

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇUBUK VE PANEL GİYDİRME CEPHE SİSTEMLERİNİN YAŞAM DÖNEMİ  
PERFORMANSLARININ ÖNERİ DENEYSEL PROSEDÜRLE  
BELİRLENMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Elif Tuğba YALAZ**

**Mimarlık Anabilim Dalı**

**Yapı Bilimleri Programı**

**TEMMUZ 2018**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇUBUK VE PANEL GİYDİRME CEPHE SİSTEMLERİNİN YAŞAM DÖNEMİ  
PERFORMANSLARININ ÖNERİ DENEYSEL PROSEDÜRLE  
BELİRLENMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Elif Tuğba YALAZ  
(502122071)**

**Mimarlık Anabilim Dalı**

**Yapı Bilimleri Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Aslıhan ÜNLÜ TAVİL  
Eş Danışman: Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK**

**TEMMUZ 2018**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502122071 numaralı Doktora Öğrencisi Elif Tuğba YALAZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ÇUBUK VE PANEL GİYDİRME CEPHE SİSTEMLERİNİN YAŞAM DÖNEMİ PERFORMANSLARININ ÖNERİ DENEYSEL PROSEDÜRLE BELİRLENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Prof. Dr. Aslıhan ÜNLÜ TAVİL** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Eş Danışman :** **Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Dr. Öğr. Üyesi M. Cem ALTUN** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Erkan AVLAR** .....  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi N. Volkan GÜR** .....  
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

**Doç. Dr. Fethiye Ecem EDİS** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Sevil YAZICI** .....  
Özyeğin Üniversitesi

**Teslim Tarihi** : 12 Haziran 2018  
**Savunma Tarihi** : 19 Temmuz 2018





*Babama,*



## ÖNSÖZ

Doktora çalışmam boyunca bilgisi ve deneyimleriyle beni yönlendiren, yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen, her zaman daha iyisini yapabilmem için beni cesaretlendiren, tez konumun belirlenmesinden çalışmanın sonuçlandırılmasına kadar büyük emeği olan ve akademik çalışma konusunda kendilerinden çok şey öğrendiğim kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Aslıhan ÜNLÜ TAVİL ve değerli eş danışman hocam Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez çalışmam kapsamında cephe numunlerinin temin edilmesini sağlayan Metal Yapı A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Bülent ÖZGÜL'e, deneylerin gerçekleştirilmesini sağlayan Façade Testing Institute (FTI) Genel Müdürü Murat SEYHAN'a, deneyler boyunca birlikte çalıştığımız ve çalışmamda büyük emeği olan Serhat ÇOLAK ve Nilay BULUT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, Metal Yapı A.Ş. Bakım ve Onarım Müdürü Mehmet KILIÇ'a, deneyler boyunca yardımlarını esirgemeyen FTI test mühendisleri Öner ARSLAN, Ayfer DİNÇEL, Emre ARSLAN, Sinan BAYRAKTAR'a, numunelerin montajını tamamlayan ve deney sürecinde teknik destek sağlayan Metal Yapı A.Ş ve FTI ustalarına katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

Akademik hayatımın başlangıcında kendileriyle birlikte çalışma imkânı bulduğum, bana her zaman destek olan İTÜ Mimarlık Fakültesi, Mimarlıkta Yapı ve Yapım Teknolojileri Çalışma Grubunda yer alan değerli hocalarım ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak koşulsuz sevgi ve destekleriyle hayatım boyunca yaptığım herşeyde en büyük emeğe sahip olan kıymetlilerim annem Vasfiye YALAZ ve babam Nezir YALAZ'a gönülden teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz 2018

Elif Tuğba YALAZ  
(Yüksek Mimar)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                              |       |
|------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ÖNSÖZ .....                                                                  | vii   |
| İÇİNDEKİLER .....                                                            | ix    |
| KISALTMALAR .....                                                            | xi    |
| SEMBOLLER .....                                                              | xiii  |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....                                                        | xiv   |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                                          | xvii  |
| ÖZET .....                                                                   | xxi   |
| SUMMARY .....                                                                | xxiii |
| 1. GİRİŞ ....                                                                | 1     |
| 1.1 Problemin Belirlenmesi.....                                              | 1     |
| 1.2 Amaç .....                                                               | 5     |
| 1.3 Kapsam.....                                                              | 6     |
| 1.4 Yöntem.....                                                              | 7     |
| 2. GİYDİRME CEPHE SİSTEMLERİ, BİLEŞENLERİ VE PERFORMANS                      |       |
| ÖZELLİKLERİ.....                                                             | 13    |
| 2.1 Cephe Sistemi .....                                                      | 13    |
| 2.2 Giydirme Cephe Sistemleri .....                                          | 15    |
| 2.2.1 Giydirme cephe sistemlerinin sınıflandırılması .....                   | 18    |
| 2.2.1.1 Montaj türüne/Yapım yöntemine göre giydirme cephe sistemleri.....    | 24    |
| 2.2.1.2 Giydirme cephe sistem türü seçiminde etkili olan etmenler .....      | 28    |
| 2.2.2 Giydirme cephe sistemlerinin bileşenleri ve özellikleri.....           | 30    |
| 2.2.2.1 Taşıyıcı profiller (Taşıyıcı bileşenler/Yatay ve düşey kayıt).....   | 31    |
| 2.2.2.2 Dolgu bileşeni .....                                                 | 32    |
| 2.2.2.3 Sızdırmazlık bileşenleri.....                                        | 35    |
| 2.2.2.4 Ankrajlar (Tespit bileşenleri) .....                                 | 37    |
| 2.2.3 Giydirme cephe sistemlerinin performans özellikleri .....              | 38    |
| 2.2.3.1 Taşıyıcılık.....                                                     | 39    |
| 2.2.3.2 Hava geçirimsizlik/sızdırmazlık.....                                 | 40    |
| 2.2.3.3 Su sızdırmazlık (ve rüzgârlar itilen yağmur suyu sızdırmazlık) ..... | 41    |
| 2.2.3.4 Rüzgâr dayanımı .....                                                | 42    |
| 2.2.3.5 Deprem dayanımı .....                                                | 44    |
| 2.2.3.6 Yangın dayanımı .....                                                | 45    |
| 2.2.3.7 Ses geçirimsizlik/Akustik .....                                      | 46    |
| 2.2.3.8 Isıl dayanım .....                                                   | 47    |
| 2.3 Genel Değerlendirme .....                                                | 49    |
| 3. ÇUBUK VE PANEL GİYDİRME CEPHE SİSTEMLERİNDE GÖRÜLEN                       |       |
| HASARLAR.....                                                                | 51    |
| 3.1 Giydirme Cephe Sistemlerinde Oluşan Hasarların Sınıflandırılması .....   | 53    |
| 3.1.1 Yaşam döneminde görülen hasarlar .....                                 | 53    |
| 3.1.1.1 Tasarım (Projelendirme) süreci kaynaklı hasarlar .....               | 53    |

|                                                                                               |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.1.1.2 Üretim (İmalat)süreci kaynaklı hasarlar .....                                         | 55         |
| 3.1.1.3 Montaj (Yapım ve işçilik) süreci kaynaklı hasarlar .....                              | 55         |
| 3.1.1.4 Kullanım ve bakım-onarım sürecinde oluşan hasarlar .....                              | 57         |
| 3.1.1.5 Denetim (Kontrol) sürecinde oluşan hasarlar .....                                     | 58         |
| 3.1.2 Sistem-bileşen ilişkisinden kaynaklanan hasarlar .....                                  | 58         |
| 3.1.3 Çevresel etmenlere bağlı oluşan hasarlar .....                                          | 64         |
| 3.2 Çok Katlı Yapıların Giydirme Cephe Sistemlerinde Oluşan Hasarların<br>İncelenmesi .....   | 64         |
| 3.2.1 Yaşam dönemine bağlı olarak hasarların değerlendirilmesi .....                          | 65         |
| 3.2.2 Sistem-bileşen ilişkisinden kaynaklanan hasarların değerlendirilmesi .....              | 68         |
| 3.2.3 Çevresel etmenlere bağlı oluşan hasarların değerlendirilmesi .....                      | 68         |
| 3.3 Hasar Durum İncelemesi Sonuçları .....                                                    | 69         |
| 3.4 Genel Değerlendirme .....                                                                 | 70         |
| <b>4.GERÇEK BOYUTLARDA YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMA .....</b>                                     | <b>73</b>  |
| 4.1 Deney Düzenekleri .....                                                                   | 74         |
| 4.2 Deney Numunelerinin Özellikleri .....                                                     | 75         |
| 4.3 Deney Süreci ve Deney Prosedürü .....                                                     | 78         |
| 4.3.1 Hava geçirgenlik testi .....                                                            | 82         |
| 4.3.2 Su sızdırmazlık testi (statik) .....                                                    | 85         |
| 4.3.3 Dinamik su sızdırmazlık testi .....                                                     | 87         |
| 4.3.4 Rüzgâr dayanım testi .....                                                              | 88         |
| 4.3.5 Deprem testi .....                                                                      | 93         |
| 4.3.6 Isıl döngü testi .....                                                                  | 95         |
| 4.4 Genel Değerlendirme .....                                                                 | 102        |
| <b>5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ .....</b>                                          | <b>105</b> |
| 5.1 Performans Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....                                      | 105        |
| 5.1.1 Hava geçirgenlik testleri .....                                                         | 105        |
| 5.1.2 Su sızdırmazlık testleri .....                                                          | 132        |
| 5.1.2.1 Statik su sızdırmazlık .....                                                          | 132        |
| 5.1.2.2 Dinamik su sızdırmazlık .....                                                         | 135        |
| 5.1.3 Rüzgâr dayanım testi .....                                                              | 136        |
| 5.1.4 Deprem dayanım testi .....                                                              | 137        |
| 5.1.5 Isıl döngü testi .....                                                                  | 138        |
| 5.2 Deneysel Çalışmanın Özeti .....                                                           | 145        |
| 5.3 Deneysel Verilerin Eğri Uydurma (Curve Fitting) Yöntemine Göre<br>Değerlendirilmesi ..... | 146        |
| <b>6. SONUÇLAR .....</b>                                                                      | <b>155</b> |
| 6.1 Hasar İncelemesi Çalışmasından Elde Edilen Sonuçlar .....                                 | 155        |
| 6.2 Deneysel Çalışmadan Elde Edilen Sonuçlar .....                                            | 157        |
| 6.3 Hasar İncelemesi ve Deneysel Çalışmadan Elde Edilen Ortak Sonuçlar .....                  | 160        |
| 6.4 Gelecekteki Çalışmalar İçin Öneriler .....                                                | 161        |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                                        | <b>163</b> |
| <b>EKLER .....</b>                                                                            | <b>173</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                                         | <b>181</b> |

## **KISALTMALAR**

|               |                                                    |
|---------------|----------------------------------------------------|
| <b>AAMA</b>   | : American Architectural Manufacturers Association |
| <b>ASTM</b>   | : American Society for Testing and Materials       |
| <b>BS</b>     | : British Standards                                |
| <b>CWCT</b>   | : Centre for Window and Cladding Technology        |
| <b>EN</b>     | : European Standards/European Norm                 |
| <b>EPDM</b>   | : Etylene Propylene Dianene Monomere               |
| <b>ISO</b>    | : International Organization for Standardization   |
| <b>TÜRKAK</b> | : Türk Akreditasyon Kurumu                         |
| <b>TS</b>     | : Türk Standardları                                |



## SEMBOLLER

|                                |                                                                                               |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>P<sub>normal</sub></b>      | : Hava geçirgenlik ve statik su sızdırmazlık testlerinde uygulanan en yüksek basınç değeri    |
| <b>P<sub>tasarım</sub></b>     | : Rüzgâr yükü dayanım testinde uygulanan en yüksek basınç değeri                              |
| <b>P<sub>arrtırılmış</sub></b> | : Güvenlik yükü testinde uygulanan en yüksek basınç değeri                                    |
| <b>P<sub>ençok</sub></b>       | : Hava geçirgenlik ve statik su sızdırmazlık testleri için belirlenen en yüksek basınç değeri |
| <b>P<sub>ençok</sub></b>       | : Dinamik su sızdırmazlık testinde uygulanan en yüksek basınç değeri                          |
| <b>P<sub>enaz</sub></b>        | : Dinamik su sızdırmazlık testinde uygulanan en düşük basınç değeri                           |
| <b>T<sub>ençok</sub></b>       | : Isıl döngü testinde uygulanan en yüksek sıcaklık değeri                                     |
| <b>T<sub>ortam</sub></b>       | : Isıl döngü testinde uygulanan ortam sıcaklığı değeri                                        |
| <b>T<sub>enaz</sub></b>        | : Isıl döngü testinde uygulanan en düşük sıcaklık değeri                                      |
| <b>°C</b>                      | : Sıcaklık                                                                                    |
| <b>S</b>                       | : Çubuk sistem numunesi                                                                       |
| <b>P</b>                       | : Panel sistem numunesi                                                                       |
| <b>H</b>                       | : Yükseklik                                                                                   |



