

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SES VERİLERİ ETKİLEŞİMLİ DİNAMİK ADAPTİF BİR CEPHE ÖNERİSİ  
SOUND SHIELD**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Öznur ÇAKIR AYDOĞAN**

**Bilişim Anabilim Dalı  
Mimari Tasarımda Bilişim Programı**

**HAZİRAN 2018**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SES VERİLERİ ETKİLEŞİMLİ DİNAMİK ADAPTİF BİR CEPHE ÖNERİSİ  
SOUND SHIELD**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Öznur ÇAKIR AYDOĞAN**

**710051010**

**Bilişim Anabilim Dalı**

**Mimari Tasarımda Bilişim Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Meltem AKSOY**

**HAZİRAN 2018**





İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nin 710051010 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Öznur ÇAKIR AYDOĞAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “SES VERİLERİ ETKİLEŞİMLİ DİNAMİK ADAPTİF BİR CEPHE ÖNERİSİ - SOUND SHIELD” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarılı bir şekilde sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Doç. Dr. Meltem AKSOY** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Prof. Dr. Gülen Çağdaş** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Dr. Öğretim Üyesi Togan Tong** .....  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi : 04 Mayıs 2018**  
**Savunma Tarihi : 11 Haziran 2018**





*Aileme ve Eşime,*



## ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca geliştirici ve ilerici fikirlerini benden esirgemeyen ve fikirlerimin olgunlaşmasına çok büyük katkısı olan danışman hocam Meltem AKSOY'a, tez konum konusunda ilk fikirlerimi oluşturmamdaki katkı, destekleri ve mimarlıkta bilişim programına heyecan duymamı sağlayan Prof. Dr. Gülen Çağdaş'a, Arduino yazılımı ile ilgili yardımlarından dolayı Orçun Çakır'a ve Grasshopper yazılımında tasarımımın modellemesindeki yardımlarından dolayı Bilge Göktoğan'a, cephe önerimin Odeon yazılımı ile yapılan ses simülasyonları ve analizleri için Sonic Design gürültü kontrolü ve akustik danışmalığı şirketinin kurucusu, arkadaşım Mahmut Sözer'e teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2018

Öznur ÇAKIR AYDOĞAN

(Mimar)



# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

|  |            |
|--|------------|
| ÖNSÖZ.....   | vii        |
| İÇİNDEKİLER .....  | ix         |
| KISALTMALAR .....  | xi         |
| SEMBOLLER .....  | xiii       |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....   | xv         |
| ŞEKİL LİSTESİ.....   | xvii       |
| ÖZET.....  | xxv        |
| SUMMARY .....  | xxvii      |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>  | <b>1</b>   |
| <b>2. ADAPTİF ve KİNETİK MİMARLIĞA GENEL BAKIŞ .....</b>                                       | <b>5</b>   |
| 2.1 Adaptif ve Kinetik Mimarlık Kavramının Genel Gelişim ve İlerleyişi .....                   | 7          |
| 2.2 Sabit Bir Cepheden Adaptif Bir Cepheye Doğru .....   | 15         |
| <b>3. ADAPTİF CEPHE UYGULAMALARININ İNCELENMESİ .....</b>                                      | <b>29</b>  |
| 3.1 Enerji Üreten Cepheler .....   | 31         |
| 3.2 Akıllı Malzeme İçeren Cephe Sistemleri .....   | 38         |
| 3.3 Çift Kabuk Cephe Sistemleri.....   | 49         |
| 3.4 Ses, Işık, Hareket, Kullanıcı Etkileşimli Adaptif Cepheler.....                            | 52         |
| 3.5 Adaptif Cepheler Karşılaştırma Diyagramları .....  | 77         |
| <b>4. ÇEVRE SESLERİ ETKİLEŞİMLİ DİNAMİK ADAPTİF BİR CEPHE<br/>ÖNERİSİ – SOUND SHIELD .....</b> | <b>85</b>  |
| 4.1 Cephe Bileşenleri Geometrisi ve Kinetik Yapısı .....                                       | 91         |
| 4.2 Dinamik Adaptif Cephe Bileşenlerinin Grasshopper Yazılımında<br>Oluşturulması .....        | 98         |
| 4.3 Dinamik Adaptif Cephenin Simülasyonu için Kinetik Sistemin Kodlanması                      | 103        |
| 4.4 Arduino Yazılımı ile Dinamik Adaptif Cephe Bileşeni Ses Etkileşiminin<br>Sağlanması .....  | 108        |
| 4.5 Dinamik Adaptif Cephe Sisteminin Mevcut Cephe Üzerinde Simülasyonu .                       | 113        |
| 4.6 Dinamik Adaptif Cephe Önerisi Ses Akustiği Simülasyonları ve Analizleri                    | 126        |
| <b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>   | <b>137</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>   | <b>141</b> |
| <b>EKLER.....</b>  | <b>147</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>   | <b>159</b> |





## KISALTMALAR

|                  |  |
|------------------|--|
| <b>ABI</b>       | : Adaptive Building Initiative   |
| <b>BMS</b>       | : Bina Yönetim Sistemi   |
| <b>GFRP</b>      | : Cam Elyaf Takviyeli Polimer  |
| <b>CFD</b>       | : Hesaplamalı Akışkan Dinamik  |
| <b>CTBUH</b>     | : Council on Tall Buildings and Urban Habitat  |
| <b>ÇŞB</b>       | : Çevre ve Şehircilik Bakanlığı  |
| <b>dB</b>        | : Desibel  |
| <b>ETFE</b>      | : Etilen Tetra Flor Etilen   |
| <b>ETHZ</b>      | : Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  |
| <b>Hz</b>        | : Hertz  |
| <b>IDeEA LAB</b> | : The Interdisciplinary Design Environments for Engineering and<br>Architecture laboratory |
| <b>LEED</b>      | : Leadership in Energy and Environmental Design  |
| <b>LID</b>       | : Bütünleştirici Tasarım Laboratuvarı  |
| <b>FDM</b>       | : Faz Değiştiren Malzemeler  |
| <b>IAAS</b>      | : Institute for Advanced Architecture of Catalonia   |
| <b>MIT</b>       | : Massachusetts Institute of Technology  |
| <b>Pa</b>        | : Pascal   |
| <b>W</b>         | : Pressure   |
| <b>PP</b>        | : Polipropilen   |
| <b>PTFE</b>      | : Politetrafloroetilen   |
| <b>PVDF</b>      | : Poliviniliden Florür   |
| <b>PZT</b>       | : Kurşun Zirkonat Titanat  |
| <b>SMA</b>       | : Shape Memory Alloys  |
| <b>SPL</b>       | : Sound Pressure Level   |
| <b>SSC</b>       | : Stratejik Bilim Danışmanlığı   |
| <b>ŞBA</b>       | : Şekil Bellek Alaşımli Malzemeler   |
| <b>UIA</b>       | : Uluslararası Mimarlık Kongresi   |
| <b>UBI</b>       | : Kullanıcı Yapı Arabirimi   |
| <b>W</b>         | : Watt   |
| <b>WAF</b>       | : Dünya Mimarlık Festivali   |



## SEMBOLLER

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| <b>I</b>             | : Intensity          |
| <b>L<sub>p</sub></b> | : Gürültü kaynağı    |
| <b>L<sub>w</sub></b> | : Ses güç seviyesi   |
| <b>p</b>             | : Pressure           |
| <b>w</b>             | : Dalga              |
| <b>z</b>             | : Titreşim           |
| <b>λ</b>             | : Lambda, dalga boyu |





## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|  |     |
|--|-----|
| Çizelge 2.1 : Zuk (1971) ve Clark (2003)'in kinetik yapı karakterizasyonunun karşılaştırılması. .... | 24  |
| Çizelge A.1 : Farklı gürültülerin ses basınç değerleri çizelgesi .....                               | 153 |
| Çizelge A.2 : Gürültü ses desibel aralığı ve insan sağlığına etkileri .....                          | 154 |





## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|   |    |
|---|----|
| Şekil 1.1 : Alya Life Residence, Öznur Çakır Aydoğan, İstanbul, 2017.....   | 3  |
| Şekil 2.1 : Adaptif özellik ve veri akışı süreci.....   | 5  |
| Şekil 2.2 : Adaptif mimarlığın geliştirme sürecinin bağlamsal zaman diyagramı 1920-1980 (sol), 1920-2011 (sağ).....                                     | 8  |
| Şekil 2.3 : Adaptif Mimarlık Tasarım Çerçevesi.....   | 9  |
| Şekil 2.4 : Vitruvius'un kuşatma kule sistemi.....  | 10 |
| Şekil 2.5 : Da Vinci'nin Çizim ve Taslakları.....   | 11 |
| Şekil 2.6 : Viollet-le-Duc'ün 1864 yılında önerdiği konser Salonu (Sol) ve demir bina önerisi (Sağ) Viollet-le-Duc, 1864.....                           | 12 |
| Şekil 2.7 : Vladimir Tatlin'in 1920'de tasarladığı Enternasyonal Anıtı, Stockholm Modern Müzesi'ndeki fotoğrafı.....                                    | 12 |
| Şekil 2.8 : Dymaxion House, sistem kesiti (sol) ve prototipi (sağ), 1929.....   | 13 |
| Şekil 2.9 : Plug in City, Archigram, 1964.....  | 14 |
| Şekil 2.10 : Tez bağlamında, akıllı cephe sistemleri genel sınıflandırması.....   | 19 |
| Şekil 2.11 : Statik Adaptif Cephe Etkileşim Süreci Şeması.....  | 20 |
| Şekil 2.12 : Dinamik adaptif sistem konsept diyagramı.....  | 21 |
| Şekil 2.13 : Dinamik adaptif sistem, etkileşim süreci konsept diyagramı.....  | 22 |
| Şekil 2.14 : Dinamik adaptif cephe giriş verileri ve sistem mekanizmaları şeması ..   | 22 |
| Şekil 2.15 : Dinamik adaptif cepheler için genel tasarım çerçevesi.....   | 23 |
| Şekil 2.16 : Mimarideki kinetik tipolojilerin diyagramı.....  | 25 |
| Şekil 2.17 : Dahili kontrol diyagramı.....  | 25 |
| Şekil 2.18 : Doğrudan kontrol sistemi diyagramı.....  | 26 |
| Şekil 2.19 : Dolaylı kontrol sistemi diyagramı.....   | 26 |
| Şekil 2.20 : Dolaylı yanıt veren kontrol sistemi diyagramı.....   | 26 |
| Şekil 2.21 : Yaygın yanıt veren dolaylı kontrol sistemi diyagramı.....  | 27 |
| Şekil 2.22 : Buluşsal yanıt veren dolaylı kontrol sistemi diyagramı.....  | 27 |
| Şekil 3.1 : Adaptif cephe uygulamalarına ait incelemelerin gruplandırma şeması ..   | 30 |
| Şekil 3.2 : Fotovoltaik sistemlerin yapı entegrasyonları.....   | 31 |
| Şekil 3.3 : GreenPix, statik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.....   | 31 |
| Şekil 3.4 : Fotovoltaik hücrelerin cam modüllerin içerisindeki yerleşimleri.....  | 32 |
| Şekil 3.5 : GreenPix, Simone Giostra & Partners, Pekin, 2008.....   | 32 |
| Şekil 3.6 : Handwha Headquarters, statik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.....   | 33 |
| Şekil 3.7 : Handwha Headquarters, Un Studio, Seoul, 2014.....   | 33 |
| Şekil 3.8 : Cephe cam panellerinin güneş ışığı ve iç mekan programına göre farklı tiplere ayrılması, Handwha Headquarters, Seoul, Un Studio, 2014. .... | 33 |
| Şekil 3.9 : Cephe modülleri ve fotovoltaik panellerin yerleşimi (sol), sistem detayı (sağ) Handwha Headquarters, Un Studio, 2014.....                   | 34 |
| Şekil 3.10 : Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.....  | 34 |
| Şekil 3.11 : Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi, WS Atkins ve Partners, 2008.....  | 35 |
| Şekil 3.12 : Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi, WS Atkins ve Partners, 2008.....  | 35 |
| Şekil 3.13 : Strata Tower, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.....   | 36 |
| Şekil 3.14 : Strata Tower, WS Atkins & Partners, BFSL, London, 2010.....  | 36 |
| Şekil 3.15 : BIQ konut projesi, statik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.....   | 37 |
| Şekil 3.16 : BIQ ön cephe görünüşü ve panel detayı, Arup, Strategic Science Consultants (SSC) and Splitterwerk Architects, Hamburg, 2013.....           | 37 |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Şekil 3.17</b> : Bio-reaktör cephe sistem şeması. ....  | <b>38</b> |
| <b>Şekil 3.18</b> : Manuel Gea Gonzalez Hastanesi, statik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.<br>.....  | <b>40</b> |
| <b>Şekil 3.19</b> : Manuel Gea Gonzalez Hastanesi'nin genel cephe görünüşü (sol), cephe yakın görünümü (orta), cepheden detay görünüşü (sağ). ....       | <b>41</b> |
| <b>Şekil 3.20</b> : MATscape projesi, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı. ....  | <b>41</b> |
| <b>Şekil 3.21</b> : MATscape projesi 3 boyutlu genel perspektifi). ....  | <b>42</b> |
| <b>Şekil 3.22</b> : Modüllerin üzerindeki tüy şeklindeki cephe bileşenleri görünüşü (sol) ve gridal kabuğun genel perspektifi (sağ). ....                | <b>42</b> |
| <b>Şekil 3.23</b> : Yeşim Ünal, statik adaptif cephe dönüşüm diyagramı. ....   | <b>43</b> |
| <b>Şekil 3.24</b> : Sistem Önerisi. ....   | <b>43</b> |
| <b>Şekil 3.25</b> : Projeye ilişkin yapılan deneye ait görselleri. ....  | <b>44</b> |
| <b>Şekil 3.26</b> : Reef, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı. ....  | <b>44</b> |
| <b>Şekil 3.27</b> : Reef projesi yüzgeçlerin hareket aralığı (sol), yüzgeçlerin yakın prototip görünüşü (sağ). ....                                      | <b>45</b> |
| <b>Şekil 3.28</b> : Reef enstalasyonunun farklı açılardan genel görünüşleri. ....  | <b>45</b> |
| <b>Şekil 3.29</b> : ShapeShift, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı. ....  | <b>46</b> |
| <b>Şekil 3.30</b> : ShapeShift projesi prototipi genel görünüşleri. ....   | <b>46</b> |
| <b>Şekil 3.31</b> : Media-ICT, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı. ....   | <b>47</b> |
| <b>Şekil 3.32</b> : ETFE panel sistem mekanizması, Media ICT, Enric Ruiz Geli ve Cloud9, Barselona, 2011. ....   | <b>47</b> |
| <b>Şekil 3.33</b> : Media ICT güney-doğu görünüşü (sol) ve güney-batı görünüşü (sağ). .  | <b>48</b> |
| <b>Şekil 3.34</b> : Güney-doğu cephesi ETFE panel detayları. ....  | <b>48</b> |
| <b>Şekil 3.35</b> : Allianz Arena (Sol), Watercube (orta), SSE Hydro Arena (sağ). ....   | <b>49</b> |
| <b>Şekil 3.36</b> : Çift kabuk cephe sistemi (Sol), çift kabuk sistem hava akış modları (sağ)<br>.....   | <b>49</b> |
| <b>Şekil 3.37</b> : RWE Yönetim Binası, statik adaptif cephe dönüşüm diyagramı. ....   | <b>50</b> |
| <b>Şekil 3.38</b> : RWE yönetim binası genel görünüşü (sol), çift kabuk sistem detayı (sağ)<br>Archs Ingehoven, Overdiekund Partner, Almanya, 1996. .... | <b>51</b> |
| <b>Şekil 3.39</b> : KWF Bankalar Grubu ofisi, statik adaptif cephe dönüşüm diyagramı..   | <b>51</b> |
| <b>Şekil 3.40</b> : KWF Bankalar Grubu, Frankfurt, 2010. ....  | <b>52</b> |
| <b>Şekil 3.41</b> : Ernsting Warehouse and Distribution Centre açılma mekanizması<br>görünüşleri (üst) ve sistem kesitleri (alt). ....                   | <b>53</b> |
| <b>Şekil 3.42</b> : Arap Dünyası Enstitüsü, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı. ..  | <b>54</b> |
| <b>Şekil 3.43</b> : Arap kültürü ve Arap Dünyası Enstitüsü cephe bileşenleri geometrisi<br>arasındaki form ilişkisi. ....                                | <b>54</b> |
| <b>Şekil 3.44</b> : Arap Dünyası Enstitüsü genel cephe görünüşü ve cephe metal panel<br>detayları. ....  | <b>55</b> |
| <b>Şekil 3.45</b> : Chuck Hoberman'ın kinetik çubuk yapı sistemlerine ilişkin eskizler.  | <b>55</b> |
| <b>Şekil 3.46</b> : ABI'in Adaptive Fritting, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı..  | <b>56</b> |
| <b>Şekil 3.47</b> : ABI'in Adaptive Fritting, Harvard Tasarım Okulu cephe panelleri. ....  | <b>56</b> |
| <b>Şekil 3.48</b> : Tessellate perfore metal katmanları. ....  | <b>57</b> |
| <b>Şekil 3.49</b> : Tessellate cam panelleri, Simons Geometri ve Fizik Merkezi Lobisi, New<br>York, 2010. ....   | <b>57</b> |
| <b>Şekil 3.50</b> : HelioTrace dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı. ....   | <b>57</b> |
| <b>Şekil 3.51</b> : HelioTrace projesi 3 katmanın perspektif sistem detayı. ....   | <b>58</b> |
| <b>Şekil 3.52</b> : HelioTrace geri çekilmiş paneller (sol), perfore panellerin açılması (orta),<br>opak panellerin açılması (sağ). ....                 | <b>58</b> |
| <b>Şekil 3.53</b> : Kiefer Technic Showroom, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı<br>.....  | <b>59</b> |



|   |    |
|---|----|
| Şekil 3.54 : Kiefer Technic Showroom genel görünüşü ve cephe detayı, Avusturya, 2006. ....  | 59 |
| Şekil 3.55 : Ocean - Thematic Pavilion, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı. ....   | 59 |
| Şekil 3.56 : Ocean Thematic Pavilion, açık ve kapalı hareketli cephe panjurları, SOMA Architecture, Güney Kore. ....  | 60 |
| Şekil 3.57 : ThyssenKrupp Headquarters-Q1, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı. ....  | 61 |
| Şekil 3.58 : Güneşin konumuna göre cephe bileşenlerinin dönme hareketi, ThyssenKrupp Headquarters-Q1, Almanya, 2010.....  | 61 |
| Şekil 3.59 : ThyssenKrupp Headquarters-Q1 ön görünüşleri.....   | 61 |
| Şekil 3.60 : CJ Cheiljedang Araştırma ve Geliştirme Merkezi, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.....   | 62 |
| Şekil 3.61 : Kinetik cephe strüktürü şemsiye mekanizması sistem kesitleri, CJ Cheiljedang Araştırma ve Geliştirme Merkezi, Güney Kore. ....                             | 62 |
| Şekil 3.62 : Al Bahr Kuleleri, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.....   | 63 |
| Şekil 3.63 : Geçmişten ve uyarlanabilir doğal sistemlerden esinlenerek oluşturulan dinamik mashrabiya modülünün katlanma ve açılma konsepti ve cephedeki görünüşü. .... | 63 |
| Şekil 3.64 : Bina geometrisi ve cephe üzerine adaptif sistem entegrasyonu. ....   | 64 |
| Şekil 3.65 : Dinamik bileşenler cephe sistem kesiti (sol) ve bina genel görünüşü, Al Bahr, Abu Dabi. ....   | 65 |
| Şekil 3.66 : Hotel WZ Jardins, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı. ....  | 66 |
| Şekil 3.67 : Bina etrafına yerleştirilen ses sensörleri ile 24 saat yapılan çevre ses kaydının grafik anlatımı, Hotel WZ Jardins, Brazil, 2015.....                     | 66 |
| Şekil 3.68 : Metal panel renkleri ve ses temsilleri, Hotel WZ Jardins. ....   | 67 |
| Şekil 3.69 : Renkli metal panellerin cephedeki genel görünüşü (sol), led aydınlatma ve renk dağılımının gece genel görünüşü (sağ). ....                                 | 67 |
| Şekil 3.70 : Hava kalitesi ve led aydınlatma renk dağılımı (sol), telefon uygulaması ile cephe led aydınlatması etkileşimi (sağ). ....                                  | 68 |
| Şekil 3.71 : Banco del Creito Peru, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı. ....   | 68 |
| Şekil 3.72 : Banco del Creito Peru, Peru, 2010. ....  | 69 |
| Şekil 3.73 : Hybrid Responsive Facade, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı. ....  | 69 |
| Şekil 3.74 : Dinamik adaptif sistem mekanizması, Hybrid Responsive Facade. ....   | 70 |
| Şekil 3.75 : Unity ve Arduino yazılımı çalışma sistemi, Hybrid Responsive Facade. ....  | 70 |
| Şekil 3.76 : Hareketli cephe modülleri prototipi, Hybrid Responsive Facade. ....  | 71 |
| Şekil 3.77 : Hybrid Responsive Facade cephe bileşenlerinin güneşe göre hareketi (sol), cephe medya ekranı görünüşü.....   | 71 |
| Şekil 3.78 : Signal Box, statik adaptif cephe dönüşüm diyagramı. ....   | 72 |
| Şekil 3.79 : Signal Box genel dış cephe görünüşü (sol), bakır şerit detayı ön cephe görünüşü (orta), yan cephe görünüşü (sağ). ....                                     | 72 |
| Şekil 3.80 : Aegis Hyposurface, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı. ....   | 73 |
| Şekil 3.81 : Aegis Hyposurface modül detayı (sol) ve genel görünüşleri (orta ve sağ). ....  | 73 |
| Şekil 3.82 : Sound Wave, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı. ....  | 74 |
| Şekil 3.83 : Kentin ses diyagramı ve yüzey formu oluşturulması. ....  | 74 |
| Şekil 3.84 : Hareketli cephe bileşenleri plan ve perspektif görünüşü (sol), üretilen prototipin genel görünüşü. ....  | 75 |

|  |     |
|--|-----|
| Şekil 3.85 : Sound Wave, sistem çalışma mekanizması. ....  | 75  |
| Şekil 3.86 : Rio Dans Pavyonu, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı. ....   | 75  |
| Şekil 3.87 : Dans Pavyonu hareket olmadığı durum (sol), hareketli durum (orta),<br>cephedeki dairesel aynalar (sağ). ....        | 76  |
| Şekil 3.88 : The Year, statik adaptif cephe dönüşüm diyagramı. ....  | 76  |
| Şekil 3.89 : The Year, hareket ve sıcaklık verilerine göre değişen led kafes sistemi.<br>.....                                   | 77  |
| Şekil 3.90 : Adaptif cephe uygulamaları giriş verileri ve etkileşim sonuçları diyagramı.<br>.....                                | 77  |
| Şekil 3.91 : Adaptif cephe uygulamaları dönüşüm grafiği. ....  | 78  |
| Şekil 3.92 : Adaptif cepheler giriş verilerine göre gruplama tablosu. ....   | 79  |
| Şekil 3.93 : Statik adaptif cepheler dönüşüm diyagramı. ....   | 80  |
| Şekil 3.94 : Dinamik adaptif cepheler dönüşüm diyagramı. ....  | 81  |
| Şekil 3.95 : Dinamik adaptif cephe uygulamaları karşılaştırma tablosu. ....  | 82  |
| Şekil 3.96 : Statik adaptif cephe uygulamaları karşılaştırma tablosu. ....   | 83  |
| Şekil 4.1 : Önerilen dinamik adaptif cephe sistemi çalışma prensibi. ....  | 85  |
| Şekil 4.2 : Fikirtepe bölgesi bağlantı yolları. ....   | 86  |
| Şekil 4.3 : Proje alanı ve bağlantı yolları. ....  | 86  |
| Şekil 4.4 : Proje bölgesi E-5 ve Çevre Yolu fotoğrafları. ....   | 87  |
| Şekil 4.5 : Alya Life Residence mevcut cephe fotoğrafları. ....  | 87  |
| Şekil 4.6 : Alya Life Residence, Kadıköy'e doğru bakış, 3d görünüşü. ....  | 88  |
| Şekil 4.7 : Konut bloğu daire tipleri modülasyon sistemi (1+1, 2+1, 3+1). ....   | 89  |
| Şekil 4.8 : Cephe modülleri yerleşim kurgusu (1+1, 2+1, 3+1). ....   | 89  |
| Şekil 4.9 : Cephe kuzey, güney, doğu, batı cepheleri rüzgar analizleri. ....   | 90  |
| Şekil 4.10 : Vaziyet planı, dinamik adaptif cephe önerisi yerleşimi. ....  | 91  |
| Şekil 4.11 : Cephe bileşeni geometrisi oluşum şeması. ....   | 91  |
| Şekil 4.12 : Cephe bileşeni ön görünüşü, mevcut giydirme cephe ile entegrasyonu. ....  | 92  |
| Şekil 4.13 : 1. durum, çok yüksek ses basıncında cephe bileşeni 3d görseli. ....   | 93  |
| Şekil 4.14 : Cephe bileşeni 1. durum ön görünüşü. ....   | 94  |
| Şekil 4.15 : 1. durum cephe modülleri ön görünüşü (sol), iç koridordan görünüş (sağ).<br>.....                                   | 94  |
| Şekil 4.16 : 2. durum, yüksek ses basıncında cephe bileşeni 3d görseli. ....   | 95  |
| Şekil 4.17 : 3. durum, orta ses basıncında cephe bileşeni 3d görseli. ....   | 95  |
| Şekil 4.18 : 4. durum, düşük ses basıncında cephe bileşeni 3d görseli. ....  | 96  |
| Şekil 4.19 : Cephe bileşeni 4. durum ön görünüşü. ....   | 96  |
| Şekil 4.20 : 4. durum cephe modülleri ön görünüşü (sol), iç koridordan görünüş (sağ).<br>.....                                   | 97  |
| Şekil 4.21 : Cephe bileşeni nokta birleşim detayları 3d görselleri. ....   | 97  |
| Şekil 4.22 : Sound Shield geometri ve kinetik yapı akış diyagramı. ....  | 98  |
| Şekil 4.23 : Cephe bileşeni ölçüleri (ön görünüş) ve kanat açıklıkları (plan) açıları.<br>.....                                  | 100 |
| Şekil 4.24 : Cephe bileşeni 1/4 yamuk yüzeyinin Grasshopper ile oluşturulması.<br>Yüzeyin plan, ön görünüş ve yan görünüşü. .... | 100 |
| Şekil 4.25 : Cephe bileşeni 1/4 yamuk yüzeyinin Grasshopper veri akış diyagramı 01.<br>.....                                     | 101 |
| Şekil 4.26 : Cephe bileşeni 1/4 yamuk yüzeyinin Grasshopper veri akış diyagramı 02.<br>.....                                     | 101 |
| Şekil 4.27 : Cephe bileşenine tüm yüzeylerin oluşturulması. ....   | 102 |
| Şekil 4.28 : Cephe bileşeni rotasyon noktasının belirlenmesi ve yüzeylerin<br>oluşturulması. ....                                | 102 |

|   |     |
|---|-----|
| Şekil 4.29 : Ses basıncı değerlerine göre cephe bileşenlerinin ön görünüşü. ....  | 103 |
| Şekil 4.30 : Cephe bileşenleri dönüş açıları diyagramı. ....  | 104 |
| Şekil 4.31 : Ses kaynağı ve bileşenler arasındaki mesafeye göre belirlenen dönüş açıları veri akış diyagramı. ....                              | 104 |
| Şekil 4.32 : Cephe bileşenleri ses kaynağı mesafesine göre hareketi ön (alt) ve arka (üst) cephe perspektif görünüşü. ....                      | 105 |
| Şekil 4.33 : Cephe bileşenleri ses kaynağı limit değere göre pistonların yatay eksenindeki itme hareketi veri akış diyagramı. ....              | 105 |
| Şekil 4.34 : Cephe bileşenleri ses kaynağı limit değere göre pistonların yatay eksenindeki itme hareketi veri akış diyagramı. ....              | 105 |
| Şekil 4.35 : Cephe bileşenleri Alphalia Silent Lux yüzey kaplaması çerçeve strüktürü. ....  | 106 |
| Şekil 4.36 : Cephe bileşenleri çerçeve strüktürü oluşturulması veri akış diyagramı-01. ....   | 106 |
| Şekil 4.37 : Cephe bileşenleri çerçeve strüktürü oluşturulması veri akış diyagramı-02. ....   | 106 |
| Şekil 4.38 : Cephe bileşenleri taşıyıcı boru profilleri, pistonlar ve kat hizası döşemesi ön cephe görünüşleri. ....                            | 107 |
| Şekil 4.39 : Taşıyıcı sistemin 6 cm çapındaki boru profillerinin oluşturulduğu veri akış diyagramı. ....  | 107 |
| Şekil 4.40 : Mevcut cephe ve cephe bileşenleri arasındaki 120 cm ara koridorun oluşturulması veri akış diyagramı. ....                          | 107 |
| Şekil 4.41 : Sound Shield, Arduino ile ses etkileşiminin sağlanması, akış diyagramı. ....   | 108 |
| Şekil 4.42 : Arduino Mega modülü, ses sensörü modülü ve bağlantı kablosu. ....  | 109 |
| Şekil 4.43 : Arduino Mega modülü ile ses sensörü bağlantısı kodları. ....   | 109 |
| Şekil 4.44 : Grasshopper FireFly menüsü (üst) ve FireFly - Arduino veri akış diyagramı (alt). ....  | 110 |
| Şekil 4.45 : Ses sensörü değerlerinin desibel değerlerine dönüşümü veri akış diyagramı. ....  | 110 |
| Şekil 4.46 : Gerçek zamanlı yüksek ses basıncı 79.16 dB değerinde cephe bileşeni hareketi (üst), veri akış diyagramı (alt). ....                | 111 |
| Şekil 4.47 : Gerçek zamanlı orta ses basıncı 55.41 dB değerinde cephe bileşeni hareketi (üst), veri akış diyagramı (alt). ....                  | 111 |
| Şekil 4.48 (devam): Gerçek zamanlı orta ses basıncı 55.41 dB değerinde cephe bileşeni hareketi(üst), veri akış diyagramı (alt). ....            | 112 |
| Şekil 4.49 : Gerçek zamanlı düşük ses basıncı 26.43 dB değerinde cephe bileşeni hareketi(üst), veri akış diyagramı (alt). ....                  | 112 |
| Şekil 4.50 : Sound Shield cephe önerisi, Grasshopper yazılımı ile yapılan noktasal ve çizgisel simülasyonlara ilişkin model akış diyagramı .... | 113 |
| Şekil 4.51 : Simülasyonların ses kaynağı tipi ve tanımlanan kanat dönüş açıları. ..   | 114 |
| Şekil 4.52 : Ses basınç seviyesine karşılık gelen kanat dönüş açıları. ....   | 115 |
| Şekil 4.53 : Noktasal ses kaynağı simülasyonu, kaynağın vaziyet planındaki konumu, kuzey cephesi. ....  | 116 |
| Şekil 4.54 : 1, 2, 3, ve 4. Simülasyonların hesaplanan kanat açıklıkları aralık değerlerine ait veri akış diyagramı. ....                       | 116 |
| Şekil 4.55 : Sound Shield cephe bileşenlerinin oluşturulması ve 1, 2, 3, 4, 5 ve 6. simülasyonlara ait veri akış diyagramı. ....                | 117 |
| Şekil 4.56 : Simülasyon 1 cephe perspektifi (sol) ve cephe kuzey-doğu görünüşü (sağ). ....  | 118 |

|  |     |
|--|-----|
| Şekil 4.57 : Cephe bileşenleri yakın perspektif görünüşleri. ....  | 118 |
| Şekil 4.58 : Simülasyon 2 cephe perspektifi (sol) ve cephe kuzey-doğu görünüşü (sağ).<br>.....   | 119 |
| Şekil 4.59 : Cephe bileşenleri yakın perspektif görünüşleri. ....  | 119 |
| Şekil 4.60 : Simülasyon 3 cephe perspektifi (sol) ve cephe kuzey-doğu görünüşü (sağ).<br>.....   | 120 |
| Şekil 4.61 : Simülasyon 3, cephe bileşenleri yakın perspektif görünüşleri. ....  | 120 |
| Şekil 4.62 : Simülasyon 4 cephe perspektifi (sol) ve cephe kuzey-doğu görünüşü (sağ).<br>.....   | 121 |
| Şekil 4.63 : Simülasyon 4, cephe bileşenleri yakın perspektif görünüşleri. ....  | 121 |
| Şekil 4.64 : Simülasyon 5 cephe perspektifi (sol) ve cephe kuzey-doğu görünüşü (sağ).<br>.....   | 122 |
| Şekil 4.65 : Simülasyon 5-01, cephe bileşenleri yakın perspektif görünüşleri. ....   | 122 |
| Şekil 4.66 : Simülasyon 5 cephe perspektifi (sol) ve cephe kuzey-doğu görünüşü (sağ).<br>.....   | 123 |
| Şekil 4.67 : Simülasyon 5-02, cephe bileşenleri yakın perspektif görünüşleri. ....   | 123 |
| Şekil 4.68 : Kuzey-doğu ve kuzey-batı cepheleri çizgidel ses kaynağının vaziyet<br>planındaki konumu. ....   | 124 |
| Şekil 4.69 : Çizgisel kaynak simülasyonu için gürültü çizgisinin tanımlanması. ....  | 124 |
| Şekil 4.70 : Cephe bileşeni 0-90° arası kanat hareketine ait açılarının tanımlanması.<br>.....   | 124 |
| Şekil 4.71 : Simülasyon 6 cephe perspektifi (sol) ve cephe kuzey-doğu görünüşü (sağ).<br>.....   | 125 |
| Şekil 4.72 : Simülasyon 6, cephe bileşenleri yakın perspektif görünüşleri. ....  | 125 |
| Şekil 4.73 : İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından hazırlanan Fikirtepe bölgesi<br>gürültü düzeyi haritası. ....   | 126 |
| Şekil 4.74 : Çizgisel ses kaynağı oktav bantları gürültü seviyesi (üst), ses simülasyonu<br>çizgisel ses kaynağı (L1) ve alıcıların (R1-low, R2-mid, R3-high)<br>konumları (alt). .... | 128 |
| Şekil 4.75 : Çizgisel ses kaynağı değerlerinin, simülasyon ses kaynak özellikleri<br>bölümüne girilmesi. ....  | 128 |
| Şekil 4.76 : Ses kaynağı (L1) ve alıcıların (A1-low, A2-mid, A3-high) simülasyondaki<br>koordinatları. ....  | 129 |
| Şekil 4.77 : Ses kaynağı (L1) ve alıcıların (A1-low, A2-mid, A3-high) simülasyondaki<br>koordinatları. ....  | 129 |
| Şekil 4.78 : Ses alıcılarının yerleşimine ait 3d perspektif görüntüsü. ....  | 130 |
| Şekil 4.79 : Serge Ferrari, Alphalia Silent Aw Lux malzemesi teknik şartname<br>değerleri tablosu. ....  | 130 |
| Şekil 4.80 : Ses simülasyonu mevcut cephe ve öneri cephe bileşenleri malzeme<br>değerlerinin atanması, simülasyona işlenmesi. ....   | 130 |
| Şekil 4.81 : Mevcut cephe ses simülasyonu, ses kaynağından sesin dağılımına ait gif<br>dosyası ekran görüntüleri. ....   | 131 |
| Şekil 4.82 : 1. durum senaryosu ses simülasyonu 2, cephe bileşenleri ön görünüşü.<br>.....   | 131 |
| Şekil 4.83 : 1. durum (maximum yüzey alanı) senaryosu ses simülasyonu, ses<br>kaynağından sesin dağılımına ait gif dosyası ekran görüntüleri. ....                                     | 132 |
| Şekil 4.84 : 4. durum senaryosu ses simülasyonu 3, cephe bileşenleri ön görünüşü.<br>.....   | 132 |
| Şekil 4.85 : 4. durum (minimum yüzey alanı) senaryosu ses simülasyonu, ses<br>kaynağından sesin dağılımına ait gif dosyası ekran görüntüleri. ....                                     | 133 |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Şekil 4.86</b> : 125 Hz merkezli, 1.(sol), 2.(orta), 3.(sağ) simülasyonlar cephe ses haritaları. ....  | <b>134</b> |
| <b>Şekil 4.87</b> : 250 Hz merkezli, 1.(sol), 2.(orta), 3.(sağ) simülasyonlar cephe ses haritaları. ....  | <b>134</b> |
| <b>Şekil 4.88</b> : 500 Hz merkezli, 1.(sol), 2.(orta), 3.(sağ) simülasyonlar cephe ses haritaları. ....  | <b>134</b> |
| <b>Şekil 4.89</b> : 1000 Hz merkezli, 1.(sol), 2.(orta), 3.(sağ) simülasyonlar cephe ses haritaları. .... | <b>135</b> |
| <b>Şekil 4.90</b> : 2000 Hz merkezli, 1.(sol), 2.(orta), 3.(sağ) simülasyonlar cephe ses haritaları. .... | <b>135</b> |
| <b>Şekil 4.91</b> : 4000 Hz merkezli, 1.(sol), 2.(orta), 3.(sağ) simülasyonlar cephe ses haritaları. .... | <b>135</b> |
| <b>Şekil 4.92</b> : Sound Shield adaptif sistem şeması .....  | <b>138</b> |
| <b>Şekil A.1</b> : Ses ve dalga boyu grafiği. Lambda: dalga boyu, w: dalga, z: titreşim..                 | <b>148</b> |
| <b>Şekil A.2</b> : Temel ses parametreleri.....   | <b>148</b> |
| <b>Şekil A.3</b> : Ses basıncı aralıkları.....  | <b>150</b> |
| <b>Şekil A.4</b> : Ses basıncı aralıkları.....  | <b>151</b> |
| <b>Şekil A.5</b> : dB(A) ve dB(C) filtreleri ve frekans değerleri diyagramı. ....                         | <b>151</b> |
| <b>Şekil A.6</b> : Bazı çevresel gürültü kaynakları ve ses basınç seviyeleri (dB). ....                   | <b>152</b> |
| <b>Şekil A.7</b> : Nokta ve çizgi gürültü kaynağı diyagramları. ....                                      | <b>154</b> |
| <b>Şekil A.8</b> : Gürültü – bariyer diyagramı. ....  | <b>155</b> |
| <b>Şekil A.9</b> : Gürültü – rüzgar etkileşimi diyagramı. ....  | <b>156</b> |
| <b>Şekil A.10</b> : Gürültü – sıcaklık diyagramı. ....  | <b>156</b> |
| <b>Şekil A.11</b> : Gürültü ve zemin yüzeyi etkileri diyagramı.....                                       | <b>157</b> |
| <b>Şekil A.12</b> : Yüzey emilim, yansıma, iletim diyagramı. ....   | <b>157</b> |



# SES VERİLERİ ETKİLEŞİMLİ DİNAMİK ADAPTİF CEPHE ÖNERİSİ

## SOUND SHIELD

### ÖZET

Günümüzde, teknolojik gelişmelerin hızla artması ile birlikte, binaların önemli bir yapı elemanı olan cepheler için farklı tasarım yöntemleri üzerine araştırma ve geliştirme çalışmaları artmıştır. Bu bağlamda gerek kullanıcı hareketi odaklı, gerekse çevresel etkenlere dayalı, değişebilen, dönüşebilen, çevre ile etkileşime geçebilen birçok farklı cephe uygulaması yaygınlaşmaya başlamıştır.

Güneş ışığına uyarlı şekilde cevap veren adaptif cephelerin bina performanslarına büyük katkıları sebebiyle, birçok projede ağırlıklı olarak doğal ışık etkileşimli cepheler uygulanmaktadır. Bu tez çalışmasında ise, çevresel gürültülere karşı tepki verebilen, hareket edebilen ve görsel etkileşimi güçlendiren bir cephe önerisi üzerinde çalışılmıştır. Çevresel sesler üzerinden adaptif bir cephe önerisi hazırlanmasının en önemli sebebi, ses verileri etkileşimli cepheler için yapılan araştırma ve çalışma alanlarında daha az yer bulabilmiş olması ve gürültünün büyüyen kentlerin en önemli sorunlarından biri haline gelmesidir. Kentlerde, gürültü düzeyinin giderek artması, bina iç mekan akustik performansının yükseltilmesini de önemli kılmaktadır. Bu sebeple, kent ile bina iç mekanın ara kesitinde yer alan bina cephelerine, çevre seslerine duyarlı bir yapı kazandırılması ve ses seviyelerine göre değişen etkileşimli bir cephe örüntüsü ile gürültüye çözüm önerisi sunulması amaçlanmıştır.

Giriş bölümünde tezin amaç ve kapsamı ele alınmıştır. İkinci bölümde öncelikle adaptif mimarlık ve kinetik mimarlık kavramları ile mimarideki gelişim süreçleri irdelenmiştir. Daha sonra tez kapsamında, binanın çevreye adapte olma sistemine göre, adaptif cepheler, statik ve dinamik olmak üzere ikiye ayrılarak gruplandırma yapılmıştır.

Üçüncü bölümde ise literatür araştırmalarında, adaptif cephelerin hem uygulanmış örnekleri, hem de üniversite tasarım stüdyolarında, laboratuvar çalışmalarında ve tez çalışmalarındaki öneri cephe alternatifleri incelenmiştir. Cephe örnek uygulama ve araştırmaları dört alt gruba ayrılarak incelenmiştir. Buradaki amaç, çevre etkileşimlerine göre uygulama örneklerini birbirinden ayırarak, statik ve dinamik olarak ikiye ayrılan adaptif cephelerin bina performanslarını daha net değerlendirebilmektir. İncelenen örnekler üzerinden, gelişen teknoloji, yazılımlar, malzemeler ile birlikte çevre ile görsel etkileşimleri de incelenmiştir. Giriş verileri, etkileşim unsurları, bina performansına etkileri üzerine piktogramlar oluşturularak, çevreye uyum sağlama sistemleri incelenmiştir. Adaptif cephelerdeki veri dönüşümleri üzerinden karşılaştırma tabloları hazırlanarak, cephelerde kullanılan etkileşim unsurları üzerine analizler yapılmıştır.

Dördüncü bölümde ise, ses kirliliğini önlemeye yönelik hazırlanan, çevre ses verileri etkileşimli Sound Shield cephe önerisine geçilmiştir. Bina cephesinde oluşturulan ses etkileşimli yüzeyin, yüksek ses basıncına karşı bir ses bariyeri niteliği taşıması amaçlanmıştır. Ayrıca, kentteki insanların bina cephesi ile görsel etkileşimi arasındaki bağın güçlendirilmesi yaklaşımı üzerine çalışılmıştır.

Bu bağlamda, çevresel ses basıncı seviyelerinin harekete dönüştürülmesi sağlanarak, bina ses performansını dengeleyen, görsel etkileşimi ile de kent arasındaki bağı

güçlendiren interaktif modüler bir cephe örüntüsüne odaklanılmıştır. Bu amaçla, mevcut bir bina seçilerek, bilgisayar ortamında ikincil bir katman olarak, önerilen cephe yerleştirilmiş ve cephe sisteminin ses seviyelerine göre değişimi ve dinamik yapısı simülasyonlar yapılarak değerlendirilmiştir.

Dinamik adaptif cephe önerisi, İstanbul Fikirtepe bölgesindeki mimari tasarımı ve proje müellifliği yazarın kendisine ait olan Alya Life Residence konut yapısı üzerinde hazırlanan ses simülasyonları üzerinden irdelenmiştir. Yapı, çevre seslerinin ve araç sirkülasyonlarının yoğun olduğu bir alanda konumlanması sebebiyle tercih edilmiştir. Aynı zamanda projenin yazar tarafından yapılmış olması ve tüm teknik dökümanlara sahip olunması, önerilen cephenin detaylı olarak irdelenebilmesini mümkün kılmıştır. Bu bölümde, Alya Life Residence'in, mevcut cephe ölçüleri baz alınarak tasarlanan, ses etkileşimli cephe modülünün oluşum geometrisi, modüllerin cepheye yerleştirilme yöntemi, cephe örüntüsünün oluşturulması aktarılmıştır. Daha sonra Arduino yazılımı ile gerçek zamanlı ses verilerinin sayısal olarak bilgisayar ortamına aktarımı ile cephe sisteminin ses basıncı seviyelerine göre değişimi ve etkileşimi gösterilmiştir. Mevcut bina cephesi üzerinde sistemin irdelenebilmesi için Grasshopper yazılımında parametrik nokta simülasyonları ve Odeon yazılımı ile öneri cephe için ses akustiği simülasyonları ile analizleri yapılmıştır. Ses akustiği simülasyonları yapılırken, dış mekan çevre seslerine ilişkin analizler yapılmış olup, iç mekan ses akustik analizleri tez kapsamı dışında tutulmuştur.

Simülasyonlar sonucunda, çevre seslerine karşı kinetik yapısı ile tepki vererek, çevreye uyum sağlayan ses bariyeri niteliğindeki dinamik adaptif cephe modeli önerisi Sound Shield değerlendirilmiş, ileriye yönelik potansiyelleri ve gelişim olasılıkları tartışılmıştır.



# **DYNAMIC ADAPTIVE FACADE PROPOSAL WITH SOUND DATA INTERACTION - SOUND SHIELD**

## **SUMMARY**

Today, with the rapid increase in technological developments, research and development studies on different design methods have increased for the facade which is an important element of the buildings. In this context, many different facade applications have been produced which are based on user movement, if necessary based on environmental factors, which can be changed, transformed and interact with the environment.

Due to the large contribution of adaptive facades that respond to solar radiation to building performances, many projects are predominantly facades with natural light interactions. In this thesis, a facade proposal was developed that can react to environmental noise, move and strengthen visual interaction. The most important reason for preparing an adaptive facade proposal through environmental voices is to find a lesser space in research and study areas and to develop a proposal for noise which is one of the most important problems of growing cities due to the limited application in this area. Increasing noise level in the cities also makes it important for the acoustical performance of the building interior. For this reason, it is aimed to give a building sensitive to the surrounding sounds to the building facades located at the cross section of the city and the building interior and to present a solution to the noise with an interactive facade pattern varying according to the sound levels.

The purpose and scope of the thesis are discussed in the introduction. In the second part, the development process is examined through the concept of adaptive architecture and the components of the facade. Then, according to the thesis, adaptive facades are grouped into static and dynamic according to the building adaptation system.

In the third part, in the literature research, both the applied examples of adaptive facades and the suggestion facade alternatives in university design studios, laboratory studies and thesis studies are examined. The facade sample applications and researches were examined by separating four subgroups. The purpose of this is to make a clearer assessment of the building performances of the adaptive facades divided into static and dynamic by separating the application examples according to the environmental interactions. Building performance, environment and visual interactions with developing technologies, software, materials and materials have been investigated. The system of adaptation to environment has been examined by creating pictograms on input data, interaction elements, effects on building performance. Comparison tables were prepared on the data transformations in the adaptive facades and the interaction elements used in the facades were analyzed.

In the fourth chapter, the approach proposed to prevent the noise pollution and the environmental sound effect interactive front has been introduced. The sound-interactive surface created at the front of the building carries a sound barrier against high-pressure sound. In addition, the approach of strengthening the link between the building front and the visual interaction of the people in the city has been studied. In this context, the focus is on an interactive modular facade that reinforces the connection between the city and the visual interaction, balancing the sound performance of the building by transforming environmental sound pressure levels into

action. For this purpose, an existing building was selected, the proposal facade was placed as the outermost layer in the computer environment, the change and dynamic structure of the facade proposal according to the sound levels were evaluated by simulations.

The dynamic adaptive facade proposal is based on the sound simulations of the architectural design and project authoring in the Istanbul Fikirtepe district. The structure is preferred because of its location in the area where the surroundings and vehicle circulation are concentrated. At the same time, the fact that the project was made by the author and that all the technical documentation were available made it possible to examine the proposed in detail. In this section, the formation geometry of the sound-interactive facade module designed on the basis of existing facade measures, the method of placing the modules on the facade, the creation of the facade pattern is explained. Then, Arduino software showed the change and interaction according to the sound pressure levels by transferring the real time sound data to the computer numerically. In order to examine the system on the existing building platform, parametric point simulations were performed with Grasshopper software and sound acoustic simulations were analyzed with Odeon software.

As a result of the simulations, Sound Shield has been evaluated as a dynamic adaptive facade model which responds to environmental sounds with its kinetic structure and adapts to the environment and discussed potential and developmental possibilities for the future.

## 1. GİRİŞ

Tarihsel süreç içerisinde toplumlar, doğa ve insan etkileşimi üzerinden, gerek barınma, gerek iklimsel koşullar sebebiyle sürekli evrimleştiği yaşam alanları oluşturmuştur. İlk çağlarda mağaralarda başlayan yaşam alanları, sonrasında genel ihtiyaçların karşılanması amacı ile oluşturulan ve yine ihtiyaçların belirlediği doluluk-boşlukların tanımlandığı yüzeylerin birleşiminden oluşmaktaydı. Bu bağlamda mimaride yüzey kavramı, ana yaşam alanlarını oluşturan, kapalı alan tanımlamasını mümkün kılan yapı bileşenlerinin önemli bölümlerinden biridir.

Teknolojinin gelişimi ile birlikte, farklı yapı teknikleri ve tasarımı evrimleştiren farklı yöntemler oluşmaya başlamıştır. Bilgisayarların ve aynı zamanda 1980'li yıllarda internet kullanımının yaygınlaşması ile birlikte her alanda dönüşümler başlamış, bilgi ve iletişim teknolojileriyle güçlü bir ağ kurularak toplumlar birbirine bağlanmaya başlamıştır. Ekonomik, kültürel gelişmelerle birlikte mimar, sadece bina bazında ihtiyaçlara cevap vermenin ötesinde artık kentsel ölçekte insan ve yapılar arasında, toplumların yaşam biçimlerine göre değişebilen tasarımlara doğru yönelmeye başlamıştır. Asırlardır durağan ve sabit olan mimari yapı elemanları artık bu devingen ortam içerisinde kendisine farklı bir yer edinmeye başlamıştır.

Kentlerin artan yoğunluktaki yaya ve araç sirkülasyonları içerisinde hareket kavramı mimariyi de etkilemiş, bu bağlamda mimaride sabit yapı elemanlarının çevresel etkiler veya bireysel ihtiyaçlara cevap verecek şekilde değişebilmesi, hareket etmesi ve kullanıcı ile etkileşime geçmesi önemli bir araştırma ve geliştirme alanı olmuştur. Hareketli elemanlar kendi içinde barındırdığı dinamik yapısı itibarıyla, hem fonksiyonel olarak çevreye adapte olabilmekte, hem de çevre etkileşiminin etkisini arttırarak, duvarların da içerisinde bulunduğu bir ilişki sağlamaktadır.

Yüzeylerin, yüzeyleri etkileyen mekanların, mekanları etkileyen çevrenin ve hatta çevrenin etkilediği kentlerin farklı etkileşim unsurlarına bağlı olarak dönüşümü mimarlığın yeni araştırma ve geliştirme alanı haline gelmiştir. Böylece mimaride etkileşimli, değişebilen yapı elemanları üretilebilir ve uygulanabilir bir hale gelmiştir. Bina cepheleri ise bu anlamda üzerinde yaygın olarak çalışılan yapı elemanlarından

biri olmaya başlamıştır. Sürekli değişim içerisinde olan fiziksel çevre içerisinde yapı cepheleri, çevre-insan etkileşiminin arakesitinde önemli bir etkileşim unsurudur ve multi-disipliner bir çalışma ağı ile altyapısında barındırdığı farklı teknolojilerle kentsel bağlarını güçlendirmektedir.

## **1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Mekanların, yüzeyle hareket eylemini barındırarak, dış çevre veya kullanıcı ile etkileşime geçtiği veya ona adapte olduğu tasarım kriterleri üzerinden yapıların dönüşümü, mimarlığın teknolojiyle etkileşimi ile birlikte bina performansını artırıcı nitelikler kazandırmaya başlamıştır. Mimarlık bir çok anlamda farklı disiplinlerle etkileşimli bir tasarım ortamıdır. Bir mimari projede, programı belirleyen ve kullanıcı ihtiyaçlarından doğan mekansal planlama ile birlikte cephelerin tasarımları da bir o kadar önemlidir. Gelişen yazılımlar ile birlikte cephe elemanları, algoritmalar, farklı yazılımlar, simülasyonlar ile plan ve cephe şemaları birbiri ile etkileşimli bir şekilde daha hızlı ve sonuçları test edilebilir şekilde tasarlanarak uygulanabilmektedir. Bu bağlamda, tasarım ve uygulama yöntemlerindeki gelişmeler, yapıların plan şemaları, cephelerin yapısı, kent ve çevre arasındaki bağın güçlenmesini sağlayacak nitelikteki uygulamaların yaygınlaşmasını sağlamıştır. Mimarlar, mühendisler, malzeme bilimcileri yapının hem enerji tasarrufu üzerinden sıfır enerjili yapılar üzerine çalışırken, diğer yandan binaların çevre ile etkileşimine yönelik mimarlık ve mühendislik alanlarında araştırma ve çalışmalarına yeni öneriler geliştirmektedir. Bulunduğu konum, iklim, kullanıcıya göre değişen, dönüşen, şekil değiştiren yapı elemanları tasarımları günümüzün yoğun araştırma ve çalışma konuları arasında önemli bir yer edinmeye başlamıştır.

Bina sürdürülebilirliği ve enerji etkinliğinin yükseltilmesi bağlamında, özellikle iklim verilerine göre değişen cephe sistemlerinin uygulamaları yoğunluk kazanmaktadır. Çevresel ses kirliliğinin, büyüyen kentlerin önemli bir sorunu haline gelmesi sebebiyle ses etkileşimli cephe uygulamalarının önemi de artmaktadır. Bu sebeple tez kapsamında, cephe uygulama örnekleri içerisinde daha az yer bulabilmiş olan çevre sesleri etkileşimli cephe tasarımına odaklanılmış, cephe örüntüsünün dinamik adaptif yapısı ile bina ses performansı ve bina iç mekan ses konforunun yükseltilmesi hedeflenmiştir.

Bu amaçla öncelikle, adaptif cephelerin literatürde erişilebilen örnekleri üzerinden çevre etkileşimleri incelenmiş, adapte oldukları durumlara ve etkenlere, hareket tiplerine göre değişim veya dönüşümleri irdelenmiştir. Aynı zamanda incelenen uygulamalar içerisinde, adaptif cephe bileşenlerinin bina performanslarına etkileri araştırılmıştır. Büyük çoğunluğu iklimsel verilerle etkileşime sahip olduğu görülen adaptif cephe uygulamalarına alternatif olarak, daha az uygulama alanına sahip çevre ses verileri etkileşimi ile çevresine adapte olabilen ve bina ses performansını yükselten bir cephe önerisi sunulmuştur. Sound Shield adı verilen cephe sisteminin, dinamik adaptif cephe modüllerinin bir araya gelme biçimleri, cephe örüntüsü ve kinetik sistem mekanizması anlatılmıştır.

Tez kapsamında, mevcut bir bina belirlenerek, geliştirilen cephe önerisi, mevcut cephe boyutlarına göre yerleştirilmiş, farklı ses basınçları ve kaynaklarına göre simülasyonlar yapılmıştır. Simülasyonlar için, İstanbul Fikirtepe bölgesindeki mimari proje ve tasarım müellifliği yazarın kendisine ait olan Alya Life Residence konut yapısı belirlenmiş ve ses etkileşimli dinamik adaptif cephe önerisi Sound Shield, bilgisayar ortamında yapıya entegre edilmiştir.

Proje bölgesi ve genel konumu itibariyle çevre seslerinin ve araç sirkülasyonlarının yoğun olduğu bir alanda yer alması ve binaya ait teknik dökümanların mevcut olması sebebiyle bu yapı tercih edilmiştir. Toplam yüksekliği 74 metre olan konut bloğu cephesi, geniş değişken büyüklükte silikon giydirme cam sistemine ve balkonların bulunduğu açıklıklara sahiptir. Yapı, çatıya konumlandırılan güneş enerjisi panelleri ve yağmur suyu toplama sistemi ile enerji performansı yüksek bir mimariye sahiptir (Şekil 1.1).



**Şekil 1.1** : Alya Life Residence, Öznur Çakır Aydoğan, İstanbul, 2017.

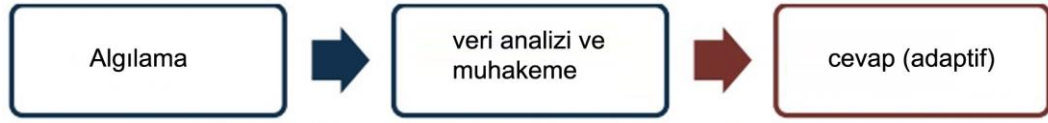
Bina modeli ve adaptif cephe sistemi modülleri, mevcut proje sistem kesitleri üzerinden öncelikle 3d Max yazılımında tasarlanarak modellenmiştir. Ana bina cephesi önüne ayrı bir strüktür kurgulanan sistemin mekanik birleşim ve detay çalışmaları yine aynı yazılımda geliştirilmiştir. Çevresel ses basıncı verileri, ses sensörleri ile bilgisayar ortamına aktarılarak sayısal değerlere dönüştürülmüştür. Arduino yazılımı kullanılarak, ses sensörleri ile yüksek, orta ve düşük ses basıncı seviyelerinin, Grasshopper 3D yazılımına sayısal değerler şeklinde aktarılması sağlanmıştır. Daha sonra, cephe modülleri Rhinoceros+Grasshopper 3D yazılımında mevcut cephe modeli üzerine entegre edilerek, çizgisel ve noktasal kaynak tiplerinde simülasyonlar yapılmıştır. Mevcut Alya Life projesi için, Sound Shield cephe önerisinin gürültü seviyelerini hangi oranlarda azalttığını tespit edebilmek için, Odeon ses akustiği yazılımı ile ses simülasyonları ve analizleri yapılmıştır.

Tasarlanan cephe bileşenlerinin, belirlenen ses basınç aralıklarına göre hareket etmesi ve yapılan simülasyonlar sonucunda, cephe genelinde ses bariyeri özelliğine sahip dinamik adaptif bir yapı kabuğu oluşturulmuştur.

Cephe bileşenleri kinetik mekanizması, farklı etkileşim unsurlarına göre programlanabilecek esnek bir yapıya sahiptir. Bu yapısı ile de, birden fazla çevresel etkene cevap verebilecek şekilde geliştirilmesi halinde, oldukça yüksek bina performansının sağlanmasını mümkün kılmaktadır. Disiplinler arası çalışmanın arttırılması ile, sistemin daha etkin ve yaygın uygulanma alanlarına olanak sağlaması öngörülmektedir.

## 2. ADAPTİF ve KİNETİK MİMARLIĞA GENEL BAKIŞ

Mimaride adaptif kavramı, bir yapının çevresel etkenlere veya kullanıcıya, malzemenin özellikleri veya hareketli bileşenleri ile bulunduğu ortama göre değişerek veya dönüşerek uyum sağlaması anlamına gelmektedir. Yapının kendi performansını arttırmaya yönelik, binanın tamamı, bir bölümü veya yapının bileşenlerinin, gelen verileri algılayarak yaptığı analizler sonucunda, uyum sağlayacağı duruma karar vererek, çevreye adapte olmasıdır (Şekil 2.1).



**Şekil 2.1 :** Adaptif özellik ve veri akışı süreci (Al Thobaiti, 2014).

Adaptif mimarlık içerisinde yapının hareket eden bileşenlere sahip olması veya yapının kendisinin hareket kabiliyetine sahip olması durumu, etmenin niteliğine göre yapının performansını artırıcı role sahip olabilmektedir. Bu bağlamda mimarlıkta “hareket” kavramı, tekerleğin icadı ile başlayan ve yapıya farklı nitelikler katan kullanımına kadar farklı gelişme süreçlerine sahiptir. Mimarlıkta hareket, ilk çağlardan bu yana insanların yaşamları içerisinde, başka bir duruma olanak sağlama eylemi olarak farklı şekillerde yer edinmiştir.

Mimarlıkta, içerisinde temel olarak hareket barındıran durumu ifade etmek anlamında “kinetik” kavramı sıklıkla kullanılmaktadır. Hareket etme kabiliyetine sahip olan yapı veya yapı bileşenleri anlamına gelmektedir. Genel olarak “kinetik” tanımı bir sistemin hareket edebilme kabiliyetine sahip olması olarak tanımlanmaktadır.

Hareketli yapı bileşenlerinin mimari tasarıma adapte edilmesi fikri ilk olarak 1970 yılında William Zuk ve Roger H.Clark tarafından öne atılmıştır. Kinetik mimarlığı, üzerine etki eden durum içinde gerçekleşen değişikliklere uyum sağlayan ve bu durumun yorumlanması ve uygulanmasına aracılık sağlayan teknoloji olarak yorumlamışlardır. Kinetik mimarlık, multidisipliner bir çalışma ve araştırma ortamına sahiptir. Teknolojinin hızlı gelişimiyle üretilen farklı materyaller sayesinde kinetik mimarlık bileşenlerinin gelişme süreci de hızlanmıştır.

Kinetik sistemler, tepki mekanizmasının alternatiflerini arttırması ve adaptasyon performansını yükseltmesi sebebiyle oldukça önemlidir. Hafif, esnek, kendini

dönüştürebilen malzemeler üzerinden geliştirilen hareketli strüktürler ile çevreye daha kolay uyum sağlayabilen adaptif sistemler üretilebilmiştir.

MIT Kinetik Tasarım Grubu (Kinetic Design Group) kurucularından Michael A. Fox, kinetik mimarlığın, inşaat mühendisliği, gömülü sistemler ve robot teknolojileri ile adaptif mimarlığın bir birleşimi olduğunu vurgulamaktadır. Mimarlıkta adaptif olma durumu birçok açıdan ele alınabilmektedir. Bir yapının değişik mekânlara uyum sağlaması, bir mekânın başka bir mekâna dönüştürülebilirliği, bir işlevin başka bir işleve katılabilirliği gibi her durumda adaptif bir alan, ihtiyaca göre başka bir alana dönüştürülebilir olmalıdır. Kinetik olarak değişebilen alanlar tasarlanırken bir mekânın hangi ihtiyaca göre ne şekilde dönüşeceği ve bu dönüşümün hangi boyutta olacağı en önemli aşamadır. Bu durumda ihtiyaçların önem sırası iyi belirlenmeli ve dönüşüm sonucu işlevlerden biri tamamen mi ortadan kalkacak yoksa yeni bir işlevle birleşerek mi dönüşecek buna karar verilmelidir (Bozkurt, 2010).

Korkmaz (2009)'a göre kinetik mimarlık, yapının hareketli yani yer değiştirebilir olması veya yapının dönüştürülebilir yani bulunduğu yerde biçim değiştirebilir olmasıdır. Bu tanım, hareketli yapıları, hareketin gerçekleştiği zamana göre, mobil mimari ve biçim değiştirebilen mimari olarak ikiye ayırmaktadır.

- Yapı bileşenlerinin tümünün veya bir bölümünün sökülüp taşınarak birçok yerde tekrar monte edilerek, yeni mekansal ihtiyaçlar için tekrar kurgulanması.
- Yapı bileşenlerinin tümünün veya bir bölümünün, mevcut yerinde belirli bir geometrik düzende hareket ederek (büzülerek, açılarak) farklı mekansal ihtiyaçları karşılamasıdır.

Korkmaz, ikisi arasındaki farkı da şu şekilde ifade etmiştir: “Mobil mimaride hareket, yapı kullanılmadan önce gerçekleşir. Yapı tümünden veya irili ufaklı parçalar halinde işlevini gerçekleştireceği, mekansal ihtiyacın olduğu yere önce taşınır sonra kullanılır. Biçim değiştirebilen mimaride ise hareket, yapı kullanılırken gerçekleşir, mekan çok boyutludur”.

Mimarlık ve mühendislik disiplinleri içerisinde yapının performansını tanımlayıcı “adaptif”, “kinetik”, “akıllı”, “uyarlanabilir”, “uyarlı”, “duyarlı”, “etkileşimli” gibi farklı kavramlar kullanılabilir. Özellikle, adaptif ve kinetik kavramları literatürde benzer anlamlarda veya birbirinin yerine oldukça sık kullanılmaktadır.



Bu tez çalışması kapsamında “adaptif” kavramı, çevresine uyum sağlayacak şekilde tepki veren yapılar için kullanılırken, “kinetik” kavramı ise çevre etkileşimli özelliğinden bağımsız olarak hareket etme özelliğine sahip yapı veya yapı bileşenlerini tanımlayacak şekilde kullanılmıştır.

## **2.1 Adaptif ve Kinetik Mimarlık Kavramının Genel Gelişim ve İlerleyişi**

Her canlı yaşam alanı içerisinde çevre ile etkileşim içerisindedir. Yaşam biçimlerinin ihtiyaçları doğrultusunda etkileşim tipleri ve biçimleri farklılık göstermektedir. Birçok hayvan ve bitki bulunduğu ortama göre gerek savunma, gerek avlanma amacıyla renk, doku, ses, biçim değiştirerek, yaşam alanları içerisinde farklı amaçlar doğrultusunda değişebilme ve dönüşebilme özelliğine sahiptir. Bu farklı tipteki tepki durumları, doğadaki adapte olma kavramını net bir biçimde ortaya koymaktadır. Bir bukalemunun bulunduğu ortama göre renk değiştirmesi veya sualtındaki bazı bitkilerin dokunduğumuzda hareket içeren bir eyleme geçerek kapanması gibi farklı adaptasyon durumları, doğanın mevcut olağan varlığını koruma ve devam ettirme çabasının bir sonucudur.

Mimaride adapte olma durumu, tıpkı doğadaki gibi belli bir etmene bağlı değişebilme, dönüşebilme durumunu ifade etmektedir. Zamana ve çevre koşullarına bağlı olarak değişen yaşam standartları çerçevesinde yaşam alanlarının da aynı dinamiklikte değişimi gözlenmektedir. Darwin’in değişime adapte durumunu, hayatta kalabilmek için uyum sağlama yeteneği olarak tanımlaması, mimarlıkta doğanın karakteristik özelliklerinden esinlenerek çevresine uyum sağlayabilen yapılar olarak tarifleyebiliriz. Bu durum, mimari yapıların etkileşim sonucu dönüşüm durumunu anlatmaktadır. Bilim dalları, yüzyıllardır doğadaki canlıların, bitkilerin biyolojik formları veya yapısal sistemlerini çözümleyerek, edindiği bilgiler doğrultusunda, tasarımların sürdürülebilir olması yönünden çalışmalar yapmaktadır.

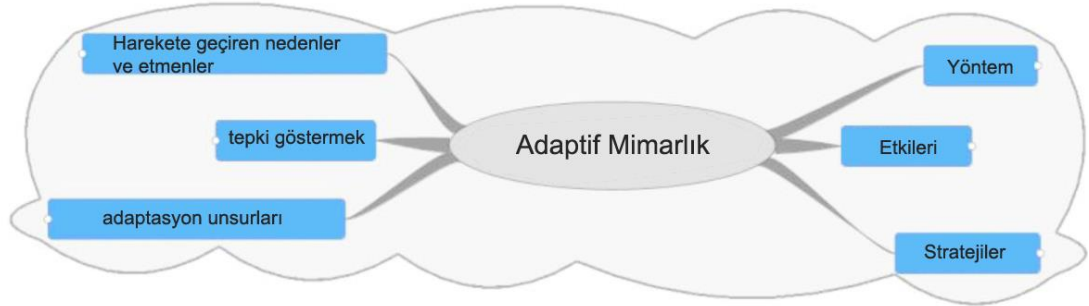
Teknoloji ve kültürel değişimlerin tarihsel gelişimi süresince, adaptif mimarlığın değişimleri ve gelişmeleri üzerine yaşanan etkileşimi Şekil 2.2 üzerinden gözlemleyebilmekteyiz.



Çevresel koşullara yanıt veren mimarlık kavramı 1970 yılında Negroponte tarafından ortaya atılmıştır. Böylece ilk kez alışlagelmiş yapı kavramının ötesine geçilerek ‘çevresel koşullara göre değişerek uyum gösteren mimarlık’ (adaptive architecture) fikri de ortaya çıkmıştır (Orhon ve Altın, 2014).

Adaptif mimarlık, mimarlar ve farklı uzmanlık alanlarına sahip kişiler tarafından farklı yorumlara sahip olabilmektedir. Adaptif mimarlık üzerine çalışmalar yapan Kronenburg (2007) adaptif mimarlığı; çevrelerine, sakinlerine ve nesnelere ve ayrıca içsel veriler tarafından yönlendirilen binalara uyum sağlamak için tasarlanmış yapılar olarak tanımlamaktadır. Bu tanım, durgunluklardan ziyade uyum sağlayan bir mimaridir. Reddetmek yerine değişime cevap verir. Statik değil, tepki veren bir sisteme sahiptir. Özü gereği disiplinler arası ve çok işlevli bir tasarım biçimidir ve sonuç olarak güncel tasarım konularının yenilikçi ve etkileyici bir şeklidir.

Schnädelbach (2010), adaptif mimarlığın tasarım çerçevesini belli başlıklar altında toplayarak irdelemektedir. Adaptif binaların, mimaride hangi öğelere tepki gösterdiğini, etkileşim yöntemini ve bu etkileşimde hangi etmenlere adapte olduğunu belirleyen ana başlıklar çerçevesinde adaptif mimarlığı tanımlamaktadır (Şekil 2.3).



**Şekil 2.3 :** Adaptif Mimarlık Tasarım Çerçevesi (Schnädelbach, 2010).

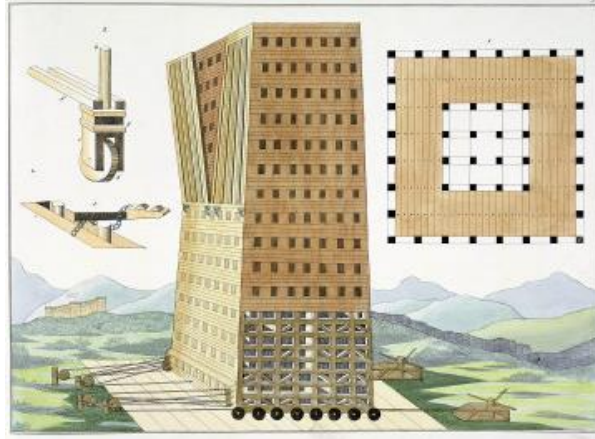
Adaptif mimari yapılara ilişkin ilk denemeler, 1970’li yıllarda bilgi teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte ortaya çıkmıştır. Ancak ilk örnek Britanyalı romancı, James Graham Ballard’ın 1962’de yazdığı kısa bir öyküde geçen “psikotropik ev” tarifiydi. Bu hayli duyarlı ev, Ballard’ın “plasteks” olarak adlandırdığı, evin biçimini ihtiyaca göre değiştirmesine olanak veren alçı ve lateks bileşimli bir malzemeden imal edilmişti. Ev, ayrıca her köşesine dağılmış, sakinlerin her türlü ruh hali ve pozisyon değişimini algılayıp tepki verme yeteneğine sahip, birçok sensör hücre içermektedir. (Kolarevic, 2015). Kolarevic’e göre, Ballard’ın değişebilen ve dönüşebilen bileşenlere sahip adaptif bir ev yaratma hayali üzerinden, ilk gelişmeler ortaya çıkmaya

başlamıştır. Teknolojik gelişmelerin, yapıların tepki verme mekanizmalarında sağladığı avantajlarla, kendini değiştiren yapıların üretim süreçleri de hız kazanmıştır.

Kinetik mimarlık ise, adaptif kavramından bağımsız olarak, yapı veya yapı bileşenlerindeki hareket kabiliyetini ifade etmektedir. Ancak kinetik sistemlerdeki gelişmeler ile birlikte adaptif yapıların çevresine uyum sağlama özelliklerine hareket kavramı eklenmiştir. Böylece, kinetik sistemler, yapı bileşenlerinin hareket ederek hızlı ve etkin bir şekilde değişerek çevresine uyum sağlayabilmesi yönünden, adaptif yapılara önemli ölçüde katkı sağlamıştır.

Tarihsel olarak, mimaride kinetik, köklerini pragmatik uyarlanabilirliğe dayandırmıştır. Bu pragmatik uyarlanabilirlik, birçok farklı senaryoyu kapsamaktadır. Göçebelerin ihtiyaçlarından dolayı yiyecek kaynaklarını takip etmesi, bitkileri yetiştirmek için değişen iklim durumlarına uyum sağlayabilmek veya düşmanlardan kaçmak için kullanılan mobil sistemleri kapsayabilmektedir (Fox, 2009).

Kronenburg (2002), Vitruvius'un kuşatma kulelerini, hareketli bileşenleri olan kinetik yapıların en eski tasarımlardan biri olarak belirtmektedir. Vitruvius kulesi, askerler tarafından itilen tekerlekli ve özel mekanizmalarla hareketin kolaylaştırıldığı platformda yer alan bir iç merdivenle birkaç kat yükseklikteki bir kuşatma kulesidir (Şekil 2.4).

