaçlar ve bina ya da tasarımın işlevi gibi birçok parametre nedeniyle her binada ya da akademik yayında farklı parametrelere dayalı stratejiler geliştirilmiş olsa da literatürdeki mevcut stratejileri 3 farklı strateji ile özetleyebiliriz (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 : Adaptif binalardaki; girdiler, parametreler, kontrol stratejileri ve eyleyiciler.

Bu stratejilerden ilki, geleneksel kontrol stratejisidir. Bu sistemde iklim verileri algılayıcılar aracılığıyla alınır ve gerekli cevap anlık olarak verilir. Muhakeme ve us yürütme, bu sistemlerde ileri düzeyde değildir. Uyarıcıya anında ve doğrudan yanıt verilir. Belirli parametrelere göre oluşturulan yanıtlar, eyleyiciler aracılığıyla görünür hale gelir. Bu stratejinin uygulandığı cepheler genellikle iki veya daha az uyarıcıyı değerlendirmek ve bunlara tepki vermek için tasarlanmıştır.

İkinci tip kontrol stratejisi koşullu kontrol stratejisi olarak isimlendirilmektedir. Bu stratejide, karmaşık olmayan koşullu algoritmalar, alınan verileri işlemek için kullanılır. Bu algoritmaların bir sonucu olarak üretilen reaksiyonun sonuçları ölçülmez ve geri bildirim mekanizması zayıf bir şekilde yürütülür.

Üçüncü tip kontrol stratejisi, hiyerarşik koşullu kontrol stratejisi olarak adlandırılmaktadır. Bu kontrol stratejisinde, alınan veriler karmaşık algoritmalar ile işlenir ve hareketler bu değerlendirmeler sonucu iletilen emirlerin eyleyicilere iletilmesiyle gerçekleştirilir. Bu algoritmalar, alınan verileri işler ve eyleyiciyi

hareket ettirir. Daha sonra eyleyicinin bu hareketi sonucunda iç mekandaki ve dış ortamdaki girdiler, parametrelere göre ölçümlenerek sisteme geri bildirim sağlanır. Bu sistemlerde merkezi ve dağıtık sistemler birbiri ile uyumlu bir şekilde kullanılabilir. Aynı zamanda bu sistemlerin karar verme aşaması bina işletim merkezinin entegrasyonuna izin verdiği için çeşitli bina otomasyon sistemleri ile birlikte çalışarak pasif ve aktif sistemleri bir arada kullanabilirler. Bu kontrol stratejisinde karar verme hiyerarşisinde öncelikli parametreler bulunmakta ve karar verme stratejileri bu öncelik sırasına göre yürütülmektedir. Ancak bazı durumlarda çeşitli konfor koşullarında çatışmalar görülebilir. Bu gibi durumlarda modül, kararını verirken sadece tasarlanan algoritmaya göre tepki verir.

3.3.2 Kontrol stratejilerinin değerlendirilmesi

Adaptif cephe kontrol sistemleri, birden fazla parametrenin optimize edilmesine izin veren bir karar verme mekanizmasına sahiptir. Kontrol sistemi birden fazla parametreyi optimize eder. Çizelge 3.2'de mevcut cephe kontrol stratejilerinin karşılaştırılarak avantaj ve dezavantajlarının tartışılması amaçlanmaktadır.

Çizelge 3.2 : Mevcut Kontrol Stratejileri ve İşleyiş Mekanizmaları.

Kontrol Stratejileri	İşleyiş Mekanizmaları
Geleneksel Kontrol Stratejisi	<ul style="list-style-type: none">• Doğrudan yanıt için tasarlanmıştır.• Eğer-ise algoritması ile yönetilmektedir.• Geri bildirim mekanizması bulunmamaktadır.• Tek kriterli optimizasyonu (Özel durumlarda iki parametre) için kurgulanmıştır.
Koşullu Kontrol Stratejisi	<ul style="list-style-type: none">• Koşullu yanıt için tasarlanmıştır• Eğer-ise algoritmaları ile birden fazla katmanı kontrol edebilirler.• Sınırlı bir şekilde, çok kriterli optimizasyon için kullanılabilirler.• Sınırlı geri bildirim mekanizması bulunmaktadır.• Sınırlı karar verme hiyerarşisi vardır.• Manuel ve otomatik kontrol seçenekleri bulunmaktadır.
Hiyerarşik Koşullu Kontrol Stratejisi	<ul style="list-style-type: none">• Hiyerarşik ve koşullu yanıt için tasarlanmıştır• Hiyerarşi tabanlı kontrol algoritmaları kullanılmaktadır.• Öncelik Algoritmaları ile tasarlanmışlardır.• Döngü hakkında geri bildirim ve geri bildirim mekanizmaları bulunmaktadır.• Seçili çoklu parametreler için karar verme hiyerarşisi vardır.• Manuel ve otomatik kullanım seçenekle bulunmaktadır.

Geleneksel Kontrol Stratejisinin avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilirler:

- Bina kullanıcısı konfor tercihlerini kolaylıkla seçebilir.
- Literatürde ve endüstride birçok prototip mevcuttur.

- İçsel sistemler bu kontrol stratejisine adapte edilebilirler (Özellikle malzeme bazlı sistemlerde).
- Dışsal sistemlerde tek bir kriterin veya parametrenin optimizasyonu için kullanılabilir.

Geleneksel Kontrol Stratejisinin dezavantajları aşağıdaki gibi özetlenebilirler:

- Doğrudan yanıt nedeniyle zaman zaman doğru olmayan kararlar ile karşılaşmaktadır.
- Genellikle yalnızca bir parametreye yanıt vermek için tasarlandıkları için, enerji etkinliği açısından çok etkili değildirler.
- Karar hiyerarşileri yoktur.
- Geri bildirim mekanizması yoktur.

Koşullu Kontrol Stratejisinin avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilirler:

- Kullanıcılar tercihlerini ve cephenin tepkilerini seçebilirler.
- Literatürde ve endüstride birçok prototip mevcuttur.
- İçsel ve dışsal sistemler bu kontrol stratejisine ayrı ya da birlikte adapte edilebilirler.
- Sınırlı çok kriterli optimizasyon algoritmaları, sınırlı geri bildirim ve sınırlı karar verme hiyerarşisi sayesinde geleneksel kontrol stratejisine kıyasla enerji verimliliği sağlar.
- Koşullu yanıt nedeniyle belirgin bir değer değişikliği varsa doğru kararlar alabilme potansiyelleri vardır.

Koşullu Kontrol Stratejisinin dezavantajları aşağıdaki gibi özetlenebilirler:

- Genellikle üç parametreden daha azının optimizasyonunu sağlamak için tasarlanmıştır.
- Parametreler arasında sınırlı bir hiyerarşi olması sebebiyle, her zaman doğru adaptasyonu sağlayamayabilirler.
- Sınırlı Geri Bildirim Mekanizması, kullanıcı için optimum konfor sağlayamamaktadır.
- Tahmin veya gündüz mevsim-zaman koşul oryantasyonu yok.

- Güneşin doğuşu ve batışı gibi özel zamanlarda enerji tasarrufu konusunda pek etkili değildir.
- Yağış tahmini ve ani giriş değeri değişiklikleri yoktur.

Hiyerarşik Koşullu Kontrol Stratejisinin avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilirler:

- Kullanıcılar konfor tercihlerini ve enerji tasarrufu planlarını seçebilirler.
- İçsel ve dışsal sistemler ile bina otomasyonu bu kontrol stratejisine adapte edilebilirler.
- Çok kriterli optimizasyon algoritması, geri bildirim ve karar verme hiyerarşisi sayesinde, koşullu kontrol stratejisine kıyasla enerji verimliliği sağlar.
- Geri Bildirim Mekanizması cephenin daha doğru kararlar vererek, kullanıcının konforunu artırmaya yardımcı olur.

Hiyerarşik Koşullu Kontrol Stratejisinin dezavantajları aşağıdaki gibi özetlenebilirler:

- Öngörü olmadığından sadece mevcut koşul üzerinden optimizasyon yapar.
- Güneşin doğuşu ve batışı gibi özel zamanlarda enerji tasarrufu konusunda etkili olarak tasarlanmamışlardır.
- Yağış tahmini ve anlık değer değişimleri için yeterince adaptif değildirler.

Mevcut kontrol stratejileri değerlendirildiğinde işleyiş mekanizmalarında öngörü ve tahmin etme gibi kurguların olmadığı görülmektedir. Bu durum cephelerin adaptiflik seviyelerini düşürmekte ve buna bağlı problemlerin oluşmasına zemin hazırlamaktadır. Tüm bu durumlar göz önüne alındığında öngörme özelliğinin cephenin daha az hareket ile kullanıcı konforunu artırmada ve enerji etkinliği sağlamada yararlı olacağı beklenmektedir. Sonraki bölümde, ele alınan üç kontrol stratejisine ek olarak tasarlanan öngörülü bir kontrol stratejisinin kavramsal çerçevesi, işleyiş mekanizması, avantaj ve dezavantajları geliştirilen AIF modülü bağlamında incelenmektedir.



4. ÇEVRESEL PERFORMANS ODAKLI ADAPTİF BİR CEPHE MODÜLÜ VE GELİŞMİŞ AKILLI SİSTEM TASARIMI

AIF modülü, istatistiksel verileri ortam verileriyle dengelemek için geliştirilen, cephe sistemi ile bütünleşik olarak tasarlanan gelişmiş akıllı bir sistemdir. AIF bir otomasyon sisteminden daha çok, gelişmiş ve reaktif bir mimari prototip olarak nitelendirilebilir. Bu açıdan önerilen modül, adaptif cepheler açısından performans odaklı bir tasarım olarak tanımlanabilir. Adaptif cephelerin potansiyel uygulama alanları, teknolojik gelişmelere paralel olarak gelişmektedir. Bu cephelerin potansiyelini artırmada en önemli unsurlar, karar verme sistemlerinin ve malzeme teknolojisinin gelişimi olarak ifade edilebilir.

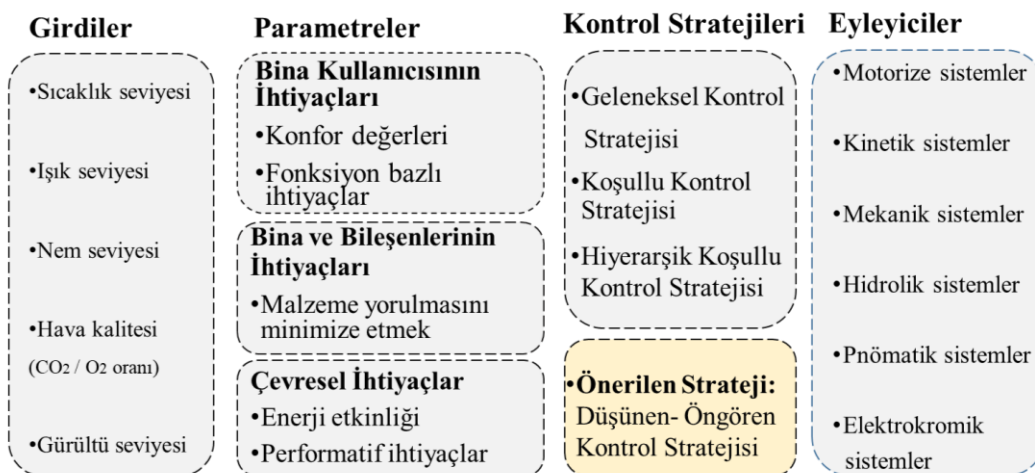
Tez kapsamında geliştirilen modül bir karar destek sisteminden çok karar verici algoritmalar içeren ve kendi otonom olarak hareket edip performans odaklı olarak tepkiler veren bir yaklaşımla tasarlanmıştır. Gelişen malzeme teknolojisine paralel olarak farklı özellikte ihtiyaçlara cevap veren malzemelerin kullanımı ile tasarlanan modül, farklı özelliklere sahip çeşitli katmanlardan oluşmaktadır. Her bir katman gelişmiş kontrol stratejileri ve çeşitli sistematik algoritmalar tarafından doğrudan kontrol edilebilmektedir. Bu bölümde cephenin işleyişinin veriminin, öngörüye dayalı optimizasyon ve kontrol süreçlerinin katkısıyla oluşturulan kural tabanlı algoritmalar kullanılarak artırılacağı gösterilmiştir.

Tasarlanması planlanan modülde sıvı kristal tabaka filmlerle elektrokromik akıllı cam teknolojisinin kullanılması ile iç mekandaki ışık seviyesinin ve buna bağlı olarak görsel konforun optimum düzeye getirilmesi amaçlanmaktadır. Akıllı cam, düşük elektrik akımı kullanılarak opak ve saydam olarak değişebilen bir nano teknoloji ürünüdür. Tez kapsamında geliştirilen modülde akıllı cam katmanının saydam veya opak olması kararı, karar verici algoritma tarafından anlık çevresel veriler değerlendirilerek verilecektir. Bu kapsamda bilgisayar destekli tasarım ve üretim araçlarının etkin bir biçimde kullanıldığı bir modül tasarlanmış ve üretilmiştir. Aynı

zamanda bu araçlar kullanılarak modülün dijital ortamda, çeşitli yazılımlar ve kodlar kullanılarak simüle edilmesi sağlanmıştır.

4.1 Önerilen Kontrol Stratejisinin Karar Verme Süreci için Kavramsal Çerçeve

Çevresel performans odaklı adaptif kontrol stratejilerinde sıcaklık, ışık, nem gibi iklimsel parametreler ile hava kalitesi ve gürültü seviyesi gibi diğer parametreler literatürde yer almaktadır (Şekil 4.1). Girdiler, başta bina kullanıcılarının ihtiyaçları olmak üzere çeşitli parametreler dikkate alınarak kontrol edilir. Kullanıcı, konfor ihtiyaçlarına ve bina işlevine göre değişen taleplere sahip olabilir. Aynı zamanda cephe tasarımı yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli faktörlerden biri dinamik cephelerdeki bileşenlerin maruz kaldığı sürtünme kuvveti nedeniyle meydana gelen malzeme yorulmasıdır. Cephe bileşenlerinin hareketi en aza indirilerek malzeme yorgunluğu en aza indirilirse, cephenin hizmet ömrü uzar. Diğer bir işleme faktörü, enerji etkinliği ve performatif ihtiyaçlar olarak özetlenebilir. Bu faktör, enerji tasarrufunun sağlanması ve binanın verimli çalışması açısından önemlidir. Bina kullanıcılarının, cephenin ve çevrenin ihtiyaçlarının yanı sıra, bina yatırım bütçesi, sosyolojik sorunlar ve bina tasarım düzenlemeleri gibi birçok başka faktör vardır. Ancak bu faktörler, çevresel performans perspektifinden baktığımızda bu üç faktörden görece daha az önemli olduğundan, bu tez kapsamında geliştirilen alternatif kontrol stratejisinin kısıtları olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.1 : Önerilen adaptasyon süreci için potansiyel; girdiler, parametreler, kontrol stratejileri ve eyleyiciler.

Bu tez kapsamında önerilen kontrol stratejisi, dördüncü tip olarak tanımlanabilecek bir karar verme sistemine dayalı düşünen-öngören bir kontrol stratejisidir. Üçüncü tip dediğimiz kontrol stratejisinden farklı olarak bu stratejide, kritik durumlarda kullanılmak üzere tasarlanmış tahmin algoritmaları ve sınır değeri algoritmalarını kullanarak bir öngörü yürütür. Bu muhakeme sürecine bağlı olarak, kontrol sistemi yalnızca algılayıcılardan alınan anlık verileri analiz etmekle kalmaz, aynı zamanda yanıtını tahmin etmek için önceki günün aynı saatine ait verileri de analiz eder. Yerleşik geri bildirim mekanizması ile önceki tahminlerin doğruluğunu kontrol ederek yanıtın sonuçlarını ölçümler. Önceki ve mevsimsel iklim modellerinin istatistiksel veri olarak kaydedilmesi ve bunlara tepki verilmesi, karar verme sürecinin sınır durumlarında özellikle sıcaklık gibi kademeli olarak değişen parametreler açısından performans verimliliğini ve enerji etkinliğini sağlayabilir.

Binanın enerji verimini en çok etkileyen bir diğer önemli belirleyici olan eyleyiciler, hareketin gerçekleşmesini sağlayan ve bu hareketin cephede görünür olmasına izin veren unsurlardır. Eyleyicilerin türleri; motorize, kinetik, mekanik, hidrolik, pnömatik ve kromatik olarak özetlenebilir. Bu türlerin dışında hibrit türler, sadece malzeme özelliğini kullanarak adapte olan eyleyiciler, gelişen malzeme teknolojisine paralel olarak yaygınlaşmaktadır. Eyleyiciler, binanın ihtiyaçlarına göre farklılaştırılabilir. Cephelerin farklı etkilere tepki veren farklı katmanları içerecek şekilde tasarlanması ve eyleyiciler ile kontrol stratejileri arasındaki ilişkinin detaylı analizi, binanın performans verimliliğine büyük katkı sağlar.

Aşağıdaki bölüm, literatüre özgün bir bilimsel katkı olarak sunulan istatistiksel verilere ve zaman örüntüsüne dayalı yenilikçi bir stratejinin kavramsal çerçevesini açıklamaktadır. Alternatif bir kontrol stratejisi olan düşünen-öngören kontrol stratejisinin kavramsal çerçevesi ve sistem mekanizması, literatürde belirtilen kontrol stratejileri ile karşılaştırılarak açıklanmakta ve değerlendirilmektedir.

4.1.1 Önerilen kontrol stratejisinde karar verme süreci

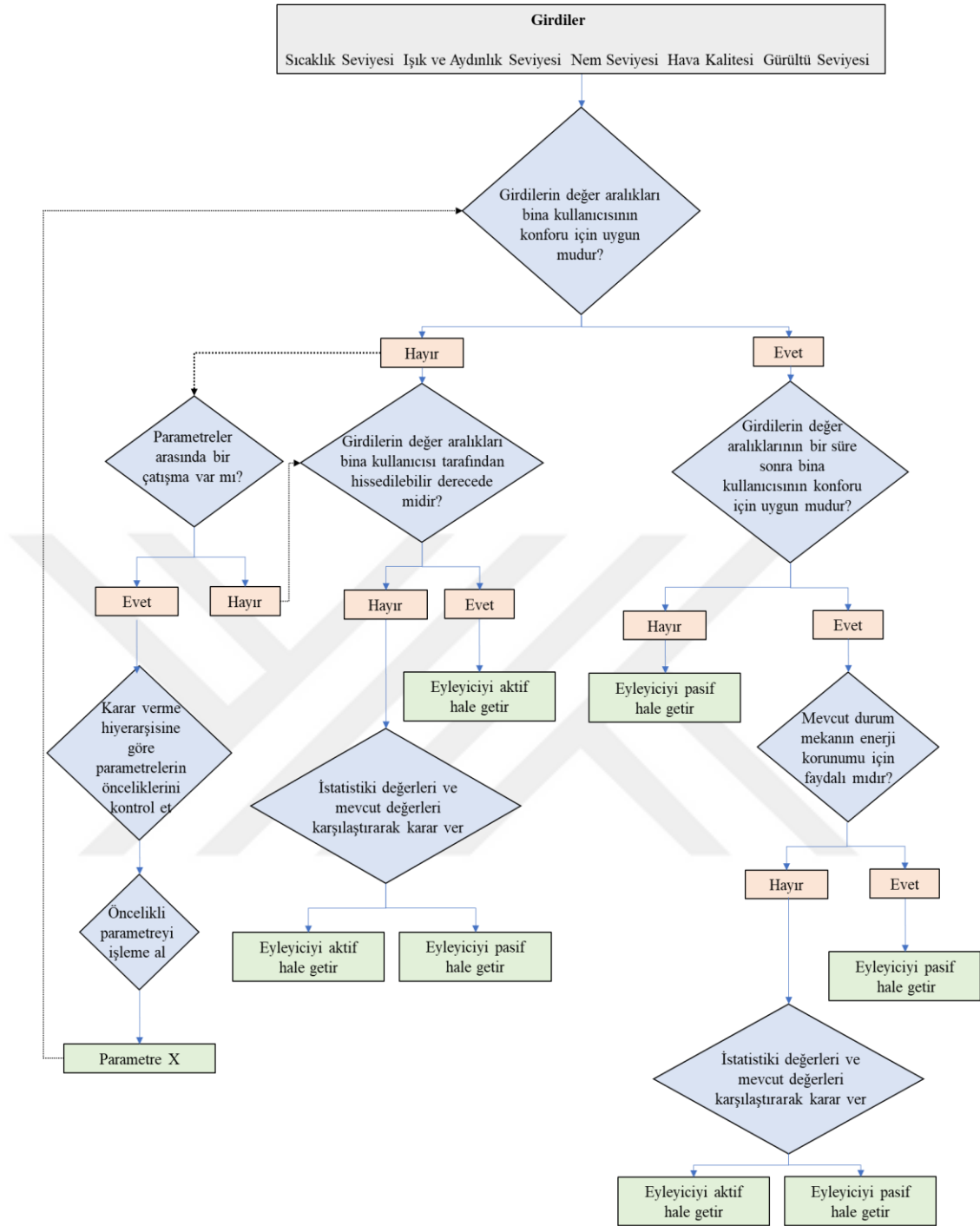
Önerilen kontrol stratejisi, çatışan parametrelerin optimizasyonu için kullanılan bir dizi karar verme mekanizmasından oluşur. Bu karar verme mekanizmasında, kullanıcı konfor koşulları yüksek öncelikli hedef olarak belirlenmiştir (Şekil 4.2). İkincil hedef enerji tasarrufu olarak belirlenmiştir. Aktivasyon değer aralığının

dışında kalan ancak kullanıcı tarafından fark edilmeyen küçük sapmalar durumunda, kontrol stratejisi tekrar devreye girer ve enerji tasarrufu sağlar. Bu sistemde, eyleyicilerin hareketini minimuma indirmek, önerilen stratejinin bir başka özelliği olarak tasarlanmıştır. Bu ilkelerin gözetildiği önerilen alternatif kontrol stratejisinin, endüstride performans odaklı adaptif cephelerin kullanımının artmasına katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Önerilen kontrol stratejisinde girdiler çevresel faktörler olarak belirlenir. Çevresel faktörlerin belirli değer aralıkları, bina kullanıcılarının konfor koşullarına uygun olarak tanımlanmıştır. Aynı zamanda verilen aralığın dışında kalan değerler için de belirli miktarda esneklik payı bırakılmıştır. Bu aralık, sınır değerler olarak adlandırılır. Algılayıcılar aracılığıyla ölçülen tüm girdiler değer aralığındaysa, bina bir sonraki saat aralığındaki beklentiye ölçer. Burada, kontrol sistemi tarafından değerlendirilen veriler, bir önceki günün çevresel girdilerinin kaydedilmiş verileridir. Bu verilerin kullanımı, gün batımı ve gün doğumu zamanlarında ve girdilerdeki ani değer değişikliklerinde kontrol stratejisinin daha etkili karar vermesine katkıda bulunur. Bunu takip eden süreçte bir değişiklik meydana gelecekse enerji tasarrufu için uygun olup olmadığı değerlendirilir. Bu değerlendirmenin bir sonucu olarak, sistem enerji korumaya katkıda bulunursa, eyleyiciler devre dışı bırakılır. Katkı sağlamaması durumunda ise kontrol sistemi eyleyicinin hareketine o günün ve önceki günün hava durumunu değerlendirerek karar verir.