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Çizelge 1.1 : Cephe türlerinin sayısal analizi. ....                                                                       | 4   |
| Çizelge 2.1 : Çubuk ve panel sistem karşılaştırması. ....                                                                  | 30  |
| Çizelge 3.1 : Yapı elemanlarının servis ömrünü etkileyen etmenler. ....                                                    | 52  |
| Çizelge 4.1 : Numunelerin özellikleri. ....                                                                                | 76  |
| Çizelge 4.2 : Çalışmada kullanılan test standartları. ....                                                                 | 78  |
| Çizelge 4.3 : Çalışma kapsamında önerilen deney prosedürü. ....                                                            | 80  |
| Çizelge 4.4 : Test yönteminde kullanılan basınç değerleri (Pa). ....                                                       | 82  |
| Çizelge 4.5 : Hava geçirgenlik sınıfları. ....                                                                             | 84  |
| Çizelge 4.6 : Hava geçirgenlik değerleri arasındaki mutlak farkın<br>değerlendirilmesi. ....                               | 85  |
| Çizelge 4.7 : Statik su sızdırmazlık testinde uygulanan basınç değerleri ve etkiye<br>sürelerine bağlı sınıflandırma. .... | 87  |
| Çizelge 4.8 : İstanbul’da son 20 yılda ölçülen en düşük ve en yüksek sıcaklık<br>değerleri (1994 ~ 2014). ....             | 99  |
| Çizelge 5.1 : Hava geçirgenlik testleri ve adımları. ....                                                                  | 105 |
| Çizelge 5.2 : Çubuk sistem hava geçirgenlik değerleri. ....                                                                | 108 |
| Çizelge 5.3 : Panel sistem hava geçirgenlik değerleri. ....                                                                | 108 |
| Çizelge 5.4 : Su sızdırmazlık testleri ve adımları. ....                                                                   | 132 |
| Çizelge 5.5 : Çubuk ve panel sistemde su girişinin görüldüğü basınç değerleri. ....                                        | 134 |
| Çizelge 5.6 : Çubuk ve panel sistemin tasarım yükü altında ölçülen sehim<br>miktarları. ....                               | 137 |
| Çizelge 5.7 : Çubuk sistemde her basınç değeri için oluşturulan eğrilerin<br>formülleri. ....                              | 148 |
| Çizelge 5.8 : Panel sistemde her basınç değeri için oluşturulan eğrilerin<br>formülleri. ....                              | 149 |
| Çizelge 5.9 : Çubuk sistemde iki yönde her bir hava geçirgenlik testine ait<br>formüller. ....                             | 150 |
| Çizelge 5.10 : Panel sistemde iki yönde her bir hava geçirgenlik testine ait<br>formüller. ....                            | 151 |
| Çizelge A.1 : İncelenen 30 yapıya ait veriler. ....                                                                        | 175 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|            |                                                                                                                                                                                         |    |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1  | : Çalışmanın akış şeması (kurgusu). ....                                                                                                                                                | 9  |
| Şekil 1.2  | : Çalışma kapsamında önerilen deney prosedürü. ....                                                                                                                                     | 10 |
| Şekil 1.3  | : Çalışma kapsamında önerilen deney prosedürünün kurgusu. ....                                                                                                                          | 11 |
| Şekil 2.1  | : CWCT (2000a)'ye göre giydirme cephe sistemleri. ....                                                                                                                                  | 20 |
| Şekil 2.2  | : Boswell (2013)'e göre giydirme cephe türleri. ....                                                                                                                                    | 23 |
| Şekil 2.3  | : Baskı kapaklı çubuk sistem örneği. ....                                                                                                                                               | 25 |
| Şekil 2.4  | : Panel sistem örneği. ....                                                                                                                                                             | 27 |
| Şekil 2.5  | : Yarı panel sistem örneği. ....                                                                                                                                                        | 28 |
| Şekil 2.6  | : Giydirme cephe sistem bileşenleri. ....                                                                                                                                               | 31 |
| Şekil 2.7  | : Düşey taşıyıcılarda kullanılan profil kesit örnekleri. ....                                                                                                                           | 32 |
| Şekil 2.8  | : Giydirme cephe sistemlerinde kullanılan cam ünitesi örnekleri, soldan sağa tek cam, lamine cam, yalıtımlı cam ünitesi, yalıtımlı lamine cam ünitesi, üçlü yalıtımlı cam ünitesi. .... | 33 |
| Şekil 2.9  | : Baskı kapaklı sistem. ....                                                                                                                                                            | 34 |
| Şekil 2.10 | : Taşıyıcı silikonlu sistem. ....                                                                                                                                                       | 34 |
| Şekil 2.11 | : Baskı kapaklı çubuk sistemde düşey taşıyıcı profil (a), Yapısal silikonlu panel sistemde düşey taşıyıcı profil (b). ....                                                              | 35 |
| Şekil 2.12 | : Ankraj bağlantı şeması (a), (b). ....                                                                                                                                                 | 37 |
| Şekil 2.13 | : Cephe sistemine etki eden etmenler. ....                                                                                                                                              | 39 |
| Şekil 2.14 | : Derzlerdeki su girişi, Yer çekimi (a), Kinetik enerji (b), Yüzey gerilimi (c), Kılcal hareket (d), Hava taşınımı (e), Basınç farkı (f). ....                                          | 41 |
| Şekil 2.15 | : Şematik bir cephe sisteminde yük aktarım hiyerarşisi. ....                                                                                                                            | 43 |
| Şekil 2.16 | : Deprem dayanımına uygun cam ünitesi birleşim detayı. ....                                                                                                                             | 45 |
| Şekil 3.1  | : Cam ünitelerinde görülen yoğunlaşma problemi (a), (b), (c). ....                                                                                                                      | 55 |
| Şekil 3.2  | : Aksesuarlarda görülen hasarlar. Makasta kırılma (a), İspanyolette görülen hasar (b), Mesafe tutucuda görülen kırılma (c), Aksesuarda kırılma (d). ....                                | 57 |
| Şekil 3.3  | : Cephe taşıyıcı bileşeninde deformasyon. ....                                                                                                                                          | 59 |
| Şekil 3.4  | : Camda oluşan ince çizikler (a), Isıl gerilmeler nedeniyle saçak camında kırılma (b). ....                                                                                             | 60 |
| Şekil 3.5  | : Bina oturması nedeniyle camda oluşan kırılmalar (a) ve (b). ....                                                                                                                      | 60 |
| Şekil 3.6  | : Rüzgârın etkisiyle cephe panellerinde görülen kopmalar (a), (b) ve (c). ....                                                                                                          | 61 |
| Şekil 3.7  | : Cam ünitesinde laminasyonla ilgili görülen problemler (a) ve (b). ....                                                                                                                | 61 |
| Şekil 3.8  | : Sızdırmazlık bileşenlerinin sistemden ayrılması (a) ve (b). ....                                                                                                                      | 62 |
| Şekil 3.9  | : Açılır kanatta yer alan sızdırmazlık bileşeninde kopma ve ayrılma. ....                                                                                                               | 63 |
| Şekil 3.10 | : Baskı kapaklarının sistemden ayrılması (a), (b). ....                                                                                                                                 | 63 |
| Şekil 3.11 | : Bina türlerinin dağılımı. ....                                                                                                                                                        | 65 |
| Şekil 3.12 | : Yaşam süreci içerisindeki aşamalara göre hasarlar (a), Tasarım sürecinden kaynaklanan hasarlar (b). ....                                                                              | 66 |

|                                                                                                                                                                                                              |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Şekil 3.13 :</b> Yaşam dönemi içerisinde giydirmeye cephe sistemlerinde hasar görülen bina sayıları (a), Yaşam dönemi içerisinde hasarların tekrarlama durumu (b). ....                                   | <b>66</b>  |
| <b>Şekil 3.14 :</b> Yaşam dönemi içerisinde görülen hasarların cephe türüne bağlı olarak tekrarlama durumu. ....                                                                                             | <b>67</b>  |
| <b>Şekil 3.15 :</b> Bina ve cephe ilişkisi kaynaklı oluşan hasarlar (a), Cephe-bileşen ilişkisi kaynaklı oluşan hasarlar (b). ....                                                                           | <b>68</b>  |
| <b>Şekil 3.16 :</b> İncelenen giydirmeye cephe sistem türlerine göre hasarların dağılımı.....                                                                                                                | <b>68</b>  |
| <b>Şekil 3.17 :</b> Cephe sistemlerinde hasar oluşumuna neden olan çevresel etmenler. ...                                                                                                                    | <b>69</b>  |
| <b>Şekil 3.18 :</b> İncelenen cephe sistemlerinde görülen hasarlar. ....                                                                                                                                     | <b>69</b>  |
| <b>Şekil 3.19 :</b> Cephe hasarlarının etkilediği performans özellikleri. ....                                                                                                                               | <b>70</b>  |
| <b>Şekil 4.1 :</b> Çalışmada kullanılan test stantları. ....                                                                                                                                                 | <b>74</b>  |
| <b>Şekil 4.2 :</b> Hava ve su sızdırmazlık testi için basınç oluşturma düzeneği (a), Deprem testinde kullanılan özel piston (b), Mazotlu ısıtıcı (c), Sıvı azot tüpleri (d). ....                            | <b>75</b>  |
| <b>Şekil 4.3 :</b> Çalışmada kullanılan numuneler ve çizimleri, rüzgar sensörleri ve sıcaklık ölçerlerin yerleri, çubuk sistem (S) (a), panel sistem (P) (b)... ..                                           | <b>77</b>  |
| <b>Şekil 4.4 :</b> Hava geçirgenlik deneyi basınç değerleri ve süreleri pozitif yönde (a), negatif yönde (b). ....                                                                                           | <b>84</b>  |
| <b>Şekil 4.5 :</b> Su sızdırmazlık testinde uygulanan basınç değerleri ve uygulama süreleri.....                                                                                                             | <b>86</b>  |
| <b>Şekil 4.6 :</b> Çubuk sistem ölçüm sensörlerinin yerleşimi.....                                                                                                                                           | <b>89</b>  |
| <b>Şekil 4.7 :</b> Panel sistem ölçüm sensörlerinin yerleşimi. ....                                                                                                                                          | <b>90</b>  |
| <b>Şekil 4.8 :</b> Rüzgâr yükü dayanım testinde uygulanan basınç değerleri pozitif yönde (a), negatif yönde (b).....                                                                                         | <b>90</b>  |
| <b>Şekil 4.9 :</b> Numunelerinin güvenlik yükü testi sonrası durumu çubuk (a), panel (b). ....                                                                                                               | <b>92</b>  |
| <b>Şekil 4.10 :</b> Cephe ya da pencere sistemi üzerinde etkimesi olası yükler. ....                                                                                                                         | <b>93</b>  |
| <b>Şekil 4.11 :</b> Deprem testi hareket mekanizması.....                                                                                                                                                    | <b>94</b>  |
| <b>Şekil 4.12 :</b> Deprem testinde kullanılan cihazlar (a), Deprem testinin uygulanması çubuk sistem (b) ve panel sistem (c). ....                                                                          | <b>95</b>  |
| <b>Şekil 4.13 :</b> Isıl döngü testinin bir döngüsüne ait zaman-sıcaklık değişim grafiği. ...                                                                                                                | <b>98</b>  |
| <b>Şekil 4.14 :</b> Çubuk sistemde dış ortamda bulunan sıcaklık ölçerler. ....                                                                                                                               | <b>100</b> |
| <b>Şekil 4.15 :</b> Çubuk sistemde iç ortamda bulunan sıcaklık ölçerler (a) ve (b). ....                                                                                                                     | <b>100</b> |
| <b>Şekil 4.16 :</b> Panel sistemde dış ortamda bulunan sıcaklık ölçerler. ....                                                                                                                               | <b>101</b> |
| <b>Şekil 4.17 :</b> Panel sistemde iç ortamda bulunan sıcaklık ölçerler (a) ve (b).....                                                                                                                      | <b>101</b> |
| <b>Şekil 4.18 :</b> Test boyunca kullanılan cihazlar mazotlu ısıtıcı (a), sıvı azot tüpü (b), nemölçer (c). ....                                                                                             | <b>102</b> |
| <b>Şekil 4.19 :</b> Isıl döngü testi ölçüm ekranı ısıtma süreci (a), soğutma süreci (b).....                                                                                                                 | <b>102</b> |
| <b>Şekil 5.1 :</b> Çubuk sisteme ait 5 hava geçirgenlik testinin sonuçları pozitif yönde (a), negatif yönde (b). ....                                                                                        | <b>106</b> |
| <b>Şekil 5.2 :</b> Panel sisteme ait 5 hava geçirgenlik testinin sonuçları pozitif yönde (a), negatif yönde (b). ....                                                                                        | <b>107</b> |
| <b>Şekil 5.3 :</b> Çubuk ve panel sistemin hava geçirgenlik testlerinin karşılaştırılması, 1.Test (a), 2. Test (b), 3. Test (c), 4. Test (d), 5.Test (e).....                                                | <b>111</b> |
| <b>Şekil 5.4 :</b> Sistemlerin 50 Pa basınç altında hava geçirgenlik değerlerinin değişimi, pozitif yönde (a), negatif yönde (b); Sistemlerin performans değişimi pozitif yönde (c), negatif yönde (d). .... | <b>114</b> |