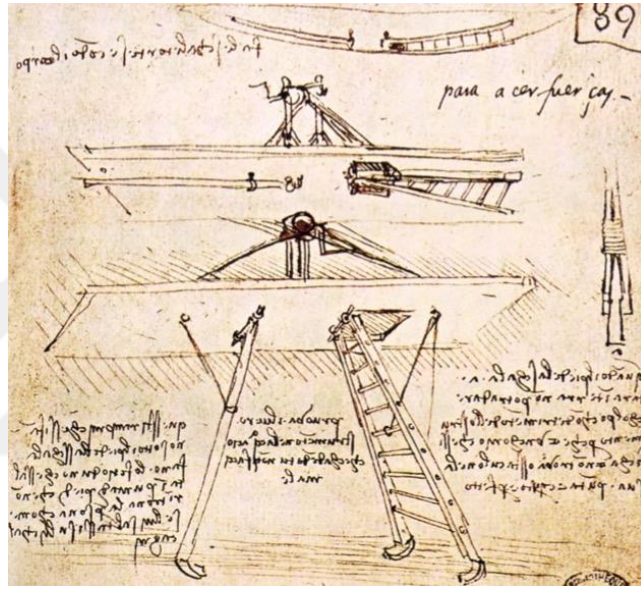


**Şekil 2.4 :** Vitruvius'un kuşatma kule sistemi (Url-1).

Kinetik kavramının mimarlık içerisinde yer bulmasını sağlayan öncüler arasında Leonardo Da Vinci'yi gösterebiliriz. Yaptığı ilk eskizleri, denemeleri, doğadan esinlenerek kurguladığı kinetik mekanizmalar üzerindeki çalışmaları, hem mühendislik hem de mimarlık alanındaki gelişmeleri önemli ölçüde etkilemiştir. Ona göre rüzgar, sadece yel değirmenlerindeki üretimler için değil, kuşların rüzgarı

kullandığı biçimde hava akımı ile hareket edebilen sistemler üretilebilirdi. Bu anlamda kinetik sanata ve mimarlığa büyük katkısı olmuştur (Özer ve Akyüz, 2016). Da Vinci'nin askeri beklentileri karşılamak için tasarladığı döner köprü, mimaride kinetik tasarım örneklerinden biridir. Tek taraftan ankre edilebilen ve dönme özelliğine sahip olan hareketli köprü, ordunun ulaşımını kolaylaştırmaktaydı ve sökülerek taşınabilir olması nedeniyle de tehlike anında bölgeden kaçışı hızlandırmaktaydı (Ölçer, 2015).

Leonardo Da Vinci'nin sanat ve mühendislik için ürettiği tüm projeler aslında kinetik sanat ürünleridir. Da Vinci'nin Şekil 2.5'deki örnek eskizinden kinetik sistem mekanizmalarına ilişkin çözümlerini gözlemleyebilmekteyiz.



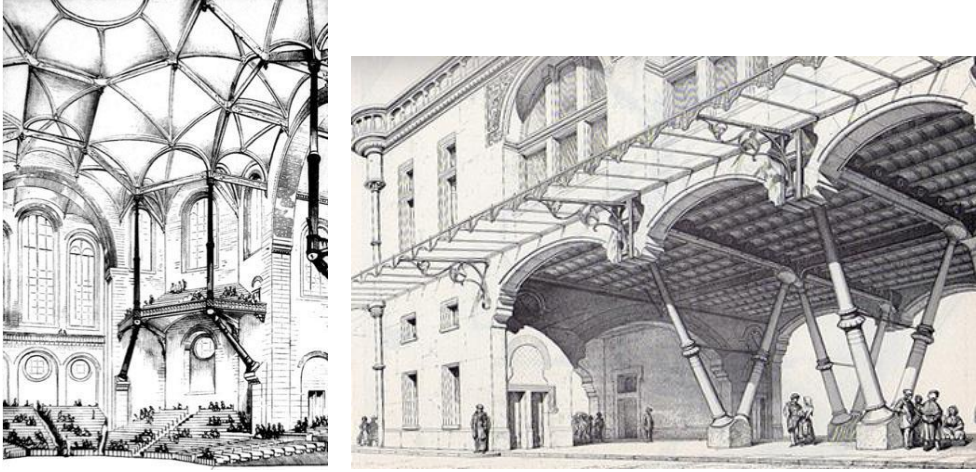
Şekil 2.5 : Da Vinci'nin Çizim ve Taslakları (Url-2).

Da Vinci'nin tasarladığı hareketli mekanizmaların kinetik mimarlığa katkılarının yanında, ilerleyen süreçte malzemenin niteliği ve barındırdığı hareket esnekliği arttıkça, kinetik mimarlık alanındaki uygulamalar da artarak, hızlı bir gelişim süreci içerisine girmiştir.

19. Yüzyıl ortalarında Fransız neo-gotik restoratör Viollet-le-Duc (1814-1879) demirin mimaride kullanımını savunmuştur ve bu malzemenin özelliklerini anlamaya çalışmıştır. Demirin kullanılmaya başlaması kinetik mekanizmaların gelişimini hızlandırıcı bir rol oynamıştır.

Viollet-le-Duc'ün ilgilendiği Gotik Mimari'nin ulaştığı strüktürel üstünlük ve yine Fransız Gotik'inde yapı tekniğindeki rasyonellik, onun geçmiş deneyimleri ile gelecek için fikirlerini nasıl kurguladığını ortaya koymaktadır (Şekil 2.6).





**Şekil 2.6 :** Viollet-le-Duc'ün 1864 yılında önerdiği konser Salonu (Sol, Url-3) ve demir bina önerisi (Sağ, Url-4) Viollet-le-Duc, 1864.

Malzemenin ruhuna uygun tasarım ve strüktürel rasyonalist fikirler, 20. yüzyılda, mühendislik eğitimleri de olan, Buckminster Fuller, Robert Maillart, Pier Luigi Nervi, Fazlur Khan'ı da etkilemiştir. Viollet-le-Duc'ün fikirlerinin haklılığı bundan yaklaşık yüz elli yıl önce tasarladığı ayrıntı ve sistemlerin benzerlerinin halen günümüz teknolojisinde kullanılmasından anlaşılmaktadır (Korkmaz, 2001).

1919 yılına geldiğimizde, mimarlığın öncülerinden Viladimir Tatlin, değişime uyum sağlama ve yapının olanaklarını çeşitlendirmek amacıyla, III. Enternasyonal Anıtı'nı tasarlamıştır. Tatlin'in anıtından gözlemleyebildiğimiz kinetik mimarlık, yapı bileşenlerinin hareketi ile mekanların veya yüzeylerin dinamik bir imgeye dönüşmesi biçimidir.



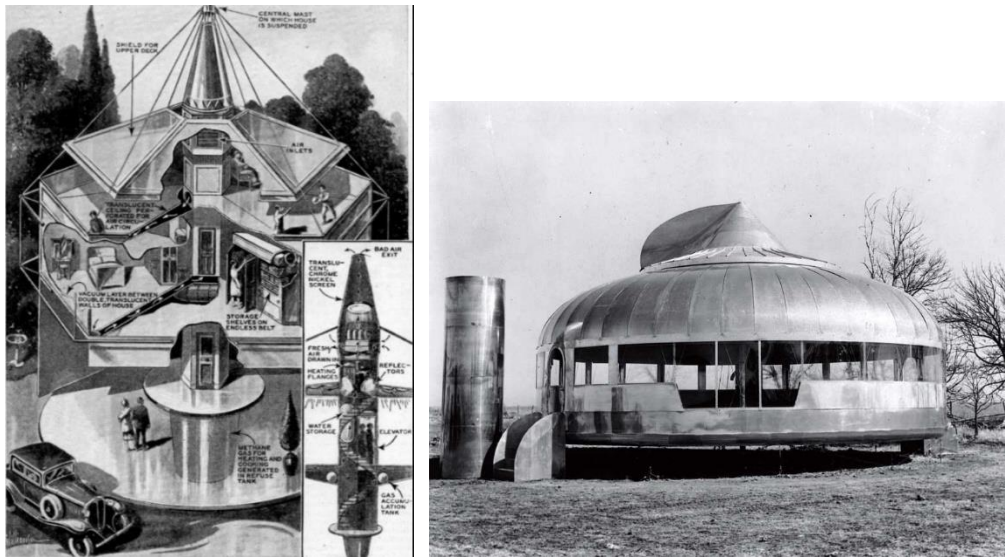
**Şekil 2.7 :** Vladimir Tatlin'in 1920'de tasarladığı Enternasyonal Anıtı, Stockholm Modern Müzesi'ndeki fotoğrafı (Url-5).

Tatlin, 1919 yılında tarihsel süreç içerisinde kinetik yapıların ilk örneklerinden sayılabilecek III. Enternasyonal Anıtı'nın tasarımına başlamıştır. Arne Holm, Eskil Nandorf ve işçi Henrik Östberg tarafından 1968 yılında tahta ve demirden imal edilen ve şuan kayıp olan 6,7 metre yüksekliğinde anıtın modelini hazırlamıştır (Şekil 2.7).

Hiçbir zaman inşa edilememiş olan tasarımda, eğrisel formlar üzerinden kurgulanmış hareketli prizmatik hacimler yer almaktadır. Anıtın tasarımı, üç dikey çubuk ve spiral kompleks bir sistem ile inşa edilmiş üç büyük cam yapıdan oluşmaktadır. Bu yapılar birbiri üzerine dizilmiş ve birbirleriyle uyumlu bir biçimde bulunmaktadır. Özel bir mekanizma, farklı hızlarda hareket etmelerini sağlamaktadır (Harrison, 2003). Tatlin'in anıtı, dinamik bir form olarak vurguladığı vida imgesinden yola çıkarak tasarladığı önemli kinetik mimari örnekleri içerisinde yer almaktadır.

Günümüze geldiğinde, malzemelerin, üretim tekniklerinin gelişmesi ile birlikte farklı yapılaşmalar ortaya çıksa da, barınma ve korunma ihtiyacının ana sorunsal olması sebebiyle öncelikle yapı kabuğunun tasarımı önem kazanmaya başlamıştır. Mimarlıkta hareket kavramının gelişmesi, 20. yüzyılda özellikle konutlardaki, yeni ihtiyaçlara göre uyarlanabilme veya başka bir mekana dönüşebilme niteliğini sağlayabilmek amacıyla hızlı bir gelişme süreci içerisine girmiştir.

Sieden (1989), 1900'lü yılların başında, bir makine imgesinden yola çıkılan ve hareketin konut tasarımına entegre edilerek, değişebilen, dönüşebilen mekan çözümleriyle "ev" tasarımında yer bulması Buckminster Fuller'in "Dymaxion House" projesi ile olmuştur (Şekil 2.8).

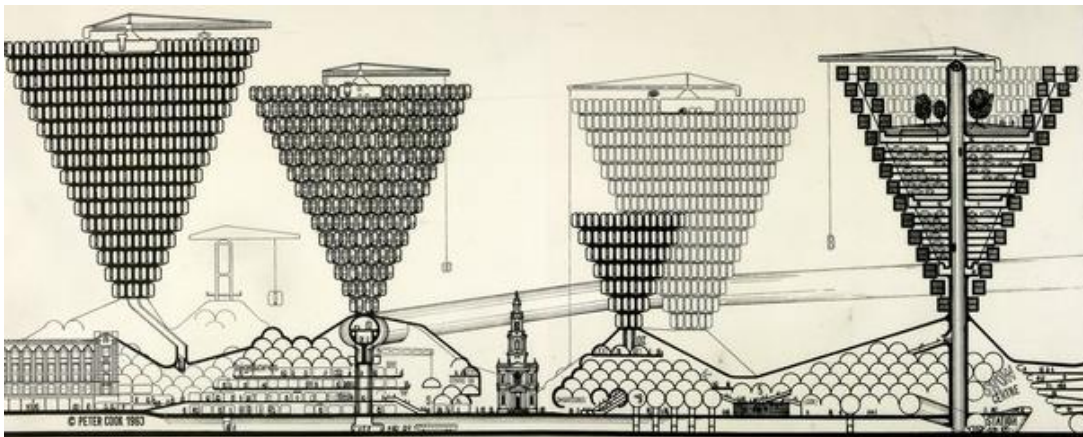


Şekil 2.8 : Dymaxion House, sistem kesiti (sol) ve prototipi (sağ), 1929 (Url-6).

Tüm ıslak mekanlar, sıhhi tesisat, güç üreten ve aynı zamanda hava, ışık, ısı ve benzerlerini dağıtmak için kullanılan ekipmanlar düşey taşıyıcıya asılmaktaydı. Evin odaları, her biri bağımsız olarak düşey taşıyıcı kolona asılmıştı. Odalar, gerektiğinde yerleri değiştirilebilen veya çıkarılıp daha yeni ve ileri teknoloji ürünü olan birimler yapıldığında, onlarla değiştirilebilen bölümlerden oluşmaktaydı (Altın, 2013).

Fuller, kullanıcıların ihtiyacı olan alanlara göre değiştirebilmelerini sağlayacak esnek bir plan oluşturdu. Tasarım, ayrıca çatıdaki rüzgar türbinlerini ve suyu toplayıp, dönüştürmek için bir sarnıç sistemi içermektedir. Dymaxion House, adaptif mimarlık ve sürdürülebilirlik konusunda, ileriye yönelik etkili yeniliklerle çözüm önerileri sunmuştur. Evin ihtiyaca göre dönüşebilme yeteneği ve kendi kendine yeterliliği adına önemli bir örnektir.

20. yüzyıldaki savaşlar sonrasında yıkılan kentlerin yeniden inşasına yönelik, teknolojinin ve dolayısıyla makinelerin etkinliği artmıştır. Bu durumdan etkilenen mimarlar, hareket ve esneklik barındıran, değişebilen binalardan oluşan kentlere ilişkin tasarımlar üretmeye başlamışlardır. 1961 ve 1974 yılları arasında, çoğu genç mimarlardan oluşan Archigram adlı bir grup mimar, mimaride hareket kavramı üzerine ütöpik projeler üretmeye başlamışlardır. Bu grup, teknolojinin gelişimi ve beraberinde getirdiği yenilikçi fikirleri vurgulayan tasarımlarıyla öne çıkmışlardır. Hareket ana teması ile kenti dev bir makine olarak ele aldıkları “Plug in City” projesi, yapıların, sokakların ve fiziksel çevrenin dönüşümünü vurgulamaktaydı. Projede konutlar değişen ve dönüşebilen alanlardan oluşan dinamik bir yapıya sahipti (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 : Plug in City, Archigram, 1964 (Url-7).



Archigram grubunun ütopik yapılar ve kent tasarımları gerçekleşmemiş olsa da, sonraki dönemlerde, kinetik ve adaptif mimari tasarımların geliştirilmesinde önemli bir rol oynamıştır.

Chicago’da başlayan ilk yüksek yapılar ve asansör kullanımı ile hareketin mekana entegrasyonun artması, Buckminster Fuller’in Dymaxion evleri ile arabalar arasındaki biçimsel ve işlevsel benzerlikler, Frei Otto’nun gerilip daralabilir, pnömatik örtü sistemleri ve daha sonraki dönemde William Zuk’un mimaride hareket ile sağladığı adaptasyonun vurgulandığı kitabı, hareketin mimarideki gelişimini göstermektedir (Başar, 2014).

## **2.2 Sabit Bir Cepheden Adaptif Bir Cepheye Doğru**

Toplumlar, barınma ve korunma ihtiyaçlarını sağlayabilme içgüdüleri ile, yüzeylerin bir araya gelerek kapalı alan tanımladığı mekanlar yaratarak yaşamışlardır. Cephe, dış mekan ve iç mekan ara kesitindeki yağmur, rüzgar, güneş ışığı gibi çevresel etkenleri iç mekandan uzaklaştıran koruyucu kabuktur.

Ergün’ün (2015) aktarımıyla, Venturi bina kabuğunun içerisi ve dışarıları kavramlarını oluşturması bağlamında arada kalan bu katmanın mimarinin etkili bir tasarım elemanı olmasını şu şekilde açıklar: “Yapıyı içeriden dışarıya olduğu gibi dışarıdan içeriye doğru tasarlamak, yapının mimarlığını oluşturan gerekli gerilimlerin ortaya çıkmasını sağlamak demektir. İçerisi dışarıdan farklı olduğu için, duvar yani farklılaşmanın başladığı yer, mimari bir olguya dönüşür. Bu iç güçler ve çevre güçleri, hem genel hem özel, hem de rastlantısaldır. Dışarıyla içeriye birbirinden ayıran duvar olarak mimarlık hem bu çözümün mekansal anlatımına, hem de bu çatışmanın sahnelenmesine dönüşür. İçerisiyle dışarıları arasındaki farkın ortaya konmasıyla mimarlık, bir kez daha kapılarını kentbilimsel bir bakış açısına açar”.

20. yüzyıl öncesinde yapı kabuğu cepheler, aynı zamanda taşıyıcı niteliklere sahipti. Endüstri devrimi ile birlikte cephelerde, cam malzemenin devreye girmesi ve estetik kaygılarla beraber daha şeffaf ve hafif uygulamalar yapılmaya başlamıştır. Dış etkenlerden yapının korunması ve iç mekan konfor düzeyinin yükselmesi amacıyla, cephelerin malzeme çeşitliliği ve uygulama teknikleri gelişmeye başlamıştır.

21. yüzyılın global ölçüde getirdiği çevresel problemler sonucunda, kaynakların giderek azalması, hava kirliliği gibi sorunlar enerjinin kullanımı da bir o kadar önemli kılmaya başlamıştır. Binaların tasarım kriterleri, malzemelerin nitelikleri, yapı bileşenlerinin enerji üretmesi veya yapının kullandığı enerjinin minimuma indirilmesi gibi konular gündeme gelmiştir. Bu sebeple cepheler, iklimsel verilere cevap verecek şekilde geliştirilmeye çalışılan bir yapı bileşeni olmaya başlamıştır.

1993 yılında yapılan UIA/AIA Kongresinde (Uluslararası Mimarlık Kongresi), bu konu mimarlar için profesyonel ve etik amaçlar arasına girmiş ve binalar ile çevresindeki yapılaşmanın, insanın doğal çevre ve hayat kalitesi üzerindeki etkisinde önemli bir rol oynadığı kanısına varılmıştır. Sürdürülebilir bir tasarımın, kaynak ve enerji verimliliğini, sağlıklı yapıları ve malzemeleri, ekolojik ve sosyal olarak duyarlı arazi kullanımını, estetik bir duyarlılığı ve ayrıca doğal çevre üzerindeki olumsuz insan etkilerini önemli ölçüde azaltabilirken, aynı zamanda yaşam kalitesini ve ekonomik refahı iyileştirebileceği düşüncesine varılmıştır. Yapıların en dış katmanı olan cephelerin, gerek malzeme gerekse bilgisayar teknolojileri ile etkileşimli hale gelmesi ile birlikte, farklı kentsel deneyimler sunan yüzeylere sahip yapı cepheleriyle ilgili geliştirilen projeler, prototipler ve uygulamalar yaygınlaşmaya başlamıştır.

Tarihsel gelişim süreci içinde incelendiğinde cephe oluşumlarında büyük değişimler yaşandığı gözlenir. Behling 1920'li yıllarda mekanların ısı sorunlarına önem verildiğini, 1930'lu yıllarda ise gün ışığından yararlanma, doğal havalandırma ve iç ortam konforunun sağlanması yönünde çalışmalar yapıldığını belirtmektedir. Bu yıllarda iklimlendirme ve aydınlatma teknolojilerindeki gelişmelerin önemli ölçüde çok katlı binalara yansıdığı bilinmektedir. Özellikle yüksek binalarda gün ışığının içeri alınmasında kontrol amaçlı olarak güneş ışığı kırıcı sistemlerin kullanılmaya başlandığı görülmektedir (Göksal Özbalta, 2005).

Chuck Hoberman ve Craig Schwitter (Buro Happold) 2008'de, ortamsal değişimlere yanıt vererek, konfigürasyonlarını gerçek zamanlı optimize edecek yeni binalar ve bina cepheleri kuşağının tasarlanması amacıyla, Adaptif Bina Girişimi (Adaptive Building Initiative - ABI) kurmuşlardır. Buradaki amaç, mimarlar ve mühendislerin bir araya gelerek, tasarım ve teknoloji katmanlarının dinamik sistemlerle iç içe geçtiği ürünler geliştirmektir. İlk çalışmalarının çoğunda, çevresel etkenlere uyum sağlayan, bir dizi kinetik sisteme sahip, adaptif cephe bileşenleri ve kaplama sistemi üretmişlerdir.

Adaptif cephe sistemleri, işlevsellik açısından bir optimizasyon sağlaması ile birlikte aynı zamanda enerji tüketimi ve malzeme kaynakları kullanımının, önemli ölçüde azaltılmasına olanak sağlamaktadır. Özellikle bina performansı iklim verilerine göre optimize edildiğinde, sürdürülebilirlik konusunda büyük avantajlar sağlamaktadır.

Tez kapsamı içerisinde bina cepheleri ile ilgili kullanılan akıllı ve adaptif cephe kavramlarının literatürdeki tanımlarına değinecek olursak;

**Akıllı Cephe:** Tasarım kriterleri içerisinde enerji ihtiyaçlarını minimumda tutan, kullanıcı ihtiyaçlarına göre en iyi konfor koşullarını sağlamaya yönelik çevre koşullarına uyum sağlayan cephelerdir.

Mimaride akıllılık kavramı içerisinde, bina otomasyonu ve entegrasyon arasında bir ayrım bulunur; çünkü nesnelere ve öğeler, kontrol sistemindeki otomatik özelliklerle geliştirildiğinde akıllı oldukları belirtilmektedir (Fox and Kemp, 2009).

**Adaptif Cephe:** Cephelerin çevresel koşulları yansıtacak şekilde, malzemenin gerek kendi özelliği gerekse yapısal değişimleri veya bileşenlerin hareket özelliği ile iç enerji dengesini sağlayan veya düzenleyen, çevrelerine cevap verme kabiliyetine sahip olan cephelerdir. Adaptif cepheler farklı tasarım kriterlerine sahip olabilirler. Bunlardan en önemlileri, iklime, kullanıcılara ve belirli bir etmene bağlı olarak tasarlanan cephelerdir. Adaptif cepheler, genellikle iklim ve enerji verilerine duyarlı, kompleks malzeme çeşitleri içeren sistemler olarak gelişmektedirler.

Orhon ve Altın'a (2014) göre, adaptif cephelerin, çevreye uyum sağlaması iki şekilde olmaktadır.

- Kendisini adaptif yapan birtakım özelliklere veya fonksiyonlara sahip olması;
- Kendisini adaptif yapan bir malzeme ile inşaa edilmiş olması.

Erturan'ın (2011) aktarımıyla, Wigginton ve Harris'e göre, cephelerin adaptif özellikleri üzerine yapılan çalışmalar göstermektedir ki cephe, iç ortamdaki dış ortama, dış ortamdaki iç ortama enerji akışını, farklı yollarla da enerji akışını etkileyen, yaklaşık 10 farklı işlev sergilemektedir. Bu fonksiyonlar aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

1. Gün ışığını artırma (ışık rafları/reflektörler gibi)
2. Gün ışığının maksimuma çıkarılması (yüksek oranda cam/atrium gibi)
3. Güneşten koruma (panjurlar/jaluziler gibi)

4. Yalıtım (gece panjurları, kepenkler gibi)
5. Havalandırma (otomatik damperler gibi)
6. Isı toplama (solar kolektörler gibi)
7. Isıyı uzaklaştırma (konsollar/güneş kırıcılar gibi)
8. Sesin hafifletilmesi (akustik damperler gibi)
9. Elektrik üretme (fotovoltaikler gibi)
10. Basınç farklarının kullanılması (örneğin; havalandırma bacaları)

Adaptif sistemler, binanın ışık, hava ve ses iletimi, termal transferler ve iç hava kalitesini düzenleme gibi işlevleri destekleyen yeni performanslara sahip malzemeler, algılayıcılar, aktüatörler ve bilgisayarlı kontrol sistemleri içermektedirler. Adaptif sistem mekanizması, önceden belirlenen verilere, algılayıcılara ya da her ikisine dayanabilir. Sensörler, adaptif cepheler için, güneş ışığı, hareket ve sıcaklık gibi çevredeki uyarlardan veri algılama yeteneği nedeniyle çok önemli unsurlardır ve bu verileri daha iyi çevresel performans sağlamak için kullanırlar (El Sheikh, 2011).

Literatürde genellikle aktüatörlere, algılayıcılara ve işlemcilerle dayalı kontrol sistemleri, “aktif” sistemler olarak tanımlanmaktadır. Sıcaklık, bağıl nem, güneş radyasyonu ve benzeri çevresel uyarlara tepki olarak kendi kendini ayarlayabilme yeteneği olan sistemler ise “pasif” sistemler olarak tanımlanmaktadır.

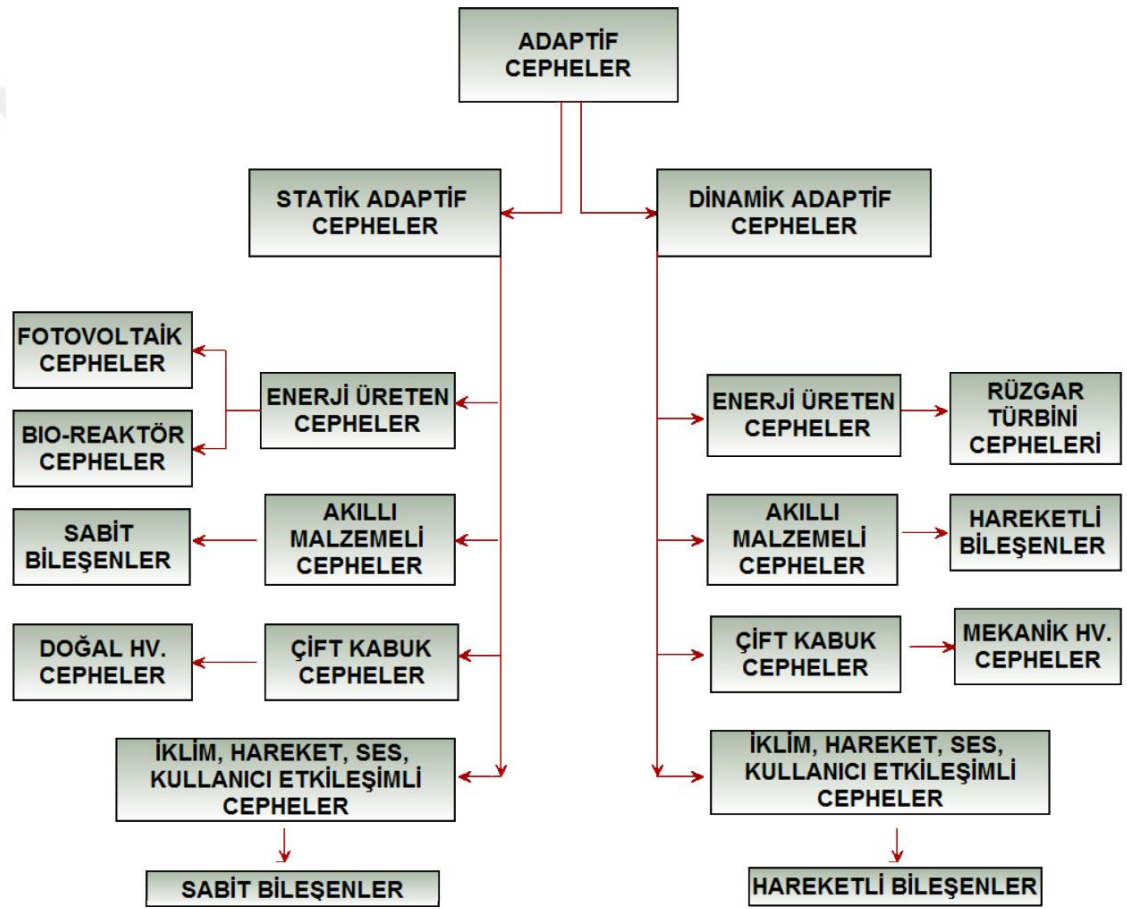
Cephenin adaptif bir yapıya sahip olması ile kinetik bir sistem içermesi, cephede beraber bulunabileceği gibi birbirinden bağımsız olarak da yer alabilmektedir.

Tez kapsamında, cephedeki “kinetik” kavramı hareket niteliğine sahip yapı bileşeni olarak ele alınmıştır. Bu sebeple, her kinetik cephenin adaptif olma özelliğine sahip olmadığı öngörülmüştür. Adaptif cepheler, adapte olduğu etmene verdiği yanıtın hareket içerip içermemesine göre ikiye ayrılarak sınıflandırılmıştır (Şekil 2.10).

- **Statik adaptif cepheler:** Cephenin geneli veya bir bölümünün gerek malzeme gerekse yapısal özellikleri veya sensörler aracılığıyla gelen verilere karşı kinetik özellik taşımayan tepkisi ile çevreye uyum sağlayan cepheler olarak tanımlanmıştır.

- **Dinamik adaptif cepheler:** İklimsel, kullanıcı, hareket veya ses gibi etmenlerden algılayıcılar ile toplanan veri değişikliklerine, cephe kinetik sistem mekanizmasına sahip yapı bileşenlerinin, aktüatörler aracılığı ile hareket etmesi ile cevap veren ve çevreye uyum sağlayan cepheler olarak tanımlanmıştır.

Yapılan sınıflandırmada, statik adaptif cepheler, binanın cephe elemanlarının farklı etkileşim unsurları karşısında, içerisinde hareket barındırmayan dönüşüm ve değişimi ile çevreye adapte olan cepheler olarak; dinamik adaptif cepheler ise, cephe elemanlarının farklı etkileşim unsurları karşısında, yapı cephesinin tekil veya çoklu bir biçimde hareket ederek çevreye adapte olan cepheler olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2.10 : Tez bağlamında, akıllı cephe sistemleri genel sınıflandırması.

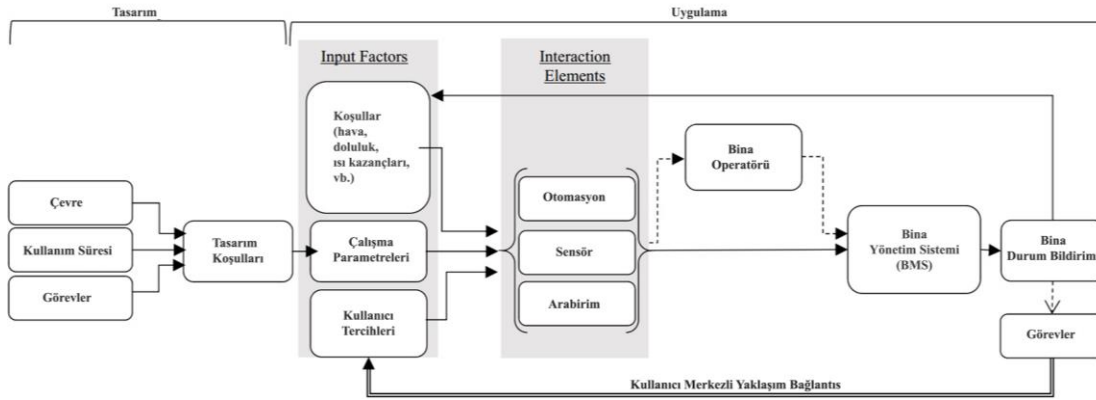
➤ Statik adaptif cepheler

Jules Moloney (2007) yılındaki bir konferansında;

Bir bina cephesinin genel olarak adaptif olmasını bazı temel kriterlere bağlayarak tanımlamaktadır;

- Sistemde giriş verileri vardır.
- Giriş verilerini analiz eden bir işletme sistemi vardır.
- Giriş sisteminin analizine tepki veren bir çıkış sistemi vardır.
- Verilen tepki, zaman dikkate alınarak gerçekleşir.
- Bazı cephe sistemlerinin öğrenme yeteneği vardır.

Moloney'nin bahsettiği adaptif cephe sistemi, statik adaptif cephelerin bünyesinde barındırdığı en temel özelliklerini ifade etmektedir. Statik adaptif cephe tasarımında, genel olarak iki farklı yaklaşım vardır. İlkinde, cephe tasarımındaki estetik kaygılar geri plana atılır. İkincisinde ise, içerisindeki bileşenin gölgeleme, ışık etkileri veya havalandırma elemanlarına ek bir bileşen olarak tasarlanarak binaya hizmet etmesi amaçlanır. Statik adaptif sistemlerin tasarım koşulları, bina sistemlerine kontrolün sağlandığı ve sistemin izlenip izlenmediğinin belirlendiği çevre verileri, oranları, değerleri gibi durumları içermektedir. İzlenen durum, yapı sistemi ve bina yönetim sistemi (building management system - BMS) arasında bir geribildirim döngüsü sağlanması olarak tanımlanır (Şekil 2.11).



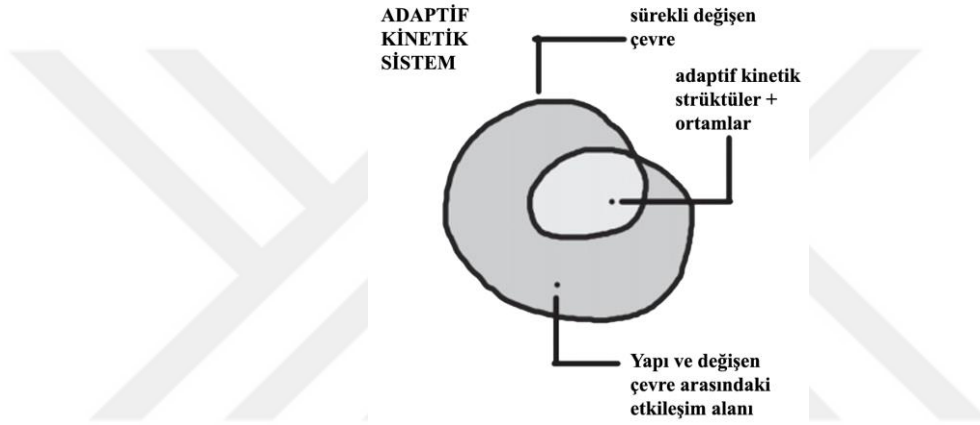
**Şekil 2.11** : Statik Adaptif Cephe Etkileşim Süreci Şeması (Kalvelage ve Dorneich, 2014).

Tasarım şartları, bina sistemi yürütülürken işletme parametrelerine dönüşür ve ayar, konum ve etkileşim durumlarını içerir. Ayarlar, yüksek ve alçak sıcaklık ayar noktaları ve çalışma süresi gibi bina işlemlerinin çalışmasına izin verilen aralıktır. Konum, operasyona özgü sensörlerin ve cihazların bina tasarımı içine yerleştirileceği alandır. Mevcut bina işletme tasarımı karar yaklaşımları, kullanıcıların görevleri ve girdi faktörleri arasında bir boşluk yaratmaktadır. Kullanıcı merkezli yaklaşım, görev temsilcisi kullanıcı oluşturma arabirimi aracılığıyla görevler ve girdi faktörleri arasındaki bağlantıyı sağlar.

Kullanıcı yapı arabirimi (user based interface - UBI), sistemin ne zaman ve nasıl etkileşimde bulunabileceğini belirler. İşlem parametreleri, kullanıcı tercihleri ve koşulları (hava durumu, doluluk durumu, ısı kazanımları, mevcut bina durumu vb.) ile birlikte, otomasyon, sensörler ve arabirimlerin belirlenmemiş etkileşim unsurları aracılığıyla BMS için bir giriş faktörü haline gelir (Kalvelage ve Dorneich, 2014).

➤ Dinamik adaptif cepheler

Cephe bileşenlerinin kinetik özelliklere sahip olduğu, mevcut durumun, materyal özelliklerinin veya yapı strüktürlerinin ana yapı bütünlüğünü koruyacak şekilde, bileşenlerinin hareket ederek çevreye adapte olduğu cephelerdir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 : Dinamik adaptif sistem konsept diyagramı (Sanchez-Del-Valle, 2005).

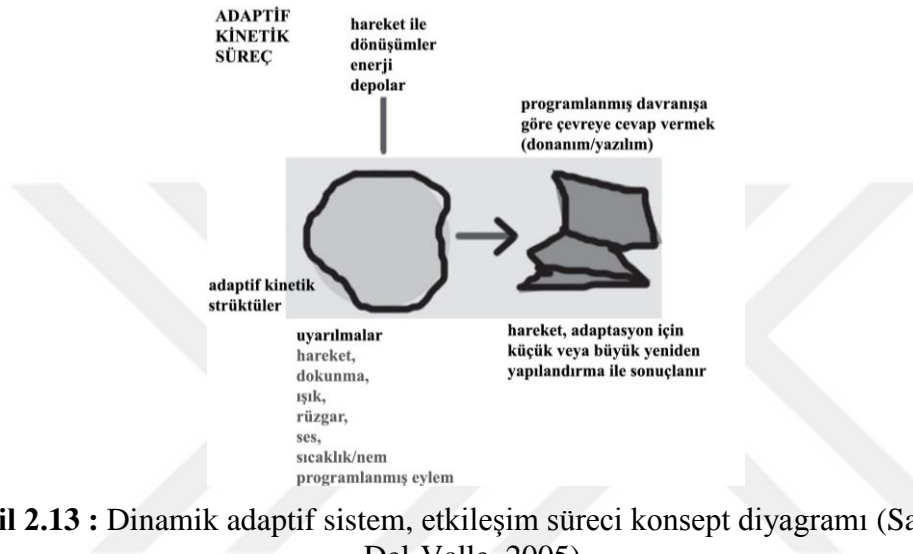
Michael A. Fox, dinamik adaptif cepheleri, kinetik cepheler olarak tanımlamaktadır ve insan etkinliği ile fiziksel çevrenin koşulları arasındaki etkileşimde değişen ihtiyaçları karşılamak üzere kendilerini yeniden yapılandıran, bir anlamda insanlar ve çevre arasındaki bir arayüz olarak yorumlamaktadır.

Dinamik adaptif teknoloji ve tepki verme mekanizması, etmenleri yanıtlamak için akıl yürütme ve işleme için önceden belirlenmiş komutlar sistemine dayanıyordu (El Sheikh, 2011).

Tez kapsamında, çevresinde değişmekte olan iklim, sıcaklık, ses, basınç, hareket ve benzer durumlara adapte olacak şekilde cephe bileşenlerinin hareket ederek değişime göre uyum sağlayabilen cepheler dinamik adaptif cepheler olarak adlandırılmıştır.

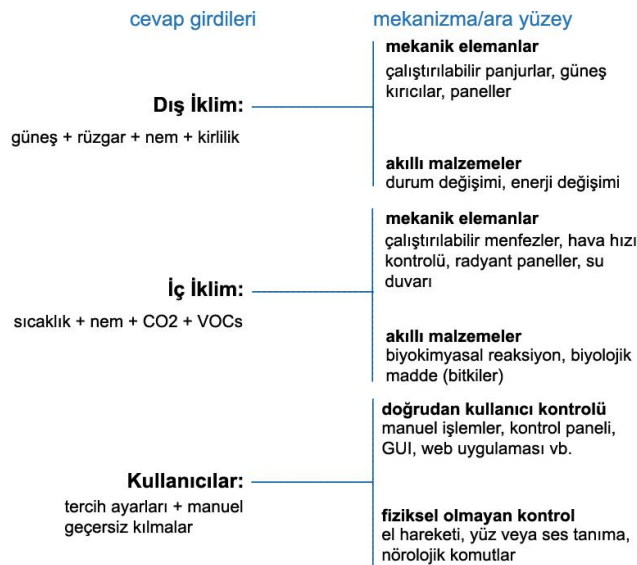
## 2.3 Dinamik Adaptif Cephe Bileşenlerinin Sistem Prensipleri

Dinamik adaptif sistemler, gerçek zamanlı algılama, otomasyon ve kullanıcı tarafından kontrol özelliği de dahil olmak üzere çevresel etmenlere uyum sağlayan hareketli cephe elemanları içerirler. Bina cephe sisteminin, kendini adapte etmesine ve zamanla öğrenmesine olanak tanıyan algoritmalar içeren etkileşimli özelliklerinin yanı sıra, çevre koşullarına göre bina kabuğunun elemanlarını fiziksel olarak hareket ettirme kabiliyetini de içerir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 : Dinamik adaptif sistem, etkileşim süreci konsept diyagramı (Sanchez-Del-Valle, 2005).

Thuv ve Velikov (2012), dinamik adaptif cephe bileşenlerini, cevap verdiği iç ve dış ortamdaki etmenlere bağlı olarak, mekanik cephe elemanları, akıllı malzemeler ve kullanıcı kontrolüne göre ayırarak gruplandırmıştır (Şekil 2.14).



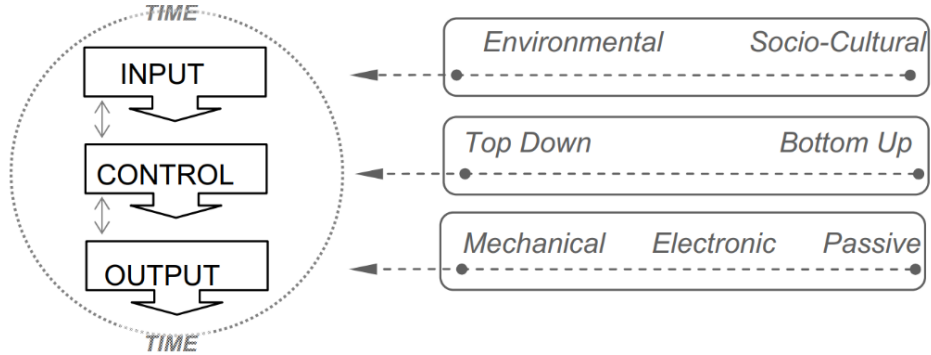
Şekil 2.14 : Dinamik adaptif cephe giriş verileri ve sistem mekanizmaları şeması (Thun ve Velikov, 2012).



Thuv ve Velikov cephe sistem prensiplerinde, aynı zamanda bir öğrenme durumu olduğu görüşündedir. Öğrenme, değişen çevresel koşullara ve yerleşik tercihlere göre gerçekleşmektedir ve bu amaçla kurgulanan algoritma istenen konfigürasyonları sağlamaktadır.

Dinamik adaptif cephe sistem yapıları, ağırlıklı olarak katlanabilen ve taşınamaz, katlanabilir veya sökülebilir, taşınabilir, mobil, kitlesel üretilmiş, dönüştürülebilir nitelikteki özellikleri aracılığıyla kinetik bir yapıya sahip olurlar. Hareketli ve adaptif bir yapının tam karakterizasyonu, enerji kaynağı veya hareket etmek için gereken kuvvet, hareket türleri, serbestlik derecesi, dönüşüm seviyesi (şekil değiştirme özellikleri) ve hız, geri döndürülebilirlik ve kalıcılık, kontrol edilebilirlik, hassasiyet hareket, dinamik unsurlar ve fonksiyonları, artikülasyon seviyesi, eklem çeşitleri, geometri, malzeme ve çevresel etkiler çerçevesinde tanımlanabilir.

Kinetik yapıya sahip adaptif cephe sistemlerinin tasarımında önemli kriterlerden biri de, cephe bileşenlerinin artan kompleks yapısı ve ölçeği sebebiyle, bileşenin zaman içerisindeki performansının bina performansı açısından doğru sistemler içeriyor olmasıdır. Moloney (2007), bu amaçla dinamik adaptif cepheler için tasarım süreci göz önüne alındığında, sistem tasarım kararlarının verilmesinde kolaylaştırıcı bir tasarım metodolojisi önermiştir (Şekil 2.15).



**Şekil 2.15 :** Dinamik adaptif cepheler için genel tasarım çerçevesi (Moloney, 2007).

Zuc ve Clark'ın dinamik adaptif sistem prensipleri ise, Fox ve Oosterhuis'in çalışmalarındaki gibi, mekanizmaları ve sensörleri içeriyordu ve yapının otomatik olarak değişime tepki vermesine izin veren gömülü işlemciler içermekteydi (Çizelge 2.1). Zuc ve Clark tarafından ileri sürülen bu sistem, geri döndürülebilir ve geri çevrilemez, kendiliğinden yerleşen ve deforme edilebilir veya dönüştürülebilir yapılar olmak üzere üç grup mekanizma halinde de yorumlanabilmektedir (Sanchez-Del-Valle, 2005).

**Çizelge 2.1** : Zuk ve Clark (1971) ile Fox (2003)'un kinetik yapı karakterizasyonunun karşılaştırılması (Sanchez-Del-Valle, 2005).

| Zuc and Clark                   | Fox                                  |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| Zaman odaklı gelişme            | Çalışma koşulları / İnsan etkileşimi |
| Dinamik kontrol mekanizmaları   | Adaptif kontrol                      |
| Güç sistemleri ve güç kullanımı | -                                    |
| Kinematik                       | Kinetik fonksiyon                    |
| Malzemeler                      | Yeni malzemeler                      |

Laboratory for Integrative Design (Bütünleştirici Tasarım Laboratuvarı-LID) yürütücüsü olan Kolarevic ve Parlac (2015), dinamik adaptif cepheler tasarlanırken kilit odak noktasının, hem dış ortamdaki binalara, hem de binanın iç mekânlarından dışarıya doğru gerçekleşen enerji akışlarının, binanın performansını ve bina içi kullanıcı konforunu iyileştirmek olduğunu belirtmektedir. Kolarevic ve Parlac'a göre, kinetik özelliğe sahip adaptif bina cephelerini etkinleştiren temel dört yöntem vardır:

- Motor-bazlı.
- Hidrolik.
- Pnömatik.
- Malzeme-bazlı yöntemlerdir.

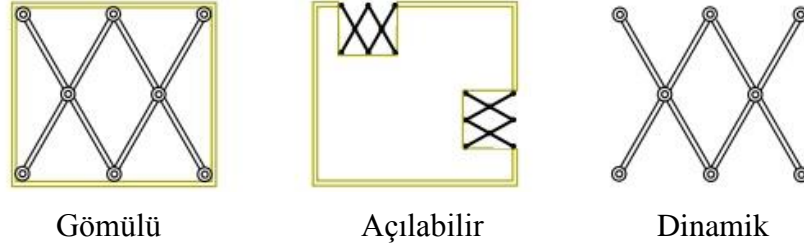
Bugüne kadar kullanılan dinamik adaptif cephe sistemlerinin çoğu motor-bazlı yani mekanik etkinleştirmeye dayanmaktadır. Yakın zamanlarda, temelde ETFE (EthylenTetraFluoroEthylen) bazlı sistemlerin kullanımıyla birlikte, pnömatik etkinleştirme kullanımı yaygınlaşmıştır.

MIT'nin Kinetik Tasarım Grubu kurucusu Michael A. Fox, mekanik ve teknolojik prensipler çerçevesinde genel olarak kinetik sistemler içeren adaptif bileşenlerin tasarımını;

- Strüktürel yenilikler ve ileri malzemeler;
- Mimarideki kinetik tipolojiler;
- Kontrol mekanizmaları,

olmak üzere üç ana başlık altında incelemiştir. Strüktürel yenilikler ve malzemeleri, yöntem ve araçlar olarak tanımladığı iki durumun bir arada çözümlenmesi ile birlikte işlenebileceğini belirtmektedir. Yöntemleri mekanik hareketler, araçları ise, doğal, kimyasal, pnömatik veya manyetik sistemler olarak tanımlamaktadır.

Fox ve Yeh (2000), mimarideki kinetik tipolojileri ise üçe ayırmaktadır. Bunlar, gömülü kinetik sistemler, açılabilir kinetik sistemler ve dinamik kinetik sistemlerdir (Şekil 2.16).



**Şekil 2.16 :** Mimarideki kinetik tipolojilerin diyagramı ( Fox ve Yeh, 2000).

Gömülü sistemler, geniş bir mimari bütün içerisine sabitlenerek yapıyı kontrol etmek için kullanılırlar. Değişen faktörlere yanıt olarak daha büyük bir sistemi kontrol etmektedirler. Bu faktörler çevresel ve insan faktörü ile etkileşimli ve burulma, bükülme, titreşim ve ses içerebilir.

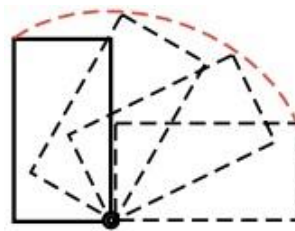
Açılabilir kinetik sistemler, tipik olarak geçici bir yerde bulunurlar ve kolayca yerleri değiştirilebilir. Bu tür sistemler, inşa edilme, parçalanma, sökülüp takılma yeteneklerine sahiptir. Sergiler, pavyonlar ve monte edilebilen sığınaklar bu tür sistemleri içerir.

Dinamik adaptif cephelerin, kinetik bileşenleri, yapıda bütüne göre belirli bir noktadan bağımsız hareket ederler. Panjurlar, kapılar, bölmeler, tavanlar, duvarlar ve çeşitli strüktürlere monte edilen bileşenler şeklinde yer alabilirler (Fox ve Kemp, 2009).

Fox (2000), kinetik sistemlerin kontrol mekanizmalarını ise, altı tipe ayırmaktadır.

### **Dahili kontrol**

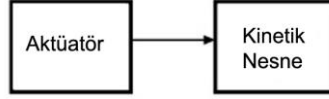
Bu kategorideki sistemler, mekanizmalarında bulunan yapısal dönme ve kayma kısıtlamaları ile ilgili olarak iç kontrol içermektedir. Mekanik olarak hareket etme potansiyeline sahiptir, ancak herhangi bir doğrudan kontrol cihazı veya mekanizmasına sahip değildir (Şekil 2.17).



**Şekil 2.17 :** Dahili kontrol diyagramı (Fox ve Yeh, 2000).

## Doğrudan kontrol

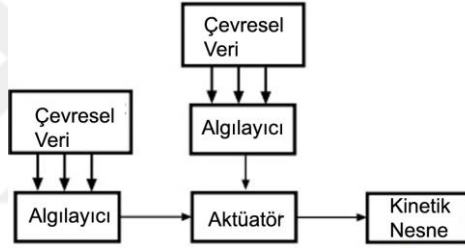
Hareket, doğrudan elektrikli motorlar, insan enerjisi veya çevre koşullarına tepki olarak biyomekanik değişim dahil çok sayıda enerji kaynağından herhangi bir aktivatör tarafından sağlanmaktadır (Şekil 2.18).



Şekil 2.18 : Doğrudan kontrol sistemi diyagramı ( Fox ve Yeh, 2000).

## Dolaylı kontrol (sensör geribildirimi ile bilgisayar kontrolü)

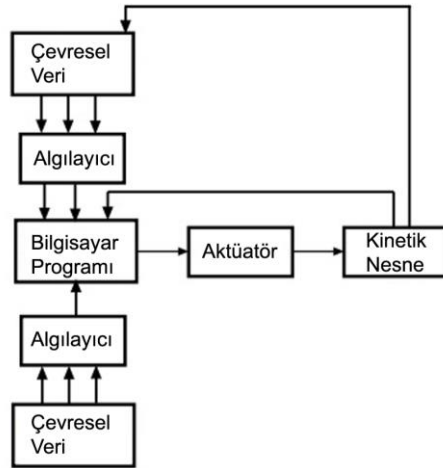
Hareket, sensör geri besleme sistemi vasıtasıyla dolaylı olarak harekete geçirilir. Kontrol için temel sistem, algılayıcıya gelen harici bir girişle başlar. Algılayıcı, bir mesajı bir kontrol cihazına iletmektedir. Kontrol cihazı, hareketin başlaması için bir enerji kaynağına açma / kapama talimatı göndermektedir (Şekil 2.19).



Şekil 2.19 : Dolaylı kontrol sistemi diyagramı (Fox ve Yeh, 2000).

## Dolaylı yanıt veren kontrol

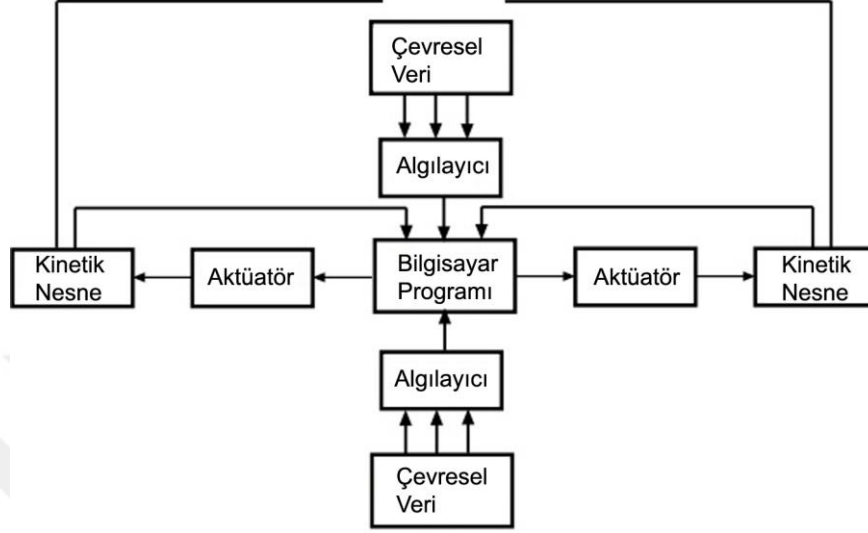
Temel çalışma sistemi dolaylı kontrol sistemlerinde olduğu gibidir. Ancak kontrol cihazı sayısız algılayıcılardan bağımsız olarak kararlar alabilmektedir (Şekil 2.20).



Şekil 2.20 : Dolaylı yanıt veren kontrol sistemi diyagramı (Fox ve Yeh, 2000).

### Yaygın yanıt veren dolaylı kontrol

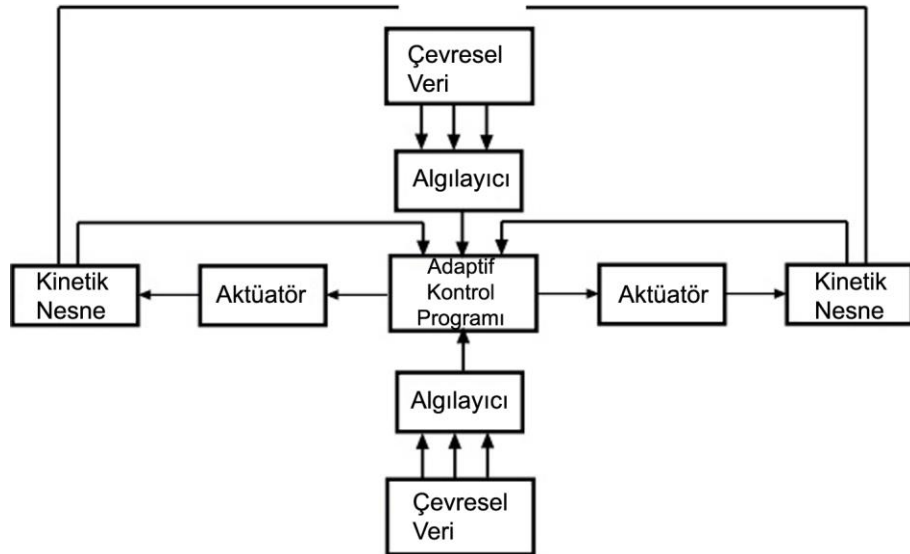
Sistemde hareket, bir ağa bağlı ve bütün olarak hareket eden birçok sayıdaki otonom sensör ve motor aktivatör mekanizması ile oluşmaktadır. Kontrol sistemi, tahmini ve otomatik uyarlanabilir bir geri bildirim kontrol algoritması içermektedir (Şekil 2.21).



Şekil 2.21 : Yaygın yanıt veren dolaylı kontrol sistemi diyagramı (Fox ve Yeh, 2000).

### Buluşsal yanıt veren dolaylı kontrol

Sistemdeki hareket, ya tekil tepki veren ya da yaygın karşılık veren kendi kendini ayarlayabilen bir hareket mekanizmasına sahiptir. Bu sistemler, öğrenme kapasitesini kontrol mekanizmasına entegre ederler. Aynı zamanda bu sistemler, bir sistemi optimize etmek için deneysel adaptasyon yoluyla öğrenebilmektedirler (Şekil 2.22).



Şekil 2.22 : Buluşsal yanıt veren dolaylı kontrol sistemi diyagramı (Fox ve Yeh, 2000).



### 3. ADAPTİF CEPHE UYGULAMALARININ İNCELENMESİ

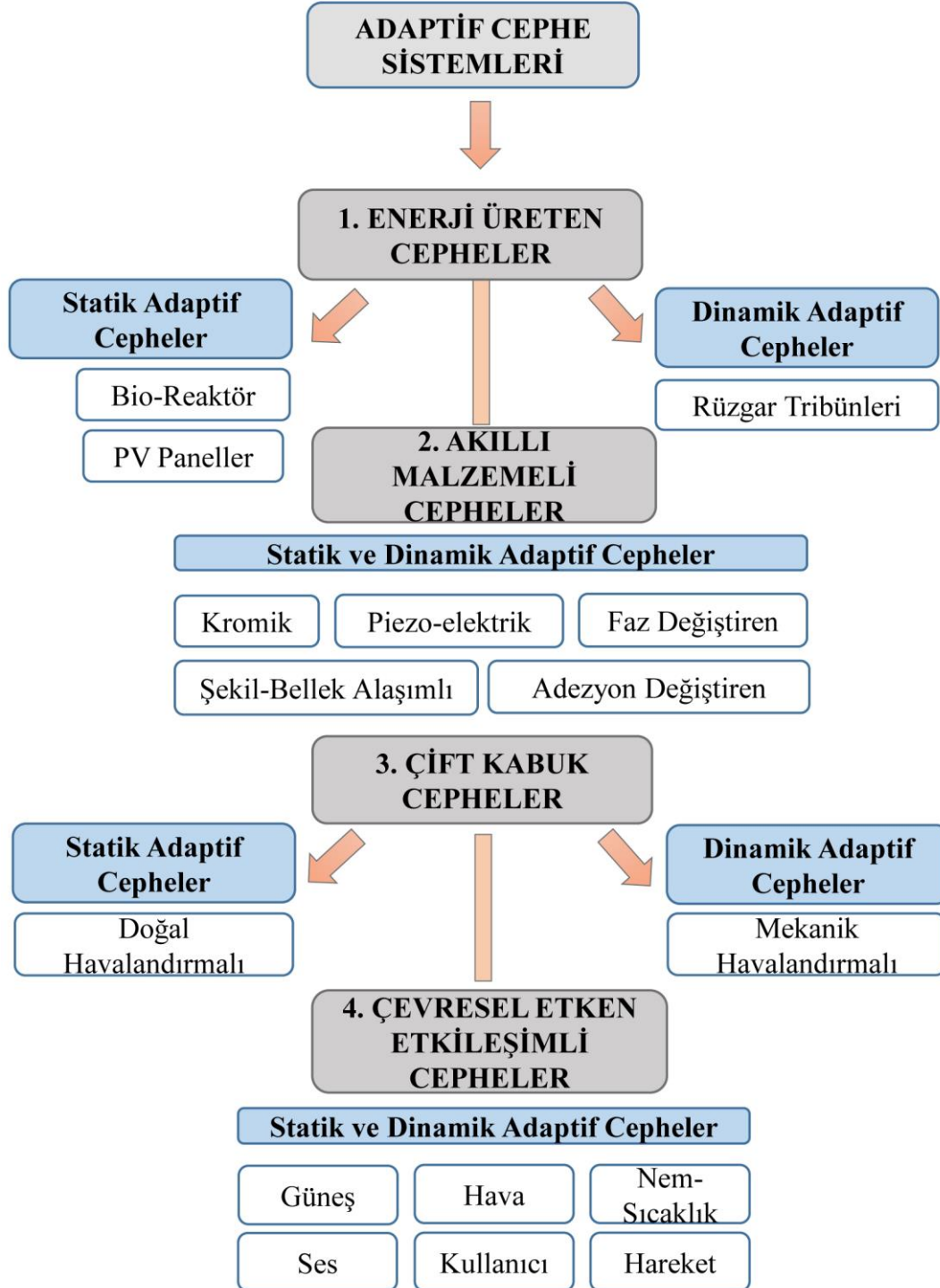
Günümüzde, teknolojik gelişmelerin hızla artması ile birlikte mimarinin önemli bir yapı elemanı olan cephelerde farklı tasarım yöntemleri üzerine araştırma ve geliştirme çalışmaları artmıştır. Bu bağlamda cephelerin, çevresel etkenlere adapte olabilen, dönüşebilen ve gerek bina performansı gerekse kentsel etkileşime dayalı, farklı ölçeklerde adaptif cephe uygulamaları üretilmeye başlanmıştır. Binanın konumlandığı lokasyona göre farklı etkenlere bağlı olarak değişen, dönüşen veya kullanıcı ile etkileşimli cephe tasarımları, bir yandan bina için, ışık girişi kontrolü, gölge katsayısı, hava kontrolü gibi etmenleri sağlayarak, binanın dinamik ve konforlu bir yapıya sahip olmasını sağlarken, diğer bir yandan estetik bir cephe oluşumuna olanak sağlamaktadır.

Tez kapsamında adaptif cepheler, giriş verileri, aktüatörleri, etkileşim unsurları ve bina performansı üzerindeki etkisi bağlamında irdelenmiş, verilen cevabın kinetik özelliğe sahip olup olmamasına göre dinamik ve statik olarak ikiye ayrılmıştır. İncelenen örnekler içerisinde, adaptif cepheler ile birlikte özellikle dinamik adaptif cephelere odaklanılmış, uygulamaya geçirilmiş projeler, mimari stüdyoların alternatif çalışmaları, prototipler üzerinde yapılan laboratuvar çalışmaları irdelenmiştir. Statik ve dinamik adaptif cepheler olarak yapılan sınıflandırma, cephelerin uyarlı oldukları durumlara, etkileşim unsurlarına ve cevap verme biçimlerine göre irdelenerek, örnekler üzerinden mimari ve kentsel ölçeklerdeki etkileşimleri incelemeye çalışılmıştır. İncelenen ve statik ya da dinamik olarak tanımlanan adaptif cepheler, birlikte ele alınarak alt başlıklar altında değerlendirilmiştir. Bu bağlamda tez kapsamında, statik ve dinamik adaptif cepheler 4 alt gruba ayrılarak incelenmiştir (Şekil 3.1).

1. Enerji üreten adaptif cepheler;
2. Akıllı malzeme içeren adaptif cepheler;
3. Çift kabuk adaptif cepheler;
4. Işık, ses, hareket, kullanıcı etkileşimli adaptif cepheler;

Yapılan sınıflandırma içerisindeki örnekler, aynı zamanda farklı alt gruplar içerisinde de bulunabilmektedir. Örneğin bir cephe bir yandan enerji üretirken bir yandan da çift kabuk sistemine sahip olabilmektedir. Bu sebeple, yapılan sınıflandırmada, öne çıkan

adaptif özellik dikkate alınmıştır. Buradaki amaç, adaptif cepheler incelenirken giriş verilerinin, etkileşim unsurları aracılığıyla dönüşümünü ve hareketin sağladığı avantaj ve dezavantajları daha net değerlendirebilmektir.

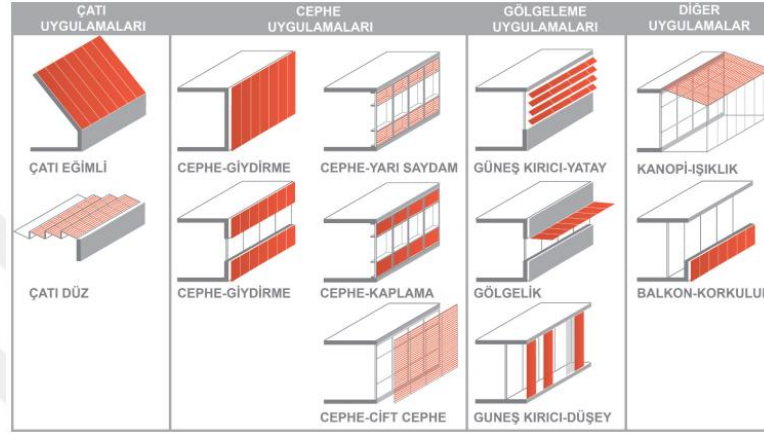


Şekil 3.1 : Adaptif cephe uygulamalarına ait incelemelerin gruplandırma şeması.



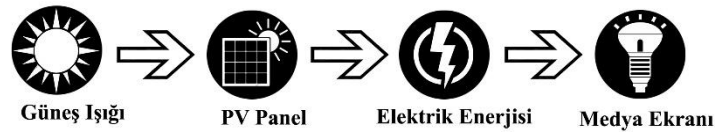
### 3.1 Enerji Üreten Cepheler

Enerji üreten cephe sistemlerinde, etkileşim unsuru olarak fotovoltaik paneller kullanılarak cephenin elektrik üretmesi ve böylece bina enerji performansını arttırmasına dayanan uygulamalar oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Sistem yapının cephesinde farklı bileşenleri üzerine konumlandırılabilceği gibi ek bir katman olarak ayrı bir strüktür üzerine de yerleştirilebilmektedir (Şekil 3.2).



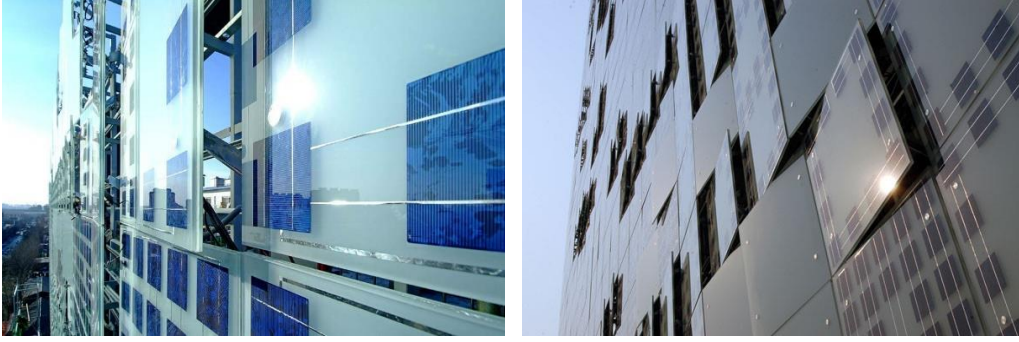
Şekil 3.2 : Fotovoltaik sistemlerin yapı entegrasyonları (Ünver, 2013).

Pekin'deki GreenPix, 2008 yılında Simone Giostra & Partners tarafından Xicui Eğlence Kompleksi'nin dış cephesi için tasarlanan GreenPix projesi, dünyanın ilk sıfır enerjili cephesidir (Şekil 3.3). Bina cephesinde, güneş ışığının, fotovoltaik panellerin etkileşim unsuru olarak kullanılarak, elektrik enerjisine dönüştürülmesi ve bu enerjinin cephedeki led aydınlatmalarda kullanılması sağlanmıştır.



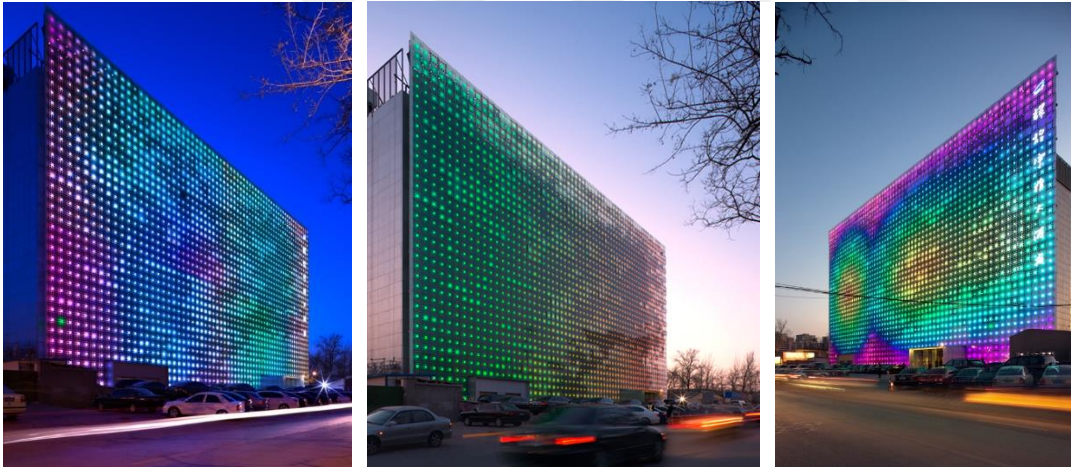
Şekil 3.3 : GreenPix, statik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.

Fotovoltaik güneş hücrelerinin, farklı açılardaki kare cam modüllere yerleştirildiği cephe sistemi, gece üzerinde bulunan 2292 farklı renk çeşitliliğiyle, farklı medya görselleri ve renk kombinasyonlarının oluşturulabildiği, çevresi ile görsel etkileşimi üst seviyede bir medya duvarına dönüşmektedir (Şekil 3.4).



**Şekil 3.4 :** Fotovoltaik hücrelerin cam modüllerin içerisindeki yerleşimleri (Url-8).

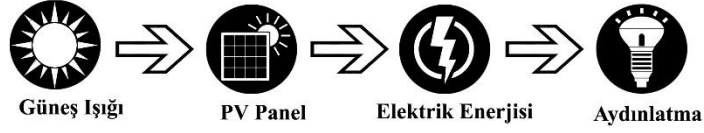
Bina cephesi genelinde, güneş ışığının aynı zamanda efektif kullanımını sağlamak adına fotovoltaik hücreler cam modüller üzerine farklı sayılarda yerleştirilmişlerdir. Yapı, cam modüllerin içerisine yerleştirilen fotovoltaik panelleri ve cephede üretilen elektrik enerjisinin, geceleri yine cephedeki medya ekranında kullanıldığı ilk uygulama örneklerindedir. Cepheki modüller, bir yandan elektrik enerjisi üretilmesini sağlamakta, diğer yandan modüller gölgeleme amacıyla kullanılmaktadır (Şekil 3.5).



**Şekil 3.5 :** GreenPix, Simone Giostra & Partners, Pekin, 2008 (Url-8).

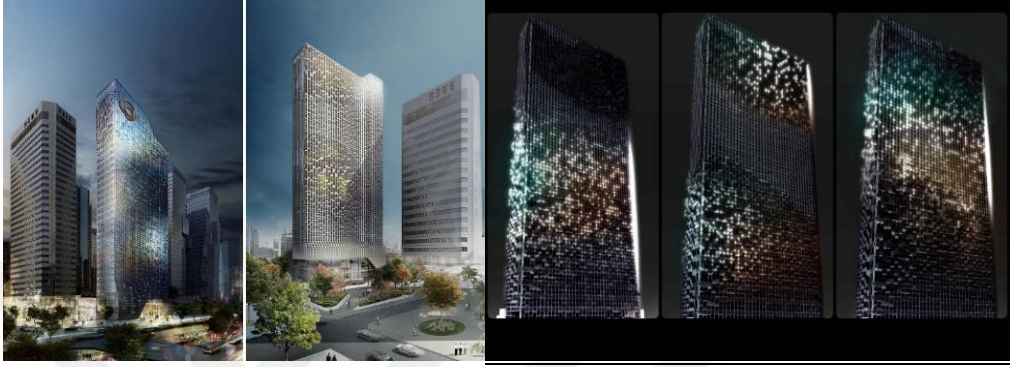
Cephenin, fotovoltaiklerle ürettiği elektrik enerjisini medya ekranında kullanması ve aynı zamanda kazandığı fazla enerjiyi bina sistemine aktararak enerji etkinliği sağlaması yönünden statik adaptif enerji üreten cephe sınıfı içerisinde incelenmiştir.

Seoul'de UNStudio'nun Handwha Headquarters yapısının cephesi için tasarladığı adaptif cephe sistemi, fotovoltaik paneller ile güneş enerjisinden sağladığı enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürerek, geceleri cephedeki ledlerin elektrik enerjisi için kullanmış ve yapı cephesinin aydınlatması için gerekli enerji sağlanmıştır (Şekil 3.6).



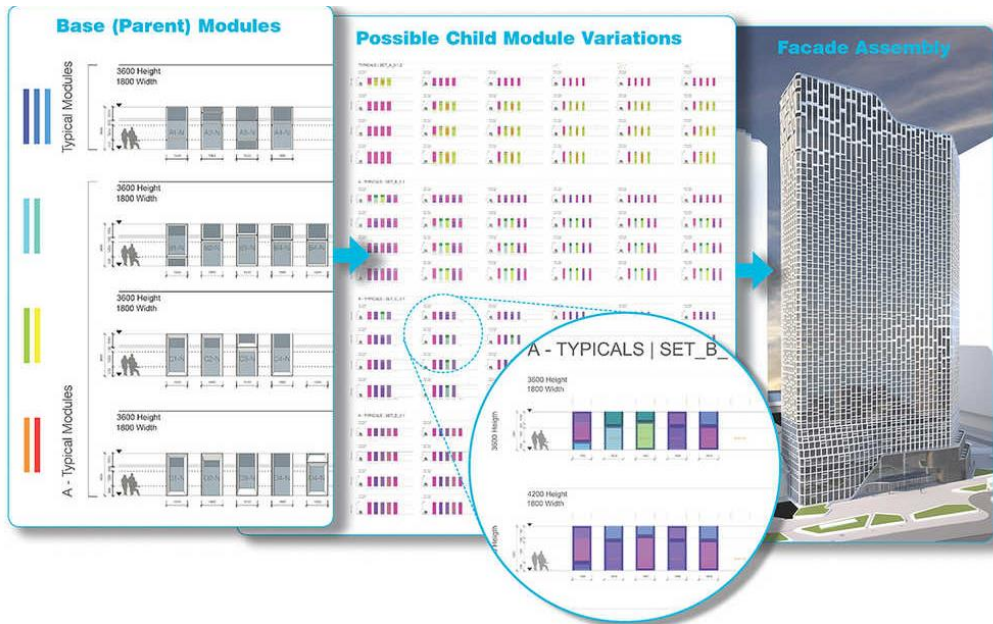
**Şekil 3.6 :** Handwha Headquarters, statik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.