Binanın iç mekanı kullanıcı konfor koşullarına uygun değilse, bina kullanıcılarının konfor koşullarındaki değişikliğin, kullanıcı tarafından hissedilen değer aralığında olup olmadığı analiz edilir. Ölçülen değerler, konfor koşullarını etkilemeyecek derecede kabul edilebilir aralık içindeyse, eyleyiciler etkinleştirilir. Kabul edilebilir aralıkta değilse, eyleyicinin durumuna o gün ve bir önceki günün değerleri değerlendirilerek karar verilir.

Diğer bir ölçüm, kontrol parametreleri arasında herhangi bir çatışma olup olmadığını değerlendirmektir (Şekil 4.2). Kontrol parametreleri arasında herhangi bir çatışma yoksa kontrol sistemi, konfor parametrelerinin kullanıcının değişiklikleri algılayamayacağı aralıkta olup olmadığını kontrol ederek döngüye devam eder.



Şekil 4.2 : Önerilen kontrol stratejisinin akış şeması (yapılandırılmamış durumda).

Karar verme sürecinde, parametreler arasında bir çatışma varsa, karar verme hiyerarşisi uygulanır. Burada önemli olan soru, hangi parametrenin kullanıcı konforunu etkileyen diğer parametrelere göre daha yüksek önceliğe sahip olduğudur. Öncelikli parametre (X parametresi) tekrar ölçülecek kontrol stratejisinin ilk aşamasında değerlendirilerek karar sürecine dahil edilir.

4.1.2 Önerilen kontrol stratejisinin değerlendirilmesi

Adaptif cephe kontrol sistemleri, birden fazla parametrenin optimize edilmesine izin veren bir karar verme mekanizmasına sahiptir. Kontrol sistemi birden fazla parametreyi optimize eder ve önerilen strateji ve akış şeması ile cepheyi yönetir (Şekil 4.2). Çizelge 4.1’de, önerilen kontrol stratejisinin işleyiş mekanizması anlatılmaktadır.

Çizelge 4.1 : Düşünen-Öngören Kontrol Stratejisi ve işleyiş mekanizmaları.

Kontrol Stratejisi	İşleyiş Mekanizması
Düşünen-Öngören Kontrol Stratejisi	<ul style="list-style-type: none">• Çevresel girdi değerlerinin öngörülmesine ve bu veriler ile, ölçülen anlık verilerin birlikte yorumlanmasına dayalı hiyerarşik koşullu yanıt için tasarlanmıştır.• Gelişmiş çok kriterli algoritma, Öncelik Algoritmaları, Kritik Karar Algoritmalarına (Sınır değer kararları için) sahiptir.• Döngü hakkında geri bildirim ve anlık geri bildirim, öngörülen verilere geri bildirim mekanizmaları bulunmaktadır.• İstatistiksel veriler ile ölçülen veriler arasında karşılaştırmalı karar verme hiyerarşisi vardır.• Günlük tahmin algoritmaları; zaman (gün ve mevsim) verilerine göre anlık ve periyodik yanıt vermek üzere tasarlanmışlardır.• Manuel, Otomatik ve Öngörülü Kullanım seçenekleri bulunmaktadır.

Düşünen-Öngören Kontrol Stratejisinin avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilirler:

- Girdilerin öngörülmesine ve buna göre yorumlanmasına dayalı hiyerarşik koşullu adaptasyon için tasarlanmıştır.

- Gelişmiş çok kriterli optimizasyon algoritmaları, Öncelik Algoritmaları, Kritik Karar Algoritmaları (Sınır değer kararları için) ve parametrelerin çatışmasını önleyen çözüm algoritmaları ile tasarlanmışlardır.
- Süreç hakkında geri bildirim, anlık geri bildirim ve öngörüye dayalı geri bildirim (deneyip-yanılma) sayesinde enerji verimliliği sağlar.
- İstatistiksel verilerle seçilen çoklu parametrelerin ve kriterlerin optimizasyonu için tasarlanmıştır.
- Zaman modelli öngörü algoritmaları; zaman (gün doğumu, gün batımı ve mevsimsel değişimler vd.) modeline göre anlık ve periyodik yanıt için tasarlanmıştır.
- Cephenin hareket sayısını optimize ettiğinden binanın servis ömrü uzayabilir.

Düşünen-Öngören Kontrol Stratejisinin dezavantajları aşağıdaki gibi özetlenebilirler:

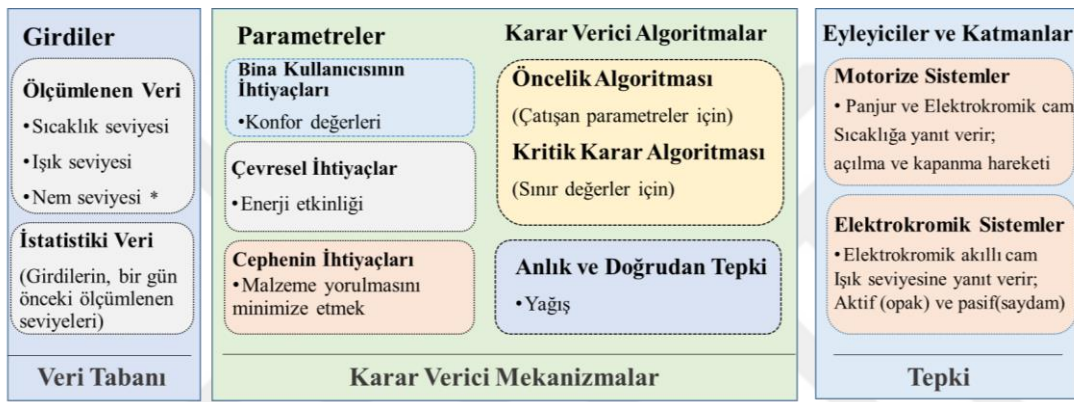
- Diğer stratejilerin uygulandığı prototiplere göre bir veri depolama ünitesi gerekmektedir. Bu da maliyeti artırabilir.
- Karmaşık ve gelişmiş algoritmalar olduğu için çok fazla sayıda parametrenin ve kriterin optimizasyonu hedeflendiğinde, tepki süresi görece artabilir.

3.3.2 Kontrol stratejilerinin değerlendirilmesi bölümündeki ve buradaki değerlendirmeler göz önüne alındığında, önerilen stratejinin diğer üç stratejiden daha verimli ve enerji etkin olduğu öngörülmektedir. Öncelikle bina kullanıcısı tarafından seçilen parametre değerlendirildiği için, Düşünen-Öngören Kontrol Stratejisi'nin bina sakinleri için tercih edilebilir olacağı tahmin edilmektedir. Dahası, önceki günün modelini analiz ederek gün batımı ve gün doğumu gibi belirli zamanları tahmin ederek kararlar alarak, bina enerji tasarrufuna katkıda bulunur. Tüm bu değerlendirmelere göre Düşünen-Öngören Kontrol Stratejisi, diğer üç kontrol stratejisine göre verimli ve performatif bir alternatif olarak öngörülmektedir.

Sonraki bölümde Düşünen-Öngören Kontrol Stratejisi'nin uygulandığı Gelişmiş Akıllı Cephe (AIF) modülünün tasarımı ve çalışma prensibi anlatılacaktır.

4.2 Modülün Tasarımı ve Çalışma Prensibi

AIF modülünde algılanan değerlerin depolandığı veri tabanı karar verici mekanizmalar tarafından değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmeye göre uygun görülen tepki, eyleyiciler yardımıyla modülün katmanlarına iletilmektedir (Şekil 4.3). Bu sistem kurgusuna göre, AIF modülünde ölçülen veri ve istatistiksel veri olarak iki farklı girdi belirlenmiştir. Ölçülen veriler için sıcaklık, ışık ve nem seviyesi, istatistiksel veriler için, bir önceki gün aynı zaman aralığında aynı parametrelerin ölçümleri girdi olarak belirlenir. Tüm bu veriler ihtiyaç duyulduğunda kullanılmak üzere veri tabanında saklanmaktadır.



* Nem seviyesi, algılanan sıcaklığın çarpanı olarak değerlendirilmektedir. Herhangi bir eyleyiciyi doğrudan etkilememektedir.

Şekil 4.3 : AIF modülünün tasarımı ve çalışma prensibi.

AIF modülünün karar verme mekanizması, adaptasyon parametreleri ve karar verme mekanizması olarak iki bölümde ele alınmıştır. Bu adaptasyon parametreleri, konfor koşullarını sağlamak, enerji verimliliğini arttırmak ve cephenin kinetik bileşenlerinin hareketinden kaynaklanan malzeme yorgunluğunu en aza indirmek olarak özetlenebilir. Bu sistematik sayesinde, AIF modülü kullanıcı ihtiyaçlarına, çevresel ihtiyaçlara ve cephenin ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde tasarlanmıştır.

Bu tezin akademik literatüre özgün bilimsel katkısı, Kritik Karar Algoritması ve Öncelik Algoritması olarak adlandırılan çatışan parametrelerin çözümlenmesi için oluşturulmuş olan, çatışma çözme ve öngörü algoritmalarıdır. Günümüz akıllı cephe prototipleri üzerinde yapılan kapsamlı araştırmalar, karar verme sistemi için girdi olarak kullanılan veri türünün, anlık ortam verileri olduğunu göstermektedir (Biloria & Sumini, 2009; Carl ve diğ., 2017; Kensek, 2014; Mallasi, 2016; Nagy ve diğ., 2016; Rossi ve diğ., 2012). Ancak, istatistiksel veriler ortam verileri yerine hava tahminleri için kullanılır. Böylelikle karar verme sistemlerinin sınır koşullarında karşılaşılan

parametrelerin çatışması durumu, önceki günün istatistiksel verilerini kullanan Kritik Karar Algoritması ile çözümlenir. Geliştirilen AIF modülü, çatışma çözme algoritmalarını içeren bir karar verme sistemi tarafından kontrol edilen, özerk ve duyarlı bir sistem olarak tasarlanmıştır.

Çok kriterli optimizasyona dayalı kural tabanlı bir algoritma, cephenin verimliliğini artırmak için her katmanı doğrudan kontrol eder. Gelişen malzeme teknolojisine paralel olarak farklı ihtiyaçları karşılayan malzemeler kullanılarak tasarlanan modül, panjur ve akıllı cam olmak üzere iki katmandan oluşmaktadır. İç mekan konforunun sağlanmasındaki sınırlamaları telafi etmek için iki katmanda motorlu sistem yardımı ile açılıp kapanabilmektedir. Modülün açılıp kapanmasına sıcaklık seviyesi ölçülerek karar verilir. Ayrıca elektrokromik sistemler sayesinde cephe, iç mekandaki ışık miktarını belirtilen seviyede tutabilmektedir. Işık seviyesinin gerçek zamanlı ölçüm sonuçlarına bağlı olarak, elektrokromik akıllı cam aktif (opak) veya pasif (saydam) hale geçebilir.

Geliştirilen AIF modülünün sistem kurgusu ve tasarımı iki bölüm altında incelenebilir. İlk bölüm, Proteus ve Arduino'da üretilen optimum değerlere göre dinamik konfigürasyonlara izin veren adaptif cephe modülünün tasarımı ve üretimidir. İkinci bölüm, AIF modülünün mevcut meteorolojik veriler ile simülasyonu ve kullanıcılarla etkileşimidir. Simülasyon, çeşitli algılayıcılar, anakart, mikro diskler (işlemci verileri değerlendirmesi için), servo ve step motorlar ve özel olarak tasarlanmış yapısal detaylar kullanılarak üretilmiştir. Ana çıktılardan biri, algılayıcılardan veri alan ve adaptasyon mekanizmasını kontrol eden yazılımdır. Önerilen modülün tüm bina tiplerinde kullanılması mümkün olmakla birlikte, ofis binalarının çoğunlukla gündüz kullanımından dolayı en uygun yapı tipi olduğu öngörülmüştür.

Proteus yazılımı modülün beyin kısmının analizi ve simülasyonunda kullanılmıştır. Bu sayede modülün beyni tasarım aşamasında dijital ortamda test edilmiştir. Beyin ve algılayıcılar arasındaki bağlantı ise öncelikle fiziksel ortamda teste tabi tutulmuş olup çalışırılığı garanti edildikten sonra Proteus yazılımına adapte edilmiştir. Bu sayede dışarıdan gelen veriler öncelikle fiziksel ortamda kaydedilmiş ve sonrasında Proteus'taki dış ortam veri girdisi olarak işlenmiştir. Bu işlem teknik anlamda gerçek fiziksel çevreye uygun bir tasarımın yapılması için gerekli olmaktadır. Sonrasında AIF

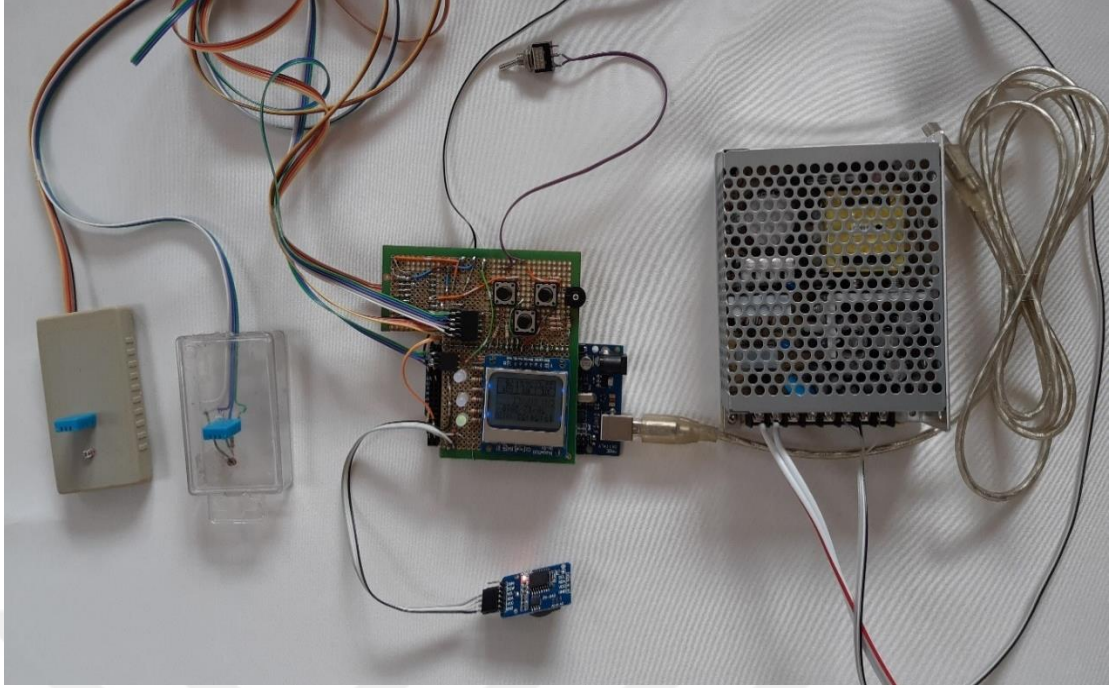
modülünün beyin bölümü Proteus ortamında algılayıcı verilerini işleyerek eyleyici ile olan ilişkisini doğru bir biçimde tanımlayabilmiştir.

Test edilen modülün çalışırılığı daha sonra led ışığı yöntemi ile eyleyicilere doğrudan bağlantı yapılmadan fiziksel ortamda eyleyici yerine birer gösterge ışığı eklenerek yeniden teste tabi tutulmuştur. Bu sayede modülün çalışması garanti edildikten sonra, elektromekanik eyleyici bağlantıları yapılarak beyin ile eyleyiciler arasındaki bağlantı tamamlanmıştır.

Tüm bu simülasyon ve test aşamalarını takip eden süreçte dijital simülasyon ve testler sürekli olarak bir döngü halinde çalışırılığı denetlenerek sürdürülmüştür. Fiziksel olarak modülün üretiminin tamamlanması için öncelikle bu bir dizi deneysel çalışma sonucunda ortaya çıkan veriler analiz edilmiştir. Modülün Proteus ara yüzünde kurulan dijital ortamdaki işleyişi kesinleştiğinde fiziksel üretim ve test aşamaları gerçekleştirilmiştir.

AIF modülü, çok kriterli algoritmalar, Öncelik Algoritması ve Kritik Karar Algoritması ile otonom ve performans odaklı bir cephe prototipidir. AIF modülü mekansal ihtiyaçlara göre yeniden programlanabilir. Bu şekilde, çeşitli konfor koşulları sağlamada bir araç olarak kullanılabilir. AIF modülünün herhangi bir iklim veya işleve göre yeniden yapılandırılması, geliştirilen yazılımların birbiriyle bütünleşik bir şekilde çalışması sayesinde mümkündür. Modül esnek programlama sistemi ile tasarlanmıştır. İşlem sırasında sürekli ve eş zamanlı optimizasyona cevap verebilecek şekilde kurgulanmıştır.

Modülün yapısal detayları fiziksel üretim aşamasında geliştirilir ve simülasyon dijital ortamda tamamlanmıştır. Kontrol sistemi, Arduino Nano (Şekil 4.4) tarafından desteklenen Arduino Mega kullanılarak tasarlanmış; C ve Python dillerinde yazılmıştır. Arduino Mega, diğer Arduino yonga setlerinden daha fazla veri işleyebilen ve algoritmada birden çok parametrenin belirli kriterlerin optimizasyonuna izin veren elektronik bir ekipmandır. Bununla birlikte, aydınlık miktarı, nem, mevsimsel ve günlük sıcaklık farkları gibi verilerin karmaşıklığı nedeniyle, Arduino Mega'nın kullanılmasının daha iyi sonuç vereceği öngörülmektedir. Bu sayede modülün karar verici mekanizmasında fazla veri depolanıp işlenebilmektedir.



Şekil 4.4 : AIF modülü; “Beyin” ve kontrol paneli (soldan sağa: algılayıcılar, Arduino kartları ve mikroişlemciler (altta: zamanlayıcı) Sabit sürücü ve destek birimi).

Modülün iklimsel verilere göre adaptasyonu katmanlarıyla ilgilidir. Farklı iklim tiplerinin sıcaklık, ışık ve nem seviyelerinden dolayı, bu iklim tiplerine ait modüllerin farklı katmanlara sahip olması beklenmektedir. Bu yönüyle modülün katmanlarının fiziksel özellikleri yeniden yapılandırılarak farklı iklimsel koşullara adapte edilebilir. Özellikle günlük ve mevsimsel sıcaklık farklılıklarının yüksek olduğu bölgelerde, farklı fiziksel özelliklere sahip katmanların kullanılması gerekli olabilmektedir. AIF modülü, günlük ve mevsimsel sıcaklık farklılıklarının nispeten düşük olduğu Akdeniz bölgesinin iklim koşullarını karşılamak üzere tasarlanmıştır.

4.2.1 Modülün işleyişi ve sistem kurgusu

AIF modülü karar verme sürecindeki çatışmaları analiz etmek için bir dizi karmaşık algoritmalar kullanır. Bu nedenle, sistemin verimli ve doğru çalışması için ilgili parametrelerin sayısını optimize etmek gerekir. Çevresel koşullarla ilgili bu parametreler Arduino'nun sıcaklık, ışık, nem algılayıcıları tarafından tespit edilir ve eşzamanlı olarak gösterilir. Bundan sonra ana işlemci, gösterilen verileri Arduino arabirimindeki öncelikli ve Kritik Karar Algoritmalarına göre servo ve step motorları kontrol etmek için işleyebilir.

Modül ve karar destek sisteminin işleyişi Şekil 4.5'teki akış diyagramında gösterilmiştir. Tez kapsamında geliştirilen modülde algılayıcılar birincil veri kaynakları olarak belirlenmiştir. Bu sayede cephenin eş zamanlı olarak ölçüm yapıp tepki vermesi sağlanabilecektir. Algılayıcılar değişken durumları milisaniyeler içerisinde algılayarak, sisteme verinin iletilmesini gerçekleştirmiştir. İletilen veriler karar destek yazılımının değerlendirmesi ile modülün tepkisinin anlık veya periyodik olmasını sağlayacaktır. Örneğin; yağmur yağması durumunda anlık bir tepki ile modüldeki, sıvıyı geçirmeyen katman aktifleşecektir. Sıcaklığın düşmesi durumunda ise diğer kuralların çatışma durumuna göre periyodik olarak modülün diğer katmanları aktif veya pasif hale gelebilecektir. Örneğin; güneşin doğuş ve batışında sıcaklığın kademeli olarak artıp azalması bekleneneğinden modülün tepkisinin, periyodik olarak tasarlanması gerekecektir.

Cephenin her aralıkta vereceği tepki sadece eş zamanlı ölçümlerin yapılması sonucu işlemeyecektir. Algoritmanın doğrusal olarak sürdürülmesi için, 1 °C fazla ısı farklılıkları ve 100 Lx aydınlık farklılığı olması gerekmektedir. Bu değerlerin altındaki değişimler için ise Kritik Karar Yöntemi uygulanacaktır.

Kritik Karar Yöntemi kinetik sistemlerde kullanılan belirli değerlerin altındaki değişimlerde tepkinin ve değişimin olup olmaması gerektiğine karar veren bir yaklaşımdır. Örneğin, ayarlanan optimum sıcaklıktan 1 °C yüksek olan bir iç ortam konfor durumu var ise ve dışarı 1 °C düşük ise bu durumda cephe modülü kendi hareketi konfor koşullarını çok az etkileyeceğinden, tepki vermeyebilecektir. Bu sayede modül hareket ederken harcayacağı enerjiyi minimum hale getirebilecek ve malzeme yorulması dediğimiz ve kinetik elemanlara sahip mimari öğelerin sürtünme ile bozulmasının minimize edilmesi sağlanabilecektir.

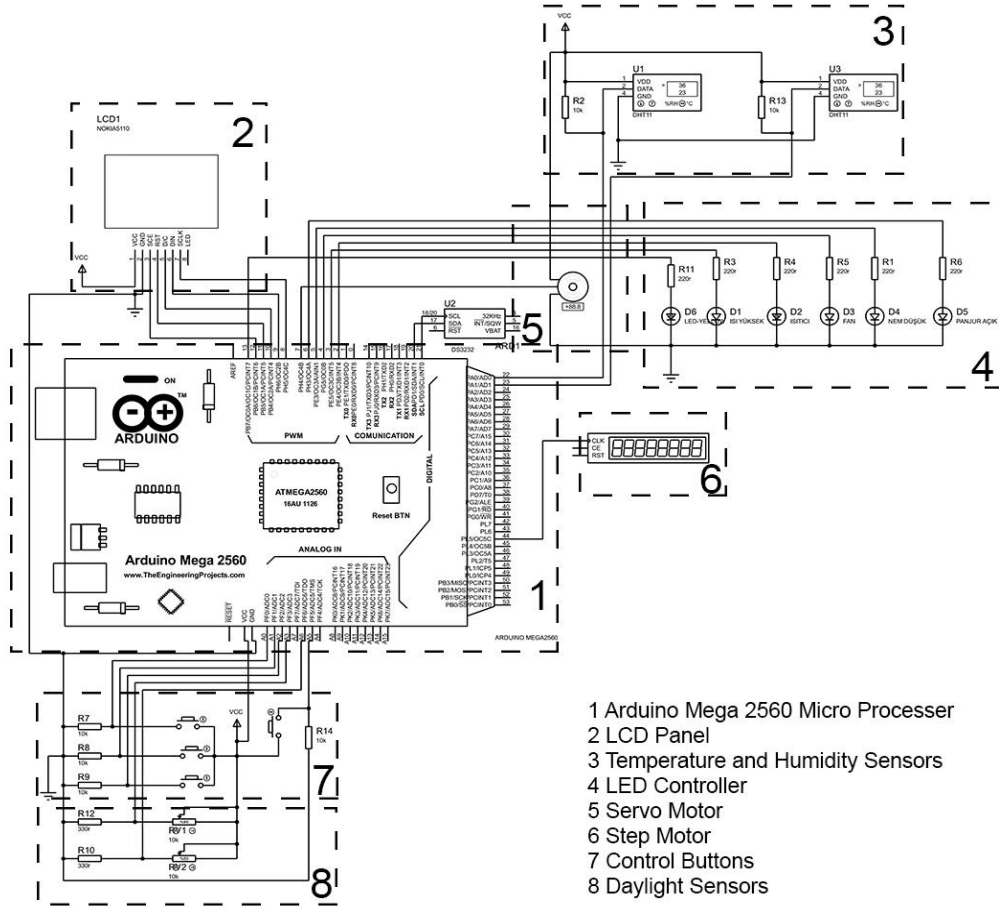
Buna karar verirken cephe modülü iç ve dış ortam koşullarının değerlerini ve bir önceki günün aynı zaman diliminin sıcaklık ortalamasını alarak sistemin daha hassas ve verimli işlemesine katkı sağlayacaktır. Böylece cephe kendini ve ortamlar arasındaki dengeyi bütün parametreler açısından, enerji etkin bir şekilde yönetebilecektir.