|                                                                                                                                                                                                                 |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Şekil 5.5</b> : Sistemlerin 100 Pa basınç altında hava geçirgenlik değerlerinin değişimi, pozitif yönde (a), negatif yönde (b); Sistemlerin performans değişimi pozitif yönde (c), negatif yönde (d). .....  | <b>116</b> |
| <b>Şekil 5.6</b> : Sistemlerin 150 Pa basınç altında hava geçirgenlik değerlerinin değişimi, pozitif yönde (a), negatif yönde (b); Sistemlerin performans değişimi pozitif yönde (c), negatif yönde (d). .....  | <b>118</b> |
| <b>Şekil 5.7</b> : Sistemlerin 200 Pa basınç altında hava geçirgenlik değerlerinin değişimi, pozitif yönde (a), negatif yönde (b); Sistemlerin performans değişimi pozitif yönde (c), negatif yönde (d). .....  | <b>120</b> |
| <b>Şekil 5.8</b> : Sistemlerin 250 Pa basınç altında hava geçirgenlik değerlerinin değişimi, pozitif yönde (a), negatif yönde (b); Sistemlerin performans değişimi pozitif yönde (c), negatif yönde (d). .....  | <b>122</b> |
| <b>Şekil 5.9</b> : Sistemlerin 300 Pa basınç altında hava geçirgenlik değerlerinin değişimi, pozitif yönde (a), negatif yönde (b); Sistemlerin performans değişimi pozitif yönde (c), negatif yönde (d). .....  | <b>124</b> |
| <b>Şekil 5.10</b> : Sistemlerin 450 Pa basınç altında hava geçirgenlik değerlerinin değişimi, pozitif yönde (a), negatif yönde (b); Sistemlerin performans değişimi pozitif yönde (c), negatif yönde (d). ..... | <b>126</b> |
| <b>Şekil 5.11</b> : Sistemlerin 600 Pa basınç altında hava geçirgenlik değerlerinin değişimi, pozitif yönde (a), negatif yönde (b); Sistemlerin performans değişimi pozitif yönde (c), negatif yönde (d). ..... | <b>128</b> |
| <b>Şekil 5.12</b> : Sistemlerin birinci ve beşinci hava geçirgenlik değeri arasındaki performans değişimlerinin karşılaştırılması.....                                                                          | <b>130</b> |
| <b>Şekil 5.13</b> : Çubuk ve panel sistemin hava geçirgenlik testleri arasındaki fark değerleri, ilk performansa göre (a), ardışık testler arasındaki farka göre (b).....                                       | <b>131</b> |
| <b>Şekil 5.14</b> : Çubuk sistemde su girişi 50 Pa altında (a), 600 Pa altında (b).....                                                                                                                         | <b>133</b> |
| <b>Şekil 5.15</b> : Panel sistemde su girişi. ....                                                                                                                                                              | <b>134</b> |
| <b>Şekil 5.16</b> : Çubuk sistemde ankraj bölgesinde su orta aks girişi (a), sağ aks (b)...                                                                                                                     | <b>136</b> |
| <b>Şekil 5.17</b> : Panel birleşiminde su girişi. ....                                                                                                                                                          | <b>136</b> |
| <b>Şekil 5.18</b> : Çubuk sistem birinci ısıl döngü testi 1. döngü sıcaklık değişim grafiği.....                                                                                                                | <b>139</b> |
| <b>Şekil 5.19</b> : Çubuk sistem birinci ısıl döngü testi 2. döngü sıcaklık değişim grafiği.....                                                                                                                | <b>139</b> |
| <b>Şekil 5.20</b> : Çubuk sistem birinci ısıl döngü testi 3. döngü sıcaklık değişim grafiği.....                                                                                                                | <b>139</b> |
| <b>Şekil 5.21</b> : Çubuk sistem birinci ısıl döngü testi nem değişim grafiği.....                                                                                                                              | <b>139</b> |
| <b>Şekil 5.22</b> : Çubuk sistem ikinci ısıl döngü testi 1.döngü sıcaklık değişim grafiği.                                                                                                                      | <b>140</b> |
| <b>Şekil 5.23</b> : Çubuk sistem ikinci ısıl döngü testi 2. döngü sıcaklık değişim grafiği.....                                                                                                                 | <b>140</b> |
| <b>Şekil 5.24</b> : Çubuk sistem ikinci ısıl döngü testi 3. döngü sıcaklık değişim grafiği.....                                                                                                                 | <b>140</b> |
| <b>Şekil 5.25</b> : Çubuk sistem ikinci ısıl döngü testi nem değişim grafiği. ....                                                                                                                              | <b>140</b> |
| <b>Şekil 5.26</b> : Çubuk sistemde ısıl döngü testinde yoğuşma oluşumu (a), cam ünitesinde yoğuşma (b), düşey profilde yoğuşma (c). ....                                                                        | <b>141</b> |
| <b>Şekil 5.27</b> : Panel sistem birinci ısıl döngü testi 1. döngü sıcaklık değişim grafiği.                                                                                                                    | <b>142</b> |
| <b>Şekil 5.28</b> : Panel sistem birinci ısıl döngü testi 2. döngü sıcaklık değişim grafiği.                                                                                                                    | <b>142</b> |
| <b>Şekil 5.29</b> : Panel sistem birinci ısıl döngü testi 3. döngü sıcaklık değişim grafiği.                                                                                                                    | <b>142</b> |
| <b>Şekil 5.30</b> : Panel sistem birinci ısıl döngü testi nem değişim grafiği.....                                                                                                                              | <b>142</b> |
| <b>Şekil 5.31</b> : Panel sistem ikinci ısıl döngü testi 1. döngü sıcaklık değişim grafiği.                                                                                                                     | <b>143</b> |

|                     |                                                                                                                                                                     |            |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Şekil 5.32 :</b> | Panel sistem ikinci ısı döngü testi 2. döngü sıcaklık değişim grafiği..                                                                                             | <b>143</b> |
| <b>Şekil 5.33 :</b> | Panel sistem ikinci ısı döngü testi 3. döngü sıcaklık değişim grafiği..                                                                                             | <b>143</b> |
| <b>Şekil 5.34 :</b> | Panel sistem ikinci ısı döngü testi nem değişim grafiği. ....                                                                                                       | <b>143</b> |
| <b>Şekil 5.35 :</b> | Panel sistemde ısı döngü testinde yoğunlaşma oluşumu, cam ünitesinde yoğunlaşma (a), Düşey profilde yoğunlaşma (b) ve (c).....                                      | <b>144</b> |
| <b>Şekil 5.36 :</b> | Çubuk sistemin her basınç değeri altında 5 hava geçirgenlik testi boyunca ölçülen hava geçirgenlik değerlerinin değişimi pozitif yönde (a), negatif yönde (b).....  | <b>148</b> |
| <b>Şekil 5.37 :</b> | Panel sistemin her basınç değeri altında 5 hava geçirgenlik testi boyunca ölçülen hava geçirgenlik değerlerinin değişimi pozitif yönde (a), negatif yönde (b). .... | <b>149</b> |
| <b>Şekil 5.38 :</b> | Çubuk sisteme uygulanan hava geçirgenlik testlerine ait hava geçirgenlik değerlerinin değişimi pozitif yönde (a), negatif yönde (b).....                            | <b>150</b> |
| <b>Şekil 5.39 :</b> | Panel sisteme uygulanan hava geçirgenlik testlerine ait hava geçirgenlik değerlerinin değişimi pozitif yönde (a), negatif yönde (b).....                            | <b>151</b> |

## **ÇUBUK VE PANEL GİYDİRME CEPHE SİSTEMLERİNİN YAŞAM DÖNEMİ PERFORMANSLARININ ÖNERİ DENEYSEL PROSEDÜRLE BELİRLENMESİ**

### **ÖZET**

Binayı oluşturan her bir alt sistem yapının performansının sağlanmasında etkili olmaktadır. Özellikle yapı kabuğu iç ve dış ortam arasında filtre görevi görmesi, iç ortam koşullarının oluşturulması ve kullanıcı konforunun sağlanmasında büyük öneme sahiptir. Günümüzde yapı teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak yapı elemanlarında çevresel koşullara dayanım, hafiflik, incelik, dayanıklılık, yapım hızı ve estetik gibi beklentilerin öncelik kazanmasıyla birlikte giydirme cephe sistemleri özellikle yüksek binalarda sağladıkları avantajlara bağlı olarak en çok tercih edilen sistemlerden biri haline gelmiştir.

Tarihsel süreç içerisinde giydirme cephe sistemleri teknolojinin de sağladığı olanaklara paralel olarak malzeme, sistem ve yapım tekniği açısından gelişmesini sürdürmektedir. Çubuk, panel ve yarı panel gibi farklı yapım teknikleriyle üretilen giydirme cephe sistemleri içerisinde alüminyum ve cam giydirme cepheler tüm dünyada uygulanmış pek çok bina örneğinin tasarım kararları arasında yer almaktadır. Her yapıya özgü tasarlanan giydirme cephe sistemlerinin performansı, binanın toplam performansını doğrudan etkilemekte ve cephe yaşam ömrünün düzenli bakım onarım ile de desteklenerek bina yaşam ömrüne eşit yaklaşık 30 ~ 50 yıl olması beklenmektedir. Giydirme cephe üreticileri ise genelde sistemlerine 20 yıl garanti vermelerine karşın bu süre zarfında ısı, manyetik, biyolojik, kimyasal ve elektromanyetik etmenlere bağlı olarak sistemlerin performansında değişimler gözlenmektedir.

BS 7543 (2015) standardında belirtildiği üzere yapı ve yapı elemanlarının yaşam ömrünün belirlenmesinde deneysel yöntem (performans testleri), mevcut yapılara ait verilerin kullanılması ve ulusal veri tabanının kullanımı olmak üzere üç yöntem kullanılmaktadır. Deneysel yöntemde cepheye uygulanan zorunlu performans testleri yardımıyla söz konusu etmenler karşısındaki performansları test edilmekte ve binaya uygulanabilirlikleri yönünde karar alınabilmekle birlikte sistemlerin zorunlu testleri başarıyla geçmelerinin yaşam dönemi performansını ifade etmekte yetersiz kaldığı CWCT standardında da açıkça belirtilmektedir. Diğer yandan giydirme cephe sistemlerinin performanslarının belirlenmesinde yaşam dönemi performansının bilinmesinin önemli olduğu vurgulanmakla birlikte literatürde bu konuyla ilgili yer alan çalışmaların az sayıda olduğu görülmektedir.