Tüm bina cephesini yeniden tasarlayan Ben van Berkel, led ışık sistemi ve fotovoltaik panelleri beraber kullanmıştır (Şekil 3.7).



**Şekil 3. 7 :** Handwha Headquarters, Un Studio, Seoul, 2014 (Url-9).

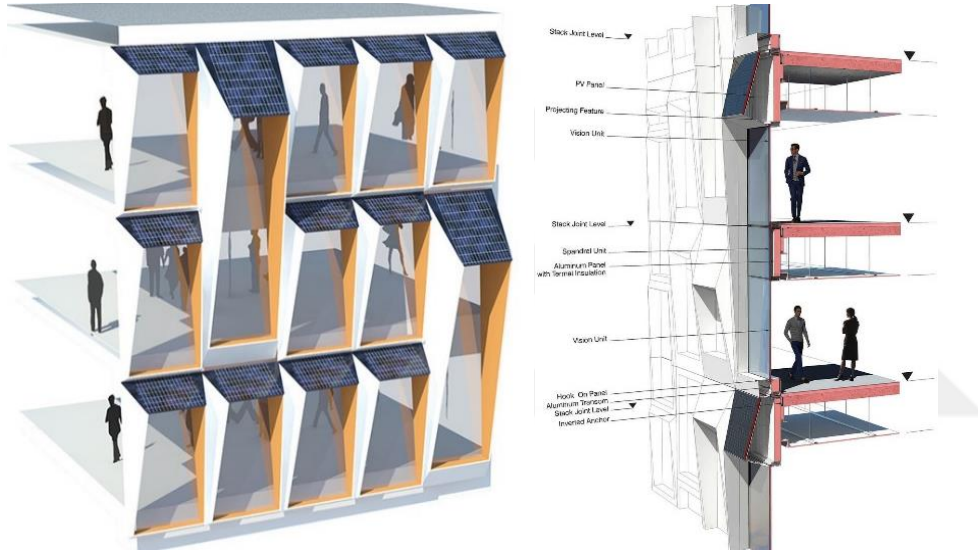
Cephedeki cam panellerin formları ve yerleşimleri için öncelikle güneş analizleri yapılmıştır. Ortaya çıkan güneş ışığı diyagramları üzerinden cephedeki cam paneller, maksimum ve minimum ışık alan bölgelere göre farklı fotovoltaik yerleşimleri ve açılarında tasarlanmıştır. Cam modüller, iç mekandaki fonksiyon da dikkate alınarak, farklı tiplere ayrılarak cephedeki yerleşimlerine ait projeleri hazırlanmıştır (Şekil 3.8).



**Şekil 3.8 :** Cephe cam panellerinin güneş ışığı ve iç mekan programına göre farklı tiplere ayrılması, Handwha Headquarters, Seoul, Un Studio, 2014 (Url-9).

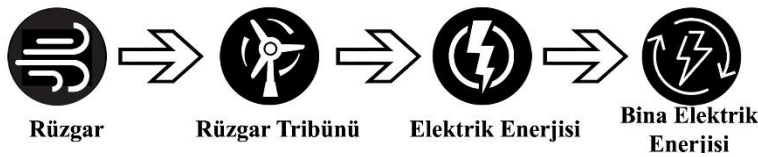


Güneş yansımaya ve absorbe olma açılarına, güneş etkileşim süresine göre, yüksek yoğunlukta güneş ışınlarına maruz kalan kısımlara fotovoltik paneller yerleştirilmiştir. Bina iç mekanına ait mekansal bölümlenmelere göre, bu cam panellerin farklı açı, uzunluk ve genişlikte mekansal çeşitlendirmeleri yapılarak öncelikle enerji üretimini maksimuma çıkaracak doğru yerleşim sağlanırken, aynı zamanda iç mekanda yüksek ısı konforu sağlanması hedeflenmiştir. Handwha Headquarters cephe bileşenlerinin, güneş ışığı analizlerine göre yerleşim stratejisine sahip olması açısından Greenpix'den ayrılmaktadır. Aynı zamanda, cephe bileşenlerinin gölgeleme sağlayarak, iç mekan enerji etkinliğinin artırılması amacı ile biçimlendirilen üçüncü boyuttaki formu ile de cephe vurgusu artırılmıştır (Şekil 3.9).



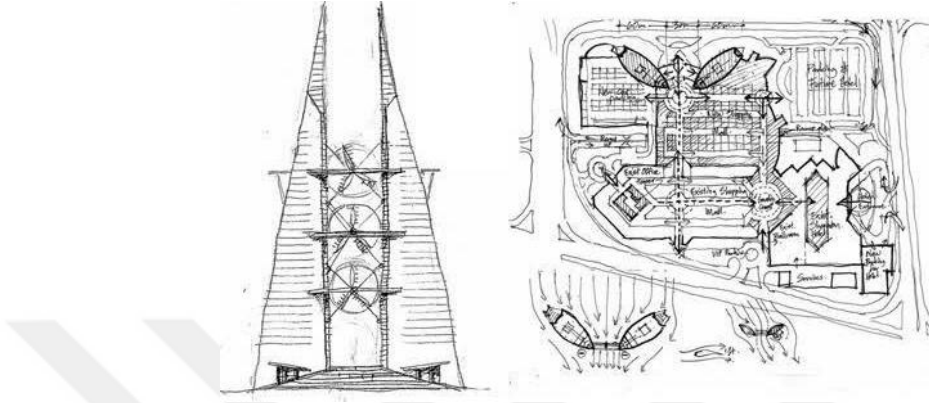
**Şekil 3.9 :** Cephe modülleri ve fotovoltik panellerin yerleşimi (sol), sistem detayı (sağ) Handwha Headquarters, Un Studio, 2014 (Url-9).

Cephenin, elektrik enerjisini Handwha ve GreenPix cephelerindeki gibi güneş ışığı yerine rüzgar enerjisinden yararlanarak üretilmesi ve bina enerjisi için kullanılmasını sağlayan örneklerden biri, 2008 yılında tamamlanan, Atkins'in Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi binasıdır (Şekil 3.10). Etkileşim unsuru olarak rüzgar türbinleri kullanılan ve elektrik enerjisi üreten cepheler, genellikle yüksek katlı yapılardır. Bu anlamda rüzgar enerjisini kullanan uygulanmış yüksek katlı yapı örnekleri içerisinde yer almaktadır.



**Şekil 3.10 :** Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.

En başta güneş enerjisi panelleri kullanılması düşünülen, ancak daha sonra rüzgar enerjisinden yararlanılmasına karar verilen 240 metre yükseklikteki yapıda, iki kule arasındaki köprülere konumlandırılan yaklaşık 30 metre çapındaki rüzgar türbinleri mevcuttur (Şekil 3.11). Bina cephesi, rüzgar türbinleri ile bir bütün oluşturacak şekilde ele alınmış ve rüzgarın hızını arttıracak eğrisel bir yüzey olarak tasarlanmıştır.



**Şekil 3.11** : Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi, WS Atkins ve Partners, 2008 (Url-10).

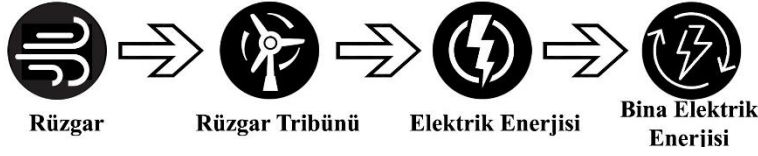
50 katlı iki kule arasına konumlandırılan köprüler üzerine kurulu, her biri 225 kW'lık toplamda 675 kW'lık rüzgar enerjisi kapasitesi bulunan üç büyük türbin, 29 metre çapındadır. Yapı, Basra Körfezi'nden gelen havanın içeri girdiği kuzey yönüne konumlanması ve kulelerin aerodinamik tasarımı sayesinde, rüzgar hunisi oluşturacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3.12). Körfez meltemi, türbin yoluna doğru 45°'lik bir açıyla hareket ederken rüzgar akışı yaratır. Böylelikle yılda üretilen enerji miktarı, tüketimin % 11 ila % 15'ini karşılamaktadır (Ateş Can ve Kurtoğlu, 2017).



**Şekil 3.12** : Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi, WS Atkins ve Partners, 2008 (Url-11).

Bina cephesine entegre edilen türbinlerinin, rüzgar ile hareket ederek elektrik enerjisi sağlanması ve sistemin cephe bütünü içerisinde kurgulanmış olması açısından dinamik adaptif cephe sınıfında incelenmiştir.

2010 yılında yapılan Londra'daki konut yapısı Strada Tower'da, 43 katlı bina cephesinde, çatı kabuğu bölümüne yerleştirilen 9 metre çapında 3 pervaneli rüzgar türbinleri ile rüzgar enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren örneklerden biridir. Türbinler, binanın elektrik enerjisi ihtiyacının yaklaşık % 8'ini üretmektedir (Şekil 3.13 ve Şekil 3.14).



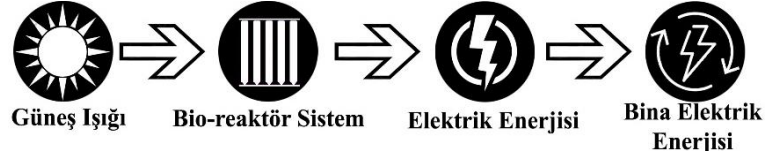
Şekil 3.13 : Strata Tower, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.



Şekil 3.14 : Strata Tower, WS Atkins & Partners, BFSL, London, 2010 (Url-12).

Bu bağlamda, Strata Tower ve Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi, rüzgar enerjisini giriş verisi olarak kullanan, hareketli rüzgar türbinleri ile elektrik enerjisine dönüştüren uygulamalar olması sebebiyle, enerji üreten dinamik adaptif cephe olarak sınıflandırılmıştır.

Enerji üreten cephe sınıfı kapsamında, statik adaptif cephe sınıflandırması içerisinde inceleyebileceğimiz, bio-reaktör sistemler içeren cepheler, canlı organizmaların biyolojik özelliklerini kullanarak enerji üreten cephe uygulamalarıdır. Almanya Stratejik Bilim Danışmanlığı (Strategic Science Consult - SSC), Colt International ve Arup tarafından ortaklaşa geliştirilen, Hamburg'daki 2013 Uluslararası Yapı Fuarı'nda sunulan, dünyanın ilk alg biyo-reaktör cephesi, "SolarLeaf" adı verilen cephe sistemi önerisidir (Şekil 3.15). SolarLeaf cephe sistemi uygulaması, ilk kez 2013 yılında Hamburg'daki BIQ (Bio Intelligent Quotient) konut yapısında uygulanmıştır. İkincil bir cephe katmanı oluşturacak şekilde, dört katlı konut binasının güney-batı ve güneydoğu yüzlerinde 2.5m x 0.7m ölçülerinde toplam 129 biyo-reaktör kurulmuştur (Şekil 3.16).



**Şekil 3.15 :** BIQ konut projesi, statik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.



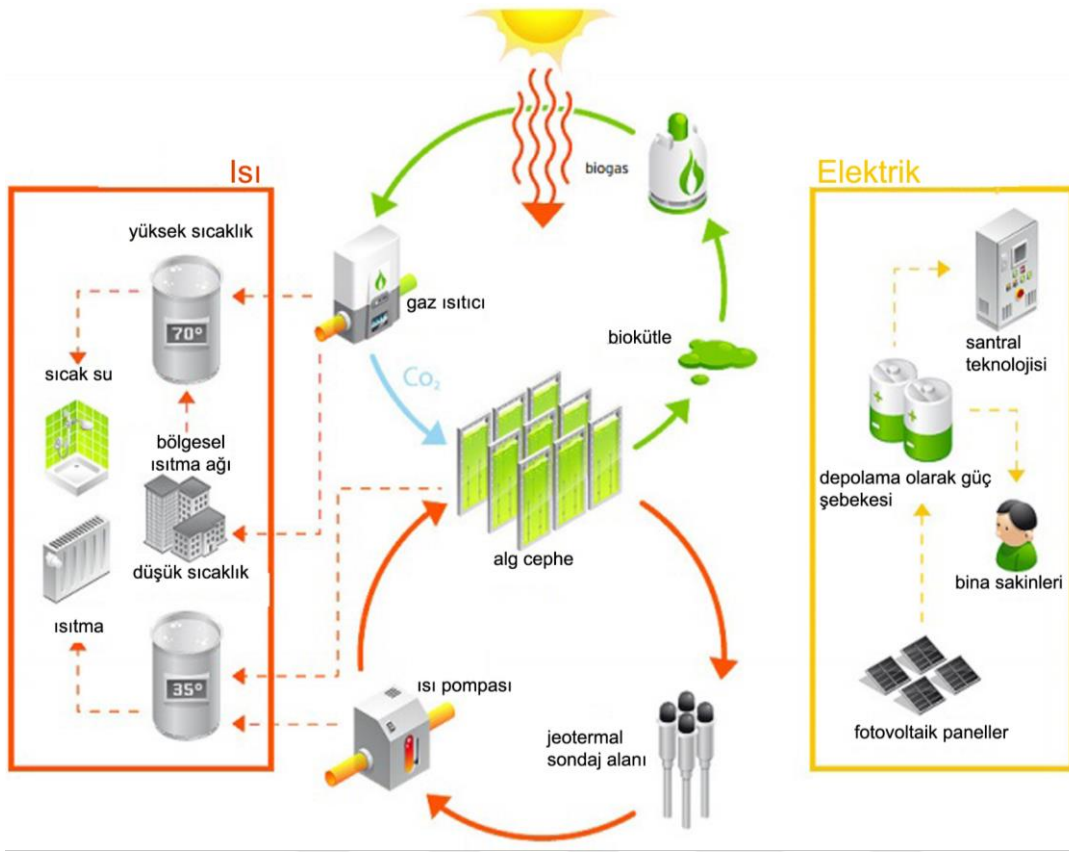
**Şekil 3.16 :** BIQ ön cephe görünüşü ve panel detayı, Arup, Strategic Science Consultants (SSC) and Splitterwerk Architects, Hamburg, 2013 (Url-13).

Projenin ana fikri, bina ana strüktürü olan yapı kabuğunun kendisinin enerji üretmesi kurgusu ile ortaya çıkmıştır. Alglerin cam panellerin arasına yerleştirilmesiyle oluşturulan bu sistem, alglerin fotosentez yapması ile sürekli olarak sisteme enerji üretmekte, bu enerji binanın ısıtma sisteminde kullanılmaktadır (Şekil 3.17).

Her SolarLeaf elemanı, modern cephe mühendisliğinin en son performans kriterlerini karşılayacak şekilde tasarlanmış, çok sayıda cam aksamına sahiptir. İki iç katman, suyun dolaşımı ve alglerin büyümesi için 24 litrelik bir kapasiteye sahip 18 mm genişliğinde bir oyuk oluşturmaktadır (Colt ve diğ, 2013).

Algler, cepheye vuran güneş ışığı ile fotosentez yaparken, bir boru şebekesi ile karbondioksit ve besinler ile beslenir. Cam paneller arasındaki karbondioksit alglerin fotosentez yapması ile oksijene dönüştürülür. Fotosentez ile büyüyen algler, daha sonra enerji üretmek için belirli bir biyogaz tesisinde periyodik olarak fermente edilir. Ayrıca, cephe saydam modülleri içerisinde bulunmaları iç mekana fazla güneş ışığının girmesini engelleyerek bir çeşit gölgeleme elemanı görevi yapar. Güneş ışığının en yoğun düştüğü paneldeki algler daha fazla büyür ve daha fazla gölgeleme yapar. Bu anlamda da doğru orantılı olarak ısıl denge sağlanmış olur.





Şekil 3.17 : Bio-reaktör cephe sistem şeması (Url-14).

BIQ binası, geleceğin nötr-karbondioksit aşırı enerjili bina kompleksleri için bir pilot proje olarak önemli bir rol oynamaktadır.

Arup, Dresden Teknoloji Üniversitesi ve proje ortakları SSC Science Consultant ile işbirliği ile yürüttükleri, FABIG araştırma projesi adını verdikleri alg bio-reaktör cephe sistemleri çalışmalarına, mikroalglerin büyümesi için optimum koşullar yaratmak amacıyla, hesaplamalı akışkan dinamik (Computational Fluid Dynamics - CFD) simülasyonları ve farklı prototipler üzerindeki çalışmalarına devam etmektedir.

### 3.2 Akıllı Malzeme İçeren Cephe Sistemleri

Bina ısı konforunu sağlamada veya çevreye uyum sağlayan binalar tasarlarken, yapı dış kabuğu bileşenlerinin yanında, kullanılan malzemenin niteliği de bir o kadar önem kazanmaktadır.

Akıllı malzemeler, statik adaptif cephe grubu altında inceleyebileceğimiz, binanın dış katmanının malzemeye uygun strüktürler oluşturularak yerleşimlerinin yapıldığı, hava, su, ışık, sıcaklık, nem gibi verilere tepki göstererek kendini değiştirebilen veya



dönüştürebilen ve bu sayede enerji performansını arttırabilen malzemelerdir. Çevreye uyum sağlayarak, bina performansını arttırması bağlamında, akıllı malzemeler bina cephelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Theophrastus M.Ö. 4. yüzyılda turmalinin ısıtıldığında, saman liflerini ve külü çektiğini yazarak bilmeden ilk akıllı malzeme olarak piro-elektrik malzemeyi tanımlamıştır. 18. yüzyılın sonlarından itibaren akıllı malzemelere niteliklerini kazandıran etki mekanizmaları farkedilip, bilimsel olarak incelenmeye başlansa da bu malzemelerin günlük kullanıma girmeye başlaması ancak 20. yüzyılın son çeyreğinde olabilmıştır (Orhon, 2012).

Cephe sistemlerinde kullanılan stor, jaluzi, güneş kırıcı gibi elemanların renk, doku, hareket mekanizmalarındaki gelişmeler, şeffaf yüzeylerde kullanılan renkli, reflektif, ısı ve ışık denetimini çok daha iyi yapabilen, seçici yüzey kaplamalı malzemelerin bulunması, enerji korunumlu yapı oluşturmada etken olmuştur. Bunun yanı sıra akıllı camlar olarak nitelenen kendi kendini temizleyebilen cam sistemleri, çevreyi olumlu yönde etkileyen ve kabuk tasarımını ileriye götüren malzemeler olarak karşımıza çıkmaktadır (Erturan ve Eren, 2011).

Binanın cephe elemanları üzerindeki enerji etkin malzeme arayışları, gerek cephe bileşeninin yapısal karakterinin kendi bünyesinde, gerekse mevcut cephe önüne ayrı bir konstrüksiyona yerleştirilen yüzey uygulamaları şeklinde geliştirilmektedir.

Akıllı malzemeler, mimari uygulama örnekleri içerisinde belli gruplara ayrılarak aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

**Kromik malzemeler:** Fiziksel ve kimyasal uyaranlara karşı renk ve opaklık gibi tepki gösteren akıllı malzeme grubudur. Fotokromik, termokromik, elektrokromik camlar bu sınıf içerisinde yer almaktadır.

**Piezo-elektrik malzemeler:** Üzerine uygulanan kuvvet sonucunda, yüzeylerinde elektrik enerjisi oluşturan malzemelerdir. Örnek olarak, seramik esaslı PZT (kurşun zirkonat titanat), polimer membran PVDF (poliviniliden florür) ve polimer köpük PP (polipropilen) verilebilir.

**Piro-elektrik malzemeler:** Piro-elektrik malzemeler ısıtıldıklarında elektrik üreten malzemelerdir. Yapı bileşenlerinde piro-elektrik malzeme kullanılması durumunda, bu bileşenlerin ısınıp soğumaları ile elektrik üretilmesi sağlanabilmektedir.

**Faz değiştiren malzemeler (FDM):** Dış uyarınlr etkisiyle katı, sıvı, gaz gibi maddenin faz dđnüşümüne sahip malzemelerdir. FDM micronal, güneş radyasyonuyla gelen ısıyı depolamak üzere kullanılırlar. FDM özelliği gösteren, sulu tuz tabakasının kullanıldığı cam panellerden oluşan akıllı cepheler bu grup içerisindeki örneklerdir.

**şekil bellek alaşımlı malzemeler (şBA):** şekil değişikliğine uğradıktan sonra uygun yönde sıcaklık değişimi uygulandığında ilk konumuna dđnebiyen alaşımlardır. İlk kez altın-kadmiyum (AuCd) alaşımında saptanmıştır. Nikel-titanyum içeren Nitinol (NİTİ) alaşımının bulunmasıyla değişme sürecine girmiştir. Bu malzemelerin hareketleri elektrik akımı uygulayarak veya sıcaklığı değiştirilerek kontrol edilebilir.

**Adezyon değiştiren malzemeler:** Işık, sıcaklık, elektrik alan vb. uyarınlr etkisiyle katı, sıvı veya gaz bileşenlerinin atom veya molekülleri arasındaki adezyonu değiştiren malzemelerdir. Bu malzemeler arasında, titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>) absorpsiyon (emme) veya adsorpsiyon (yüzeye tutunma) ile kendisine tutunan kirletici maddeleri (paręacık maddeler, uçucu organik bileşikler, azot oksitler vb.) ışık etkisi altında su ve karbondioksite paręalayıcı (fotokatalitik) etki göstermesi nedeniyle mimari uygulamalarda kullanıma girmiştir (Orhon, 2012).

Adezyon değiştiren malzeme sınıfında inceleyebileceğimiz, 1992 yılında Mexico City Torre de Especialidades'deki Manuel Gea Gonzalez Hastanesi, hava içerisindeki zararlı gazları zararsız kimyasallara dđnüştürerek hava kirliliğini azaltmak için yeniden tasarlanmıştır (şekil 3.18).



**şekil 3.18 :** Manuel Gea Gonzalez Hastanesi, statik adaptif cephe dđnüşüm diyagramı.

Adezyon değiştiren akıllı malzeme ile tasarlanmış bu uygulama, hava bileşenlerinin içerisindeki adezyonu değiştirerek havayı temizleme özelliğine sahiptir. Mevcut bina cephesinin önüne ayrı bir konstrüksiyon ile monte edilen çok yüzeyli cephe modülleri, toz haline getirilmiş, fotokatalitik, hava geğirmeyen titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>) ile kaplanmıştır (şekil 3.19).

Cephede, güneşin UV ışınları, dumanlı/kirli havadan geçerek 2500 m<sup>2</sup>'lik cephedeki kaplamanın üstündeki titanyum dioksit'e ulaştığında, kaplama ile dumanın içindeki kimyasallar (mono-nitrojen oksitler-NO<sub>x</sub>) arasında kimyasal bir reaksiyon oluşur ve

hava içerisindeki zararlı gazlar, gübrede kullanılan bir tuz olan kalsiyum nitrat, karbondioksit ve su gibi daha az zararlı kimyasallara ayırır. Titanyum dioksit, bu reaksiyonda katalizör olarak görev yapar, dolayısıyla kendisine bir şey olmaz, kaplama çıkana kadar cephede bu reaksiyonları yapmaya devam eder (Orhon ve Altın, 2014).

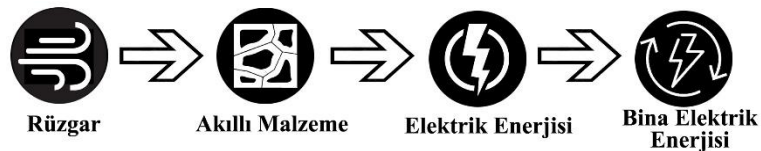


**Şekil 3.19** : Manuel Gea Gonzalez Hastanesi'nin genel cephe görünüşü (sol), cephe yakın görünümü (orta), cepheden detay görünüşü (sağ) (Url-15).

Manuel Gea Gonzalez Hastanesi'nin çok açılı ve katmanlı yüzeyi güneş ışığı ile aktive olduğunda, günde yaklaşık 0,26 gram NO<sub>x</sub> parçalamakta ve Mexico City'deki yaklaşık 1000 araç tarafından üretilen NO<sub>x</sub> miktarını ortadan kaldırmaktadır. Bu anlamda sadece bina içerisine giren havayı değil, aynı zamanda kent ortamındaki havayı temizlemeye yardımcı olmaktadır.

Işık aktivatörü ile kirli havayı temiz havaya dönüştüren, şehir için hava filtresi görevi görmekle birlikte, hastane iç mekanında doğal ışık gölgeleme işlevi ile de iklim kontrolü sağlamaktadır. Bu bağlamda proje, adezyon içeren akıllı malzemeli cephesi ile statik adaptif cephe sınıfına dahil olmaktadır.

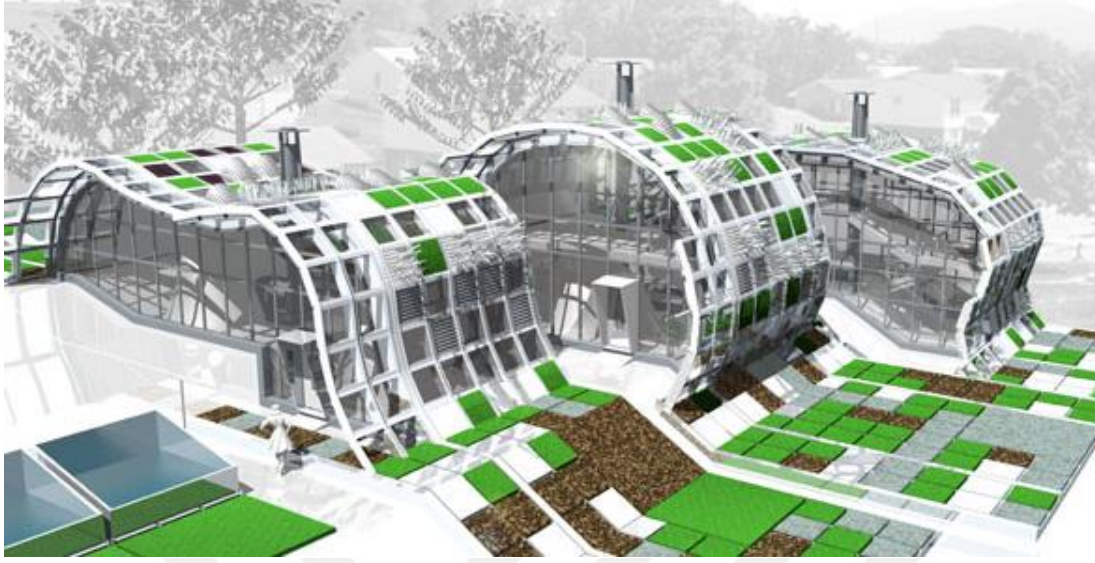
Piezo-elektrik sınıfına giren akıllı malzemelerden elektrik üretilmesi amaçlanan proje örneklerinden biri de, Mitchell Joachim'in "MATscape" adını verdiği projedir. Gridal bir yapıda tasarlanan yapı kabuğu üzerine yerleştirilen piezo-elektrik üreten modüllerle rüzgar enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmektedir (Şekil 3.20).



**Şekil 3.20** : MATscape projesi, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.

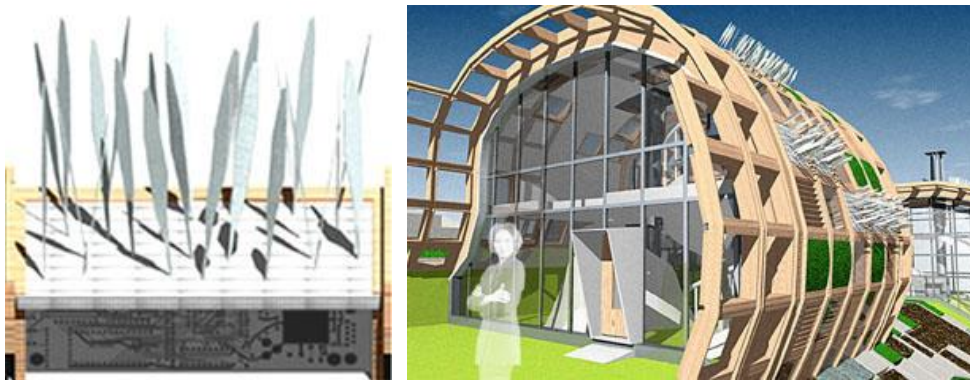
Peyzajın devamı niteliğinde yeşil alanlar, yapı kabuğu gridal sistemi içerisinde devam ettirilerek peyzajın sürekliliği sağlanmıştır (Şekil 3.21). Doğa ve insan ilişkisine güzel

bir örnek sunan projede, çevre etkileşiminde karşılıklı olarak fayda sağlanması vurgulanmıştır.



**Şekil 3.21** : MATscape projesi 3 boyutlu genel perspektifi (Joachim, 2005).

Mozaik ızgara modeli şeklinde tasarlanan cephe bileşenleri, insanların yaşam tarzlarına ve ihtiyaçlarına göre ayarlanabilmekte ve günlük olarak konfor seviyelerine uyum sağlamaktadır. Cephe modülü elemanları, rüzgar etkisi ile hareket etmekte ve bağlandığı piezo-elektrik mekanizması devreye girerek elektrik enerjisi üretmektedir. MATscape projesi piezoelektrik malzeme ve cephe bileşeninin hareketi ile enerji üretiyor olması sebebiyle dinamik adaptif cephe grubuna girmektedir (Şekil 3.22).



**Şekil 3.22** : Modüllerin üzerindeki tüy şeklindeki cephe bileşenleri görünüşü (sol) ve gridal kabuğun genel perspektifi (sağ) (Joachim, 2005).

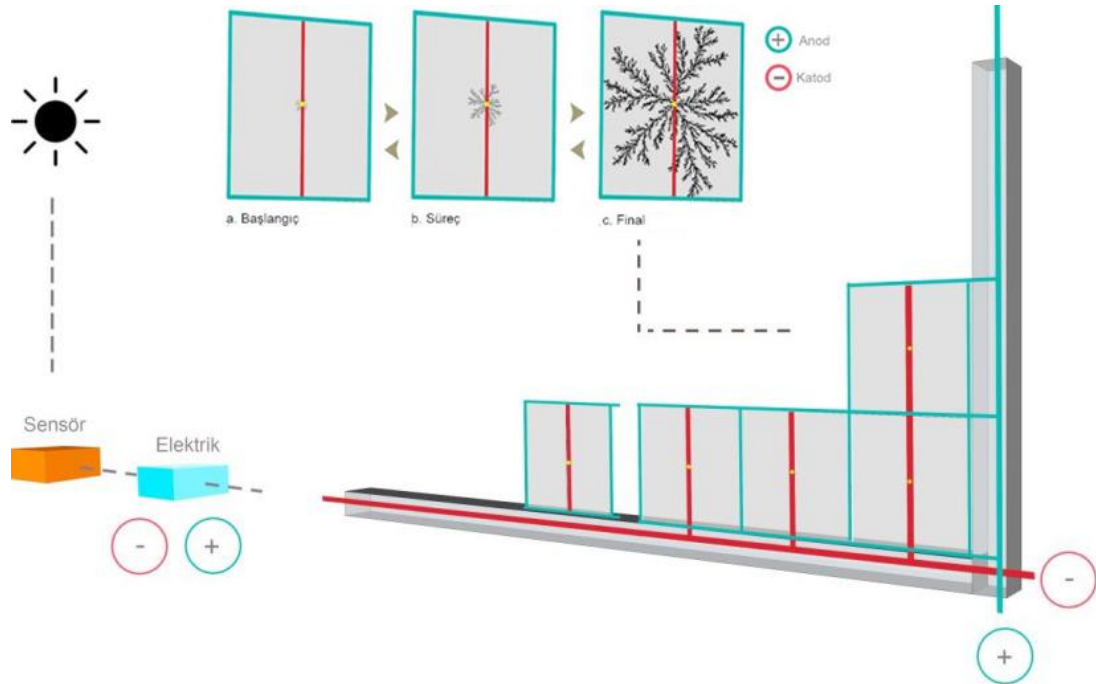
Diğer akıllı malzemelerden olan piro-elektrik ve termo-elektrik malzemeler de yapılarda enerji üretimi için kullanım potansiyeline sahiptir. Piro-elektrik malzemeler ısıtıldıklarında elektrik enerjisi sağlayan malzemelerdir. Örneğin, gün içinde ısınıp

soğuyan dış yapı bileşenlerinde piro-elektrik malzeme kullanılması durumunda bu bileşenler elektrik üretebilir. Termo-elektrik malzemeler ise, her iki yüzü arasında sıcaklık farkı bulunduğunda, bünyesinde elektrik enerjisi oluşturan malzemelerdir. Yapı kabuklarında iç ve dış mekân arasındaki sıcaklık farkı doğal olarak oluşacağından termo-elektrik malzeme ile üretilen yapı kabukları elektrik üretecektir (Orhon, 2013).

Şekil bellek alaşımli elektro-aktif polimer mazellemeler (ŞBA) üzerine alternatif bir proje önerisi de, İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlıkta Bilişim Yüksek Lisans Programı, 2017-2018 güz yarıyılı, Seminer Dersi kapsamında hazırlanan, Yeşim Ünal'ın elektroliz yöntemini kullandığı adaptif cephe önerisidir (Şekil 3.23). Bakır sülfat ile hazırlanan çözeltiye, bakır tel aracılığı ile elektrik akımı verilerek, bakır sülfatın dentrit formunda oluşturduğu bir çeşit fraktal örneği olan kümelenmeler ile cephenin gölgelenmesi amaçlanmıştır. Sensörler, güneşin konumuna göre elektrik akımını sağlamak için sistemi devreye sokarak, fraktallerin oluşumunu sağlamaktadır (Şekil 3.24).



Şekil 3.23 : Yeşim Ünal, statik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.



Şekil 3.24 : Sistem Önerisi (Ünal, 2017).



Proje önerisi kapsamında, farklı oranda bakır sülfat, değişken elektrik akımları, farklı süreler, petri kabı boyut değişiklikleri ve anod formlarının değişken değerleri üzerinden deneyler yapılmıştır.

Yapılan deneylerin sonucunda ise, adaptif cephe kurgusu içerisinde gölgemeyi sağlayacak şekilde fraktallerin oluşumu sağlanmıştır (Şekil 3.25). Gölgeleme fonksiyonuna ihtiyaç olmadığı durumlarda fraktallerin çözülerek eski hallerine dönüşümü kurgusu ise sağlanamamıştır. Ancak proje statik adaptif cephe sınıfında inceleyebileceğimiz ve çalışma kapsamında güneş ışığının aktivatör olarak kullanılarak, akıllı malzemenin gölgeleme elemanına dönüştüğü ve ısı konforun sağlanmasının hedeflendiği adaptif cephelere farklı bir öneri niteliğindedir.



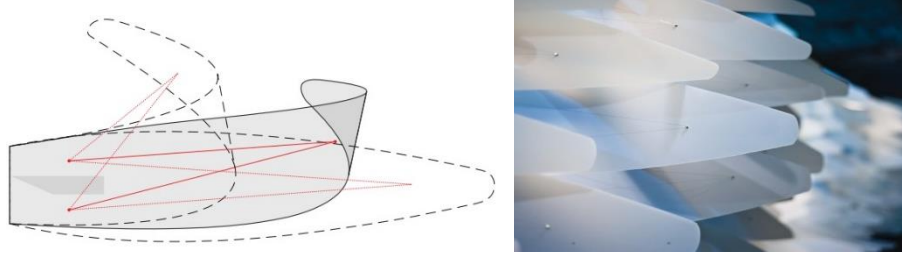
**Şekil 3.25 :** Projeye ilişkin yapılan deneye ait görselleri (Ünal, 2017).

Şekil bellek alaşım malzemelerin kullanıldığı, sistem yüzey hareketlerinin, mekanik bileşenler yerine doğadan esinlenen ve malzemenin esnekliği kullanılarak çözümlendiği, Storefront'daki sanat ve mimarlık enstalasyonu için tasarlanan başarılı örneklerden biri de Reef Projesi'dir (Şekil 3.26).



**Şekil 3.26 :** Reef, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.

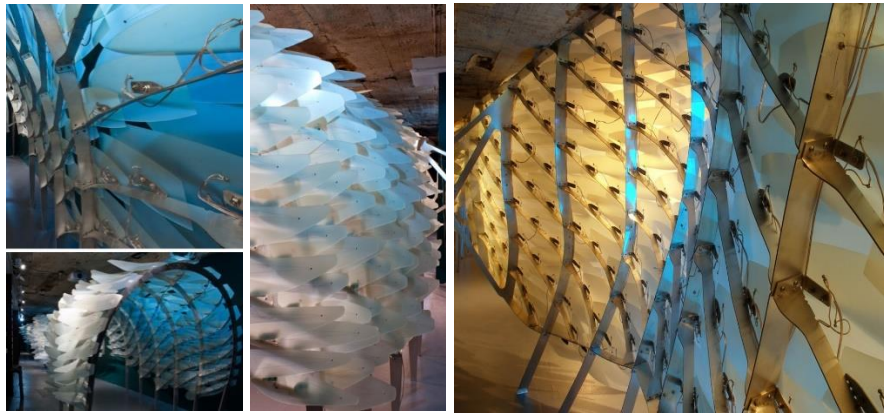
Reef projesi, Los Angeles'taki Radical Craft araştırma ve tasarım stüdyosundan Joshua G. Stein ve Urbana'dan Rob Ley tarafından projelendirilerek üretilmiştir. Adaptif sistem, şekil bellek alaşım malzemeler (ŞBA) kullanılarak, bileşenlerin, bir çiçeğin güneşe yönelmesi veya açılıp kapanmasına benzer hareketlerle çevreye uyum sağlayacak şekilde kurgulanmıştır. Moleküler düzeydeki uyarlı hareket sistemi fikrinden yola çıkılmış ve gelişen malzeme teknolojisinden faydalanılarak, iç mekanın dışa yansıtılması amaçlanmıştır.



**Şekil 3.27 :** Reef projesi yüzgeçlerin hareket aralığı (sol), yüzgeçlerin yakın prototip görünüşü (sağ) (Ley ve Stein, 2010).

Proje, akışkan hareketleri ile aynı zamanda kamusal alanlardaki sosyal etkileşimlerde farklılık yaratmak amacıyla oluşturulmuş bir enstalasyondur. Tekil bir yüzey oluşturan 600 adet yüzgeç biçimindeki yarı saydam membran, nitinol telleri ile ana strüktüre bağlanmaktadır. Burada teller aktüatörler olarak kullanılmaktadır. Strüktüre mafsalı her yüzgecin hareket aralığı 160 derecedir (Şekil 3.27).

Nitinol teli, eksenli boyunca toplam uzunluğunun yaklaşık % 5'i kadar uzayabilir, bu da 100 cm'lik bir uzunluğun 95 cm'ye kadar kısalması anlamına gelir. Basit bir panel malzemesiyle çiftleşen SMA teknolojisi, şeklini önemli ölçüde değiştirebilen bir modül oluşturur. Bu teknoloji, daha önceki teknolojilerin mekanize hareketi olmaksızın verimli ve akışkan hareket imkanı sunmaktadır (Ley ve Stein, 2010). Alüminyum bantlar yüzgeçlerin akış yönünü düzenlemekte ve dinamik kontrol sistemi için bir arayüz oluşturmaktadır.



**Şekil 3.28 :** Reef enstalasyonunun farklı açılardan genel görünüşleri (Ley ve Stein, 2010).

Reef dinamik adaptif bileşenleri, akıllı malzemenin sıcaklık aktivatörü ile etkileşimi sonucunda, rüzgarda salınan ağaçların hareketine benzer bir biçimde salınım yaparak çevresine adapte olmaktadır (Şekil 3.28). Enstalasyon iç mekan içerisinde tasarlanmış olmasına rağmen, dinamik adaptif cepheler için sıcaklık etkileşimi bağlamında önemli

bir dönüşüm ve sürekli değişen bir yüzey tanımlaması anlamında dinamik bir yapıya sahiptir.

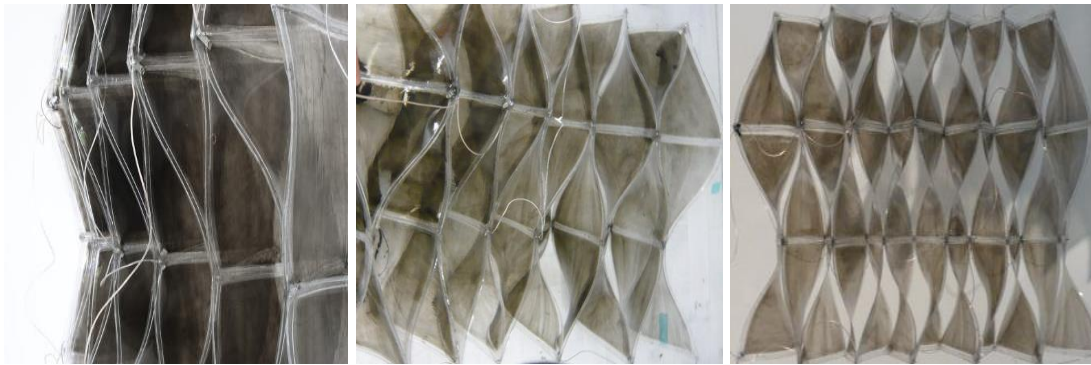
Zürich Eidgenössische Teknik Üniversitesi Bilgisayar Destekli Tasarım Bölümü (Computer Aided Architectural Design - ETHZ) ve İsviçre Federal Malzeme Bilimi ve Teknoloji Laboratuvarının (Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology - EMPA) birlikte tasarladığı ve prototiplerini oluşturduğu ShapeShift projesi de, elektrik akımına göre şekil değiştirebilme özelliği ile, bina cepheleri için bir öneri niteliğindedir (Şekil 3.29).



**Şekil 3.29** : ShapeShift, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.

Bu projenin ana fikri, malzeme deneyleri yoluyla, bileşenlerinin çevreye uyum sağladığı bir yüzey geliştirmektir. Seçilen elektroaktif polimer malzemeden bir yüzey oluşturabilmek için, malzeme testlerine paralel olarak, Rhino ve Grasshopper yazılımlarında parametrik modelleri oluşturularak, çeşitli bileşen şekilleri araştırılmış ve RapLab (ETHZ) 'de cnc imalatı yapılarak, prototipi üretilmiştir.

ShapShift, elektro-aktif polimer malzemeden üretilen, mekanik aktüatörlere ihtiyaç duymadan şekil değiştirebilen ve bir binanın canlı, esnek derisi gibi hareket eden bir yapıya sahiptir (Şekil 3.30). Mekanik aktüatöre ihtiyaç duymaması, hafif ve esnek olması sebebiyle adaptif cephe uygulamaları için önemli bir araştırma ve geliştirme projesidir. Dış etkilere dinamik olarak uyum sağlayan duyarlı ortamlar veya alanlar oluşturulabilir.



**Şekil 3.30** : ShapeShift projesi prototipi genel görünüşleri (Rossi ve diğ., 2010).



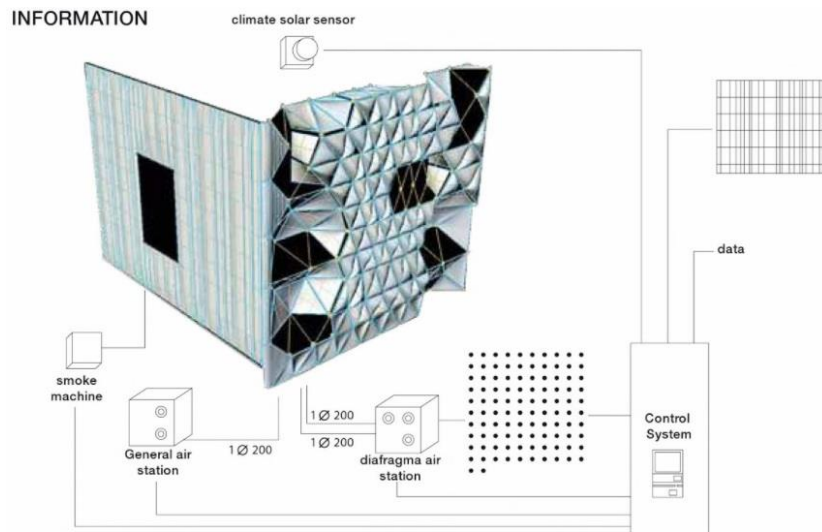
ShapeShift ve Reef projeleri malzemenin özellikleri üzerinden adaptif özellik kazanan ve hareket ederek çevresel koşullara adapte olan projeler olması sebebiyle dinamik adaptif cephe grubu içerisinde incelenmiştir.

Dinamik adaptif cephe sisteminin, malzemenin yapısal özelliklerinin kullanılarak şişirilmesi ile uygulanan cephe modüllerinden oluşan önemli örneklerden birisi de, Mimar Enric Ruiz Geli ve Cloud9 mimarlığın birlikte tasarladığı, Barcelona'daki Media-ICT (Information and Communication Technologies) binasıdır. Bir akıllı malzeme olarak ele alınabilecek, ETFE (Ethylene Tetra Fluoro Ethylene) paneller ile kaplanan cephe aracılığıyla bina içerisindeki ısı konforu dengelenmesi sağlanmaktadır (Şekil 3.31). ETFE malzemesinin kullanıldığı ve şişme hareketi ile çevresel etkenlere adapte olabilen cepheler, dinamik adaptif cepheler olarak sınıflandırılmıştır.

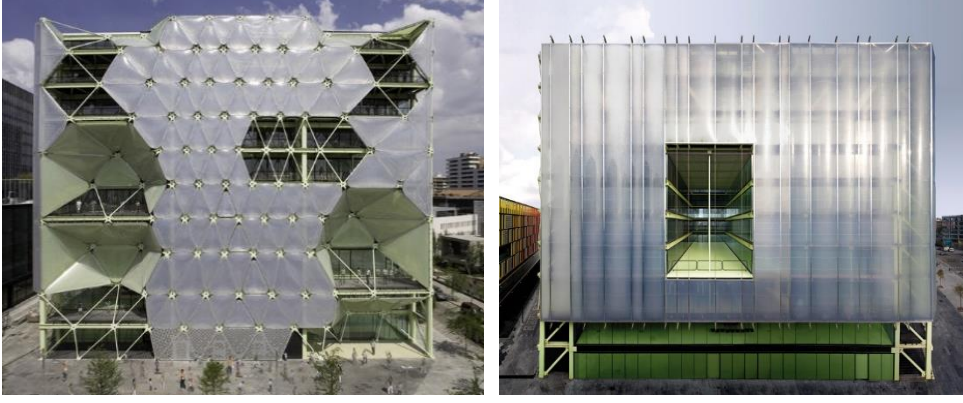


Şekil 3.31 : Media-ICT, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.

Güney doğu ve güney batı cephelerine konumlandırılmış dinamik ETFE paneller, Arduino yazılımına bağlı 104 adet sensörün, ısı ve ışık değerlerine göre programlandığı sistem tarafından, nitrojen gazı ile şişirilerek çevreye adapte olmaktadır (Şekil 3.32).

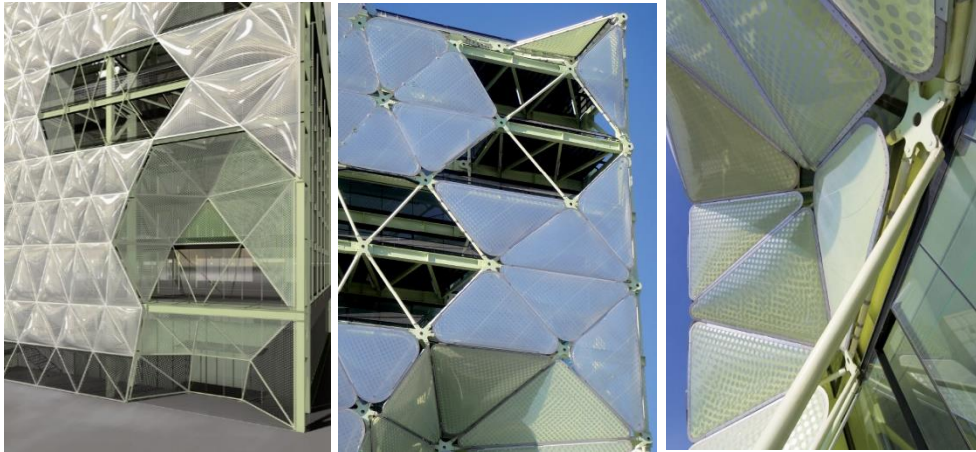


Şekil 3.32 : ETFE panel sistem mekanizması, Media ICT, Enric Ruiz Geli ve Cloud9, Barselona, 2011 (Albiñana, 2011).



**Şekil 3.33 :** Media ICT güney-doğu görünüşü (sol) ve güney-batı görünüşü (sağ) (Albiñana, 2011).

Güney batı cephesinde lineer formda, güney doğu cephesinde ise üçgensel formlarda tasarlanan ETFE paneller, dış katmanında gölgeleme amaçlı gümüş dairesel desenler ve iç katmanında yeşil renk ETFE'den oluşan iki katmandan üretilmiştir. Yapı, yaz aylarında, çok fazla doğrudan güneş ışığı aldığı anda, ETFE iç mekana UV ışınlarının girmesini azaltmakta ve ışık girişini düzenlemektedir. Paneller, kış aylarında ışık ihtiyacı olduğunda ise, güneş ışığının içeriye girme oranını arttırmaktadır. (Şekil 3.33 ve Şekil 3.34). Binanın cephesi, yapıya tüm mimari karakterini verirken, hem estetik bir etki sağlamakta, hem de iç mekan ve dış mekan arasındaki sıcaklık ve hava düzeylerini ayarlamaktadır. Ayrıca binanın çatısına fotovoltaik paneller yerleştirilmiştir.



**Şekil 3.34 :** Güney-doğu cephesi ETFE panel detayları (Albiñana, 2011).

Ayrıca yağmur suyu toplanarak, soğutma sistemi için kullanılmaktadır. Bina, karbon emisyonunu %87- %92 oranları arasında azaltarak sıfır emisyonu yakın değere sahip bir bina olarak oldukça önemlidir. Media-ICT, 2011 Dünya Mimarlık Festivali (WAF)'nde "Yılın Binası Ödülü"ne layık görülmüştür.

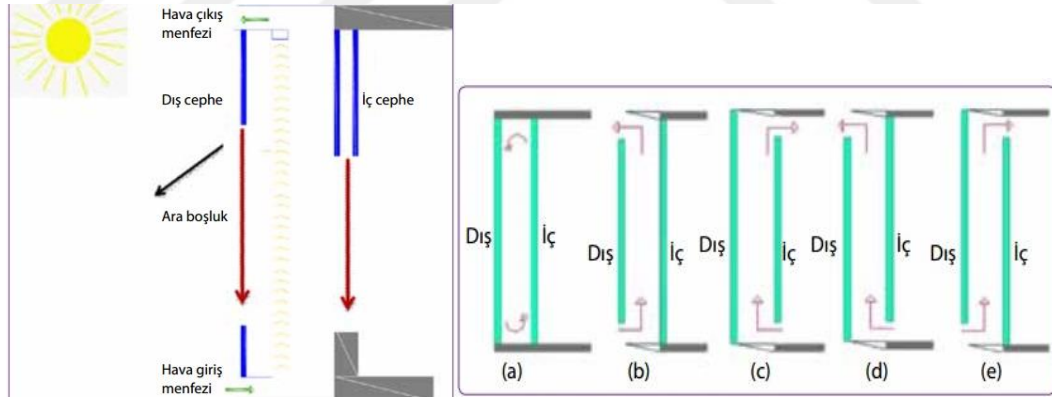
ETFE panellerle cephelerin ışık düzeyi kontrolü ve ısıl dengeleme amacıyla tasarlanmış yapılara ilişkin cephe örnekleri içerisinde; Norman Foster tarafından tasarlanan Glasgow'daki SSE Hydro Arena binası, Herzog & de Meuron'un Münih'deki Allianz Arena stadyumu, PTW mimarlık tarafından tasarlanan Beijing'deki Watercube ulusal yüzme merkezi yer almaktadır (Şekil 3.35).



Şekil 3.35 : Allianz Arena (Sol), Watercube (orta), SSE Hydro Arena (sağ) (Url-16).

### 3.3 Çift Kabuk Cephe Sistemleri

Çift kabuk cepheler, iç mekan ve dış ortam arasındaki iklim verilerini dengelemek için oluşturulan, iki cam cephe katmanı arasında iklim verileri ve bina niteliğine göre değişken genişlikte hava boşluğu bırakılması mantığına dayalı cephe sistemleridir (Şekil 3.36).



Şekil 3.36 : Çift kabuk cephe sistemi (Sol), çift kabuk sistem hava akış modları (sağ) (İnan ve Başaran, 2014).

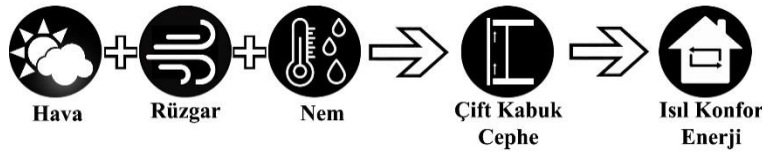
Özbalta (2005), bu kullanımın 1970'li yıllar sonrasında sorgulanmaya başladığını ve bu sistemlerin cephe oluşumlarında köklü değişimlere neden olduğunu belirtmiştir. Artan çevre kirliliğinin, ekolojik dengeler üzerindeki olumsuz etkisi ve gelişen teknolojiler paralelinde, çift kabuk cephe sistemleri ile ilgili çalışmalar da yaygınlaşmaya başlamıştır. Geliştirilen çift kabuk cephe sisteminin ilk örnekleri içerisinde, düzenlenen güneş kırıcı elemanlarla pencere yüzeyinin arasında yer alan bölümde hava sirkülasyonuna olanak veren boşluk bulunan ve günümüzün çevre

duyarlı binaları için önem taşıyan Reidy'nin Rio de Janerio'daki (1957) büro binası görülmektedir (Behling,1996).

Isıtma ve soğutma için harcanan enerjinin düşürülebilmesi ve ısı konforun sağlanması amacıyla kullanılmaktadır. Havanın iki cam katmanı arasında tampon görevi görmesi ile mekanik havalandırmanın en aza inmesi sağlanır. İklimsel verilere göre, hava boşluğundaki hava akışı ile ilgili farklı akış modları kullanılabilir. Tampon bölgenin tüm bina boyunca devam edecek şekilde uygulama yapılabileceği gibi kat boyunca da oluşturulabilmektedir. İki kabuk arasındaki boşluğun uzunluğu ve genişliği, iklim verilerine, binanın yüksekliğine, havalandırma tipine göre farklı boyutlarda uygulanmaktadır. Çift kabuk cephe sistemleri, iki cam arasındaki tampon bölge sistemine göre, “doğal havalandırmalı” ve “mekanik havalandırmalı” çift kabuk cephe sistemleri olarak ikiye ayrılırlar.

Kat yüksekliği boyunca devam eden çift cidarlı cepheleri, kutu pencereler, şaft-kutu cepheler ve koridor cepheler olarak üç ana başlıkta toplarken; bina yüksekliği boyunca devam eden çift cidarlı cepheleri; çok katlı çift cidarlı cepheler ve çok katlı panjurlu çift cidarlı cepheler olarak iki ana başlıkta toplamak mümkündür. (İnan ve Başaran, 2014).

Archs Ingehoven ve Overdiekund Partner mimarlık ofisinin tasarladığı, Almanya'daki 31 katlı RWE Yönetim Binası, doğal havalandırmalı çift kabuk cephe sistemi ile inşaa edilmiş projelerden biridir (Şekil 3.37).

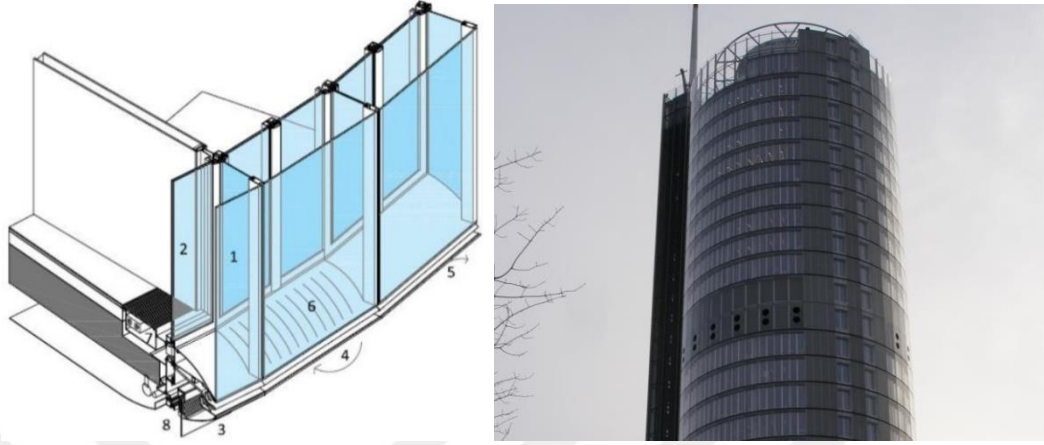


**Şekil 3.37** : RWE Yönetim Binası, statik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.

Çift kabuğun dış katmanı, kat düzeyinde tek tabaka camdır ve kutu pencere sınıflandırmasına girmektedir. İç cam kabuk ise çift camlı ve tüm yükseklik boyunca uzanmaktadır. Temiz hava zemin seviyesindeki havalandırma kanalı ile ara boşluğa ulaşmaktadır. Isınan hava, dış ve iç katman arasındaki balık ağzı biçimindeki profillerden dışarıya atılmaktadır. Böylece iki cam katman arasındaki havalandırma doğal bir yöntemle yapılarak ısı konfor sağlanmakta ve enerji tüketimini azaltılmaktadır (Şekil 3.38). Çift cidarlı cepheye ek olarak, binanın orta kattaki teknik katmanda merkezi havalandırma sistemi vardır.

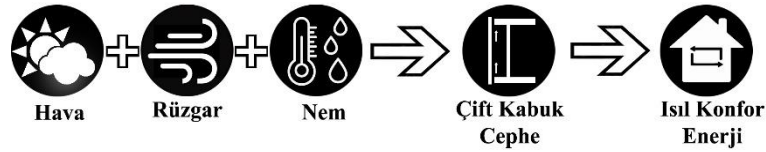


Hareketli adaptif cephe bileşenleri içermemesi ve iki cam katman arasında alınan hava ile yaratılan tampon bölge sisteminin doğal havalandırma sağlaması sebebiyle, statik adaptif cephe sınıfı içerisinde incellenmiştir.



**Şekil 3.38** : RWE yönetim binası genel görünüşü (sol), çift kabuk sistem detayı (sağ)  
Archs Ingehoven, Overdiekund Partner, Almanya, 1996 (D'Alençon, 2015).

Mekanik havalandırmalı çift kabuk cephe sistemi de yine yaygın olarak kullanılan bir sistemdir. Mekanik havalandırmalı çift kabuk sistem örneklerinden biri Frankfurt'daki Sauerbruch+Hutton'ın KWF Bankalar Grubu ofis binasıdır. 2010 yılında inşaatı tamamlanan projede iklim koşullarına göre, açılıp kapanan kapaklar ile adaptif bir sistem sağlanmıştır. İç mekan konforunu sağlamaya yönelik bir mekanik hareketli bileşenler kullanılarak, ısı konfor ve enerji etkinliği yükseltilmiştir (Şekil 3.39).



**Şekil 3.39** : KWF Bankalar Grubu ofisi, statik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.

15 katlı ofis yapısı çift kabuk cephe sistemine sahiptir ve kabuk sistemi içerisine yerleştirilen sensörler ile sıcaklığa, neme, rüzgara karşı adapte olabilmektedir. Çift kabuk arasındaki hareketli kapaklar, oluşan basınç durumuna göre bina ısı dengesini ayarlayacak şekilde açılıp temiz havayı tampon bölgeye almaktadır. Yapı sadece çift kabuklu cephesi ile değil aynı zamanda gün ışığı kullanımını üst düzeye çıkaran tasarımı, soğuk ve sıcak su ile ısı kazancını yükselten ve jeotermal ısı sistemi içeren döşeme plakaları, jaluzileri ile de enerji performansı yüksek yeşil binalar içerisinde

yer almaktadır. Cephede kullanılan farklı renk kombinasyonları ile de cepheye optik bir hareketlilik verilmeye çalışılmıştır (Şekil 3.40).



**Şekil 3.40** : KWF Bankalar Grubu, Frankfurt, 2010 (Mara, 2011).

### **3.4 Ses, Işık, Hareket, Kullanıcı Etkileşimli Adaptif Cepheler**

Tez kapsamında, adaptif cepheler, kullanıcı, ses, ışık, hareket etmenlerine sabit yapı bileşenleri ile cevap verme sistemine sahip cepheleri statik adaptif cepheler içerisinde, cephe bileşeninin verdiği cevabın kinetik bir sistem içermesine göre de dinamik adaptif cephe sınıfı içerisinde incelenmiştir. Belli bir çevresel uyarana veya kullanıcıya göre adapte olan bu cepheler, çevresel sesler, güneş ışığı, rüzgar, hava kirlilik düzeyi, kullanıcı hareketi gibi koşullara cevap vererek çevreye uyum sağlarlar. Bazı uygulamalarda, kullanıcının telefonuna indirebildiği bir uygulama aracılığıyla cephedeki aydınlatma (ledler) ve renklerini, medya ekranı özellikleri de kontrol edilebilmektedir.

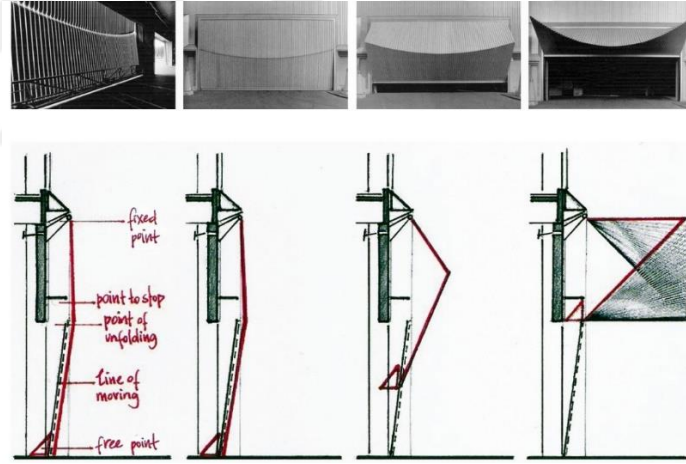
Tez kapsamında yapılan örnek incelemeleri sonucunda, adaptif bina kabukları üzerindeki araştırma ve çalışmalar ile uygulanan adaptif cephe bileşenleri ile ilgili, ağırlıklı olarak ısı konforunun sağlanmasının amaçlandığı görülmüştür. İklimsel verilerden güneş ışığı kontrolünün sağlanması için daha çok kinetik bileşenler içeren adaptif cepheler tercih edilirken, ısı konforunun sağlanması, medya ekranı veya cephe aydınlatmasının sağlanması, çevre sesleri gibi etmenlere adaptasyon ise genellikle statik bileşenlerle oluşturulan cephelerde tercih edilmiştir. Bu bağlamda dinamik

adaptif cephelerin iklimsel verilere daha etkin, hızlı ve esnek cevaplar verebildiği gözlemlenmiştir.

Baer (2009)'in belirttiği gibi son 30 yılda New Mexico'da cephede kullanılan kinetik gölgeme elemanlarının yaz ve kış aylarında enerji tasarrufu açısından, kinetik malzemeler kullanılmayan cephelere göre oldukça verimli oldukları saptanmıştır. Binaların tavanlarında ve duvarlarında kullanılan kinetik malzemeler ile kışın ısı kaybını azaltan, yazları ise aşırı sıcaklardan daha az etkilenilmesini sağlayan uygulamaların kullanımı günümüzde giderek artmaktadır.

Kinetik bileşenler içeren ilk uygulama örneklerinden Ernsting Warehouse and Distribution Centre, cephede uygulanan kinetik sistem çalışma prensiplerine yol göstermiş olması açısından önemli bir örnektir.

Calatrava'nın 1985 yılında kinetik yapı bileşenlerinde çubuk strüktürleri kullanarak tasarladığı Almanya'daki Ernsting Warehouse and Distribution Centre'daki sabit ve serbest nokta hareketlerinden oluşan kinetik bir garaj kapısıdır (Şekil 3.41).



**Şekil 3.41** : Ernsting Warehouse and Distribution Centre açılma mekanizması görüşleri (üst) ve sistem kesitleri (alt) (Yıldız, 2007).

Çubuk strüktürlerin katlanma mekanizmasına sahip bu yüzey, çubuk strüktürlerin dışbükey ve iç bükey biçiminde açılıp kapanacak şekilde tasarlanan bir sistemden oluşmaktadır. 13 m. x 5 m. boyutlarındaki garaj kapısı çubuk bileşenlerin katlanması ile açılır ve açılmanın tamamlandığı son aşamada bir kanopi halini alır. Bu anlamda farklı işlevler içeren kinetik bir yüzey tanımlanmaktadır. Yüzeyin oluşturduğu form, binadaki düzlemlerin mekanik dönüşümünü araştırmak için kinetik sistemlere

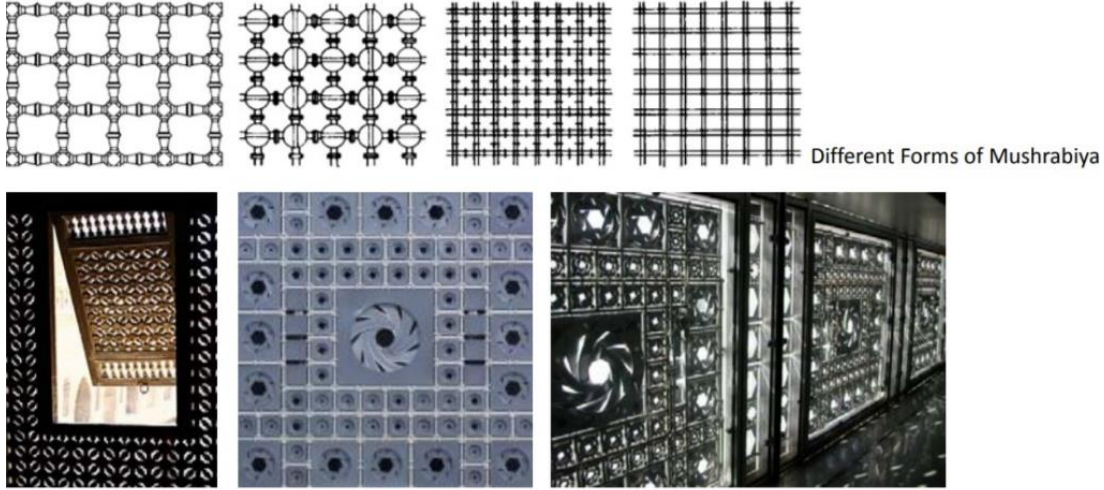
deneysel bir öneri niteliğindedir. Yüzeydeki strüktürlerin hareket sistemi açısından ilerideki dinamik adaptif cephe uygulamalarına fikir vermiştir.

Jean Nouvel'in Paris'te tasarladığı Institut du Monde Arabe (Arap Dünyası Enstitüsü) cephesi, iklime uyarlı olarak çalışan ilk hareketli panellerden oluşan cephe uygulamasıdır (Şekil 3.42).



**Şekil 3.42** : Arap Dünyası Enstitüsü, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.

1987 yılında Arap motiflerinden esinlenerek inşa edilen bu cephede, 24x10 cm. ebatlarındaki kare geometrideki metal hücrelerin tekrarı ile oluşturulan ve güneş ışığına göre kamera lensleri gibi açılıp kapanan bir sistemle çalışmaktadır (Şekil 3.43).



**Şekil 3.43** : Arap kültürü ve Arap Dünyası Enstitüsü cephe bileşenleri geometrisi arasındaki form ilişkisi (Su, 2010).

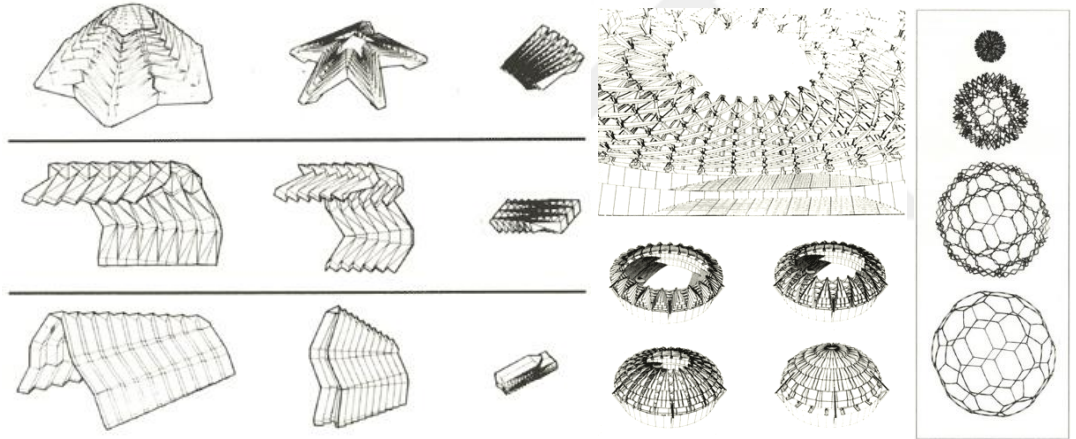
Cephe kinetik sistemi, 27 bin adet diyaframdan ve 113 metal panelden oluşmaktadır. Işık miktarı arttıkça kontrol sistemi bu gözenekleri kapatarak, iç mekana fazla ışık girişini engellemekte, ışık ihtiyacı olduğunda ise metal diyaframlar açılarak iç mekana ışık girişini sağlamaktadır. Bu sayede binanın konfor koşulları sağlanarak, enerji etkinliği arttırılmaktadır. Sistemde bir lens gibi çalışan metal bileşenler ışık ve gölgenin hem iç hem de dış mekanda dinamik bir cephe oluşturmasını sağlamıştır (Şekil 3.44).





**Şekil 3.44** : Arap Dünyası Enstitüsü genel cephe görünüşü ve cephe metal panel detayları (Url-17).

Chuck Hoberman da, kinetik çubuk strüktürler ve mekanizmaları ile kinetik yapılar üzerine birçok araştırma ve çalışma yapan önemli mühendislerden biridir. Akıcı bir biçimde katlanan, kayan veya dönmüşen kinetik mekanizmalar geliştirmiştir (Şekil 3.45).



**Şekil 3.45** : Chuck Hoberman'ın kinetik çubuk strüktür sistemlerine ilişkin eskizler (Lupton, 1991).

2008 yılında, küresel mühendislik firması Buro Happold ile işbirliği yapan Hoberman, yerleşik çevre için uyarlamalı teknolojiler geliştirmek üzere Adaptif Binalar Girişimi'ni (Adaptive Building Initiative - ABI) kurdu. ABI, ABD, Japonya ve Ortadoğu'da dinamik cepheler ve kinetik çatılar inşa etmektedir. ABI aynı zamanda duyarlı panel sistemleri üzerinde yoğunlaşan araştırma projeleri üzerinde çalışmaktadır. Özellikle adaptif cephe gölgeleme sistemlerine alternatif “Akıllı Yüzeyler” olarak adlandırdıkları kinetik cam ve metal yüzeyler geliştirmişlerdir. Saydam cam, bol miktarda doğrudan gün ışığına izin verir ve açık ile koyu arasında yüksek kontrastlı alanlar oluşturur. ABI, bu durumu engellemek ve dış mekandan iç

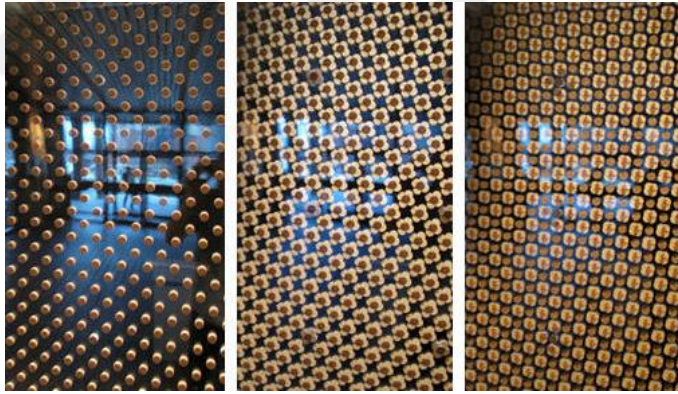
mekana kontrollü ışık girişini sağlamak için, “Adaptive Fritting” ve “Tessellate” sistemlerini geliştirmişlerdir (Şekil 3.46). Katmanlar arasındaki motorize kontrol ile gerçek zamanlı dinamik hareketin uygulanması esasına dayanmaktadır.

“Adaptive Fritting” şeffaflığını kontrol edebilmekte, opak ve saydam durumlar arasında geçiş yapabilmektedir. Bu performans, bir dizi cam ve metal tabakanın birbiri üzerinde kaydırılmasıyla elde edilmektedir. Böylece grafik deseni dönüşümlü olarak hizalanır ve ayrılır. Üst üste gelen cam katmanlardan oluşan sistem, gözenekler ve hareketin parametrelerini mikro ölçekte modüle etmektedir.