Bu aşamada sayısal olarak üretilen cephenin iç ve dış koşulları algılayan algılayıcılar ile donatıldığı bir durum bilgisayar ortamında Proteus ile modül ve simülasyonu

yapılmıştır. Sayısal ortamda alınan veriler değerlendirilerek, çeşitli çevre koşullarına göre tasarımın performatif hale gelmesi ve bu koşullara tepki vermesi durumu simüle edilmiştir. Şekil 4.5'te gösterilen Proteus yazılımının 8.6 sp2 versiyonunda sayısal ortamda devrenin simüle edildiğinde başarılı bir şekilde devrenin tepki verdiği ve istenilene uygun olarak motorları ve elektrokromik mekanizmayı harekete geçirdiği gözlenmiştir.

Tez kapsamında geliştirilen karar verici mekanizmada çok kriterli optimizasyon ile birden çok parametrenin optimizasyonu hedeflenmiştir. Yazılımın olası senaryoları değerlendirilerek optimum olan tepkinin verilmesini sağlayacak bir düzende geliştirilmesi hedeflenmiş ve buna göre özgün algoritmalar üretilmiştir.

Fiziksel üretim aşamasında sayısal ortamda simülasyonu tamamlanan bir adet modülü yapısal detaylarını geliştirerek; Arduino Nano ve Arduino Mega (2560 r3) (şekil 4.5) kullanarak C++ ve Python yazılımları ile destekli bir sistem tasarımı ile üretilmiştir. Dijital ve fiziksel ortamda yapılan testlere göre, üretilen bu modül konfor koşullarını optimum seviyede tutacak şekilde cephenin tepki vermesini sağlamaktadır.



Şekil 4.5 : Karar destek sisteminin (beyin, algılayıcılar ve motorların) devre şeması ve donanımı (1: Arduino Mega 2560 Mikro işlemci, 2: LCD Panel, 3: Sıcaklık ve nem algılayıcıları, 4: LED kontrol sistemi, 5: Servo motor, 6: Step motor, 7: kontrol butonları 8: Işık ve aydınlık algılayıcıları (Kullanıcı varlığını tespit eden hareket algılayıcısı sıcaklık ve nem algılayıcılarına gömülüdür)).

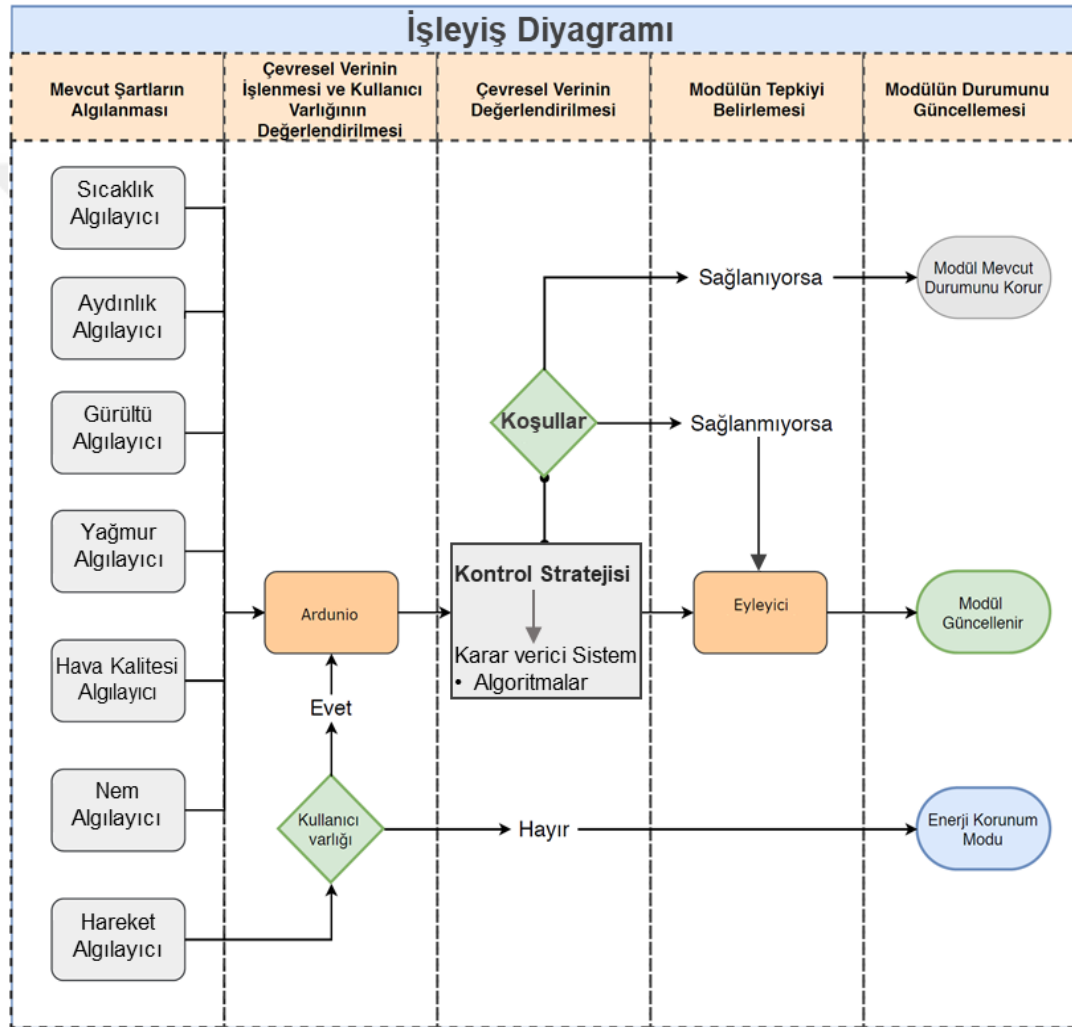
Çevresel koşulları Arduino'nun sıcaklık, aydınlık seviyesi, bağıl nem, hava kirlilik durumu vd. algılayıcıları ile bir ana kartta anlık olarak görüntülenmektedir. Sonrasında temel işlemci, görüntülenen bu verileri servo motorlar ve step motorlar ile Kritik Karar Algoritması ve Öncelik Algoritmasına göre işleyerek cephe kendini yazılımın gerektirdiği forma getirerek farklı katmanların kontrolünü sağlayabilmektedir. Modülün karar verme hiyerarşisi Akdeniz iklimi özellikleri gözetilerek tasarlanmıştır. Bu değerler dışındaki kullanımları için yeniden programlanabilecek bir ara yüzü de modül, içerisinde gömülü olarak barındırmaktadır.

4.2.2 Modülün karar verici algoritmaları

Modülün tasarımında belirleyici olan nokta karar verme hiyerarşisinin tasarlanmasıdır. Bu hiyerarşinin çözümlenebilmesi için Öncelik Algoritması ve

Kritik Karar Algoritması olarak isimlendirilen iki algoritmanın birbiriyle uyumlu bir şekilde çalışması önemli bir rol oynamaktadır.

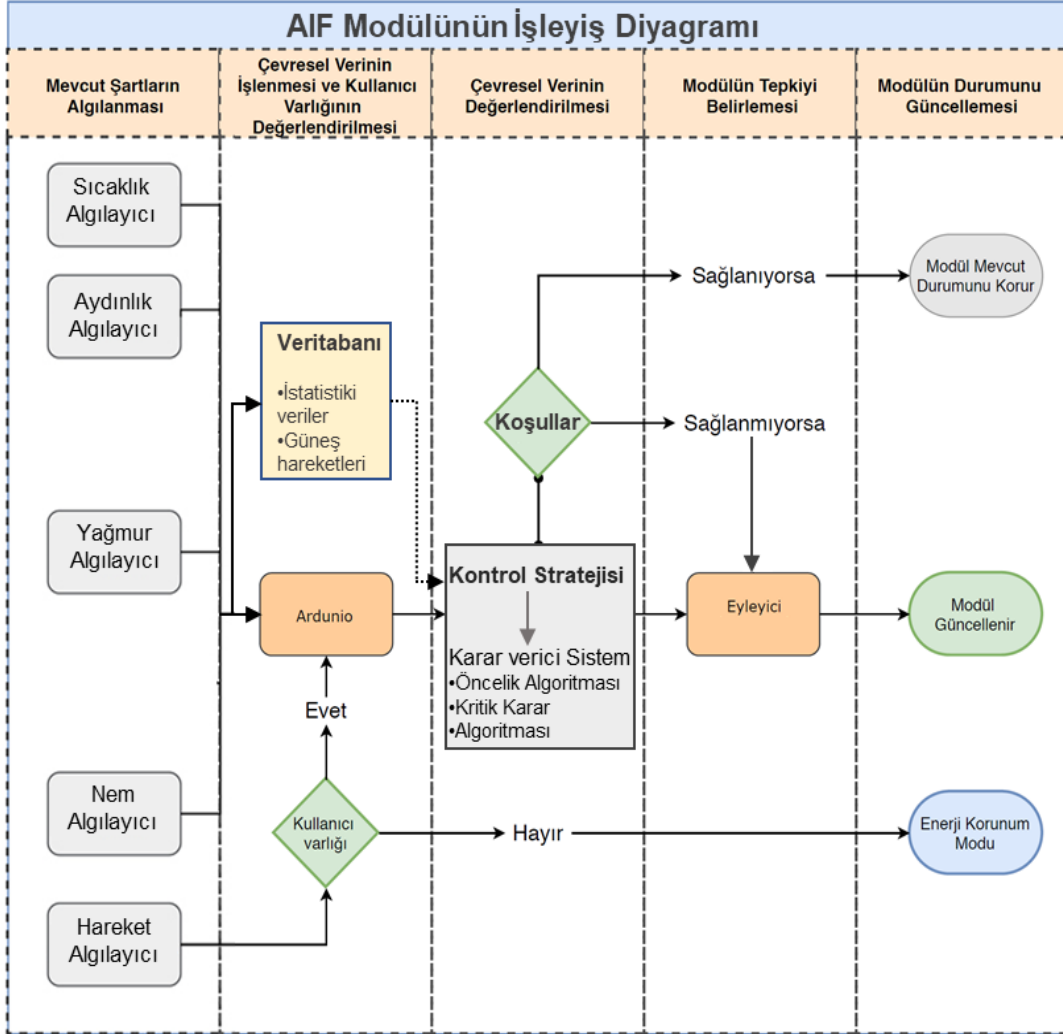
AIF modülü için yapılandırılmamış algoritmaların olduğu karar verici sistemin akış şeması şekil 4.6'da gösterilmiştir. Bu işleyiş diyagramındaki, çevresel parametrelerden sıcaklık, aydınlık, gürültü, yağmur algı, hava kalitesi, nem algılayıcılarının bulundurulması bu performans odaklı sürecin optimizasyonu açısından önemlidir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 : Yapılandırılmamış akıllı karar verici sistemin akış şeması.

Fakat günümüz teknolojik donanımlarının, bu kadar çok parametreyi bu kadar kısa sürede optimize etmesi modülün karar verme sisteminin maliyetindeki artışta göz önüne alındığında çok da verimli görünmemektedir. Aynı zamanda bu kadar girdinin aynı anda karar verme sistemine giriş yapmasının, bu akıllı sistemin uygun tepkiyi vermesi için tasarlanması gereken algoritmalarında yetersiz verimde işleyişine sebep

olabileceği öngörülmektedir. Bu sebeple kullanıcının konfor koşullarını en çok etkileyen girdilerin karar verme sisteminin akış şemasına dahil edilmesi sağlanmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 : AIF modülünün karar verici sisteminin akış şeması.

Öncelik Algoritması çalışma prensibi şu şekildedir. Öncelikli olan parametre komut satırında sıcaklık olarak belirtildiyse, yazılımda ilk öncelik sıcaklıkta tanımlanan aralığı sağlamaktır. İkinci önceliğin aydınlık düzeyi olduğunu varsayarsak, sıcaklık parametresinde aralık içerisinde herhangi bir aralığı yakalayan program ikincil önceliği, aydınlık düzeyini sıcaklık değerini o aralıkta sabit tutmak koşuluyla optimize edebilir. Bu yazılım birbiriyle çatışan durumlar için kullanılmaktadır. Bu algoritma gelişmiş ve hiyerarşik olarak kurgulanmış algoritmayla desteklenerek sistemin veriminin artması beklenmektedir.

Tasarlanan modülün tüm bina türlerinde kullanılabilmesi mümkün olmasına rağmen ofis binalarında kullanılmasının daha çok verimli olabileceği öngörülmektedir. Çünkü ofis binaları günün belirli saatlerinde aktif olarak kullanılan farklı bir zaman çizelgesine uyulan yapılar olarak düşünülebilir. Bu tür durumlar için cephenin pasif sistemleri daha etkin olarak kullanabileceği düşünülmektedir.

Çoklu parametre optimizasyonu, iç konfor koşullarını sağlamak için çeşitli çevresel parametreleri birbiriyle belirli oranlarda dengeleme prensibine dayanmaktadır. Çoklu katmanların uyumlu bir şekilde kullanılması, adaptif cephelerin verimliliğini garanti eder. Farklı yüzde değerlerine dayanan girdi ve çıktılar, cephenin ortam koşullarına uyum sağlamasına yardımcı olmaktadır.

Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 karşılaştırıldığında girdiler dışında karar verme algoritmalarının da değiştiği izlenebilmektedir. Buna sebep olarak cephenin verimini artırmak amacıyla kurgulanan karar verme ve girdilerin hiyerarşik bir şekilde ele alınmasını sağlayan Öncelik Algoritması ve Kritik Karar Algoritması olarak gösterilebilir.

Öncelik Algoritmasının çalışma prensibi esnek bir düzene ve bir dizi hiyerarşik algoritmaya dayanmaktadır. Buna göre, öncelik parametresi komut satırında sıcaklık olarak belirtilirse, cephe iç mekânda verilen sıcaklık aralığını sağlar. İkinci öncelik, gün ışığı seviyesi ise, yazılım, sıcaklık seviyesini bu aralıkta sabit tutarak iç mekânın ışık seviyesini optimize eder. Çatışma durumları için kullanılan öncelikli algoritmaların, sistemin verimliliğini artırmak için bir optimizasyon algoritması tarafından desteklenmesi gerekmektedir.

Performans odaklı olarak tasarlanan AIF modülü, Arduino ve Proteus kullanılarak geliştirilmiştir. Mevcut AIF modülünde, sıcaklık öncelikli parametre olarak seçilmiştir. Gözlemler ve performans analizleri incelendiğinde, enerjinin büyük bir oranının bina sıcaklık seviyesini ideal seviyede tutmak için kullanıldığı görülmektedir. Ek olarak, ofis, konut ve kamu binaları gibi her türlü binada enerjinin korunmasında sıcaklık en önemli parametre olarak belirlenmiştir.

AIF modülünün ikinci önemli parametresi, günün belirli saatlerinde yapay aydınlatmanın sık kullanımına bağlı olarak artan elektrik tüketiminden dolayı gün ışığı seviyesidir. Yapay aydınlatma sebebiyle bina işletme maliyetleri artmaktadır. Bu şekilde, günışığı seviyesi ofis binaları için daha dar bir değer aralığına göre optimize edilmelidir.

AIF modülündeki üçüncü parametre, havanın yağış durumunun öngörülmesini sağlayan nemdir. Bu şekilde, modülün beyni, cephenin yağmura maruz olup olmadığını hesaplayabilir. Ek olarak, önceki gün sıcaklığını hesaplayarak tahminlerde bulunur ve bu verilere göre cephenin belirli katmanlarını etkinleştirir.

AIF modülünün sayısı ve fiziksel özellikleri, cephenin yönüne göre değiştirilmelidir. Örneğin, güney cepheye güneş koruyucularından oluşan kompozit bir tabaka eklemek, güneşin güdülediği bir tasarım kararı olarak düşünülebilir. AIF modülü bir prototip olduğundan, herhangi bir yöne özgü olacak şekilde tasarlanmamıştır ve karar verme aşamasında cephe modüllerinin çatışmalarını önlemek için deneysel bir prototip olarak kurgulanmıştır.

Algoritmanın doğrusallığını korumak için, gün ışığı değerinde 100 Lx ve sıcaklıkta 1 °C'den fazla bir fark olmalıdır. Girdi bu değerlerin altındaysa, Kritik Karar Yöntemi sisteme uygulanır.

Kritik Karar Algoritması, kinetik sistemlerde belirli değer altında bir değişiklik mi, yoksa yanıt mı olması gerektiğine karar veren bir yaklaşımdır. Örneğin, optimum sıcaklıktan 1 °C'den daha az bir fark için, parametredeki değişiklik miktarı, konfor şartı üzerinde çok az etkiye sahip olduğu için modül tepki vermeyebilir. Bu şekilde, modül hareket ederken tüketilen enerjiyi en aza indirebilecektir. Bu yaklaşımla malzeme yorulmasının da minimize edilmesi amaçlanmaktadır.

Karar verme şemasında girdiler, karar verme mekanizması tarafından değerlendirilerek tepkiyi eyleyicilere ileterek, adaptasyonun görünür olmasını sağlarlar (Şekil 4.8). Seçilen girdiler öncelikle bina kullanıcısının seçimlerine göre değerlendirilirler.

Sıcaklık seviyesi, bu değerlendirmeden sonra eğer kullanıcının istediği değer aralığında ise karar verme mekanizması bir saat veya iki saat sonrasındaki hava durumunu analiz ederek güneşin batıp batmayacağını öngörür. Bu değerlendirme sonucunda eğer bir değişim öngörüsü yok ise eyleyiciye herhangi bir komut iletmez ve mevcut durumunu korumasını sağlar. Eğer var ise bunun enerji korunumu açısından iyi olup olmadığını değerlendirir. Bu durum enerji korunumu açısından olumluysa eyleyiciye komut iletmez. Aksi durumda ise istatistiki veriyi yeniden değerlendirerek öngörüsünü kullanır ve bu öngörüsüne göre kararını verir.

Karar verildikten sonra eğer değişiklik gerekliyse eyleyicinin pozisyonunu değiştirerek tepki vermesini sağlar. Sıcaklık seviyesinin kontrolünü sağlayan bu algoritma; Kritik Karar Algoritmasıdır. Bu algoritmanın uygulandığı ikinci koşul ise sıcaklık seviyesinin kullanıcının belirlediği aralıkta olmaması durumudur. Bu durumda modül değişimin belirlenen aralıktan 1 °C aşığısını ve yukarısını bina kullanıcısının fark edemeyeceği değişimler olarak tanımladığından bunun değerlendirmesini yapar. Bu değerlendirme sonucunda eğer, belirlenen değeri, 1 °C'den daha fazla bir değer aşıımı olursa bu durumda eyleyiciyi aktif hale getirir ve eyleyicinin pozisyonunu değiştirir. Eğer 1 °C'den daha az durumda ise karar verici algoritma, bu sefer istatistiki veriyi kontrol eder ve eyleyiciye komut gönderip göndermeyeceğine karar verir. Bu kararın sonucuna göre eyleyiciyi açıp kapatabilir. Bu sürecin tamamı Kritik Karar Algoritması olarak tanımlanır.

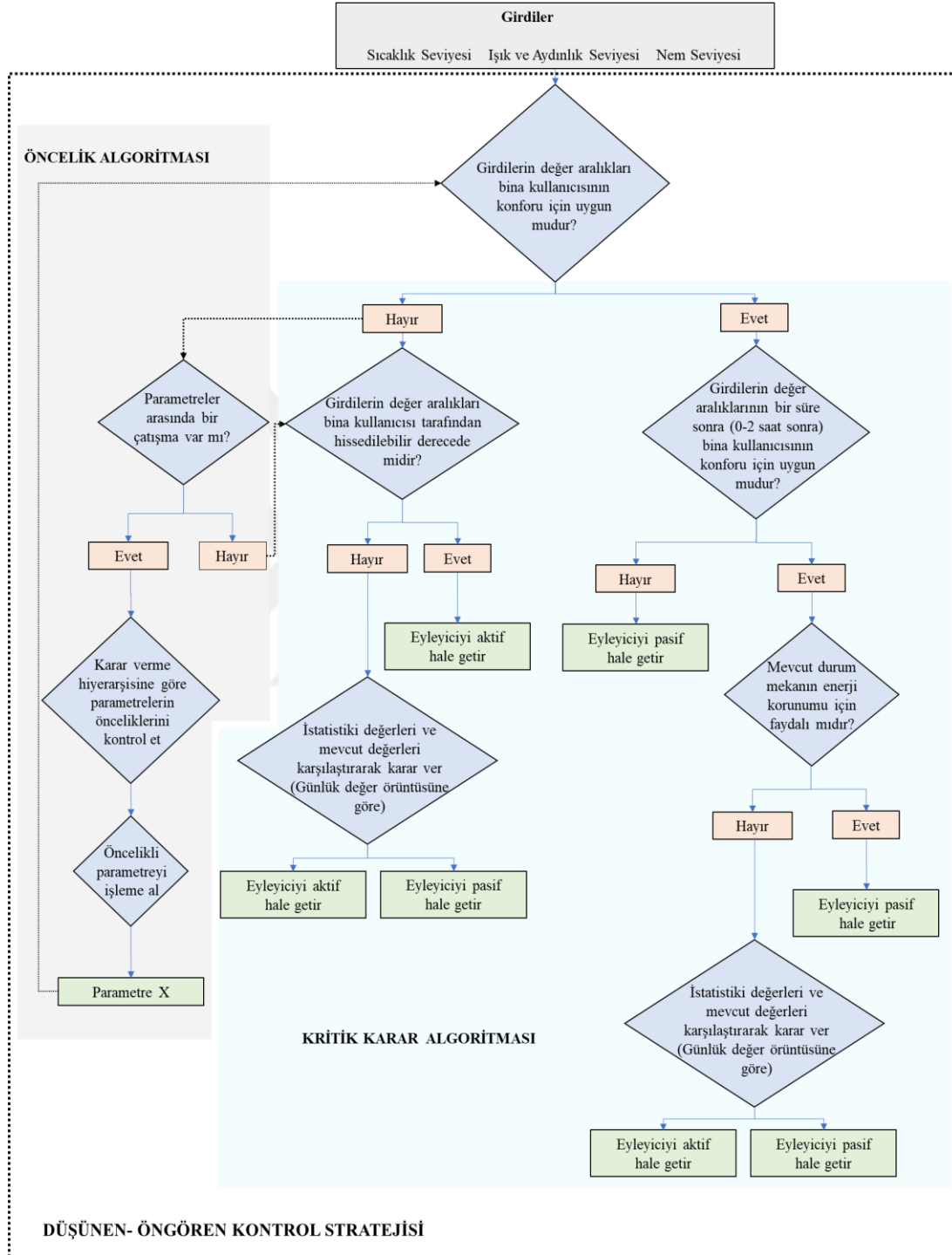
Bu algoritma Öncelik Algoritmasında öncelikli olan ve acil olarak müdahale edilip hakkında muhakeme yürütülmesi gereken parametrenin sıcaklık olduğu durumda kullanılır. Çünkü sıcaklık parametresi kademeli bir parametredir ve anlık değişim göstermez.