Tez çalışması kapsamında öncelikle giydirme cephe sistemi kavramı, türleri ve performans özellikleriyle ilgili kapsamlı bir literatür araştırması yapılmıştır. Daha sonra problemin belirlenmesine yönelik olarak bir ön çalışma gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada İstanbul'da 2010 ~ 2014 yılları arasında inşaatı biten giydirme cepheli

binalarda en fazla çubuk ve panel sistemin uygulanmış olduğu saptanmıştır. Daha sonra yapı ve yapı elemanlarının yaşam döneminin belirlenmesinde mevcut yapıların analizi bağlamında İstanbul'da 1996 ~ 2017 yılları arasında inşaatı biten 30 adet çubuk ve panel giydirme cephe binada görülen hasarlar incelenmiş ve çubuk sistemin hasar görme riskinin panel sistemden daha yüksek olduğu ve performanslarında azalmaya neden olan en önemli faktörlerin başında da su ve hava geçirimsizliği ile taşıyıcılık olduğu tespit edilmiştir. Yaygın sistemler olan çubuk ve panel sistemlerin su ve hava geçirgenliği ile taşıyıcılık yaşam dönemi performansları İstanbul koşulları altında deneysel yöntemle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

TS EN 13830'da yer alan zorunlu hava geçirimsizlik, su sızdırmazlık ve rüzgâr dayanımı testlerini içeren (Metod A) ve genişletilmiş hava geçirimsizlik, su sızdırmazlık, rüzgar dayanımı, dinamik su sızdırmazlık ve deprem dayanımı testlerini içeren (Metod B) deney prosedürlerinin sistemlerin yaşam dönemi performansının belirlenmesinde yetersiz kaldığı görülmüştür. Bu nedenle mevcut standartta yer alan genişletilmiş deney prosedürü CWCT'de yer alan deney prosedürüyle desteklenerek çalışma kapsamında ısı döngü (yaşlandırma) testinin içeren yeni bir deney prosedürü önerilmiş ve gerçek ölçülerdeki çubuk ve panel sistem numuneleri üzerinde belirlenen prosedür (test yöntemi) kullanılarak deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Önerilen deney prosedürü ile, cephe sistemleri ekstrem sıcaklık değişimlerine maruz bırakılmış ve numunelere etkiyen iklimsel değişikliklerin yaşanmaya neden olarak uzun dönem performanslarını yansıttığı kabulüne dayanarak sistemlerin yaşam dönemi içerisindeki performans değişimlerinin ortaya konması amaçlanmıştır. Bu nedenle, İstanbul'da son 20 yıl içerisinde ölçülen en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri dikkate alınarak düzenlenen yaşlandırma testi, önerilen deney prosedürüne iki aşamada dâhil edilmiştir. Birinci aşamada sistemlerin ilk performansının/durumunun belirlenmesinin ardından sistemlerin yaşlandırılmasına bağlı olarak performansındaki değişim ortaya konulmuş ve sistemlerin zaman içerisinde maruz kalacağı etmenler göz önünde bulundurularak deney prosedürü geliştirilmiştir. İkinci aşamada ise sistemler şiddetli çevresel yüklere maruz bırakıldıktan sonra yeniden yaşlandırılarak yaşam dönemi içerisinde performanslarında görülebilecek değişimler ortaya konulmuştur. Çalışmanın sonucunda aynı koşullar altında çubuk sistemin hava ve su sızdırmazlık performansları açısından panel sisteme göre daha hassas olduğu sonucuna varılmıştır. Mevcut yapıların analizi yöntemine göre yapılan ön çalışmada da benzer sonuçların olması dikkate alındığında ısı döngü testinin sistemlerin uygulama sürecinden önce yaşam dönemi performansıyla ilgili önemli bilgiler edinilmesini sağlayan önemli/gerekli bir test olduğu vurgulanmıştır.

# **LIFETIME PERFORMANCE EVALUATION OF STICK AND PANEL CURTAIN WALL SYSTEMS WITH PROPOSED TEST PROCEDURE BY FULL-SCALE TESTING**

## **SUMMARY**

Each subsystem of a building has a great impact on building performance. Especially, building envelope acting as a filter between interior and exterior environment is significant for creating indoor environment conditions and user comfort. Façade systems have emerged together with the increasing importance of concepts, such as, resistance to environmental conditions, lightness, thickness, durability, speed of construction and aesthetic, depending on the developments in construction technology and building elements. Curtain wall systems have become one of the most preferred/common systems depending on their advantages especially in high-rise buildings.

In historical process, various developments have been recorded in construction techniques, systems and materials of curtain wall systems parallel to the advantages of technology. Curtain wall systems manufactured/produced with different construction techniques, such as stick, semi-panel and panel/unitized system and, aluminum and glass curtain walls are among the design decisions of many buildings examples applied all over the world. Stick systems are generally preferred in low-rise buildings while panel systems are preferred in high-rise buildings, when curtain wall systems are assessed in terms of cost and construction techniques used. Performance of curtain wall systems that specially designed for each building has directly effect on total building performance. It is expected that the lifetime of curtain wall systems should be 30 ~ 50 years which is equal to building's lifetime with proper design and maintaining process. However, system manufacturers generally give 20 years guarantee to their systems, various changes can be observed on the curtain walls due to the thermal, magnetic, biological, chemical and electromagnetic agents during this time process. Besides these factors, performance decrease may be originated from lifetime process, building-façade system interaction, and other external factors.

As defined in BS 7543 (2015) standard, testing method, past performance data method and using national data can be used to define lifetime of the building and building elements. When testing method is considered for determining the lifetime performance of curtain wall systems, as it is clearly stated in the CWCT standard, with the help of mandatory performance tests systems' performance can be tested under specified conditions and the decisions can be taken for applicability of the systems. However, passing the mandatory performance tests prove the applicability of the systems, it can be insufficient to indicate the lifetime performance of the systems. On the other hand, while lifetime performance of the systems is emphasized as one of the crucial topic to

be investigated since, there are very limited studies in literature on lifetime performance assessment of curtain wall systems.

From this point of view, within the scope of this study primarily curtain wall systems, system types and performance requirements were investigated by a detailed literature review. Then, a preliminary study was carried out to define the problem of the thesis with the test center. In the first step, it was determined that stick and panel systems were the most applied systems in buildings constructed with curtain wall, which were completed in Istanbul between 2010 ~ 2014. Then, in the context of the analysis of the past performance data, deficiencies and failures observed in the 30 buildings which were constructed with stick and panel systems between 1996 ~ 2017 in Istanbul are investigated. It was observed that possibility of deficiency occurrence decreased after the maintenance process in the curtain wall systems evaluated during 20 years time period indicating that maintenance process has an important role in improving the lifetime performance of such systems. The deficiency risk of stick system was found higher than panel systems. Within the external factors, it was determined that wind and sun were the most important factors causing deficiency and failures on façade systems. In the context of the preliminary study the problems were categorized as deficiency and failure. Deficiency, is defined as non-structural problems and failure is defined as structural problems that prevent the system function properly. At the end of the preliminary study weather (air & water) tightness and structural performances are found to be the most important factors, which cause performance loss due to the failures. Based on the results of the study, evaluation of air & water tightness and structural lifetime performance of stick and panel curtain walls, comparatively by using a full scale test method under Istanbul conditions was determined as the objective of the PhD study.

Mandatory test method which includes air tightness, water penetration and wind resistance performance tests (Method A) and extended test method which includes air tightness, water penetration, wind resistance, dynamic water test and seismic resistance performance tests (Method B) in TS EN 13830 (2015) are insufficient to determine the lifetime performance of such systems. Thus, in the scope of the study, extended test method (Method B) given in TS EN 13830 is supported with CWCT test standard to propose a new test procedure which includes thermal cycling (aging test). The experimental study was carried out according to the new proposed test procedure by using 1:1 scale specimens made of stick and panel systems. With the proposed test method, façade systems were subjected to extreme temperature changes, and it was aimed to reveal the performance changes of the systems in their lifetime based on the assumption that the climatic changes, which affect the specimens reflect aging and their long-term performance. Thus, thermal cycling test was added to the proposed test procedure in two stages by using maximum and minimum temperature values of Istanbul by considering 20 years temperature data of the city. Primarily, effect of the first aging test on the systems was presented after defining the initial performance of the systems by conducting air tightness and water penetration tests. Then the test procedure was extended by taking into account the external factors, which curtain wall systems were exposed to during their lifetime. In the second stage, systems were exposed to severe environmental loads and then re-aged to reveal changes that could be seen in their performance during their lifetime. Stick and panel systems passed the first air tightness and water penetration tests. However, after the first thermal cycling test while panel system passed the second air tightness and water penetration tests,

stick system's performance decreased. Water leakage was observed after the first thermal cycling test on the anchorage (between building-façade connections). Also, assessment results conducted according to air infiltration difference between first and second air infiltration tests showed that absolute value differences exceeded  $0.30 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  indicating a performance loss of stick system. Water tightness performance of the panel system decreased after the second thermal cycling test. Test results were evaluated with curve fitting method in order to make a prediction on future performance of the systems. The assessments were taken into consideration in two different ways, both positive and negative sides according to each air test and air infiltration values that were measured under the same test pressure. When stick and panel systems' performances were compared at the end of the test procedure, the stick system was more fragile than the panel system in terms of air and water tightness performances. Considering the similar results that were obtained from the preliminary study conducted according to the analysis of past performance data method, it has been emphasized that thermal cycling test (aging test) is a crucial test to obtain significant information about lifetime performance of the systems before the application process by conducting full-scale performance tests. Thermal cycling and wind resistance tests have a significant impact on stick and panel systems lifetime performance considering variations of the test results. Results show that, besides performance tests, workmanship quality has an important role on performance of the systems.



## 1. GİRİŞ

### 1.1 Problemin Belirlenmesi

20. yüzyılda teknoloji alanında yaşanan gelişmelerle birlikte yapı elemanı sistemlerinden beklenen performans özellikleri giderek artmaya başlamıştır. Dış ve iç ortam arasında filtre görevi gören geleneksel dış duvar sistemleri yerini zaman içerisinde daha gelişmiş cephe sistemlerine bırakmaya başlamıştır (Eyüce, 2002). Özellikle alüminyum ve camdan oluşan giydirme cepheler hafifliği, yapım kolaylığı sağlaması, iklimsel sızdırmazlık performansının iyi olması, çeşitli yapısal hareketlere uyum sağlaması, konforlu bir iç ortam oluşturması ve estetik gibi üstünlükleri sayesinde özellikle çok katlı yapılarda yaygın olarak uygulanan cephe sistemlerinden biri haline gelmiştir. Günümüzde çubuk ve panel giydirme cephe sistemleri en çok uygulanan giydirme cephe sistemleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Genellikle az ve orta katlı yapılarda tercih edilen çubuk sistemler, çok sayıda bileşenin şantiye ortamında bir araya getirilmesiyle oluşan sistemlerdir. Parçaların şantiye ortamında bir araya getirilmesi nedeniyle işçilik sistem performansını etkileyen en önemli etmenlerden biri haline gelmektedir. Diğer yandan, fabrikada üniteler halinde hazırlanan panel sistem çubuk sisteme oranla daha az şantiye işçiliği gerektirmektedir. Ayrıca, panellerin çevresel etmenlere maruz kalmadan sabit ortam koşulları altında hazırlanması sistemin sızdırmazlık performansının artmasını sağlamaktadır. Hareketlere uyum özelliği sayesinde özellikle çok katlı yapılarda tercih edilen panel sistem üretim sürecinin farklı olması nedeniyle çubuk sisteme göre maliyeti yüksek bir sistemdir (Horowitz, 1991; Yalaz ve diğ., 2016; 2018).