**Şekil 3.46 :** ABI’in Adaptive Fritting, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.

“Adaptive Fritting” adını verdikleri gölgeleme sistemleri, çeşitli düzeylerde saydamlık sağlamak için merkezi bir pim etrafında dönen bir dizi modülün oluşturduğu sisteme dayanmaktadır ve güneş girişi kontrolünü sağlamaktadır (Şekil 3.47).



**Şekil 3.47 :** ABI’in Adaptive Fritting, Harvard Tasarım Okulu cephe panelleri (Krymsky, 2011).

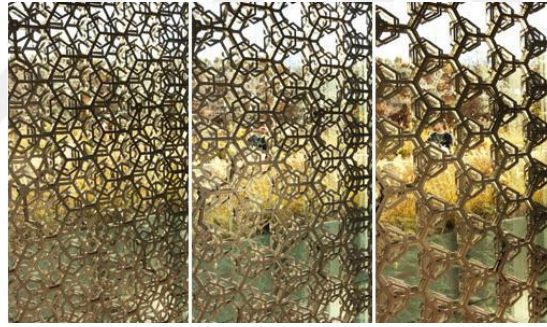
Chuck Hoberman’ın Buro Happold ile kurduğu ABI şirketinin bir diğer adaptif cephe sistemi ise, “Tessellate” metal gölgeleme sistemidir. SUNY Stone Brooke Enstitüsü ve Simons Geometri ve Fizik Merkezi Lobisi bu sistemin en iyi uygulama örnekleri arasında yer almaktadır. Tüm metal panellerin cephe boyunca yükseldiği cephede, üçgen, daire ve kare geometriler baz alınarak oluşturulmuş desenler içermektedir.



**Şekil 3.48 :** Tessellate perforate metal katmanları (Suner, 2011).

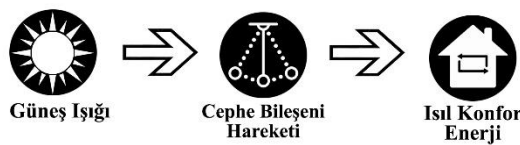
ABI'in Tassellate ismi ile markalaştırdığı bu panel çerçevesi perforate metal ya da plastik katmanlardan oluşmaktadır. Motorize bir mekanizma tarafından kontrol edilen bu katmanların üstüste örtüşmesi ya da ayrışması ile oluşan motifler kaleidoskopik bir görsel oluştururken, aynı zamanda panelin ışık geçirgenliğini de düzenlemektedir (Şekil 3.48). Panellerin opaklık oranı bu kontrolle %10 ile %85 arasında değişebilmektedir.

Simons Merkezi lobisinde 124 m<sup>2</sup>'lik bir cam alanı kaplayan Şekil 3.49'daki paneller, katmanların üstüste örtüşmesi ile lobideki ışık düzeyi ve ısı konforu sağlarken, oluşturdukları değişken motiflerle mekana hareket katmaktadır (Suner, 2011).



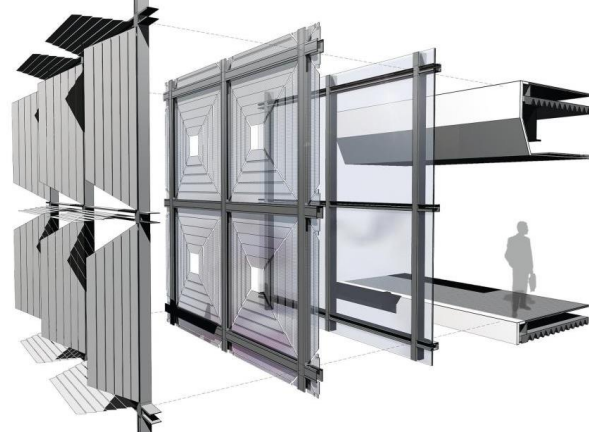
**Şekil 3.49 :** Tessellate cam panelleri, Simons Geometri ve Fizik Merkezi Lobisi, New York, 2010 (Krymsky, 2011).

Hoberman'ın ABI firmasının dinamik adaptif cephelere ilişkin tasarladığı "HelioTrace" sistemi, cam ve metal katmanlardan üretilen adaptif bir duvar sistemidir. Skidmore, Owings ve Merrill (SOM) mimarlık ve mühendislik firmasının işbirliği ile gerçekleştirilmiştir. 2010 yılında projelendirilen güneşe uyarlı ve mekanik hareket tabanlı cephe kurgusunda, üst üste katmanların bir bütün olarak cepheye entegre edildiği bir sistem oluşturulmuştur (Şekil 3.50).



**Şekil 3.50 :** HelioTrace dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.





**Şekil 3.51:** HelioTrace projesi 3 katmanın perspektif sistem detayı, (Skidmore ve diğ, 2010).

Hareketli gölgeleme elemanları, binanın cam bölümü ve mekanik hareket mekanizmasının, enerji kullanımını en aza indirmek için bir araya getirilerek çözümlendiği bir cephe sistemidir (Şekil 3.51). Yapılan testlerde, yaklaşık olarak %75' lik bir gölgeleme sağlamaktadır ve solar ısı kazancı etkilerini %81 oranında azaltmaktadır. İki dış katman tarafından gölgeleme sağlanmaktadır. Bunlardan biri opak cam veya metal paneller, diğeri ise %50 oranında delikli perfore metal panellerdir. Her iki yüzey de güneş hareketine göre programlanarak açılıp kapanmaktadır (Şekil 3.52).



**Şekil 3.52 :** HelioTrace geri çekilmiş paneller (sol), perfore panellerin açılması (orta), opak panellerin açılması (sağ), (Skidmore ve diğ, 2010).

“HelioTrace” sistem bileşenlerinin kapsamlı güneş analizini gerçekleştirilmiş ve üç ana hedef göz önünde bulundurulmuştur. Bu üç hedef, parlamayı en aza indirmek, güneş ışığını en üst düzeye çıkarmak ve güneş enerjisi kazanımını kontrol etmektir (Skidmore ve diğ, 2010). Hareketli katmanların güneş ışığı etmenine duyarlı şekilde değişmesi ile çevreye uyum sağlaması sebebiyle, dinamik adaptif cephe grubunda incelenmiştir.

Dinamik adaptif cephelerin, ışık kontrolünü sağlamak için düşeyde açılıp kapanma sistemine dayanan, bilinen önemli örneklerden biri Ernst Giselbrecht and Partner'ın 2007 yılında tasarladığı Avusturya'daki Kiefer Technic Showroom projesidir. Ofis ve sergi alanlarından oluşan yapının cephesinde ışık düzeyine göre, metal panellerin düşeyde katlanması ile güneşe göre adaptasyon sağlanmıştır (Şekil 3.53).



**Şekil 3.53 :** Kiefer Technic Showroom, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.

Alüminyum perfore metalden üretilen panellerin, güneşe uyarlı elektronik kontrolü, iç ortamın konfor düzeyinin kontrol edilmesini sağlamakta ve yapının uyarlanmasını mümkün kılmaktadır (Şekil 3.54).



**Şekil 3.54 :** Kiefer Technic Showroom genel görünüşü ve cephe detayı, Avusturya, 2006 (Marysee, 2016).

Kiefer Technic Showroom örneğindeki gibi hareketli bileşenlerinin cephe yüksekliği boyunca devam etmesi bağlamında benzer diğer bir örnek ise, Ocean - Thematic Pavilion projesidir. Soma tarafından Expo 2012 için Güney Kore'de inşaa edilmiştir (Şekil 3.55).



**Şekil 3.55 :** Ocean - Thematic Pavilion, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.

Düşeyde konumlandırılan bileşenler bağlamında, Kiefer Technic Showroom projesi ile benzerliğe sahip olmasına rağmen, malzeme olarak cephe konseptini sağlaması için esnek bir malzeme tercih edilmiştir. Hareketli düşey modüller, güneş ışığının fuayeye girmesini kontrol etmekte ve ard arda açılıp kapanması ile binanın tüm uzunluğu

boyunca dalga benzeri modellerin koreografisinin oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Okyanusun sonsuz bir yüzey olarak biçimlenmesi ve derinlerindeki deneyimlerinin yansıtılması kurgusundan yola çıkmıştır. Malzeme özelliklerinin hareket sürekliliğini akıcı olarak sağlayabilmek açısından, hareketli cephe modülleri cam elyaf takviyeli polimerden (GFRP - glass fiber reinforced polymers) imal edilmiştir (Şekil 3.56).



**Şekil 3.56 :** Ocean Thematic Pavilion, açık ve kapalı hareketli cephe panjurları, SOMA Architecture, Güney Kore (Url-18).

Cephe 140 metre uzunluğunda ve cephe bileşenleri yüksekliği 3 ila 13 metre yüksekliğindedir. Cephe, bir köşede sabit destekler ve diğer köşede uzatılabilir aktüatörler ile üst ve alt kenarında desteklenen 108 kinetik GFRP panjurdan oluşmaktadır. Panjurların aktüatörü, servo motor tarafından kontrol edilen bir vida milidir. Bu aktüatörler, üst ve alt kenarları birbirine doğru iter ve GFRP elemanın elastik bir şekilde bükülmesine ve yan tarafına doğru bir rotasyonun oluşmasını sağlar. Panjurlar, iklimsel bir işlevi yerine getirmekte ve kullanıcının ihtiyaçlarına bağlı olarak farklı çalışma modlarına da izin vermektedir. Çalışma modunda panjurlar ayrı ayrı harekete geçirilir ve cephe boyunca hareketli desenler oluşturur (Knippers ve diğ, 2012).

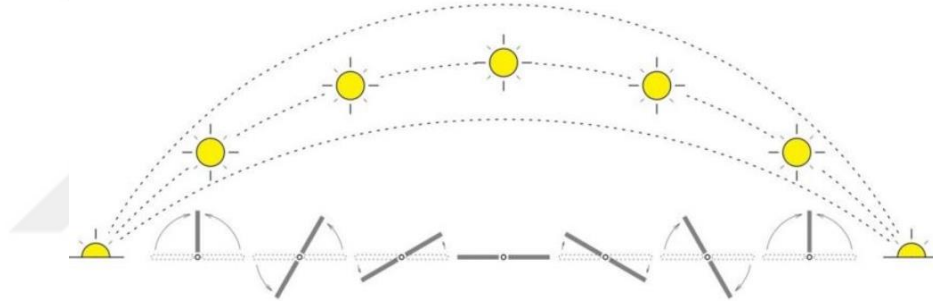
Açılma hareketlerinin görsel etkisi, lamellerin iç tarafına takılan ledlerle güçlendirilmiştir. Açık konumda, ledler yanındaki lameli aydınlatmaktadır. Böylece, biyonomik ilkelerle tutarlı bir etki yaratılarak, geometri, malzeme özellikleri, açılma açısı ve ışık birbirine sorunsuz entegre edilmiş, dinamik adaptif bir cephe sağlanmış olmaktadır.

ThyssenKrupp Headquarters-Q1 ofis yapısında da kinetik bileşenler içeren cephe sistemi ile ışık düzeyi kontrolü sağlanmıştır. JSWD Architekten ve Chaix&Morel et Associes mimarlık ofisleri tarafından 2010 yılında Almanya'da inşaa edilmiştir (Şekil 3.57).



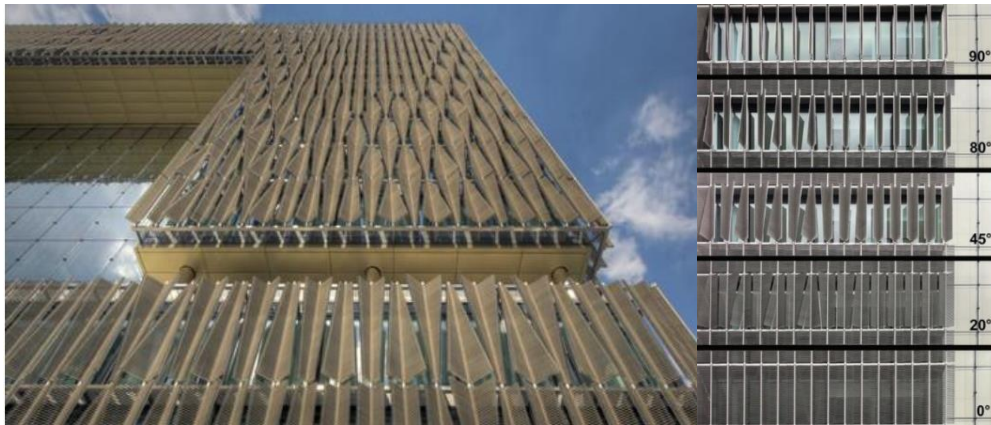
**Şekil 3.57 :** ThyssenKrupp Headquarters-Q1, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.

Bina konsepti iki bölümden oluşmaktadır. Öncelikle, güneşe karşı koruma sağlamak için sabit bir yatay bölüm öngörülmüştür. Bu bölüm bir yürüyüş platformu olarak da kullanılabilir. İkinci bölüm ise, dikey dönen ve bükülen cephe bileşenleri kanatlar setine sahiptir. Kanatlar, güneş gölgeleme sisteminin uyarlanabilir parçasını oluşturur (Şekil 3.58). Kanatlar, yatay bölümdeki profillerin bağlandığı merkezi bir konumlanma içerir. Cephe bileşenlerinin bükülmesi  $0^\circ$  ise cepheye paralel (doğrudan radyasyonun tamamen engellenmesi) ve cepheye dik  $90^\circ$  ise maksimum gün ışığı sağlanmaktadır (Marysee, 2016).



**Şekil 3.58 :** Güneşin konumuna göre cephe bileşenlerinin dönme hareketi, ThyssenKrupp Headquarters-Q1, Almanya, 2010 (Marysee, 2016).

Güneşin konumu ve hava koşullarına göre hareket eden ve çinko ile magnezyum kaplanan paslanmaz çelik cephe panelleri, rüzgara, yağmura, korozyona ve güneş ışığına karşı dayanımı yüksek bir yapıya sahiptir (Şekil 3.59).



**Şekil 3.59 :** ThyssenKrupp Headquarters-Q1 ön görünüşleri (Marysee, 2016).



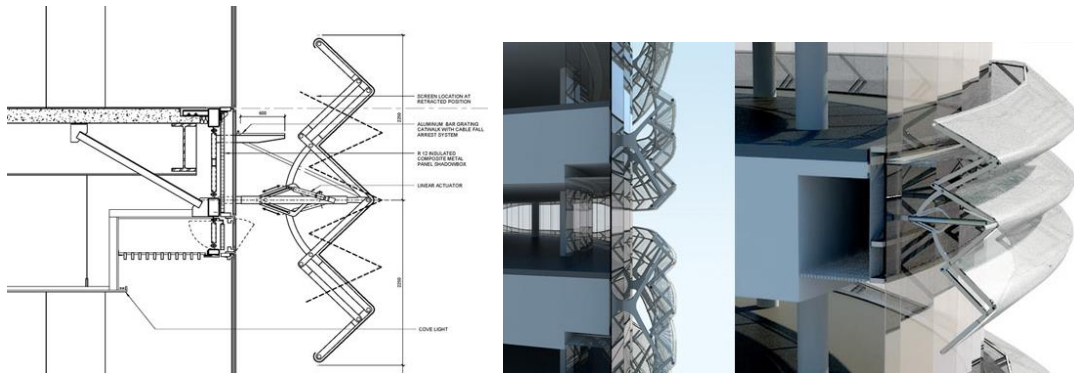
ThyssenKrupp Headquarters-Q1 binasındaki düşeyde konumlandırılmış hareketli cephe bileşenlerinin katlanma ve dönme mekanizmalarından farklı olarak, yatayda hareket eden cephe bileşenleri ile güneşe uyumlu uygulamalar da yapılmıştır. Güneş kontrolünün sağlanmasını yatayda katlanan kinetik sistemi ile sağlayan, Güney Kore'deki CJ Cheiljedang Araştırma ve Geliştirme Merkezi, bina formu boyunca devam eden sürekli bir cephe strüktürüne sahiptir. Yazdani Studio ve Cannon Design tarafından projelendirilen, şemsiye mekanizmasına dayalı tasarlanan perforé metal kaplanmış strüktürlerden oluşmaktadır (Şekil 3.60).



**Şekil 3.60 :** CJ Cheiljedang Araştırma ve Geliştirme Merkezi, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.

Güneş ışığına uyumlu üçerli gruplar halinde tasarlanmış, hareketli makas mekanizmasının yatayda çalışmasının bir diğer önemi, eğrisel üç blok halinde yapının sürekliliğini vurgulayıcı bir nitelik katmasıdır.

Sistem, birbirine bağlı 3 çift katlanabilen şeritten oluşmaktadır ve 3d Max yazılımı ile geliştirilmiştir. Her grup bina kat döşemesi hizasında konumlandırılmış ve tam olarak kapandığında bina iç mekanında yer alan araştırma laboratuvarlarını güneş ışığından korumak için, cephenin tamamını kaplayacak şekilde boyutlandırılmıştır (Şekil 3.61). Binanın katlanabilir bu katmanındaki kıvrımlar ve perforasyon, içerideki verimliliği en üst düzeye çıkarmak için dikkatlice düzenlenmiştir.



**Şekil 3.61 :** Kinetik cephe strüktürü şemsiye mekanizması sistem kesitleri, CJ Cheiljedang Araştırma ve Geliştirme Merkezi, Güney Kore (Michler, 2012).



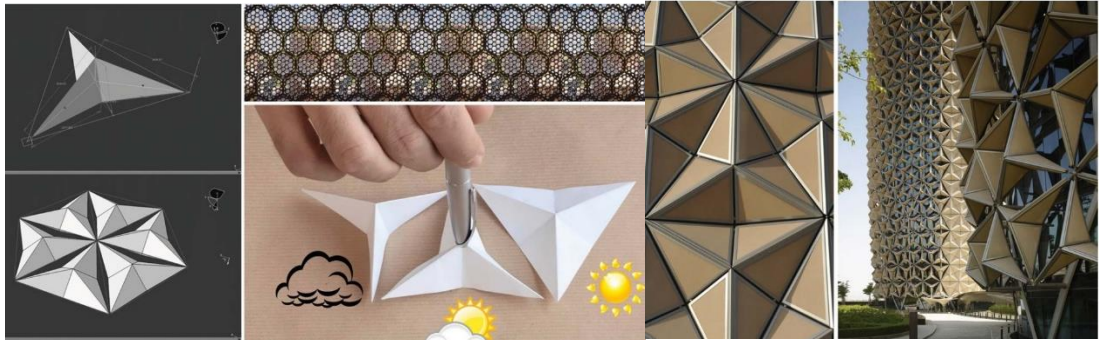
Üçerli gruplar halindeki şeritlerin binanın etrafını saran lineer bir yapısı olmasına rağmen, strüktürün mekanik hareket sistemi esnek bir yapıya sahiptir. Mekanik sistem, binanın bir bölümünde açık konumdayken, diğer bölümünde kapalı olabilecek şekilde çözümlenmiştir. 6 ana gölgeleme paneli itme ve çekme hareketini sağlayan ikincil strüktür mekanizmasına entegre edilmiştir (Michler, 2012). Projedeki kinetik sistem, açık, kapalı ve yarı açık olmak üzere üç farklı pozisyona sahip olması sebebiyle, maksimum esnekliğe sahip değildir. Bu anlamda düşeyde güneşe uyarlı hareketli mekanizmaya sahip olan ThyssenKrupp Headquarters-Q1 binasının, CJ Cheiljedang Araştırma ve Geliştirme Merkezi'ne göre ışık adaptasyon mekanizmasının daha yüksek hassasiyete ve esnekliğe ulaşabildiğini söyleyebiliriz.

Dinamik adaptif cepheler sınıfında gösterebileceğimiz CJ Cheiljedang Araştırma ve Geliştirme Merkezi ve ThyssenKrupp Headquarters-Q1 uygulamaları, hareket mekanizmaları ile ilgili farklılık gösterebilir de, her ikisi de güneş ışığına uyarlı hareketli cephe bileşenleri ile ışık düzeyi kontrolü sağlayan dinamik adaptif cephelerdir.

2012 yılında CTBUH Yenilik Ödülü kazanan, güneşe uyarlı dinamik adaptif cephe sınıfındaki önemli örneklerden biri de Abu Dabi'deki Al Bahr Kuleleri'dir (Şekil 3.62). Abdulmajid Karanouh ve Aedas Architects tarafından Arup mühendislik firmasının işbirliği ile projelendirilen bir ofis yapısıdır.

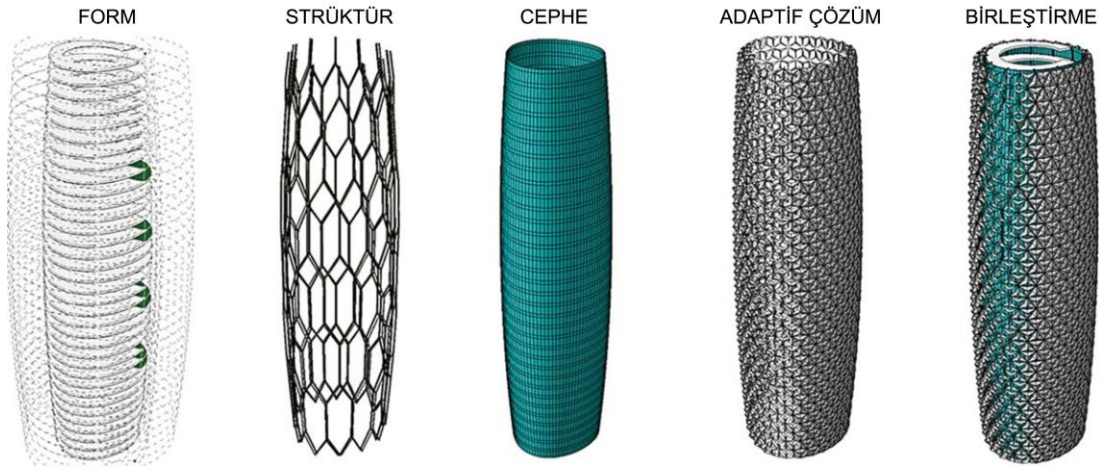


Şekil 3.62 : Al Bahr Kuleleri, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.



Şekil 3.63 : Geçmişten ve uyarlanabilir doğal sistemlerden esinlenerek oluşturulan dinamik mashrabiya modülünün katlanma ve açılma konsepti ve cephedeki görünüşü (Karanouh ve Kerber 2015).

29 katlı ikiz kuleler olarak planlanan ve Körfez Bölgesi'nde LEED Silver belgesini alan bu yapıdaki güneş ışığına uyarlı hareketli cephe bileşenleri, geleneksel Mashrabiya mimari tarzını yansıtan geometrik desende tasarlanmıştır (Şekil 3.63). Güneş ışığına uyarlı dinamik gölgeleme sisteminin her bir bileşeni, katlanabilir altı üçgen çerçeveden oluşmaktadır ve merkezi olarak konumlandırılmış aktüatör ve piston aracılığıyla açılıp kapanmaktadır. Cephe, güneş pozisyonuna tepki veren hareketli bileşenleri oluşturan yarı saydam şemsiye benzeri PTFE (politetrafloroetilen, teflon kaplı dokuma cam elyafi membran) panellerden oluşmaktadır. Paneller güneş ışığı ve rüzgara oldukça dayanıklıdır ve çöl kumunun rengi ile özdeşleştirilecek renkte planlanmıştır.

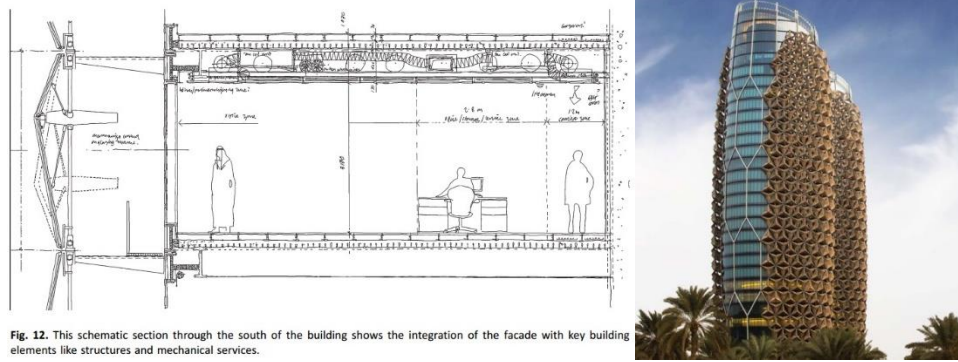


**Şekil 3.64 :** Bina geometrisi ve cephe üzerine adaptif sistem entegrasyonu (Karanouh ve Kerber 2015).

Doğu, güney, batı cephelerine, cepheden 2 metre açıkta konsol strüktür sistemi üzerine her kule için toplamda 1049 adet bileşen monte edilmiştir. Strüktür sistemi esnekliği dinamik bileşen hareketleri tarafından emilecek şekilde çözümlenmiştir. Sistemdeki her bileşen aktüatörü, bir ampulden daha az enerji kullanmaktadır ve mekanizmayı katlayarak %85'e kadar net bir açıklık sağlamaktadır (Şekil 3.64).

Yazılım sistemi, acil durum, bakım gereksinimi veya gösteriler amacıyla operatörün elle müdahalesine izin verecek şekilde planlanmıştır. Her ünite, kendi aktüatöründe bulunan konumlandırma sensörlerine bağlanan ekran üzerinde bir konuma ve kimliğe sahiptir. Yazılım, her kulenin tepesinde bulunan ışık, rüzgar ve yağmur olmak üzere üç ana sensöre bağlıdır. Sistem, rüzgar hızı, ışık şiddeti, yağmur seviyeleri, hatalı üniteler, katlama konumları dahil olmak üzere operatöre geri bildirim sunar. Bu geri bildirim önceden belirlenmiş programı geçersiz kılmak ve bir fırtına gibi olağan dışı

koşulların meydana gelmesi durumunda cephe ünitelerini orta katlama pozisyona getirilmesini sağlamaktadır (Karanouh ve Kerber 2015).



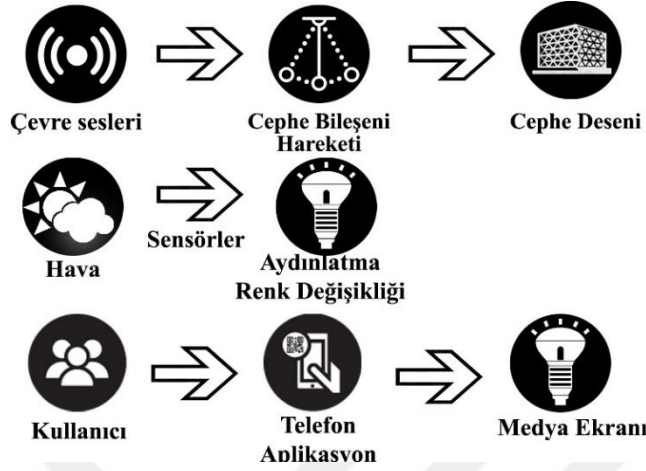
**Şekil 3.65 :** Dinamik bileşenler cephe sistem kesiti (sol) ve bina genel görünüşü, Al Bahr, Abu Dabi (Karanouh ve Kerber, 2015).

Al Bahr Kuleleri, dinamik adaptif yapısını düşey veya yataydaki strüktürlere entegre edilen bileşenlerden oluşan sistemler yerine, altışarlı üçgen modülün katlanması sistemi ile sağlamaktadır. Bina cephesi üzerine düşen güneş ışığına noktasal olarak da cevap verebilmektedir. Ayrıca rüzgar ve yağmur sensörleri ile farklı çevresel etmenlere de cevap verebilme kabiliyetine sahiptir. Bu özellikleri ile güneşe uyarlı yapılar içerisinde daha kompleks dinamik adaptif bir sisteme sahip olduğunu söyleyebiliriz (Şekil 3.65). Güneş ışığı verilerine, cephe bileşenlerinin katlanarak açılma veya kapanma sistemine dayalı adaptif cepheler olması sebebiyle dinamik adaptif cepheler sınıfında incelenmişlerdir.

Tez kapsamında incelenen örnekler çerçevesinde, güneş ışığına uyarlı sistemlerin büyük bir çoğunlukta, hareketli cephe bileşenlerinin açılıp kapanma, dönme, katlanma, ileri-geri hareket mekanizması ile adaptasyon sağladıkları gözlemlenmiştir. Genellikle güneş ışığının etkilerini azaltarak, bina iç mekan gölgelemesini ve ısı konforunu sağladıkları görülmüştür. Işığa uyarlı cephelerde, öncelikli olarak hareket üzerinden adaptasyon sağlanırken, hareketli bileşenlerin akıllı malzemeler ile birlikte kullanıldığı uygulamalar da bulunmaktadır.

Adaptif cepheler ve kinetik sistem mekanizmaları üzerine, özellikle ses ve kullanıcı etkileşimleri konusunda farklı araştırma ve çalışmalar yapan Estúdio Guto Requena, Sao Paulo’da 2015 yılında Hotel WZ Jardins’i tasarlamıştır (Şekil 3.66). 1970 yılında inşa edilen 30 katlı bu otelin cephesi, Estúdio Guto Requena tarafından yeniden projelendirilerek, dinamik adaptif bir cephe sistemi ile kentsel bir imge haline dönüştürülmüştür.

Projedeki ana kurgu, bina dış cephesinin çevresel etkilere tepki verebilmesidir. Ses, hava kirlilik düzeyi ve kullanıcıya göre cephenin tepki vererek etkileşimli bir şekilde kendini dönüştürebildiği bir yapıya sahiptir.



**Şekil 3.66 :** Hotel WZ Jardins, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.

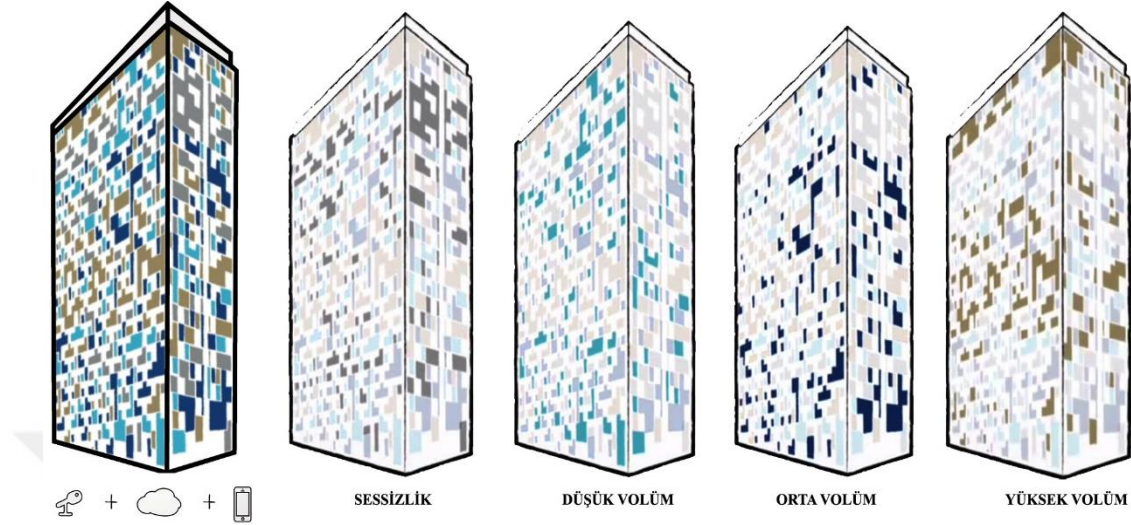
Guto Requena, "Luminous Creature" (ışılıklı yaratık) adını verdikleri metal panellerle farklı uyaranlara tepki verebilecek şekilde kendine özgü bir adaptif cephe tanımlamışlardır. Cephe bileşenleri, gün boyu bina çevresinde konumlandırılmış ses sensörlerinden gelen verilere göre formunu ve hareketini değiştirmektedir (Şekil 3.67). Grasshopper parametrik modelleme programı kullanılarak binanın dijital modeli oluşturulmuştur ve her bir metal panelin kontrolü Grasshopper'a aktarılan ses verilerine göre kontrol edilerek, hareketi sağlanmaktadır. Hava sensörü ise, hava kirliliğinin yoğunluğuna göre cephede konumlandırılmış ledlerin renklerini değiştirecek şekilde programlanmıştır.



**Şekil 3.67 :** Bina etrafına yerleştirilen ses sensörleri ile 24 saat yapılan çevre ses kaydının grafik anlatımı, Hotel WZ Jardins, Brazil, 2015 (Requena, 2015).



Cephe, mobil telefonlara yüklenen bir aplikasyon ile de kullanıcı ile etkileşime geçerek kişisel telefon üzerinde simüle edilmiştir ve dokunmatik olarak yapılan değişikliklere göre farklı dokular ve renkler oluşturmaktadır.



**Şekil 3.68** : Metal panel renkleri ve ses temsilleri, Hotel WZ Jardins (Requena, 2015).

Metal panellerden altın sarı renge sahip olanlar yüksek volümü, lacivert orta volümü, açık mavi düşük volümü ve gri metal paneller en düşük volümü yani sessizliği ifade etmektedir (Şekil 3.68). Cephenin pikselleştirilmesi kurgusu ile tasarlanan bu panellerle tamamı kaplanmış olan bina, sesin görsel olarak yeniden tariflenmesini sağlayarak, kent ile ses üzerinden etkileşime geçmektedir. Paneller üzerine yerleştirilen düşük enerjili led ışıklar ile hava kalitesi ve kullanıcı etkileşimi sağlanmaktadır (Şekil 3.69).



**Şekil 3.69** : Renkli metal panellerin cephedeki genel görünüşü (sol), led aydınlatma ve renk dağılımının gece genel görünüşü (sağ) (Requena, 2015).

Guto Requena (2015) proje ile ilgili olarak şöyle demiştir: “Sensör, çipler, mikrodenetleyici ve LED şeritleri takarak özgün mimariyi hackledik ve cephenin

uyaranlara kendi tepkisini vereceği ve São Paulo halkını kendi davranışlarını düşünmeye davet edeceği şekilde interaktif ve iletişimsel hale getirdik”.

Dinamik adaptif cephenin, ses ve hava kalitesine uyarlı yapısı ile çevresel etmenlere karşı kendini uyarlayabilen bir cephe yaratılırken, diğer yandan kullanıcı etkileşimli yapısı ile bir medya ekranına dönüşmesi sağlanmıştır. Adaptif yapısını öncelikle kenttin ses seviyeleri ve hava kirlilik düzeyleri üzerinden sağlaması sebebiyle giderek büyüyen kentler için önemli bir adaptif cephe uygulamasıdır.

Aynı zamanda, cephenin kullanıcı etkileşimli interaktif aydınlatma sistemine sahip yapısı ile, kentte yaşayan insanlarla görsel etkileşimli bir adaptasyon sağlanmıştır (Şekil 3.70).



**Şekil 3.70 :** Hava kalitesi ve led aydınlatma renk dağılımı (sol), telefon uygulaması ile cephe led aydınlatması etkileşimi (sağ) (Requena, 2015).

Dış cephe aydınlatma sisteminin kullanıcı uyarlı etkileşimini uygulama yerine programlanmış bir ekran aracılığı ile kuran uygulamalardan biri de Peru'daki Banco del Creito Peru (BCP) binasıdır (Şekil 3.71).



**Şekil 3.71 :** Banco del Creito Peru, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.

Bankanın merkez binası olan bu projede, aydınlatma tasarımları Claudia Paz ve Nicholas Cheung tarafından yapılan transparan bir ışık sistemi ile banka kimliğini yeniden oluşturacak cephe kabuk sistemi oluşturulmuştur. Cephe, çoklu dokunma sensörleri ve etkileşimli bir aydınlatma kontrol sistemi içermekte ve dış mekana

konumlandırılan interaktif led ekran ile kontrol edilmektedir. Böylece, binanın kentsel interaktif bir tuval olması amaçlanmış, şehirde yaşayan insanlarla arasında görsel ilişkinin kurulduğu bir medya ekranı yaratılmıştır (Şekil 3.72).

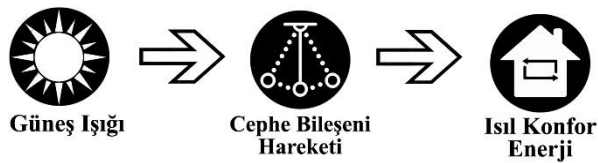


Şekil 3.72 : Banco del Creito Peru, Peru, 2010 (Wang, 2014).

Hotel WZ Jardins cephesinin, çevresel seslere metal panellerin hareketleri ile verdiği dinamik cevabın yanında, hava kalitesi düzeyine led aydınlatmaların renk değişimi ile verdiği cevap ile hem statik hem de dinamik adaptif cephe sınıflandırması içerisinde yer verilmiştir. Banco del Creito Peru cephesi ise, bina önünde konumlandırılmış led ekran aracılığıyla kullanıcı etkileşimli aydınlatma sistemi ile cevap vermesi sebebiyle statik adaptif cepheler içerisinde incelenmiştir.

Cephedeki adaptif medya ekranının led aydınlatmalar yerine, güneş ışığı kontrolünü sağlayan adaptif cephe bileşenleri ile düşük çözünürlüklü medya ekranına dönüştürüldüğü proje ise, “Hybrid Responsive Facade” projesidir.

Hybrid Responsive Facade projesi, Jules Moloney tarafından yönetilen, Disiplinlerarası Tasarım, Mühendislik ve Mimarlık laboratuvarı (IDeEA LAB - The Interdisciplinary Design environments for Engineering and Architecture laboratory) tarafından geliştirilmiştir. IDeEA LAB, projede iç mekandaki kullanıcıların da kontrol sistemine müdahale edebildiği, bireysel mikro iklimler sağlanabilmesine olanak sağlanacak bir sistem sağlanmıştır (Şekil 3.73).



Şekil 3.73 : Hybrid Responsive Facade, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.



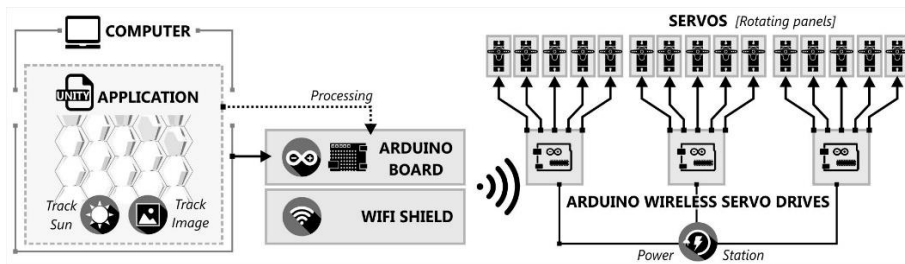
Cephede led aydınlatmalar kullanılmamasının sebebi, aynı zamanda maliyeti düşürmeye yönelik çözümler üretilmesinin amaçlanmış olmasıdır. Çalışanların verimini arttırabilmek ve konforu sağlayabilmek için, bir kontrol arabirimi oluşturulmuştur ve sistemin aynı zamanda bir medya ekranı olarak çalışması düşünülmüştür (Şekil 3.74).



**Şekil 3.74 :** Dinamik adaptif sistem mekanizması, Hybrid Responsive Facade (Globo, 2017).

Sistemin özellikle kullanılabileceği ve potansiyel endüstri olanağı sağlayabilecek yapılar arasında, gayrimenkul geliştiricileri, büyük şirketler ve kamu binaları öngörülmüştür. Çalışanlar mobil telefon uygulaması ile kendi kişisel konforları ve tercihlerine göre güneş ışığını kontrol edebilmektedirler.

İnteraktif kontrollerin testleri ve hızlı bir şekilde prototip üretilmesini sağlamak amacıyla, yazılım olarak Unity oyun motoru kullanılmıştır. Bunlar arasında, güneş takip sistemi, cephe bileşenlerinin gri tonlama değerini rotasyon hareketine eşleyen bir görüntü çeviri programı ve cephe parçalarının bağımsız olarak kontrol edilmesini sağlayan (mikroklima kontrolü taklit eden) akıllı telefon uygulaması bulunmaktadır (Şekil 3.75).

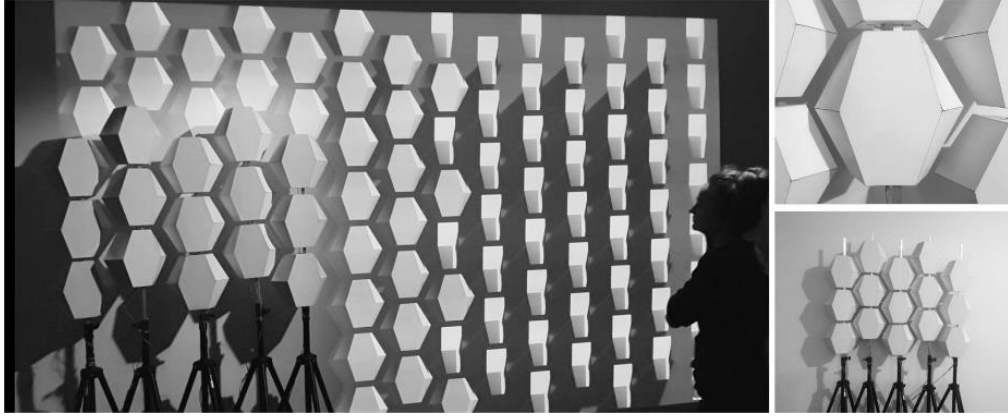


**Şekil 3.75 :** Unity ve Arduino yazılımı çalışma sistemi, Hybrid Responsive Facade (Globo, 2017).

Yazılım simülasyonu, her biri 9 servo kontrolörü çalıştıran ve 5 servo kontrolöre kablosuz olarak iletişim kuran, bir Arduino mikro kontrolörüne bağlantı kurmaktadır. Cephe bileşenlerinin biçimsel konfigürasyonlarıyla ilgili bir çok araştırma ve inceleme



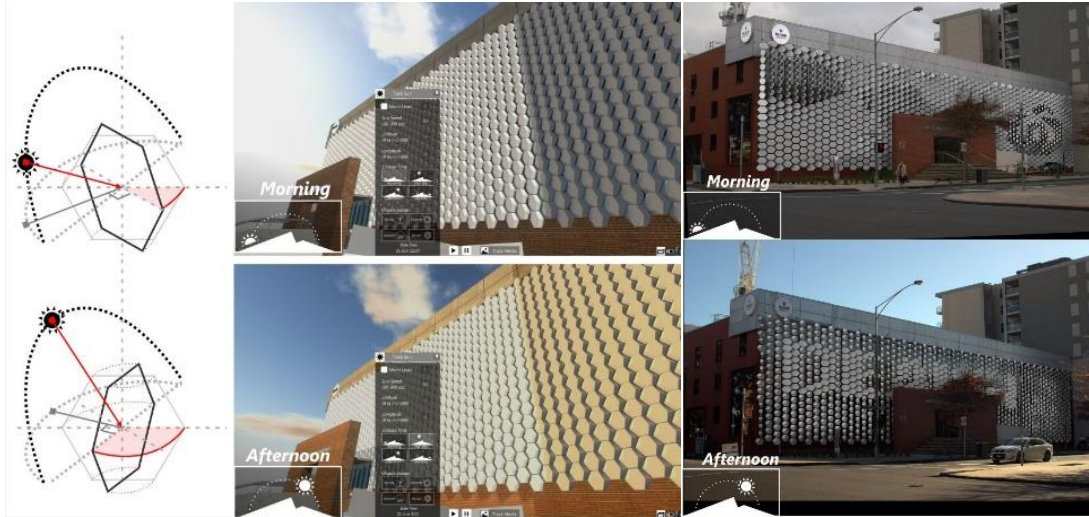
yapılmıştır. Belirli bir ızgara sistemi içerisindeki dönme hareketi ile en iyi kontrast sağlanması nedeniyle, cephe bileşenleri için altıgen geometrideki biçime karar verilmiştir. (Şekil 3.76).



**Şekil 3.76 :** Hareketli cephe modülleri prototipi, Hybrid Responsive Facade (Globa, 2017).

Araştırma çerçevesinde amaç, cephe bileşenlerinin düşük bakım ve üretim maliyetlerine odaklanılarak, sıfır enerjili ticari binalar üretebilmek ve onlara mikro-çevre kontrolü, medya ekranı ve hareket estetiği ile ayrı bir değer sağlayabilmektir.

Hybrid Responsive Facade projesinde, güneş ışığına uyarlı hareketli cephe bileşenleri ile gölgeleme ve iç mekan konforu sağlanırken, aynı zamanda bu cephe bileşenlerinin medya ekranına dönüşebilmesi fikri ile de diğer projelerden ayrılan bir dinamik adaptif cephe önerisidir (Şekil 3.77).



**Şekil 3.77 :** Hybrid Responsive Facade cephe bileşenlerinin güneşe göre hareketi (sol), cephe medya ekranı görünüşü (Globa, 2017).

Herzog ve De Meuron'un Pritzker ödülü kazandığı projesi Signal Box, statik adaptif sınıfında inceleyebileceğimiz, farklı çevresel etkileşime sahip örneklerden biridir.



**Şekil 3.78** : Signal Box, statik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.

Gün ışığı girişine engel olmayacak şekilde, bakır şeritlerin bina dış cephesine sarılması ile iç mekanın elektro-statik etkiden korunması amaçlanmıştır (Şekil 3.78).

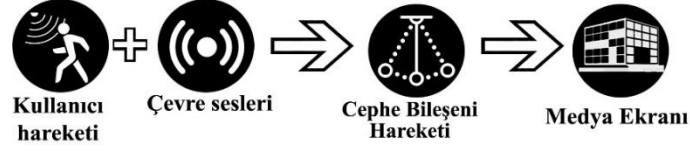


**Şekil 3.79** : Signal Box genel dış cephe görünüşü (sol), bakır şerit detayı ön cephe görünüşü (orta), yan cephe görünüşü (sağ), (Blankenbeler, 2015).

20 cm. genişliğindeki bakır şeritler, cephede binanın ışık girişine ihtiyacı olan bölgelerinde bükülmektedir. Binanın adaptif özelliği ise, dış cephe kaplamasının, iç mekandaki elektronik ekipmanı, trenlerin geçiş anında oluşan elektro-statik enerjiden korumasıdır. Bir çeşit Faraday kafesi (içteki hacmi dışardaki elektrik alanlardan koruyan ağ biçimindeki yüzey) sistemi üzerine kurulu bir cephe kabuğu oluşturulmuştur. Signal Box projesi, bina önünden geçen trenlerin hareketine uyarlı bir şekilde, bina iç mekanında statik elektriğe karşı bir koruma sağlaması sebebiyle, statik adaptif cephe sınıfında incelenmiştir (Şekil 3.79).

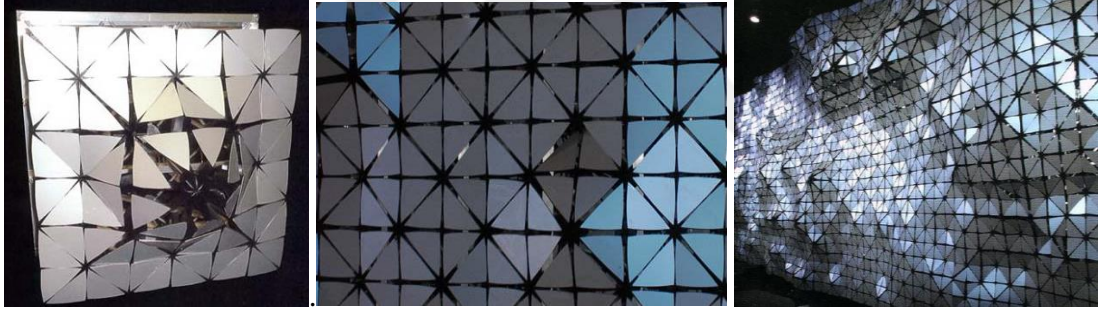
Signal Box projesindeki trenlerin hareketine göre adaptif hale gelen cepheden farklı olarak, çevresindeki hareketlere yüzey bileşenlerinin hareketi ile cevap veren örneklerden biri ise “Aegis Hyposurface” projesidir (Şekil 3.80).

Akışkan bir yüzey oluşturma kurgusu üzerinden tasarlanan Aegis Hyposurface projesi, kullanıcı hareketine karşı, yüzey bileşenlerinin hareketi ile tepki vererek adapte olması yönüyle önemli örneklerden biridir.



**Şekil 3.80** : Aegis Hyposurface, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.

Mark Goulthorpe ve dECOi tarafından Arup mühendislik firmasının işbirliği ile üretilmiştir. Birmingham Hipodrom Tiyatrosu tarafından açılan bir yarışma için tasarlanan projenin amacı, çevre ses ve hareket verilerine kendi yüzey hareketleri ve renk değişimleri ile cevap veren, iç mekandaki etkileşimin dışa yansıtılmasını sağlayan bir yüzey ve aynı zamanda medya ekranı yaratmaktır. İç mekandaki hareketlerin, insan yoğunluğunun ve gürültünün, yüzey bileşenlerinin sürekli değişen dinamik hareketleri ile çevresine uyum sağlaması kurgulanmıştır. Proje, yüzey bileşenleri ve bir kontrol sistemi olmak üzere iki ana bileşeni içermektedir. Yaklaşık 1000 adet alıcı ve verici konumlandırılmıştır. Küçük metal plakalar ve elektronik verilerle etkileşime giren kontrollü pnömatik bileşenlerden oluşmaktadır (Şekil 3.81).



**Şekil 3.81** : Aegis Hyposurface modül detayı (sol) ve genel görünüşleri (orta ve sağ), (Url-19).

Projedeki dinamik sistemin nasıl davranacağı ve yüksek hızlı deformasyona sahip sağlam, ancak esnek bir yüzeyin nasıl tasarlanacağı sorunu üzerinde çalışılmıştır. Multidisipliner olarak matematikçiler, mühendisler, bilgisayar programcıları ile kinetik mekanizması geliştirilen sistemde yüzeyler, mümkün olan en küçük boyutlara bölünerek hareketin akışkan olması sağlanmıştır. Aradaki yüzeyler pistonlara değil, sadece diğer yüzeylere bağlanmıştır (Goulthorpe ve diğ., 2001).

Projenin hareket ve sese uyarlı sistemi, üçgenel yüzeylerin çok yönlü hareketleri ile dinamik bir desen, metin ve görüntü oluşturarak tepki veren, dinamik adaptif cephelere alternatif bir öneri niteliğindedir.

Çevresel etkenlere uyarlı cepheler üzerine araştırma ve çalışmalar yapan mimarlar, mühendisler, araştırma grupları ve üniversite stüdyolarının ürettiği enstalasyon ve prototipler incelendiğinde, ses uyarlı çalışmaların, güneş ışığı uyarlı olanlara oranla daha az olduğu görülmüştür.

IAAS (Institute for advanced architecture of Catalonia) araştırma projeleri içerisinde, Sofia Kcomt'un tasarladığı Sound Wave araştırma projesi ses verilerine uyarlı bir cephe sistemi geliştirilmesi üzerinedir (Şekil 3.82).



**Şekil 3.82 :** Sound Wave, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.

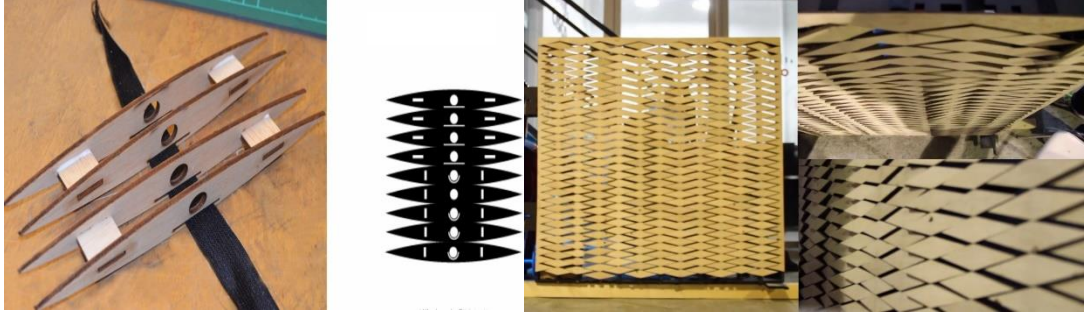
Sound Wave projesinde, kentlerin ürettiği gürültüden yola çıkılmış, ses dalgalarının sayısal verileri elde edilerek, cephe bileşenlerinin çevresel seslere göre hareket etmesi amaçlanmıştır (Şekil 3.83).



**Şekil 3.83 :** Kentin ses diyagramı ve yüzey formu oluşturulması (Kcomt, 2014).

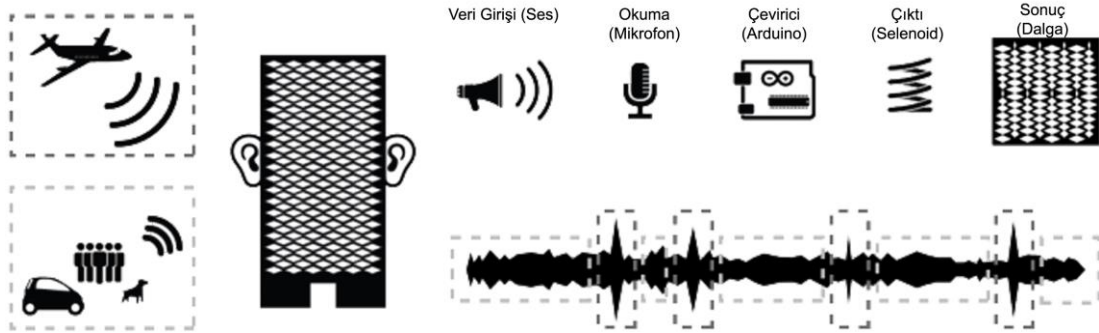
Projenin ana fikri, binanın, insanların, araçların genel olarak kentin ses dalgalarından hareket üretilerek dinamik adaptif bir cephe üretilmesidir. Cephe bileşenleri için, hareket ve elastiklik potansiyelleri açısından, farklı birçok malzeme ve biçim denemeleri yapılmıştır. Karar verilen malzeme üzerinden üçgen cephe bileşenleri cnc ile kesilerek oluşturulmuştur. Sistemin hareket mekanizmasında, hesaplanan ortalama ses değeri baz alınmıştır. Bu ortalama ses değerinin üzerinde gelen yüksek bir ses basıncı seviyesi, cephedeki bileşenlerin hareket etmesini sağlayan bir tetikleyici olarak çalışmaktadır. Proje, prototip çalışmaları ile geliştirilmiştir (Şekil 3.84).





**Şekil 3.84 :** Hareketli cephe bileşenleri plan ve perspektif görünüşü (sol), üretilen prototipin genel görünüşü (Kcomt, 2014).

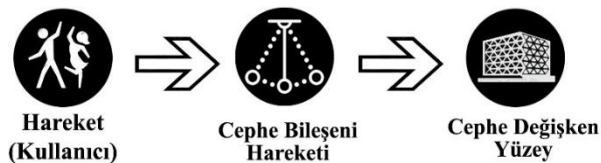
Mekanizma, solenoidler (elektro-mekanik valf) tarafından harekete geçirilir. Arduino yazılımına bağlı ses sensörleri tarafından, ses girişinin ölçülmesi ile birlikte hareketi ayarlayarak, parçaları belirli noktalarda itmek için yerleştirilirler. Yazılımdaki kodda belirli bir desibel ortalamasını hesaplayan Arduino'ya bağlanan sensör, hareketi oluşturmak için solenoidleri tetiklemektedir (Şekil 3.85). Bu solenoidler, bir dalga şeklinin yeniden yaratılmasına izin veren bir gecikmeyle çalışmaktadır (Kcomt, 2014).



**Şekil 3.85 :** Sound Wave, sistem çalışma mekanizması (Kcomt, 2014).

Ses verilerinin seviyesine göre cephe bileşenlerinin hareket etmesinin kurgulandığı örneklerde genellikle bina performansı yerine estetik ve dinamik bir cephe oluşturma amacı güdülmektedir. Bu örneklerde, kent ile yapı arasında, cephenin hareket eden bileşenleri ile görsel bir etkileşim sağlanması amaçlanmıştır.

İncelenen uygulamalar içerisinde, kullanıcıların döşeme üzerindeki hareketine göre cephe bileşenlerinin de hareket ederek dinamik bir cephe oluşturduğu diğer bir örnek ise, 2016 yılında yapılan Rio'daki Dans Pavyonu'dur (Şekil 3.86).



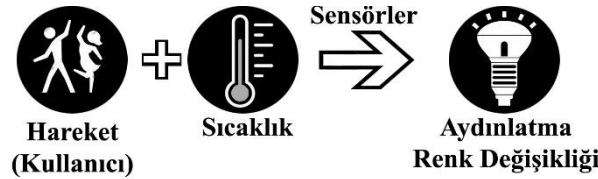
**Şekil 3.86 :** Rio Dans Pavyonu, dinamik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.

Ses, ışık ve kullanıcı etkileşimli bileşenler üzerinde çalışan Brezilyalı ofis Estudio Guto Requena'nın, kullanıcı hareketlerini algılayacak şekilde tasarladığı sistem, cephede tekrar harekete dönüşmektedir. Rio'da Barra Olimpiyat Parkı'nda uygulanan dans pavyonunda, dış cepheye yerleştirilen farklı renklerdeki dairesel aynalar, dans pisti döşemesindeki hareket sensörlerinden gelen bilgiye göre kendi eksenini etrafında dönerek hareket etmektedir. Cephede, eşit büyüklükteki çaplarda ve eşit aralıklarla konumlandırılan aynalar, gündüzleri güneş ışığının yansımaları ve geceleri dans pistindeki led aydınlatmaların yansımaları ile, iç ve dış mekanı birbiri ile etkileşime geçirmektedir. İç mekandaki hareket, cephedeki bileşenlerin hareketi ve ışık oyunları ile dış mekana yansımaktadır. Dans ve hareket kurgusunun, cephede de harekete dönüştürüldüğü dinamik adaptif cephe uygulamasıdır (Şekil 3.87).



**Şekil 3.87 :** Dans Pavyonu hareket olmadığı durum (sol), hareketli durum (orta), cephedeki dairesel aynalar (sağ) (Url-20).

Estudio Guto Requena'nın adaptif cepheler üzerine 2015 yılında uyguladığı, hareket etkileşimli bir diğer çalışması ise, "The Year" gece klübü projesidir (Şekil 3.88).



**Şekil 3.88 :** The Year, statik adaptif cephe dönüşüm diyagramı.

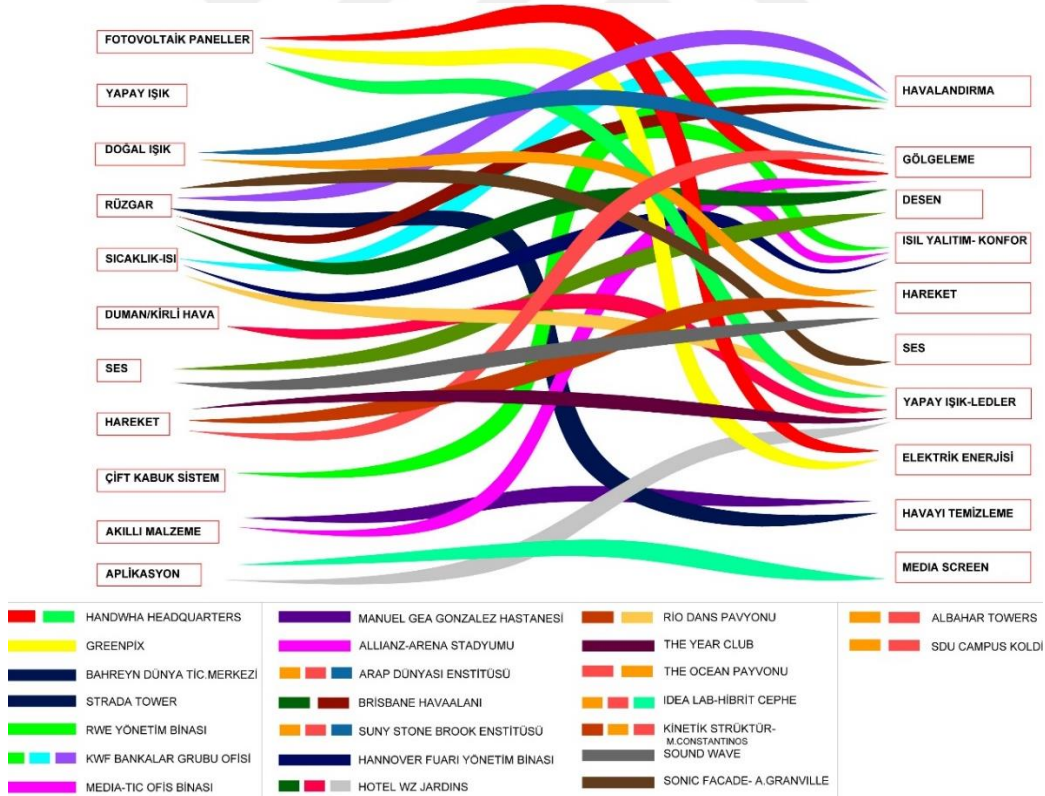
Projede, cephe katmanında yaratılan ızgara sistemi üzerine, noktasal yerleştirilen aydınlatmalar ile dans pistindeki kişilerin hareketi arasında etkileşimli bir cephe kurgulanmıştır. Dans pistinin üzerine yerleştirilmiş sensörler, pistteki hareket ve ortamın sıcaklığından elde ettiği bilgiyi ışık efektlerine dönüştürmektedir (Şekil 3.89). Bu bağlamda, kullanıcılar ile etkileşime geçerek onların hareket ve sıcaklıklarına duyarlı olarak tepki veren led kafes sistemi ile statik adaptif bir kabuk uygulaması sağlanmıştır.



**Şekil 3.89 :** The Year, hareket ve sıcaklık verilerine göre değişen led kafes sistemi (Url-21).

### 3.5 Adaptif Cephe Karşılaştırma Diyagramları

Adaptif cephe uygulamaları araştırma ve incelemeleri sonucunda öncelikle sistemi aktive eden bir giriş verisi olduğu ve kontrol mekanizmasında hesaplamalı bir karar destek sistemi ile tepki verdiği görülmüştür. İncelenen uygulamaların, giriş ve çıkış verileri ile bina performansına etkileri bağlamında hazırlanan dönüşüm diyagramı Şekil 3.90'da gösterilmiştir.



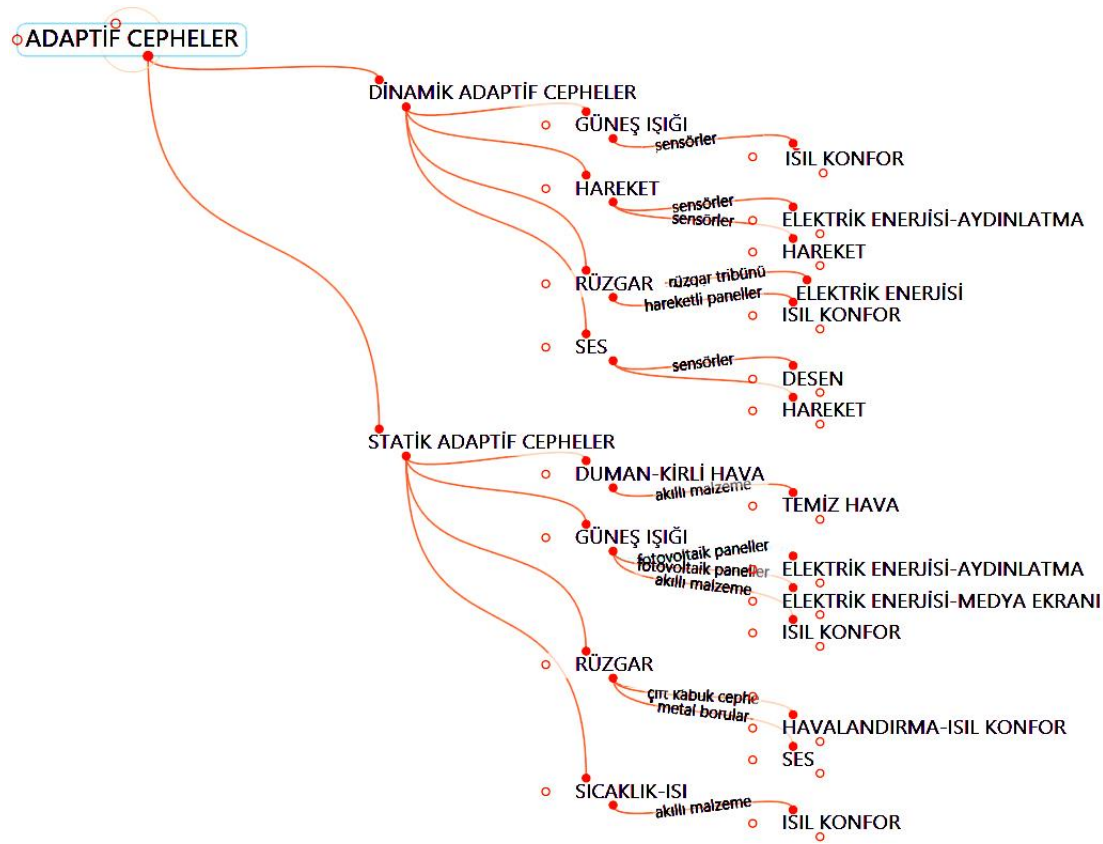
**Şekil 3.90 :** Adaptif cephe uygulamaları giriş verileri ve etkileşim sonuçları diyagramı.

Bu diyagramda amaç, adaptif cephelerin uyum sağladığı etkenlerin ayrımını yaparak, cephe etkileşimi sonucunda bina üzerindeki etkisinin tartışılabilir olmasını sağlamaktır. Ancak bu diyagram, adaptasyonu tanımlarken sadece giriş ve çıkış



verilerinden oluştuğu için, etkileşim unsurları da dikkate alınarak diyagram geliştirilmiştir. Bu doğrultuda, Bölüm 3.1’de uygulamaların incelenmesi sırasında, çevre adaptasyonlarına ait, dönüşüm piktogramları hazırlanmıştır.

Statik ve dinamik adaptif cephelere ayrılarak incelenen örnekler, giriş verileri, etkileşim unsurları ve binaya sağladığı özellikleri bağlamında değerlendirilmiştir. Bu sınıflandırma, adaptif cephe uygulamalarına ait dönüşüm grafiği ile, adaptasyon durumlarının ve etkileşim unsurlarının daha detaylı irdelenmesi sağlanmıştır (Şekil 3.91).



Şekil 3.91 : Adaptif cephe uygulamaları dönüşüm grafiği.

İncelenen örnekler üzerinden elde edilen verilerle hazırlanan, adaptif cepheler dönüşüm diyagramında, statik ve dinamik adaptif cephelerin çevre etkileşimlerini sağlayan elemanların farklılaştığı tespit edilmiştir. Statik adaptif cephelerde, fotovoltaik paneller ve akıllı malzemeli etkileşim elemanları kullanıldığı, dinamik adaptif cephelerde ise, sıklıkla hareketli cephe bileşenleri ve sensörlerin etkileşim elemanı olarak kullanıldığı görülmüştür.

Adaptif özelliğe sahip cephelerin, kullanıcı ve çevresel değişimlere cevap vermesi ile birlikte genelinde bina içi performansının yükseltilmesi ve maliyetlerin azaltılmasının



amaçlandığı görülmüştür. Kinetik bileşenlere sahip dinamik adaptif cephelerin esnek bir yapıya sahip olması, adapte olma sürecini hızlandırmaktadır. Ancak bunun yanında kinetik mekanizmaların bileşenlerinde sistem deformasyonları olabilmektedir. Bu tip sistemlerin prototip çalışmalarına yoğunluk verilmesi gerekmektedir birlikte, multidisipliner bir çalışma gerektirmesi yönüyle maliyet açısından daha yüksektir. Dinamik adaptif cephelerin, sürekli değişen cephe örüntülerine olanak sağlaması, bu cephelerin statik adaptif cephelere göre, çok daha farkedilir bir etki yaratmasına ve kent ölçeğinde güçlü bir bağ kurmasına olanak sağlamaktadır.

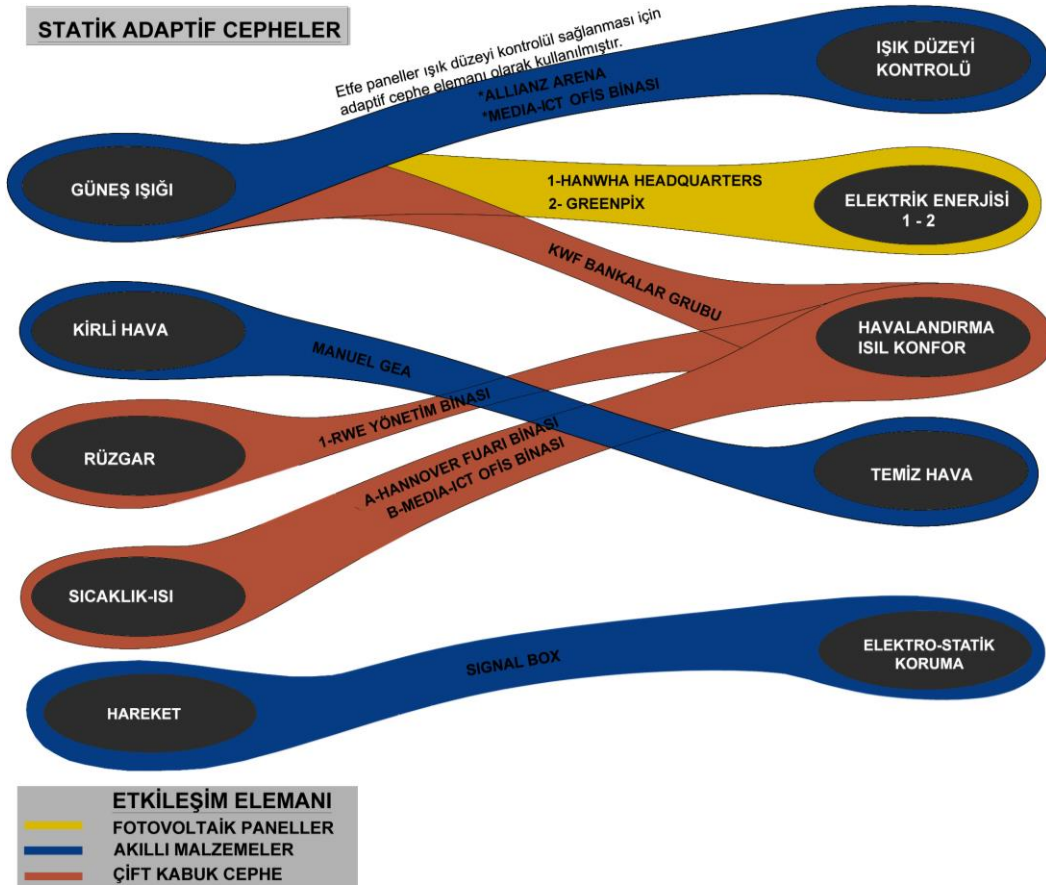
Tez bağlamında incelenen, statik ve dinamik olarak ikiye ayrılan cephe örneklerinin, giriş verileri, etkileşim unsurları ve çıkış verilerine göre ayrıldığı, örneklerin görsellerinin de yer aldığı gruplandırma Şekil 3.92’de görülmektedir.



Şekil 3.92 : Adaptif cepheler giriş verilerine göre gruplama tablosu.

Bu karşılaştırmada, cephelerin adapte olduğu giriş verilerine göre bir gruplama yapılmıştır. Tabloda kırmızı sütundaki uygulamalar güneş, rüzgar, sıcaklık ve nem gibi çevresel veriler ile etkileşimli statik adaptif cephelerdir. Mavi sütunda güneş, rüzgar,

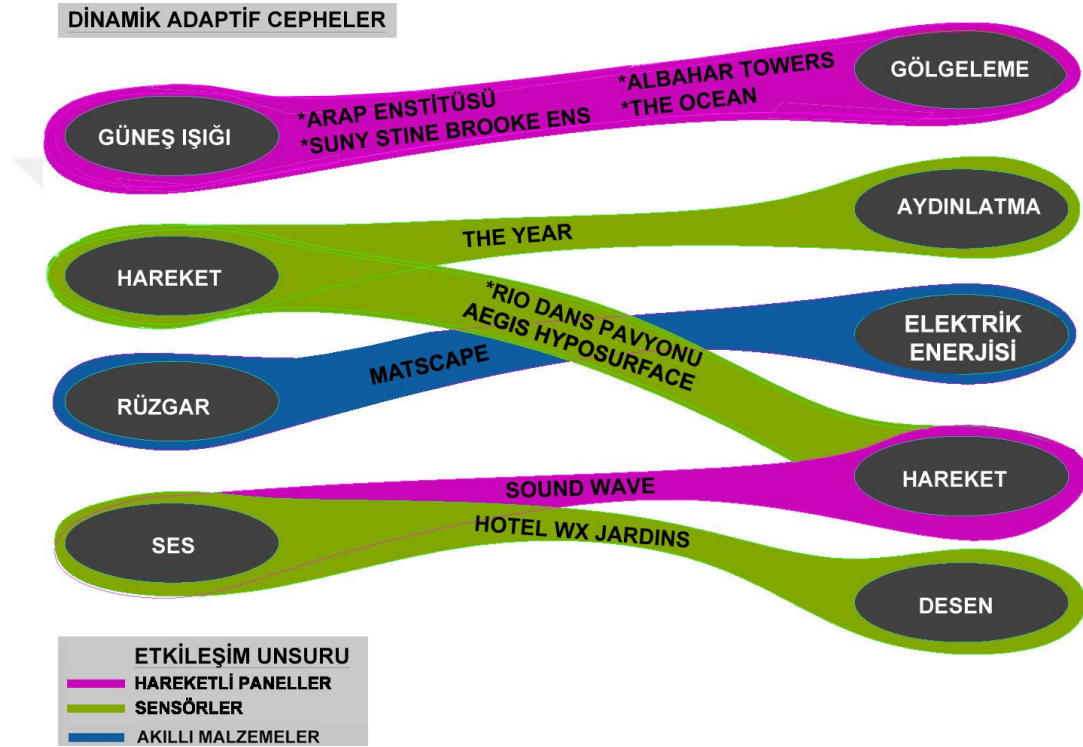
sıcaklık ve nem gibi çevresel veriler ile etkileşimli dinamik adaptif cepheleri içermektedir. Yeşil ile renklendirilmiş sütunda ise, ses ve kullanıcı hareketine tepki veren statik ve dinamik adaptif cephe örnekleri yer almaktadır. Uygulamaların genelinde güneş ışığı ve sıcaklık değerleri giriş verisi olarak kullanılmıştır. Statik ve dinamik adaptif cephelerin her ikisinde de genellikle ısı konforu sağlanması amacıyla, adaptif cephe sistemi mevcut cepheye entegre edilmiştir. Akıllı malzeme kullanılarak tasarlanan adaptif cepheler genellikle kinetik özelliklere sahip olmamaktadır. Malzemenin kendi yapısal özellikleri çerçevesinde, ağırlıklı olarak cephe bileşeni gölgeleme elemanına dönüştürülmüştür ve ısı konforu sağlanması amaçlanmıştır.