Günlük bir dil ile açıklamak gerekirse, pencereyi açtığınız anda iç mekan tamamen ısınmaz ya da soğumaz. Bunun sebebi iç mekandaki nesnelere ve havanın belirli bir sıcaklık değerinde olması ve bu durumu muhafaza etmeye yönelik davranışlarıdır. Bu sebeple iç mekanın ısınması ya da soğuması belirli bir süre alır.

Öncelik parametresinin çalışma prensibi ise şöyle açıklanabilir. En önemli parametre hangi parametre ise önce onu optimize etmeye çalışır. Optimize edilen ya da kullanıcı için tatmin edici seviyeye gelen parametre süreç dışı bırakılarak diğer parametrelerin optimizasyonu için muhakeme süreci devam ettirilir. AIF modülünde öncelikli parametre sıcaklık parametresi seçildiğinden karar verme mekanizması Kritik Karar Algoritması üzerinden başlatılmakta ve yürütülmektedir (Şekil 4.8).

Kara kutu yönteminde belirsizliklerin çözümü için istatistiki veri kullanılmaktadır. Bu veriler daha önce kaydedilmiş olan verilere bağlı olduğundan doğrudan öngörülemez tepkiler verebilirler. Gri kutu yönteminde ise sistemin hangi şartlarda ölçülen, hangi şartlarda istatistiki veriye başvuracağı kararının analizi yapılmaktadır. Bu sayede belirsizliklerin çözümünde öngörülü bir kontrol

sağlanabilmektedir. Tüm bu kurallar parametrelerin daha doğru bir şekilde ele alınmasını sağlayan, kara kutu ve gri kutu yöntemleri kullanılarak hesaplamalı karar verme sistemine dahil edilirler.



Şekil 4.8 : AIF modülünün karar verme sisteminin akış şeması; Düşünen- Öngören Kontrol Stratejisi.

Tüm bu yönleriyle AIF modülü cephelerin otonom yönetilmesine özgü geliştirilmiş ve endüstride de kullanılması öngörülen bir prototip olarak tasarlanmış ve taslak fiziksel üretimi yapılmıştır.

4.2.3 Modülün fiziksel üretimi

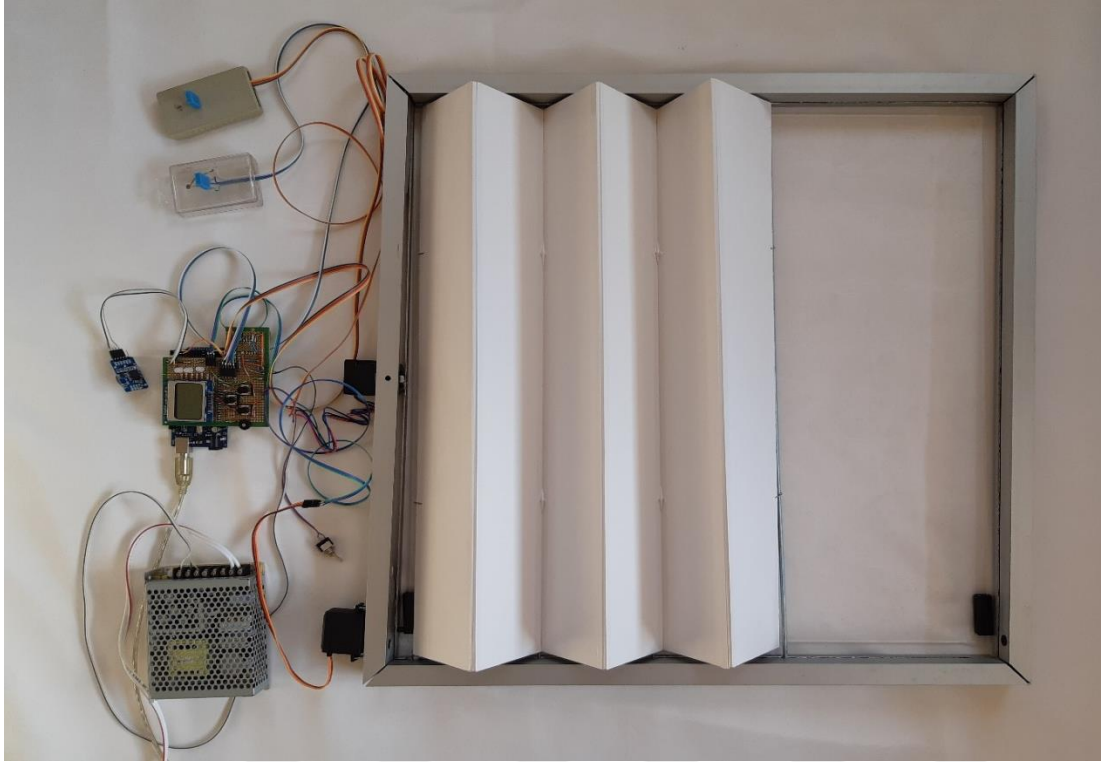
AIF modülü, performans odaklı adaptif ve gelişmiş akıllı çok katmanlı bir modüldür (Şekil 4.9). Performans gereksinimleri, farklı özelliklere sahip iki katmanla sağlanmaktadır. Dış cephenin en dış tabakası yarı geçirgen kristal polikarbonat malzemeden oluşan kendinden yalıtımlı bir panjurdur. Fiziksel üretimde bu katmanı temsilen bir maket kartonu kullanılmıştır. Bu katman birbiri üzerine katlanan yüzeylere sahiptir. Bu sayede gerektiğinde kapalı, tamamen açık ve yarı açık pozisyonlara getirilebilmektedir. Bu katman ısı korunumunu sağlamak ve yüksek ışık seviyelerinin olduğu zaman dilimlerinde kullanılmak için geliştirilmiştir. Ayrıca, yağış koşullarında aktif hale getirilerek modülü çevresel etkilerden korumak için tasarlanmıştır. Panjur katmanının açılma ve kapanma mekanizması, servo ve step motorlar tarafından hareket ettirilmektedir.

İkinci katman, elektrokromik camdan yapılmış akıllı bir malzemedir. Bu cam kapalı, tamamen açık ve yarı açık olabilir ve gerekirse opak ve şeffaf hale gelebilmektedir. Bu sayede iç mekanın, aydınlık ve ışık seviyelerinin dengesini sağlamaktadır. Bu katman iki farklı mekanizma tarafından kontrol edilmektedir. Bu katmanın açılma ve kapanma mekanizması servo ve step motorlarla kontrol edilirken, opak ve saydam katmanın bir elektrokromik uyarıcı ile aktif hale getirilmesi mümkündür.

Akıllı cam teknolojisini kullanarak, tasarlanmış modül içindeki tek bir cephe katmanı çok işlevli hale gelebilmektedir. Ayrıca, bu katman bir karar verme algoritması tarafından kontrol edilerek konfor koşullarını sağlayabilir. Akıllı cam teknolojisinin farklı işlevler için tek bir cephe katmanında kullanılması AIF modülünün başka bir özgün yönü olarak tanımlanabilir.

Buna ek olarak, kullanıcının odada olup olmadığını anlamak için etkileşim algılayıcısı sıcaklık algılayıcısına gömülü bir biçimde eklenmiştir (Şekil 4.9). Bu sayede modül kullanıcı varlığını algılayarak buna göre tepki üretmeye başlayabilmektedir. Buna göre, AIF modülünü performans odaklı, reaktif ve etkileşimli bir modül olarak değerlendirmek mümkündür. Modülün karar alma sürecinde görevli ve kritik durumlarda işlemi başlatmak için gerekli olan istatistiksel veriler (günlük sıcaklık, gün

ışığı değerleri vb.) bir veri depolama birimi içerisinde muhafaza edilmektedir (Şekil 4.9). İstatistiksel verileri tamamlayıcı ve doğrulayıcı bir kaynak olarak kullanılabilir.



Şekil 4.9 : AIF modülünün bileşenleri.

Tek kriterli optimizasyonun aksine, çoklu optimizasyon sistemleri, alternatif konfigürasyonlara ve çatışan durumlardan kaynaklanan çeşitli senaryolara izin verir. Yazılım, olası senaryoları değerlendirerek en iyi yanıtı sağlayacak ve optimizasyon sürecine katkı sunacak şekilde geliştirilmiştir. Kurgulanan karar verme hiyerarşisi sayesinde bu duruma en iyi şekilde adapte olur. Buna göre, bu modül Akdeniz iklim bölgesindeki tüm binaların cephelerinde kullanılabilir ve diğer tüm iklim tiplerine katmanların ve algoritmaların yeniden yapılandırılmasıyla adapte edilebilirler.

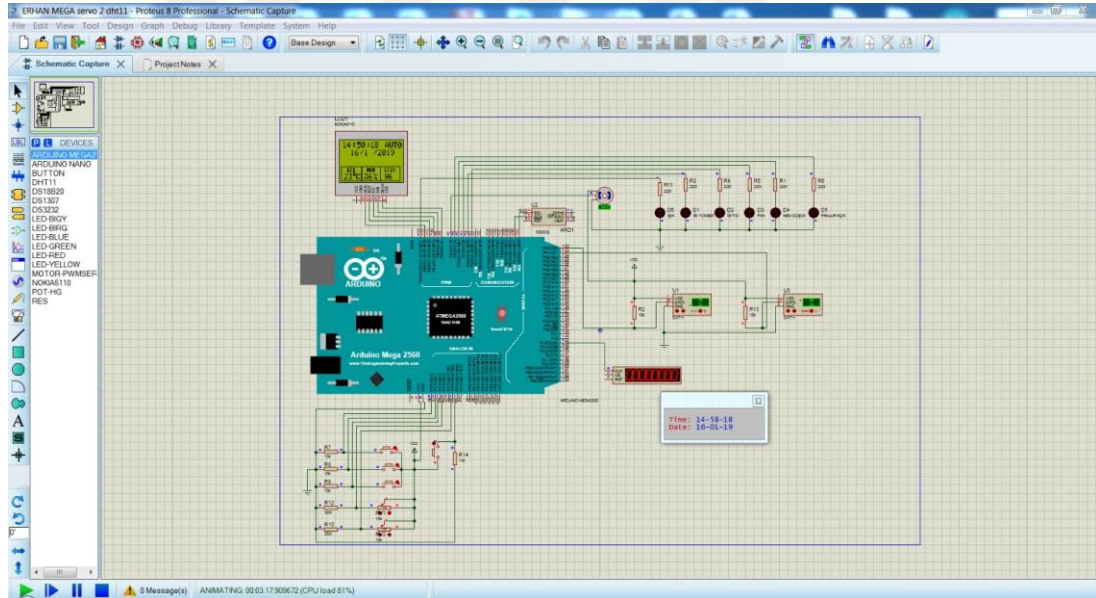
4.3 Modülün Simülasyonu

Simülasyon terimi, sistemin bütününe örneklemekten sistemin temel bileşenlerinin temsil yoluyla sistemin performansını tasavvur etmek için kullanılabilen bir modelleme tekniğini ifade eder. Mimarlık alanında performans simülasyonu, binanın çevresel ve yapısal performanslarını ölçümleyebilecekleri dijital araçlar olarak tanımlanmaktadır. Bu bölümde AIF modülünün, performans analizleri üç farklı

senaryo üzerinden yapılacak ve analiz sonuçları kullanıcı konforu ve enerji etkinliği açısından değerlendirilecektir.

4.3.1 Modülün karar verici sisteminin simülasyonu

Modülün ve karar alma sisteminin çalışması Şekil 4.10' da gösterilmiştir. Geliştirilen AIF modülünde algılayıcılar birincil veri kaynakları olarak belirlenmiştir. Bu şekilde, AIF modülü gerçek zamanlı olarak ölçülebilir ve tepkileri izlenebilir. Algılayıcılar değişken durumlarını milisaniye içerisinde tespit eder ve verileri sisteme iletir. İletilen veriler karar verme sisteminin anlık veya periyodik olarak yanıt vermesini sağlar. Örneğin, yağmur anında, sıvı geçirmez bir katman anında tepki olarak aktifleştirilir. Sıcaklık düşerse, modülün diğer katmanları diğer kuralların tutarsızlığına göre sistematik olarak aktif veya pasif olabilir. Örneğin, modülün tepkisi, gün doğumunda ve gün batımında sıcaklık değişimleri nedeniyle zaman zaman yeniden yapılandırılabilir.



Şekil 4.10 : Proteus yazılım arabiriminde karar verici sisteminin (beyin, algılayıcılar ve eyleyiciler) dijital simülasyonu.

Şekil 4.10, AIF modülünün beyninin simüle edildiği Proteus yazılımının 8.6 sp2 versiyonunu göstermektedir. Devre başarıyla tepki vermekte ve servo ve step motorlar uygun zaman aralıklarında ve dengeli tepkiler vermektedir. Devre şeması simülasyonu sonuçlarına göre, modülün verimli ve bileşenleriyle uyumlu bir şekilde çalıştığı gözlemlenmektedir. Buna göre tepki süresinin bir saniyenin altında olduğu belirlenmiştir. Bu süre cephenin ölçümleme karar verme ve tepki verme süreçlerini eş

zamanlı olarak nitelendirmemiz için yeterli görünmektedir. Devre şemasının simülasyonu sonucunda fiziksel bir elektronik devre yapılmıştır. Bu devrenin de fiziksel ortamda çalışırılığı yapay uyarılar ile denetlenmiştir.

4.3.2 Modülün gerçek meteorolojik veriler ile simülasyonu

AIF modülü, Akdeniz ikliminde seçilen dört farklı hava durumu senaryosu ile performans doğrulaması (performance validation) için simüle edilmiştir. Simülasyon yöntemi, literatürdeki simülasyon çalışmalarından yorumlanarak, Rhinoceros, Python, Diva ve eklentileri ile oluşturulmuştur (Kensek & Hansanuwat, 2011; Loonen ve diğ., 2017). Bu simülasyonda tavan yüksekliği 3 metre, genişliği 6 metre ve derinliği 6 metre olan bir alan dijital olarak modellenmiştir. Bu modelde 60 cm x 60 cm boyutlarında tasarlanmış toplam 50 adet AIF modülü, hacmin güney tarafına dijital olarak yerleştirilmiştir. Mekanın diğer cepheleri standart ve geçirimsiz duvarlar olarak tasarlanmıştır. Modüllerin sadece güney tarafına yerleştirilmesindeki amaç, Akdeniz bölgesinin ısı radyasyonunun yüksek olmasıdır.

Bu hacim, hava durumu verileri bir komut dosyası yardımıyla adapte edilerek simüle edilmiştir. Önceki güne ait istatistiksel veriler ve mevcut dış ortam sıcaklığı sisteme yüklenmiştir. Hedeflenen sıcaklık değeri, tüm senaryolarda 25 °C olarak belirlenmiştir. Hedeflenen sıcaklığın 1 °C altı ve üstü, kullanıcı için optimum sıcaklık olarak belirlenmiştir. Bu veriler ışığında, standart ve AIF modülünün kullanıldığı bir cephedeki, iç mekan sıcaklık değişimi ölçümlenmiştir. Bu simülasyon sayesinde farklı hava koşullarında iki farklı cephenin iç konfor açısından etkilerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Çizelge 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5'te, AIF modülünün çeşitli iklim koşullarına göre nasıl davrandığı da gözlemlenebilir. İki farklı katmandan oluşan AIF, yarı saydam kristal polikarbonattan yapılmış panjuru elektrokromik akıllı cam katman ile ışık seviyesini etkinleştirerek sıcaklığa müdahale eder. Bazı özel durumlarda, elektrokromik cam opak hale gelerek kendini aktifleştirir ve ısı radyasyonu en aza indirir.

AIF modülünün karar verme sisteminde çok amaçlı optimizasyon kullanılmaktadır. Tek optimizasyondan farklı olarak, çoklu optimizasyon sistemleri, alternatif konfigürasyonlara ve çatışan durumlardan kaynaklanan çeşitli senaryolara izin verir. Yazılım, olası senaryoları değerlendirerek optimum yanıt vermek için geliştirilmiştir.

Buna göre AIF modülü Akdeniz iklimindeki tüm binaların cephelerinde kullanılabilme potansiyeline sahiptir.

AIF modülünün ve simülasyonunun kısıtlamaları şu şekilde sıralanabilir;

- Dijital simülasyonda AIF modüllerinin yerleştirildiği standart cephe ve akıllı cephedeki malzemelerin ısı değerleri aynı belirlenmiştir ve kalınlıklarının eşit olduğu kabul edilmiştir. Bu nedenle simülasyondaki veriler karşılaştırmalı olarak yorumlanabilmektedir.
- Simülasyon aşamasındaki girdiler, sıcaklık seviyesini ve ışık seviyesini doğrudan etkileyenler olarak belirlenir. Nem, bir çarpan olarak algılanan hava sıcaklığını etkiler. Aynı zamanda AIF modülünde cephe katmanlarının yağış olasılığına göre hareket ettirilmesi öngörülmekle birlikte, parametre sayısını en aza indirmek için simülasyon ortamında bu parametre ihmal edilmiştir.
- Simülasyonda, akustik girdiler ve değerler değerlendirilmenin dışında tutulmuştur.
- Simülasyonun süresi 00:00 ile 23:00 arasında 24 saatlik bir süre olarak belirlenmiştir. Kullanıcı varlığı algılayıcıları içeren modülün gün boyu çalıştığı düşünülmüştür. Böylelikle bu süre zarfında mekânda bir kullanıcının var olduğu varsayılmaktadır.
- Simülasyon işlemi sırasında katmanlar her zaman açık, kapalı (panjur, elektrokromik cam) veya aktif, pasiftir (elektrokromik cam) kapalıdır. Bu katmanlar, iç mekan hava kalitesini havalandırmak ve iyileştirmek için yarı açık veya hafif açık konumlara getirilecek şekilde programlanabilir. Simülasyonda yarı açık ve hafif açık konumlar ihmal edilmiştir.
- Antropojenik ısı ve kentsel ısı adaları gibi konuma bağlı değerler simülasyon dışında tutulmuştur.

Çizelge 4.2,4.3,4.4 ve 4.5' te, meteorolojik veri platformundan alınan hava durumu verilerine göre iç ve dış sıcaklıkların ekinoks tarihlerindeki saatlik simülasyon sonuçları gösterilmektedir (URL-18). Değişen hava koşullarına adapte olan AIF modülünün katmanlarının yanıtı da çizelgelere dahil edilmiştir. Ek olarak, simülasyon verileri standart bir cepheye kıyasla iç sıcaklığın nasıl değiştiğini gösterir.

Çizelge 4.2 modülün durumunu ve 23 Eylül ekinoksundaki hava durumuna göre iç mekandaki ve dış ortamdaki sıcaklık dengesini göstermektedir. Buna göre 23 Eylül,

AIF modülünün sıcaklığı standart cepheye göre en etkili şekilde telafi ettiği tarih olarak tanımlanabilir. İç ortam sıcaklıklarının dış ortam sıcaklığı ile dengeli bir şekilde adapte edilebildiği gözlenmiştir. Bu koşullar altında AIF modülünün katmanlarının düzenli olarak yanıt verdiği ve Kritik Karar Algoritmasının sıklıkla kullanıldığı gözlemlenmiştir. Çizelge 4.2'de istatistiksel veriler ile dış ortam sıcaklığı arasındaki ilişki görülmektedir. Bu korelasyon sınır koşullarda, Kritik Karar Algoritması sonucunda verilen tepkilerin yerinde ve isabetli olma olasılığını artırır. Bu nedenle Kritik Karar Algoritması aktif hale gelmesine rağmen, mevcut sıcaklık bir önceki günkü sıcaklık değişimine paralel değilse sistem eyleyicinin tam tersi işlemi gerçekleştirmesini sağlar ve Kritik Karar Algoritması uygulanan karardan önceki karar yeniden işleme alır. Algoritma bu sayede algılayıcılardan alınan verileri eş zamanlı olarak istatistiksel verilerle karşılaştırarak geri bildirim mekanizmasına göre cepheyi yönetir.

Çizelge 4.2 : 23 Eylül 2018 (Zaman aralığı (Sa.), Ölçümlenen değerler (Ö.d.), İstatistiki sıcaklık (İ.s.), Dış ortam sıcaklığı (D.s.), Hedeflenen sıcaklık (H.s.), Standart cephenin iç mekan sıcaklığı (S.i.m.s.), AIF modülünün uygulandığı cephenin iç mekan sıcaklığı (AIF i.m.s.), Hava durumu (H.d.), Açık (A), Kapalı (K), Aktif (Ak), Pasif (Pa)).

Çevresel Veriler (İ.s.: 22 Eylül 2018, Ö.d.: 23 Eylül 2018)							AIF Katmanları					
Sa.	İ.s.	D.s.	H.s.	S.i.m.s.	AIF i.m.s.	H.d.	Panjur		EK. Cam			
							A.	K.	A.	K.	Ak	Pa
00:00	22	22	25	22,0	22,0	Açık		x		x		x
01:00	22	22	25	22,0	22,0	Açık		x		x		x
02:00	23	23	25	22,2	22,5	Açık	x		x			x
03:00	21	20	25	21,8	22,1	Sisli		x		x	x	
04:00	21	19	25	21,4	21,8	Sisli		x		x	x	
05:00	21	20	25	21,2	21,6	Sisli		x		x	x	
06:00	21	20	25	21,1	21,5	Sisli		x		x	x	
07:00	21	19	25	20,8	21,2	Sisli		x		x	x	
08:00	23	23	25	21,4	22,4	Sisli	x		x		x	
09:00	24	22	25	21,6	22,2	Sisli		x		x	x	
10:00	24	22	25	21,8	22,1	Bulutlu		x		x		x
11:00	25	23	25	22,1	22,5	Bulutlu	x		x			x
12:00	25	24	25	22,5	23,1	Bulutlu	x		x			x
13:00	25	23	25	22,7	23,0	Bulutlu		x		x		x
14:00	26	24	25	23,0	23,5	Bulutlu	x		x			x
15:00	28	25	25	23,6	24,3	Bulutlu	x		x			x
16:00	28	26	25	24,2	25,2	Bulutlu	x		x			x
17:00	27	27	25	24,6	25,6	Güneşli		x		x		x
18:00	27	26	25	24,9	25,6	Güneşli		x		x		x
19:00	24	23	25	24,3	25,0	Bulutlu		x		x		x
20:00	24	23	25	23,9	24,6	Bulutlu		x		x		x
21:00	22	24	25	24,0	24,5	Açık		x		x		x
22:00	22	22	25	23,6	24,1	Bulutlu		x		x		x
23:00	22	22	25	23,2	23,7	Açık		x		x		x

Çizelge 4.3, 21 Aralık ekinoksundaki hava durumuna göre modülün durumunu ve iç-dış sıcaklık dengesini gösterir. İç ve dış sıcaklık farkları çok yüksek olduğu için cephe pasif kazanç elde edemez. Bu tarihte, elektrokromik cam hava durumuna göre açılır ve kapanır ve iç mekandaki ışık miktarını dengeler.