Cephe sistemlerinin bina maliyetinin büyük bir bölümünü oluşturması ve yeni teknolojilerin gelişmesine paralel olarak giydirme cephe sistem türleri, karşılaşılan problemler ve çözüm önerileriyle ilgili literatürde yer alan çalışmalar incelenmiştir. Giydirme cephe sistemlerinin karmaşıklığından yola çıkarak Gonçaves ve Jutras (2007) yaptığı çalışmada sistem performanslarının uygulama öncesinde değerlendirilmesinin yaşam dönemi içerisinde istenmeyen ve maliyetli problemlerin

önlenmesinde etkili olduğunu belirtmektedir. Kazmierczak (2010) giydirmce cephe sistemlerinin temel sınıflandırma sistemleri, tasarım ve yapımda karşılaşılan zorluklarla ilgili tasarım problemleri ve çözümlerine odaklanarak giydirmce cephe sistemlerini incelemiştir. McCowan ve Kivela (2010) giydirmce cephe sistemlerini gözlemleyerek cam ve alüminyum cephelerde görülen hasarları ve problemleri sunmuştur. Hava ve su sızdırmazlık, cam kırılması ve yoğuşmanın en çok karşılaşılan problemler olduğunu, giydirmce cephe sistemlerinin uygulama öncesinde analizlerinin yapılmasının önemini vurgulayarak performans testlerinin sistemin kalitesinin belirlenmesinde önemli olduğunu belirtmiştir. Becker (2010) yaptığı çalışmada giydirmce cephe sistemlerinin montaj sürecinde işçiliğin önemini vurgulamıştır.

Giydirmce cephe sistemlerinin performanslarının belirlenmesinde deneysel çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Literatürde giydirmce cephe sistemleri ve bileşenlerinin ısı performans, taşıyıcılık, konfor, su sızdırmazlık, deprem dayanımıyla ilgili çalışmalar incelenmiştir. Sistemlerin ısı performanslarının belirlenmesine yönelik No ve diğ. (2008) sistemin ısı performansının değerlendirilmesinde ısı döngü testi ile simülasyon yöntemi arasındaki farklılıkların belirlenmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Huang ve diğ. (2017) çalışmasında, giydirmce cephe sistemlerinin taşıyıcılık performansına yönelik olarak taşıyıcılıkla ilgili sorunlar, hasar mekanizması ve giydirmce cephe sisteminin performansa dayalı tasarımıyla ilgili yapısal beklentiler ve deneysel yöntemler değerlendirilerek geleceğe yönelik gelişmeler sunulmuştur. Cuce ve diğ. (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, sıradan bir cam ünitesi ile gelişmiş özellikleri olan cam ünitesine sahip iki giydirmce cephe sistemin ısı performansı, iç mekân aydınlık düzeyi, enerji tasarrufu, ultraviyole ışını geçirim performansı deneysel yöntemle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Yenilikçi/Gelişmiş cam ünitesi kullanılan sistemin UV ışını önleme kapasitesinin daha iyi olduğu, binanın ısıtma ve soğutma yükünü azalttığı, fazla ısı radyasyonu sıradan cama göre daha iyi önlediği görülmüştür. Buljan ve diğ. (2015)'nin gerçekleştirdiği çalışmada alüminyum giydirmce cephe sistemlerine göre eşit veya daha iyi ısı performans sağlayabilen ekolojik bir sistem olarak lamine ahşap çerçeve ile üretilen bir giydirmce cephe sistemi önerilerek performans testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan testlerin sonucunda ahşap çerçeveli sistemin ısı ve enerji performansının daha iyi olduğu görülmüştür. Azari-N ve Kim (2012) yaptığı çalışmada düşey taşıyıcılarda kullanılan malzemelerin çevre ve sağlık üzerindeki etkileri ele alınmıştır. Lamine

ahşap sistemlerin alüminyum ve çelik düşey taşıyıcılara oranla daha az etkisi olduğu belirlenmiştir. Giydirme cephe sistemlerinde en çok karşılaşılan sorunlardan biri su sızdırmazlık problemidir. Matthews ve diğ. (1996) dinamik su sızdırmazlık testinin sonuçlarının sistem performansının ortaya konulmasındaki öneminin belirlenmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Dinamik su sızdırmazlık testiyle ilgili yapılan çalışmada rüzgâr jeneratörü tarafından oluşturulan rüzgâr koşullarının, rüzgâr hızının ve basıncının standart tahminleriyle karşılaştırılarak testlerin gerçek koşullara uygun cevap verip vermediğini belirlemek amaçlanmıştır. Lee ve diğ. (2013) iki aşamalı bir deneysel çalışma gerçekleştirerek birinci aşamada AAMA 501.1-05'in ardından rüzgâr jeneratörünün kalibrasyonunu gerçekleştirdikten sonra ikinci aşamada giydirme cephe sistemlerinin yüzeyinin dinamik basınç dağılımını ele almıştır. Warner (2009) standart deney prosedürü ve cam üniteleri ile dış duvar sistemlerinin deprem ve aşırı iklimsel koşullar altındaki performansının deneysel yöntem ile değerlendirilmesinin önemini açıklayarak, ısı döngü testinin yaşam dönemi performansının belirlenmesindeki önemine dikkat çekmiştir. İlter ve diğ. (2015) gerçek ölçeklerde (prototip) iki panel sistem numunesinin standart deney prosedürü ve yorulma testlerinin yer aldığı deney prosedürü altında taşıyıcılık ve su sızdırmazlık performansını karşılaştırmalı olarak değerlendirerek, yorulma testinin sistemlerin uzun dönem performansları üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir.

Her yapıya uygun biçimde tasarlanan giydirme cephe sistemlerinin yaşam ömrünün düzgün tasarım ve düzenli bakım ile bina ömrüne (30 ~ 50 yıl) eşit olması beklenmektedir (CWCT, 1993). Giydirme cephe üreticileri sistemlerine en çok 20 yıl garanti vermesine karşın, çeşitli nedenlere bağlı olarak ortaya çıkan problemler sistemlerin yaşam dönemi performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde giydirme cephe sistemlerinin yaşam dönemi performansının araştırılması gereken önemli bir konu olduğu ve literatürde yaşam dönemi performansıyla ilgili çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmektedir (Yalaz ve diğ, 2017).

Cephe sistemlerinin yaşam ömrünün belirlenmesinde BS 7543 (2015) standardında üç yöntem tanımlanmaktadır: Birinci yöntem mevcut yapılara ilişkin hasar verilerinin değerlendirilmesi yöntemidir. İkinci yöntem olan sistemlerde görülen hasarların fiziksel olarak ortaya konulmasında deneysel yöntem kullanılmaktadır. Giydirme

cephe sistemlerine uygulanan zorunlu testler sistemlerin uygulanabilirlik durumuyla ilgili bilgiyi sağlarken sistem performansının yaşam dönemi içerisinde aynı olacağını garanti etmemektedir. Son yöntem ise varsa uzmanlar tarafından hazırlanan ulusal veri tabanının kullanılmasıdır.

Tez çalışması kapsamında problemin ortaya konulmasında literatür taramasının yanında İstanbul’da uygulanan giydirme cephe sistem türlerinin sayısal analizi ve çok katlı yapılarda uygulanan çubuk ve panel giydirme cephe sistemlerinde karşılaşılan hasarların incelenmesine yönelik iki adet ön çalışma gerçekleştirilmiştir. Test merkeziyle birlikte gerçekleştirilen ilk ön çalışmada Türkiye’de en çok uygulanan giydirme cephe türleri ve bu cephe sistemlerinin en çok hangi şehirde yer aldığı yapılan arşiv çalışmasıyla belirlenmiştir. Çalışma sonucunda 2010 ~ 2014 yılları arasında giydirme cephe sistemi uygulanan yapıların çoğunlukla İstanbul’da yer aldığı, çubuk ve panel sistemin en yaygın uygulanan sistem türleri olduğu belirlenmiştir (Çizelge 1.1).

**Çizelge 1.1 Cephe türlerinin sayısal analizi.**

|    | Yapı                | Cephe türü | Şehir/Ülke | Test tarihi | Kat sayısı  |
|----|---------------------|------------|------------|-------------|-------------|
| 1  | Seyrantepe stadyumu | Panel      | Türkiye    | 2010        | 5           |
| 2  | Dedeman Park        | Panel      | Türkiye    | 2014        | 10          |
| 3  | Orjin Maslak        | Panel      | Türkiye    | 2013        | 13          |
| 4  | Dap Tango Kule      | Panel      | Türkiye    | 2013        | 21          |
| 5  | Dap Burgu Kule      | Panel      | Türkiye    | 2012        | 22          |
| 6  | Mall of İstanbul    | Panel      | Türkiye    | 2012        | 25          |
| 7  | Torun Tower         | Panel      | Türkiye    | 2013        | 35          |
| 8  | Marriot Otel Şişli  | Panel      | Türkiye    | 2011        | 35          |
| 9  | Quasar              | Panel      | Türkiye    | 2014        | 40          |
| 10 | Zorlu Levent Tower  | Panel      | Türkiye    | 2012        | 41          |
| 11 | Palladium Tower     | Panel      | Türkiye    | 2013        | 43          |
| 12 | Exen İstanbul       | Panel      | Türkiye    | 2013        | 8-13/44     |
| 13 | Spine Tower         | Panel      | Türkiye    | 2012        | 47          |
| 14 | İş GYO              | Panel      | Türkiye    | 2014        | 8           |
| 15 | 1453 Maslak         | Panel      | Türkiye    | 2014        | 21-55       |
| 16 | Dap Vazo Kule       | Panel      | Türkiye    | 2014        | 22/19       |
| 17 | Nurol Tower         | Panel      | Türkiye    | 2014        | 44          |
| 18 | Emaar Square        | Panel      | Türkiye    | 2014        | 5-35        |
| 19 | 16-9 İstanbul       | Panel      | Türkiye    | 2011        | 36/32/27    |
| 20 | Torun Center        | Panel      | Türkiye    | 2014        | 42/36       |
| 21 | Metropol            | Panel      | Türkiye    | 2014        | 58/27/28    |
| 22 | Autoport            | Çubuk      | Türkiye    | 2011        | 9           |
| 23 | Can Park Avm        | Çubuk      | Türkiye    | 2013        | 9           |
| 24 | Swiss Otel          | Çubuk      | Türkiye    | 2014        | 15          |
| 25 | Mall of İstanbul    | Çubuk      | Türkiye    | 2012        | 25          |
| 26 | Paragon             | Çubuk      | Türkiye    | 2012        | 27          |
| 27 | Eclipse             | Çubuk      | Türkiye    | 2013        | 30          |
| 28 | Nida Tower          | Çubuk      | Türkiye    | 2011        | 35          |
| 29 | İTÜ Teknokent       | Çubuk      | Türkiye    | 2011        | 13          |
| 30 | Batı Şehir          | Çubuk      | Türkiye    | 2013        | -           |
| 31 | İçdaş               | Çubuk      | Türkiye    | 2014        | -           |
| 32 | İş GYO              | Çubuk      | Türkiye    | 2014        | 8           |
| 33 | Rönesans Ofis Park  | Çubuk      | Türkiye    | 2014        | 11/9/7/     |
| 34 | Venezia             | Çubuk      | Türkiye    | 2014        | 20-26       |
| 35 | Dumankaya Miks      | Çubuk      | Türkiye    | 2014        | 32/23       |
| 36 | Ritim İstanbul      | Çubuk      | Türkiye    | 2014        | 37/33/30/17 |

Çalışmada ele alınacak problem alanlarının kesinleştirilmesi amacıyla gerçekleştirilen ikinci ön çalışmada 1996 ~ 2017 yılları arasında İstanbul’da çubuk ve panel giydirme cephe sistemleri uygulanan 30 adet çok katlı binanın cephe sistemlerinde görülen hasarlar arşiv çalışması ve yerinde gözleme dayalı olarak mevcut durum analizi yöntemine göre incelenmiştir. Yapılan incelemede en çok görülen hasarların hava geçirimsizlik, su sızdırmazlık, taşıyıcılık, estetik ve ısıl performansla ilişkili olduğu belirlenmiştir. Yapılan literatür araştırması, giydirme cephe türlerinin sayısal analizi ve hasar incelemesi çalışmalarının sonucunda;

- Günümüzde hem çubuk hem de panel sistemin uygulandığı,
- Yapılan hasar analizinde yaşam dönemi içerisinde taşıyıcılık, hava geçirimsizlik ve su sızdırmazlık performanslarının en çok etkilenen performanslar olduğu,
- Literatürde sistemlerin ilk performanslarının belirlenmesine yönelik çalışmaların yer almasına karşın yaşam dönemi performanslarının belirlenmesine yönelik çalışmaların sınırlı sayıda olduğu

belirlenmiştir. Bunlara bağlı olarak problem alanının ‘Çubuk ve Panel Giydirme Cephe Sistemlerinin Yaşam Dönemi Performanslarının Deneysel Yöntemle Karşılaştırmalı Olarak Belirlenmesi’ olmasına karar verilmiştir.