**Şekil 3.93** : Statik adaptif cepheler dönüşüm diyagramı.

Tez kapsamında incelenen, Şekil 3.93’de statik adaptif cepheler ve Şekil 3.94’de dinamik adaptif cephe örneklerine ilişkin, çevresel etkenlerin, cephelerin adaptif elemanları ile etkileşimi sonucunda, bina performansı üzerindeki etkisine ait diyagram yer almaktadır. Diyagramlarda renkler ile ifade edilen etkileşim elemanları, adaptif cephelerin aktüatörleri olarak ele alınmıştır.

İncelenen dinamik adaptif cephelerde (Şekil 3.94), çevresel etkenlerden rüzgar giriş verisi olarak kullanılarak, rüzgar türbinlerinin hareketi ile enerji üretimi sağlanmıştır. Rüzgar gücünün cephede kullanıldığı örnekler içerisinde herhangi bir adaptasyon unsuru olmadan sadece kinetik hareketlerin olduğu örnek uygulamalar da mevcuttur. Bu uygulamalara, adaptif özellik içermemesi sebebiyle tez kapsamında yer verilmemiştir. Bu tip cepheler genellikle rüzgarın gücü ile hareket eden cephe bileşenlerinin, cephede hareket ettiği ve sadece hareketli cephe görüntüsünün oluşturulduğu sistemler olarak ayrı bir uygulama alanına sahiptir.



**Şekil 3.94 :** Dinamik adaptif cepheler dönüşüm diyagramı.

Dinamik adaptif cepheler içerisinde, tıpkı statik adaptif cephelerdeki gibi oldukça yoğun araştırma alanına sahip iklimsel giriş verisi, güneş ışığıdır. Burada cephe bileşenleri, güneş ışığına göre açılan, kapanan, katlanan, dönen kinetik hareket mekanizmalarına sahiptir. Kinetik bileşenlere sahip dinamik adaptif cepheler, bina ısı konforunun sağlanmasını önemli ölçüde yükseltmektedir ve gelecekteki uygulamalara örnek teşkil edecek farklı niteliklere sahiptir. Çevre hareketlerine veya kullanıcı hareketlerine göre değişebilen cephe uygulamaları yoğun hareketin olduğu yapılarda kullanılmıştır ve aydınlatma elemanlarındaki renk değişimleri ile etkileşimi sağlanmıştır. Bu tip uygulamaların dışındaki proje ve araştırmalar genellikle prototip veya enstalasyon düzeyinde üretilmiştir. Ses etkileşimli cephe uygulamaları ise, tez

bağlamında yapılan incelemelerde, araştırma projeleri ve bina cephelerindeki uygulama örnekleri içerisinde, en az yer bulabilen adaptif cepheler olarak görülmüştür.

| PROJELER                | DİNAMİK ADAPTİF CEPHELER |            |                |                           |          |        |     |         |
|-------------------------|--------------------------|------------|----------------|---------------------------|----------|--------|-----|---------|
|                         | Enerji Üreten            | Çift Kabuk | Akıllı Malzeme | Çevresel Etkenlere Uyarlı |          |        |     |         |
|                         |                          |            |                | Güneş                     | Sıcaklık | Rüzgar | Ses | Hareket |
| GreenPix                |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| Handwha Headquarters    |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| Bahreyn Dünya Tic.M.    |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| Strata Tower,           |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| BIQ-SolarLeaf           |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| Manuel Gea Gonzalez     |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| Bakır Sülfat P.         |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| MATscape                |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| Reef                    |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| ShapeShift              |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| Media-ICT               |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| RWE Yön.Binası          |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| KWF Bankalar Grubu      |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| Arap Dünyası Enstitüsü  |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| Adaptive Fritting       |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| Tassellate              |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| HelioTrace              |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| Kiefer Technic Showroom |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| Ocean Thematic Pavilion |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| ThyssenKrupp-Q1         |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| CJ Cheiljedang Merkezi  |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| Al Bahr Kuleleri        |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| Hotel WZ Jardins        |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| Banco del Creito        |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| HybridResponsive Facade |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| Signal Box              |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| Aegis Hyposurface       |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| Sound Wave              |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| Rio Dans Pavyonu        |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| The Year                |                          |            |                |                           |          |        |     |         |
| Sonic Facade            |                          |            |                |                           |          |        |     |         |

Şekil 3.95 : Dinamik adaptif cephe uygulamaları karşılaştırma tablosu.



Tez kapsamında, Bölüm 3’de incelenen statik ve dinamik adaptif cepheler, 4 ana guruba ayrılarak değerlendirilmiştir (Şekil 3.95 ve Şekil 3.96). Bunlar:

- Enerji üreten adaptif cepheler.
- Akıllı malzeme içeren adaptif cepheler.
- Çift kabuk adaptif cepheler.
- Işık, ses, hareket, kullanıcı uyarlı adaptif cephelerdir.

| PROJELER                | STATİK ADAPTİF CEPHELER |            |                |                           |          |         |     |     |           |
|-------------------------|-------------------------|------------|----------------|---------------------------|----------|---------|-----|-----|-----------|
|                         | Enerji Üreten           | Çift Kabuk | Akıllı Malzeme | Çevresel Etkenlere Uyarlı |          |         |     |     |           |
|                         |                         |            |                | Güneş                     | Sıcaklık | Hareket | Ses | CO2 | Kullanıcı |
| GreenPix                |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| Handwha Headquarters    |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| Bahreyn Dünya Tic.M.    |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| Strata Tower,           |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| BIQ-SolarLeaf           |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| Manuel Gea Gonzalez     |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| Bakır Sülfat P.         |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| MATscape                |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| Reef                    |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| ShapeShift              |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| Media-ICT               |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| RWE Yön.Binası          |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| KWF Bankalar Grubu      |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| Arap Dünyası Enstitüsü  |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| Adaptive Fritting       |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| Tassellate              |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| HelioTrace              |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| Kiefer Technic Showroom |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| Ocean Thematic Pavilion |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| ThyssenKrupp-Q1         |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| CJ Cheiljedang Merkezi  |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| Al Bahr Kuleleri        |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| Hotel WZ Jardins        |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| Banco del Creito        |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| HybridResponsive Facade |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| Signal Box              |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| Aegis Hyposurface       |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| Sound Wave              |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| Rio Dans Pavyonu        |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| The Year                |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |
| Sonic Facade            |                         |            |                |                           |          |         |     |     |           |

Şekil 3.96 : Statik adaptif cephe uygulamaları karşılaştırma tablosu.

Adaptif cephe örneklerinin dört ana gruba ayrılarak incelenmesindeki amaç, cephenin en etkin olduğu adaptif özelliğine göre, statik ve dinamik cephelerin, bina geneli üzerindeki performanslarını karşılaştırmalı olarak irdeleyebilmektir.

Karşılaştırma tablosu üzerinden, her iki adaptif cephe tipinde bulunan ortak adaptif karakterleri, cephelerin etkileşim unsurları, çevre etkinlik düzeyleri değerlendirilebilmektedir. Örneğin statik cephelere göre dinamik cephelerin, enerji üretim etkinliği değerlendirilirken, etkileşim unsuru faktörünün etkileri ve bina performansına etkileri daha net irdelenebilmektedir. Bu karşılaştırma tablosu üzerinden, dinamik adaptif cephelerdeki hareketin, yapılı çevreye entegrasyonu, binaların estetiği, tasarımı ve performans üzerindeki etkilerinin daha hızlı olduğu görülmüştür.

Şekil 3.95 ve 3.96'den görebileceğimiz gibi, Media ICT binasında, akıllı malzeme ve hareketin bir arada kullanıldığı dinamik cephe uygulaması ile çevreye uyum sağlanmıştır. Aynı zamanda fotovoltaiik panellerin çatıya yerleştirilmesi ile bir yandan elektrik enerjisi üretilmesi sağlanırken, diğer yandan cephenin dinamik hareketleri ve akıllı malzemenin özellikleri sayesinde üst düzeyde bir ısı konfor sağlandığı ve enerji tüketiminin büyük ölçüde düşürüldüğü görülmüştür. Farklı adaptif özellikler barındırması bağlamında, statik ve dinamik bileşenlerin bir arada kullanıldığı uygulama örneklerine önemli bir örnektir.

MATscape projesinde ise, piezo-elektrik malzemenin elektrik üretmesi özelliği, hareketli bileşenler ile birlikte kullanılarak elektrik üretilmesi sağlanmıştır. Bu bağlamda, tıpkı Media ICT binasındaki gibi akıllı malzeme ile hareketli cephe bileşenleri, bu sefer elektrik enerjisi üretmek amacıyla bir arada kullanılmıştır. Hybrid Responsive Facade projesinde ise, güneş ışığına duyarlı olarak dönen panellerin, aynı zamanda farklı bir işlev için kullanılması amaçlanmıştır. Kullanıcı kontrolü ile cephe bileşenlerinin kendisinin bir medya duvarına dönüşmesi sebebiyle, bir yandan çok işlevli bir cephe oluşturulurken, diğer yandan maliyetlerin düşürülmesi de sağlanmıştır. Bu bağlamda önerilen projenin, gelecek uygulamalar açısından daha fazla avantaj sağladığı görülmüştür. Statik adaptif yapı kabuklarında ise, güneş ışığı, ağırlıklı olarak fotovoltaiikler aracılığı ile enerji elde etmek için kullanılmıştır. Cephede gölgeleme ve ısı konfor sağlama amacı ile güneş ışığı etkileşimli akıllı malzemelerin kullanımına dayanan projelerin ise geliştirme safhasında olduğu görülmüştür.

#### 4. ÇEVRE SESLERİ ETKİLEŞİMLİ DİNAMİK ADAPTİF BİR CEPHE ÖNERİSİ – SOUND SHIELD

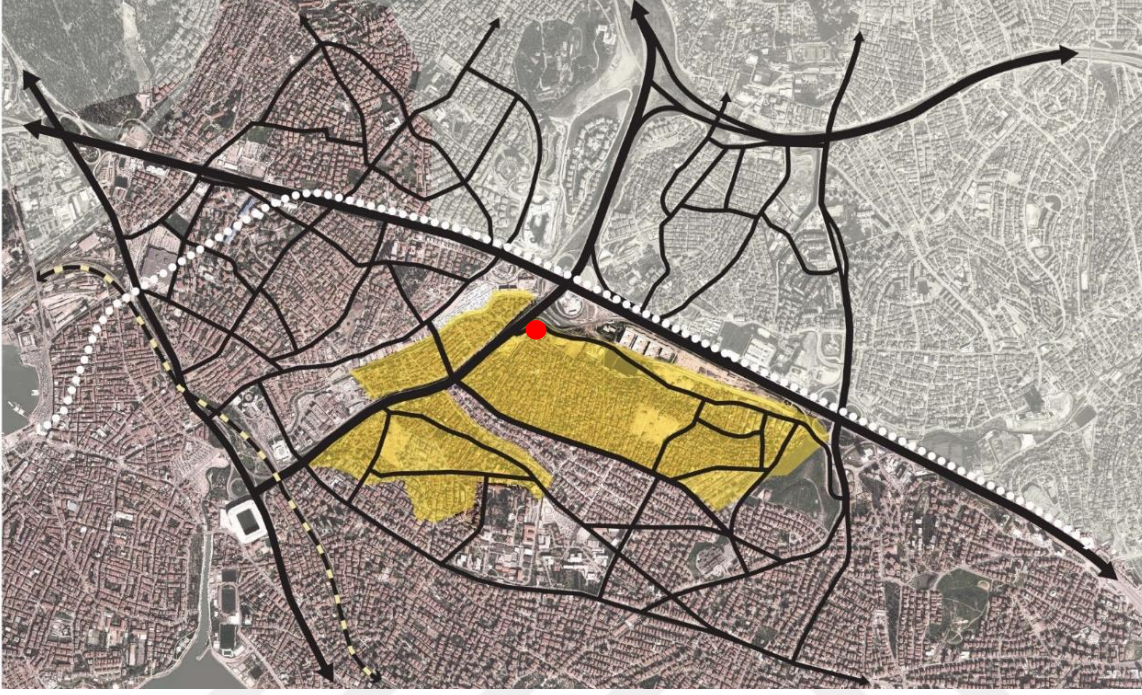
Bu bölümde, çevre sesleri etkileşimli cephe bileşenlerinin hareket ederek bir çeşit ses bariyeri kabuğu oluşturduğu, Sound Shield adı verilen, dinamik adaptif bir cephe önerisi hazırlanmıştır. Proje önerisinde, sensörler aracılığıyla sistemde sayısal değerlere dönüştürülen ses basınç seviyeleri belirlenen gürültü değerleri aralığında, cephe bileşenlerinin hareketleri ile bina içi ses konforu sağlanması amaçlanmıştır. Aynı zamanda, ses basınç seviyelerine göre led aydınlatmaların renk değişimleri ile yapının kentsel ölçekteki görsel etkileşimin güçlendirilmesi önerilmiştir. Şekil 4.1’de önerilen çevre sesleri etkileşimli cepheye ilişkin adaptif sistem çalışma prensibi diyagramı ile hareket mekanizması veri akışı gösterilmektedir.



Şekil 4.1 : Önerilen dinamik adaptif cephe sistemi çalışma prensibi.

Sound Shield cephe önerisi, Kadıköy/İstanbul’da yazar Öznur Çakır Aydoğan’ın mimari tasarım ve projelerini hazırladığı ve 2017 yılında tamamlanan Alya Life Residence konut projesi için tasarlanmıştır. Projenin tüm teknik dökümanlarının bulunması ve çevre problemlerinin yazar tarafından analiz edilmiş olması, öneri proje

hazırlanmasını daha olanaklı kılmıştır. Yapı bulunduğu konum itibariyle ana yolların kesişiminde ve Fikirtepe bölgesinin topografik olarak yüksek kottaki bölümünde yer almaktadır. Şekil 4.2’de sarı ile işaretlenmiş kısım Fikirtepe bölgesi ve kırmızı ile işaretlenen ada konut bloğunun yer aldığı noktayı göstermektedir.



Şekil 4.2 : Fikirtepe bölgesi bağlantı yolları (ÇŞB, 2013).

4 mahalleden oluşan Fikirtepe bölgesi, kuzeyde E-5 karayolu, batıda Kurbağalı Dere, doğuda Göztepe kavşağı ve güneyinde ise Mandıra Caddesi ile tanımlanmaktadır. Yaklaşık nüfus 50.000 ve yaklaşık hane sayısı 16.000 dir. Ortalama yoğunluk ise, 510/ha’dır. Proje alanı, Çevre Yolu ve E-5 ana yolları ile Yumurtacı Abdibey ve Barış Sokak tali yolları ile çevrelenmiştir (Şekil 4.3).



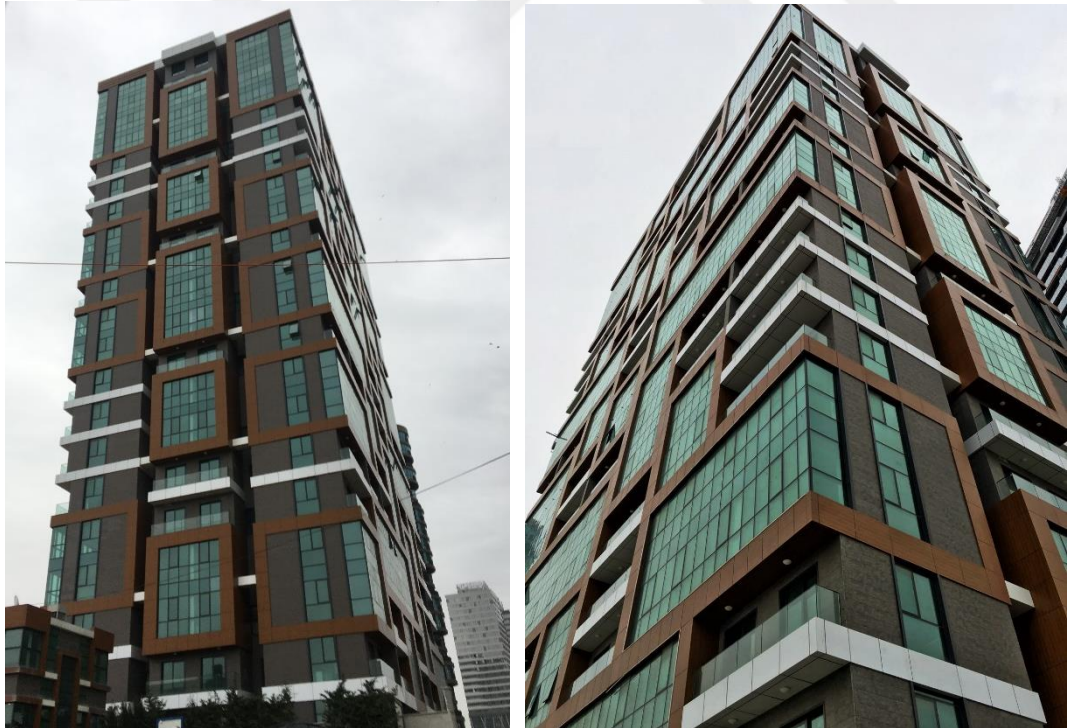
Şekil 4.3 : Proje alanı ve bağlantı yolları.



Proje bölgesinin yoğun yaya ve özellikle araç trafiği içerisinde yer alması, uzun süreli gürültüye maruz kalması, konut projeleri için oldukça önemli bir problemi de beraberinde getirmektedir. Bina cephesinde kullanılan malzemelerin akustik özelliklerine rağmen yeterli ses konforları sağlanamamaktadır. Proje Bölgesi bağlantı yolları Şekil 4.4’de ve binanın mevcut fotoğrafları Şekil 4.5’de yer almaktadır.



Şekil 4.4 : Proje bölgesi E-5 ve Çevre Yolu fotoğrafları.



Şekil 4.5 : Alya Life Residence mevcut cephe fotoğrafları.

Önerilen Sound Shield dinamik adaptif cephe sistemi, mevcut yapı üzerine ayrı bir kabuk sistemi olarak tasarlanmıştır. Sistem, cepheden bağımsız olarak çalışarak

mevcut yapıyı farklı gürültü düzeylerine karşı koruyacak şekilde değişmektedir. Öncelikle mevcut konut yapısı ile ilgili projenin tasarımı, plan ve cephe kurgularına ait bilgiler verilerek, önerilen dinamik adaptif cephe sistemi ile ilişkisinin daha net anlaşılması amaçlanmıştır.

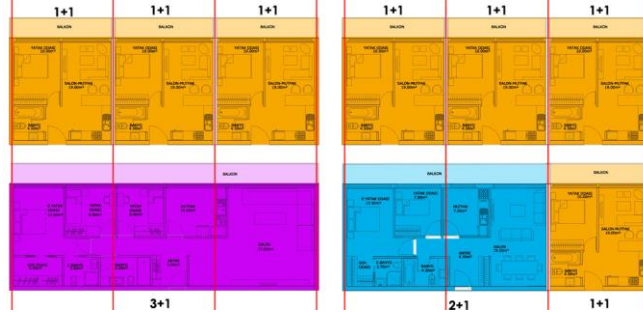


**Şekil 4.6 :** Alya Life Residence, Kadıköy'e doğru bakış, 3d görünüşü.

Mevcut yapı, toplamda 212 daireye ve kullanıcı analizlerine göre oluşturulan birbirinden farklı daire yerleşim kombinasyonuna sahip 20 farklı kattan oluşmaktadır. Bu sayede taşıyıcı sistem değişmeden farklı daire tipi yerleşim kombinasyonlarına olanak sağlayan bir proje geliştirilmiştir. Modüler olarak oluşturulan 1+1, 2+1 ve 3+1 daireler için teraslı veya terassız olarak çeşitlendirmeye giderek hem kullanıcının isteklerine cevap vermeye çalışılmış, hem de cephenin plansal çözümleme üzerinden giderek oluşturulması sağlanmıştır (Şekil 4.6).

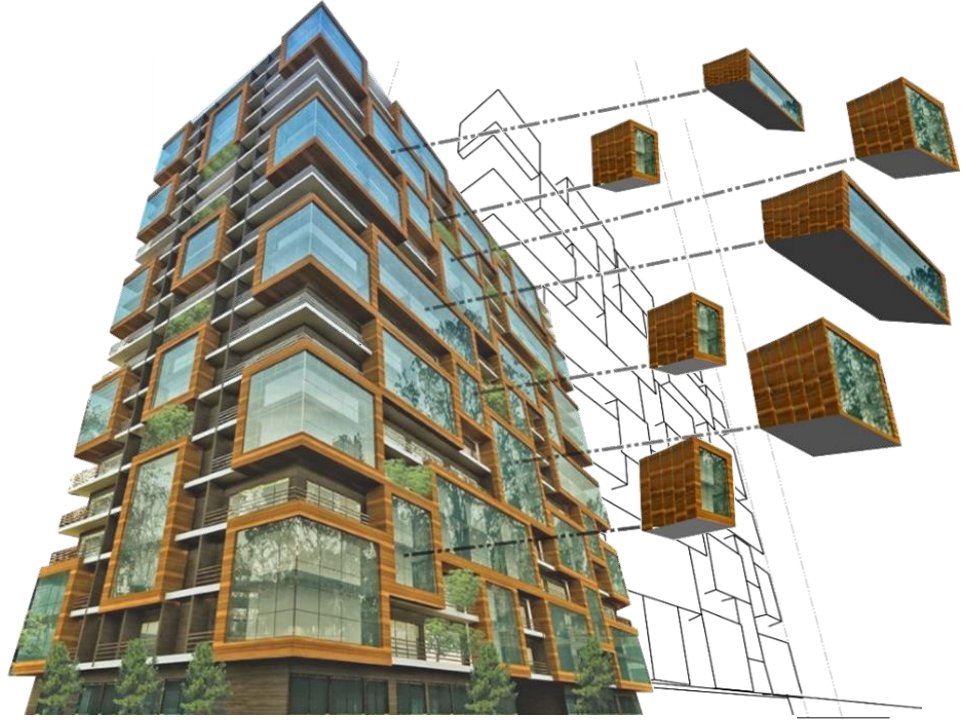
En küçük modül olan 1+1 daireler 650x650 cm. aks sistemi içerisinde çözümlenerek tasarlanmıştır. Bu modüllerin birleşmesi ile de 2+1, 3+1 ve 4+1 daireler oluşmaktadır. Bu sayede taşıyıcı sistemi üzerine tam uyumlu yerleşen ve birleşebilen farklı bir yerleşim sistemi geliştirilmiştir (Şekil 4.7). Projeye esneklik kazandırması ve plan ile cephenin entegre çalışması amaçlanmıştır. Daire tiplerinin çeşitlendirilmesi ile birlikte, plan ve cephe ilişkisi arasında gelişigüzel olmayan ve en küçük birimlerin birleşerek, parçaların bütünü oluşturması ile kurgulanmıştır. İç ve dış bütünlüğün korunması sağlanmıştır.





**Şekil 4.7 :** Konut bloğu daire tipleri modülasyon sistemi (1+1, 2+1, 3+1).

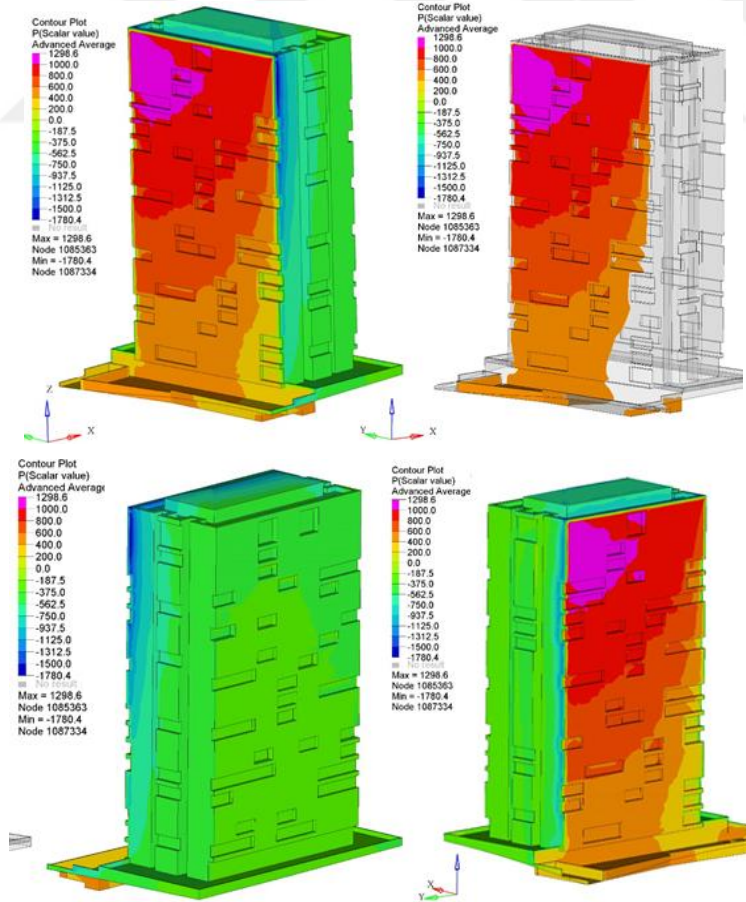
Cephe kurgusunda, her daire tipi plansal çözümlenmesine göre ya tek başına yada diğer daire cephesiyle birleşerek cephede farklı bir “box” tanımlamıştır. Bir çeşit puzzle’ın parçalarını oluşturan her modül birleştiğinde cephenin ana yapısı tamamlanmış olmaktadır (Şekil 4.8). Bu durum, projenin dış mekandan algısını güçlendirilerek, plan-cephe ilişkisinin bir sonucu olarak ortaya çıkan bir cephe sistemi oluşturulmasını sağlamıştır. Modüllerin ıslak hacimlerinin tamamı iç koridor cephesine verilerek, Tüm modüller ve içerisindeki her oda 4 ana cephemize bakacak ve daireler birbirini görmeyecek şekilde planlama yapılmıştır. Her kat planında değişken olan daire yerleşimleri sebebiyle, oluşabilecek tesisat shaftlarının yerleşim problemi, her katta daire giriş koridorlarında yer alan ve tüm iç koridor boyunca devam eden 80 cm’lik shaft planlamasıyla çözüme ulaştırılmıştır.



**Şekil 4.8 :** Cephe modülleri yerleşim kurgusu (1+1, 2+1, 3+1).

Yapı 74 metre yüksekliği ve bölgenin topografik olarak yüksek noktasında yer alması sebebiyle, aynı zamanda şiddetli rüzgarlara maruz kalmaktadır. Binanın bulunduğu bölgede yıl içinde en sık ve en yüksek rüzgar hızının gözlemlendiği 2 yön olan Kuzey-Kuzey-Doğu (KKD) ve Güney-GüneyBatı (GGB) yönünde esen şiddetli rüzgar şartları için rüzgar analizleri yapılmıştır (Şekil 4.9). Rüzgar analizleri sonuçlarına göre, giydirme cephe taşıyıcı profilleri özellikleri, boyutları, cam özellikleri belirlenmiştir ve yaya konforu için bina girişinde gerekli olabilecek diğer çözümler yapılmıştır.

Tez kapsamında hazırlanan proje, ses etkileşimli olmasının yanında, cephe bileşenlerinin binanın şiddetli rüzgarlarını da kesmesi sebebiyle, yapının açık oturma alanları için de bina konforunu arttırabileceği de öngörülmektedir. Bina cephelerine ait rüzgar analizi simülasyonları Şekil 4.9'dan incelenebilmektedir. Özellikle kuzey-doğu cephesi üst katlarında magenta ile gösterilen bölgelerde rüzgarın şiddetini arttırdığı görülmektedir. Sound Shield öneri cephe sistemi, ileriye yönelik çalışmalarında rüzgar etkileşiminin de sağlanması durumunda, birden fazla etmene uyarlı bir cephe sistemi olarak geliştirilebilme potansiyeline de sahiptir.



Şekil 4.9 : Cephe kuzey, güney, doğu, batı cepheleri rüzgar analizleri (NLSS, 2016).

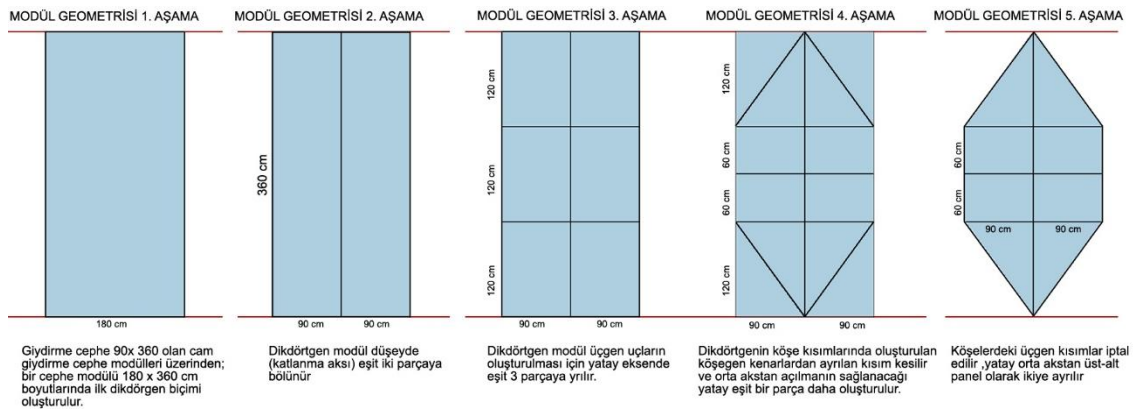
#### 4.1 Cephe Bileşenleri Geometrisi ve Kinetik Yapısı

Cephe ses etkileşimli modülleri yapının, güney-batı ve güney-doğu cephelerinin diğer konut bloklarına dönük olması ve aynı zamanda diğer blokların ses dalgalarını keserek ses gölgesi etkisi yaratması sebebiyle, ana bağlantı yolları boyunca, kuzey-doğu ve kuzey-batı cephelerine yerleştirilmiştir. Öneri cephe modülleri, vaziyet planı Şekil 4.10 üzerinde kırmızı hat ile gösterilen bölümde yer almaktadır.



Şekil 4.10 : Vaziyet planı, dinamik adatif cephe önerisi yerleşimi.

Ses etkileşimli cephe bileşenleri tasarımında, cephede ses bariyeri özelliğini sağlaması açısından maksimum ve minimum yüzey değişkenliğini oluşturabilecek esnekliğe sahip, alternatif cephe modülü çalışmaları yapılmıştır. Şekil 4.11'de cephe modülü tasarımı geometrisine ilişkin oluşum aşamaları şeması yer almaktadır.

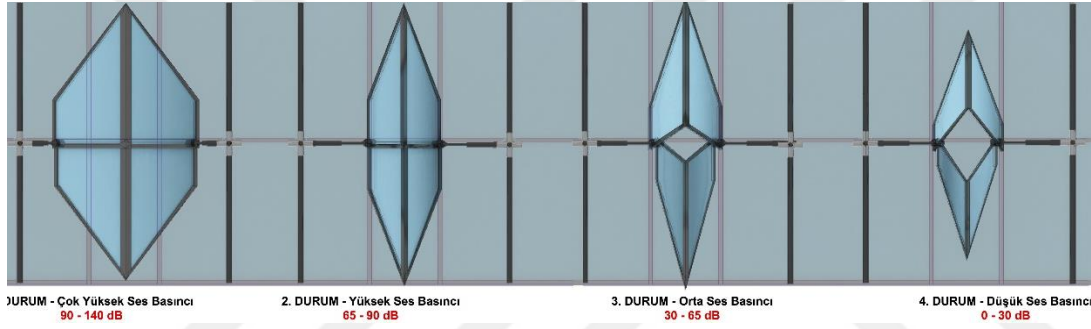


Şekil 4.11 : Cephe bileşeni geometrisi oluşum şeması.

Modüller bir kat yüksekliğinde 360 cm olarak planlanmıştır. Modüllerin cephede 3 boyutlu bir etkiye sahip olması ve açılıp kapanma mekanizmasını oluşturmak için

öncelikle 180 cm. enindeki kısım ikiye bölünmüştür. Daha sonra düşeyde 3 eşit parçaya bölünerek, 120 cm.'lik orta kısmın cephede geniş bir yüzeyi kapatması sağlanmıştır. 4. aşamada üst ve alt kenarlar köşegenler ile birleştirilmiş ve bileşen orta aksından ikiye bölünerek üçgensel ana yapı ortaya çıkartılmıştır. Bileşenin düşey orta aksından bölünmesi -x ekseninde katlanma hareketini sağlarken, yatayda orta akstan ikiye bölünmesi ile dönerek kapanma hareketi sağlayan kinetik sistem mekanizması oluşturulmuştur.

Mevcut yapının giydirme cephe yatay ve düşey taşıyıcı profilleri dikkate alınarak, sistem taşıyıcı profilleri aynı akslarda planlanmıştır. Bina katlar arası brüt yükseklik 360 cm ve cephe panel genişlikleri 180 cm'dir. Her bir cephe bileşeni giydirme cam cephe panelinin orta aksına göre konumlandırılmıştır (Şekil 4.12).



**Şekil 4.12 :** Cephe bileşeni ön görünüşü, mevcut giydirme cephe ile entegrasyonu.

Mevcut cephe önünde ana yapıdan bağımsız oluşturulan strüktür sistemi üzerine yerleştirilen modüllerin hareketi, 4 ana ses basıncı seviyesine göre kodlanmıştır. Bu 4 ana ses basınç seviyesi ayrıca değişken led aydınlatma renkleri ile ayrılmıştır.

- Cephe bileşeni 1. durum, çok yüksek ses basınç değeri: 90-140 dB-Kırmızı
- Cephe bileşeni 2. durum, yüksek ses basınç değeri : 65-90 dB-Turuncu
- Cephe bileşeni 3. durum, orta ses basınç değeri : 30-65 dB-Mavi
- Cephe bileşeni 4. durum, düşük ses basınç değeri : 0-30 dB-Yeşil

Yüksek ses basınç seviyesinde maksimum yüzey alanına sahip bileşen, düşük ses basınç seviyesinde, düşey orta akstan katlanarak, üst ve alt kanatların geriye doğru kapanması ile minimum yüzey alanını oluşturacak şekilde kapanmaktadır. Cephe bileşenleri ana strüktürü hafif çelik profiller ve kaplama malzemesi yarı saydam, ses yutuculuk değeri yüksek Serge Ferrari - Alphalia Silent Aw Lux malzemesi



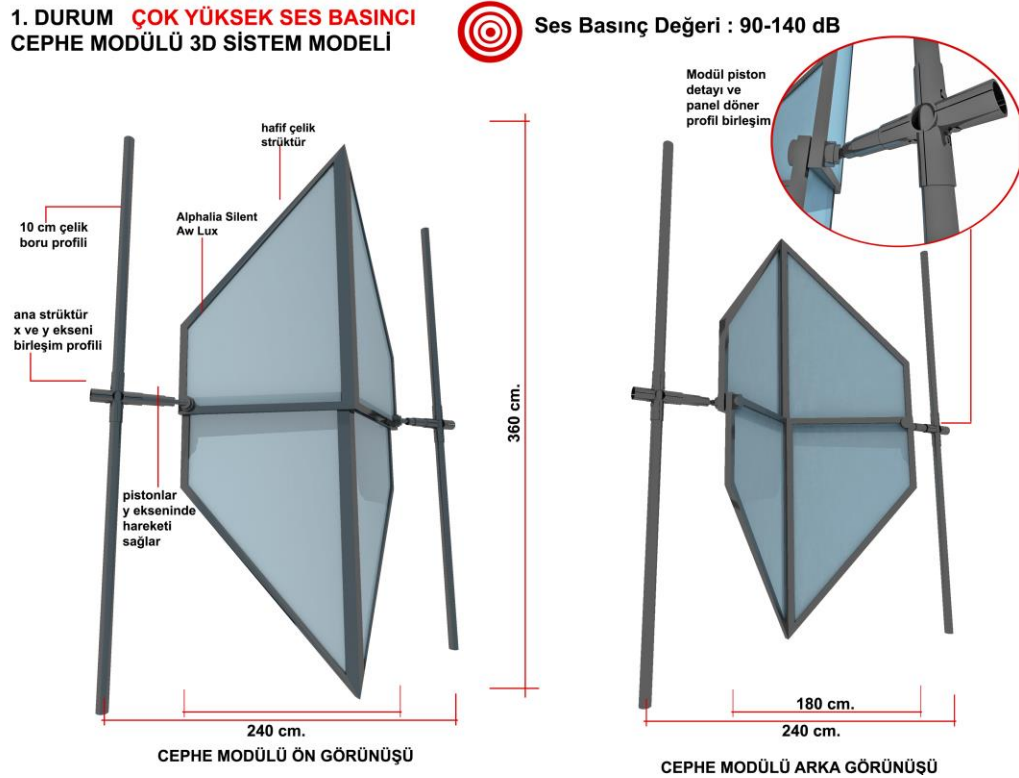
kullanılarak tasarlanmıştır. Ses basınç değerlerine göre bileşenin kinetik sistemine ilişkin hareketleri aşağıdaki şekildedir.

- 1. durum, çok yüksek ses basınç değeri : Katlanma
- 2. durum, yüksek ses basınç değeri : Katlanma ve dönme
- 3. durum, orta ses basınç değeri : Katlanma ve dönme
- 4. durum, düşük ses basınç değeri : Dönme

Cephe adaptif bileşenlerinin ve 4 duruma ait hareket sisteminin tasarımı 3d Max yazılımı ile yapılarak, kinetik sistem mekanizması çözümlenmiştir. Cephe durumlarına ilişkin 3d görselleri de yine 3d Max+Vray yazılımları ile hazırlanmıştır. Cephe bileşenleri, bir sonraki aşamada, ses etkileşimini sağlamak adına, Grasshopper yazılımı ile parametrik olarak tekrar modellenmiştir.

Aşağıda, cephe ses etkileşim kodlarına göre sistem çözümleri açıklanmıştır.

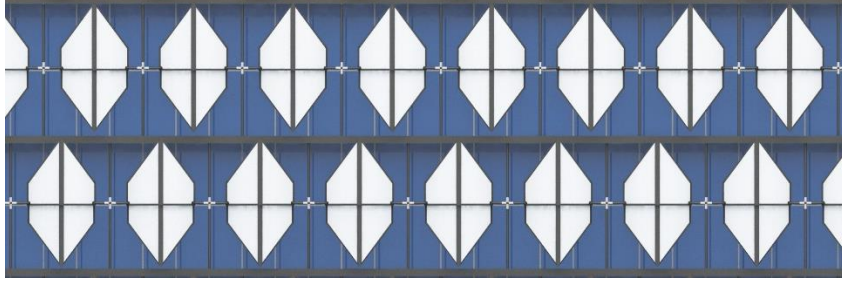
Cephe bileşeni 1. durumunda maksimum yüzeyi oluşturacak şekilde yatayda yerleştirilmiş pistonlar ile mevcut cephe yüzeyini kapatmaktadır. 1. durumunda bileşenin sağ ve sol kanatları arasındaki açıklık 165° ve yüzey genişliği 180 cm.'dir (Şekil 4.13 ve Şekil 4.14).



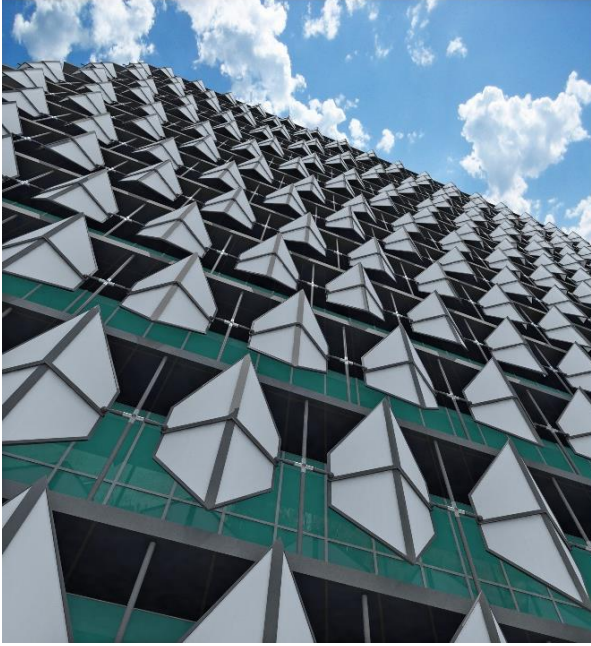
**Şekil 4.13 :** 1. durum, çok yüksek ses basıncında cephe bileşeni 3d görseli.



Binanın konut bloğu olması sebebiyle, cephe bileşenlerinin birleşim kısımlarında 30 cm'lik bir boşluk öngörülmüştür. Böylece, yüksek ses basınç seviyelerinde de ışık girişinin korunması amaçlanmıştır. Bileşenin 1. durum ses basınç seviyesi, çok yüksek gürültü değeri aralığı olarak baz alınan 90-140 dB'dir (Şekil 4.15).



Şekil 4.14 : Cephe bileşeni 1. durum ön görünüşü.

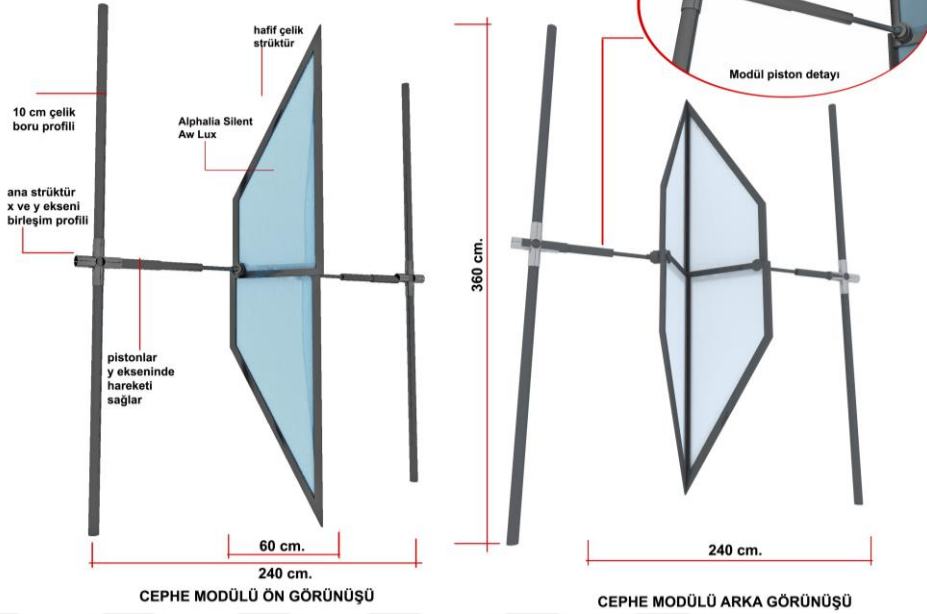


Şekil 4.15 : 1. durum cephe modülleri ön görünüşü (sol), iç koridordan görünüş (sağ).

Cephe bileşeni 2. durumunda yüzey genişliğini 180 cm.'den 60 cm'e düşürecek şekilde yatayda hareketli pistonlar aracılığı ile üçte bir oranında katlanarak kapanmaktadır. 2. durumunda bileşenin sağ ve sol kanatları arasındaki açıklık 165 derecedir. Bileşenin 2. durum ses basınç seviyesi, yüksek gürültü değeri aralığı olarak baz alınan 65-90 dB'dir (Şekil 4.16).

**2. DURUM YÜKSEK SES BASINCI**  
**CEPHE GENEL GÖRÜNÜŞÜ**

**Ses Basınç Değeri : 65-90 dB**

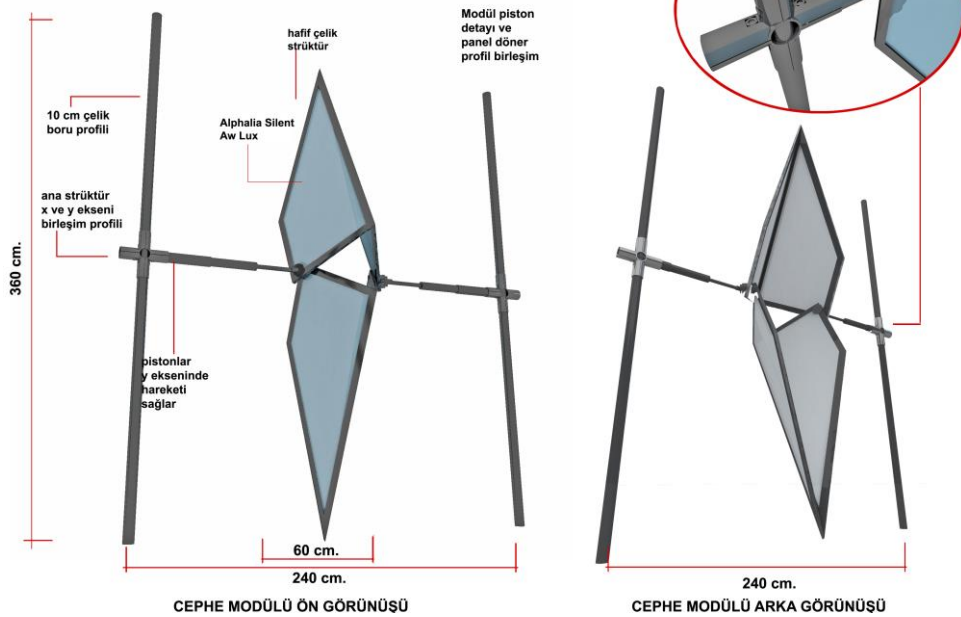


**Şekil 4.16 :** 2. durum, yüksek ses basıncında cephe bileşeni 3d görseli.

Cephe bileşeni 3. durumunda yüzey genişliği, 2. durumdaki gibi 60 cm'dir. Ancak orta ses basıncı seviyesinde, üst ve alt kanatlar köşe birleşim noktalarındaki döner bileşim profilleri ile geriye doğru kapanmaya başlar ve bileşenin alt ve üst kanatları arasında boşluk oluşur. Bileşenin 3. durum ses basınç seviyesi, orta seviye gürültü ses basınç değeri aralığı 30-65 dB'dir (Şekil 4.17).

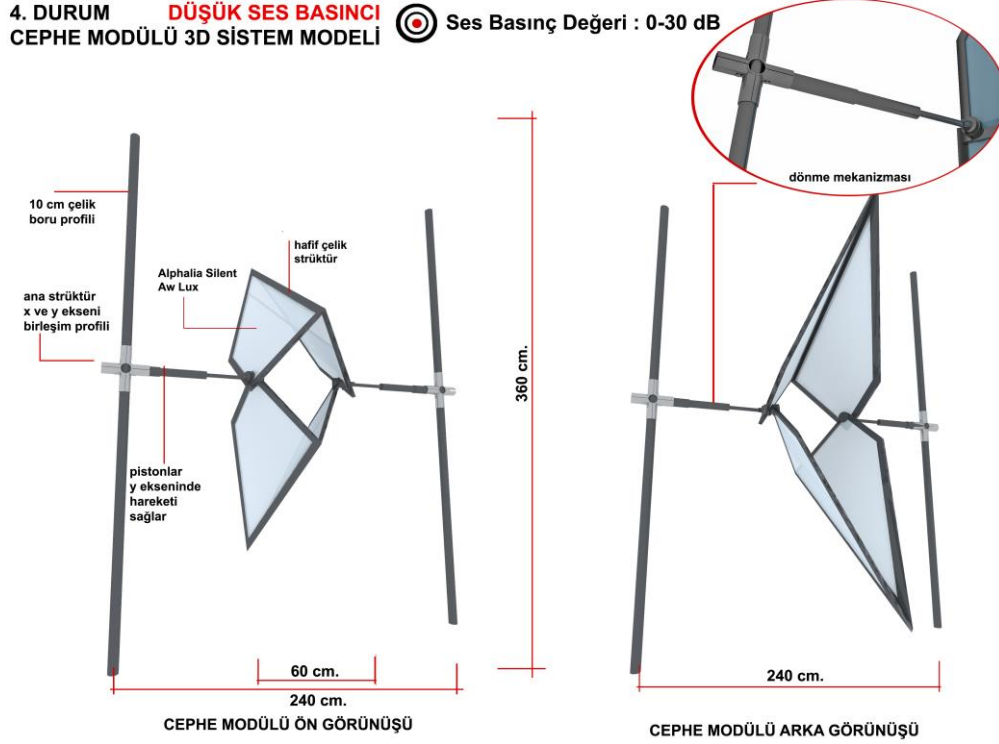
**3. DURUM ORTA SES BASINCI**  
**CEPHE MODÜLÜ 3D SİSTEM MODELİ**

**Ses Basınç Değeri : 30-65 dB**



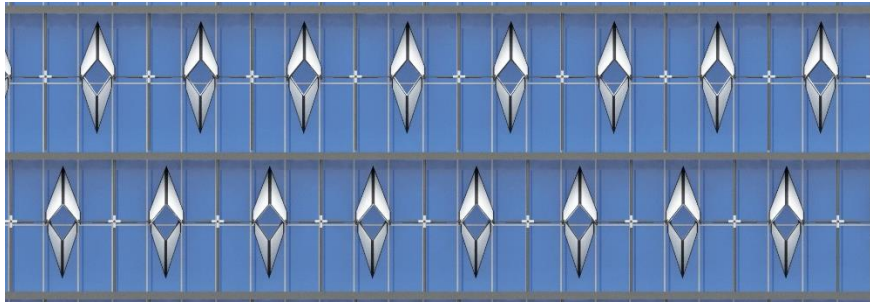
**Şekil 4.17 :** 3. durum, orta ses basıncında cephe bileşeni 3d görseli.

Cephe bileşeni 4. durumunda yüzey yatay genişliği 3. durumdaki gibi 60 cm'dir. Ancak bileşenin üst ve alt kanatları köşe birleşim noktalarındaki bileşim profilleri ile geriye doğru 90° dönerek kapanmaktadır (Şekil 4.18)



**Şekil 4.18 :** 4. durum, düşük ses basıncında cephe bileşeni 3d görseli.

Yatay ekseninde kapanma uzunluğu 120 cm ve kanat dönüş açısı 90 derecedir. Mevcut cephe önüne yerleştirilen cephe modülleri taşıyıcı yapıyı 120 cm açıklıkta planlanmıştır ve binanın ana kirişlerine monte edilmesi öngörülmüştür. Bunun sebebi bina taşıyıcı sistemi maksimum konsol mesafelerini geçmemektir. Bileşenin 4. durum ses basınç seviyesi, düşük seviye gürültü ses basınç değeri aralığı 0-30 dB'dir (Şekil 4.19 ve Şekil 4.20).



**Şekil 4.19 :** Cephe bileşeni 4. durum ön görünüşü.

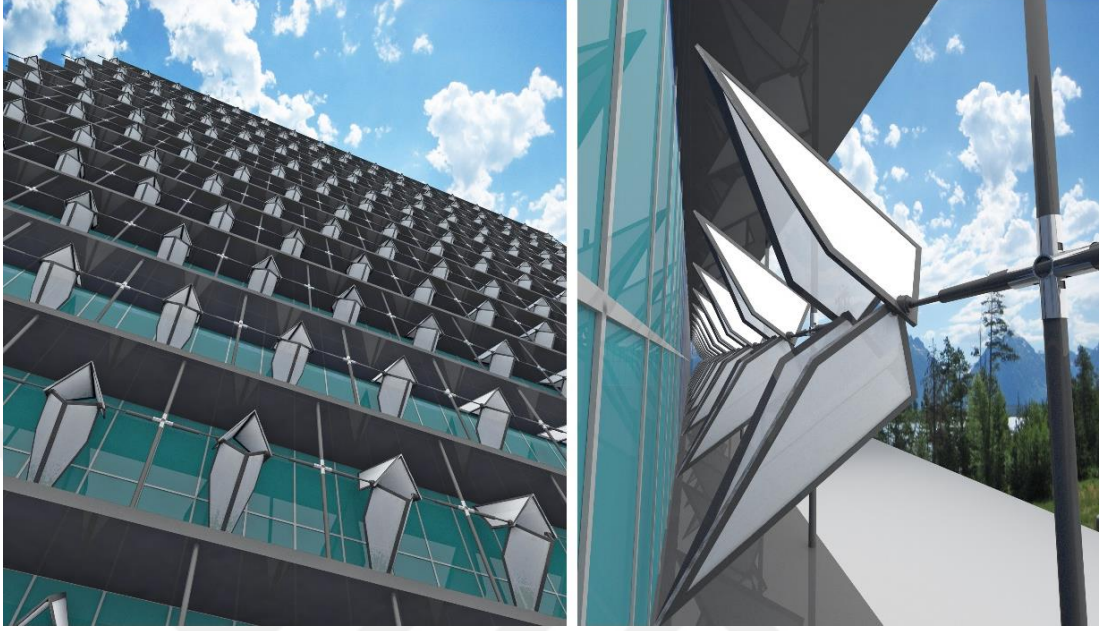




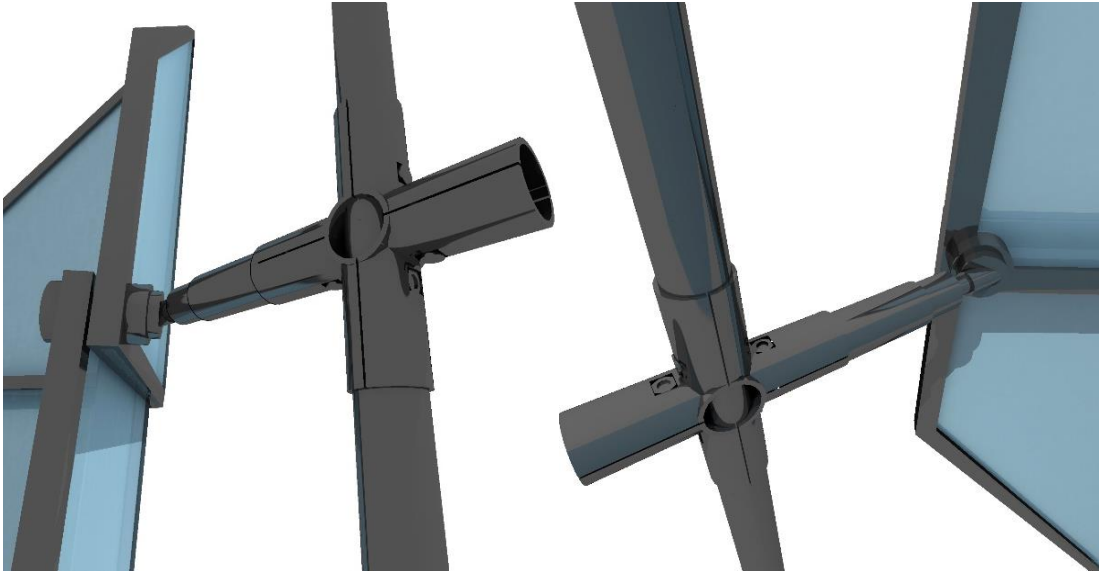
4. DURUM DÜŞÜK SES BASINCI  
CEPHE GENEL GÖRÜNÜŞÜ



Ses Basınç Değeri : 0-30 dB



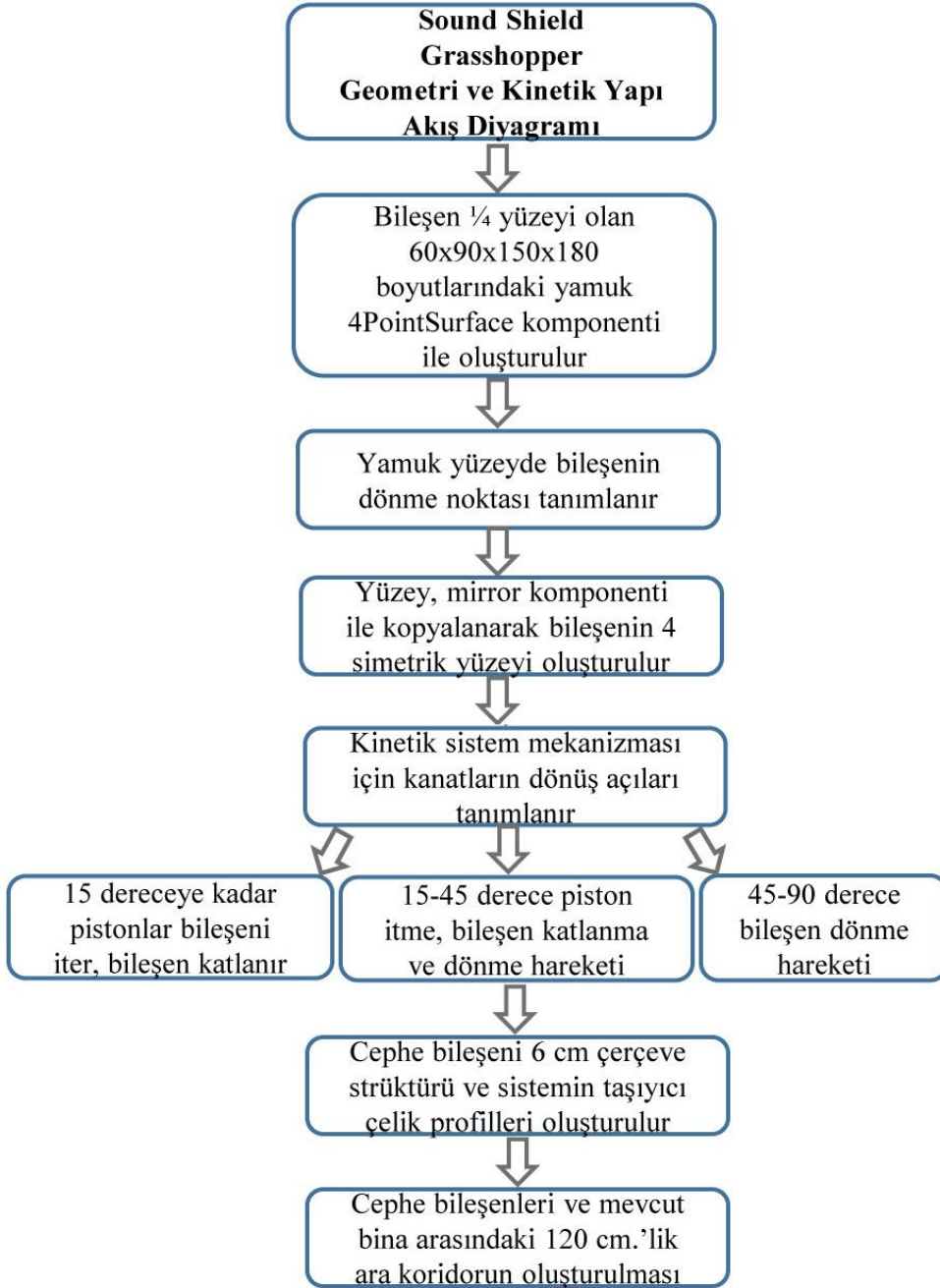
Şekil 4.20 : 4. durum cephe modülleri ön görünüşü (sol), iç koridordan görünüş (sağ).  
Cephe bileşenleri taşıyıcı strüktür ile birleşimi, üst ve alt kanat birleşim detayları ve itme-çekme hareketleri ile katlanmayı sağlayan pistonlara ilişkin 3d sistem perspektifleri Şekil 4.21’de gösterilmektedir.



Şekil 4.21 : Cephe bileşeni nokta birleşim detayları 3d görselleri.

## 4.2 Dinamik Adaptif Cephe Bileşenlerinin Grasshopper Yazılımında Oluşturulması

Dinamik adaptif cephe bileşenlerini ses verileri ile etkileşimini sağlamak için, modüllerin tasarımı ve ses basınç değerlerine göre hareket mekanizması kurgulandıktan sonra, bileşenlerin Grasshopper yazılımında modellenmesi sürecine geçilmiştir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22 : Sound Shield geometri ve kinetik yapı akış diyagramı.

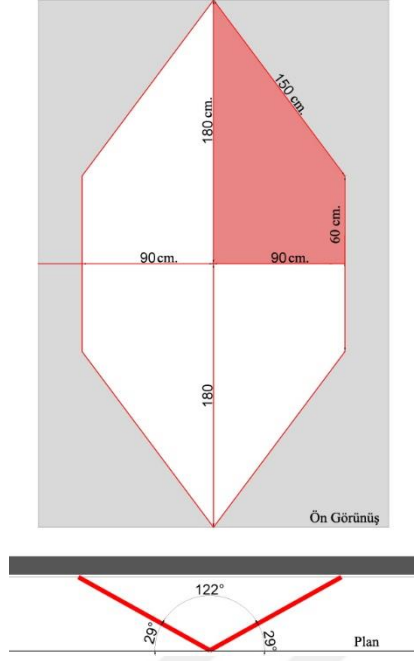
Tez kapsamında mevcut cephe üzerine entegre edilen dinamik adaptif cephe önerisinde, her cephe bileşenine ses sensörü yerleştirilmesi öngörülmüştür. Buradaki amaç, her bileşenin bağımsız bir şekilde, ses kaynağı uzaklığına ve şiddetine göre değişen ses basınç seviyesine göre tanımlanan kinetik sistem ile cevap verebilmesini sağlamaktır. Böylece her cephe bileşeninin, kendi ses sensöründen gelen sayısal verileri doğrultusunda hareket etmesi amaçlanmıştır. Böylece, sesin geldiği yön veya tipi (noktasal-çizgisel-düzlemsel), rüzgar, sıcaklık ve ses kaynağına uzaklığa göre değişen, daha hassas bir tepki mekanizması sağlanmış olmaktadır. Aynı zamanda cephede görsel olarak daha estetik hareket geçişlerine sahip bir cephe elde edilmiştir. Bölüm 4.1’de belirlenen 4 ana durum, bileşen hareketlerinin kodlanması için kullanılmıştır. Kinetik sistem, bileşenin 4 hareketi üzerinden değil, tüm ara durumlara ait katlanma, itme ve dönme hareketlerinin uzunluk ve açılarına göre tanımlanmıştır.

Tasarlanan dinamik adaptif cephe bileşenlerinin her birinde ses sensörü olması ve bilgisayar ortamında çoklu ses sensörü sisteminin aktarımının mümkün olmaması sebebiyle, Grasshopper yazılımı ile parametrik simülasyonlar hazırlanmıştır. Sistemin çoklu cevabının tez kapsamında incelenmesi için, mevcut cephe 3dMax ortamında modellenerek, Grasshopper ortamında, tasarlanan cephe bileşenlerinin üzerine yerleşimi yapılmıştır. Daha sonra, ses kaynağı olarak tanımlanan noktasal ve çizgisel simülasyonlar yapılarak, dinamik adaptif cephenin tamamının, belirlenen noktalardaki çok yüksek, yüksek, orta ve düşük ses basınç seviyelerine göre hareketleri ve cephe üzerindeki etkileri irdelenmiştir.

Öneri cephenin ses verilerine uyarlı sistemi, Arduino Mega kart seti ve bir adet ses sensörü ile Arduino yazılımında tanımlanan kod ile oluşturulmuştur. Grasshopper ortamında, ses sensöründen gelen değerlere göre, bir adet cephe bileşeninin gerçek zamanlı olarak ses verilerine uyarlı dinamik adaptif cephe sisteminin çalışması sağlanmıştır.

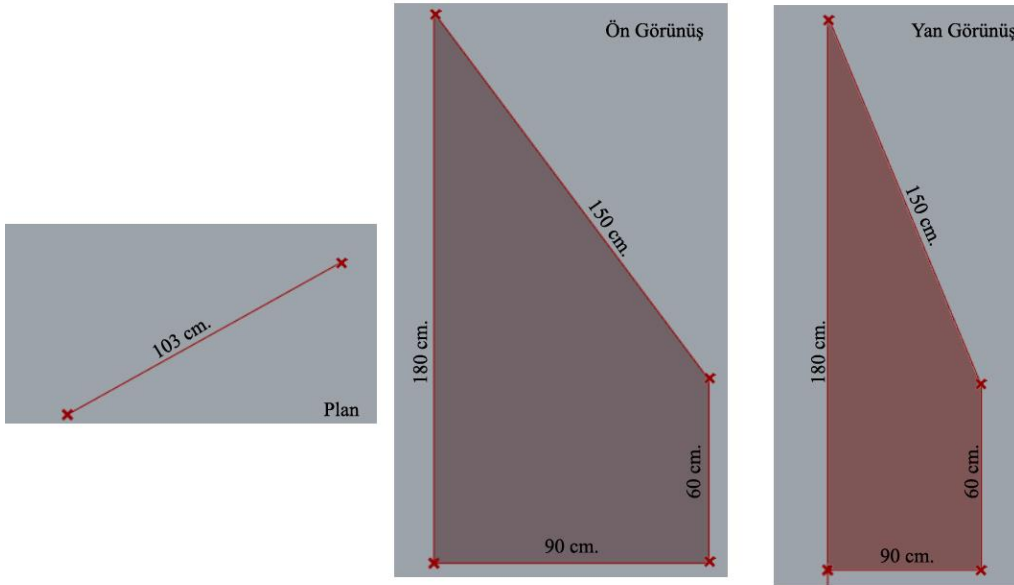
**Aşama 1 :** Öncelikle cephe bileşeni geometrisinin Grasshopper yazılımında oluşturulması için yöntem belirlenmiştir. Cephe bileşeni kanatlarının, dörtte birini oluşturan en küçük yüzey olan yamuk yüzey oluşturularak x ve y ekseninde “mirror” (simetriğinin alınması) komponenti ile çoğaltılarak bileşenin bütünü elde edilmiştir. Cephe bileşeni yamuk yüzey geometrisine ait ölçüler ve kanat açıları Autocad ortamında hazırlanarak Şekil 4.23’de gösterilmiştir.





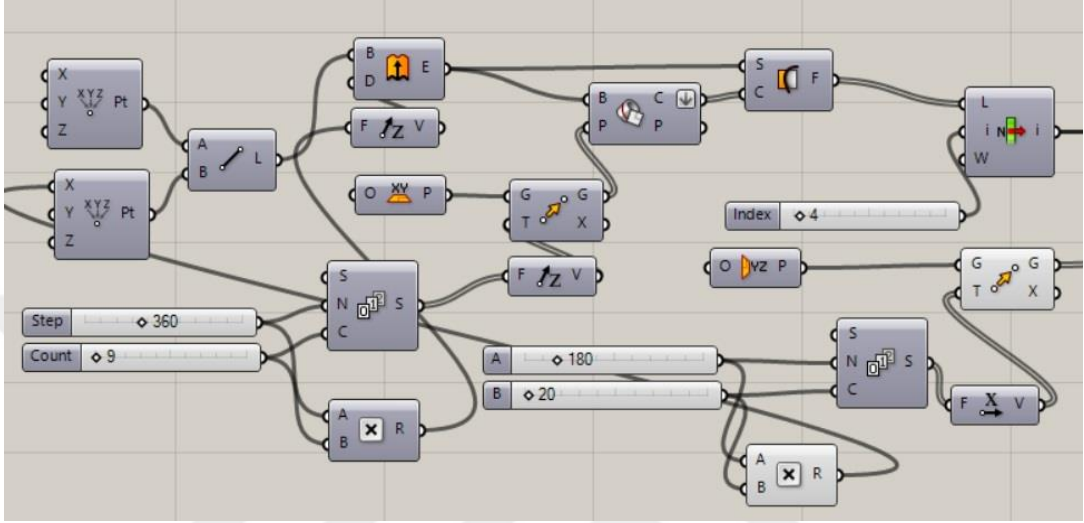
**Şekil 4.23 :** Cephe bileşeni ölçüleri (ön görünüş) ve kanat açıklıkları (plan) açıları.

Cephe bileşeninin yerleşeceği konstrüksiyonun, yüksekliği 360 cm. ve yataydaki uzunluğu 240 cm.'dir. Cephe bileşeni sabit bölümü olan kanatları,  $29^\circ$  açı ile 50 cm. geriye doğru bükülmüştür. Dikdörtgenin merkez noktasından yola çıkılarak, bileşen 1/4 yamuk geometrideki yüzey kenarlarını oluşturan 180, 103, 60 ve 150 cm. kenarlara ait noktalar geriye doğru  $29^\circ$  açığı oluşturacak şekilde Grasshopper yazılımında tanımlanmıştır.

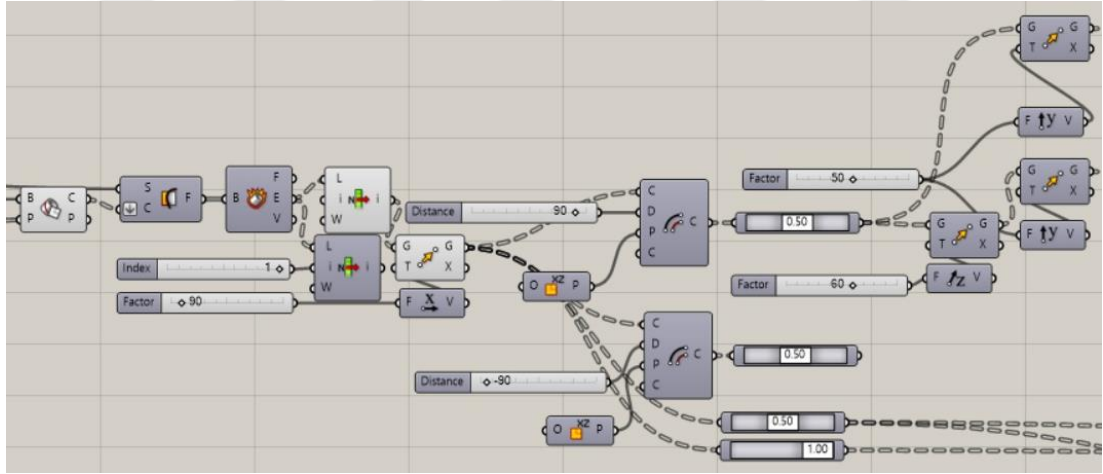


**Şekil 4.24 :** Cephe bileşeni 1/4 yamuk yüzeyinin Grasshopper ile oluşturulması. Yüzeyin plan, ön görünüş ve yan görünüşü.

Daha sonra noktalar bileştirilerek yamuğun kenarları oluşturulmuş, son olarak da yüzeyi oluşturacak komponent (4PointSurface) ile kanadın dörtte birini oluşturan yamuk yüzeyi ortaya çıkartılmıştır. Şekil 4.24'de cephe bileşeni Grasshopper yazılımında oluşturulan cephe bileşeni yamuk yüzeyi ekran görüntüsü yer almaktadır. Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da yamuğu oluşturan veri akış diyagramları görülmektedir.