Çizelge 4.3 : 21 Aralık (Zaman aralığı (Sa.), Ölçümlenen değerler (Ö.d.), İstatistikî sıcaklık (İ.s.), Dış ortam sıcaklığı (D.s.), Hedeflenen sıcaklık (H.s.), Standart cephenin iç mekan sıcaklığı (S.i.m.s.), AIF modülünün uygulandığı cephenin iç mekan sıcaklığı (AIF i.m.s.), Hava durumu (H.d.), Açık (A), Kapalı (K), Aktif (Ak), Pasif (Pa)).

Çevresel Veriler (İ.s.: 20 Aralık 2018, Ö.d.: 21 aralık 2018)							AIF Katmanları					
Sa.	İ.s.	D.s.	H.s.	S.i.m.s.	AIF i.m.s.	H.d.	Panjur		EK. Cam			
							A.	K.	A.	K.	Ak	Pa
00:00	2	5	25	6	6	Açık		x		x		x
01:00	2	6	25	6	6	Bulutlu		x		x		x
02:00	2	6	25	6	6	Bulutlu		x		x		x
03:00	3	6	25	6	6	Bulutlu		x		x		x
04:00	2	6	25	6	6	Bulutlu		x		x		x
05:00	2	6	25	6	6	Bulutlu		x		x		x
06:00	3	6	25	6	6	Bulutlu		x		x		x
07:00	3	7	25	6,4	6,4	Bulutlu		x		x		x
08:00	3	7	25	6,6	6,6	Bulutlu		x		x		x
09:00	4	7	25	6,8	6,8	Güneşli		x		x	x	
10:00	3	7	25	7	7	Güneşli		x		x	x	
11:00	4	7	25	7	7	Güneşli		x		x	x	
12:00	4	7	25	7	7	Güneşli		x		x	x	
13:00	4	8	25	7,4	7,4	Güneşli		x		x	x	
14:00	4	8	25	7,6	7,6	Güneşli		x		x	x	
15:00	5	8	25	7,8	7,8	Güneşli		x		x	x	
16:00	5	8	25	8	8	Güneşli		x		x	x	
17:00	5	8	25	8	8	Güneşli		x		x	x	
18:00	4	7	25	7,8	7,8	Bulutlu		x		x		x
19:00	5	7	25	7,6	7,6	Bulutlu		x		x		x
20:00	5	7	25	7,4	7,4	Bulutlu		x		x		x
21:00	4	7	25	7,2	7,2	Bulutlu		x		x		x
22:00	5	8	25	7,4	7,4	Bulutlu		x		x		x
23:00	6	8	25	7,6	7,6	Bulutlu		x		x		x

Çizelge 4.4'e göre, cephe, pasif enerji kazanımları elde edememektedir. Çünkü iç ve dış sıcaklık farkının 21 Mart ekinoksundaki hava durumuna göre çok yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Hava sıcaklığı o sırada istikrarlı olduğundan, AIF modülü standart bir cephe modülü olarak işlev görmüştür. Bu bağlamda, AIF modülünün incelenen tarihler arasında en verimsiz olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Çizelge 4.4 : 21 Mart (Zaman aralığı (Sa.), Ölçümlenen değerler (Ö.d.), İstatistiki sıcaklık (İ.s.), Dış ortam sıcaklığı (D.s.), Hedeflenen sıcaklık (H.s.), Standart cephenin iç mekan sıcaklığı (S.i.m.s.), AIF modülünün uygulandığı cephenin iç mekan sıcaklığı (AIF i.m.s.), Hava durumu (H.d.), Açık (A), Kapalı (K), Aktif (Ak), Pasif (Pa)).

Çevresel Veriler (İ.s.: 20 Mart 2019, Ö.d.: 21 Mart 2019)							AIF Katmanları					
Sa.	İ.s.	D.s.	H.s.	S.i.m.s	AIF i.m.s.	H.d.	Panjur		EK. Cam			
							A.	K.	A.	K.	Ak	Pa
00:00	13	9	25	9	9	Açık		x		x		x
01:00	12	9	25	9	9	Bulutlu		x		x		x
02:00	12	9	25	9	9	Bulutlu		x		x		x
03:00	12	8	25	8,6	8,6	Bulutlu		x		x		x
04:00	10	9	25	8,8	8,8	Bulutlu		x		x		x
05:00	10	9	25	9	9	Bulutlu		x		x		x
06:00	10	9	25	9	9	Bulutlu		x		x		x
07:00	10	9	25	9	9	Bulutlu		x		x		x
08:00	10	10	25	9,2	9,2	Bulutlu		x		x		x
09:00	12	11	25	9,6	9,6	Bulutlu		x		x		x
10:00	12	10	25	10	10	Bulutlu		x		x		x
11:00	12	11	25	10,2	10,2	Bulutlu		x		x		x
12:00	12	11	25	10,4	10,4	Bulutlu		x		x		x
13:00	12	12	25	10,8	10,8	Bulutlu		x		x		x
14:00	12	12	25	11,2	11,2	Bulutlu		x		x		x
15:00	13	12	25	11,4	11,4	Bulutlu		x		x		x
16:00	12	11	25	11,2	11,2	Bulutlu		x		x		x
17:00	11	10	25	10,8	10,8	Bulutlu		x		x		x
18:00	10	10	25	10,6	10,6	Güneşli		x		x		x
19:00	10	10	25	10,4	10,4	Bulutlu		x		x		x
20:00	9	10	25	10,2	10,2	Bulutlu		x		x		x
21:00	9	9	25	9,8	9,8	Bulutlu		x		x		x
22:00	9	9	25	9,6	9,6	Açık		x		x		x
23:00	9	8	25	9	9	Açık		x		x		x

Çizelge 4.5 modülün durumunu ve 21 Temmuz ekinoksundaki hava durumuna göre iç-dış sıcaklık dengesini göstermektedir. Standart modüle kıyasla, AIF modülü en etkili şekilde telafi ettiği ikinci tarih olarak tanımlanabilir. AIF modülünün dahili ve harici olarak dengeli bir şekilde pasif olarak kontrol edilebildiği gözlenmektedir. Bu koşullar altında, AIF modülünün katmanlarının düzenli olarak tepki verdiği ve Kritik

Karar Algoritmasının en çok kullanıldığı ikinci tarih olduğu görülmektedir. Bu tarih, Öncelik Algoritmasının en çok kullanıldığı zaman aralığı olarak düşünülebilir.

Çizelge 4.5 : 21 Temmuz (Zaman aralığı (Sa.), Ölçümlenen değerler (Ö.d.), İstatistiki sıcaklık (İ.s.), Dış ortam sıcaklığı (D.s.), Hedeflenen sıcaklık (H.s.), Standart cephenin iç mekan sıcaklığı (S.i.m.s.), AIF modülünün uygulandığı cephenin iç mekan sıcaklığı (AIF i.m.s.), Hava durumu (H.d.), Açık (A), Kapalı (K), Aktif (Ak), Pasif (Pa)).

Çevresel Veriler (İ.s.: 20 Temmuz 2019, Ö.d.: 21 Temmuz 2019)							AIF Katmanları					
Sa.	İ.s.	D.s.	H.s.	S.i.m.s	AIF i.ms.	H.d.	Panjur		EK. Cam			
							A.	K.	A.	K.	Ak	Pa
00:00	24	24	25	24	24	Açık	x		x			x
01:00	24	24	25	24	24	Açık	x		x			x
02:00	23	23	25	23,6	23,6	Bulutlu		x		x		x
03:00	23	23	25	23,2	23,2	Açık		x		x		x
04:00	23	23	25	23	23	Bulutlu		x		x		x
05:00	22	23	25	23	23	Bulutlu		x		x		x
06:00	23	23	25	23	23	Bulutlu		x		x		x
07:00	24	24	25	23,4	23,4	Bulutlu		x		x		x
08:00	25	25	25	24	24	Bulutlu	x		x			x
09:00	26	27	25	24,4	25,2	Bulutlu		x		x		x
10:00	27	28	25	24,8	25,6	Güneşli		x		x	x	
11:00	28	28	25	25,2	26	Güneşli		x		x	x	
12:00	29	29	25	25,4	26,2	Güneşli		x		x	x	
13:00	29	30	25	25,6	26,4	Bulutlu		x		x		x
14:00	29	30	25	25,8	26,6	Bulutlu		x		x		x
15:00	29	30	25	26	26,8	Bulutlu		x		x		x
16:00	29	30	25	26,4	27,2	Bulutlu		x		x		x
17:00	29	29	25	26,6	27,4	Bulutlu		x		x		x
18:00	27	28	25	26,8	27,6	Güneşli		x		x	x	
19:00	26	28	25	27	27,7	Güneşli		x		x	x	
20:00	26	26	25	26,4	26,4	Bulutlu	x		x			x
21:00	25	26	25	26,2	26,1	Bulutlu	x		x			x
22:00	25	25	25	25,8	25,7	Açık	x		x			x
23:00	24	25	25	25,6	25,2	Açık	x		x			x

Aşağıdaki sonuçlar, Çizelge 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5'te görülen simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesiyle elde edilmiştir;

- Simülasyon çalışmalarına göre AIF modülü, 20 °C simülasyonda hedef sıcaklık olan 25 °C üzerindeki sıcaklık aralığında iç mekan konforunun sağlanmasında standart cephe modüllerinden daha etkili olabilmektedir.

- AIF modülünün enerji verimliliği, simülasyonlarda belirtilen sıcaklık aralıklarında kullanıcı konforunu sağlamak için her zaman mümkün görünmese de aktif sistemler üzerindeki (ısıtma ve havalandırma ve iklimlendirme) yükün azaltılmasına katkı sağlayacağı tahmin edilmektedir.

- AIF modülü, cephe bileşenlerinin minimum hareketi ile maksimum konfor ve enerji verimliliği sağlamak üzere tasarlanmış bir prototiptir. Kullanıcının hissedemeyeceği sıcaklık değişimlerinde cephe durumunu korur ve hareket en aza indirilerek cephenin daha uzun hizmet ömrü sağlanır.

- Kritik Karar Algoritmasının devreye girdiği yerler olduğundan dolayı Hiyerarşik koşullu kontrol stratejisinin özelliklerinin yeterli olmadığı, Düşünen- Öngören kontrol stratejisinin muhakemesinin gerekli olduğu bu simülasyon çalışması ile gösterilmiştir.

AIF modülünün miktarı ve fiziksel özellikleri, cephenin yönüne göre değiştirilmelidir. Örneğin, güney cephesine güneş koruyuculardan oluşan kompozit bir katmanın eklenmesi, güneşin hareketine göre bir tasarım kararıdır. AIF modülü bir prototip olduğu için, herhangi bir yöne özel olarak tasarlanmamıştır ve karar alma aşamasında parametrelerin çatışmasını önlemek için deneysel bir çalışma olarak tanımlanabilir. AIF modülü, karar vermede çatışmaları önlemek için minimum katman sayısına göre tasarlanmıştır. Bu katmanların birbirleriyle ilişkileri modülün algoritmalarında tanımlanmıştır. Elektro-mekanik sistemin algılanması sayesinde, iç mekan sıcaklığı, standart cepheye kıyasla AIF modülü kullanımında istenen sıcaklığa yakındır.

4.3.3 Modülün Akdeniz iklimine özgü senaryolar ile simülasyonu

AIF modülünü çeşitli senaryolarla simüle etmek için Rhinoceros, Python, Diva ve eklentileri kullanılmıştır. Önceki simülasyona ek olarak model öngörülü kod tabanlı, istatistiki verilere ve parametrelere göre ölçümlenmeler yapan bir kara kutu yöntemi ile ölçülen veya daha önce kaydedilen verilerin kullanıldığı gri kutu simülasyon yöntemi kullanılmıştır (Borg ve diğ., 2016; Drgoňa ve diğ., 2020; Royer ve diğ., 2014; Tabadkani ve diğ., 2020). Bu yöntemle, belirli saat ve sıcaklık aralıklarına daraltılan değer tarama alanı (simülasyon modeli) detaylı olarak incelenebilecektir. Aynı

zamanda sadece Kritik Karar Algoritmasının ve Öncelik Algoritmasının kullanıldığı Düşünen-Öngören Kontrol Stratejisinin kullanıldığı AIF modülü ile standart cephenin karşılaştırılması değil, Hiyerarşik Koşullu Kontrol Stratejisinin de karşılaştırılmasına dair ön görüde bulunulabilecektir.

Bu simülasyonda başlangıç sıcaklıkları, Akdeniz ikliminin ortalama değerleri olarak seçilmiştir. İlk simülasyonda başarılı olan simülasyon değerlerine benzer sıcaklık değerleri ile alternatif 3 senaryo oluşturulmuştur. Modelde tavan yüksekliği 3 metre, genişliği 6 metre ve derinliği 6 metre olan bir hacim modellenmiştir. Bu modelde 60 cm x 60 cm boyutlarında tasarlanan modüller gridal bir biçimde 5'er adet ve 10'ar adet olmak üzere, hacmin güney tarafına yerleştirilmiştir. Diğer cepheler standart ve geçirimsiz duvarlar olarak tasarlanmıştır.

Tasarlanan değerler, önceki güne ait istatistiksel veriler ve mevcut dış ortam sıcaklığı sisteme yüklenmiştir. Hedef sıcaklık, tüm senaryolarda 25 °C'ye ayarlanmıştır. Hedeflenen sıcaklığın 1 °C altında ve üstünde, bina kullanıcıları için optimum sıcaklık olarak belirlenmiştir. Bu veriler ışığında, standart ve AIF modülünün kullanıldığı bir cephede iç sıcaklıktaki değişim ölçülür. Bu simülasyon ile farklı sıcaklık koşullarında iki farklı cephenin iç konfor üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çizelge 4.6, 4.7 ve 4.8'de AIF modülünün çeşitli iklim koşullarına göre nasıl davrandığı da gözlemlenebilmektedir. Şekil 4.11, 4.12 ve 4.13'teki grafiklerde sıcaklık değerleri karşılaştırılmalı olarak izlenebilmektedir.

Model öngörülü simülasyon modeliyle Kritik Karar Algoritmasının kullanıldığı ve kullanılmadığı iki modelin simülasyon sonuç aralığı belirlenmiştir. Bu sayede 2 farklı kontrol stratejisinin karşılaştırmalı simülasyonu da belirli 3 senaryo üzerinden yapılmıştır. Seçili binanın fonksiyonunun bir ofis binası olduğu varsayılmıştır. Bu nedenle, simüle edilmesi için belirlenen zaman aralığı 08:00-18:00 olarak belirlenmiştir. Bu zaman aralıklarının seçilmesinin nedeni ofis birimlerinin bu saatlerde aktif olarak kullanılması olarak ifade edilebilir. Üç farklı senaryonun analizini gösteren çizelge ve grafikler aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 4.6, Akdeniz iklim bölgelerinde tutarlı bir artış ve düşüşün gözlemlendiği bir senaryo olarak tanımlanabilir. Bu çizelgede panjur 08:00 ile 11:00 saatleri arasında açık haldedir. Bu sayede iç mekân sıcaklığı hedeflenen sıcaklığa yükseltilebilmiştir. Ancak saat 11:00'deki yağmur nedeniyle cephenin elektrokromik camı kapatılmıştır.

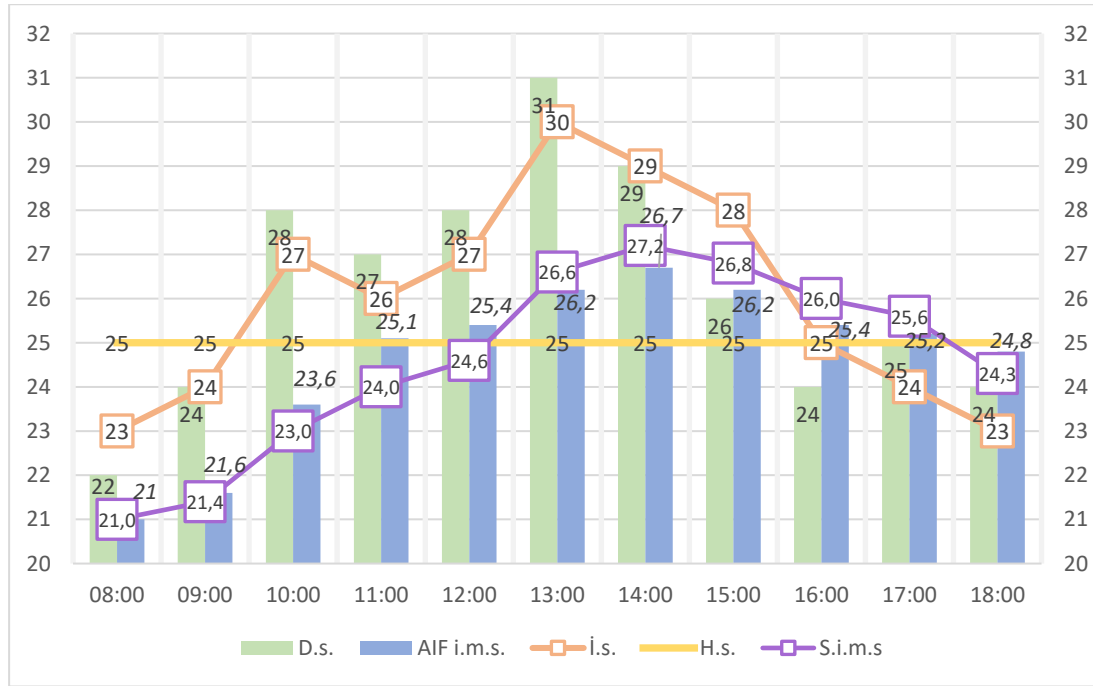
Böylelikle ofis biriminin ışık seviyesi hedeflenen seviyede olduğundan, yağmurun iç mekana girmesi engellenmiştir. 12:00-15:00 saatleri arasında güneşli hava gözlemlendiğinden elektrokromik cama aktif pozisyona gelir ve ışığın mekana doğrudan girişini engeller. Bu faz değişimi sayesinde, iç ortam sıcaklığı, standart cepheye göre dış sıcaklık seviyesinden daha az etkilenir. Çizelgeye baktığımızda AIF modülünün 12:00, 15:00 ve 18:00 saatlerinde cephenin panjur tabakası ve elektrokromik cam tabakası birbiriyle eşlenik halde toplamda üç hareket yapmıştır.

Çizelge 4.6 : A senaryosu (Zaman aralığı (Sa.), İstatistiki sıcaklık (İ.s.), Dış ortam sıcaklığı (D.s.), Hedeflenen sıcaklık (H.s.), Standart cephenin iç mekan sıcaklığı (S.i.m.s.), AIF modülünün uygulandığı cephenin iç mekan sıcaklığı (AIF i.m.s.), Hava durumu (H.d.), Açık (A), Kapalı (K), Aktif (Ak), Pasif (Pa)).

Çevresel Veriler							AIF Katmanları					
08:00-17:00 kullanımda, 18:00-08:00 kullanımda değil.							Panjur		EK. Cam			
Sa.	İ.s.	D.s.	H.s.	S.i.m.s.	AIF i.m.s.	H.d.	A.	K.	A.	K.	Ak	Pa
08:00	23	22	25	21	21	Güneşli	x		x		x	
09:00	24	24	25	21,4	21,6	Bulutlu	x		x			x
10:00	27	28	25	23	23,6	Bulutlu	x		x			x
11:00	26	27	25	24	25,1	Yağışlı	x			x		x
12:00	27	28	25	24,6	25,4	Güneşli		x		x	x	
13:00	30	31	25	26,6	26,2	Güneşli		x		x	x	
14:00	29	29	25	27,2	26,7	Güneşli		x		x	x	
15:00	28	26	25	26,8	26,2	Bulutlu	x		x			x
16:00	25	24	25	26	25,4	Bulutlu	x		x			x
17:00	24	25	25	25,6	25,2	Güneşli	x		x		x	
18:00	23	24	25	24,3	24,8	Güneşli		x		x	x	
18:00 - ...	Enerji korunum modu açık, algılayıcılar aktif, eyleyiciler devre dışı											

Şekil 4.11'e göre, dış ortam sıcaklığı 08:00 ile 13:00 arasında doğrusal olmayan bir şekilde artmıştır. Dış ortam sıcaklık parametresi için tepe noktası olarak 13:00 noktası gözlenmiş ve bu tepe noktasında sonra 13:00-18:00 arasında dış ortam sıcaklığında

düşüş gözlenmiştir. 08:00-09:00 ve 18:00 arasında hedeflenen sıcaklık olan 25 °C'nin altında, diğer zaman aralıklarının üstündedir. Bu durumda AIF modülü, kontrol sistemindeki parametrelere göre karar vererek iç ortam sıcaklığını hedeflenen sıcaklık seviyesine yaklaştırmıştır. Bu grafiğe göre modül, hedeflenen sıcaklığa statik cepheden daha yakın sonuçlar göstermektedir. Aynı zamanda model öngörülü simülasyon sonuçlarına göre Kritik Karar Algoritmasının kullanılmadığı hiyerarşik koşullu cephe sistemine göre AIF modülünün, hedeflenen sıcaklığa yakınsama açısından %4,7 ile %5,4 arasında daha verimli olacağı öngörülmektedir.



Şekil 4.11 : A senaryosu, sıcaklık verisi grafiği (Dış Ortam Sıcaklığı (D.s.), AIF modülünün uygulandığı cephenin iç mekan sıcaklığı (AIF i.m.s.), İstatistiki sıcaklık (İ.s.), hedeflenen sıcaklık (H.s.), standart cephenin iç mekan sıcaklığı (S.i.m.s.)).