## 1.2 Amaç

Yapı üzerinde çevresel etmenlere en çok açık olan, binanın düşey ya da düşeye yakın olan kabuğunu oluşturan cephe sistemlerinin kendilerinden beklenen performans gereksinmelerini sağlaması ve bu özelliklerini bina yaşam ömrü boyunca koruyabilmesi kullanıcı konforu ve maliyet açısından büyük öneme sahiptir. Çok katlı yapıların sayısındaki artışa paralel olarak sıkça tercih edilen giydirme cephe sistemlerinin yaşam dönemi performansı araştırılması gereken önemli bir konu haline gelmiştir.

Bu çalışmada, önerilen deney prosedürüne bağlı olarak gerçek ölçülerdeki numuneler üzerinde gerçekleştirilen performans testleri yardımıyla çubuk ve panel sistemin yaşam dönemi performanslarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında giydirme cephe sistemlerinin yaşlandırılması için ısıl döngü test metodu önerilmiş ve giydirme cephelerin yaşam dönemi performanslarının değerlendirilmesinde ısıl döngü (yaşlandırma) testinin önemi ortaya konulmuştur. Yaşlandırma testinin çubuk ve panel

sistemlerin yaşam dönemi performansı üzerindeki etkileri açıklanmıştır. Elde edilen test sonuçları değerlendirilerek, sistemlerin gelecek performansına ilişkin öngörüler/tahminler oluşturulmuştur.

Yapılan çalışmada;

- Giydirme cephe sistemlerinin yaşam dönemi boyunca göstereceği performansının uygulama öncesinde belirlenmesi,
- Uygulama süreci öncesinde sistemin yaşam dönemi boyunca meydana gelebilecek hasarların ya da sistemdeki problemlili noktaların belirlenmesi ve sorunlara ilişkin çözüm önerilerinin geliştirilmesi,
- Giydirme cephe sistemlerinin yaşam dönemi performanslarının belirlenmesine yönelik deney prosedürünün geliştirilmesi ve birebir ölçekli numuneler üzerinde uygulanması,
- Yaşlandırma testinin sistemin yaşam dönemi performansının belirlenmesindeki öneminin ortaya konulması,
- Mevsimsel değişikliklerin ve şiddetli iklimsel koşulların sistem performansı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi,
- Mevcut deney prosedürlerinin çalışma kapsamında önerilen deney prosedürü dikkate alınarak geliştirilmesi,
- Test sonuçlarına bağlı olarak yapılan değerlendirmelerin sistemlerin gelecek dönemlerdeki performanslarının tahminine yönelik olarak kullanılması

amaçlanmıştır.

### **1.3 Kapsam**

Yapılan ön çalışmaların sonucunda giydirme cephe sistemi kullanılarak inşa edilen çok katlı binaların sayıca çok olduğu ve test merkezinin bulunduğu şehir olması nedeniyle İstanbul çalışma alanı olarak seçilmiştir.

İstanbul'da yer alan çok katlı binalarda kullanılan cephe türlerinin sayısal olarak analize yönelik gerçekleştirilen birinci ön çalışmanın sonucunda çubuk ve panel giydirme cephelerin en çok kullanılan sistem türleri olduğu belirlenmiştir. Buna bağlı olarak deneysel çalışmada aynı özelliklere sahip olan gerçek ölçülerde çubuk ve panel sistem numuneleri kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında problemin ve değerlendirilecek performans ölçütlerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen ikinci ön çalışmada İstanbul'da yer alan 30 adet çok katlı binanın giydirme cephe sistemlerinde görülen hasarlar incelenmiştir. Yapılan çalışmada en çok karşılaşılan problemlerin hava geçirimsizlik, su sızdırmazlık, estetik ve ısıl performansı olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir. Buna bağlı olarak, çalışma kapsamında çubuk ve panel giydirme cephe sistemlerinin statik ve dinamik su sızdırmazlık, hava geçirimsizlik, rüzgâr dayanımı, deprem dayanımı ve güvenlik performanslarının yaşam dönemi içerisindeki değişimleri deneysel olarak belirlenmiştir.

#### 1.4 Yöntem

Şekil 1.1'de akış şeması gösterilen çalışmanın birinci aşamasında giydirme cephe kavramı, sistem türleri ve bileşenleri, sistemlerin performans gereksinimleri, mevcut standartlar (TS, TS EN, CWCT, BS, AAMA, ASTM) ve giydirme cephe sistemlerinin yaşam dönemi performanslarının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin belirlenmesine ilişkin literatür taraması yapılmıştır.

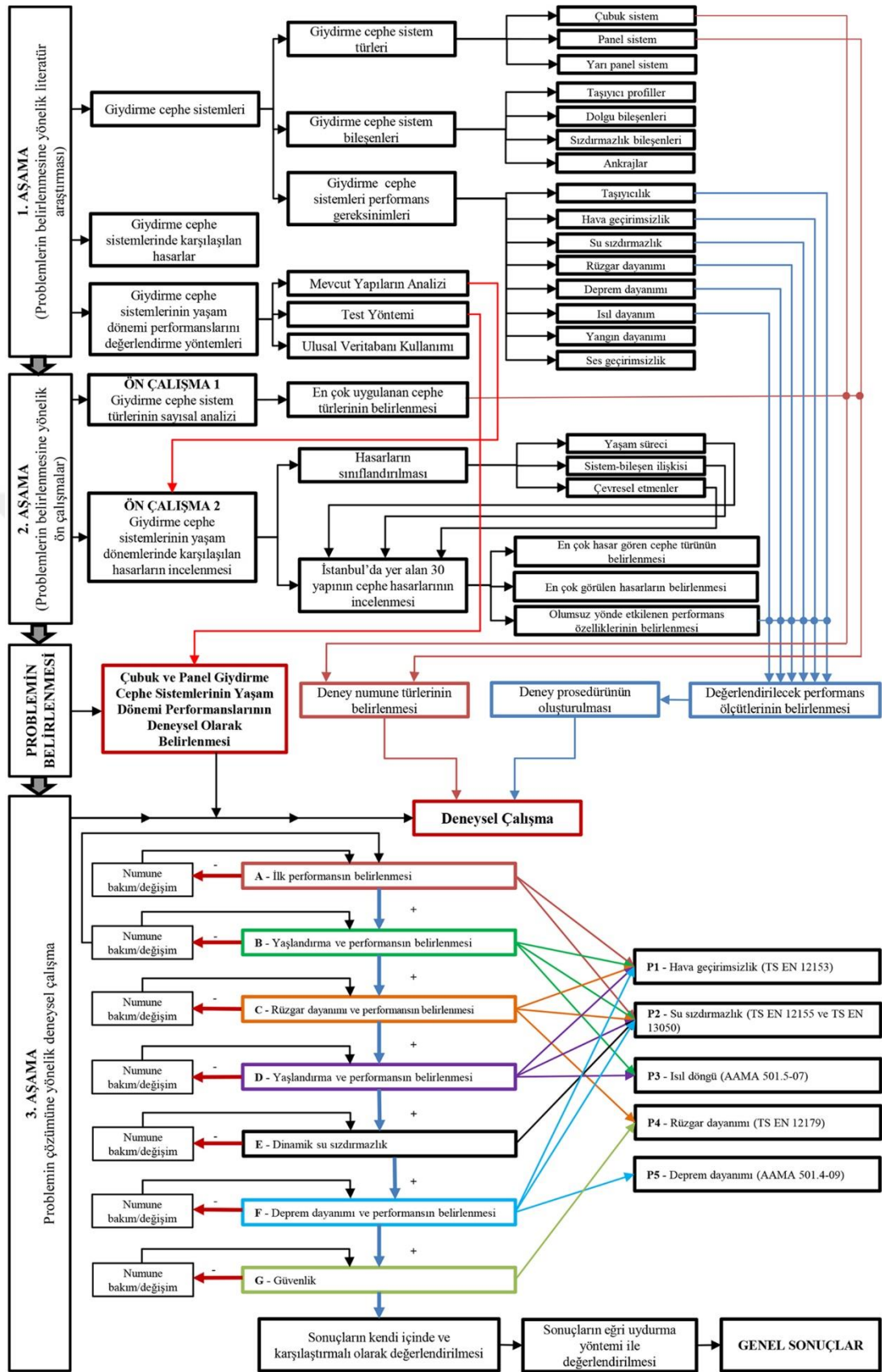
İkinci aşamada literatür taramasından elde edilen bilgilerden yola çıkılarak cephe türlerinin sayısal olarak belirlenmesi ve hasar incelemesine yönelik iki adet ön çalışma gerçekleştirilmiştir. Birinci ön çalışmada İstanbul'da en çok kullanılan giydirme cephe türleri çubuk ve panel sistem olarak belirlenmiştir. İkinci ön çalışmada İstanbul'da giydirme cephe sistemi uygulanan 30 adet çok katlı binanın cephe sisteminde görülen hasarlar incelenmiştir. Literatür taraması ve hasar incelemesi sonucunda tespit edilen hasarlar oluşturulan sınıflandırmaya göre gruplanarak değerlendirilmiştir. Yaşam dönemi içerisinde en çok karşılaşılan sorunların taşıyıcılık ve sızdırmazlık performansı ile ilişkili olduğu görülmüştür.

Yapılan literatür taraması ve ön çalışmaların sonucunda elde edilen verilerden yola çıkılarak çubuk ve panel sistemlerin yaşam dönemi performansının deneysel yöntemle belirlenmesine karar verilmiştir. Bu aşamada sistemlerin yaşam dönemi performansının değerlendirilmesine yönelik TS EN 13830 standardında yer alan deney prosedürü CWCT standardında yer alan deney prosedürüyle desteklenerek yeni bir deney prosedürü oluşturulmuştur (Şekil 1.2). Performansın gerçeğe en yakın biçimde belirlenmesi amacıyla ısıl döngü testi önerilen deney prosedürüne iki aşamada dâhil edilmiştir: Birinci ısı döngü testi sistemlerin ilk performanslarının belirlenmesinin

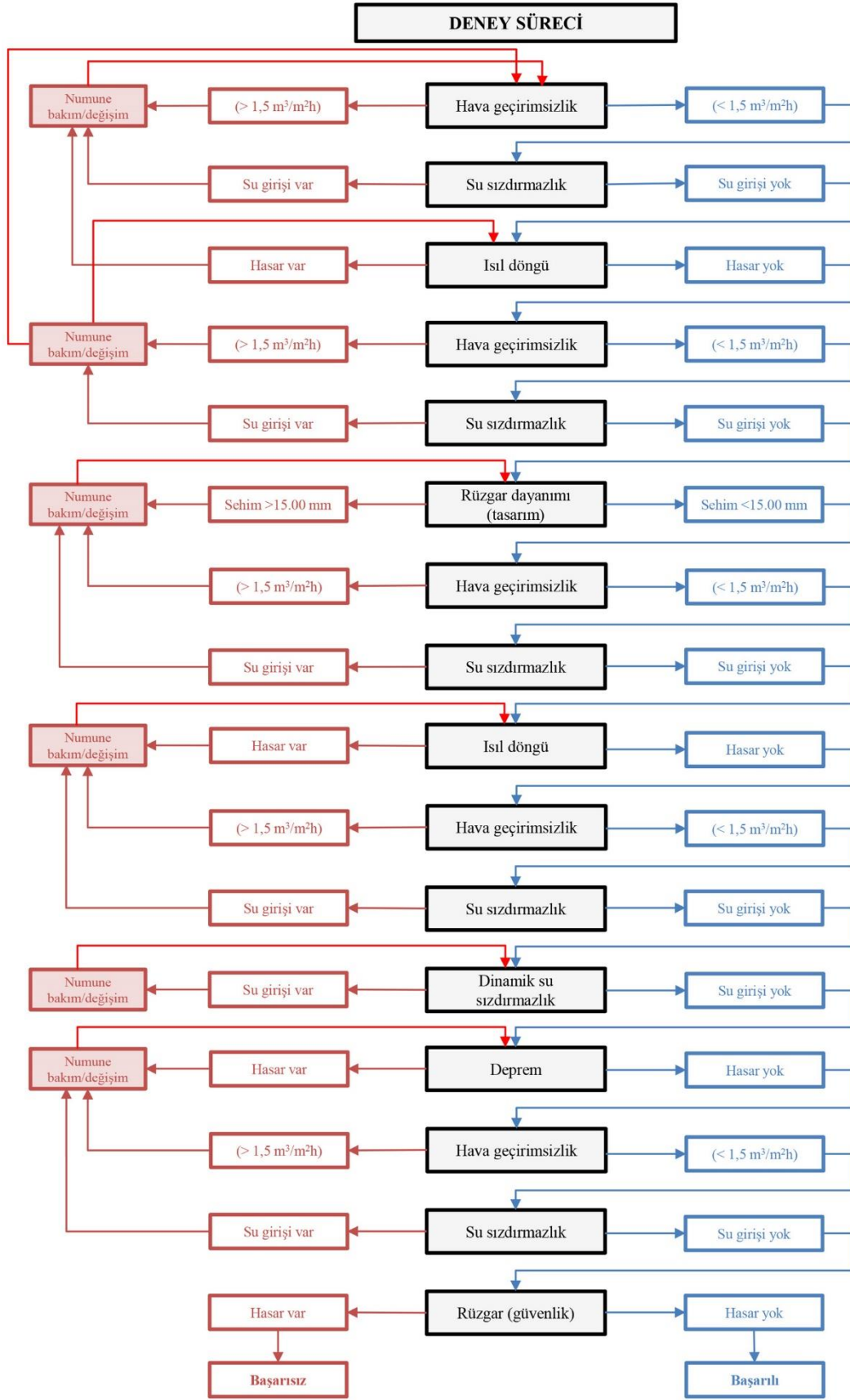
ardından, ikinci ısı döngü testi ise sistemlerin çeşitli çevresel etmenlere maruz bırakılmasının ardından uygulanmıştır. Böylelikle, meydana gelebilecek yorulma ve yaşlanma süreçleri deneysel yöntemle benzetilerek sistemlerin yaşam dönemi performanslarının belirlenmesine çalışılmıştır.