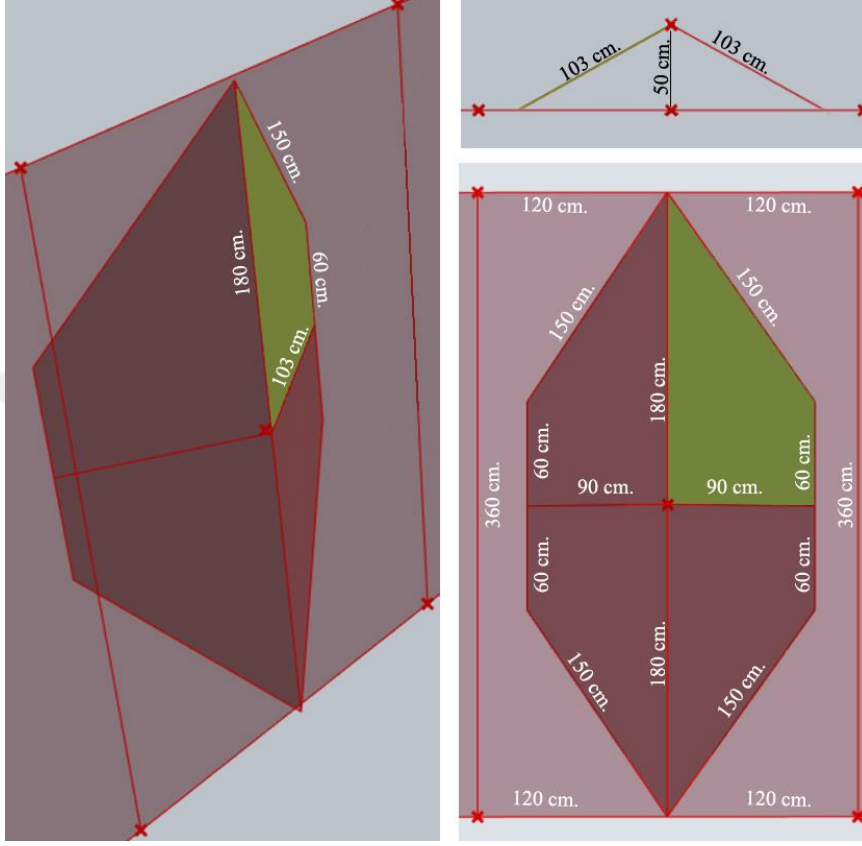
Şekil 4.25 : Cephe bileşeni 1/4 yamuk yüzeyinin Grasshopper veri akış diyagramı 01.



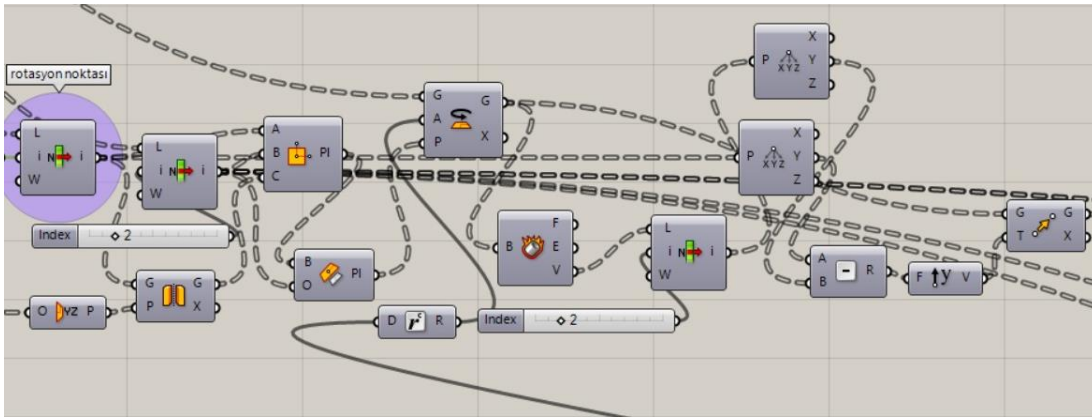
Şekil 4.26 : Cephe bileşeni 1/4 yamuk yüzeyinin Grasshopper veri akış diyagramı 02.

**Aşama 2 :** Nokta yerleşimleri ve yamuk yüzeyin oluşması ile birlikte tanımlanan 1/4 oranındaki cephe bileşeni kanadının üst ve alt kanatlarının katlanma ve dönme hareketi mekanizması için öncelikle birleşim noktası tanımlanmıştır. Böylece, x ve y eksenlerinde Grasshopper “mirror” komponenti kopyalanan yüzeylerin hareketinin sağlanacağı kanat birleşimindeki hareket noktası tanımlanmıştır (Şekil 4.27).

Üst kanatlar ve alt kanatlar kendi içerisinde gruplanarak birlikte hareket etmesi için gerekli sistem oluşturulmuştur. Böylece, cephe bileşeni yapılan tasarıma ve mevcut cephe ölçülerine göre boyutlandırılmış ve üst ile alt kanatların birleşim noktası üzerinde bileşenin dönme eksenini tanımlanmıştır (Şekil 4.28).



Şekil 4.27 : Cephe bileşenine tüm yüzeylerin oluşturulması.



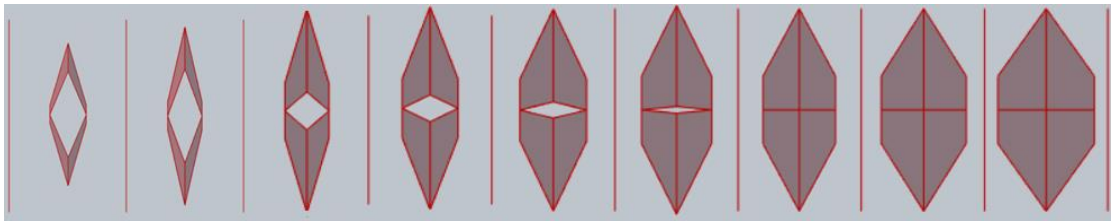
Şekil 4.28 : Cephe bileşeni rotasyon noktasının belirlenmesi ve yüzeylerin oluşturulması.

### 4.3 Dinamik Adaptif Cephenin Simülasyonu için Kinetik Sistemin Kodlanması

Cephe bileşenleri hareketlerinin ses basıncı ve ses kaynağı mesafesine göre değişimini gösterecek simülasyon için öncelikle yüksek ses basınç seviyesini temsil edecek bir nokta tanımlanmıştır. Yüksek ses basıncını temsil eden nokta, cephe bileşenlerine yaklaştıkça cephe bileşeni kanatları açılmakta, uzaklaştıkça üst ve alt kanatlar katlanıp dönerek kapanmakta ve minimum yüzey alanı oluşturmaktadır.

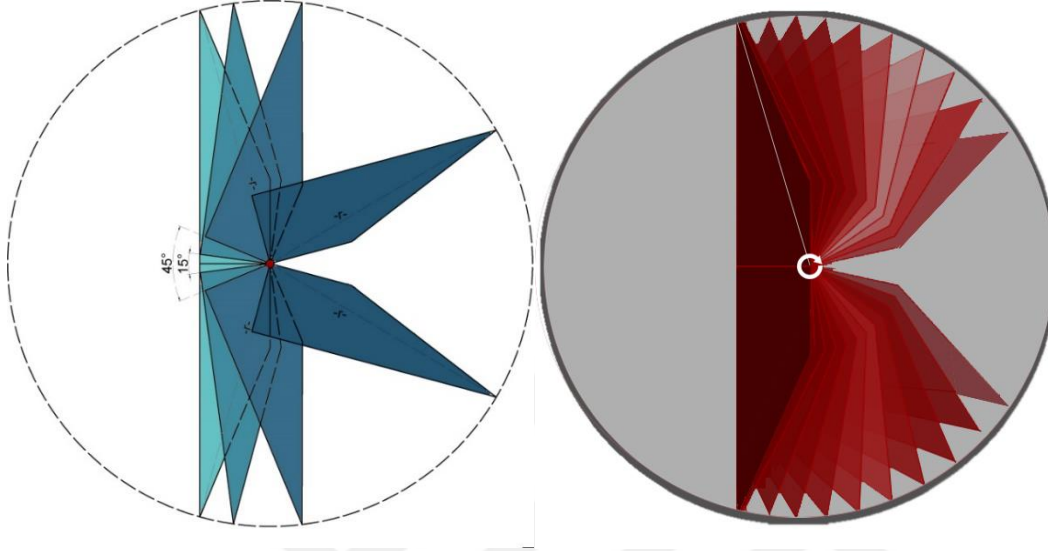
**Aşama 3 :** Bu aşamada ses basınç seviyelerine göre bileşenin hareketleri oluşturulmuştur. Bileşenin gürültü düzeylerine göre konumları ve sistem hareketine ait tanımlanan 1, 2, 3 ve 4. durumlarına ait x, y, z eksenlerindeki itme, çekme, katlanma ve bileşenin geriye doğru kapanması için gerekli dönme hareketleri oluşturulmuştur.

1. durum ve 4. durum arasında yumuşak bir geçiş olması sağlanmıştır. Cephe bileşenleri ses kaynağının geldiği doğrultu ve mesafeye göre de kodlanmıştır. Ses kaynağı cepheye yaklaştıkça en yakın bileşenden en uzak bileşene kadar tüm adaptif cephe elemanları bağımsız bir şekilde, ses basıncına göre, tanımlanan kinetik sistem doğrultusunda hareket edebilmektedir. Sistem üzerine bir limit değer tanımlanmıştır. 1. durumda maximum yüzey alanına sahip bileşen ses basıncı azaldıkça katlanarak kapanmaktadır. 2. Durum ve 3. Durum arasında üst ve alt kanat açısı için 15 derecelik bir limit değer belirlenmiştir. İki kanat arası açıklık 15 dereceye gelene kadar piston itme hareketi yapmaktadır. 15 dereceden sonra ise, pistonlar x eksenini doğrultusunda bileşeni iterken aynı zamanda döndürerek üst ve alt kanatların geriye doğru kapanmasını sağlamaktadır. İki kanat arasında 45° açıklık sağlandığında ise sadece dönme hareketi ile geriye doğru kapanmaktadır. Böylece 3. ve 4. Durum arasında sadece dönme hareketi tanımlanmıştır (Şekil 4.28). 15° ve 45°, dönme mekanizması için limit değerler olarak belirlenmiştir. Cephe bileşeni minimum yüzey alanı sağlandığında, bileşen kanatları ilk durum konumuna göre geriye doğru 90° dönmüş olmaktadır (Şekil 4.29).



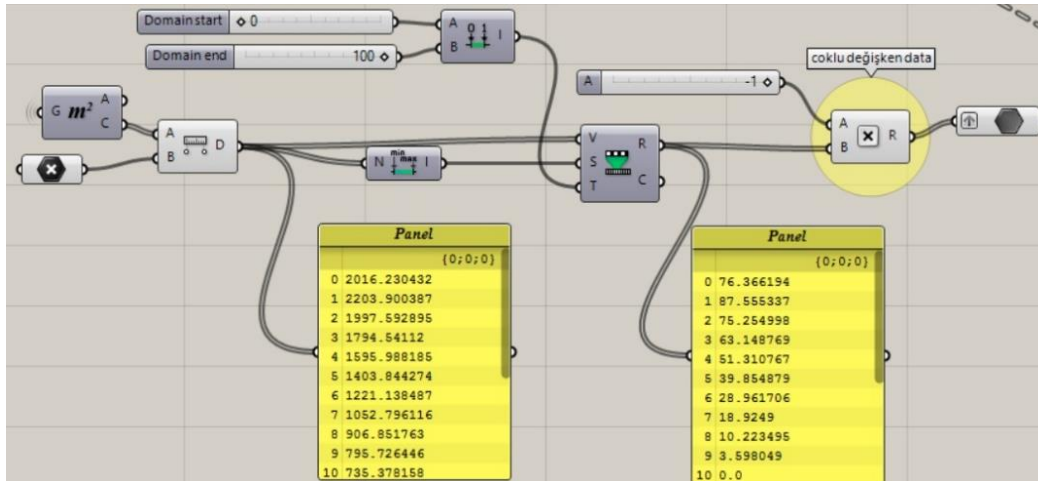
**Şekil 4.29 :** Ses basıncı değerlerine göre cephe bileşenlerinin ön görünüşü.

Piston yatay hareketleri ve dönme hareketi açıları Grasshopper yazılımı ile ses basınç seviyelerine göre eşleştirilmiştir. Şekil 4.30'da bileşenin, 1 ve 4. durumlar arasındaki dönme hareketine ilişkin sistem gösterilmiştir.



Şekil 4.30 : Cephe bileşenleri dönüş açıları diyagramı.

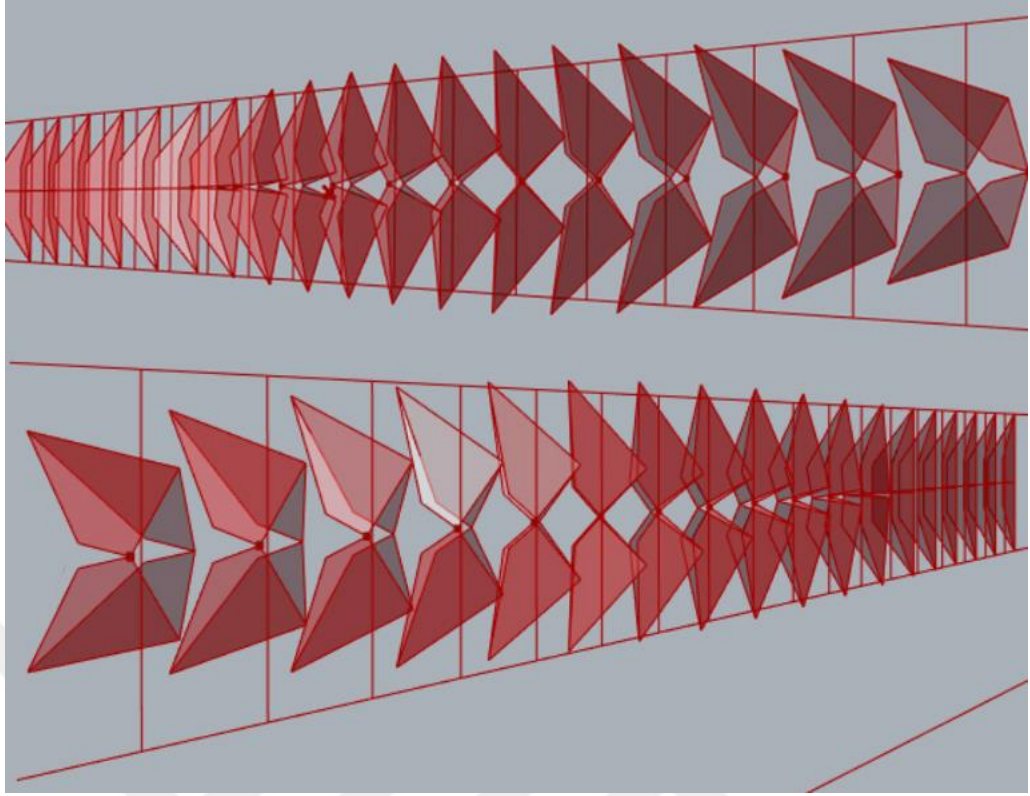
Cephe bileşenleri hareket sistemi simülasyonunu oluşturmak için, ses kaynağı noktası tanımlanmıştır. Ses kaynağı olarak konumlandırılan noktanın, cephe bileşenleri ile arasındaki mesafeler ve açılar Şekil 4.31'deki panelde gösterilmiştir.



Şekil 4.31 : Ses kaynağı ve bileşenler arasındaki mesafeye göre belirlenen dönüş açıları veri akış diyagramı.

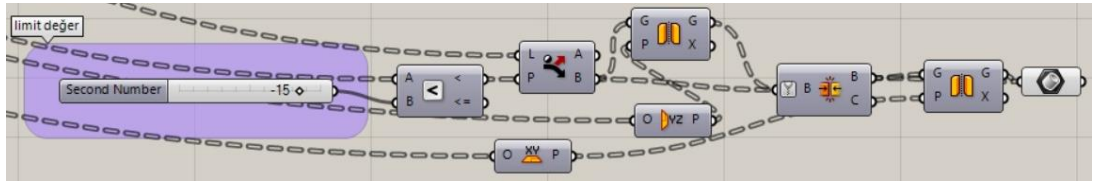
Cephe bileşenlerinin sistemdeki dönme açılarına ait durumların 3d görüntüsü Şekil 4.32'de gösterilmiştir. Bileşenlerin 0-90° arasındaki açıların da kinetik sisteme dahil edilmesi, sistemin daha hassas ve esnek bir yapıya sahip olmasını sağlamıştır.





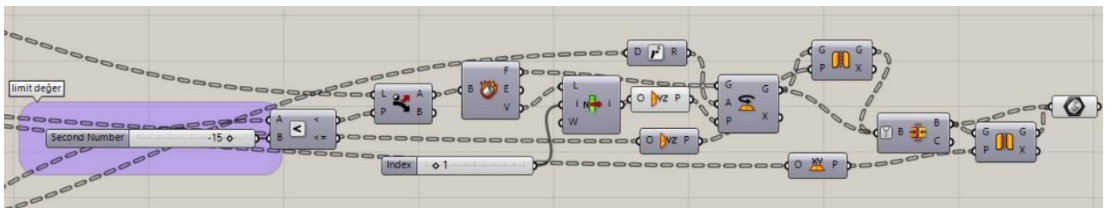
**Şekil 4.32 :** Cephe bileşenleri ses kaynağı mesafesine göre hareketi ön (alt) ve arka (üst) cephe perspektif görünüşü.

Şekil 4.33'de kanatların limit değer 15 dereceye kadar olan, pistonların itme ve bileşenin katlanarak, kapanmaya başlamasına ait veri akış diyagramı yer almaktadır.



**Şekil 4.33 :** Cephe bileşenleri ses kaynağı limit değere göre pistonların yatay eksenindeki itme hareketi veri akış diyagramı.

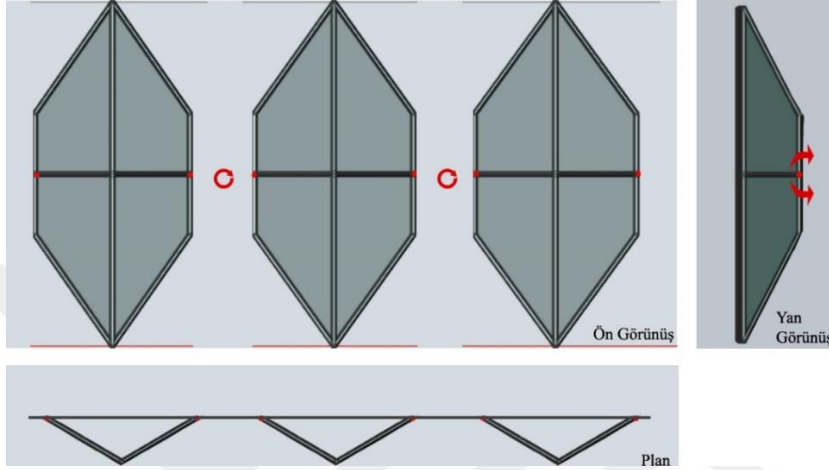
Şekil 4.34'de ise, kanatların arasındaki açının, 15 dereceden 45 dereceye kadar olan harekete ilişkin itme, katlanma ve dönme hareketinin birlikte olduğu kinetik mekanizmasına ilişkin veri akış diyagramı yer almaktadır.



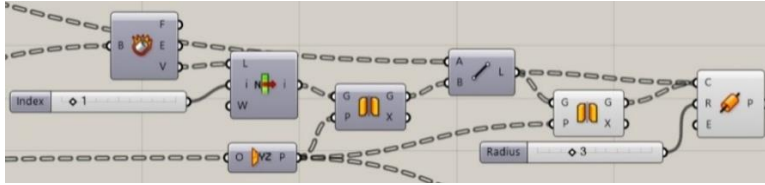
**Şekil 4.34 :** Cephe bileşenleri ses kaynağı limit değere göre pistonların yatay eksenindeki itme hareketi veri akış diyagramı.



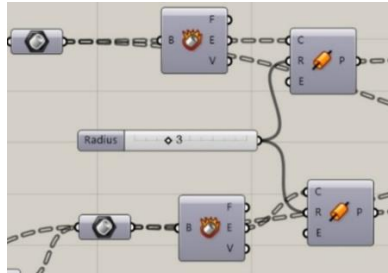
**Aşama 4 :** Cephe bileşen hareketleri veri akış diyagramları ve ses kaynağına göre hareketleri tanımlandıktan sonra adaptif cephe bileşenlerinin tasarım detaylarına ait modellemeye geçilmiştir. Cephe bileşenlerinin hafif çelik profilleri, sistem taşıyıcı profilleri, pistonlar ve kat bölmeleri parametrik modellemesi yapılmıştır. Öncelikle, bileşenlerin yüzey kaplaması Alphalia Silent Aw Lux malzemesinin 6 cm çapındaki dairesel çerçeve strüktürü oluşturulmuştur (Şekil 4.35).



**Şekil 4.35 :** Cephe bileşenleri Alphalia Silent Lux yüzey kaplaması çerçeve strüktürü. Şekil 4.35’de cephe bileşenleri plan, ön, yan görünüşleri çerçeve profilleri ve yüzey kaplamalarının Grasshopper yazılımdaki görünüşleri yer almaktadır. Şekil 4.36 ve Şekil 4.37’de çerçeve strüktürü profillerinin oluşturulmasına ait veri akış diyagramı yer almaktadır.

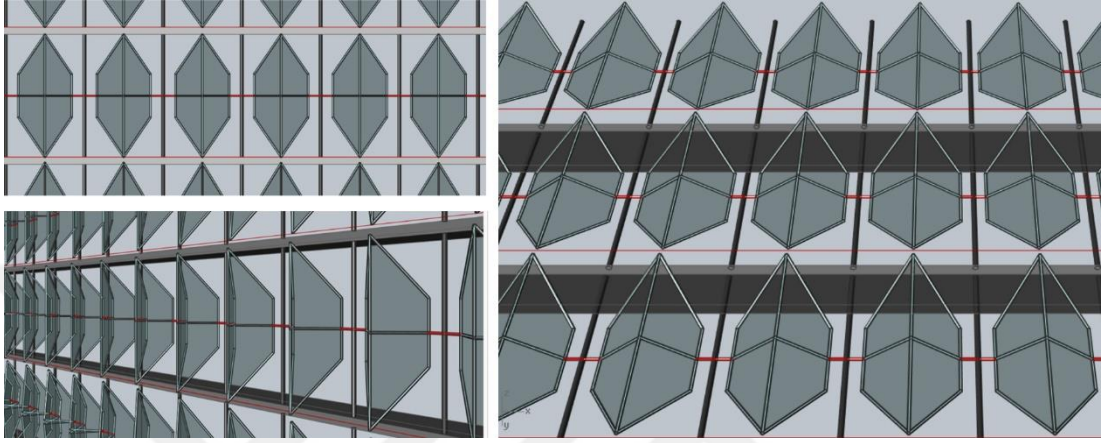


**Şekil 4.36 :** Cephe bileşenleri çerçeve strüktürü oluşturulması veri akış diyagramı-01.

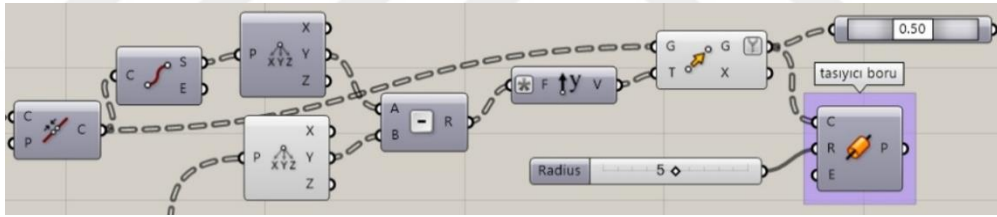


**Şekil 4.37 :** Cephe bileşenleri çerçeve strüktürü oluşturulması veri akış diyagramı-02.

**Aşama 5 :** Cephe bileşenlerinin monte edildiği çelik sistem düşey ve yatay taşıyıcı boru profilleri ve x eksenli boyunca hareketli piston sistemi oluşturulmuştur (Şekil 4.38 ve Şekil 4.39). Ayrıca, 360 cm. brüt kat yüksekliği hizasındaki, mevcut bina kirişlerine ankre edilen 120 cm. genişliğindeki ara koridor döşemesi oluşturulmuştur. Sistem, mevcut 20 kat adedi ve cephe genişliği boyunca çoğaltılarak, dinamik adaptif cephe bileşenleri cephenin tamamına yerleştirilmiştir.

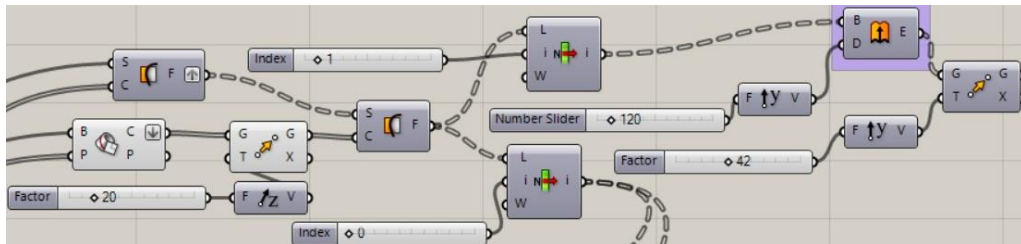


**Şekil 4.38 :** Cephe bileşenleri taşıyıcı boru profilleri, pistonlar ve kat hizası döşemesi ön cephe görünüşleri.



**Şekil 4.39 :** Taşıyıcı sistemin 6 cm çapındaki boru profillerinin oluşturulduğu veri akış diyagramı.

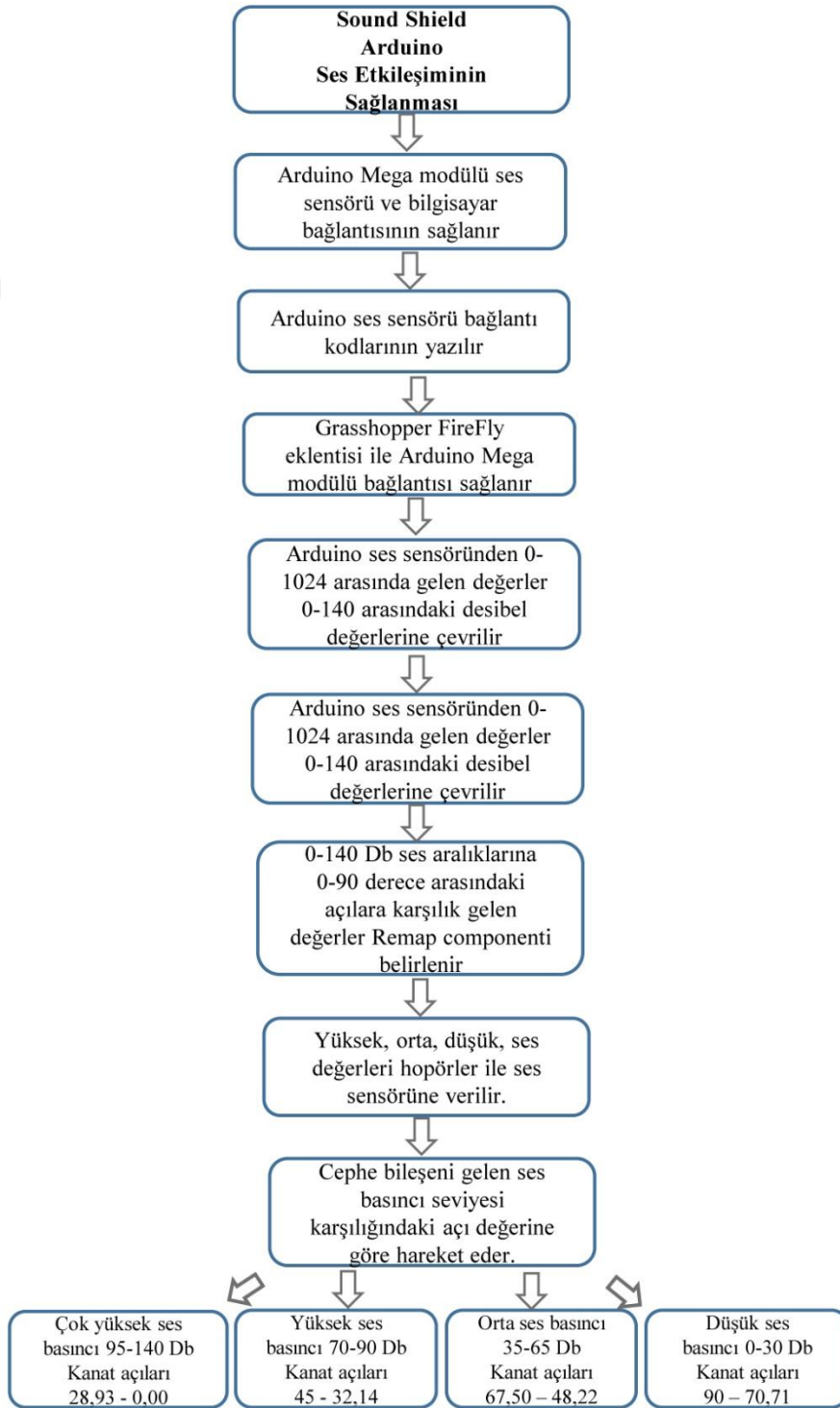
Dinamik adaptif cephe bileşenleri, düşük ses basıncında mevcut yapı cephesine doğru kapanmaktadır. Bileşenler kapandığında mevcut cephe ile arasındaki mesafe 120 cm'dir. Bu sebeple mevcut yapı betonarme taşıyıcı sistemine ankre edilen 120 cm. genişliğinde ara koridor olarak çelik döşemeler oluşturulmuştur (Şekil 4.40).



**Şekil 4.40 :** Mevcut cephe ve cephe bileşenleri arasındaki 120 cm ara koridorun oluşturulması veri akış diyagramı.

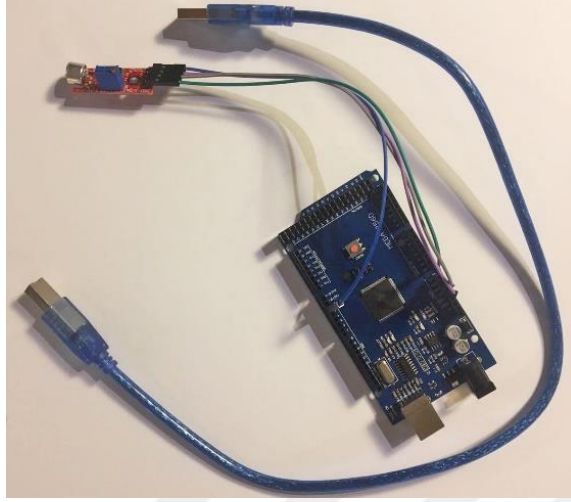
#### 4.4 Arduino Yazılımı ile Dinamik Adaptif Cephe Bileşeni Ses Etkileşiminin Sağlanması

Bu bölümde, tasarlanan dinamik adaptif cephenin, gerçek zamanlı ses etkileşimini sağlamak adına Arduino yazılımı ile 3 adet bileşeni üzerinden sistemin çalışması irdelenmiştir (Şekil 4.41).



Şekil 4.41 : Sound Shield, Arduino ile ses etkileşiminin sağlanması, akış diyagramı.

Bir adet Arduino Mega modülü, bir adet ses sensörü modülü ve Usb bağlantı kablosu kullanılmıştır (Şekil 4.42).



**Şekil 4.42 :** Arduino Mega modülü, ses sensörü modülü ve bağlantı kablosu.

Arduino ses sensörü kartı, üzerindeki mikrofon ile ortamdaki ses seviyesine göre 0-1024 değerleri arasında dijital çıkış veren bir karttır. Kart üzerinde yüksek veya düşük çevre seslerini, ortam gürültüsünü sürekli olarak okuyabileceğiniz potansiyometre yer almaktadır.

```
arduino-frekans_aktar_m_ | Arduino 1.8.4
Dosya Düzenle Taslak Araçlar Yardım
arduino-frekans_aktar_m_
|
int deger;
const int esik = 780;

void setup() {
  pinMode(A0, INPUT);
  pinMode(13, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  deger = analogRead(A0);

  //Serial.print("Deger : ");
  Serial.println(deger);
  //Serial.print("\n");

  if (deger > esik) {
    digitalWrite(13, HIGH);
  } else {
    digitalWrite(13, LOW);
  }

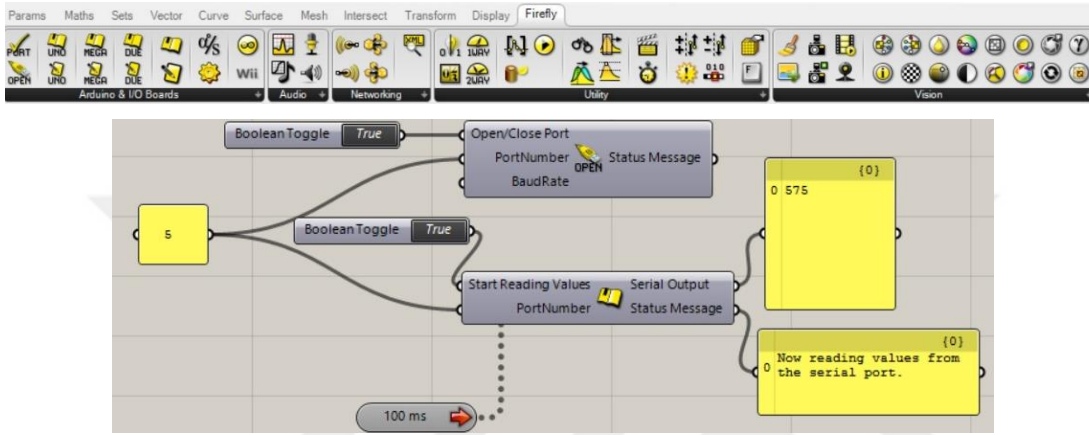
  delay(100);
}
```

**Şekil 4.43 :** Arduino Mega modülü ile ses sensörü bağlantısı kodları.

Öncelikle, Arduino Mega modülü devresi kurularak yazılımı yüklenmiştir. Daha sonra Arduino yazılımı çalıştırılarak, ses sensöründen algılanacak ses verileri girişi

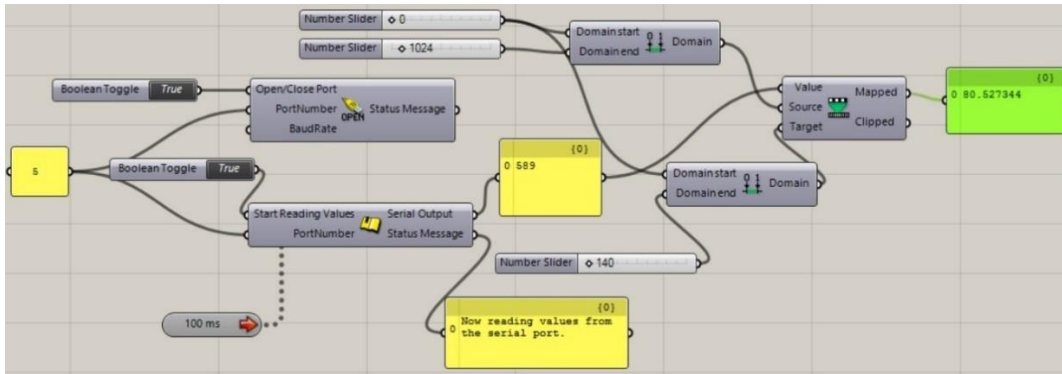
tanımlanmış ve ses değerlerinin sistem tarafından algılanması için gerekli kodlar yazılmıştır (Şekil 4.43).

Daha sonra Grasshopper yazılımı FireFly eklentisi kullanılarak, ses sensöründen sayısal değerlerin elde edilmesi sağlanmıştır. Sistemin çalışmasını göstermek amacıyla, Şekil 4.44'de ses sensöründen 100 ms. aralıklarla, kapalı mekan içerisinde 0-1024 arasında elde edilen gerçek zamanlı ses değerleri veri akış diyagramında gösterilmiştir.



Şekil 4.44 : Grasshopper FireFly menüsü (üst) ve FireFly - Arduino veri akış diyagramı (alt).

Çevre gürültüsü ölçümlerinde ise ses basıncı seviyesi yani desibel değerleri kullanılmaktadır. Bu sebeple öncelikle, gerçek zamanlı Arduino ses sensöründen gelen değerlerin, desibel (dB) değerlerine dönüştürülmesi sağlanmıştır. Arduino kart ses sensörü 0-1024 aralığındaki ses değerlerini algılamaktadır. Yapılan dinamik adaptif cephe tasarımında gürültü seviyesi en yüksek ses basıncı değeri 140 dB, en düşük ses basıncı değeri 0 dB olarak tanımlanmıştır.

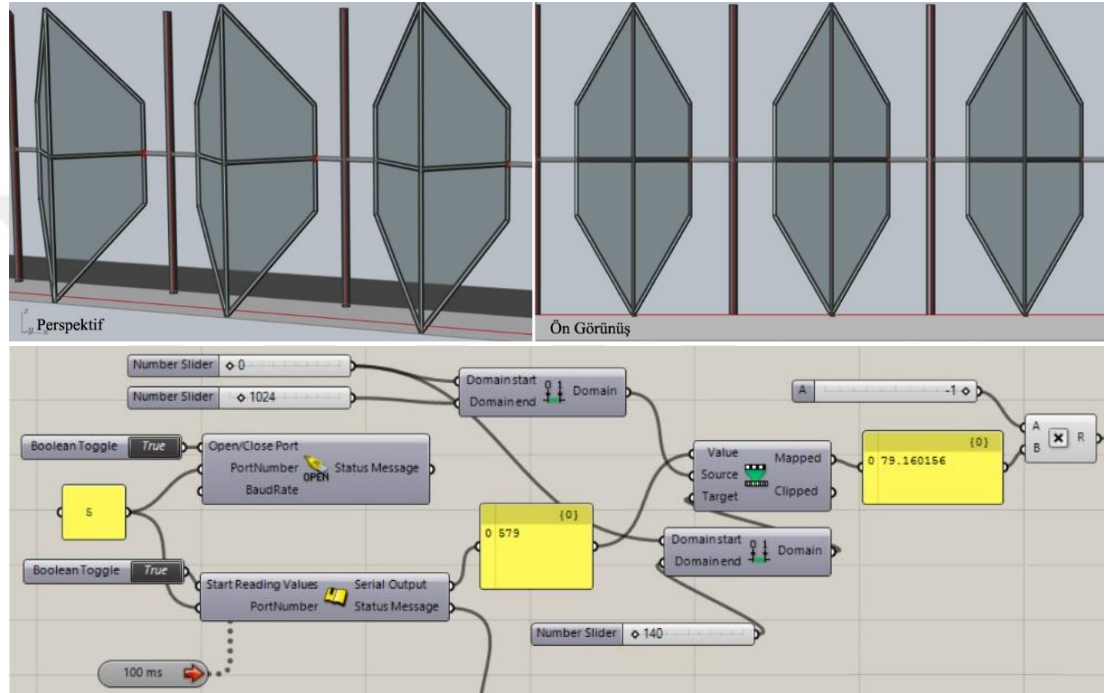


Şekil 4.45 : Ses sensörü değerlerinin desibel değerlerine dönüşümü veri akış diyagramı.



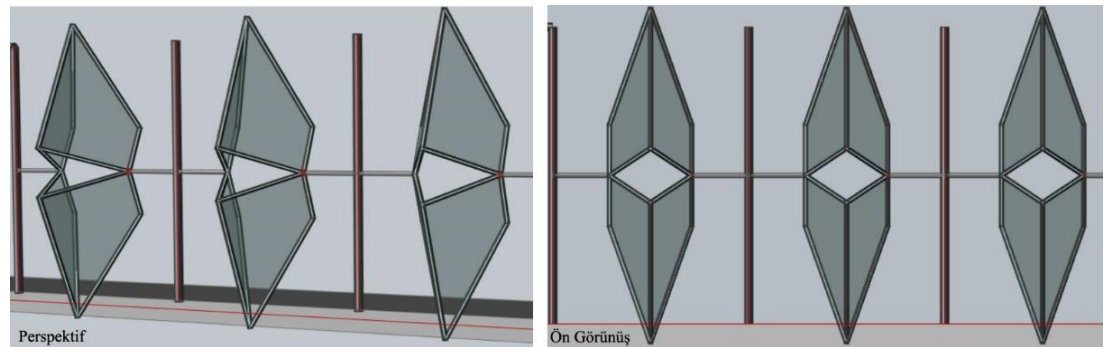
Arduino, ses sensörüne gelen 0-1024 ses değerinin, 0-140 dB ses basıncı değerlerine dönüştürülmesi için Şekil 4.45’deki veri akış diyagramı oluşturulmuştur. Arduino ses sensörü modülünden gelen ses değerlerinin desibele dönüştürülmesinden sonra, yüksek, orta ve düşük ses basıncı değerlerinde gerçek zamanlı ses sensörüne verilen sesler ile cephe modülü etkileşimi sağlanmıştır.

**1. Değer :** Yüksek ses basıncı 65-90 dB değer üzerinden, gerçek zamanlı olarak elde edilen cephe modülü hareketi ve veri akış diyagramı Şekil 4.46’da gösterilmiştir.



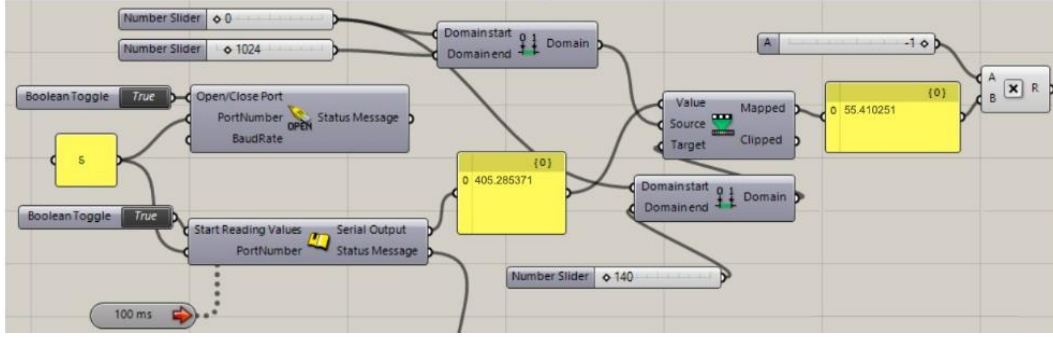
**Şekil 4.46 :** Gerçek zamanlı yüksek ses basıncı 79.16 dB değerinde cephe bileşeni hareketi (üst), veri akış diyagramı (alt).

**2. Değer :** Orta ses basıncı 30-65 dB değer üzerinden, gerçek zamanlı olarak elde edilen cephe modülü hareketi Şekil 4.47’de, veri akış diyagramı ise Şekil 4.48’de gösterilmiştir.



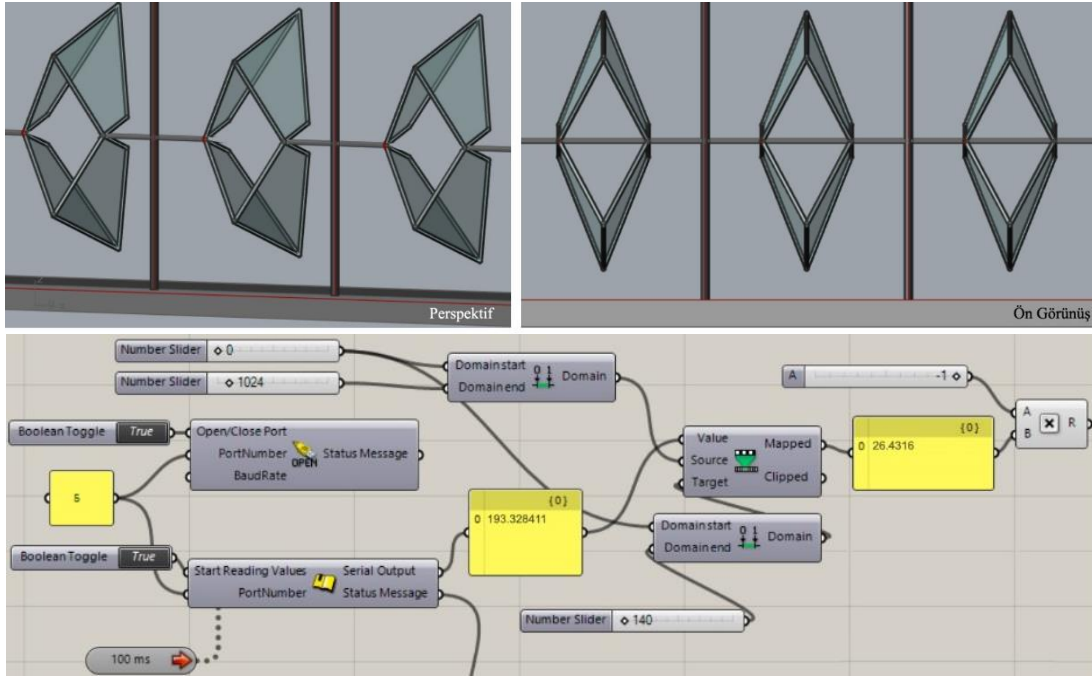
**Şekil 4.47 :** Gerçek zamanlı orta ses basıncı 55.41 dB değerinde cephe bileşeni hareketi.





Şekil 4.48 : Gerçek zamanlı orta ses basıncı 55.41 dB değerleri veri akış diyagramı.

3. Değer : Düşük ses basıncı 0-30 dB değer üzerinden, gerçek zamanlı olarak elde edilen cephe modülü hareketi ve veri akış diyagramı Şekil 4.49’da gösterilmiştir.

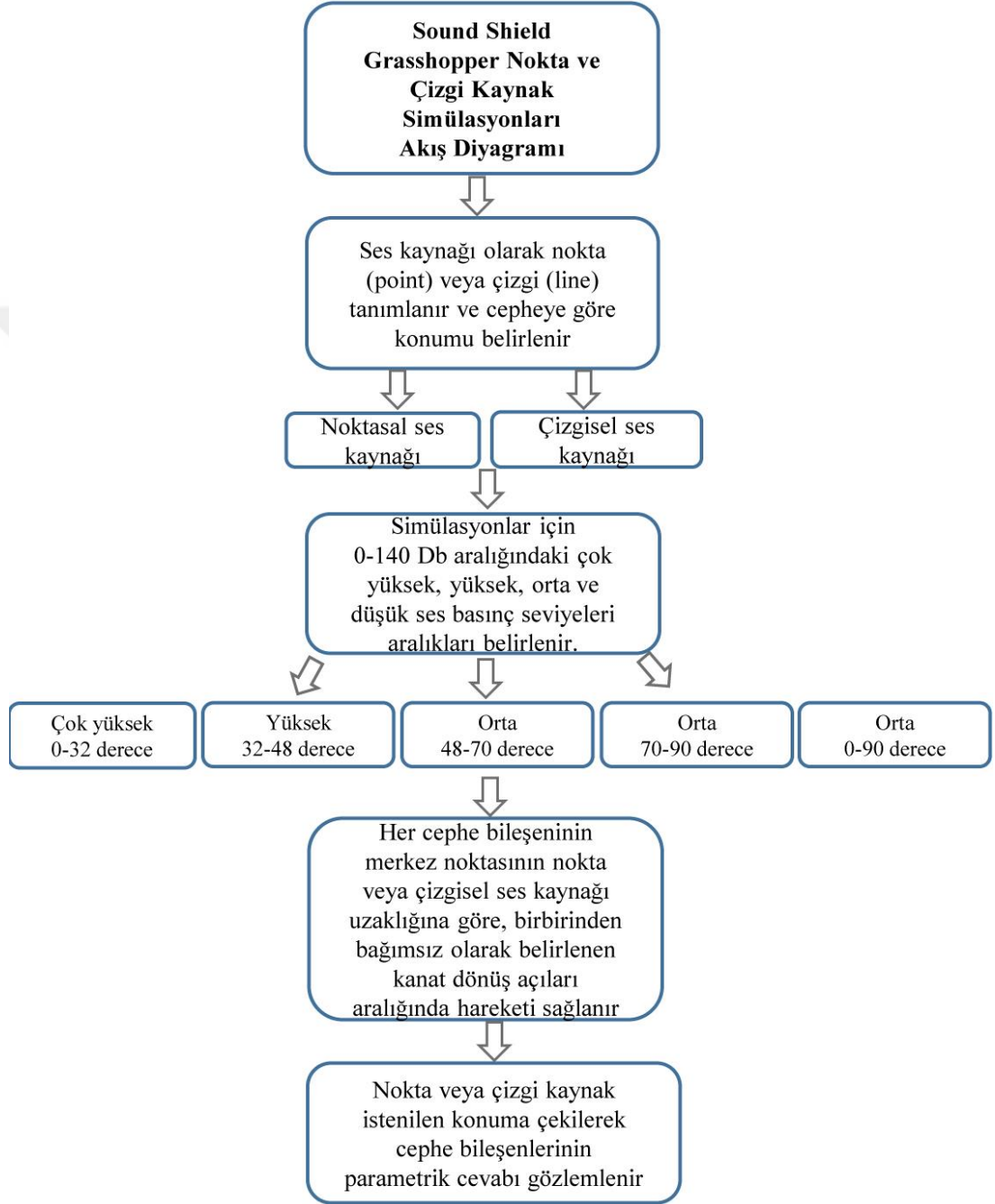


Şekil 4.49 : Gerçek zamanlı düşük ses basıncı 26.43 dB değerinde cephe bileşeni hareketi(üst), veri akış diyagramı (alt).

Arduino yazılımı kullanılarak, 3 farklı ses basıncına göre, dinamik adaptif cephe sistemi önerisinin, gerçek zamanlı ses etkileşimi sağlanmıştır. Bu bağlamda çevresel gürültülere karşı iç mekan konforunu arttıran, ses bariyeri niteliğinde bir cephe elde edilmiştir. Bilgisayar ortamında tek ses sensörü molüdü ile ortalama tek bir ses basınç değeri elde ediliyor olması sebebiyle cephe bileşenlerinin hepsi aynı anda tek bir harekete sahip olmaktadır. Dinamik adaptif sistemin çoklu sensörler ile hareketinin aktarılabilmesi için, cephenin geneline ait parametrik nokta simülasyonu yapılmıştır. Böylece sistemin cephe genelindeki hareket mekanizması daha iyi aktarılmaya çalışılmıştır.

#### 4.5 Dinamik Adaptif Cephe Sisteminin Mevcut Cephe Üzerinde Simülasyonu

Bu bölümde noktasal ve çizgisel kaynaklar tanımlanarak, Grasshopper yazılımı ile sistemin parametrik olarak çalışması sağlanmıştır. Sound Shield cephe önerisinin interaktif olarak verdiği kinetik cevabın değerlendirilmesi sağlanmıştır (Şekil 4.50).



Şekil 4.50 : Sound Shield cephe önerisi, Grasshopper yazılımı ile yapılan noktasal ve çizgisel simülasyonlara ilişkin model akış diyagramı.

Simülasyonlarda, tüm cephe bileşenleri üzerine ses sensörü modüllerinin yerleştirildiği varsayılmıştır. Böylece, cephe üzerindeki tüm bileşenlerinin bulunduğu konuma göre, farklı ses basıncı seviyelerini algılayabilmesi sağlanmıştır. Simülasyonda, cephe bileşenlerinin, belirlenen ses kaynağına olan uzaklığına ve ses şiddetine göre değişken hareketlere sahip olması amaçlanmıştır.

Simülasyonu için baz alınan ses kaynağı tipi ve ses basınç seviyeleri belirlenmiştir (Şekil 4.51).

| Simülasyon | Ses Kaynağı | Ses Basınç Değeri | Gürültü Seviyesi | Kanat Dönüş Açısı Aralığı |
|------------|-------------|-------------------|------------------|---------------------------|
| 1          | Noktasal    | 90 - 140 dB       | Çok Yüksek       | 0° - 32°                  |
| 2          | Noktasal    | 65 - 90 dB        | Yüksek           | 32° - 48°                 |
| 3          | Noktasal    | 30 - 65 dB        | Orta             | 48° - 70°                 |
| 4          | Noktasal    | 0 - 30 dB         | Düşük            | 70° - 90°                 |
| 5          | Noktasal    | 90 - 140 dB       | Çok Yüksek       | 0° - 90°                  |
| 6          | Çizgisel    | 90 - 140 dB       | Çok Yüksek       | 0° - 90°                  |

**Şekil 4.51 :** Simülasyonların ses kaynağı tipi ve tanımlanan kanat dönüş açıları.

Simülasyonlarda, noktasal ve trafik gürültüsü için çizgisel olarak iki kaynak tipi baz alınmıştır. Düzlemsel ses kaynağı tez kapsamı dışında bırakılmıştır. 1, 2, 3, 4. simülasyonlar, aynı noktadan gelebilecek farklı ses basınç seviyelerine göre tanımlanmıştır. Tüm ses basınç seviyelerine göre 0-140 dB değerleri arasındaki ses basıncı, 5 dB'lik oranla artmakta ve bu ses seviyelerine karşılık gelen değerler, kanatların ilk durum ve son durumları arasındaki dönüş açılarını belirtmektedir. Örneğin noktasal bir kaynaktan gelen çok yüksek ses basıncı karşısında, tüm cephe genelinde, cephe bileşenlerinin üst ve alt kanatlarının maximum dönüş açısı 32 derece, minimum ise 0 derecedir. Sistemin hareket hassasiyetinin artırılması amacıyla, 0-140 desibel arasındaki değerlerin 0-90 derece arasındaki dönüş açılarına karşılık gelen değerleri hesaplanmıştır (Şekil 4.52).

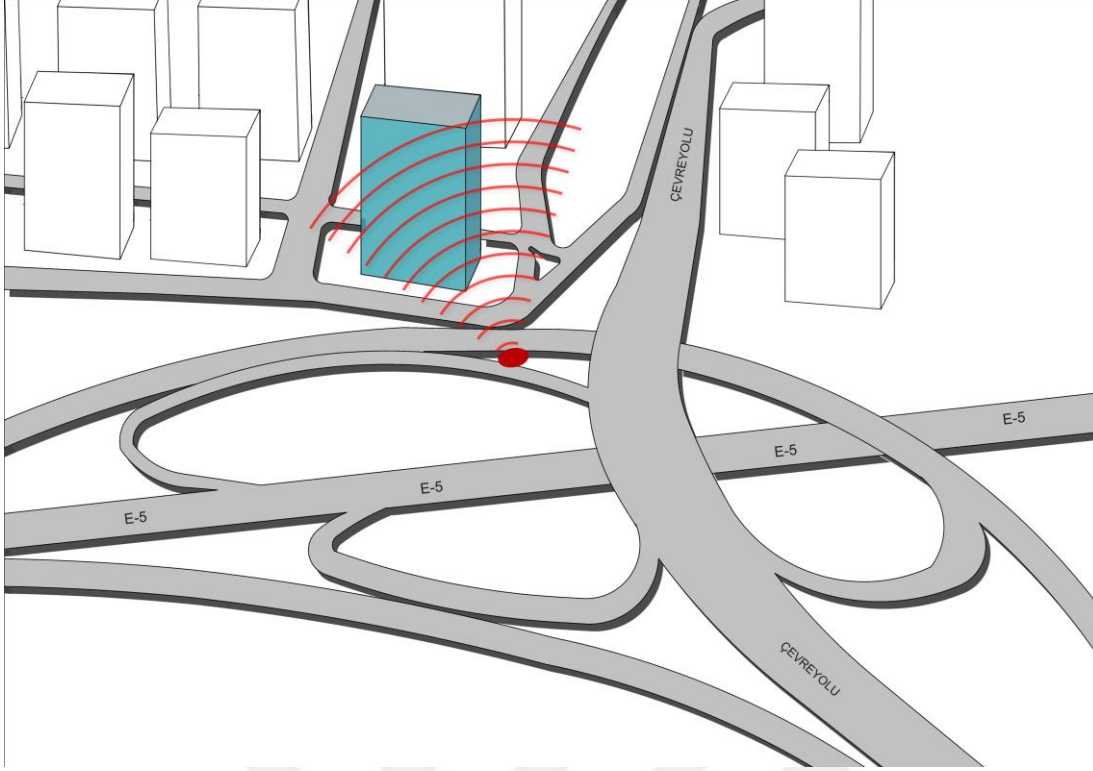
5. simülasyonda, ilk 4 simülasyondaki hassasiyet düşürülerek, nokta ses kaynağı yüksek ses basıncı değerlerine göre, kanat dönüş açısının 0 ve 90 derece olarak tanımlandığı simülasyon oluşturulmuştur. İlk 4 simülasyondaki, ses basınç seviyelerine göre dönüş açıları 3,2142 derecedir ve kinetik mekanizmanın hassasiyeti yüksektir. Cephe bileşenlerinin, 74 metre yükseklikte cephe genelindeki hareketlerinin, 1, 2, 3 ve 4. simülasyonlarda tam hissedilemiyor olması sebebiyle, 5. simülasyon yapılarak, cephe bileşeni hareketlerinin daha net gösterilebilmesi

amaçlanmıştır. Burada, cephe genelinde, en yüksek ses basınç değerindeki kanat dönüş açısı 0 iken, en düşük ses basınç seviyesindeki dönüş açısı 90 derecedir.

| Ses Basıncı-Db | Gürültü Seviyesi | Kanat Dönüş Açısı |
|----------------|------------------|-------------------|
| 0              | Düşük            | 90,00             |
| 5              | Düşük            | 86,79             |
| 10             | Düşük            | 83,57             |
| 15             | Düşük            | 80,36             |
| 20             | Düşük            | 77,14             |
| 25             | Düşük            | 73,93             |
| 30             | Düşük            | 70,71             |
| 35             | Orta             | 67,50             |
| 40             | Orta             | 64,29             |
| 45             | Orta             | 61,07             |
| 50             | Orta             | 57,86             |
| 55             | Orta             | 54,64             |
| 60             | Orta             | 51,43             |
| 65             | Orta             | 48,22             |
| 70             | Yüksek           | 45,00             |
| 75             | Yüksek           | 41,79             |
| 80             | Yüksek           | 38,57             |
| 85             | Yüksek           | 35,36             |
| 90             | Yüksek           | 32,14             |
| 95             | Çok Yüksek       | 28,93             |
| 100            | Çok Yüksek       | 25,72             |
| 105            | Çok Yüksek       | 22,50             |
| 110            | Çok Yüksek       | 19,29             |
| 115            | Çok Yüksek       | 16,07             |
| 120            | Çok Yüksek       | 12,86             |
| 125            | Çok Yüksek       | 9,65              |
| 130            | Çok Yüksek       | 6,43              |
| 135            | Çok Yüksek       | 3,22              |
| 140            | Çok Yüksek       | 0,00              |

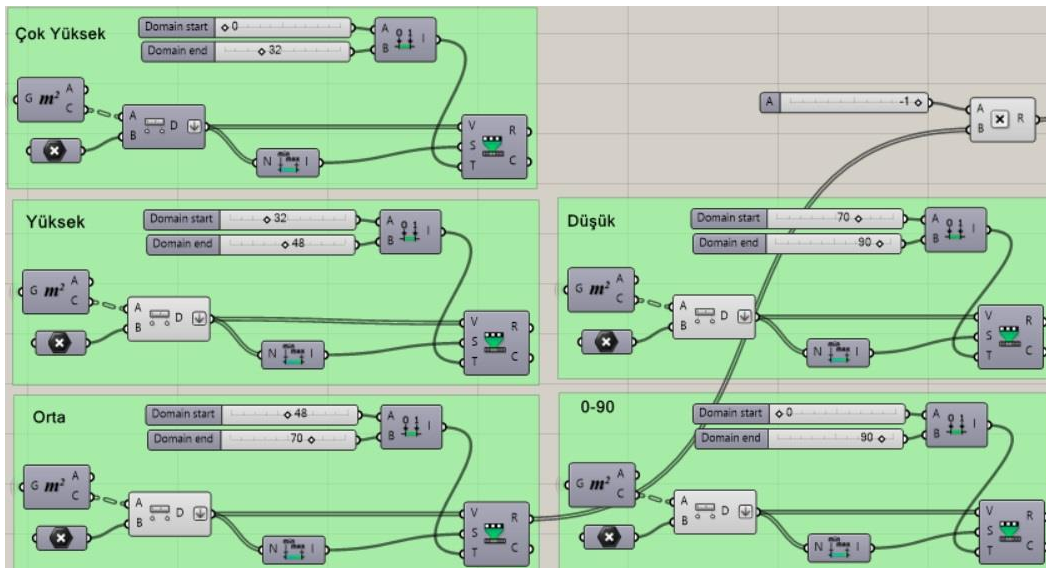
**Şekil 4.52 :** Ses basınç seviyesine karşılık gelen kanat dönüş açıları.

Mevcut cephe üzerinde hazırlanan simülasyon için, öncelikle vaziyet planı üzerinde noktasal ses kaynağı konumu belirlenmiştir. Noktasal ses kaynağı, kuzey-doğu ve kuzey-batı cephelerinde 74 metre yükseklik boyunca devam eden cephe bileşenlerinin birleştiği köşede, kuzey yönünde ve zemin kat hizasında konumlandırılmıştır (Şekil 4.53). Ses şiddeti olarak, çok yüksek, yüksek, orta, düşük ses basıncı seviyeleri baz alınmıştır. Ayrıca trafik gürültüsünün çizgisel kaynak tipine ait gürültü sınıfına girmesi sebebiyle, simülasyon 6'da Çevreyolu ve E-5 üzerinde çizgisel kaynak yüksek ses basıncı simülasyonu yapılmıştır. Belirlenen ses basınç seviyeleri ve kaynak tiplerine göre cephe sistemi simülasyonuna ait sonuç ürünleri çıktıları alınmıştır.



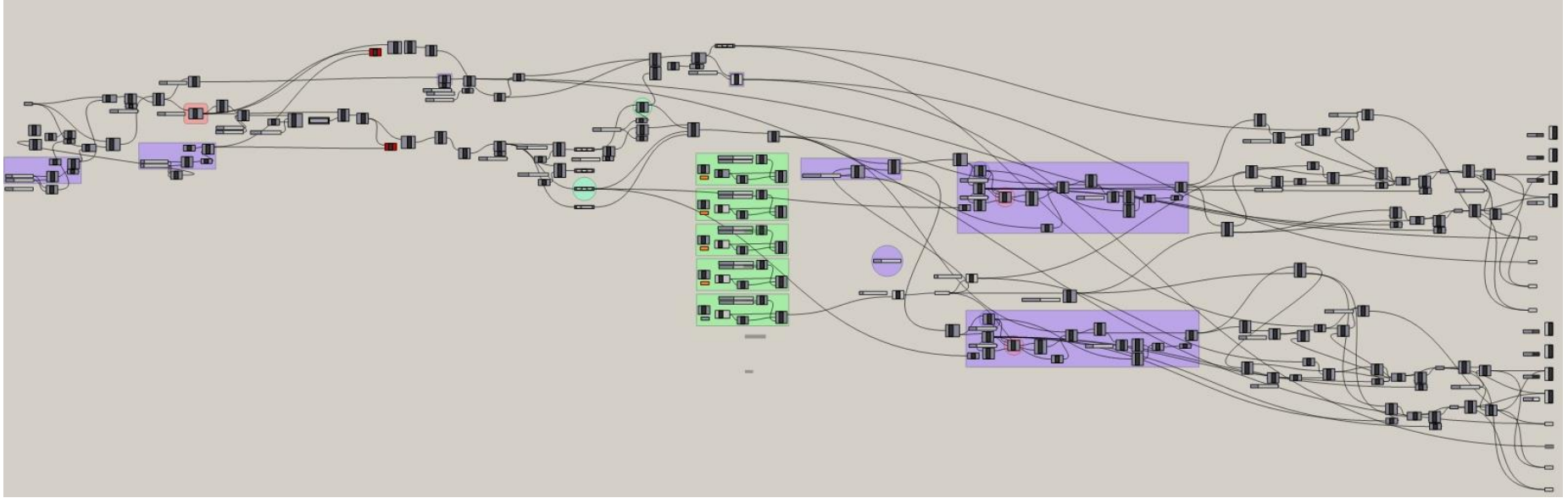
**Şekil 4.53 :** Noktasal ses kaynağı simülasyonu, kaynağın vaziyet planındaki konumu, kuzey cephesi.

1, 2, 3, 4. simülasyonların, tanımlanan nokta ses kaynağına olan uzaklığa göre değişen, ses basınç seviyeleri (dB) ve kanat açıklıkları tablosundaki aralıklara göre tanımlanan veri akış diyagramları Şekil 4.54’de gösterilmiştir. Sound Shield cephe sisteminin oluşturulması ve simülasyonlara ait genel akış diyagramı ise Şekil 4.55’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.54 :** 1, 2, 3, ve 4. Simülasyonların hesaplanan kanat açıklıkları aralık değerlerine ait veri akış diyagramı.





Şekil 4.55 : Sound Shield cephe bileşenlerinin oluşturulması ve 1, 2, 3, 4, 5 ve 6. simülasyonlara ait veri akış diyagramı.



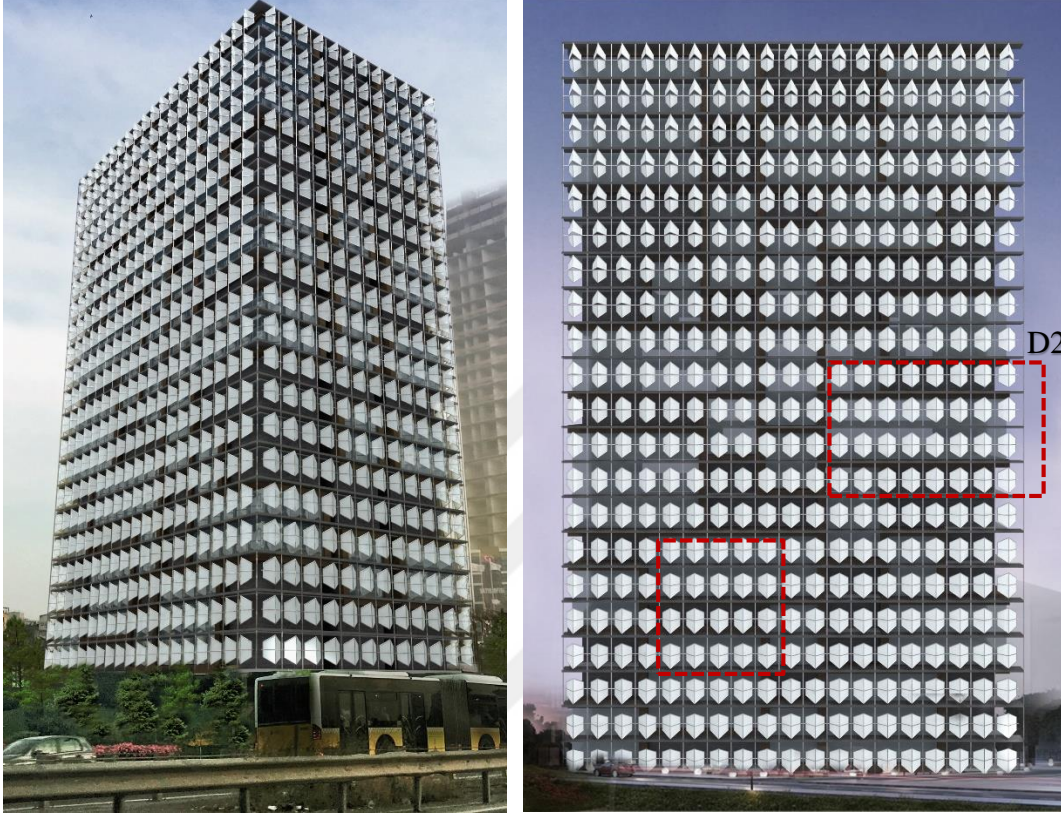
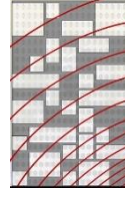
## Simülasyon 1

- Ses kaynağı tipi : Noktasal

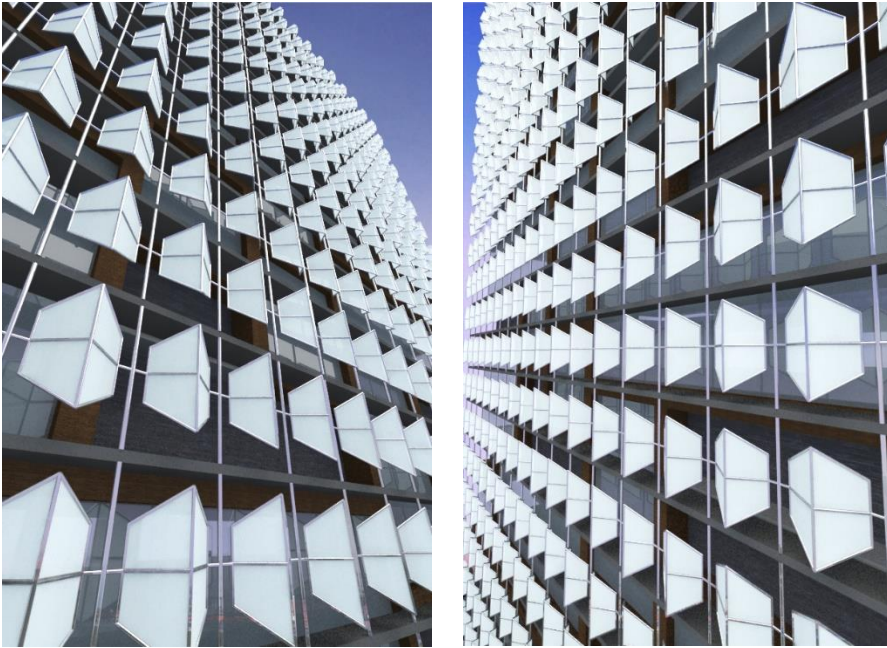
- Gürültü seviyesi : Çok yüksek

- Ses basınç değeri aralığı : 90-140 dB

- Kanat dönüş açısı aralığı : 0°-32°



Şekil 4.56 : Simülasyon 1 cephe perspektifi (sol) ve cephe kuzey-doğu görünüşü (sağ).

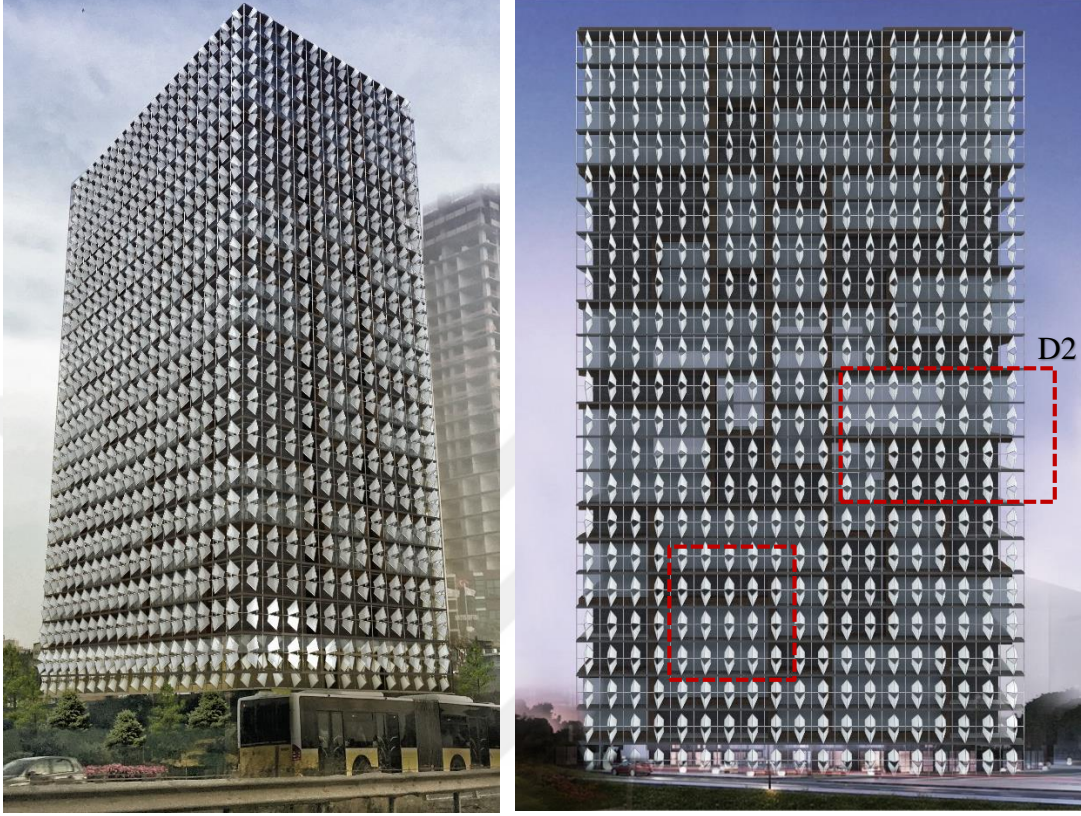


Şekil 4.57 : Cephe bileşenleri, D1 - D2 yakın perspektif görünüşleri.

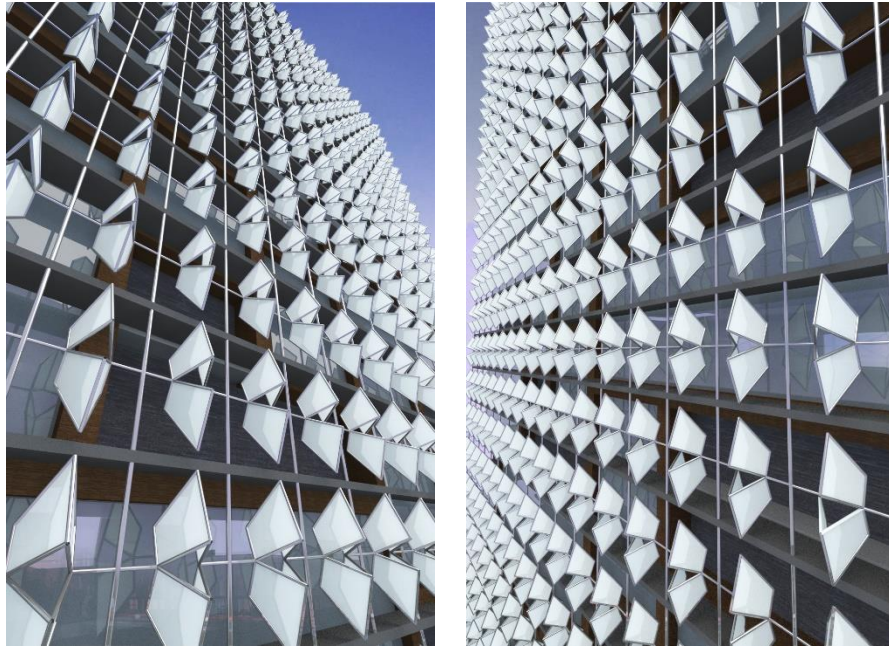


## Simülasyon 2

- Ses kaynağı tipi : Noktasal
- Gürültü seviyesi : Yüksek
- Ses basınç değeri aralığı : 65-90 dB
- Kanat dönüş açısı aralığı : 32°-48°



Şekil 4.58 : Simülasyon 2 cephe perspektifi (sol) ve cephe kuzey-doğu görünüşü (sağ).