Çizelge 4.7'ye göre, 13:00-14:00 zaman aralığında panjurun açık olması durumunda AIF modülünün olduğu cephedeki iç ortam sıcaklığı 26,2 °C'ye ulaşacağı için Kritik Karar Algoritması aktif hale getirilmiş ve istatistiksel verilere göre karar verilmiştir. Bir sonraki karar verme aşamasında ise, AIF modülünün panjur ve elektrokromik cam katmanları kapatılır. Çünkü istatistiki sıcaklık değeri değerlendirildiğinde, saat 17:00'ye kadar sıcaklığın hedeflenen sıcaklıktan daha yüksek olduğu öngörülmektedir. Bu sebeple kullanıcının farkı hissedemeyeceği seviyededir. AIF modülünde depolanan istatistiksel veriler karar anında verilerle eşleşmiyorsa, algılayıcılardan eş zamanlı ölçümler dikkate alınmaktadır. Bu nedenle Kritik Karar Algoritması aktif hale gelmesine rağmen, mevcut sıcaklık bir önceki güne ait olan sıcaklık değişimine paralel

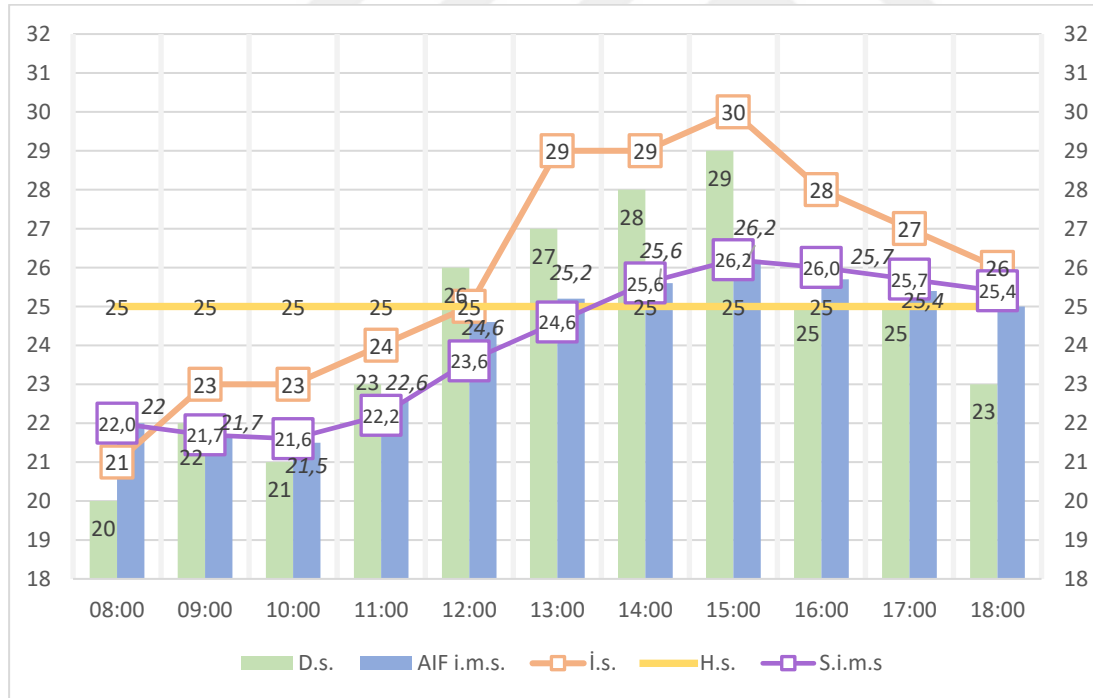
değilse, sistem tam tersi işlemi gerçekleştirir ve Kritik Karar Algoritması uygulanan karardan önceki duruma geri döner. Bu sayede algoritma, algılayıcılardan gelen verileri eş zamanlı olarak istatistiksel verilerle karşılaştırarak geri bildirim mekanizmasındaki değerlendirmeye göre cepheyi yönetir. Saat 17.00'de yağmur başladığı için cephenin elektrokromik camı kapalıdır. Aynı zamanda 18: 00'de cephenin devre dışı bırakılacağı ve cephe panjurlarının kapatılacağı tahmin edilmektedir. Bu nedenle gelecekte yapacağı hareket sayısını minimize etmek için enerji korunum moduna göre güdülenmiştir.

Çizelge 4.7 : B senaryosu (Zaman aralığı (Sa.), İstatistiki sıcaklık (İ.s.), Dış ortam sıcaklığı (D.s.), Hedeflenen sıcaklık (H.s.), Standart cephenin iç mekan sıcaklığı (S.i.m.s.), AIF modülünün uygulandığı cephenin iç mekan sıcaklığı (AIF i.m.s.), Hava durumu (H.d.), Açık (A), Kapalı (K), Aktif (Ak), Pasif (Pa)).

Çevresel Veriler							AIF Katmanları					
08:00-17:00 kullanımda, 18:00-08:00 kullanımda değil.							Panjur		EK. Cam			
Sa.	İ.s.	D.s.	H.s.	S.i.m.s	AIF i.m.s.	H.d.	A.	K.	A.	K.	Ak	Pa
08:00	21	20	25	22	22	Bulutlu		x		x		x
09:00	23	22	25	21,7	21,7	Bulutlu	x		x			x
10:00	23	21	25	21,6	21,5	Güneşli		x		x	x	
11:00	24	23	25	22,2	22,6	Güneşli	x		x		x	
12:00	25	26	25	23,6	24,6	Güneşli	x		x		x	
13:00	29	27	25	24,6	25,2	Bulutlu	x		x			x
14:00	29	28	25	25,6	25,6	Bulutlu		x		x		x
15:00	30	29	25	26,2	26,2	Bulutlu		x		x		x
16:00	28	25	25	26	25,7	Bulutlu	x		x			x
17:00	27	25	25	25,7	25,4	Yağışlı		x		x		x
18:00	26	23	25	25,4	25	Yağışlı		x		x		x
18:00 - ...	Enerji korunum modu açık, algılayıcılar aktif, eyleyiciler devre dışı											

Şekil 4.12'ye göre, hava sıcaklığında doğrusal bir artış veya azalma gözlenmez. Ancak öğle saatlerinde sıcaklığın diğer zaman aralıklarına göre daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Bu grafikte, dış ortam sıcaklığı saat 15:00'te zirve yapmaktadır.

En düşük sıcaklık, aynı zamanda AIF modülünün 09:00'da gelecek olan kullanıcı için yaptığı 08:00-09:00 saat aralığıdır. Özellikle sabah saatlerinde AIF modülü ve standart cephenin kullanıldığı cephede iç mekan için tatmin edici sıcaklık seviyelerine ulaşamamaktadır. Ancak AIF'in kullanıldığı hacim, hedeflenen sıcaklığa yakınsamada daha başarılıdır. Bu sıcaklığa AIF modülünün kullanıldığı senaryoda 12:00'de, standart cephe modülünün kullanıldığı senaryoda 13:00'da ulaşılır. İç ortam sıcaklıklarının 14:00 ve 15:00 saatlerinde aynı seviyede olduğu görülmektedir. Buna göre AIF modülünün bu iki zaman diliminde standart bir cephe modülü gibi davrandığı belirlenebilir. Bu grafik, AIF'in yalnızca bu süre zarfında iç kısımdaki ışık seviyesinin düzenlenmesine katkıda bulunduğu şeklinde yorumlanabilir. AIF'in kullanıldığı iç mekanın 15:00-18:00 saatleri arasında standart cephe modülüne göre daha avantajlı olduğu görülmektedir. B senaryosunda, model öngörülü simülasyon sonuçlarına göre Kritik Karar Algoritmasının kullanılmadığı hiyerarşik koşullu cephe sistemine göre AIF modülünün, hedeflenen sıcaklığa yakınsama açısından %5,9 ile %6,7 arasında daha verimli olacağı öngörülmektedir.



Şekil 4.12 : B senaryosu, sıcaklık verisi grafiği (Dış Ortam Sıcaklığı (D.s.), AIF modülünün uygulandığı cephenin iç mekan sıcaklığı (AIF i.m.s.), İstatistikî sıcaklık (İ.s.), hedeflenen sıcaklık (H.s.), standart cephenin iç mekan sıcaklığı (S.i.m.s.)).

Senaryo C'de (Çizelge 4.8) hava sıcaklığı ve ışık seviyelerinin oldukça değişken olduğu bir ortam simüle edilmiştir. Bu senaryoda, kepenk ve elektrokromik cam paralel olarak hareket etmektedir. Çevresel koşulların bu kadar değişken olduğu C

senaryosunda, bütün bu değişikliklere rağmen AIF modülü toplam 3 açma-kapama hareketi gerçekleştirmektedir.

AIF modülünün, kullanıcı konforu için zorunlu hareketleri gerçekleştirdiği bu senaryoda diğer senaryolara kıyasla en verimli şekilde çalıştığı görülmüştür. Bu senaryodaki en önemli nokta 16:00-17:00 saatleri arasında gözlemlenebilir. Bu dönemde dış hava sıcaklığının normalde 1 °C altında olmasına rağmen içerideki hava kalitesini arttırmak için panjur ve elektrokromik cam tabakası açılmıştır. Bu şekilde iç mekan sıcaklığı optimize edilmiştir. Katmanların açılmasını sağlayan Kritik Karar Algoritması, istatistiksel verilerin devreye girmesiyle, 17:00'den sonraki zaman diliminde istatistiksel verileri dikkate alarak tahminlerde bulunmaktadır. Bu tahminin doğruluğu teyit edildiği için cephe açılmıştır. Bu sayede saat 17:00'de AIF prototipine sahip olan iç ortamda 0,1 °C artmış ancak 18:00'da 24,9 °C'ye ulaşmıştır. Bu açıdan AIF modülünün standart cepheye göre çok daha avantajlı bir konumda olduğu söylenebilir. Düşünen-Öngören Kontrol Stratejisinin, C senaryosuna benzer senaryolarda enerji verimliliğine ve kullanıcı konforuna üst düzey katkı sağladığı gözlemlenmektedir.

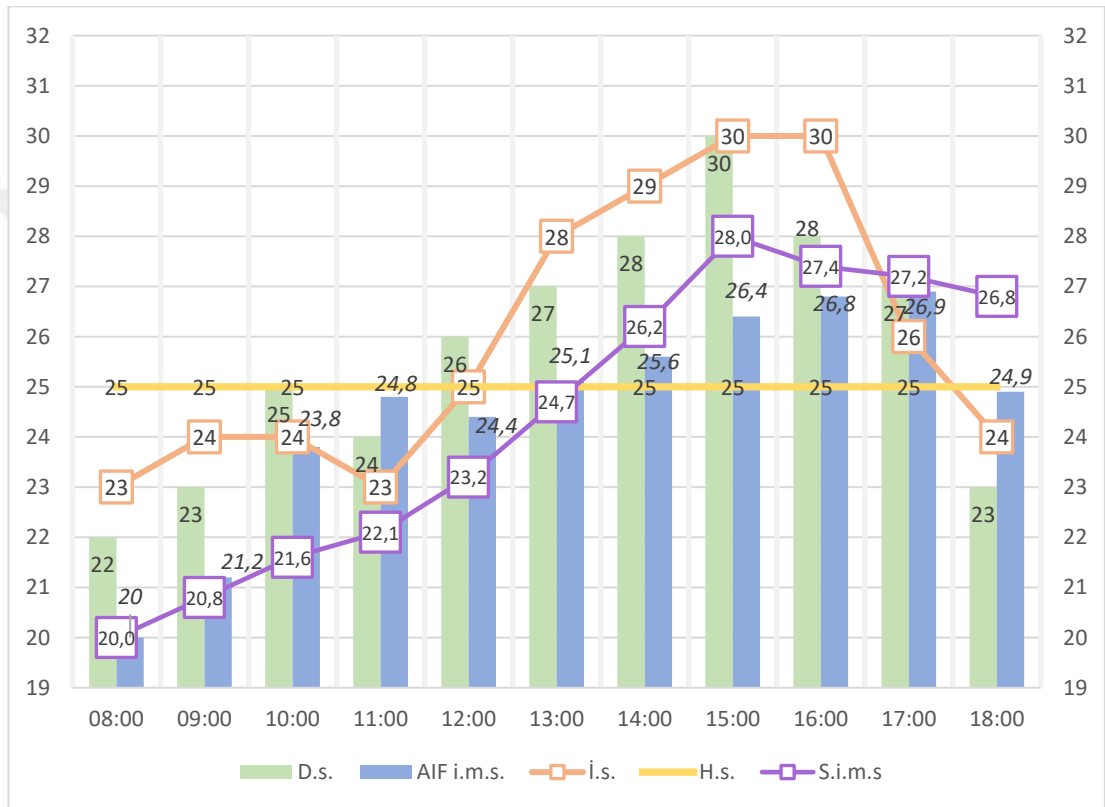
Çizelge 4.8 : C senaryosu (Zaman aralığı (Sa.), İstatistiki sıcaklık (İ.s.), Dış ortam sıcaklığı (D.s.), Hedeflenen sıcaklık (H.s.), Standart cephenin iç mekan sıcaklığı (S.i.m.s.), AIF modülünün uygulandığı cephenin iç mekan sıcaklığı (AIF i.m.s.), Hava durumu (H.d.), Açık (A), Kapalı (K), Aktif (Ak), Pasif (Pa)).

Çevresel Veriler							AIF Katmanları					
08:00-17:00 kullanımda, 18:00-08:00 kullanımda değil.							Panjur		EK. Cam			
Sa.	İ.s.	D.s.	H.s.	S.i.m.s	AIF i.m.s.	H.d.	A.	K.	A.	K.	Ak	Pa
08:00	23	22	25	20	20	Bulutlu	x		x			x
09:00	24	23	25	20,8	21,2	Bulutlu	x		x			x
10:00	24	25	25	21,6	23,8	Güneşli	x		x		x	
11:00	23	24	25	22,1	24,8	Güneşli	x		x		x	
12:00	25	26	25	23,2	24,4	Güneşli	x		x		x	
13:00	28	27	25	24,7	25,1	Bulutlu		x		x		x
14:00	29	28	25	26,2	25,6	Yağışlı		x		x		x
15:00	30	30	25	28	26,4	Yağışlı		x		x		x
16:00	30	28	25	27,4	26,8	Bulutlu		x		x		x
17:00	26	27	25	27,2	26,9	Bulutlu	x		x			x
18:00	24	23	25	26,8	24,9	Güneşli	x		x		x	
18:00 - ...	Enerji korunum modu açık, algılayıcılar aktif, eyleyiciler devre dışı											

Şekil 4.13'deki C senaryosuna göre, sıcaklık 20 °C ile 32 °C arasında değişmektedir. Dış sıcaklığın sürekli değiştiği bu senaryoda, AIF modülü, bu değişikliklere rağmen minimum sayıda hareket yapmaktadır. Simülasyon sonucuna göre bu senaryoda sıklıkla kullanılan algoritma, Kritik Karar Algoritması olarak öngörülebilir. Bu algoritma, AIF doğru mekanik hareketleri yaparak kullanıcı konforunu ve binanın enerji verimliliğini artırmaya katkıda bulunmuştur. Bu grafiğe göre saat 15:00'da dış ortam sıcaklığı 30 °C olmasına rağmen, AIF modülünün kullanıldığı hacmin iç ortam sıcaklığı 26,4 °C olarak ölçülüyor. Sıcaklığın zirve yaptığı noktadan sonra saat 17:00'de iç mekanlarda sıcaklık 26,9 °C olarak ölçülüyor. Dış ortam sıcaklığı 5 saat boyunca hedef sıcaklığın üzerinde olmasına rağmen, AIF sayesinde ölçülen iç ortam sıcaklığı, hedeflenen sıcaklığın yalnızca 1,9 °C üzerinde ölçümlenmektedir. Bu

simülasyona göre geliştirilen prototipin, özellikle tutarsız sıcaklık değişimlerinde istatistiksel verileri ölçülen verilerle karşılaştırarak cephenin doğru hareketi için enerji verimli bir kontrol sağladığı görülmüştür.

C senaryosunda, model öngörülü simülasyon sonuçlarına göre Kritik Karar Algoritmasının kullanılmadığı hiyerarşik koşullu kontrol Stratejisinin kullanıldığı cephe sistemine kıyasla AIF modülünün, hedeflenen sıcaklığa yakınsama açısından %6,2 ile %7,1 arasında daha verimli olacağı öngörülmektedir.



Şekil 4.13 : C senaryosu, sıcaklık verisi grafiği (Dış Ortam Sıcaklığı (D.s.), AIF modülünün uygulandığı cephenin iç mekan sıcaklığı (AIF i.m.s.), İstatistiksel sıcaklık (İ.s.), hedeflenen sıcaklık (H.s.), standart cephenin iç mekan sıcaklığı (S.i.m.s.)).

A, B ve C Senaryoları değerlendirilerek aşağıdaki sonuçlar elde edilir;

- Simülasyonlara göre AIF modülü, 20 °C ile 32 °C arasındaki sıcaklıklarda iç mekan konforu sağlamada standart cephe modüllerinden daha etkilidir.
- Simülasyon sonuçlarına göre belirtilen sıcaklık aralıklarında, başlangıç sıcaklığından bağımsız olarak (saat 08:00) enerji verimliliğinin artmasına katkıda bulunur. Sadece cephe ve adaptif katmanları kullanılarak iç mekan konforunun sağlanabildiği günlerde bu durumun aktif sistemlerin kullanımını ve enerji tüketimini azaltabileceği tahmin edilmektedir.

- AIF modülü, cephe bileşenlerinin minimum hareketi ile maksimum konfor ve enerji verimliliği sağlamak üzere tasarlanmış bir prototiptir. Bina sahibinin hissedemediği sıcaklık değişiklikleri durumunda, cephe durumunu korur ve alıştırma en aza indirilerek binanın daha uzun hizmet ömrü sağlanır.
- Ofis binaları gibi 24 saat boyunca kullanılmayan ve belirli saatlerde bir veya birden fazla kişinin bulunduğu binalarda kullanıcı konforuna ve enerji verimliliğine, diğere bina tiplerine kıyasla daha fazla katkı sağladığı görülmektedir. Yapının kullanıldığı zaman dilimlerine göre performans odaklı davranması önemli bir tasarım yaklaşımıdır. Bu kazanımlara ek olarak, kullanıcının konforuna katkıda bulunmak ve binayı kullanılmadığında enerji tasarrufu moduna geçirmek önemli bir enerji verimliliği sağlar.
- AIF modülü, sıcaklık parametresi dışındaki girdilerinde tatmin edici düzeye getirilmesinde etkin olmaktadır. AIF'in önemli bir özelliği, birden çok katmanın çevresel parametrelere göre uyum içinde olması ve bina kullanıcılarının ihtiyaçlarına göre kontrol edilmesini sağlamasıdır. Elektrokromik akıllı cam ve simülasyon senaryolarında gözlemlenen iki katmanın cephe hareketleri ve aktif, pasif faza geçmesi sayesinde ofis binalarının iç kısımlarında uygun ışık seviyesinin sağlanabileceği tahmin edilmektedir.

4.4 Modülün Kısıtları

Bu bölümde, modülün kısıtları AIF modülünün algılayıcıları ve algılanan verilerin depolandığı veri tabanı, kontrol algoritmaları ve bu algoritmaların gömülü olduğu işleyiciler, katmanlar ve bunların hareket etmesini sağlayan eyleyiciler açısından ele alınacaktır.

AIF modülü dağıtık bir modül olduğundan her modülün kendine ait bir algılayıcı seti ve veri depolama birimi vardır. Çok sayıda parametrenin modülün davranışını etkilediği ve verimli çalışmasına engel olabileceği göz önünde bulundurulduğundan, akustik parametreler sisteme dahil edilmemiştir. Aynı zamanda havadaki karbondioksit ve oksijen miktarını ölçen algılayıcılar modüldeki parametre sayısını minimize etmek için modülde kullanılmamıştır. Algılayıcıların az sayıda, veri tabanlarının ise düşük depolama kapasiteli olmasının nedeni, bu durumun modülün

karar verme hızını artırması ve endüstriye kazandırılması durumunda ise modülün maliyetini azaltmak olarak ifade edilebilir.

Modül dağıtık ve gömülü bir prototip olduğundan işleyicilerin işlem kapasitesi belirli algoritmaları ve kontrol stratejilerini kullanamamaktadır. Bu sebeple Makine Öğrenmesi, Derin Öğrenme, Yapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık ve diğer Yapay Zeka Algoritmalarının modülün yazılımına dahil edilmemesi modülün bir diğer kısıtı olarak belirlenmiştir.

AIF modülüne gömülü olan, istatistiki verilerin değerlendirilmesini içeren, Düşünen-Öngören Kontrol Stratejisi kısıtlı bir makine öğrenmesi olarak nitelendirilebilir. Fakat bu durumdaki öğrenme sadece modülün donanımının izin vereceği düzeyde gerçekleşmektedir.

Ayrıca internet bağlantısının olmaması ve hava tahmin istasyonlarından veri alıp işleyememesi modülün bir diğer kısıtı olarak nitelendirilebilir. Bunun sebebi de yine aynı şekilde işleyicinin bileşenlerinin kapasitesinin çok fazla veriyi aynı anda analiz etmek için uygun olmaması olarak düşünülebilir. Aynı zamanda veri miktarının artmasının işleyicinin tepki süresini artıracakları öngörüldüğünden bu özellik modülün kapsamının dışında tutulmuştur.

AIF modülü karar vermedeki uyumsuzluktan kaçınmak için minimum katman sayısına göre dağıtık bir modül olarak tasarlanmıştır. Bu katmanların birbirleriyle olan ilişkileri algoritmalarla uyumlu bir şekilde Akdeniz ikliminin özelliklerine göre tanımlanmıştır. Fakat iklim bölgeleri değiştiğinde cephenin katman ihtiyaçları da değişecektir.

Aynı şekilde binanın fonksiyonları değiştiğinde kullanım saatleri değişeceğinden dolayı katmanların yeni fonksiyona adapte edilmesi gerekmektedir. Buna ek olarak modülün kullanıldığı cephenin bakışı ve yönü değiştiğinde modülün entegrasyonunun katmanlarının yeniden yapılandırılması gerekmektedir.

Tüm bu kısıtlar optimum tasarımda optimizasyonu sağlamak ve performatif bir cephe modülü üretmek için kurgulanmıştır. Bu kısıtlar modülün çeşitli versiyonlarının üretilmesine ve iklime, çevreye, teknolojinin durumuna, tasarım için ayrılan bütçeye, binanın konumuna ve özel durumlarına göre yeniden yapılandırılabilen ve adapte olabilmektedir.

4.5 Modülün Potansiyelleri

Geliştirilen modülün birden çok versiyonunun tasarlanması ve teknolojik gelişmelere ve ihtiyaçlara göre modülün kullanım olanaklarının artırılması devam eden çalışmaların ana omurgasını oluşturmaktadır. Buna göre modülün geliştirilme potansiyeli taşıyan farklı yaklaşımlar bulunmaktadır.

Bunların ilki modülün istatistiki bilgiyi kullanmadan doğrudan yüzeysel öğrenmeye dayalı makine öğrenmesi yazılımları ile hava tahminini kendisi yapabilen ve hava durumuna duyarlı bir cephe modülü olarak kurgulanması olmaktadır. Bu sayede cephe kendi ürettiği veriyi gerekli olduğunda kullanıp, hem hava tahmini istasyonu olarak görev yapabilir, hem de optimizasyonu öngördüğü bu veriye göre yapabilecektir. Böylece verilerin doğruluğunun kontrol edilmesine ya da herhangi bir başka veriye veya sisteme bağlı kalmasının önüne geçilebilecektir. Tüm bu öngörülerini yapabilmesi için beyinin üst düzey ölçüm cihazlarıyla aldığı tüm veriyi kaydetmesi ve buna göre öğrendiklerini uygulayabilmesi gerekmektedir.

Bir diğer modül tasarımında ise internetten derlenen verinin kullanıldığı ve hava tahmin sistemlerinin internet aracılığıyla alındığı bir modül olarak optimizasyona katkıda bulunduğu bir yaklaşım kullanılabilir. Bu yaklaşım sayesinde aynı donanımın kullanımı mümkün olabilecektir. Bu modülün tasarımındaki en önemli engel ise veri kaynağının yanlış bir tahminde bulunması olarak öngörülebilir. Bu nedenle böyle bir modül geliştirilmesi halinde denetleyici bir modülün tasarlanması ve tasarlanan bu modülün uzun bir süre fiziksel ve dijital ortamda testlere tabi tutulması gerekmektedir. Aynı zamanda modülün doğru ve öngörülü karar verebilmesi için doğru veri kaynağının bulunması da önemli bir nirengi noktası olacaktır.