Çalışma kapsamında önerilen deney prosedürü sistemlerin ilk performansının ve yaşam dönemi performansının bir arada ortaya konulmasını sağlayacak biçimde kurgulanmıştır. İlk aşamada, Adım 1 ve Adım 2’de gerçekleştirilen hava geçirimsizlik ve su sızdırmazlık testleri ile sistemlerin ilk performanslarının ortaya konulması sağlanmıştır. İkinci aşamada sistemlere uygulanan ısı döngü testi (Adım 3) ile sistemlerin yaşlandırılması ve ardından gerçekleştirilen hava geçirimsizlik ve su sızdırmazlık testleri (Adım 4 ve Adım 5) ile yaşlanma sonrasındaki performansı ortaya konulması sağlanmıştır. Böylelikle yaşlandırma testinin sistemlerin üzerindeki etkisi doğrudan değerlendirilmiştir. Üçüncü aşamada ise önerilen deney prosedürüne bağlı olarak uygulanan rüzgâr dayanımı, deprem dayanımı ve dinamik su sızdırmazlık gibi performans testleri yardımıyla sistemlerin yaşam dönemi içerisinde maruz kalabileceği çevresel etmenlerin sistem performansı üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur. Yaşam dönemi performansının ortaya konulduğu deney prosedürünün üçüncü aşamasına Adım 9’da dahil edilen ikinci ısı döngü testiyle birlikte sistemlerin yaşam dönemi içerisinde yaşlanmasıyla birlikte etkiyen çevresel yüklerin sistem performansı üzerindeki etkilerinin ortaya konulması sağlanmıştır (Şekil 1.3).

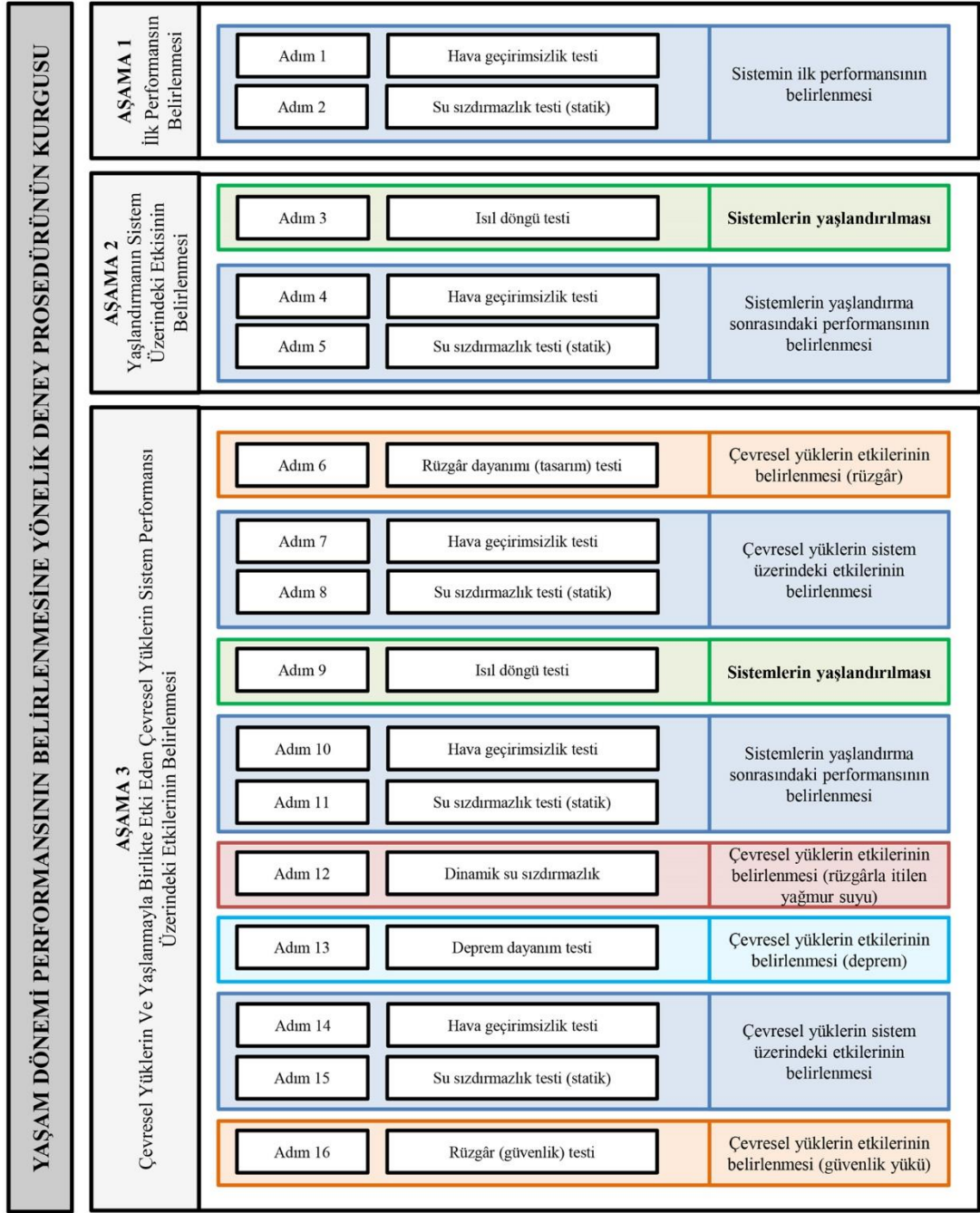
Deneysel çalışmada kullanılacak numunelerin tasarlanması ve imalatı literatür çalışması, test merkezi ve cephe firmasıyla yapılan görüşmelere bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında önerilen deney prosedürü aynı özelliklere sahip gerçek ölçülerde çubuk ve panel sistem numuneleri üzerinde uygulanarak çalışmanın sonuçları değerlendirilmiştir.



Şekil 1.1 Çalışmanın akış şeması (kurgusu).



Şekil 1.2 Çalışma kapsamında önerilen deney prosedürü.



**Şekil 1.3** Çalışma kapsamında önerilen deney prosedürünün kurgusu.



## 2. GİYDİRME CEPHE SİSTEMLERİ, BİLEŞENLERİ VE PERFORMANS ÖZELLİKLERİ

### 2.1 Cephe Sistemi

Yapım teknolojisinde yaşanan gelişmelerle birlikte geleneksel dış duvar sistemleri yerini demir/çelik, cam gibi malzemelerle yapılan örtücü özelliğe sahip sistemlere bırakmaya başlamıştır (Eyüce, 2002). Bina kabuğunu oluşturan bu sistemlerin kullanımının artmasıyla cephe kavramı ortaya çıkmaya başlamıştır. Fransızca ‘façade’ kelimesinden dilimize ‘fasad’ olarak da geçen cephe “bir binanın görünen yüzeylerinden her biri, özellikle ön yüz veya bina yüzeyine dik doğrultuda sonsuzdan bakılan görünüş” olarak tanımlanmaktadır (Hasol, 1995, s. 106). Cephe, dışarıdan gözlemlendiğinde bina için kilit bir role sahip olan ve iç ortam üzerinde önemli etkileri bulunan bir yapı elemanıdır (Knaack ve diğ, 2007). Günümüz dış duvarları ve cephe sistemlerinin form ve işlevi insanlık tarihinin gelişimiyle yakından ilişkili uzun bir gelişim sürecinin sonucudur. İnsanoğlunun bulunduğu koşullara (yerleşik düzen ve göçebelik) bağlı ortaya çıkan fonksiyon, teknik ve tasarımla ilişkili gereksinimler cephelerin gelişiminde etkili olmuştur. İklimsel koşullar, farklı yaşam biçimleri ve konutların biçimi bir yandan kalıcı duvarların tasarımını diğer yandan daha esnek ya da daha az kalıcı cephe sistemlerinin tasarımını ortaya çıkarmıştır (Knaack ve diğ, 2007).

Bina dış yüzeyinde düşey ya da düşeye yakın olarak konumlandırılan dış duvar sistemlerinin temel işlevi iç ortam ve dış ortam arasında çevresel kontrol sağlamaktır. Dış duvar sistemlerinin yağmur, rüzgâr, güneş, ışık, sıcaklık gibi tüm çevresel etmenlere karşı dayanım göstermesinin yanında estetik, ekonomi ve güvenlikle ilgili beklentileri karşılaması beklenmektedir. Cephe türüne bağlı değişiklik gösterse de dış duvar sistemlerinin genel olarak kendi yüklerini ve üzerine etki eden çevresel yükleri (rüzgâr, vb.) bina taşıyıcı sistemine güvenli biçimde iletmesi beklenmektedir (Greeno ve Osbourn, 2013; Çıkış, 2007).

Yapı kabuğu iç mekânın bağıl nem seviyesini kontrol altında tutarken yağmur ve karın iç ortama nüfuz etmesini önlemektedir. Cephe sistemi, konfor koşullarını olumsuz etkilediği durumlarda yağmur ve rüzgâra karşı koruma sağlarken, istenilen durumlarda iç ortama geçişini sağlamaktadır. Ayrıca yangın ve seste olduğu gibi iç ortama ait sıcaklık düzeyi yapı kabuğu tarafından düzenlenmektedir (Coşkun, 2013; Brock, 2005). Cephe sistemi yalnızca bulunduğu alanı değil iç mekânı ve binanın çevresini de etkilemektedir. Cephe sistemi çevresel etmenlere karşı dayanıklılık göstererek iç ortamı korumasının yanında bir binanın dış görünüşünü, mimari karakterini ve binanın kalitesini etkileyen önemli bir yapı elemanıdır (Knaack ve diğ, 2007; Boswell, 2013; Greeno ve Osbourn, 2013). Zaman içerisinde kullanıcı ihtiyaçlarının değişmesine bağlı olarak cephe sistemlerinin temel işlevlerine iç mekânda yeterli doğal ışık ve hava dolaşımının sağlanması, çevreyle görsel ilişki kurması aynı zamanda mahremiyeti sağlaması gibi özellikler eklenmiştir (Herzog ve diğ, 2004). Bazı dış duvar sistemleri oldukça basit yapım sistemine sahipken, bazıları artan performans gereksinimleri, yeni teknolojiler, düzenleyici standartlar ve önerilen tasarımlara bağlı olarak daha gelişmiş detay tasarımları, belgeleme ve gelişmiş yapım teknolojilerinden faydalanmayı gerektirmektedir (Boswell, 2013).