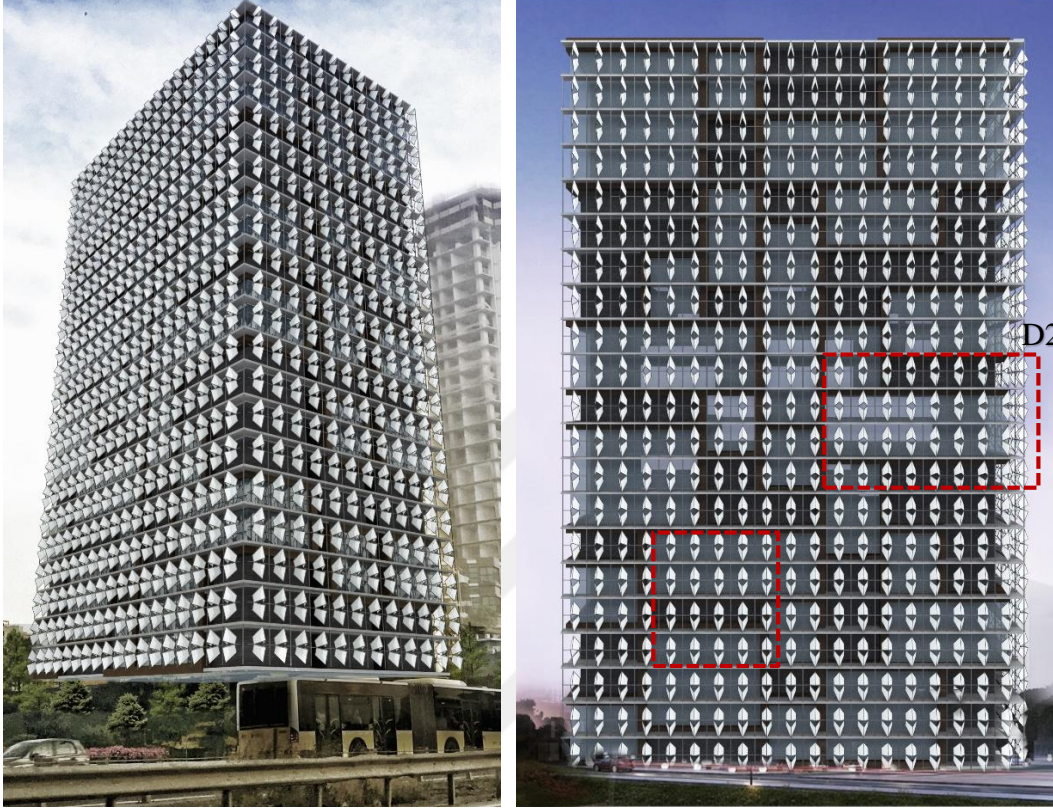
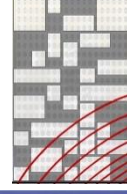


Şekil 4.59 : Cephe bileşenleri yakın perspektif görüntüleri.

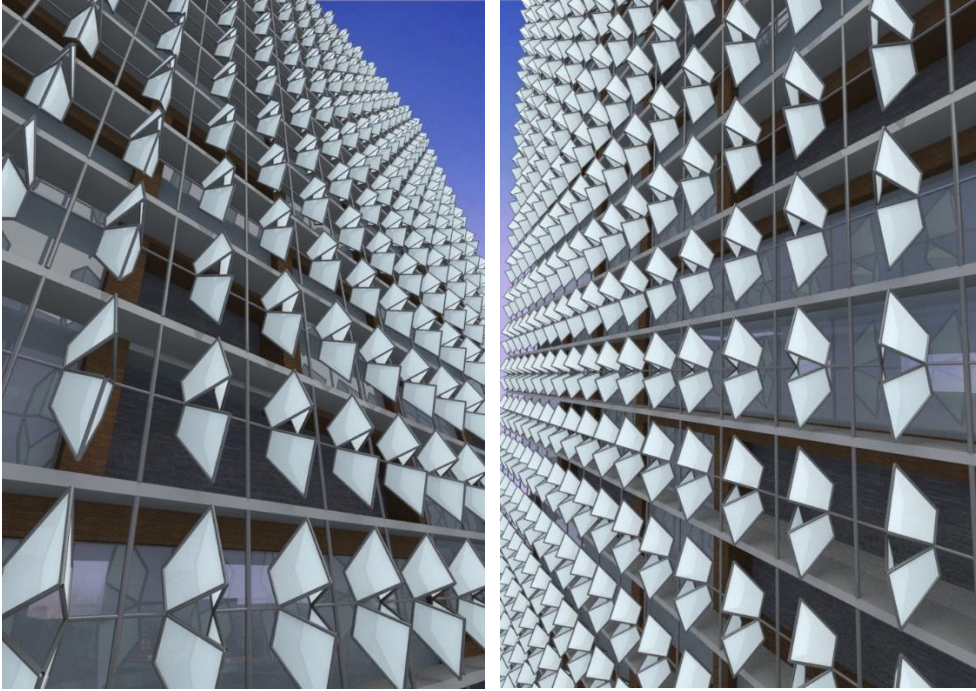


### Simülasyon 3

- Ses kaynağı tipi : Noktasal
- Gürültü seviyesi : Orta
- Ses basınç değeri aralığı : 30-65 dB
- Kanat dönüş açısı aralığı : 48°-70°



Şekil 4.60 : Simülasyon 3 cephe perspektifi (sol) ve cephe kuzey-doğu görünüşü (sağ).

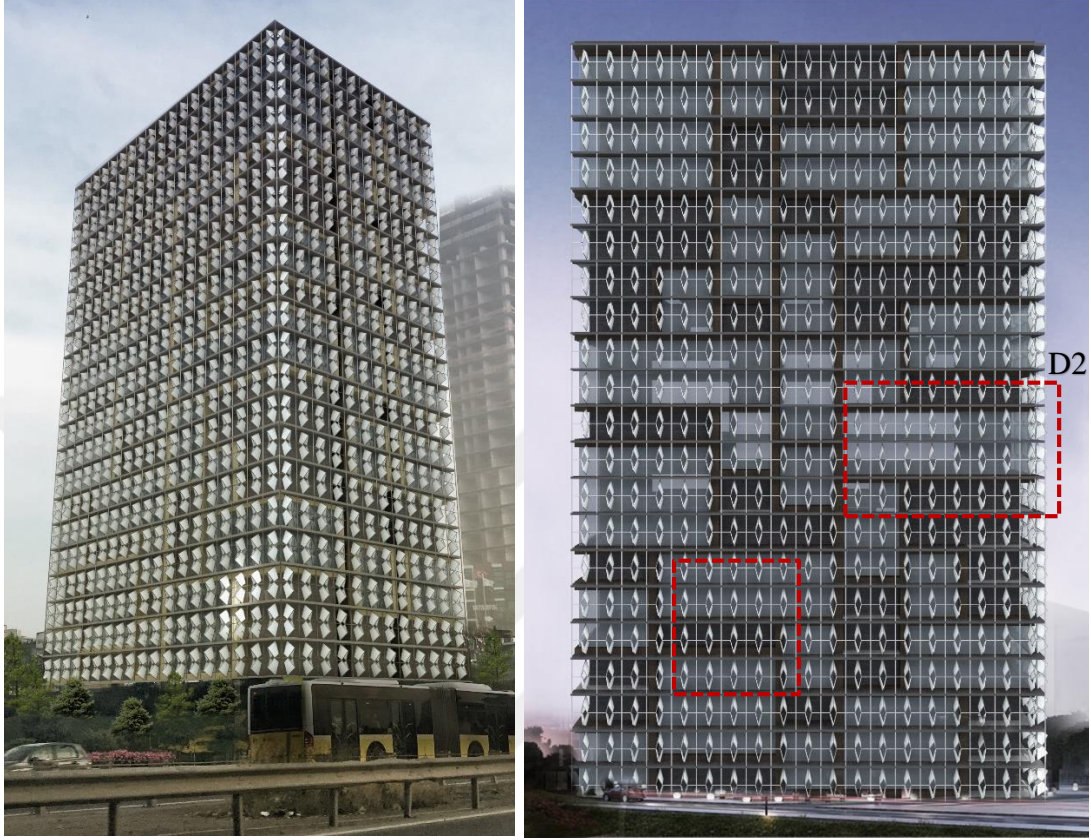


Şekil 4.61 : Simülasyon 3, cephe bileşenleri yakın perspektif görünüşleri.

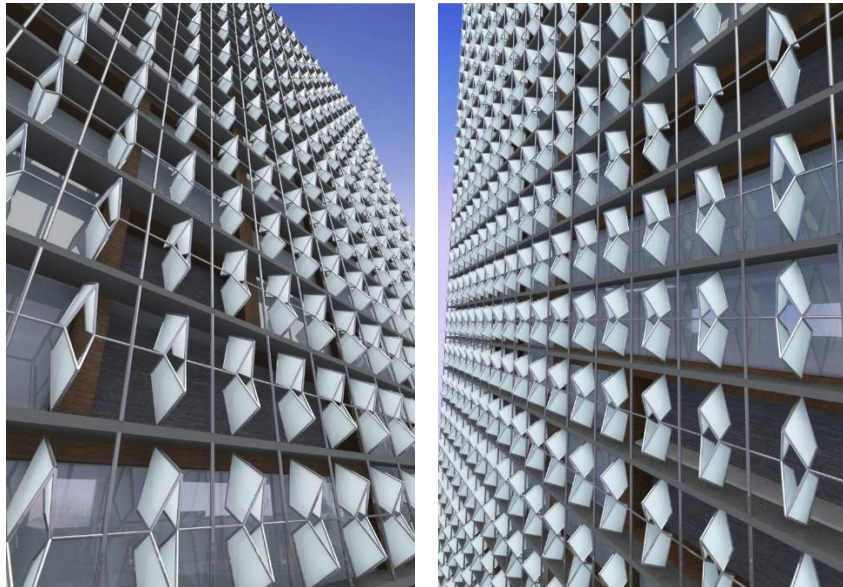


#### Simülasyon 4

- Ses kaynağı tipi : Noktasal
- Gürültü seviyesi : Düşük
- Ses basınç değeri aralığı : 0-30 dB
- Kanat dönüş açısı aralığı : 70°-90°



Şekil 4.62 : Simülasyon 4 cephe perspektifi (sol) ve cephe kuzey-doğu görünüşü (sağ).



Şekil 4.63 : Simülasyon 4, cephe bileşenleri yakın perspektif görüntüleri.



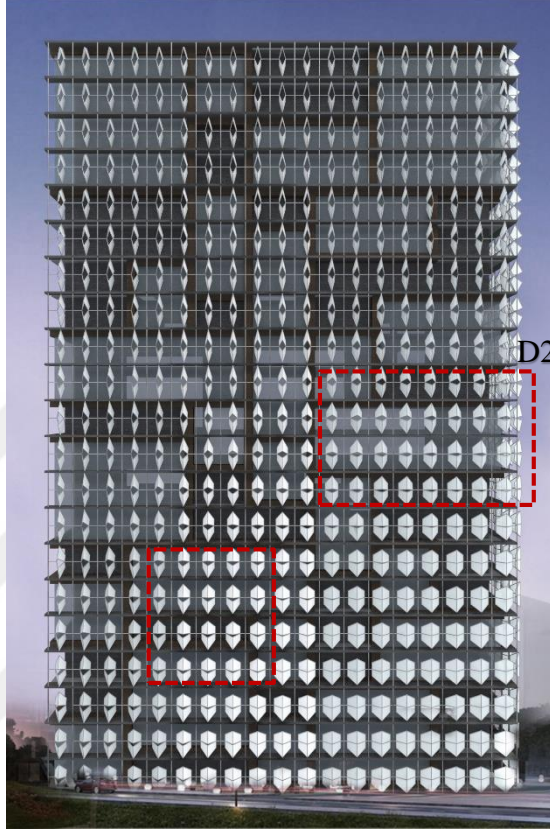
### Simülasyon 5- 01

- Ses kaynağı tipi : Noktasal

- Gürültü seviyesi : Çok Yüksek

- Ses basınç değeri aralığı : 90-140 dB

- Kanat dönüş açısı aralığı : 0°-90°



Şekil 4.64 : Simülasyon 5 cephe perspektifi (sol) ve cephe kuzey-doğu görünüşü (sağ).



Şekil 4.65 : Simülasyon 5-01, cephe bileşenleri yakın perspektif görüntüleri.



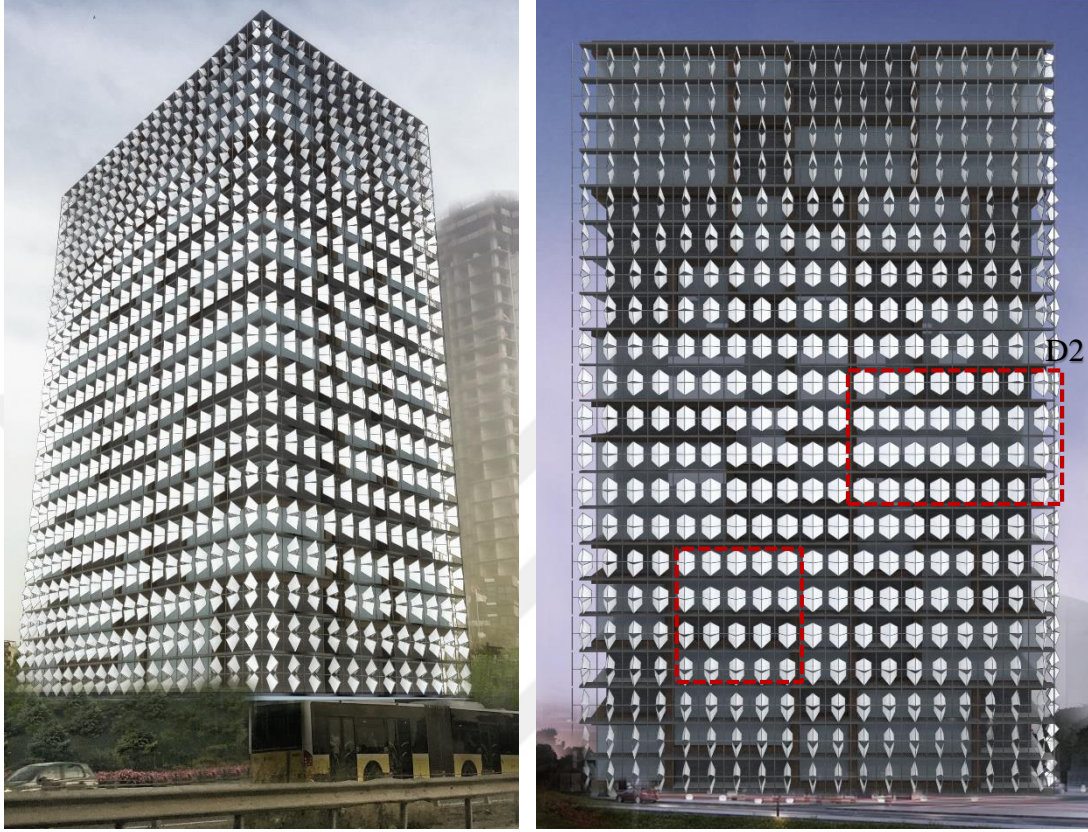
## Simülasyon 5- 02

- Ses kaynağı tipi : Noktasal

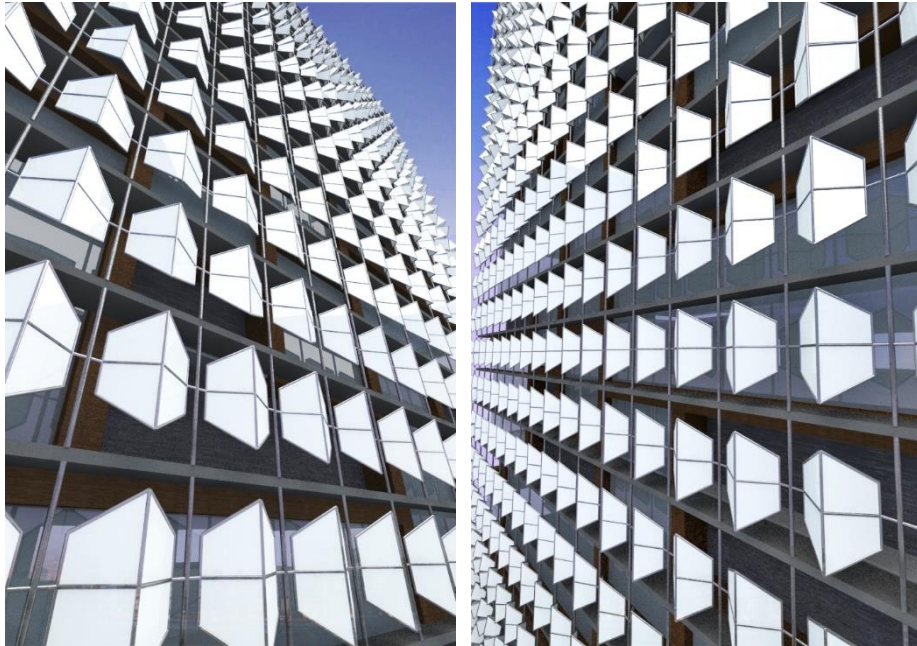
- Gürültü seviyesi : Çok Yüksek

- Ses basınç değeri aralığı : 90-140 dB

- Kanat dönüş açısı aralığı : 0°-90°



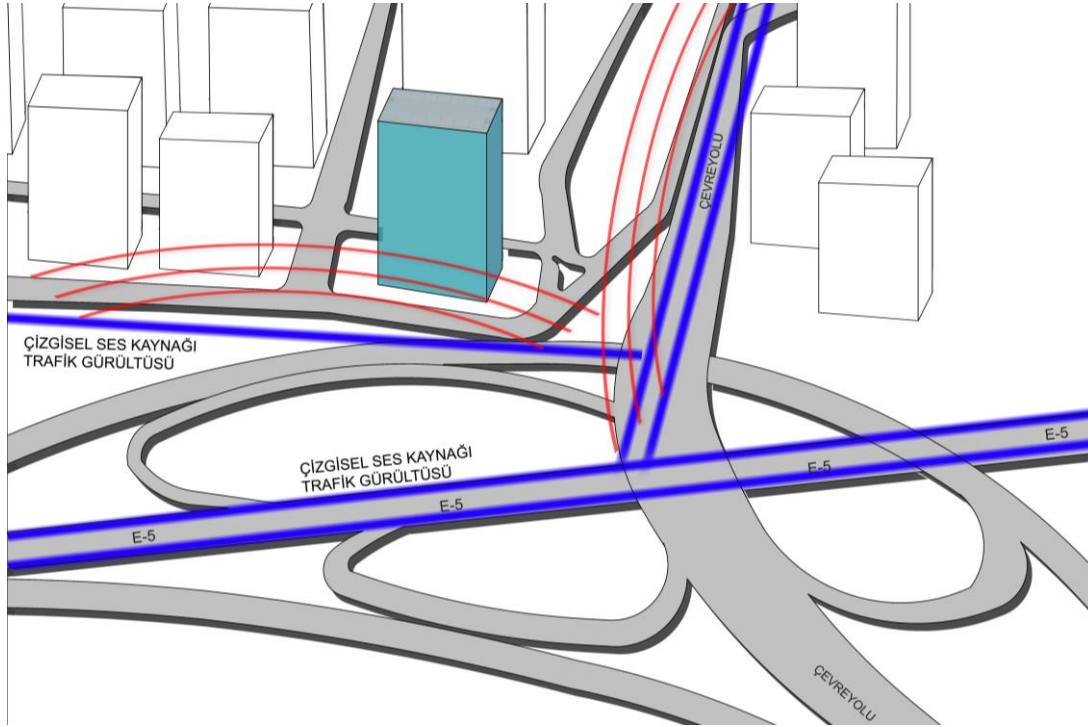
Şekil 4.66 : Simülasyon 5 cephe perspektifi (sol) ve cephe kuzey-doğu görünüşü (sağ).



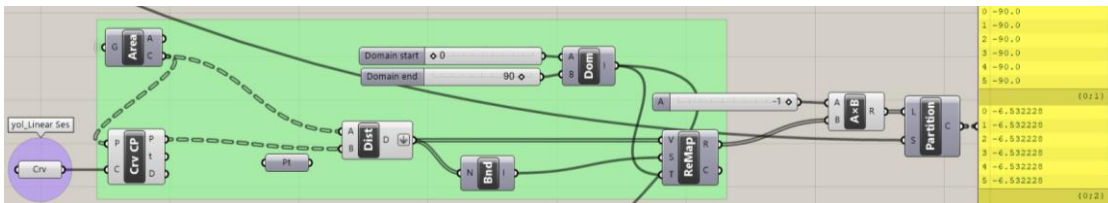
Şekil 4.67 : Simülasyon 5-02, cephe bileşenleri yakın perspektif görüntüleri.

## Simülasyon 6

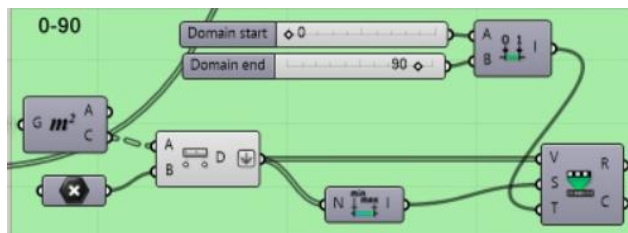
Simülasyon 6'da, Çevreyolu ve E-5 bağlantı yollarındaki yoğun trafik dikkate alınarak, çizgisel ses kaynağı olarak kabul edilen trafik gürültüsü için yüksek ses basıncı seviyesine göre simülasyon yapılmıştır (Şekil 4.68). Şekil 4.69 ve Şekil 4.70'de simülasyona ait veri akış diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 4.68 : Kuzey-doğu ve kuzey-batı cepheleri çizgisel ses kaynağının vaziyet planındaki konumu.



Şekil 4.69 : Çizgisel kaynak simülasyonu için gürültü çizgisinin tanımlanması.



Şekil 4.70 : Cephe bileşeni 0-90° arası kanat hareketine ait açıların tanımlanması.

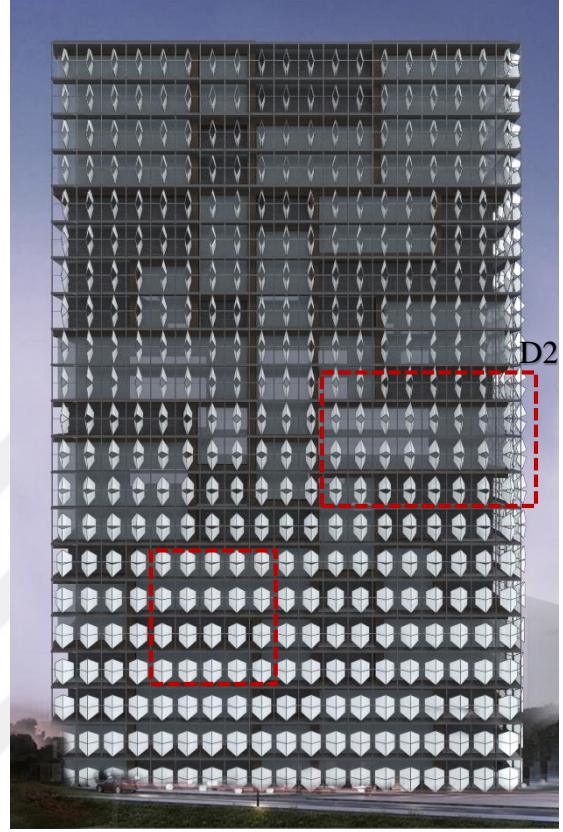


- Ses kaynağı tipi : Çizgisel

- Gürültü seviyesi : Çok Yüksek

- Ses basınç değeri aralığı : 90-140 dB

- Kanat dönüş açısı aralığı : 0°-90°



Şekil 4.71 : Simülasyon 6 cephe perspektifi (sol) ve cephe kuzey-doğu görünüşü (sağ).



Şekil 4.72 : Simülasyon 6, cephe bileşenleri yakın perspektif görünüşleri.

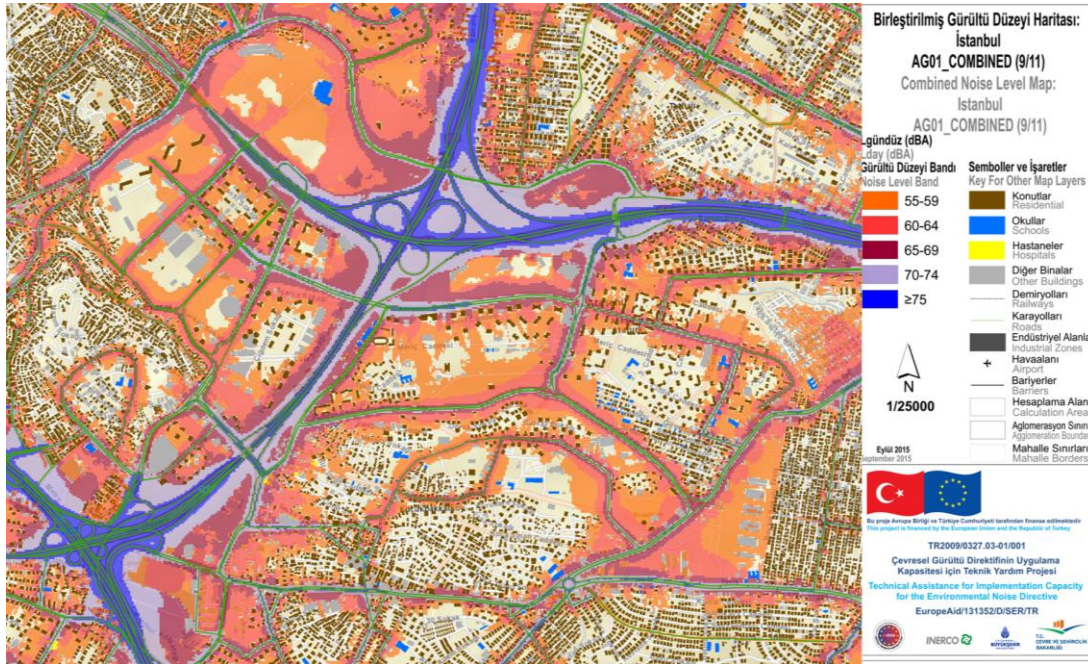


#### 4.6 Dinamik Adaptif Cephe Önerisi Ses Akustiği Simülasyonları ve Analizleri

Bu bölümde, tez kapsamında hazırlanan dinamik adaptif cephe önerisinin ses akustiği simülasyonu ve analizleri yapılmıştır. Buradaki amaç, çevre sesleri ile etkileşimi sağlanan cephe bileşenlerinin, ses basınç seviyesini hangi oranda azalttığını tespit edebilmektir. Önerilen dinamik adaptif cephe sistemi bileşenlerinin, ses akustik simülasyonları ve analizleri sonucunda, ses bariyeri özelliği ve bina ses konforunun etkinliğinin irdelenmesi amaçlanmıştır. Ses akustiği simülasyonları yapılırken, dış mekan çevre seslerine ilişkin analizler yapılmış olup, iç mekan ses akustik analizleri tez kapsamı dışında tutulmuştur.

Öncelikle ses simülasyonları için, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin hazırladığı, yıllık ortalama gürültü emisyonlarını gösteren gürültü haritaları elde edilmiştir. Gürültü haritaları, yükseklik eğrileri, bina bilgileri, nüfus, karayolu için araç sayıları, araç hızları, araç tipleri, yol özellikleri, sanayi için makine yada gürültü kaynağı verileri, havalimanı için uçak tipleri uçuş rotaları vb. bilgilerin bilgisayar ortamında, gürültü harita programına aktarılmasıyla oluşturulmaktadır.

Fikirtepe bölgesi için hazırlanan gürültü haritasındaki, binanın konumlandığı bölgenin gürültü düzeyi lejantları üzerinden, çevresel ses basınç seviyesi değerleri tespit edilmiştir (Şekil 4.73).



Şekil 4.73 : İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından hazırlanan Fikirtepe bölgesi gürültü düzeyi haritası.

Ses simülasyonları, akustik simülasyon ve ses ölçüm yazılımı olan ve gürültü analizleri için kullanılan *Odeon - Version 14* yazılımı *Combined* sürümü ile yapılmıştır. Program, hacim akustiği parametrelerini simüle etmektedir. Cephe bileşenleri ve mevcut cephe yüzeyleri, *Sketch Up* yazılımında tekrar modellenmiş, *Sketch Up - Odeon* eklentisi kullanılarak Odeon ses akustiği yazılımına aktarılmıştır.

Odeon yazılımında yapılan simülasyonların genel olarak aşamaları aşağıdaki şekildedir (Url-25).

- Mekana ait üç boyutlu katı modelleme oluşturulur. Cephe elemanlarının özellikleri girilir.
- Ses kaynaklarının (örn. konuşmacı, hoparlör vb.) ve alıcıların (örn. dinleyici, öğrenci vb.) mekandaki konumları belirlenir.
- Ses kaynaklarına ait ses gücü ve yönelim bilgileri girilir.
- Simülasyon başlatılır, tüm akustik parametreler otomatik olarak hesaplanır.
- Sesin dağılma ve yansıma şekli incelenebilir veya ses kayıtlarının alıcı noktalarda nasıl duyulacağı canlandırılabilir.

Hazırlanan simülasyonda, öneri cephe bileşenlerinin, maksimum yüzey alanına sahip, kapalı olduğu 1. durum (yüksek ses basıncı) ve minimum yüzey alanına sahip 4. durumları (düşük ses basıncı) üzerinden cephe ses simülasyonları yapılmıştır.

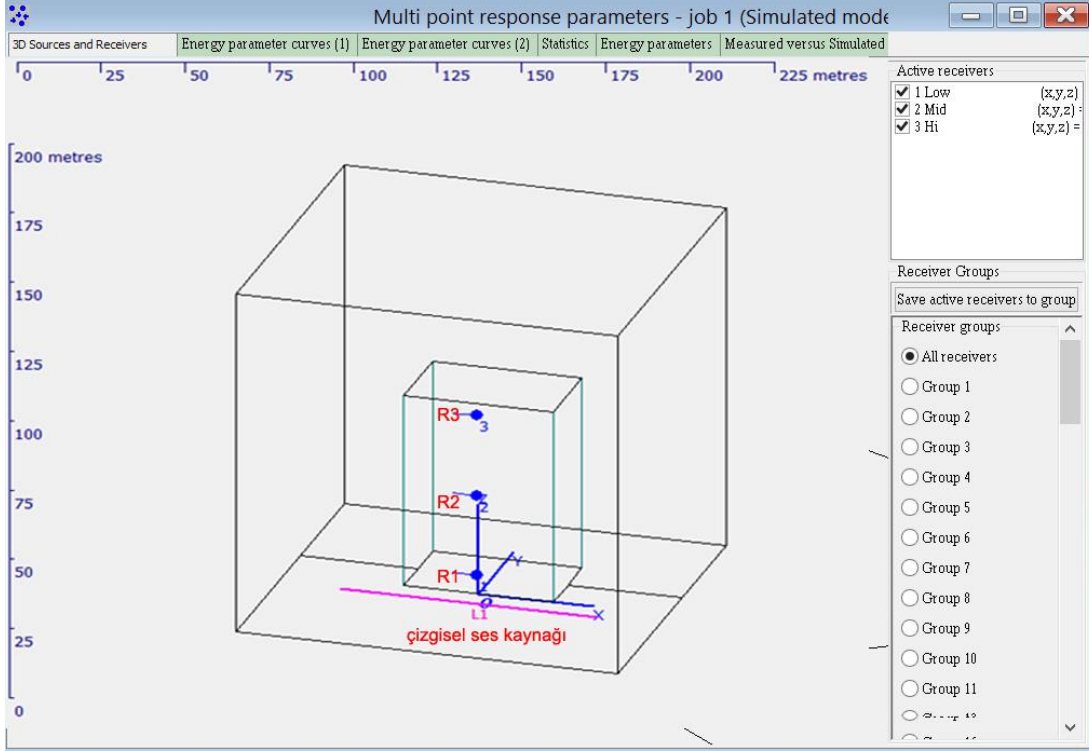
Simülasyon sonuçlarını değerlendirebilmek için, öncelikle önerilen cephe yerleşimi yapılmadan, mevcut cepheye ait ses simülasyonu yapılmıştır. Yapılan 2 simülasyon ait ses basıncı değerleri, mevcut cephedeki ses değerleri ile karşılaştırılarak, sonuçlar değerlendirilmiştir. Simülasyon, yazılımda hızlı sonuç elde edebilmek için, Çevre Yolu cephesi için uygulanmıştır ve diğer cephelerde de, aynı ses basınç değerleri geçerli olmaktadır.

Her iki simülasyon kapsamında tanımlanan ses kaynağı değerleri, ses kaynağı ve alıcı konumları ve cephe malzemeleri aşağıdaki şekildedir:

- Mevcut bina konumu itibariyle yoğun trafik sirkülasyonu içerisinde yer alması sebebiyle, ses kaynağı olarak çizgisel ses kaynağı tipi kullanılmıştır. Çizgisel ses kaynağının 1m'deki ses seviyesi toplam 90 dB SPL olup, ISO717'ye göre oktav bantlarındaki gürültü seviyesi Şekil 4.74 (üst)'deki gibidir.

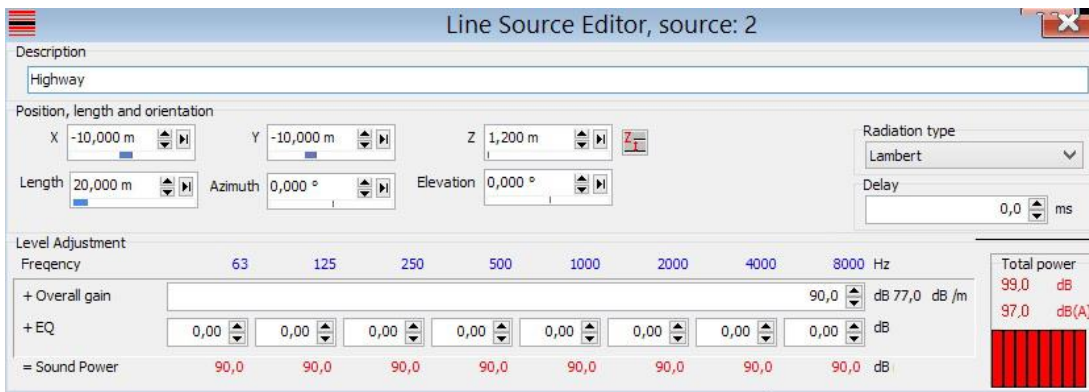


|                   | 63   | 125  | 250  | 500  | 1k   | 2k   | 4k   | Overall |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| Traffic (ISO 717) | 97.9 | 91.8 | 88.3 | 85.9 | 85.7 | 82.5 | 77.7 | 90.0    |



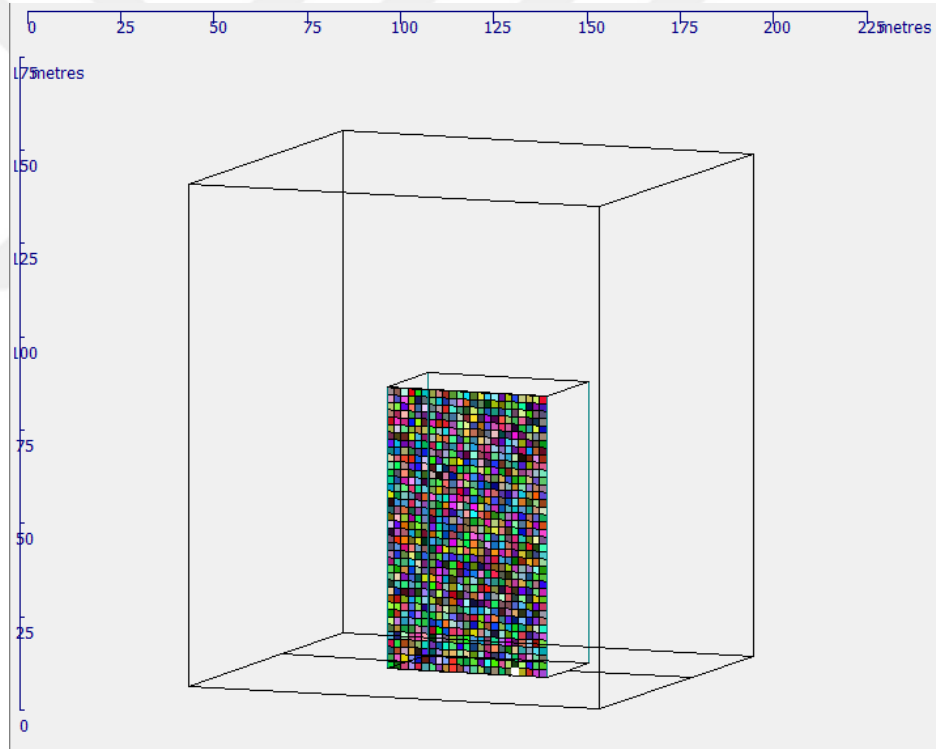
Şekil 4.74 : Çizgisel ses kaynağı oktav bantları gürültü seviyesi (üst), ses simülasyonu çizgisel ses kaynağı (L1) ve alıcıların (R1-low, R2-mid, R3-high) konumları (alt).

- 3 adet ses alıcısı kullanılmıştır. Bunlardan birincisi (R1) zemin düzleminde, ikincisi cephenin orta bölümde (R2), üçüncüsü (R3) ise, cephenin en üst çatı seviyesine yerleştirilmiştir. 1, 2 ve 3 nolu alıcılar, alt, orta ve üst katlardaki alıcı noktalarıdır (Şekil 4.74). Bu üç alıcı noktasındaki değerler, sadece bu noktalardaki ses basınç seviyesini yansıtmakta olup kontrol amaçlıdır.



Şekil 4.75 : Çizgisel ses kaynağı değerlerinin, simülasyon ses kaynak özellikleri bölümüne girilmesi.

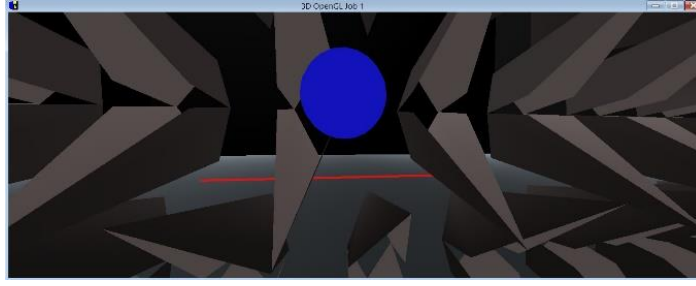
- Çizgisel ses kaynağı, bina cephesine 10 m. mesafede, yerden 1m. yükseklikte ve 80 m. uzunluktadır ve trafik gürültüsünü temsil etmektedir. Cephe bileşenleri ile mevcut cam cephe arasındaki mesafe 120 cm. olacak şekilde simülasyona değerler girilmiştir (Şekil 4.75).
- Cephe önüne yerleştirilmiş düşey alıcı düzlemi, her biri bir alıcı yüzeyi olarak davranan 2 m. x 2 m. ebatlarında dörtgenlere bölünmüştür. Mevcut cephe, cephe bileşenleri 1. durum ve 4. duruma ait simülasyon senaryoları, cephe üzerine kurulan 2 x 2 m. ebatlarındaki alıcı matrisine göre değerlendirilmektedir (Şekil 4.76). Ses basınç haritaları bu düşey alıcı yüzeyi üzerine oluşturulmuştur. Ses alıcıları, cephe bileşenlerinin yüksek ses basınç değerini azaltma miktarını bulabilmek için, alıcı düzlemi cephe bileşenlerinin 1 m. arkasına yerleştirilmiştir (Şekil 4.77 ve Şekil 4.78).



**Şekil 4.76** : Ses kaynağı (L1) ve alıcıların (A1-low, A2-mid, A3-high) simülasyondaki koordinatları.

| Job | Job description | Receiver pointing towards source | Grid                                | Multi                               | Single point response receiver       |
|-----|-----------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 3   | 3               | Direction towards main axis, -X  | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Hi (x,y,z) = (0,00; -0,40; 27,29)  |
| 2   | 2               | Direction towards main axis, -X  | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Mid (x,y,z) = (0,00; -0,40; 14,07) |
| 1   | 1               | Direction towards main axis, -X  | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Low (x,y,z) = (0,00; -0,40; 4,00)  |
| 4   | No description  | Direction towards main axis, -X  | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | (none)                               |
| 10  | No description  | Direction towards main axis, -X  | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | (none)                               |

**Şekil 4.77** : Ses kaynağı (L1) ve alıcıların (A1-low, A2-mid, A3-high) simülasyondaki koordinatları.



Şekil 4.78 : Ses alıcılarının yerleşimine ait 3d perspektif görüntüsü.

- Simülasyonda cephe bileşenleri malzemesi olarak, ses yutucu özelliğe sahip olan Serge Ferrari'nin yarı saydam Alphaia Silent Aw Lux malzemesi kullanılmıştır. Malzemenin, teknik şartname bilgileri elde edilmiş ve ses simülasyonu için bu değerler sisteme yüklenmiştir (Şekil 4.79). Malzeme, sesin %65'ini absorbe etmesi ve %41 ışık geçirgenliğine sahip, hafif ve esnek olması sebebiyle tercih edilmiştir.

#### Absorption coefficient (ISO 354)

| Freq. (Hz) | Alphaia Silent Aw + 100 mm air layer | Alphaia Silent Aw + 400 mm air layer | Freq. (Hz) | Alphaia Silent Aw against 45 mm Rockwool (density 28 to 36 kg/m <sup>3</sup> ) | Alphaia Silent Aw against 100 mm Rockwool (density 28 to 36 kg/m <sup>3</sup> ) |
|------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------|--|---|
| 125        | 0.15                                 | 0.55                                 | 125        | 0.30   | 0.80  |
| 250        | 0.40                                 | 0.75                                 | 250        | 0.80   | 1.00  |
| 500        | 0.75                                 | 0.60                                 | 500        | 1.00   | 1.00  |
| 1000       | 0.85                                 | 0.65                                 | 1000       | 1.00   | 1.00  |
| 2000       | 0.65                                 | 0.65                                 | 2000       | 0.95   | 0.95  |
| 4000       | 0.65                                 | 0.65                                 | 4000       | 0.90   | 0.90  |
| αw*        | 0.65                                 | 0.65                                 | αw*        | 1.00   | 1.00  |
| NRC*       | 0.65                                 | 0.65                                 | NRC*       | 0.95   | 1.00  |

Şekil 4.79 : Serge Ferrari, Alphaia Silent Aw Lux malzemesi teknik şartname değerleri tablosu.

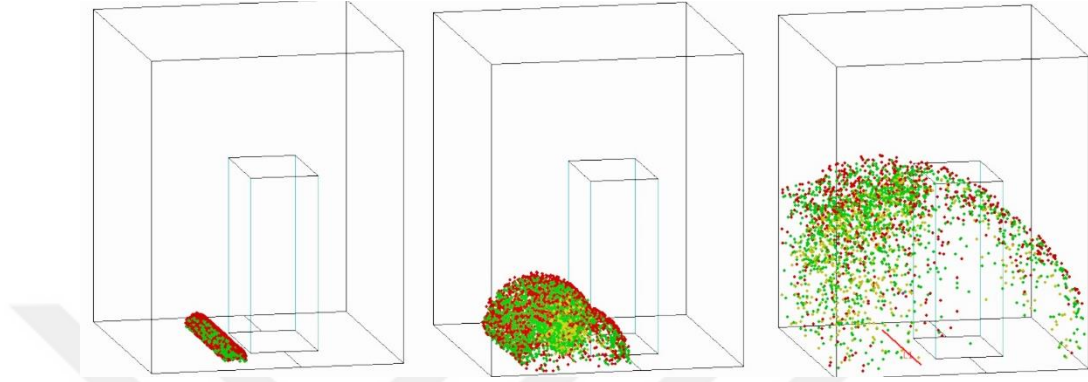
- Simülasyonda, mevcut malzemesi 6x16x6 mm. dış cephe çift cam, yol için asfalt, zemin için beton ve cephe bileşenleri malzemeleri için Alphaia Silent Aw Lux membran teknik şartnamelerine ait tüm malzeme değerleri girilmiştir (Şekil 4.80).

| Material | Scatter | Transp. | Type  | Surface name | Layer       | Area <m <sup>2</sup> > |
|----------|---------|---------|-------|--------------|-------------|------------------------|
| 2        | 107     | 0,050   | 0,000 | Normal       | Building    | 400,00                 |
| 3        | 1       | 0,050   | 0,000 | Normal       | BoundingBox | 9315,00                |
| 4        | 1       | 0,050   | 0,000 | Normal       | BoundingBox | 8586,00                |
| 5        | 1       | 0,050   | 0,000 | Normal       | BoundingBox | 9315,00                |
| 6        | 1       | 0,050   | 0,000 | Normal       | BoundingBox | 8586,00                |
| 7        | 1       | 0,050   | 0,000 | Normal       | BoundingBox | 12190,00               |
| 8        | 10003   | 0,050   | 0,000 | Normal       | Building    | 600,00                 |
| 9        | 10003   | 0,050   | 0,000 | Normal       | Building    | 600,00                 |
| 10       | 10003   | 0,050   | 0,000 | Normal       | Facade      | 600,00                 |
| 11       | 10003   | 0,050   | 0,000 | Normal       | Building    | 600,00                 |
| 540      | 107     | 0,050   | 0,000 | Normal       | BoundingBox | 2604,00                |
| 541      | 107     | 0,050   | 0,000 | Normal       | BoundingBox | 3176,00                |
| 542      | 107     | 0,050   | 0,000 | Normal       | BoundingBox | 2708,00                |
| 543      | 14408   | 0,050   | 0,000 | Normal       | OpenShield  | 1,22                   |
| 544      | 14400   | 0,050   | 0,000 | Normal       | OpenShield  | 1,22                   |

Şekil 4.80 : Ses simülasyonu mevcut cephe ve öneri cephe bileşenleri malzeme değerlerinin atanması, simülasyona işlenmesi.

## Ses Simülasyonu 1 : mevcut durum

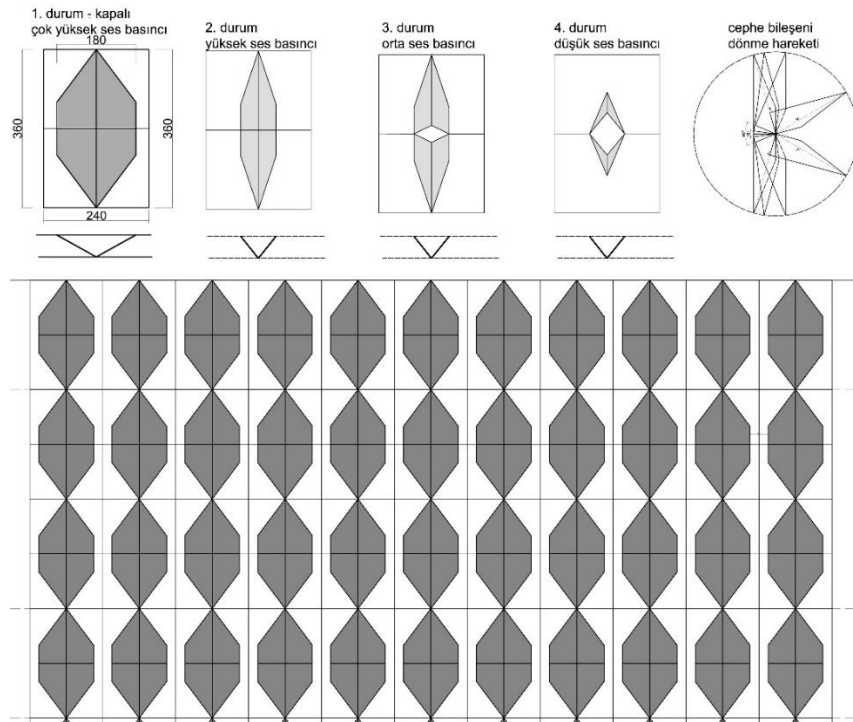
Öncelikle, cephe bileşenlerinin ses bariyeri özelliği üzerine karşılaştırma yapabilmek için, mevcut cephe ses simülasyonu yapılarak, ses basınç değerleri, ses dağılımı ve grafikleri elde edilmiştir. Şekil 4.81’de, yapılan mevcut cephe ses simülasyonuna ait gif dosyası ekran görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 4.81 : Mevcut cephe ses simülasyonu, ses kaynağından sesin dağılımına ait gif dosyası ekran görüntüleri.

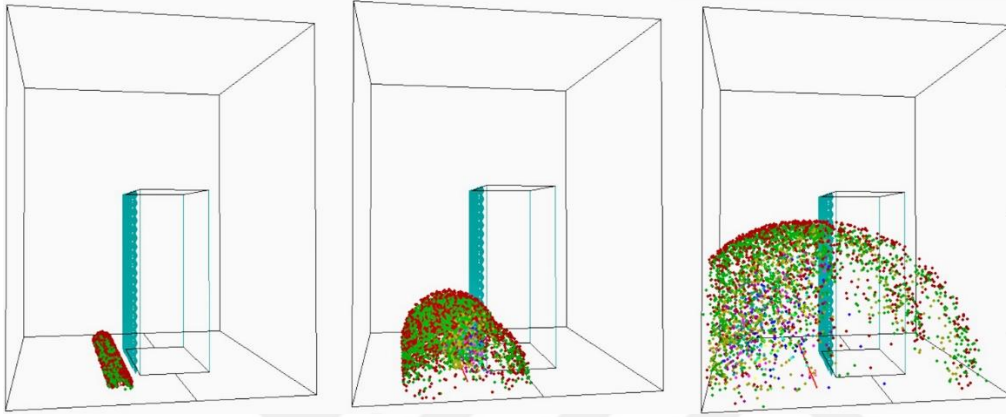
## Ses Simülasyonu 2 : maksimum yüzey alanı

Yapılan 2. simülasyonda, cephe bileşenlerinin çizgisel kaynaktan gelen, çok yüksek ses basınç seviyesine göre, maksimum yüzey alanını oluşturacak şekilde, bileşen kanatlarının açıldığı 1. durum senaryosuna göre, ses analizleri yapılmıştır (Şekil 4.82).



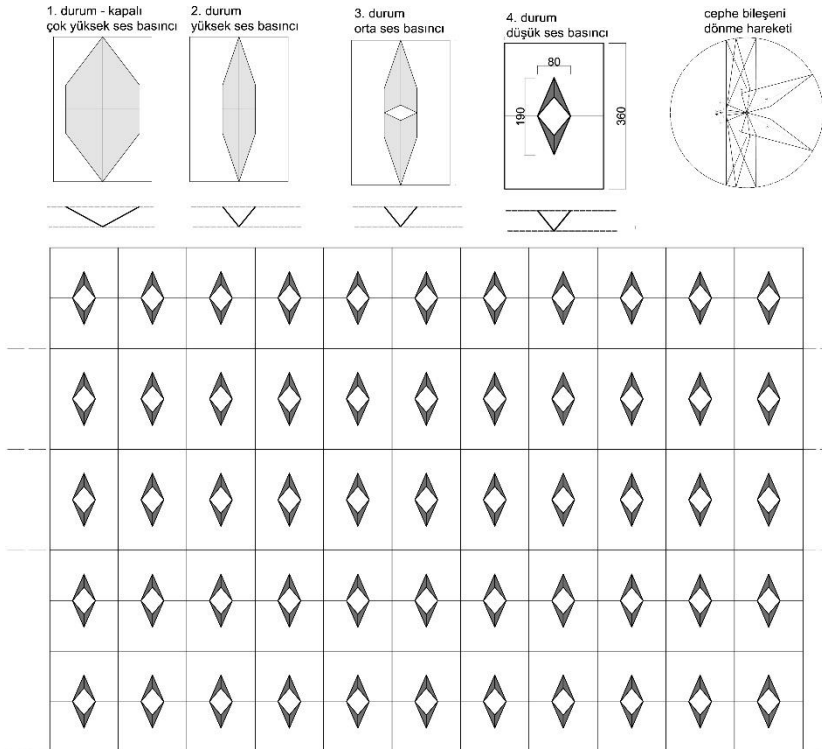
Şekil 4.82 : 1. durum senaryosu ses simülasyonu 2, cephe bileşenleri ön görünüşü.

Ses simülasyonu kapsamında, asfalt, beton ve cam yüzeylerin de tanımlanması ile, sesin yüzeylerden yansımaları da baz alınarak, gerçeğe en yakın akustik parametrelerin hesaplanması sağlanmıştır. Ses kaynağından gelen sesin, yayılması ve nokta dağılımının gif dosyası olarak görüntülediği ses simülasyonunun, ekran görüntüleri Şekil 4.83’de gösterilmiştir. Ayrıca, simülasyon senaryoları karşılaştırmaları için, cephe bileşenlerinin arkasında ve 3 noktada yer alan alıcıların okuduğu ses basıncı seviyeleri parametrelerine ait, cephenin ses dağılımı harita görüntüleri elde edilmiştir.



**Şekil 4.83 :** 1. durum (maximum yüzey alanı) senaryosu ses simülasyonu, ses kaynağından sesin dağılımına ait gif dosyası ekran görüntüleri.

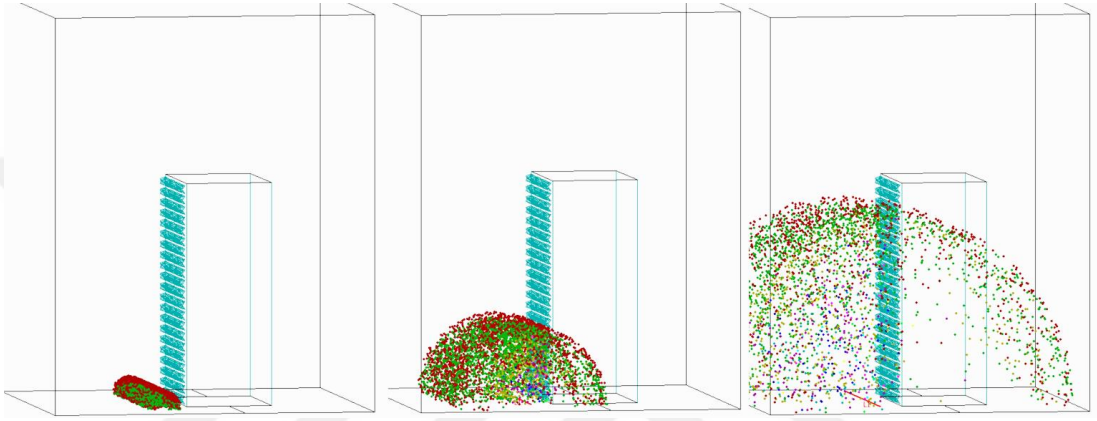
### Ses Akustiği Simülasyonu 3 : minimum yüzey alanı



**Şekil 4.84 :** 4. durum senaryosu ses simülasyonu 3, cephe bileşenleri ön görünüşü.



Yapılan 3. simülasyonda, tüm cephe bileşenlerinin düşük ses basınç seviyesine göre minimum yüzey alanını oluşturacak şekilde, kanatların geriye doğru kapandığı 4. durum üzerinden ses analizleri yapılmıştır (Şekil 4.84). Ses kaynağından gelen sesin, yayılması ve nokta dağılımının gif dosyası olarak görüntülediği ses simülasyonunun, ekran görüntüleri Şekil 4.85’de gösterilmiştir. Aynı zamanda, simülasyon senaryoları karşılaştırmaları için, cephe bileşenlerinin arkasında ve 3 noktada yer alan alıcıların okuduğu ses basıncı seviyeleri parametrelerine ait, cephenin ses dağılımı harita görüntüleri elde edilmiştir.



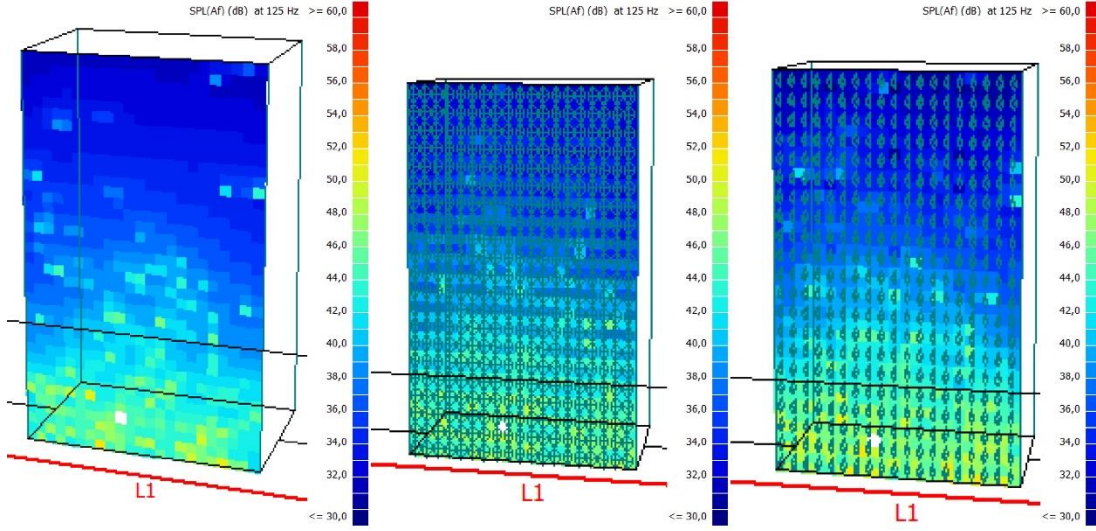
**Şekil 4.85 :** 4. durum (minimum yüzey alanı) senaryosu ses simülasyonu, ses kaynağından sesin dağılımına ait gif dosyası ekran görüntüleri.

### **1., 2. ve 3. ses simülasyonlarına ait cephe ses haritaları**

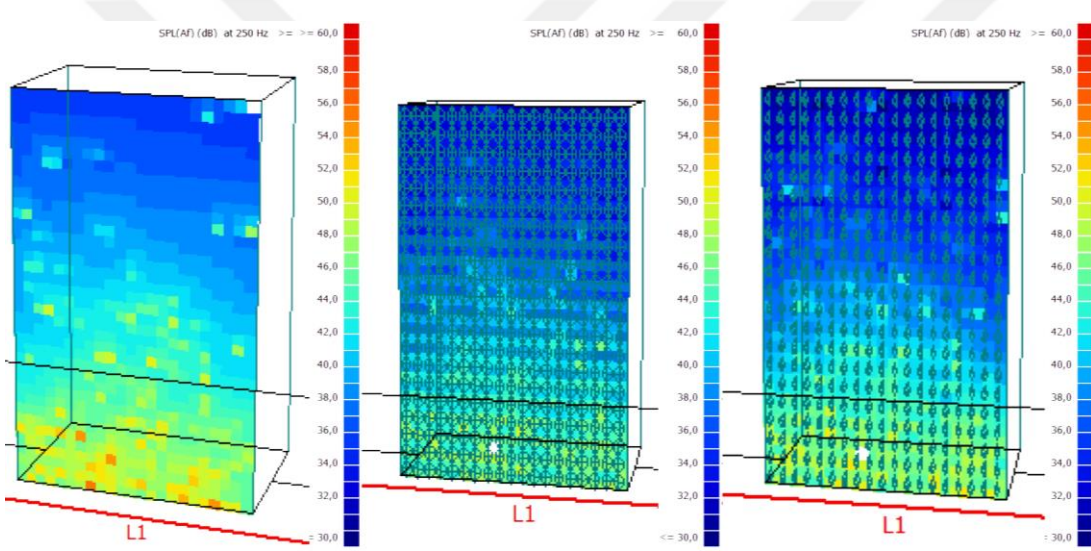
3 senaryo üzerinden ses simülasyonları yapılmıştır. 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz ve 4000 Hz merkezli tam oktav bantları için (7 oktav bandı) 3 senaryo için tekrarlanmıştır.

- Mevcut Cephe, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz ve 4000 Hz merkezli bantlar.
- 1. durum senaryosu, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz ve 4000 Hz merkezli bantlar.
- 4. durum senaryosu, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz ve 4000 Hz merkezli bantlar.

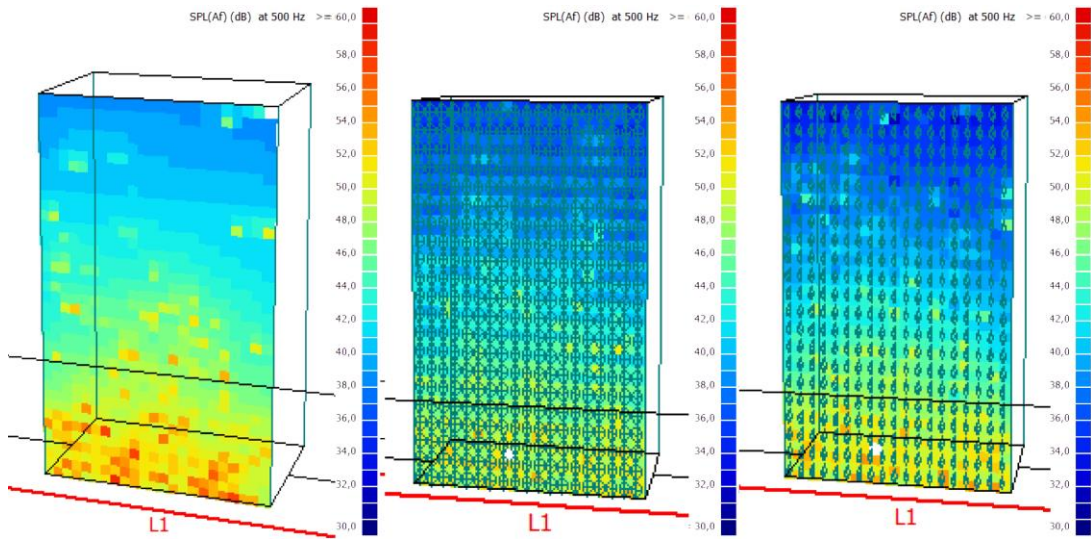
Simülasyonlarda, cephe üzerinde 2x2 m.’lik alanlara bölünen, alıcıların bulunduğu grid yüzeylerinde, ses basınç seviyelerine göre değişen renkler elde edilmiştir. Cephe ses haritaları incelenirken, ses basıncı seviyelerini ifade eden, renk lejantları dikkate alınmıştır. Şekil 4.86, Şekil 4.87, Şekil 4.88, Şekil 4.89, Şekil 4.90 ve Şekil 4.91’de yapılan ses simülasyonlarına ait ses haritaları yer almaktadır.



Şekil 4.86 : 125 Hz merkezli, 1.(sol), 2.(orta), 3.(sağ) simülasyonlar cephe ses haritaları.

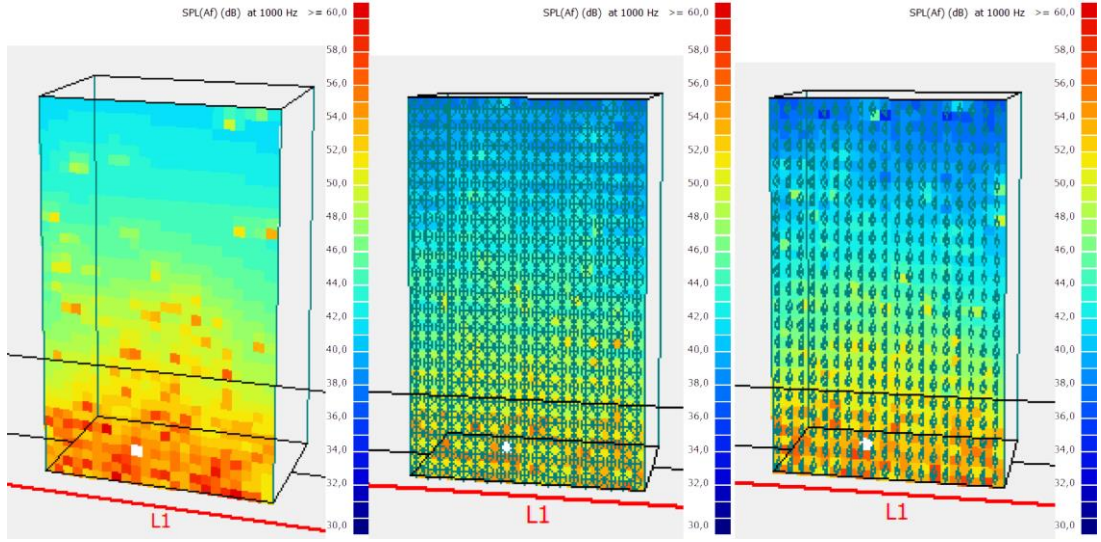


Şekil 4.87 : 250 Hz merkezli, 1.(sol), 2.(orta), 3.(sağ) simülasyonlar cephe ses haritaları.

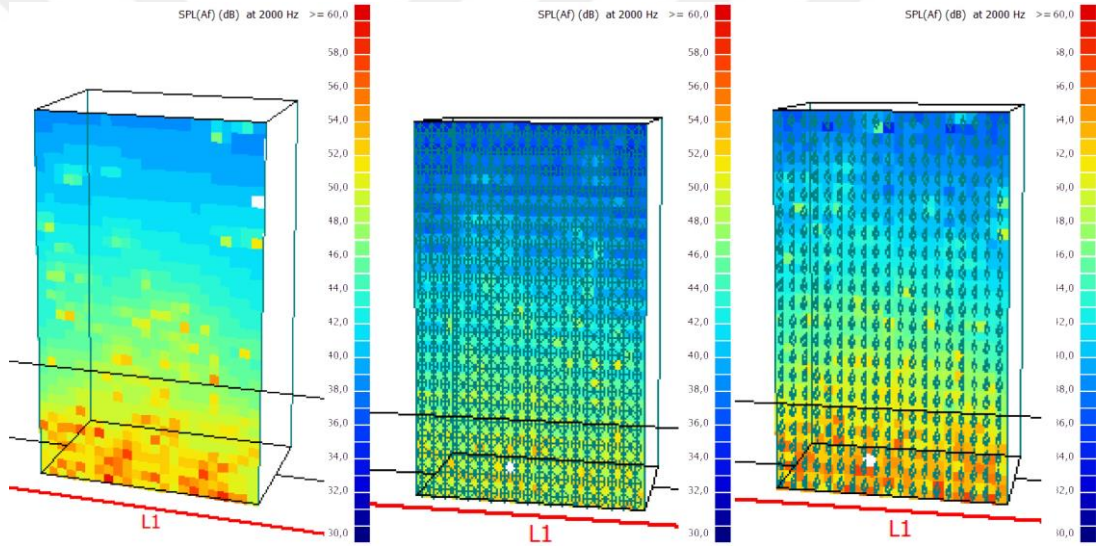


Şekil 4.88 : 500 Hz merkezli, 1.(sol), 2.(orta), 3.(sağ) simülasyonlar cephe ses haritaları.

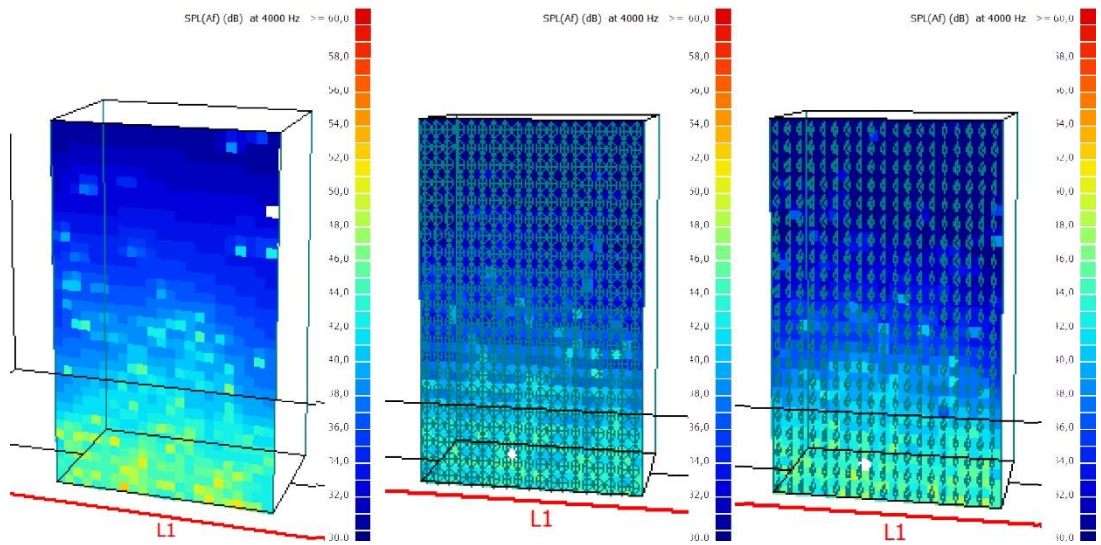




Şekil 4.89 : 1000 Hz merkezli, 1.(sol), 2.(orta), 3.(sağ) simülasyonlar cephe ses haritaları.



Şekil 4.90 : 2000 Hz merkezli, 1.(sol), 2.(orta), 3.(sağ) simülasyonlar cephe ses haritaları.



Şekil 4.91 : 4000 Hz merkezli, 1.(sol), 2.(orta), 3.(sağ) simülasyonlar cephe ses haritaları.

## Ses simülasyonları sonuçları

Mevcut cephe, 1. durum (maksimum yüzey) ve 4. durum (minimum yüzey) senaryoları, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz ve 4000 Hz merkezli tam oktav bantları için (7 oktav bandı) yapılan ses simülasyonları sonucunda cephe ses haritaları çıkartılmıştır. Cephe ses haritaları, ses basıncı seviyelerini ifade eden, renk lejantları üzerinden değerlendirilmiştir.

90 dB, çizgisel ses kaynağı trafik gürültüsü tanımlanan 3 senaryo için yapılan ses simülasyonları sonucunda:

- İnsan kulağının duyabileceği düzey altında olan 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 4000 Hz bantları ses haritalarında, 3 simülasyon için, cephedeki ses basıncı değerleri arasında çok farklılık olmadığı saptanmıştır.
- 1 ve 4. durum senaryolarında, insan kulağının duyabileceği bantlar olan 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz düzeylerinde ise, dinamik adaptif cephe panellerinin, ses koruması sağladığı görülmüştür.
- Cephe bileşenlerinin yüksek ses basıncına göre maksimum yüzey oluşturacak şekilde açıldığı 1. duruma ait ses simülasyonlarında, gürültü seviyesinde yaklaşık 3-6 dB arasında değişen bir azalma olduğu tespit edilmiştir.
- Ses dağılımı hareketli gif görüntülerinden, cephe bileşenleri yerleşimindeki iki bileşen arasındaki boşluktan sesin yayıldığı ve ses yansımaları oluştuğu gözlemlenmiştir. Ses yansımalarının, gürültü seviyesi cephe ses haritalarındaki değerleri yükselttiği görülmüştür.
- Simülasyonlarda, Serge Ferrari'nin yarı saydam Alphalia Silent Aw Lux malzemesi kullanılmıştır. ETFE gibi şişirilebilen malzemeler ile bileşenlerin kaplanması, bina ses konforu açısından daha düşük gürültü düzeyleri elde edilebileceği görülmüştür.

Ses simülasyonları ve analizleri sonucunda, dinamik adaptif cephe bileşenlerinin gürültü düzeyini azalttığı görülmüştür. Ancak tüm bileşenlerin birbiri ile birleşerek sistemin tamamen kapanmasının sağlanması durumunda daha yüksek seviyede gürültü düzeyini düşüreceği tespit edilmiştir. Mevcut yapının konut bloğu olması dolayısıyla görüş kaybını engellemek için bileşenler arasında boşluk bırakılmıştır. Dinamik adaptif cephe bileşenlerinin, farklı birleşim detayları ile çözümlenmesi durumunda, daha yüksek ses bariyeri özelliğine sahip cephe sistemi elde edilebilecektir.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Giderek büyüyen kentlerdeki nüfus yoğunluğu, beraberinde enerji kaynakları konusundaki problemlerin artmasına sebep olmakta ve aynı zamanda toplumların fiziksel ve psikolojik yaşamlarını da hızla etkileyen çevresel problemleri de beraberinde getirmektedir. Dünya nüfusunun büyük çoğunluğu artık büyük şehirlerde yaşamaktadır. Kentlerin daha yaşanabilir olması, çevreye uyum sağlayabilen, enerji kaynaklarının tüketimini düşüren yapıların artması ile yükselme potansiyeline sahiptir. Kentlerdeki enerji ihtiyaçlarının karşılanması, bina konforlarının yükseltilmesi ve çevreye duyarlı yapılar üzerine çalışma ve araştırma projeleri giderek artmaktadır. Bir çok projede, iklimsel verilerin, özellikle güneş ışığı etkileşimi ile gerek bina konforunun sağlanması, gerekse enerji üretilmesi amacıyla, adaptif cephe sistemlerine ait uygulamalar yaygınlık kazanmaktadır.