Bir diğer modülü ise bütün bu verilerin hem internet ortamından hem de gelişmiş cihazlar yardımıyla alınarak bir yapay zeka tarafından derin öğrenme yöntemi kullanılarak geliştirilmesidir. Bu sayede yapay zeka bir insan gibi doğrudan karar verebilecek ve işletim maliyetlerini minimize edebilecektir. Modüllerin optimum seviyede çalışmasını kontrol edip yöntemi denetleyebilecektir. Öyle ki insanın hakim olamayacağı kadar çok veriyi işleyip bu verilere göre en doğru kararı verebilecektir. Gelişen yapay zeka teknolojileri paralelinde yakın gelecekte bu tür çalışmaların sıklıkla karşımıza çıkacağı öngörülmektedir.

Başka bir senaryoda, binanın içinde kullanıcı bulunmadığında, kontrol sistemi, sıcaklığı maksimum seviyede tutmak için adaptif cephenin tüm katmanlarını kapatarak ısı yalıtım moduna geçebilir. Bu şekilde, kullanıcı mevcut olana kadar iç sıcaklığı depolayarak bir güç istasyonu olarak hizmet edebilmektedir. Benzer bir örnek konut için de verilebilir. Adaptif cephe elemanı, tek bir kişi için istenen sıcaklık, ışık seviyesi ve nem için optimal seviyeleri sağlayabilecektir. Bu koşullar, 23 °C sıcaklık olarak belirlendiğinde, kişinin vücut sıcaklığı ortalama değerlerden düşükse, kontrol sistemi parametreleri belirtilen değerlere göre adaptasyon sağlar. Sisteme bağlı bir akıllı saat veya dijital termometre verileri değerlendirilerek modülün kişiye özgü bir denge durumuna ulaşması mümkün görünmektedir. AIF'in tasarlanmakta olan gelecek versiyonlarında, modül kullanıcı merkezli bir sistem olarak görev yapan özel ihtiyaç ve amaçlara cevap verecek şekilde tanımlanacaktır. Yeni sürümün dinamik makine öğrenmesi ve gelişmiş adaptasyon mekanizmalarını içermesi öngörülmektedir.

Tüm bu öngörülere bakılarak Makine Öğrenmesi, Derin Öğrenme, Yapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık ve diğer Yapay Zeka algoritmalarının dağıtık modüle adapte edilmesinin, modülün etkileşim düzeyini ve enerji etkinliğini artırabilme potansiyeline katkı sunması beklenmektedir.



5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Adaptif mimarlık sürdürülebilirliğe dayalı kullanıcı merkezli ve performans odaklı bir mimarlık yaklaşımıdır. Bu mimarlık yaklaşımının en sık kullanıldığı yapı elemanı ise cephelerdir. Bu sayede yapı dış etkenleri kendi lehine çevirerek iç konforun artırılmasını sağlayabilir.

Adaptif ve akıllı cepheler, dış mekân koşullarıyla sınırlı bir etkileşim sağlayarak enerji verimliliğini artıran bir yapı katmanıdır. Ayrıca karar verme sistemlerini, akıllı malzemeleri, yenilikçi bina detaylarını ve diğer teknolojik yaklaşımları kullanan adaptif cepheler, binaları sürdürülebilir kılan katmanlardır. Bu tezde, adaptif cepheler AIF modülü kapsamında ele alınmıştır. AIF modülü, sıcaklık, ışık seviyesi ve nem parametrelerinin optimizasyonuna dayalı gelişmiş algoritmalar tarafından kontrol edilen çok katmanlı bir prototiptir. Elektromekanik sistemleri algılaması sayesinde, bu modül performans odaklı tepkiler yaratarak iç mekandaki konfor koşullarına katkıda bulunmuştur.

Bu bağlamda, adaptif cepheler, uygun iç ortam koşulları sağlayan ısı, ışık ve nem ve diğer birçok parametreyi optimize eden katmanlar olarak nitelendirilebilirler. Bu tez kapsamında, adaptif cephelerin karar vermesi aşamasındaki çatışmaların çözümü için tasarlanmış olan Gelişmiş Cephe modülü (AIF)'nün özellikleri anlatılmıştır. Ayrıca AIF modülü, bu süreçte kullanılan algoritmaların ve donanımların entegrasyonları ile ilgili bir dizi deneysel çalışmanın sonucunda tamamlanmıştır. Geliştirilme sürecinde ise yazılım ve donanımın kısıtlarına bağlı olarak birçok simülasyon çalışması yapılmıştır. Bu simülasyonların sonucuna göre en etkin sonucu veren cephenin tasarlanması için odak noktası performans olan bir yaklaşım benimsenmiştir.

Modülün karar verici sisteminin simülasyonu Proteus ve Arduino kullanılarak yazılım tabanlı programlar ile yapılmıştır. Proteus'a yüklenen görsel kodlar ile modüle yapay uyaranlar verilmiştir. Bu uyaranlara verilen tepkilerin doğruluğu ölçümlenmiştir. Simülasyon aşamasından sonra modülün fiziksel ortamda simüle edilmesi ve çalışırılığının denetlenmesi işlemi yapılmıştır. Bu simülasyon sonucuna göre modül

etkin bir biçimde tepki verebilmekte, donanım ve yazılımlar ile algoritmalar etkin bir biçimde çalışmaktadır. Karar verici simülasyonun ve fiziksel ortamdaki simülasyonun sonucunda modülün İstanbul'un ekinoks tarihlerindeki, iklimsel verilerine göre, Rhinoceros, Python, Diva ve eklentilerinin kullanıldığı bir performans simülasyonuna tabi tutulmuştur. Buna göre modülün yerinde tepkiler verdiği ve belirli aralıklarda verimli tepkiler vererek belirli şartlarda ve iklimsel örüntülerde kullanabileceği gözlenmiştir.

Modülün Akdeniz iklimine özgü senaryolar ile simüle edildiği bölümde ise, bir önceki simülasyon aşamasında başarılı olduğu sıcaklık örüntüsü ve aralıklarından esinlenerek yeni dört senaryo oluşturulmuştur. Bu simülasyon sürecinde daha detaylı bir simülasyon yöntemi kullanılarak, AIF modülünün öngörülü olmayan bir kontrol stratejisi ile karşılaştırılması yapılmış ve simülasyon sonuçları paylaşılmıştır.

Dijital ortamda seçili çevresel verilerin algoritmalar ile çözümlendiği simülasyon sonuçlarına göre önerilen kontrol stratejisi aşağıdaki gibi değerlendirilebilir:

- Düşünen-Öngören Kontrol Stratejisinin belirli şartlar altında diğer kontrol stratejilerine göre üstünlüğü doğrulanmıştır.
- Bu kontrol stratejisinde belirlenen girdilerin seçilmesi ve azaltılmasının sistemin etkinliğine katkıda bulunduğu görülmüştür.
- Öngörü faktörünün malzeme yorulmasının minimize edilmesine ciddi bir biçimde katkıda bulunduğu gözlenmiştir.
- Hissedilemeyecek derecede az olan sıcaklık düzeyi değişimlerinin tolere edilmesinin hem malzeme yorulmasının azaltılmasına hem de aktif sistemlerin daha az kullanılmasına katkıda bulunduğu görülmüştür.

Dijital ve fiziksel ortamda yapılan simülasyonlara göre AIF modülü aşağıdaki gibi değerlendirilebilir:

- AIF modülü iki katmandan oluşan kısıtlı bir prototip olmasına rağmen doğru katman seçimlerinin yapılması ile iç mekandaki konfor koşullarının iyileştirilmesine katkıda bulunmuştur.
- AIF modülünde kullanılan elektrokromik cam sayesinde malzeme yorulması olmadan sistem çözümünün olabileceği ve bu katmanın hem sıcaklığın hem de ışık düzeyinin optimizasyonuna katkı sağladığı görülmüştür.

- AIF modülünde her bir cephe modülünün kendi kararını vermesinin güneşin hareketlerine göre değişmesi enerji etkinliğine ve pasif kazanımların artırılmasına katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir.
- AIF modülünün elektronik ve mekanik sisteminin fiziksel ortamda test edilmesi ile kontrol sistemi olan beyinin, eyleyicileri etkin bir şekilde kontrol ettiği görülmüştür.
- AIF modülünün yazılım ve donanımın birbiriyle uyum içerisinde işlediği, bilgilerin uygun sürelerde işlendiği ve ideal tepki sürelerine bağlı kalınarak verimi artırmaya yönelik tepkiler verdiği gözlenmiştir.
- AIF modülü belirli iklim tiplerindeki belirli sıcaklık ve ışık düzeylerinde aktif sistemlere ihtiyaç olmadan sadece kendi otonom hareketleri ile iç mekanın konfor koşullarını sağlayabildiği görülmüştür.

Tüm bu yönleri ile Düşünen-Öngören Kontrol Stratejisi ve içinde gömülü olduğu AIF modülü barındırdığı kısıtlara rağmen gerek mevcut durumda yaptığı katkıları ile gerek ise taşıdığı potansiyeller açısından özgün ve yenilikçi bir modül olarak nitelendirilebilir.

Tezde geliştirilmiş olan modül, öngörülü bir kontrol stratejisinin eklenmesi ile karar verme hiyerarşisi ile Öncelik Algoritmasının ve Kritik Karar Algoritmalarının birlikte kullanımı ve cepheye adaptasyonu yönüyle, alanında özgün bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir. Tasarlanan modülün yaşayan ve algılayan, kendi verisini bulunduğu ortamdan alarak dengeleme yönünde pasif sistemleri aktif hale getiren akıllı bir sistem olması, bu cephe sisteminin bir otomasyondan çok bir adaptif ve tepkimeli mimarlık ürünü olduğunu gösterir niteliktedir.

Aynı zamanda algoritmanın, algılayıcılar yardımıyla bina içerisinde kullanıcı olup olmadığını anlamasına yönelik olarak modüle eklenmesi düşünülen etkileşim algılayıcısı yapılan cephe modülünün, performans güdülü, tepkimeli ve etkileşimli bir modül olarak değerlendirilmesini mümkün kılmıştır. Modülün karar verme aşamasında sadece algılayıcılardan gelen veriler ile yetinmemesi literatürdeki diğer modüllere göre özgün yönünü oluşturmaktadır. Tez kapsamında geliştirilen modülün kritik durumlarda işleyişi başlatabilmesi için istatistiki verileri (günlük sıcaklık, aydınlanma değerleri vd.) kullanması, modülün verimini artırmaya yönelik olarak tasarlanmış bir mekanizmadır.

Tasarlanan modülün katmanları içerisinde kullanılan akıllı cam teknolojisi ile tek bir cephe katmanının farklı işlevlerde kullanılması ve bu katmanın bir karar verici algoritma tarafından konfor şartlarını sağlamak üzere stratejik bir biçimde kontrol edilmesi de modülün bir diğer özgün yönü olarak nitelendirilebilir.

AIF modülünün iki aşamalı simülasyonu ve performans değerlendirmesi ile modülün belirli aralıklarda, tanımlı şartlar altında belirlenen girdiler için optimum şartları sağladığı ve iç mekanın konforunu artırarak, enerji etkinliğine katkıda bulunduğu ve hareket sayısını minimize ederek malzeme yorgunluğunun minimize edilmesine katkıda bulunması modülün ve üretilen yeni kontrol stratejisinin işlevliliğini kanıtlamaktadır.

Tüm bu özellikleriyle, tasarlanmış, üretilmiş ve simüle edilmiş olan AIF modülünün akıllı sistem tasarımı mekanizmasının, gelişmekte olan bir alan olan gelişmiş akıllı ve elektromekanik cephe sistemlerine öncü bir prototip olacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aelenei, D., Aelenei, L., & Vieira, C. P.** (2016). Adaptive Façade: Concept, Applications, Research Questions. *Energy Procedia*, 91, 269-275.
- Aelenei, L., Aelenei, D., Romano, R., Mazzucchelli, E. S., Brzezicki, M., & Rico-Martinez, J. M.** (2018). *Case studies: Adaptive façade network*. TU Delft Open.
- Ahmed, M. M. S., Abel-Rahman, A. K., & Ali, A. H. H.** (2015). Development of Intelligent Façade Based on Outdoor Environment and Indoor Thermal Comfort. *Procedia Technology*, 19, 742-749.
- Annunziata, E., Frey, M., & Rizzi, F.** (2013). Towards nearly zero-energy buildings: The state-of-art of national regulations in Europe. *Energy*, 57, 125-133.
- Arnesano, M., Bueno, B., Pracucci, A., Magnagni, S., Casadei, O., & Revel, G. M.** (2019). Sensors and control solutions for Smart-IoT façade modules. *IEEE International Symposium on Measurements & Networking (M&N)*, 1-6.
- Asefi, M., & Foruzandeh, A.** (2011). Nature and kinetic architecture: The development of a new type of transformable structure for temporary applications. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 5 (6).
- Attia, S., Favoino, F., Loonen, R., Petrovski, A., & Monge-Barrio, A.** (2015). Adaptive Façades System Assessment: An initial review. *Advanced Building Skins*, 1265-1273.
- Attia, S., Garat, S., & Cools, M.** (2019). Development and validation of a survey for well-being and interaction assessment by occupants in office buildings with adaptive façades. *Building and Environment*, 157, 268-276.
- Attia, S.** (2020). Spatial and Behavioral Thermal Adaptation in Net Zero Energy Buildings: An Exploratory Investigation. *Sustainability*, 12 (19), 7961.
- Attia, S., Lioure, R., & Declaude, Q.** (2020). Future trends and main concepts of adaptive facade systems. *Energy Science & Engineering*, 8 (9), 3255-3272.
- Attia, S., Navarro, A. L., Juaristi, M., Monge-Barrio, A., Gosztonyi, S., & Al-Doughmi, Z.** (2018). Post-Occupancy Evaluation for Adaptive Façades. *Journal of Facade Design and Engineering*, 1-9.
- Azar, E., O'Brien, W., Carlucci, S., Hong, T., Sonta, A., Kim, J., Andargie, M. S., Abuimara, T., El Asmar, M., Jain, R. K., Ouf, M. M., Tahmasebi, F., & Zhou, J.** (2020). Simulation-aided occupant-centric building design: A critical review of tools, methods, and applications. *Energy and Buildings*, 224, 110292.
- Bakker, L. G., Brouwer, A. H. M., & Babuška, R.** (2001). Integrated Predictive Adaptive Control Of Heating, Cooling, Ventilation, Daylighting And

Electrical Lighting In Buildings. *International Journal of Solar Energy*, 21 (2-3), 203-217.

- Bakker, L. G., Hoes-van Oeffelen, E. C. M., Loonen, R. C. G. M., & Hensen, J. L. M.** (2014). User satisfaction and interaction with automated dynamic facades: A pilot study. *Building and Environment*, 78, 44-52.
- Barozzi, M., Lienhard, J., Zanelli, A., & Monticelli, C.** (2016). The Sustainability of Adaptive Envelopes: Developments of Kinetic Architecture. *Procedia Engineering*, 155, 275-284.
- Bayes, K.** (1994). *Living Architecture*. SteinerBooks.
- Beesley, P., & Armstrong, R.** (2014). *Near-living architecture: Work in Progress From The Hylozoic Ground Collaboration, 2011-2013*. Riverside Architectural Press.
- Biloria, N., & Sumini, V.** (2009). Performative Building Skin Systems: A Morphogenomic Approach towards Developing Real-Time Adaptive Building Skin Systems. *International Journal of Architectural Computing*, 7 (4), 643-675.
- Borg, S. P., Farrugia, E., & Buhagiar, V.** (2016). A Comparative Study of the Energetic Performance of Climate Adaptive Façades Compared to Static Façade Design in a Mediterranean Climate. *11th Conference on Advanced Building Skins*, 1-10.
- Böke, J.** (2020). ThinkingSkins: Cyber-physical systems as foundation for intelligent adaptive façades. *A+BE / Architecture and the Built Environment*, 8, 1-286.
- Böke, Jens, Knaack, U., & Hemmerling, M.** (2019). State-of-the-art of intelligent building envelopes in the context of intelligent technical systems. *Intelligent Buildings International*, 11 (1), 27-45.
- Brand, S.** (1995). *How buildings learn: What happens after they're built*. Penguin.
- Buckman, A. H., Mayfield, M., & B.M. Beck, S.** (2014). What is a Smart Building? *Smart and Sustainable Built Environment*, 3 (2), 92-109.
- Burry, M., & Murray, Z.** (1997). Architectural design based on parametric variation and associative geometry. *Challenges of the Future, 15th eCAADe Conference Proceedings*, 43-78.
- Carl, T., Schein, M., & Stepper, F.** (2017). Sun Shades-About Designing Adaptable Solar Façades. *ShoCK! - Sharing Computational Knowledge!- Proceedings of the 35th eCAADe Conference*, 2, 165-174.
- Chmarra, M. K., Arts, L., & Tomiyama, T.** (2009). Towards Adaptable Architecture. *In International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*. 43253, 367-376.
- Clements-Croome, D.** (2004). *Building environment, architecture and people*. *Intelligent Buildings: Design, Management and Operation*, 53-100.
- Congedo, P. M., Baglivo, C., D'Agostino, D., & Zacà, I.** (2015). Cost-optimal design for nearly zero energy office buildings located in warm climates. *Energy*, 91, 967-982.

- Council, U. G. B.** (1996). *Sustainable building technical manual: Green building design, construction, and operations*. US Green Building
- Crawley, E., de Weck, O., Eppinger, S., Magee, C., Moses, J., Seering, W., Schindall, J., Wallace, D., & Whitney, D.** (2004). *Engineering systems monograph*. Massachusetts Institute of Technology, Teknik Rapor.
- D'Agostino, D., & Mazzearella, L.** (2019). What is a Nearly zero energy building? Overview, implementation and comparison of definitions. *Journal of Building Engineering*, 21, 200-212.
- de Boer, B., Ruijg, G. J., Loonen, R., Tr, M., & Kornaat, W.** (2011). Climate adaptive building shells for the future – optimization with an inverse modelling approach. *Proceedings of the ECEEE Summer Study June 2011, Belambra Presqu'île de Giens, France, European Council for an Energy Efficient Economy*, 1413-1422.
- Diniz, N., & Turner, A.** (2007). Towards a Living Architecture. Expanding Bodies: Art, Cities, Environment. *Proceedings of the 27th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture*, 164-173.
- Drgoña, J., Arroyo, J., Cupeiro Figueroa, I., Blum, D., Arendt, K., Kim, D., Ollé, E. P., Oravec, J., Wetter, M., Vrabie, D. L., & Helsen, L.** (2020). All you need to know about model predictive control for buildings. *Annual Reviews in Control*, 50, 190-232.
- ElDin, N. N., Abdou, A., & Abd ElGawad, I.** (2016). Biomimetic Potentials for Building Envelope Adaptation in Egypt. *Procedia Environmental Sciences, Procedia Environmental Sciences*, 34, 375-386.
- Favoino, F., Loonen, R.C.G.M., Doya M., Goia F., Bedon C., & Babisch F., (eds.)** (2018). *Building performance simulation and characterisation of adaptive facades adaptive facade network*. TU Delft Open, 6-192.
- Fernandes, L. L., Lee, E. S., & Ward, G.** (2013). Lighting energy savings potential of split-pane electrochromic windows controlled for daylighting with visual comfort. *Energy and Buildings*, 61, 8-20.
- Foged, I. W., & Kirkegaard, P. H.** (2010). Adaptive Architectural Envelope. *In 5th Energy Forum on Solar Building Skins, Economic Forum*, 105-113.
- Fortmeyer, R., & Linn, C.** (2014). Kinetic architecture. *Designs for active envelopes, Mulgrave, Images Publishing*.
- Fox, M. (Eds.)** (2016). *Interactive architecture: Adaptive world*. Chronicle Books.
- Fox, M., & Yeh, B. P.** (2000). Intelligent kinetic systems in architecture. *Managing interactions in smart environments*, Springer, 91-103.
- Fox, M., & Kemp, M.** (2009). *Interactive architecture (1st eds.)*. Princeton Architectural Press.
- Freewan, A. A. Y.** (2014). Impact of external shading devices on thermal and daylighting performance of offices in hot climate regions. *Solar Energy*, 102, 14-30.

- Fricke, E., & Schulz, A. P.** (2005). Design for changeability (DfC): Principles to enable changes in systems throughout their entire lifecycle. *Systems Engineering*, 8 (4), 342-360.
- Gallo, P., & Romano, R.** (2017). Adaptive Facades, Developed with Innovative Nanomaterials, for a Sustainable Architecture in the Mediterranean Area. *Procedia Engineering*, 180, 1274-1283.
- Ghaffarianhoseini, A., Berardi, U., AlWaer, H., Chang, S., Halawa, E., Ghaffarianhoseini, A., & Clements-Croome, D.** (2016). What is an intelligent building? Analysis of recent interpretations from an international perspective. *Architectural Science Review*, 59 (5), 338-357.
- Grobman, Y.** (2013). *Performativism: Form and Performance in Digital Architecture (1st eds.)*. Routledge.
- Grobman, Y. J., & Yekutieli, T. P.** (2013). Autonomous movement of kinetic cladding components in building facades. *ICoRD'13*, 1051-1061. Springer.
- Gupta, S. K., Atkinson, S., O'Boyle, I., Drogo, J., Kar, K., Mishra, S., & Wen, J. T.** (2016). BEES: Real-time occupant feedback and environmental learning framework for collaborative thermal management in multi-zone, multi-occupant buildings. *Energy and Buildings*, 125, 142-152.
- Hammad, F., & Abu-Hijleh, B.** (2010). The energy savings potential of using dynamic external louvers in an office building. *Energy and Buildings*, 42 (10), 1888-1895.
- Hammer, A.** (2016). Climate Adaptive Building Shells for Plus-Energy-Buildings, Designed on Bionic Principles. *International Journal of Architectural and Environmental Engineering*, 10 (2), 202-213.
- Hartkopf, V., & Loftness, V.** (1999). Global relevance of total building performance. *Automation in Construction*, 8 (4), 377-393.
- Hasselaar, B. L. H.** (2006). Climate Adaptive Skins: Towards the new energy-efficient façade. *Management of Natural Resources, Sustainable Development and Ecological Hazards, I*, 351-360.
- Hayes-Roth, B.** (1995). An architecture for adaptive intelligent systems. *Artificial Intelligence*, 72 (1-2), 329-365.
- Heidari Matin, N., & Eydgahi, A.** (2019). Technologies used in responsive facade systems: A comparative study. *Intelligent Buildings International*, 1-20.
- Heiselberg, P., Andresen, I., Perino, M., & Van Der Aa, A.** (2012). Integrating environmentally responsive elements in buildings. *Proceedings of the 27th AIVC Conference*, Lyon.
- Hensel, M., Menges A., (Eds.)** (2008). Form follows performance: Zur Wechselwirkung von Material, Struktur, Umwelt. *ArchPlus No. 188*, ArchPlus Verlag, Aachen.
- Schmidt, R., & Austin, S.** (2016). *Adaptable Architecture: Theory and practice*. Routledge.

- Jayathissa, P., Zarb, J., Luzzatto, M., Hofer, J., & Schlueter, A.** (2017). Sensitivity of Building Properties and Use Types for the Application of Adaptive Photovoltaic Shading Systems. *Energy Procedia*, 122, 139-144.
- Johnsen, K., & Winther, F. V.** (2015). Dynamic Facades, the Smart Way of Meeting the Energy Requirements. *Energy Procedia*, 78, 1568-1573.
- Juaristi, M., Monge-Barrio, A., Knaack, U., & Gómez-Acebo, T.** (2018). Smart and Multifunctional Materials and their possible application in façade systems. *Journal of Facade Design and Engineering*, 6 (3), 19-33.
- Karakoç, E.** (2015). *Performansa Dayalı Adaptif Bina Kabuğu Tasarımı*, (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karakoç, E., & Çağdaş, G.** (2015). Performansa Dayalı Adaptif Bina Kabuğu Tasarımı için Bir Model. *IX. Mimarlıkta Sayısal Ulusal Sempozyumu, Sürdürülebilir Sayısal Ekolojiler - Sayısal Tasarım, Malzeme, Başarım, Özyeğin Üniversitesi, İstanbul, Türkiye*, 183-199.
- Kensek, K., & Hansanuwat, R.** (2011). Environment Control Systems for Sustainable Design: A Methodology for Testing, Simulating and Comparing Kinetic Facade Systems. *Journal of Creative Sustainable Architecture & Built Environment*, 1 (11), 27.
- Kensek, K. M.** (2014). Integration of Environmental Sensors with BIM: Case studies using Arduino, Dynamo, and the Revit API. *Informes de la Construcción*, 66 (536).
- Kheybari, A. G., & Hoffmann, S.** (2019). A Data-driven model for controlling smart electrochromic glazing: Living Lab Smart Office Space. *1st International Conference and 2nd National Conference on Knowledge-based Urbanism, Architecture, Civil Engineering and Arts*, 1-16.
- Kim, G., Lim, H. S., Lim, T. S., Schaefer, L., & Kim, J. T.** (2012). Comparative advantage of an exterior shading device in thermal performance for residential buildings. *Energy and Buildings*, 46, 105-111.
- Kim, J. T., & Kim, G.** (2010). Advanced External Shading Device to Maximize Visual and View Performance. *Indoor and Built Environment*, 19 (1), 65-72.
- Knaack, U., & Klein, T. (Eds.)**. (2008). *The future envelope 1: A multidisciplinary approach*. IOS Press.
- Kolarevic, B.** (2004). *Back to the Future: Performative Architecture*. *International Journal of Architectural Computing*, 2(1), 43-50.
- Kolarevic, B., & Malkawi, A. (Eds.)**. (2005). *Performative architecture: Beyond instrumentality*. Spon Press.
- Kolarevic, B., & Parlac, V. (Eds.)**. (2015). *Building dynamics: Exploring architecture of change*. Routledge.
- Konstantoglou, M., & Tsangrassoulis, A.** (2016). Dynamic operation of daylighting and shading systems: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 268-283.

- Kronenburg, R.** (2007). *Flexible: Architecture that responds to change*. Laurence King.
- Kronenburg, R.** (2013). *Architecture in motion: The history and development of portable building*. Routledge.
- Kroner, W. M.** (1997). An intelligent and responsive architecture. *Automation in Construction*, 6 (5-6), 381-393.
- Kurnitski, J., Saari, A., Kalamees, T., Vuolle, M., Niemelä, J., & Tark, T.** (2011). Cost optimal and nearly zero (nZEB) energy performance calculations for residential buildings with REHVA definition for nZEB national implementation. *Energy and Buildings*, 43 (11), 3279-3288.
- Lee, E. S., Fernandes, L. L., Goudey, C. H., Jonsson, C. J., Curcija, D. C., Pang, X., DiBartolomeo, D., & Hoffmann, S.** (2013). A Pilot Demonstration of Electrochromic and Thermochromic Windows in the Denver Federal Center, *Building 41*, Denver, Colorado.
- Liu, M., Wittchen, K. B., & Heiselberg, P. K.** (2015). Control strategies for intelligent glazed façade and their influence on energy and comfort performance of office buildings in Denmark. *Applied Energy*, 145, 43-51.
- Liu, Y., Lv, H., Lan, X., Leng, J., & Du, S.** (2009). Review of electro-active shape-memory polymer composite. *Composites Science and Technology*, 69 (13), 2064-2068.
- Loonen, R.C.G.M., Rico-Martinez, J. M., Favoino, F., Brzezicki, M., Menezo, C., La Ferla, G., & Aelenei, L.** (2015). Design for façade adaptability—Towards a unified and systematic characterization. *In Proceeding 10th Energy Forum-Advanced Building Skins*, Bern, Switzerland, 1274-1284.
- Loonen, R.C.G.M., Trčka, M., Cóstola, D., & Hensen, J. L. M.** (2013). Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 483-493.
- Loonen, R.C.G.M., Favoino, F., Hensen, J. L. M., & Overend, M.** (2017). Review of current status, requirements and opportunities for building performance simulation of adaptive façades. *Journal of Building Performance Simulation*, 10 (2), 205-223.
- López, M., Rubio, R., Martín, S., & Ben Croxford.** (2017). How plants inspire façades. From plants to architecture: Biomimetic principles for the development of adaptive architectural envelopes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 692-703.
- Luna-Navarro, A., Loonen, R., Attia, S., Juaristi, M., Monge-Barrio, A., Donato, M., Rabenseifer, R., & Overend, M.** (2018). Occupant-adaptive façade interaction: Relationships and conflicts. *Façade 2018-Adaptive!, Proceedings of the COST Action TU1403 Adaptive Facades Network Final Conference*, 371-377.
- Luna-Navarro, A., Loonen, R., Juaristi, M., Monge-Barrio, A., Attia, S., & Overend, M.** (2020). Occupant-Facade interaction: A review and classification scheme. *Building and Environment*, 177, 106880.

- Lund, H., Marszal, A., & Heiselberg, P.** (2011). Zero energy buildings and mismatch compensation factors. *Energy and Buildings*, 43 (7), 1646-1654.
- Mallasi, Z.** (2016). Integrating Physical and Digital Prototypes Using Parametric BIM In the Pursuit of Kinetic Facade. *Parametricism vs. Materialism: Evolution of Digital Technologies for Development, 8th ASCAAD Conference Proceedings*, London, 155-168.
- Marszal, A. J., Heiselberg, P., Bourrelle, J. S., Musall, E., Voss, K., Sartori, I., & Napolitano, A.** (2011). Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and Buildings*, 43 (4), 971-979.
- Masri, Y.** (2015). Intelligent Building Envelopes: Design and Applications. *The International Conference on Building Envelope Design and Technology, Graz Advanced Building Skin*, 37-46.
- Meagher, M.** (2015). Designing for change: The poetic potential of responsive architecture. *Frontiers of Architectural Research*, 4 (2), 159-165.
- Megahed, N. A.** (2018). An exploration of the control strategies for responsive umbrella-like structures. *Indoor and Built Environment*, 27 (1), 7-18.
- Moghtadernejad, S., Mirza, M. S., & Chouinard, L. E.** (2019). Façade Design Stages: Issues and Considerations. *Journal of Architectural Engineering*, 25 (1), 04018033.
- Moloney, J.** (2011). *Designing kinetics for architectural facades: State change*. Taylor & Francis.
- Morrison, R., Balasubramaniam, D., Oquendo, F., Warboys, B., & Greenwood, R. M.** (2007). An active architecture approach to dynamic systems co-evolution. *European Conference on Software Architecture*, 2-10.
- Mozer, M. C.** (2004). Lessons from an adaptive house. *Smart environments: Technologies, protocols, and applications*. J. Wiley & Sons.
- Nagy, Z., Svetozarevic, B., Jayathissa, P., Begle, M., Hofer, J., Lydon, G., Willmann, A., & Schlueter, A.** (2016). The Adaptive Solar Facade: From concept to prototypes. *Frontiers of Architectural Research*, 5 (2), 143-156.
- Negroponte, N.** (1975). *Soft architecture machines*. MIT press Cambridge, MA.
- Ochoa, C. E., & Capeluto, I. G.** (2008). Strategic decision-making for intelligent buildings: Comparative impact of passive design strategies and active features in a hot climate. *Building and Environment*, 43 (11), 1829-1839.
- Olubunmi, O. A., Xia, P. B., & Skitmore, M.** (2016). Green building incentives: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1611-1621.
- Oral, H., & Karakoç, E.** (2015a). Doğadan Esinli Tasarımda Etkileşimli Strüktürler. *IX. Mimarlıkta Sayısal Ulusal Sempozyumu, Sürdürülebilir Sayısal Ekolojiler - Sayısal Tasarım, Malzeme, Başarım, Özyeğin Üniversitesi*, 157-169.
- Oral, H., & Karakoç, E.** (2015b). Interactive Structures in Nature Inspired Design. *In Proceedings of 18th Generative Art Conference*, Venedik.

- Oxman, R.** (2008). Performance-Based Design: Current Practices and Research Issues. *International Journal of Architectural Computing*, 6 (1), 1-17.
- Panchalingam, R., & Chan, K. C.** (2019). A state-of-the-art review on artificial intelligence for Smart Buildings. *Intelligent Buildings International*, 1-24.
- Pesenti, M., Masera, G., Fiorito, F., & Sauchelli, M.** (2015). Kinetic Solar Skin: A Responsive Folding Technique. *Energy Procedia*, 70, 661-672.
- Pikas, E., Thalfeldt, M., & Kurnitski, J.** (2014). Cost optimal and nearly zero energy building solutions for office buildings. *Energy and Buildings*, 74, 30-42.
- Reichert, S., Menges, A., & Correa, D.** (2015). Meteorosensitive architecture: Biomimetic building skins based on materially embedded and hygroscopically enabled responsiveness. *Computer-Aided Design*, 60, 50-69.
- Romano, R., Aelenei, L., Aelenei, D., & Mazzucchelli, E. S.** (2018). What is an adaptive façade? Analysis of Recent Terms and definitions from an international perspective. *Journal of Facade Design and Engineering*, 6 (3), 65-76.
- Rossi, D., Nagy, Z., & Schlueter, A.** (2012). Adaptive Distributed Robotics for Environmental Performance, Occupant Comfort and Architectural Expression. *International Journal of Architectural Computing*, 10 (3), 341-359.
- Royer, S., Thil, S., Talbert, T., & Polit, M.** (2014). Black-box modeling of buildings thermal behavior using system identification. *IFAC Proceedings Volumes*, 47 (3), 10850-10855.
- Schmidt, R., & Eguchi, T.** (2014). Mediating Change: A Japanese Perspective on Adaptable Architecture. *Architectural Design*, 84 (2), 74-79.
- Schumacher, M., Schaeffer, O., & Vogt, M.-M.** (2012). *Move: Architecture in motion-dynamic components and elements*. Walter de Gruyter.
- Shahin, H. S. M.** (2019). Adaptive building envelopes of multistory buildings as an example of high-performance building skins. *Alexandria Engineering Journal*, 58 (1), 345-352.
- Struck, C., Almeida, M., Silva, S., Mateus, R., Lemarchand, P., Petrovski, A., Rabenseifer, R., Wansdronek, R., Wellershoff, F., & Wit, J. D.** (2015). Adaptive facade systems – review of performance requirements, design approaches, use cases and market needs. *In Proceeding 10th Conference on Advanced Building Skins*, Bern, Switzerland, 1254-1264
- Tabadkani, A., Roetzel, A., Li, H. X., & Tsangrassoulis, A.** (2020). A review of automatic control strategies based on simulations for adaptive facades. *Building and Environment*, 175, 106801.
- Url-1** <<http://specs-lab.com/portfolio-items/2007-2008-2009-the-synthetic-oracle>>, erişim tarihi 05.01.2021.
- Url-2** <<https://kadk.dk/en/case/vivisection>>, erişim tarihi 05.01.2021.

- Url-3** <[https://jiscinfonetcasestudies.pbworks.com/w/page/59625060/Universities %20of%20Sussex%20and%20Brighton](https://jiscinfonetcasestudies.pbworks.com/w/page/59625060/Universities%20of%20Sussex%20and%20Brighton)>, erişim tarihi 05.01.2021.
- Url-4** <<https://www.rietveldschroderhuis.nl/en>>, erişim tarihi 05.01.2021.
- Url-5** <<https://www.slideshare.net/luceliarodrigues/fiabci-2012-is-added-sustainability-equal-to-added-value>>, erişim tarihi 05.01.2021.
- Url-6** <https://www.tatasteelconstruction.com/static_files/Tata%20Steel/content/products/Colorcoat%20Urban/Planks/BASF%20House.pdf>, erişim tarihi 05.01.2021.
- Url-7** <<https://www.archdaily.com/64028/ad-classics-centre-georges-pompidou-renzo-piano-richard-rogers>>, erişim tarihi 08.01.2021.
- Url-8** <<https://www.archdaily.com/554132/ad-classics-yokohama-international-passenger-terminal-foreign-office-architects-foa>>, erişim tarihi 08.01.2021.
- Url-9** <<https://www.torontocentre.intercontinental.com/things-to-do/rogers-centre>>, erişim tarihi 08.01.2021.
- Url-10** <<https://www.thestar.com/news/gta/2019/06/03/revolutionary-skydome-now-known-as-the-rogers-centre-turns-30.html>>, erişim tarihi 08.01.2021.
- Url-11** <http://www.telepresenceoptions.com/2010/11/hp_expands_video_offerings_wit>, erişim tarihi 05.01.2021.
- Url-12** <http://www.yapi.com.tr/haberler/allianz-arena-munih---almanya_96278.html>, erişim tarihi 05.01.2021.
- Url-13** <<https://inhabitat.com/jean-nouveles-stunning-museum-facade-dilates-to-let-in-daylight/nouvel-ed02/t.y.>>, erişim tarihi 08.01.2021.
- Url-14** <<https://inhabitat.com/jean-nouveles-stunning-museum-facade-dilates-to-let-in-daylight/nouvel-ed02>>, erişim tarihi 08.01.2021.
- Url-15** <<https://www.archdaily.com/472429/this-was-our-utopianism-an-interview-with-peter-cook/52eaa19ce8e44ea663000118-this-was-our-utopianism-an-interview-with-peter-cook-photo>>, erişim tarihi 05.01.2021.
- Url-16** <<https://www.archdaily.com/104724/ad-classics-maison-bordeaux-oma/5037fb2628ba0d599b000772-ad-classics-maison-bordeaux-oma-photo>>, erişim tarihi 08.01.2021.
- Url-17** <<https://inhabitat.com/now-you-can-rent-a-room-in-japans-nakagin-capsule-tower-via-airbnb>>, erişim tarihi 05.01.2021.
- Url-18** <<https://www.timeanddate.com/weather>>, erişim tarihi 05.03.2019.
- Velikov, K., & Bartram, L.** (2009). North House: Developing intelligent building technology and user interface in energy independent domestic environments. *In Proceeding 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture*, 67-72.
- Velikov, K., & Thün, G.** (2013). Responsive building envelopes: Characteristics and evolving paradigms. Trubiano, F., *Design and Construction of High-Performance Homes*, 75-92.
- Wang, J., Beltrán, & Liliana O.** (2012). From Static to Kinetic: A Review of Acclimated Kinetic Building Envelopes. *World Renewable Energy*

Forum, WREF 2012, In Proceeding World Renewable Energy Congress XII and Colorado Renewable Energy Society (CRES) Annual Conference, Denver, ABD, 4022-4029.

- Wiethoff, A., & Gehring, S.** (2012). Designing interaction with media façades: A case study. *Proceedings of the Designing Interactive Systems Conference*, Newcastle, UK, 308-317.
- Wigginton, M., & Harris, J.** (2013). *Intelligent Skins*. Routledge.
- Williams, J., Mitchell, R., Raicic, V., Vellei, M., Mustard, G., Wismayer, A., Yin, X., Davey, S., Shakil, M., Yang, Y., Parkin, A., & Coley, D.** (2016). Less is more: A review of low energy standards and the urgent need for an international universal zero energy standard. *Journal of Building Engineering*, 6, 65-74.
- Xu, X., & Van Dessel, S.** (2008). Evaluation of a prototype active building envelope window-system. *Energy and Buildings*, 40 (2), 168-174.
- Yoon, J.** (2020). Design-to-fabrication with thermo-responsive shape memory polymer applications for building skins. *Architectural Science Review*, 1-15.
- Yudelson, J.** (2007). *Green building A to Z: Understanding the language of green building*. New Society Publishers.
- Yudelson, J.** (2010). *The Green Building Revolution*. Island Press.
- Zarkadis, N., Ridi, A., & Morel, N.** (2014). A Multi-sensor Office-building Database for Experimental Validation and Advanced Control Algorithm Development. *Procedia Computer Science*, 32, 1003-1009.
- Zarzycki, A., & Decker, M.** (2019). Climate-adaptive buildings: Systems and materials. *International Journal of Architectural Computing*, 17 (2), 166-184.
- Zuk, W., & Clark R. H.** (1970). *Kinetic architecture*. Van Nostrand Reinhold.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Erhan Karakoç

Doğum Tarihi ve Yeri :

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2009-2013, İ.T.Ü., Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü
- **Yüksek lisans** : 2013-2015, İ.T.Ü., Bilişim Anabilim dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Programı
- **Doktora** : 2016-2021, İ.T.Ü., Bilişim Anabilim dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Programı

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR VE SUNUMLAR:

- **Karakoç E.**, Çağdaş G., (2021), Adaptive Architecture Based On Environmental Performance: An Advanced Intelligent Façade (AIF) Module, *Gazi University Journal of Science*. (Kabul edildi, yayın sürecinde)
- **Karakoç E.**, Çağdaş G., (2021). A Data-driven Conceptual Framework for Climate Adaptive Building Shell: A Hybrid Control Strategy, *Civil Engineering and Architecture*. (Kabul edildi, yayın sürecinde)
- **Karakoç E.**, Çağdaş G., (2021). Performance-Based Design Approach and Performative Strategies in Architecture: The Case Studies on Performative Architecture, *Materiart Symposium, Ankara*. (Kabul edildi, yayın sürecinde)
- **Karakoç E.**, Çağdaş G., Performance Driven Adaptive Architecture: The Design of Tropical Climate Adaptive Façade (TCAF) Prototype. (Değerlendirme sürecinde)

DİĞER YAYINLAR VE SUNUMLAR:

- **Karakoç E.**, Çağdaş G. (2015), Performansa Dayalı Adaptif Bina Kabuğu Tasarımı için Bir Model, *IX. Mimarlıkta Sayısal Ulusal Sempozyumu*,

Sürdürülebilir Sayısal Ekolojiler- Sayısal Tasarım, Malzeme, Başarım, Özyeğin Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 183-199.

- **Karakoç E.**, Çağdaş G., (2015), Performative Architecture with an Adaptive Building Facade, *18th Generative Art Conference*, Venedik, İtalya.
- Oral H., **Karakoç E.** (2015), Doğadan Esinli Tasarımda Etkileşimli Strüktürler. *IX. Mimarlıkta Sayısal Ulusal Sempozyumu, Sürdürülebilir Sayısal Ekolojiler- Sayısal Tasarım, Malzeme, Başarım, Özyeğin Üniversitesi, 157-169.*
- Oral H., **Karakoç E.** (2015), Interactive Structures in Nature Inspired Design, *18th Generative Art Conference*, Venedik.
- **Karakoç E.**, (2015), A Creative Code Proposal for Technologic Art: "Computational Artist". *18th Generative Art Conference*, Venedik.
- Dostoğlu N., Enginöz E. B., Kut S., **Karakoç E.**, *Architecture in Emergency: Re-Thinking The Refugee Crisis* (eds.), 17-19 Kasım 2016, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul.
- Usta A., Usta G., **Karakoç E.**, Şeremet A., İstanbul Kültür Üniversitesi Ataköy 2 Yerleşkesi, *Yapı 428*, 2017.
- **Karakoç E.**, (2017), Kırsal Yapıların Performanslarının Ölçümlemesine Simülasyon Yöntemi: Küre Evleri Örneği, *Kastamonu-Küre: Kırsal Yerleşimden Yeni Yapıya*. 2017, Eds; İnci Olgun, Burcu Büken Cantimur, Esin Hasgül, Esra Turgut, Meryem Ergün. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Yayınları.
- **Karakoç E.**, (2018), Differences in Spatial Understanding between Digital and Physical Models: A Comparative Experimental Design Study on "Presentation Techniques in Studio Education". *8 th Annual International Conference on Architecture, Atiner, Sponsored by the Athens Journal of Architecture*, July, Athens, Greece
- **Karakoç E.**, (2018), Biyodijital Mimarlık Konularının Lisans Eğitime Uyarlanması Üzerine Bir Araştırma, *XII. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu 21-22 Haziran 2018*, Mimarlık Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Isparta.
- Önal M.B., **Karakoç E.**, (2019), Wearable Architecture A Design Of A Deployable Space. *5th ICNTAD, 5th International Conference on New Trends in Architecture and Interior Design*, İstanbul.
- Okur Y., **Karakoç E.**, (2019), Performative Architecture: A Case Study on Designing a Space for an Artistic Performance. *5th ICNTAD, 5th International Conference on New Trends in Architecture and Interior Design*, İstanbul.
- Önal M.B., **Karakoç E.**, (2019), Giyilebilir Mimarlık: Dönüşebilen bir mimari Prototip, *XIII. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu*, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Önal M.B., **Karakoç E.**, (2019), Innovative Approaches To Organic Architecture: Nature-Inspired Architectural Design, *XXII Generative Art International Conference- GA2019*, Rome, Italy.
- Okur Y., **Karakoç E.**, (2019), Interactive Architecture: The Case Studies on Designing Media Façades, *XXII Generative Art International Conference- GA2019*, Rome, Italy.

- **Karakoç E.**, (2020), Otonom Tasarımlarda Karar Vermenin Anatomisi, Metametrik (websitesi: <https://metametrik.com/2020/11/17/>)
- Hasgöl, E., Olgun, İ. and **Karakoç, E.**, (2021), "Vernacular Rural Heritage In Turkey: An Intuitional Overview For A New Living Experience", *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development, Vol. ahead-of-print*. (Kabul edildi, yayın sürecinde).

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2015 Ytong Mimari Fikir Yarışması eşdeğer 1.lik ödülü (Hülya Oral ile birlikte)
- 2015 Bentley en iyi sunum ödülü, IX. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu kapsamında. (Oral H., Karakoç E. (2015), Doğadan Esinli Tasarımda Lifli Strüktürler, Özyeğin Üniversitesi, İstanbul)
- 2016 İstanbul Kültür Üniversitesi Ataköy 2. Kampüsü Ulusal Mimari Yarışması, 1.lik ödülü, Usta A., Usta G. İle birlikte.
- 2015-2017 Kastamonu- Küre: Kırsal Yerleşimden Yapıya BAP Danışmanı
- Manipulasyon Atölyesi, Tasarım Atölyesi Kadıköy, Eylül 2016, (Yürütücü)
- Mimari Görselleştirme ve Render Motorları, 2017 Şubat, Başakşehir Living Lab., İstanbul. (Yürütücü)
- Dijit Atölyesi, "Uluslararası Mimarlık Bienali (IABA) 2017 ANTALYA" 4. Uluslararası Mimarlık Bienali, Mimarlık Çalıştayları Kapsamında. (Yürütücü)
- 4. İstanbul Tasarım Bienali, Arter: Dünya Okulu Atölyeleri, İstanbul Göç Haritası, Eylül 2018 (Yürütücü)
- 4. İstanbul Tasarım Bienali, Arter: Dünya Okulu Atölyeleri, Acil Durumda Barınak Tasarımına Yönelik Malzeme Denemeleri, Ekim 2018 (Yürütücü)
- 2013-2015 Serbest Mimar (Çeşitli ofislerde)
- 2015-2020 İstanbul Kültür Üniversitesi Araştırma Görevlisi
- 2020-... Serbest Mimarlık ve Deneysel Tasarım işleri
- 2021-... Yıldız Teknik Üniversitesinde Misafir Öğretim Görevlisi