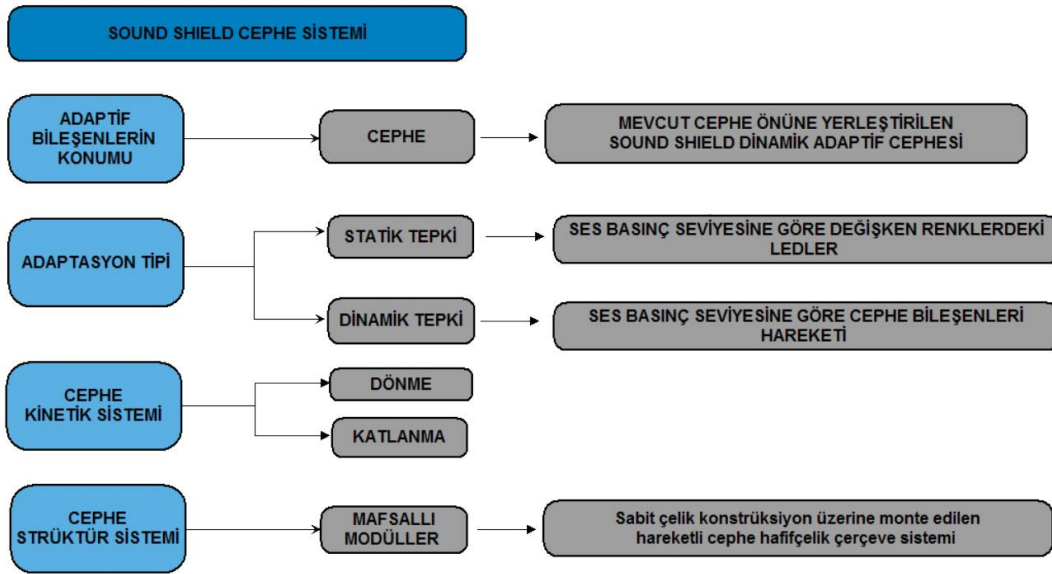
Tez çalışması kapsamında öncelikle literatürde ulaşılabilen adaptif cephe çalışmaları ve uygulamaları irdelenmiştir. Adaptif cepheler tez kapsamında, statik ve dinamik olarak ikiye ayrılarak, hareketli bileşenler içeren cephelerin çevreye uyum sağlama düzeyleri konusunda karşılaştırma yapılmasına olanak sağlanmaya çalışılmıştır. İncelenen örnekler, uyum sağladıkları etmen, etkileşim unsurları ve bina konforlarına etkileri üzerinden dönüşüm diyagramları ve karşılaştırma grafikleri hazırlanarak değerlendirilmiştir. Bu çerçevede, adaptif cephe uygulamalarının, güneş ışığı, sıcaklık, nem gibi giriş verileri olan iklimsel verilere uyarlı cephelerin yoğunluk kazandığı görülmüştür. Bunlardan dinamik adaptif cephelerin, kinetik sistemleri ile çevreye daha hızlı ve esnek uyum sağlayabilme karakterine sahip olduğu kanısına varılmıştır. Ancak uygulamalarda, günümüzün hava kirliliği, su kirliliği gibi önemli bir problemi haline gelen çevre ses kirliliği, yani gürültü üzerine yapılan adaptif cephe çalışmalarının oldukça az yer aldığı görülmüştür.

Epidemiyolojik araştırmalar, gürültünün gün boyu sürekli olarak 65 dB(A) seviyesinin üstünde (dışarıda eşdeğer gürültü seviyesi) bulunduğu karayolu trafiğinde yarattığı etkilerle ilgili olarak kalp damar rahatsızlıklarına ilişkin yüksek bir risk unsuru oluşturduğunu göstermektedir. Araştırmalar sonucunda yapılan çalışmalar, trafiğin yol açtığı gündüz/gece 50/40 dB(A) seviyesinde bir gürültünün oluşumunun beklenmesi gerektiğini göstermektedir. Bu seviyeler yaklaşık 5 dB(A) civarında aşılırsa, çok daha fazla gürültü rahatsızlıkları meydana gelmektedir (Hintzsche ve diğ., 2008).



Avrupa Komisyonu Raporunda, nüfusunun yaklaşık beşte biri çevresel gürültü seviyesi 65 dB(A)'dan fazla olan bölgelerde yaşamak zorunda kaldığı tespit edilmiştir. Gürültünün verdiği zararlar sebebiyle birçok ülkede belli ses seviyeleri belirlenerek, gürültü düzeyleri kontrol altına almak için standartlar belirlenmektedir. Ancak alınan önlemlerin yeterli olmadığı görülmektedir.

Gürültünün, düzensiz kentleşmenin önemli bir sorunu haline gelmesi ve yaşam kalitesini azaltması sebebiyle, tez kapsamında, tespit edilen yüksek gürültü değerlerine sahip bölgelerde, yapı cephelerinde yüksek ses basınçlarını belli oranlarda azaltacak alternatif bir cephe sistemi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda, bina enerji etkinliğinin yanında, çevresel yüksek gürültü düzeylerine dikkat çekerek, bina içi ses konforunun sağlanmasına yönelik proje uygulama örneklerinin yaygınlaşmasının sağlanması hedeflenmiştir. Bu bağlamda, kent ile çevre ses basınç değerleri üzerinden etkileşime geçen, kinetik sisteme sahip yapısı ile çevreye cevap veren, dinamik bir cephe kurgusu üzerine odaklanılmıştır. Önerilen Sound Shield cephe önerisi, adaptif sistem şeması Şekil 4.92'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.91** : Sound Shield adaptif sistem şeması

Tez kapsamında, mevcut adaptif cephe yaklaşımları ve örnek uygulamaların analizlerine dayanarak, ses etkileşimli dinamik adaptif bir cephe önerisi hazırlanmıştır. Daha sonra tasarlanan cephe önerisi, yoğun gürültülü bir konuma sahip, mimari tasarım ve projeleri yazarın kendisine ait olan Alya Life Residence üzerine entegre edilerek simülasyonları yapılmış ve sistemin etkinliği incelenmiştir. Arduino Mega modülü ve ses sensörü modülü aracılığıyla, ses verileri gerçek zamanlı olarak sayısal

değerlere dönüştürülerek, sistemin çalışması sağlanmış ve cephe bileşenleri kinetik mekanizmasının performansı değerlendirilmiştir. Gerçek zamanlı verilen 65-90 dB aralığındaki yüksek ses basıncı seviyesine cephe bileşenleri yüzey alanını arttırarak tepki vermiştir ve cepheye, gürültüye karşı ses bariyeri niteliği kazandırılmıştır. Öneri cephe tasarımı değerlendirmeleri sonucunda, cephe bileşenlerinin tanımlanan çok yüksek, yüksek, orta ve düşük ses basınç değerlerine göre tek bir kinetik duruma göre hareket etmesi yerine, her cephe bileşenin bulunduğu konum ve yükseklik gibi ses yayılımını etkileyen faktörlere göre, bağımsız kinetik hareketlere sahip olmasının daha hassas sonuçlar vereceği saptanmıştır. Bu sebeple Grasshopper yazılımında, her cephe bileşenin ses kaynağın uzaklığı ve şiddetine göre değişen farklı cephe örüntüleri oluşturduğu 6 farklı parametrik simülasyon yapılmıştır. Simülasyonlarda, cephenin noktasal ve çizgisel ses kaynakları ile etkileşimi sonucunda, cephenin ses bariyeri niteliği kazandığı görülmüştür.

Simülasyonlarda ses verileri ile cephe etkileşiminin sağlanması ile birlikte, önerilen cephe sistemine ilişkin gürültüyü azaltma değerlerinin saptanabilmesi için Odeon yazılımı ile ses akustik simülasyonları ve analizleri yapılmıştır. Simülasyonda 90 dB yüksek ses basıncı seviyesi ve çizgisel ses kaynağı tanımlanmıştır. Öncelikle Alya Life Residence konut bloğunun mevcut cephesi için ses seviyeleri saptanmıştır. Daha sonra öneri cephenin, maksimum ve minimum yüzeyleri sağladığı 2 duruma ait yapılan ses akustiği simülasyonları ve analizleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç grafikleri karşılaştırıldığında, mevcut cephe üzerine uygulanan dinamik adaptif cephe önerisinin yaklaşık 3-6 dB aralığında gürültü değerini azalttığı görülmüştür. Arduino yazılımı ile yapılan gerçek zamanlı ses etkileşimi, Grasshopper yazılımı ile örnek cephe üzerinde yapılan noktasal ve çizgisel ses simülasyonları ve ses akustik yazılımı Odeon yazılımında yapılan ses analizleri ile simülasyonları sonucunda, önerilen cephe sisteminin gürültü kirliliğini azaltacak bir performansa sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca cephenin değişken formları ile sabit bir bileşen olan yapı cephelerine, hareketli, değişken yapısı ile çevreye uyumlu, görsel etkileşimi güçlü alternatif bir cephe önerisi olduğu düşünülmektedir.

Sound Shield cephe önerisinin bir konut yapısı üzerine entegre edilmesi sebebiyle, cephe bileşenleri arasında boşluk bırakılarak, sistemin tamamen cepheyi kapatması engellenmiştir. Ancak dinamik adaptif cephe sistemi bileşenlerinin, birbiri arasında

hiç boşluk kalmayacak şekilde birleştirilerek, tamamen kapanması durumunda daha yüksek bir ses konforu sağlayacağı öngörülmektedir.

Tez kapsamında hazırlanan dinamik adaptif cephe önerisi için, prototip uygulamasının yapılmamış olması sebebiyle, sistem mekanizmasının strüktürü ve kinetik yapısı değerlendirilememiştir. Dinamik adaptif cephe sistemlerinde, diğer önemli konulardan biri de kinetik sistem mekanizmasının çalışmasının sürekliliğini sağlamaktır. Projenin geliştirilmesi safhalarında prototip üretimi yapılarak, mekanizmanın pistonları ve dönme hareketine ilişkin değerlendirilmesi yapılabilir. Yapılacak analizler sonucunda, cephe bileşenleri formu ve strüktür yapısı geliştirilebilir.

Sound Shield cephe önerisinde, cephe bileşenleri kaplama malzemesi olarak Serge Ferrari'nin ses yutucu değeri yüksek, yarı saydam Alphalia Silent Aw Lux malzemesi kullanılmıştır. Bu malzemeye alternatif, ses emici, yansıtıcı veya ses geçirgenliği farklı malzeme konfigürasyonları kullanılarak ses bariyeri özelliği geliştirilebilir. Cephe bileşenlerinin aynı zamanda güneş ışığı etkileşimi sağlanarak sistemin farklı çevresel verilere uyarlanması sağlanabilir. Böylece, ısı, ışık, ses gibi daha yüksek performanslara sahip yapılar elde edilebilecektir. Örneğin, cephe bileşenleri malzemesi olarak ETFE kullanılıp hava ile şişirilmesi sonucunda, bina ses konforu ile birlikte aynı zamanda ısı konfor ve enerji etkinliğinin de yükseltilmesi sağlanabilir. Bina konforu için ihtiyaca göre gerekli durumlarda, ses etkileşimi ile birlikte özellikle yüksek yapılar için önemli bir problem olan rüzgar etkileşimi sağlanabilir.

Sound Shield cephe sisteminin, ses etkileşiminin yanında, diğer farklı çevresel etmenlere de göre cevap verebilme potansiyelinin olması sebebiyle, cephenin binaya sağladığı avantajların artabileceği ve ileriye yönelik çalışmalara fikir verebileceği görülmüştür. Disiplinler arası bir çalışma gerektiren dinamik adaptif cephe sistemi önerileri için, farklı uzmanların, tasarım, analiz ve prototip hazırlama süreçlerine dahil olması ile birlikte daha detaylı incelemeler yapılarak, alternatif sistemler ve daha hızlı sonuçlar elde edilebilecektir.

Sürekli olarak değişen ve gelişen kentlerde, artan çevresel problemlere karşı, cephelerin bu devingen ortamlara uyum sağlayacak şekilde kendini dönüştürerek adapte olabilmesi, binaların performanslarını ve dolayısıyla kentlerin yaşam kalitelerini arttıracaktır. Bu bağlamda, Sound Shield cephe önerisinin gelecekte benzer uygulamaların sayısının artmasını sağlayacak nitelikte olduğu söylenebilmektedir.

## KAYNAKLAR

- Albiñana, M.** (2011). *Media ICT*. Barcelona, 2011. (First Edition). North Miami Beach, FL, U.S.A., Actar; 2011, p.335
- Al Thobaiti, M. M.** (2014). *Intelligent and Adaptive Façade System: The Impact of Intelligent and Adaptive Façade on The Performance and Energy Efficiency of Buildings*. (Master's Thesis). University of Miami.
- Altın, M.** (2013). Bir Sürdürülebilir Mimarlık Örneği: Otonom Binalar - Dymaxion Evi. *Ege Mimarlık*, 24-29.
- Altın, M. & Orhon, A.** (2014). Akıllı Yapı Cepheleri ve Sürdürülebilirlik. İstanbul, Türkiye: 7. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*.
- Ateş Can, S. & Kurtoğlu, D.** (2017). Sürdürülebilir Mimari Kapsamında Geliştirilen Teknoloji ve Ürünler. *Yalvaç Akademi Dergisi*, 2 (2), 22-31.
- Baer, S.** (2009). Some Passive Solar Buildings with A Focus on Projects in New Mexico. *New Mexico: AIA Conference*.
- Blankenbehler, B.** (2015). Main Signal Box, Basel Switzerland. *Architecture Revived*, Retrieved March 26, 2018, from <http://www.architecturerevived.com/main-signal-box-basel-switzerland/>
- Başar, C.** (2014). *Mekan Hareketlerinin Fiziksel, Topolojik Ve Deneyimsel Bağlamlar Üzerinden İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Brüel, P. V. & Kjær, V.** (1998). *Basic Concepts of Sound*. Denmark: Brüel & Kjær Sound and Vibration Measurement A/S.
- Brüel, P. V. & Kjær, V.** (1986). *Noise Control*. Denmark: Ncerum Offset.
- Brüel, P. V. & Kjær, V.** (2000). *Environmental Noise*. Denmark: Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S.
- Colt, Arup & Ssc.** (2013). Solarleaf Bioreactor Façade: *Product Overview*, pp. 4-13
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı** (2013). Fikirtepe Kentsel Tasarım Çerçevesi
- D'Alençon, R.** (2015). Double Skin Façades, Technology and Innovation in Architecture: *Learning from 20 years of experience in Germany. Symposium on Energy, Efficiency and Sustainability EES2015*, 31. July-01.August, Berlin, pp: 42-47.
- El Sheikh, M.** (2011). *Intelligent building skins: Parametric-based algorithm for kinetic facades design and daylighting performance integration*. University of Southern California.
- Eren, Ö. & Erturan, B.** (2011). Akıllı Cepheler. *6th International Advanced Technologies Symposium*, (s. 125-130). Elazığ, Turkey.
- Ergün, Z.** (2008). *Mimarlıkta Cephe-yüzey Dönüşümü : 1990'lar Sonrası Değişim Süreci*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Fox M. A.** (2002). *Sustainable Applications of Intelligent Kinetic Systems*. SPON Press, London, UK
- Fox, M. A. & Kemp, M.** (2009). *Interactive Architecture*. New York, USA: Princeton architectural Press.
- Fox, M. A. & Yeh, B. P.** (1999). *Intelligent Kinetic Systems*. Cambridge, Massachusetts: Kinetic Design Group, M.I.T. Department of Architecture, Design Technology.
- Globa, A.** (2017). Hybrid Responsive Facades. *IDeEA Lab*, Retrieved January 8, 2018, from [http://ideealab.net/index.php/2017/03/06/hybrid-responsive-facades\\_-\\_project-development/](http://ideealab.net/index.php/2017/03/06/hybrid-responsive-facades_-_project-development/)
- Goulthorpe, M., Burry, M. & Dunlop, G.** (2001). Aegis hyposurface: The bordering of university and practice. *In Proceedings of the 21st Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA '01)*, pp. 344–349.
- Göksal Özbalta, T.** (2005). Çift Kabuk Cephe Kuruluşları İle Enerji Etkin Tasarım. *Türk Tesisat Mühendisleri Dergisi, Sayı 35*, 27-35.
- Güler, Ç. & Çobanoğlu, Z.** (1994). *Gürültü*. Ankara: T.C Sağlık Bakanlığı.
- Harrison, C. & Wood, P.** (2003). *Art in theory, 1900-2000: An anthology of changing ideas*. Malden, MA: Blackwell Pub.
- Hintzsche, M., Jäcker-Cüppers, M., Dieter Marohn, H. & Schade, L.** (2008). *Gürültü Azaltım Önlemleri El Kitabı*
- İnan, T. & Başaran, T.** (2014). Çif Cidarlı Cepheler Üzerine Bir Araştırma. *Megaron*, 132-142.
- Joachim, M.** (2005). MATscape - A material mosaic triplex, Retrieved January 10, 2018, from <http://www.archinode.com/c2c.html>,
- Kalvelage, K. J. & Dorneich, M. C.** (2014). A User-Centered Approach to User-Building Interactions. *Industrial and Manufacturing Systems Engineering Conference Proceedings and Posters (s. 2008-2012)*. Chicago, IL: Human Factors and Ergonomics Society
- Karanouh, A. & Kerber, E.** (2015). Innovations in dynamic architecture. *Journal of Facade Design and Engineering*, 185-221.
- Kcomt, S.** (2014). Sound Wave – IAAC Blog. *IAAC Blog*, Retrieved January 8, 2018, from [www.iaacblog.com/programs/sound-wave](http://www.iaacblog.com/programs/sound-wave)
- Knippers, J., Jungjohann, H., Scheible, F. & Oppe, M.** (2012). Bio-inspired kinetic façade for the thematic pavilion One Ocean EXPO 2012 in Yeosu, Korea. *Bautechnik*, 341-347.
- Kolarevic, B. & Parlac, V.** (2015). *Material as Mechanism in Agile Spaces, in Building Dynamics: Exploring architecture of change*, Routledge, Abingdon, Oxon, New York, NY, pp. 177–190.
- Kolarevic, B.** (2015). Bina Kaplamalarında Yeni Özellik : Uyarlanabilirlik. *Dosya 35, TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi*, s. 14-19.
- Korkmaz, K.** (2001). Kinetik Bir Mimarlığa Doğru. *Ege Mimarlık*, 37, 8-11.
- Korkmaz, K.** (2009). Kinetik Üzerine. *Arredamento Mimarlık*, 64-69.



- Kronenburg, R.** (2002). *Houses in Motion: The Genesis, History and Development of the Portable Building*. London: John Wiley.
- Kronenburg, R.** (2007). *Flexible: architecture that responds to change*, London, Laurence King.
- Krymsky, Y.** (2011). Chuck Hoberman Lecture, UCLA. *Responsive Skins, UCS Facades Conference 2010*, University Of Southern California, November 19-20, 2010.
- Ley, R. & Stein, J. G.** (2010). Reef an Installation by Rob Ley and Joshua G. Stein. Project Information Katalog, Retrieved February 13, 2018, from <http://www.radical-craft.com/Reef>
- Lupton, E.** (1991). A Better Mousetrap - Patents & the Process of Invention. *Folding Structures*, Cooper Union, 1 Jan. 1991
- Michler, A.** (2012). CJ Research Center's Kinetic Folding Facade / Yazdani Studio, *eVolo | Architecture Magazine*. Retrieved February 26, 2018, from <http://www.evolo.us/architecture/cj-research-centers-kinetic-folding-facade-yazdani-studio>
- Moloney, J.** (2007). A Framework for the Design of Kinetic Façades. *Computer-Aided Architectural Design Futures (CAADFutures)* (s. 461-474). Dordrecht, Holland: Computer-Aided Architectural Design Futures.
- Moloney, J.** (2011). *Designing kinetics for architectural facades: State change*. Abingdon, Oxon: Routledge.
- Mara, F.** (2011). KfW Westarkade offices and conference centre, Frankfurt, by Sauerbruch Hutton, *The Architects' Journal*, March 2011.
- NLLS** (2016). *Alya Life Residence Rüğar Analizleri Raporu*. İstanbul: NLLS Mühendislik
- Orhon, A. V.** (2012). Akıllı Malzemelerin Mimarlıkta Kullanımı. *Ege Mimarlık*, 18-20.
- Orhon, A. V.** (2013). Sürdürülebilir Mimaride Akıllı Malzeme Kullanımı. *VIII. Uluslararası Sinan Sempozyumu*, 25-26 Nisan 2013, Edirne, ss. 297-304
- Orhon, A. & Altın, M.** (2014). Spor Yapılarında Sürdürülebilir Çatı ve Cepheler. 7. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, 3 - 4 Nisan 2014, Yıldız Teknik Üniversitesi, Beşiktaş, İstanbul
- Ölçer, E.** (2015). *Kinetik Mimari Kavramı ve İç Mekan Tasarımına etkileri*. (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kocaeli.
- Özer, A. & Akyüz, U.** (2016). Kinetik Heykel Sanatı Öncüleri. *Akdeniz Sanat Dergisi*, cilt 9, sayı:19: 74-91.
- Requena, G.** (2015). Estúdio Guto Requena, Light Creatures. Interactive Façade - Public Art, São Paulo, Brazil, 2015. <https://gutorequena.com/light-creature/> erişim: 17.12.2017
- Rossi, D., Augustynowicz, E., Georgakopoulou, S. & Sixt, S.,** (2010). ShapeShift Project Information Katalog, Retrieved March 26, 2018, from [https://dl.dropbox.com/u/1325890/shapeshift\\_booklet.pdf](https://dl.dropbox.com/u/1325890/shapeshift_booklet.pdf)

- Sanchez-Del-Valle, C.** (2005). Adaptive Kinetic Architecture: a Portal to Digital Prototyping . *Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture, ACADIA* (s. 170-183). Savannah, Georgia: Savannah School of Architecture and Design (SCAD).
- Schnädelbach, H.** (2010). Adaptive Architecture - A Conceptual Framework. *MediaCity Conference*. Weimar, Germany.
- Sieden, L. S.** (1989). *Buckminster Fuller's Universe: An Appreciation*. New York, USA: Plenum Press.
- Sirel, Ş.** (1988). *Gürültü. Yapı fiziği Enstitüsü Kitapçığı*. Kitapçık No.1 İlk Baskı : 18 Mart 1988
- Skidmore, Owings & Merrill,** (2010). HelioTrace Façade System. *Architect Magazine*. Building Envelope, Curtain Walls, Retrieved December 15, 2017, from [http://www.architectmagazine.com/awards/r-d-awards/citation-heliotrace-facade-system\\_o](http://www.architectmagazine.com/awards/r-d-awards/citation-heliotrace-facade-system_o)
- Su, Y.** (2010). Arab World Institute Jean Nouvel. EVDA 621 Formal Strategies in Architecture, Case Study Analysis
- Suner, A.** (2011). ‘Adaptive architecture’ Çevresel etkenlere göre değişebilen mimari. *Ekoyapı Dergisi*, (5), 82-86.
- Ünal, Y.** (2017). Enerji Korunumunda Adaptif/ Uyarlı Cepheler ve Adaptif Cephe Sistem Önerisi. *Seminer*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimari Tasarımda Bilişim Programı, 2017-2018 Güz Dönemi, İstanbul.
- Ünver, E.** (2013). Binaya Entegre Fotovoltaik Sistemlerin Mimaride Kullanımları, *Ekoyapı*, Sayı 14, Mayıs 2013, s. 88-93
- Velikov, K. & Thun, G.** (2012). Responsive Building Envelopes: Characteristics and Evolving Paradigms. *In Design and Construction of High Performance Homes* (s. 75-92). London, UK: Routledge Press.
- Wang, L.** (2014). Lighting Designers Transform Peru's Biggest Bank into One of the World's Largest Interactive Light Shows. *Inhabitat Green Design Innovation Architecture Green Building*, Retrieved November 18, 2017, from. <https://inhabitat.com/lighting-designers->
- Yıldız, A. E.** (2007). *Mobile Structures Of Santiago Calatrava: Other Ways Of Producing Architecture*. (Master Thesis). METU, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.
- Url-1** <<http://melitainsula.blogspot.com.tr/2010/09/helepolis-taker-of-cities.html>>, erişim tarihi 18.09.2017.
- Url-2** <<https://www.arthipo.com/artblog/unlu-klasik-tablolar/leonardo-da-vincinin-cizimleri-taslaklari.html>>, erişim tarihi 14.09.2017.
- Url-3** <<http://modernart2013.blogspot.com.tr/2013/02/eugene-viollet-le-duc.html>>, erişim tarihi 20.10.2017.
- Url-4** <<https://archistdaily.wordpress.com/2012/09/17/september-17-figuring-out-viollet-le-duc/>>, erişim tarihi 02.10.2017.
- Url-5** <<https://www.britannica.com/art/Constructivism-art>>, erişim tarihi 08.12.2017.

- Url-6** <<https://www.archdaily.com/401528/ad-classics-the-dymaxion-house-buckminster-fuller/51f0501ee8e44e94e500013b-ad-classics-the-dymaxion-house-buckminster-fuller-image/>>, erişim tarihi 15.11.2017.
- Url-7** <<https://www.archdaily.com/399329/ad-classics-the-plug-in-city-peter-cook-archigram/51d71ca6e8e44ecad700002a-ad-classics-the-plug-in-city-peter-cook-archigram-image>>, erişim tarihi 26.11.2017.
- Url-8** <<https://www.archdaily.com/245/greenpix-zero-energy-media-wall>>, erişim tarihi 28.12.2017.
- Url-9** <<https://inhabitat.com/unstudio-to-renovate-hanwha-headquarters-with-solar-led-facade-in-seoul/#popup-641511>>, erişim tarihi 28.12.2017.
- Url-10** <<https://archnet.org/sites/6641>>, erişim tarihi 22.12.2017.
- Url-11** <<http://www.amusingplanet.com/2015/11/the-bahrain-world-trade-center-has.html>>, erişim tarihi 05.01.2018.
- Url-12** <<http://www.urban75.org/blog/the-rarely-spinning-turbines-of-the-strata-tower-south-london/>>, erişim tarihi 25.12.2017.
- Url-13** <<https://eluxemagazine.com/homestech/algae-powered-architecture/>>, erişim tarihi 05.11.2017.
- Url-14** <<https://www.konsiteo.today/articles/c/0/i/18680766/biq-house-first-algae-powered-building-world>>, erişim tarihi 11.10.2017.
- Url-15** <<https://inhabitat.com/mexico-citys-manuel-gea-gonzalez-hospital-has-an-ornate-double-skin-that-filters-air-pollution/>>, erişim tarihi 12.12.2017.
- Url-16** <<https://www.thoughtco.com/etfe-architecture-is-plastic-the-future-089296>>, erişim tarihi 18.12.2017.
- Url-17** <<https://visuallexicon.wordpress.com/2017/10/04/arab-world-institute-jean-nouvel/>>, erişim tarihi 08.12.2017.
- Url-18** <<https://www.detail-online.com/article/one-ocean-thematic-pavilion-for-expo-2012-16339/>>, erişim tarihi 27.12.2017.
- Url-19** <<https://www.mediaarchitecture.org/aegis-hyposurface-kinetic-mediafassade/>>, erişim tarihi 01.12.2017.
- Url-20** <<https://gutorequena.com/dancing-pavilion/>>, erişim tarihi 17.12.2017.
- Url-21** <<https://gutorequena.com/the-year/>>, erişim tarihi 17.12.2017.
- Url-22** <<http://gurultu.cevreorman.gov.tr/gurultu/AnaSayfa/gurultu/sagliketkileri.aspx?lang=tr>>, erişim tarihi 06.02.2018.
- Url-23** <[www.erimsever.com/MakMuh/Izolasyon/Ses\\_Nedir.pdf](http://www.erimsever.com/MakMuh/Izolasyon/Ses_Nedir.pdf)> erişim tarihi 09.03.2018.
- Url-24** <[www.paroc.com/knowhow/sound/general-information-about-sound](http://www.paroc.com/knowhow/sound/general-information-about-sound)>, erişim tarihi 27.03.2018.
- Url-25** <<http://proplan.com.tr/Urunler/titresim-ve-akustik/yazilimler/odeon-hacim-akustigi-yazilimi>>, erişim tarihi 21.04.2018.



## **EKLER**

**EK A : Ses ve Gürültü**





## EK A

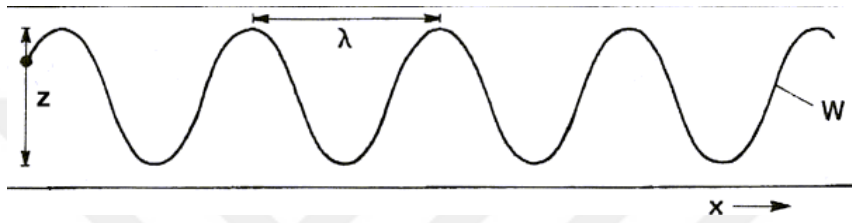
### Ses ve Gürültü

**Ses :** Esnek cisimlerin titreşmesi ile oluşan ve dalgalar halinde yayılan enerji çeşidine ses denir. Ses veren her madde veya cisim bir ses kaynağıdır. Ses kaynakları titreşerek ses meydana getirir.

**Titreşim :** bir cismin ileri – geri gidip gelme hareketidir. Ses veren herşey titreşir.

**Lambda :** Ses dalgalar şeklinde yayılır. Sinus eğrileri şeklindeki bu dalgaların iki tepe noktası arasındaki kısım dalga boyu (lambda) olarak adlandırılmaktadır.

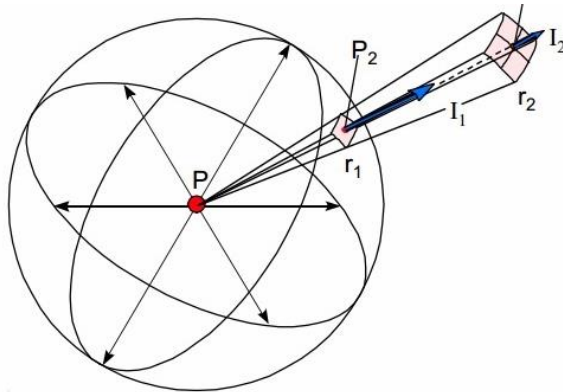
**Genlik :** Sesin tepe noktasının başlangıç noktasına olan uzaklığına genlik adı verilir. Sesin genliği arttıkça şiddeti artar, genliği azaldıkça ise, şiddeti azalır ve buna zayıf ses denir (Şekil A.1).



**Şekil A.1 :** Ses ve dalga boyu grafiği. Lambda: dalga boyu, w: dalga, z: titreşim (Brüel ve Kjaer, 2000).

**Sesin Yayılma Hızı :** Ses madde bulunan her ortamda yayılır. Boşlukta madde olmadığı için yayılmaz. Sesin hızı, ışık hızına göre çok azdır. Ses saniyede 340 m yol almaktadır. Sesin yayılma hızı ortamın sıcaklığına bağlıdır. Sıcaklık arttıkça yayılma hızı artar. Sesin yayılma hızı ortamına da bağlıdır. Ses en hızlı katı maddelerde yayılır (Brüel&Kjaer, 2000).

**Ses Yoğunluğu :** Ses, bir ses gücüne sahip (P) ses kaynağı tarafından üretildiğinde, kaynaktan gelen bitişik hava moleküllerine bir enerji aktarımı gerçekleşir. Bu enerji, dışarıdaki moleküllere transfer edilir. Böylece enerji, göldeki dalgalanmalar gibi kaynaktan yayılır. Bu enerjinin belirli bir alanda belirli bir yönde aktığı hız, ses yoğunluğu, “I” olarak adlandırılır (Şekil A.2). Kaynağın etrafındaki belirli bir noktadan geçen enerji, bu noktada, güçlü bir basınca (p) yol açacaktır. r hava yoğunluğu, c ses hızıdır (Brüel ve Kjaer, 2000).



$$I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{p^2}{\rho c}$$

Power: P [W]

Intensity: I [J/s/m<sup>2</sup>] = W/m<sup>2</sup>

Pressure: p [Pa = N/m<sup>2</sup>]

**Şekil A.2 :** Temel ses parametreleri (Brüel ve Kjaer, 2000).

**Frekans :** Ses komşu moleküllerin saniyede belirli bir sayıda titreşmeleri ve bunu birbirlerine aktarmaları ile oluşur ve yayılır. İşte bir saniyede oluşan titreşim sayısı sesin frekansıdır. Bu frekans birim olarak Hertz (Hz) ile ifade edilir. Örneğin, insan kulağının duyabildiği en düşük ses 20 Hz'dir ki bu da saniyede 20 titreşim demektir. Aynı biçimde, duyabildiğimiz en tiz ses olan 20 kHz de saniyede 20.000 titreşime karşılık gelir. Farklı titreşimler yayan nesnelere farklı sesler duymamızın nedeni, ses dalgalarının frekansındaki farklılıklardır. Sağlıklı bir insan, 20 – 20.000 Hz arasındaki sesleri işitebilir. En duyarlı olduğu seslerse, 500 – 8000 Hz aralığındakilerdir. Bu aralık, insanların konuşma seslerine karşılık gelir.

**Sesi birbirinden ayıran özellikler :** Çeşitli ses kaynaklarının çıkardığı seslerden birini diğerinden ayıran özellikler: Sesin şiddeti (gürlüğü), sesin frekansı (yüksekliği), sesin tınısıdır.

**Sesin şiddeti (gürlüğü) :** Sesin zayıf ya da kuvvetli olmasına şiddet (gürlük) denir. Sesin şiddeti, ses dalgalarının enerjisine ve genliğine bağlıdır. Genlik büyükse ses şiddetli, küçükse ses zayıf duyulur.

Sesin şiddetinin birimi desibel (dB) dir. İşitilebilen en hafif ses 0 dB dir ve buna işitme eşiği denir. İnsan 0 – 120 dB aralığındaki sesleri duyabilir. 30 ile 60 dB arası sesler normal şiddetteki seslerdir. 60 dB den fazla olan sesler şiddetlidir ve rahatsız eder.

**Sesin frekansı (yüksekliği) :** Sesi oluşturan kaynağın bir saniyedeki titreşim sayısına frekans denir. Sesin yüksekliği frekans ile doğru orantılıdır. Frekans yalnızca kaynağa bağlıdır. Kaynaktan üretilen sesin frekansı ortam değişirse de değişmez. Frekansı büyük olan ses, ince (tiz), frekansı küçük olan ses kalın (bas) dır. Genel olarak ses dalgaları frekanslarına göre üç gruba ayrılır.

**İşitilebilir ses dalgaları:** İnsan kulağının duyarlı olduğu frekans aralığının içindeki ses dalgalarıdır. Sesin şiddeti yeterli ise bu sınırlar 20 Hz ile 20.000 Hz arasındadır

**İnfrasonik ses dalgaları:** 20 Hz frekansından küçük frekanslı ses dalgalarıdır. Filler bu şekilde kilometrelerce uzaktan birbirleri ile iletişim kurabilmektedir.

**Ultrasonik ses dalgaları:** 20.000 Hz frekansından büyük frekanslı ses dalgalarıdır. Köpek düdüklelerinin çıkardığı sesler insanlar tarafından duyulamazken köpekler tarafından kolayca duyulabilmektedir.

**Sesin Tınısı:** Sesler aynı şiddette ve frekansta bile olsalar birbirinden ayırt edilebilirler. Her ses kaynağı kendine özgü ses çıkarır. Bir sesin hangi kaynaktan çıktığını tanıtan özelliğe sesin tınısı denir. Aynı notayı (tonu) çalan bir kemanla bir flüt arasındaki fark sesin tınısıdır. Bir ses kaynağından yayılan ses dalgaları, çevredeki bazı ses kaynaklarını titreştirebilir. Frekansları aynı olan kaynaklardan biri titreştirildiğinde diğer ses kaynağının etki ile titreşmesine rezonans (tınlaşım) denir .

**Gürültü :** Gürültü genel olarak hoşta gitmeyen, istenmeyen, rahatsız edici ses olarak tanımlanır. Ses kirliliği olarak da tanımlanan gürültü kavramı, kişinin işitsel sağlığını olumsuz yönde etkileyen araçların, insanların, makinelerin, hayvanların ve farklı çevresel nesnelere ürettiği istenmeyen seslerin bir bütünüdür.

**Ses Gücü :** Bir ses kaynağının yaydığı ve havayla taşınan akustik güce “ses gücü” denir. Birimi Wattır (W). Bu güç, çevreden bağımsızken ses basıncı, alıcının uzaklığına ve çevreye (yansıtıcı yüzeyler) bağlıdır. Ses Güç Seviyesi (Lw), incelenilen ses kaynağının yaydığı ses gücünün, referans ses gücüne (1picowatt=10<sup>-12</sup> W) oranının 10 tabanlı logaritmasının on katıdır. Birimi desibeldir. Ses basıncı, ses yayılması sırasında değişen atmosferik basıncın denge basıncına göre farklıdır. Birimi Newton/m<sup>2</sup> (Pascal) dır (1N/m<sup>2</sup>=1Pa=1µbar) (Brüel ve Kjaer, 2000). Ses yayılması

sırasında değişen atmosferik basıncın denge basıncına göre farkı ses basınç düzeyini gösterir ve gürültü düzeyi ölçümlerinde kullanılır.

**Desibel :** Gürültü değerlendirme ölçüsü, ses basıncı seviyesine dayanan desibel (dB)'dir. Kulağımız 0-140 dB arasındaki sesleri algılar. Desibel, bir oranın ondalık logaritmasıdır. Bir sesin basıncı iki katına çıkarsa, örneğin ses kaynağı sayısı iki katına çıkarsa, 2'nin ondalık logaritması 0,3 olduğuna, ve desibel, esas ölçü olan Bel'in onda biri olduğuna göre, dB cinsinden artma 3 dB olur. Yani aynı cins ve güçte 1 kaynak  $\chi$  dB gürültü oluşturuyorsa,

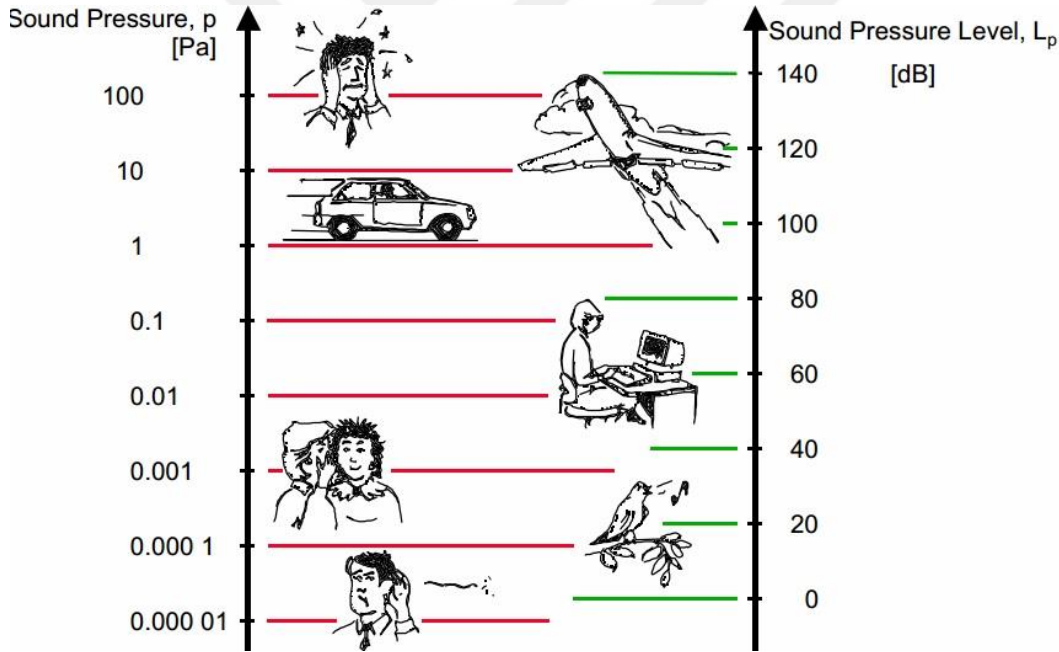
2 kaynak  $\chi + 3$  dB

4 kaynak  $\chi + 6$  dB

8 kaynak  $\chi + 9$  dB gürültü oluşturur.

Genelde dB cinsinden değerlerin toplama ve çıkarma işlemleri için, bununla ilgili formüller, çizelgeler ve grafikler kullanılır.

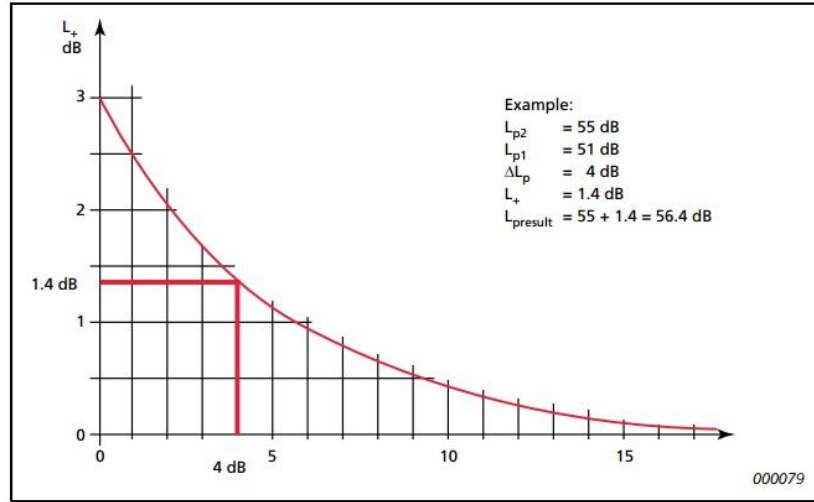
**Duyuma Eşiği :** Bir insan kulağı 1000 hertzlik bir sesi 20 mPa (mikropaskal) civarında duyar ve bu değere insan kulağının duyma eşiği denir. İnsan kulağının acı duyma eşiği 100 Pascal'lık ses basınç seviyesindedir. Acı duyma eşiği kişilere göre farklılık gösterebilmektedir. Acı duyma eşiği, gürültü şiddeti olan 120-140 dB(A) kişilere göre değişmektedir. Uluslararası standartlara göre, işitme sistemine zarar veren gürültü düzeyi 100-10.000 Mhz ve 85 ve üzeri dB düzeyidir (Şekil A.3).



Şekil A.3 : Ses basıncı aralıkları (Brüel ve Kjaer, 1998).

**Sesin Ölçülmesi :** Açık havada, noktasal bir kaynaktan küresel dalgalar biçiminde yayılan ses enerjisi uzaklığın karesi ile azaldığı için, uzaklık her iki katına çıkışta ses düzeyi 6 dB düşer. Örneğin, ses düzeyi kaynaktan 1 m uzakta 100 dB, 2 m uzakta 94 dB, 4 m uzakta 88 dB olur (Sirel, 1988).

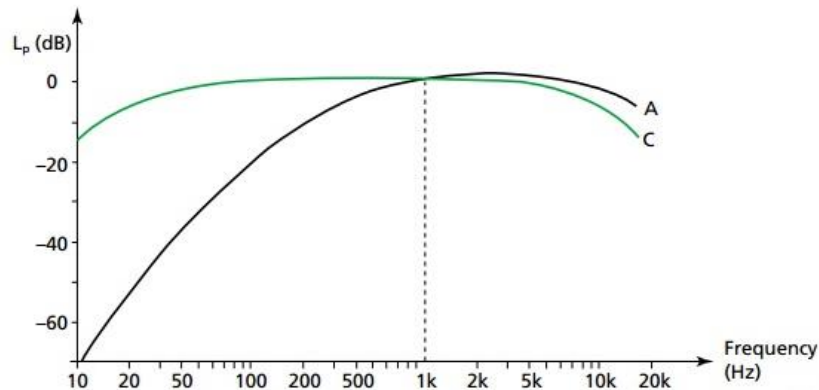
İki veya daha fazla ses kaynağından gelen ses seviyeleri ayrı olarak ölçülmüşse, ses kaynaklarının birleşik ses basıncı seviyesini bulmak için, bireysel dB değerleri doğrusal değerlere dönüştürülür. Çoklu ses kaynağına sahip ses basıncı seviyelerini ölçmek için pratik bir yol olarak Şekil A.4'deki grafik kullanılabilir.



**Şekil A.4 :** Ses basıncı aralıkları (Brüel ve Kjaer, 2000).

- Her bir gürültü kaynağının Ses Basıncı Seviyesini (Sound Pressure Level - SPL) ayrı olarak ölçülür ( $L_{p1}$ ,  $L_{p2}$ ).
- Bu seviyeler arasındaki fark bulunur ( $\Delta L$ ) bulunur ( $L_{p2} - L_{p1}$ ).
- Bu fark grafiğin yatay ekseninde bulunur. Eğriyi keşişene kadar yukarı hareket ettirerek dikey eksende soldaki değere bakılır.
- Dikey eksende ( $L +$ ) belirtilen değer, gürültü kaynağının ( $L_{p2}$ ) seviyesine eklenir. Bu, iki gürültü kaynağının SPL'lerinin toplamını verir.
- Üç veya daha fazla gürültü kaynağı mevcutsa, ilk iki kaynak için elde edilen toplamı ve her ek kaynak için SPL'yi kullanarak 1'den 4'e kadar olan adımların tekrarlanması gerekmektedir (Brüel ve Kjaer, 2000).

**Ses Ağırlık Filtreleri :** İşitme, çok düşük ve çok yüksek frekanslarda daha az duyarlıdır. Bunu hesaba katmak için, sesleri ölçerken ağırlık filtreleri uygulanabilir. Mevcut kullanımdaki en yaygın frekans filtresi, genellikle insan kulağının tepkisine uyan dB(A) olarak gösterilen sonuçları sağlayan "A-filtresi" dir. İnsan kulağının duyarlı olduğu ses frekansları düşünüldüğünde en uygun ölçüm yönteminin A tipi filtreler ile yapılan ölçümler olduğu görülmektedir. Özellikle yüksek sesli veya çok düşük frekanslı sesleri değerlendirirken "C- filtresi" dB(C) kullanılır. 10 dB yükselme ya da düşme, gürültü düzeyinin 2 katına çıkması ya da inmesi gibi algılanır (Şekil A.5).



**Şekil A.5 :** dB(A) ve dB(C) filtreleri ve frekans değerleri diyagramı (Brüel ve Kjaer, 2000).

**Gürültü Çeşitleri :** Şehirler, endüstrileşme ve teknolojik gelişmelerle birlikte bir o kadar yoğun gürültülere maruz kalmaktadır. Çevre gürültüsü, yoğun yaya ve araç sirkülasyonlarının bulunduğu bölgelerde büyüklük ve karakter olarak önemli ölçüde değişmektedir. Şehirler, gündüz özellikle sabah ve akşamüstü saatlerinde araç trafiğinin artmasıyla yüksek, gece ise düşük gürültü değerine sahiptir.

Genel olarak gürültü kaynaklarını yapı içi ve yapı dışı olarak ele alabiliriz. Çevresel gürültü kaynakları olan yapı dışı gürültüleri şöyle sıralayabiliriz (Şekil A.6).

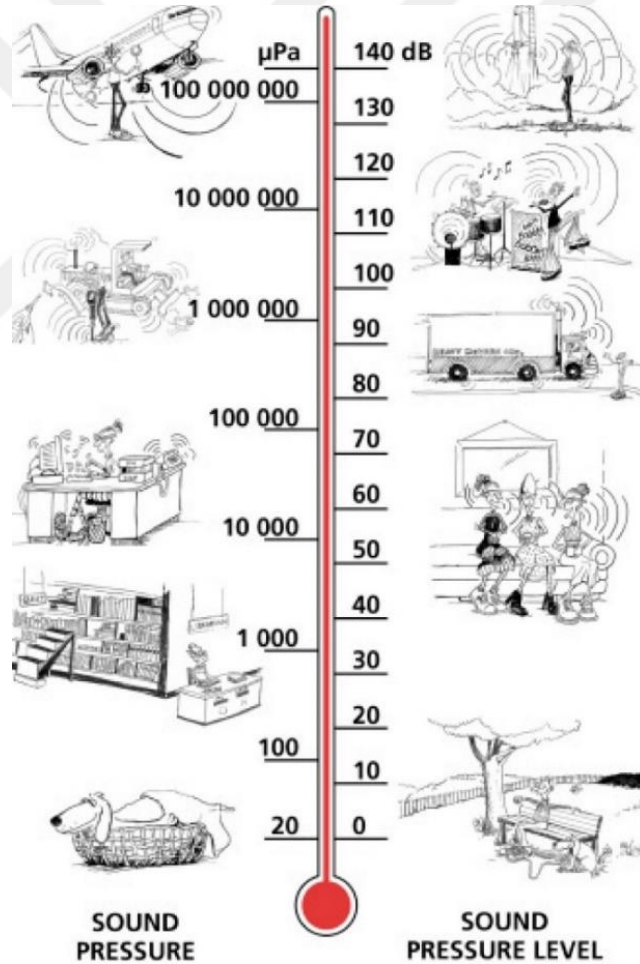
**Ulaştırma gürültüleri :** Karayolu, denizyolu, havayolu, havaalanı gürültüleri

**Endüstri gürültüleri :** Endüstri makineleri ve işyeri gürültüleri

**İnşaat (şantiye) gürültüleri :** Yol ve bina inşaatı gürültüleri, atış poligonları ve benzeri gürültüler.

**Rekreasyon gürültüleri :** Çocuk bahçeleri ve parkları, spor sahaları, atış poligonları ve benzeri gürültüler.

**Ticari amaçlı gürültüler :** Açık hava sinemaları, eğlence yerleri, yüksek sesli reklam ve müzik yayınları, pazar yeri gürültüleri, sokak satıcılarının gürültüleri.



**Şekil A.6 :** Bazı çevresel gürültü kaynakları ve ses basınç seviyeleri (dB) (Brüel ve Kjaer, 2000).

Çobanoğlu ve Güler (1994) gürültü çeşitlerini frekans bandına ve zamana bağlı olarak değişmesine göre ikiye ayırmaktadır.



### **Frekans bandına (spektrum) göre gürültü**

**Sürekli bant gürültüsü (beyaz gürültü):** Bütün frekans aralıklarına sahip sürekli spektrumlu seslerden oluşmuştur (Makine gürültüsü gibi).

**Sürekli dar bant gürültüsü:** Böyle seslerde birkaç frekans yoğun olarak yer alır. Döner daire testere buna güzel bir örnektir.

### **Zamana bağlı gürültü**

**Kararlı gürültü (sabit gürültü):** Gürültü seviyesi, ölçüm süresince önemli değişimler göstermeyen gürültülerdir.

**Kararsız gürültü:** Ölçme süresince, seviyesinde önemli ölçüde değişiklikler olan gürültülerdir.

**Dalgalı gürültü:** Ölçme süresince, seviyesinde sürekli ve önemli ölçüde değişiklikler olan gürültüdür.

**Kesikli gürültü:** Ölçüm süresinde, gürültü seviyesi aniden ortam gürültü seviyesine düşen ve ortam gürültüsü seviyesinden, yüksek değerdeki seviyelerde 1 saniyeden fazla veya 1 saniye sabit olarak devam eden gürültüdür (trafik gürültüsü gibi).

**Vurma gürültüsü (anlık gürültü):** Herbiri 1 saniyeden daha az süren bir veya birden fazla vuruşun çıkardığı gürültüdür (Çekiç gürültüsü gibi) (Güler ve Çobanoğlu, 1994).

Çevremizde duyduğumuz farklı gürültülerin, bir metre uzaklıkta, 0,5 sn sönümleme zamanında ve açık hacimdeki ses basınç seviyeleri Çizelge A.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge A.1 :** Farklı gürültülerin ses basınç değerleri çizelgesi (Url-23).

| <b>Ses Basıncı Seviyesi dB(A)</b> | <b>Gürültü</b>   |
|-----------------------------------|--|
| 0                                 | Duyuma duyarlılığının başlangıcı (sadece lab ta ölçülebilir) |
| 10                                | Düzensiz duyulan ses   |
| 15 - 20                           | Kağıt hışırtısı, açık alanda gece sesi                       |
| 25 - 30                           | Fısıldama  |
| 30 - 40                           | Sakin yerleşim bölgesi                                       |
| 40 - 50                           | Alçak ses ile sohbet, sakin büro                             |
| 50 - 60                           | Konuşma ses, daktilo   |
| 55 - 65                           | Elektrikli süpürge   |
| 60 - 65                           | Gürültülü büro   |
| 65 - 70                           | Telefon zili, köpek havlaması, klasik müzik                  |
| 70 - 80                           | Yoğun cadde trafiği  |
| 80 - 85                           | Çığlık atmak, bağırarak, torna tezgahı, opera müziği         |
| 90 - 100                          | Yük treni, turbo jeneratör, disko müziği                     |
| 100 - 110                         | Gökgürültüsü   |
| 110 - 120                         | Uçak pervanesi, rock müzik                                   |
| 120 - 130                         | Acı - ağrı sınırı  |
| 130 - 150                         | Jet uçağı motoru   |
| 200                               | Uzay mekiği  |

**Gürültünün Sağlığa Etkileri :** Teknolojinin ve kentleşmenin artması ile insanların gürültünün zararlı etkilerine maruziyeti de artmıştır. Çevresel gürültü kaynaklarından korunmanın önemi de artmıştır. Ülkemizde de bu nedenle yapılmış “gürültü kontrol yönetmeliği” mevcuttur. Bu şekilde gerekli tedbirler alınarak çevresel gürültüye maruziyetin azaltılması amaçlanmaktadır. Gürültünün insan üzerinde işitme kaybı, sinirlilik, yorgunluk, dikkat eksikliği gibi birçok zararlı etkisi vardır (Çizelge A.2).

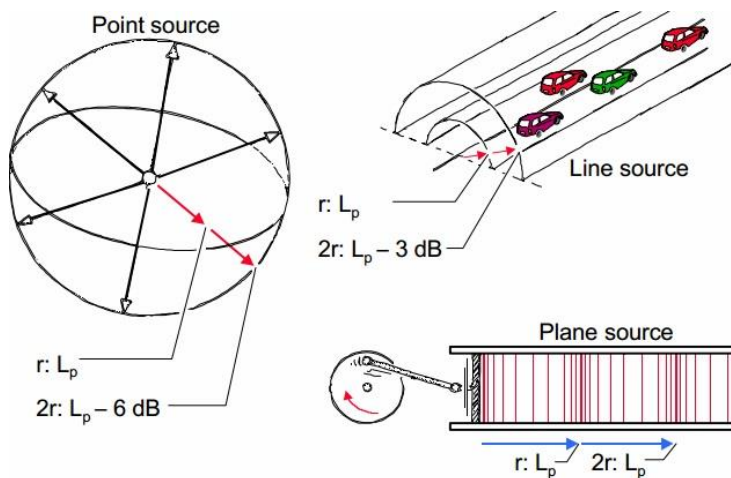
**Çizelge A.2 :** Gürültü ses desibel aralığı ve insan sağlığına etkileri (Url-22).

| Gürültü Derecesi         | Etkilenme Aralığı (dBA) | Sağlık Üzerine Etkileri   |
|--------------------------|-------------------------|---|
| 1. Derecedeki gürültüler | 30-65                   | Konforsuzluk, rahatsızlık, öfke, kızgınlık, uygu düzensizliği ve konsantrasyon bozukluğu  |
| 2. Derecedeki gürültüler | 65-90                   | Fizyolojik reaksiyonlar, kanbasıncı artışı, kalp atışlarında ve solunumda hızlanma, beyin sıvısındaki basıncın azalması, ani refleksler |
| 3. Derecedeki gürültüler | 90-120                  | Fizyolojik reaksiyonlar, baş ağrıları   |
| 4. Derecedeki gürültüler | 120-140                 | İç kulakta devamlı hasari dengein bozulması   |
| 5. Derecedeki gürültüler | >140                    | Ciddi beyin tahribatı, kulak zarının patlaması  |

**Gürültü Yayılımını Etkileyen Faktörler :** Brüel&Kjaer (2000), ölçüm ve hesaplamalarda temsili bir sonuca varmak için bazı faktörlerin de dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Örneğin, 10 tonluk bir kamyon ne kadar gürültülüdür? Bu, ne kadar uzak olduğunuz ve bir engelin önünde mi yoksa arkasında mı olduğunuzla bağlı olabilmektedir. Diğer birçok faktör gürültü seviyesini etkilemektedir ve ölçüm sonuçları aynı gürültü kaynağı için desibel değerlerine göre değişebilmektedir. Bu varyasyonun nasıl meydana geldiğini açıklamak için, kaynağın sesin nasıl yayıldığını, havada nasıl geçtiğini ve alıcıya nasıl ulaştığını düşünmemiz gerekmektedir.

Gürültü yayılımını etkileyen en önemli faktörleri, kaynak tipi, ses kaynağına uzaklık, atmosferik emilim, rüzgar, sıcaklık, zemin emilimi, yansımalar, ses bariyerleri olarak sıralamaktadır.

**Kaynak tipi (noktasal, çizgisel ve düzlemsel) :** Bir gürültü kaynağının boyutları dinleyiciye olan uzaklığa göre küçükse, nokta kaynağı denir (Şekil A.7). Örneğin, fanlar ve baca yığınları.



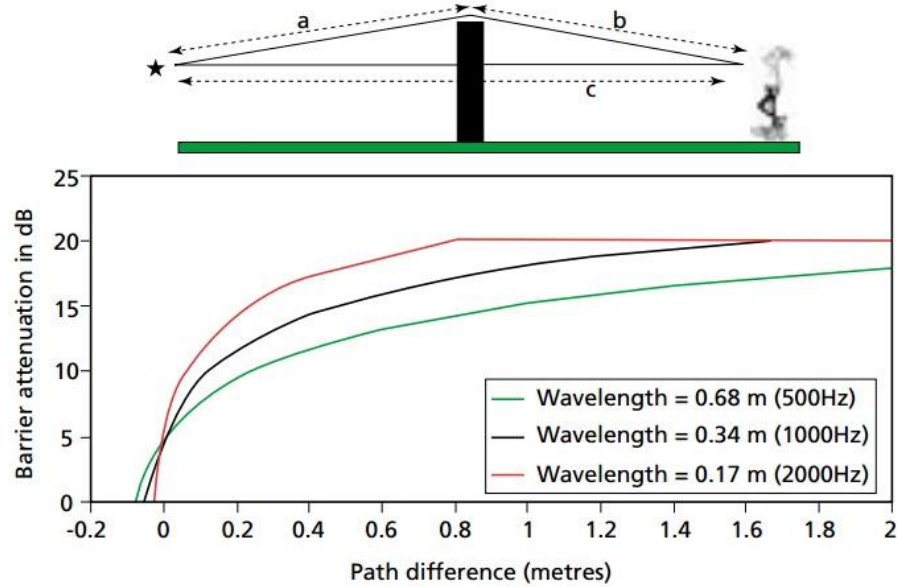
**Şekil A.7 :** Nokta ve çizgi gürültü kaynağı diyagramları (Brüel ve Kjaer, 2000).

Ses enerjisi, küresel olarak yayılır, böylece ses basıncı seviyesi, kaynaktan aynı mesafede bulunan tüm noktalar için aynıdır ve mesafe iki katına çıkarıldığında 6 dB azalır. Bu, zemin ve hava emilimi seviyeyi belirgin şekilde etkileyene kadar geçerlidir.

Bir gürültü kaynağı bir yönde dar, diğeri ise dinleyiciye olan mesafeye göre daha uzunsa, buna bir çizgi kaynak denir (Şekil A.7). Bu, bir yolda araç akışı gibi aynı anda çalışan birçok nokta kaynağından oluşabilir. Ses seviyesi silindirik olarak yayılır, bu nedenle ses basıncı seviyesi, hattan aynı mesafede bulunan tüm noktalarda aynıdır ve mesafe iki katına çıkarıldığında 3 dB azalır.

Bir düzlem üzerinde yer alan gürültü kaynakları ise, düzlemsel kaynak olarak ele alınmaktadır. Alıcı noktaya yakın olan bir eğlence yeri, bu gruba örnek verilebilir.

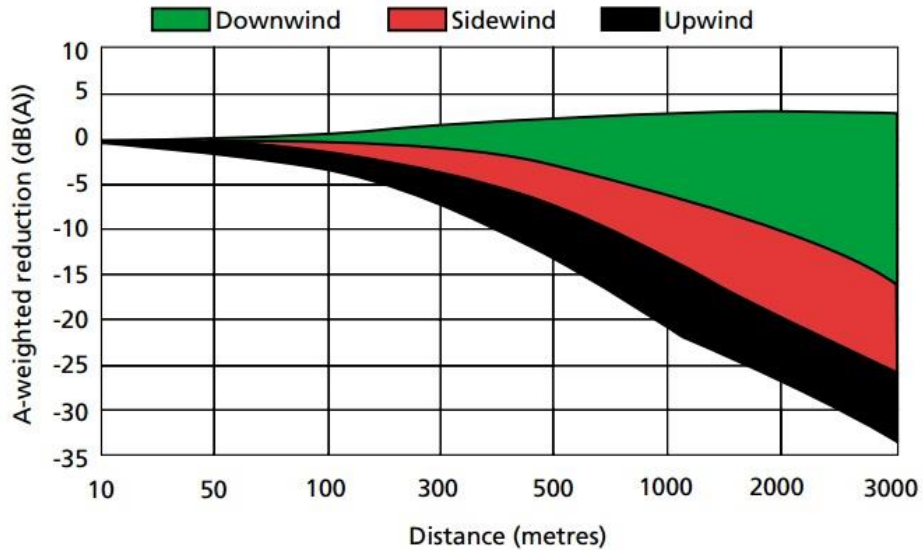
**Ses bariyerleri veya binalar vb gibi engeller :** Bariyerden kaynaklanan gürültü azaltma iki faktöre bağlıdır. Birincisi, ses dalgasının, alıcıya direk aktarım ile karşılaştırıldığında, bariyer üzerinde hareket ederken yol farkıdır (diyagramda  $a+b-c$ ). İkincisi ise, gürültünün frekans içeriğidir. Bu ikisinin birleşik etkisi Şekil A.8’de gösterilmiştir.



Şekil A.8 : Gürültü – bariyer diyagramı (Brüel ve Kjaer, 2000).

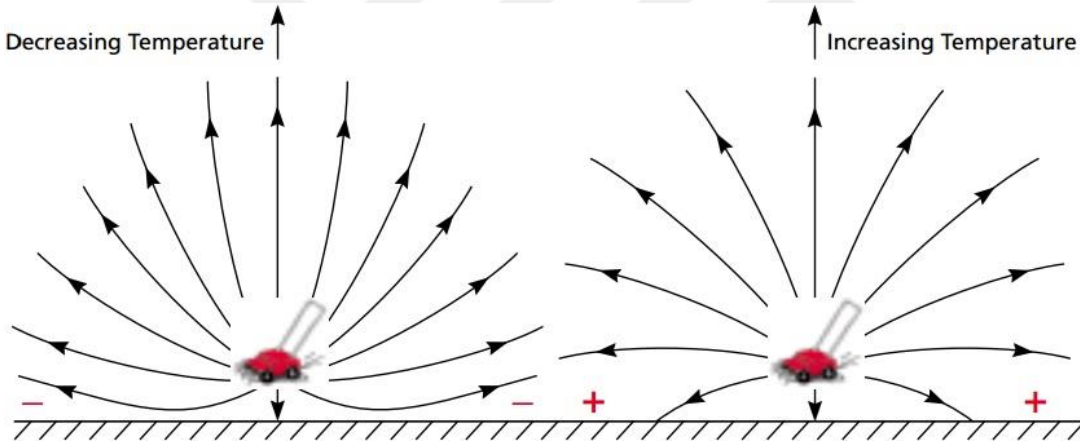
**Atmosfer emilimi :** Havadan geçerken gürültünün azaltılması, birçok faktöre bağlıdır. Bunlar, kaynaktan uzaklık, gürültünün frekans içeriği, ortam sıcaklığı, bağıl nem, ortam basıncı gibi etkenlerdir. Düşük frekanslar atmosferik emilim ile zayıflatılamaz.

**Rüzgar ve sıcaklık :** Rüzgâr hızı irtifa ile artmaktadır, bu da ses yolunu rüzgara karşı “odaklamak” ve kaynağın rüzgâr tarafında “gölge” yapmak için bükmektedir. 50 metreye kadar kısa mesafelerde rüzgar, ölçülen ses seviyesi üzerinde küçük bir etkiye sahiptir. Daha uzun mesafeler için rüzgar etkisi kayda değer ölçüde daha büyük olur. Aşağıya doğru olan rüzgar, gürültüyü rüzgâr hızına bağlı olarak birkaç dB arttırabilir. Ancak yukarı ve yanal rüzgarlar, gürültünün, rüzgar hızına ve mesafesine bağlı olarak seviyenin 20 dB üzerinde düşmesine neden olabilir (Şekil A.9).



Şekil A.9 : Gürültü – rüzgar etkileşimi diyagramı (Brüel ve Kjaer, 2000).

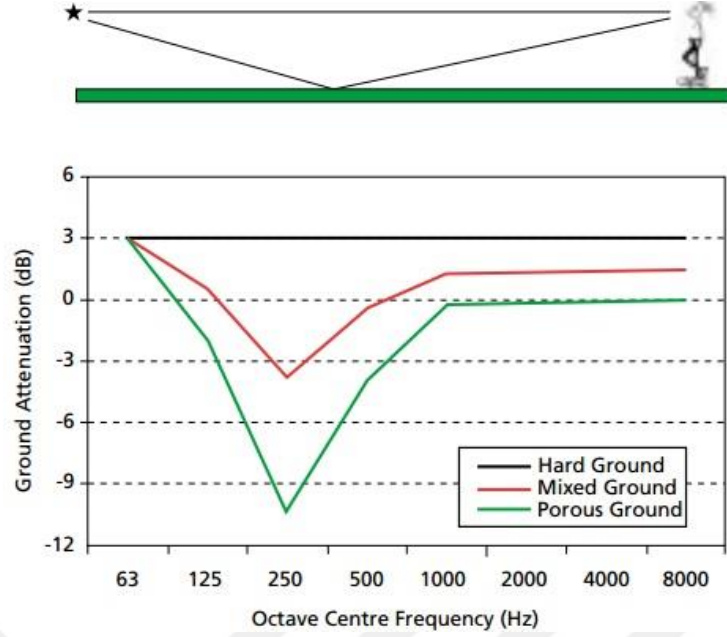
Sıcaklık gradyanları, rüzgâr eğrilerinininkilere benzer etkiler yaratırlar, ancak bunlar kaynaktan her yönde muntazam olmalarıdır. Rüzgarın olmadığı güneşli bir günde, sıcaklık, ses için “gölge” etkisi veren yükseklik ile azalır (Şekil A.10).



Şekil A.10 : Gürültü – sıcaklık diyagramı (Brüel ve Kjaer, 2000).

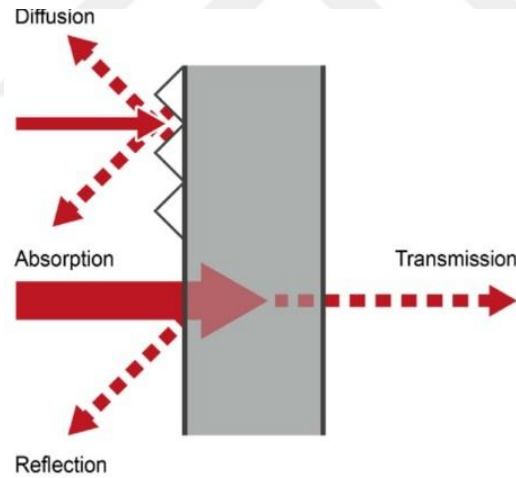
**Zemin etkileri :** Yere yansıyan ses, doğrudan yayılan ses ile çakışmaktadır. Zeminin etkisi, akustik olarak sert (ör., Beton veya su), yumuşak (ör., çimen, ağaçlar veya bitki örtüsü) ve karışık yüzeyler için farklıdır.

Zeminin gürültüyü zayıflatma etkisi, genellikle gürültü kaynağının frekans içeriğini ve kaynak ile alıcı arasındaki zemin tipini dikkate almak için frekans bantlarında hesaplanır (Şekil A.11). Yağış, zemin zayıflamasını etkileyebilir. Örneğin kar, kayda değer bir zayıflama verebilir.



Şekil A.11 : Gürültü ve zemin yüzeyi etkileri diyagramı (Brüel ve Kjaer, 2000).

**Yansımalar :** Ses dalgaları bir yüzey üzerinde etki ettiğinde, akustik enerjisinin bir kısmı ondan yansımaktadır, kısmen de bunun içinden geçmekte ve emilmektedir. Genellikle binalarda olduğu gibi emme ve iletme düşükse, çoğu ses enerjisi yansıtılmaktadır ve yüzey akustik olarak sert olduğu söylenmektedir.



Şekil A.12 : Yüzey emilim, yansıma, iletim diyagramı (Url -24).

Ses emilebilir, iletilebilir veya yansıtılabilir (Şekil A.12). Çatı, duvar veya duvar gibi bir oda sınırı ses dalgasına çarptığında, ses enerjisinin bir kısmı tekrar algılanır, bazıları malzemenin içine emilir ve bazıları bunun üzerinden iletir. Yansıyan, emilen veya iletilen oran, malzemenin şekline, ses dalgasının çarpmasına ve sesin frekansına bağlıdır. Buna dayanarak, üç akustik parametre tanımlanmaktadır. Emilim katsayısı,  $\alpha = (\text{emilen ses} + \text{iletilebilir ses}) / (\text{gelen ses})$ , yansıma katsayısı,  $\zeta = (\text{yansıyan ses}) / (\text{gelen ses})$ , iletim katsayısı,  $\tau = (\text{iletilebilir ses}) / (\text{gelen ses})$ .





## ÖZGEÇMİŞ

**Adı / Soyadı** : Öznur ÇAKIR AYDOĞAN  
**Doğum Yeri ve Yılı** : Salihli / Manisa / 1982  
**Adres** : Ata Plaza 286/1 Sok. Mansuroğlu Mah.  
No:16 K:7 D:27 Bayraklı /İzmir  
**Email** : oznur@ocadomimarlik.com  
**Web** : www.ocadomimarlik.com



## ÖĞRENİM DURUMU

**Lisans** : Eskişehir OĞÜ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü (2004)  
**Yüksek Lisans** : İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Programı

## MESLEKİ DENEYİM

**2004-2005** : Teğet Mimarlık (Mehmet Kütükçüoğlu, Ertuğ Uçar), İstanbul

**2005-2010** : Tabanlıoğlu Mimarlık (Murat Tabanlıoğlu, Melkan Gürsel), İstanbul

**2010-Halen** : Ocado Mimarlık (Oznur Cakir Architetural Design Office), İzmir

2004-2010 yılları arasında çalıştığı mimarlık ofislerinde, ulusal ve uluslararası alışveriş merkezi, ofis, konut, otel gibi birçok tasarım ve uygulama projelerini yürütmüştür. 2005 yılında Kazakistan'ın Astana şehrindeki "Palace of Peace" Projesi kapsamında, Tabanlıoğlu Mimarlık Bünyesinde, yaklaşık 1,5 yıl "Foster & Partners" ekibi ile birlikte çalışmıştır.

2010 yılı itibariyle, İzmir'de OCADO Mimarlığı kurarak kendi mimarlık sürecine devam etmektedir.

Ulusal ve Uluslararası birçok workshopta sürdürülebilir mimarlık, ileri dijital mimarlık konulu atölyelerde bulunmuştur.

## WORKSHOPLAR

- Towards to a New Mobility, Advanced Digital Architectural Design - Germany
- Integral Design Strategies - İstanbul Transitions  
with Un Studio - Buro Happold - FH Trier
- Renovation of Factory Buildings - Bilgi Üniversitesi, İstanbul
- Sustainability In Architectural Design with Andrej Baranowski (Gazi Üniversitesi, Ankara)

## ÖDÜLLER VE YARIŞMALAR

- "Sign Of The City 2017" Genç Mimar Ödülü - (İstanbul Alya Life Projesi ile)
- Lüleburgaz Şehirlerarası Otobüs Terminali Ulusal Proje Yarışması

- TOKİ – Kayabaşı Toplu Konut Ulusal Proje Yarışması
- Gaziosmanpaşa Belediye Hizmet Binası Ulusal Proje Yarışması,  
(1. Mansiyon - Teğet Mimarlık Bünyesinde )
- Eskişehir Tepebaşı Belediye Hizmet Binası Ulusal Proje Yarışması,  
(Teğet Mimarlık Bünyesinde )
- Denizli Belediye Hizmet Binası Ulusal Proje Yarışması
- International Bazelel Arts and Design Academy Competition\_Israel
- UIA Kongre Vadisi Ulusal Proje Yarışması
- Budun Design Endüstriyel Tasarım Yarışması
- Kugulu Park Peyzaj Projesi Ulusal Proje Yarışması, Ankara
- I Can \_Pepsi Grafik Tasarım Yarışması