Her dış duvar sisteminin farklı özelliklere sahip olması nedeniyle türlerine göre sınıflandırmak pek mümkün olmamaktadır. Örneğin bazıları taşıyıcı işleve sahipken, bazıları bina taşıyıcı sistemine asılmaktadır. Dış duvar sistemleri farklı fiziksel birleşimlere sahip olmaktadır. Bazıları ince ve tek bir katmandan oluşurken bazıları çok katmanlı (örneğin çift katmanlı boşluklu duvar) olabilmektedir. Bu nedenle genel olarak dış duvar sistemlerini;

- Taşıyıcı özelliğine göre,
  - Taşıyıcı olan
  - Taşıyıcı olmayan
- Katman sayısına göre,
  - Tek katmanlı
  - Çok katmanlı
- Kabuk sayısına göre,
  - Tek kabuklu
  - Çift kabuklu

şeklinde sınıflandırmak mümkündür (Nashed, 1995).

Cephe mimarisinde yaşanan değişikliklerle birlikte, özellikle çok katlı binaların sayısındaki artışa bağlı olarak prefabrikasyon, hızlı yapım, hafiflik, gibi yapım sürecine yönelik konular; çevresel etmenlere dayanım, kullanıcı konforunu sağlama, ekonomi gibi kullanım sürecine yönelik konularla birlikte estetik beklentiler önemli hale gelmiştir (Gür, 2001; MEB, 2012; Ziyaettin, 2004). Gelişen teknolojiye bağlı olarak sağladığı üstünlükler sayesinde giydirme cepheler çok katlı binalarda mevcut cephe sistemleri içerisinde en çok tercih edilen sistemlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

## **2.2. Giydirme Cephe Sistemleri**

Literatürde giydirme cephe sistemleriyle ilgili çeşitli tanımlar yer almaktadır. Bunlar: Giydirme cephe sistemleri bina taşıyıcı sisteminden bağımsız olarak bir kılıf ya da kabuk şeklinde inşa edilen ve iç mekânı çevresel koşullara karşı koruyan sistemlerdir (ASCE, 2013; Chudley, 1987).

Kendi yükleri dışında yük taşımayan ve üzerine gelen çevresel yükleri bina taşıyıcı sistemine döşeme altında yer alan tespit bileşenleri/ankrajlar yardımıyla güvenli biçimde iletmeleri nedeniyle taşıyıcı olmayan sistemler olarak tanımlanmaktadır (Chudley, 1987).

William Lescaze ise giydirme cepheyi en genel tanımlamayla taşıyıcı olmayan dış duvar ve bina taşıyıcı sistemi tarafından desteklenen sistem olarak açıklamaktadır (Hunt, 1958).

Nashed (1995) giydirme cephe sistemlerini yalnızca kendi ağırlığını ve üzerine gelen yatay yükleri (deprem, rüzgâr, vb.) taşıyan, döşeme altına takılan tek kabuk ya da bina taşıyıcı sistemi tarafından desteklenen dolgu duvar gibi davranan sistemler olarak tanımlamaktadır. Giydirme cephe sistemlerinin ağırlığının kullanılan malzeme ve sistem türüne göre değişiklik göstereceğini belirtmektedir.

Gür (2001) giydirme cephe sistemlerini bina taşıyıcı sisteminden bağımsız olan ve asılarak taşıtılan, taşıyıcı olmayan ancak üzerine etkiyen yükleri kullanılan tespit bileşenleri yardımıyla bina taşıyıcı sistemine aktaran, iç ve dış ortam arasında filtre görevi görerek ihtiyaç duyulan performans gereksinimlerini karşılayan yapı elemanı olarak tanımlamaktadır.

AAMA (2005)'te giydirmce cephe üst üste etki eden düşey yüke maruz kalmayan herhangi bir malzemedcn yapılmış herhangi bir duvar sistemi olarak tanımlanmaktadır. Bina dış yüzeyine asılan, genellikle katlar arasında uzanan taşıyıcı olmayan dış duvar kaplaması olarak tanımlanmaktadır (Url-1, 2017).

CWCT (2005a)'da giydirmce cephe sistemleri kendi yükü ve çevresel yükler dışında yük taşımayan, çoğunlukla düşey formda bulunan bina kabuğu olarak tanımlanmaktadır.

ASTM E631-15 Standard Terminology of Building Construction (2006)'da, bina taşıyıcı sistem bileşenleri tarafından desteklenen taşıyıcı olmayan dış duvar olarak tanımlanmaktadır.

TS EN 13119 Giydirmce Cepheler – Terimler ve Tarifleri (2009)'da giydirmce cephe sistemi şöyle tanımlanmıştır:

Ana malzeme olarak metal, ahşap ya da PVC-U malzemedcn bir iskelet şeklinde imal edilmiş, genellikle yatay ve düşey yapısal elemanlardan oluşan, birbirine bağlanmış ve bina taşıyıcı sistemine ankrajlanmış, tek başına ya da yapı konstrüksiyonu ile birlikte bir dış duvarın tüm fonksiyonlarını sağlayan, ancak yapı taşıyıcı sisteminin yük taşıma karakteristiklerine katkısı olmayan, bina dış cephesi (TS EN 13119, 2009, s. 1).

Boswell (2013) ise bina taşıyıcı sistemine dışarıdan asılan ve desteklenen metal ve cam (ya da başka bir dolgu bileşeni) cephe sistemi olarak tanımlamıştır.

TS EN 13830 (2015) Giydirmce cepheler - Mamul standardında giydirmce cephe, çoğunlukla bir araya getirilen yatay ve düşey profillerden oluşturulan, bina taşıyıcı sistemine ankrajlanan, iç ve dış ortam için gereken tüm işlevleri yerine getiren sabit ya da açılabilir dolgu bileşenlerinden oluşan, bina taşıyıcı sistemine taşıyıcılık açısından herhangi bir katkısı olmayan yapı kabuğunun bir parçası olarak tanımlanmaktadır.

Hasol (1995) “çok katlı bir yapıda, döşemelerin önünden geçerek devam eden, bunlara ya da kolonlara asılan, taşıyıcı olmayan, çoğu bol camlı dış duvar olarak tanımlanmaktadır. Giydirmce cephe betonarme ya da çelik iskeletin taşıyıcı duvarları gereksiz kılması sonucu ortaya çıktığını belirtmektedir” (Hasol, 1995, ss.179-180).

Farklı kaynaklarda yapılan tanımlamalardan yola çıkılarak giydirmce cephe sistemlerini tanımlamak gerekirse bina taşıyıcı sistemine asılarak iç ve dış ortamı birbirinden ayıran, kendi yükü ve üzerine etki eden deprem, rüzgâr gibi yüklerin

dışında yükleri taşımayan, dış duvar sisteminden beklenen performans özelliklerini karşılayan ancak taşıyıcı olmayan sistemlerdir.

Dünyada bilinen ilk giydirme cephe uygulaması 1820 yılında yapılan Philadelphia'da iki katlı bir banka binasının cephesidir. Giydirmce cephe kavramının çıkmasına neden olan çelik konstrüksiyonlu ilk gökdelen Chicago'da 1883 yılında yapılan Home Insurance binasıdır. Şeffaf kabuğuyla yeni bir kavram ortaya çıkaran bir diğer bina 1851 yılında Londra'da inşa edilen Crystal Palace sergi merkezinin yapımında dökme demir ve aralarında 300,000 adet cam kullanılmıştır. Yaşanan bu gelişmeler üzerine cam ve metalin bir arada kullanımı yaygınlaşmıştır. 1908'de ABD'de 6 katlı Boley Clothing Company binasında cam ve demir giydirmce cephe olarak kullanılmıştır. Bir yapının tümünün giydirmce cephe olarak kaplanması 1934 yılında Oregon'da bir ticaret merkezinin inşası ile gerçekleşmiştir (MEB, 2012). Ülkemizde uygulanan ilk giydirmce cephe örneklerinden birisi 1959 yılında Ankara'da yapılan Kızılay İş Hanı'dır. Ayrıca 1973-1979 yılları arasında İstanbul'da yapılan Karayolları 17. Bölge Müdürlüğü Binası da başarılı ilk örneklerden biri olmuştur (Sezer, 2003). Bununla birlikte Sabancı Center, İş Kuleler, Yapı Kredi Plazalar ve Akmerkez binalarının cepheleri ilk giydirmce cephe örneklerinden sayılmaktadır (Akkaya, 1995).

Giydirmce cephe sistemlerinin yapılarda tercih edilmesinin nedenleri:

- Elemanlar üzerine etki eden etmenlere karşı binanın strüktürünü kaplayan bir kabuk sağlaması,
- Kuru birleşim yöntemi ile yapılması,
- Kaplamanın formu itibarıyla taşıyıcı çerçeve üzerine az bir yük etki etmesi,
- Yapısal/Mimari özellikleri

gösterilmektedir (Chudley, 1987). Giydirmce cephe sistemleri kendi yükleri dışında herhangi bir yük taşıması nedeniyle yığma ve prekast sistemlere göre daha hafif sistemlerdir (ASCE, 2013). Bina taşıyıcı sisteminden bağımsız olması nedeniyle kullanılan kaplama ya da cam estetik ve işlevsel gereksinimleri karşılamakla da yükümlüdür (Knaack ve diğ, 2007). Zaman içerisinde giydirmce cephe sistemlerinin doğal ışık sağlama ve iç ortamı çevresel etkilerden koruma gibi temel özelliklerine, iç mekânda kullanıcı konforunu sağlama, ısı akışı ve güneş ışıınımı kontrolü sağlama gibi özellikler de eklenmiştir. Bunlara bağılı olarak giydirmce cephe sistemlerinin;

- Arttırılmış ısı yalıtım özelliğine sahip olması,

- İnce olması,
- Seri üretim olanağı sunması,
- Prefabrikasyon özelliği,
- Ön montaj olanağı sunması,
- Binanın iç kısmında montaj olanağı sunması,
- Kuru birleşime sahip olması,
- Kolay taşınabilirlik özelliğine sahip olması,
- Kalıcılık / dayanıklılık (permanence)
- Az sayıda birleşim yerine sahip olması,
- Nem ve yoğuşma dayanımı özelliği,
- Kir ve toza karşı geçirimsizlik özelliği,
- Çevresel yüklere (rüzgâr ve deprem) dayanım ve iklimsel (hava ve su) sızdırmazlık özelliği,
- Hafif olması,
- Yangın dayanımının yüksek olması,
- Ses geçirimsizlik özellikleri,
- Boyutsal özellikleri,
- Kolay takılma ve yer değiştirme olanağı sunması (bakım onarım kolaylığı),
- Hızlı yapım süreci sunması sayesinde zaman kazancı sağlaması,
- Maliyet ve estetik açıdan avantaj sağlaması

tercih edilmesindeki en önemli nedenler olarak sıralanabilmektedir (Hunt, 1958).

### 2.2.1 Giydirme cephe sistemlerinin sınıflandırılması

Giydirme cephe sistemleri farklı özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Yapılan araştırma kapsamında mevcut standartlar, makaleler ve tez çalışmaları dikkate alınarak giydirme cephe sistemlerine ilişkin literatürde yer alan çeşitli sınıflandırmalar aşağıda kısaca incelenmiştir:

Okтуğ (1991)'a göre asma giydirme cephe sistemleri:

- Stick/Çubuk sistem, bina cephesine aks aralıklarıyla asılan çubuklara yatay kayıtlar monte edilerek içeriden ya da dışarıdan camın takılmasıyla oluşturulan sistemlerdir.

- Panel sistem, taşınabilir bir iki aks ve bir kat yüksekliğinde hazırlanan elamanların şantiye ortamında kullanılan özel ekipmanlar yardımıyla bir araya getirilmesiyle oluşan sistemlerdir.
- Yarı panel sistemler, paneller kat bazında yatay şeritler halinde hazırlanmış, kat boyunda büyük bir panel gibidir. Parçalar şantiye ortamında bir araya getirilir. Çubuk sistemin ekonomikliğı ve panel sistemin yüksek yapılardaki harekete uyum yeteneğini bir araya getiren sistemlerdir.

Aygün (1996) giydirme cephelerini,

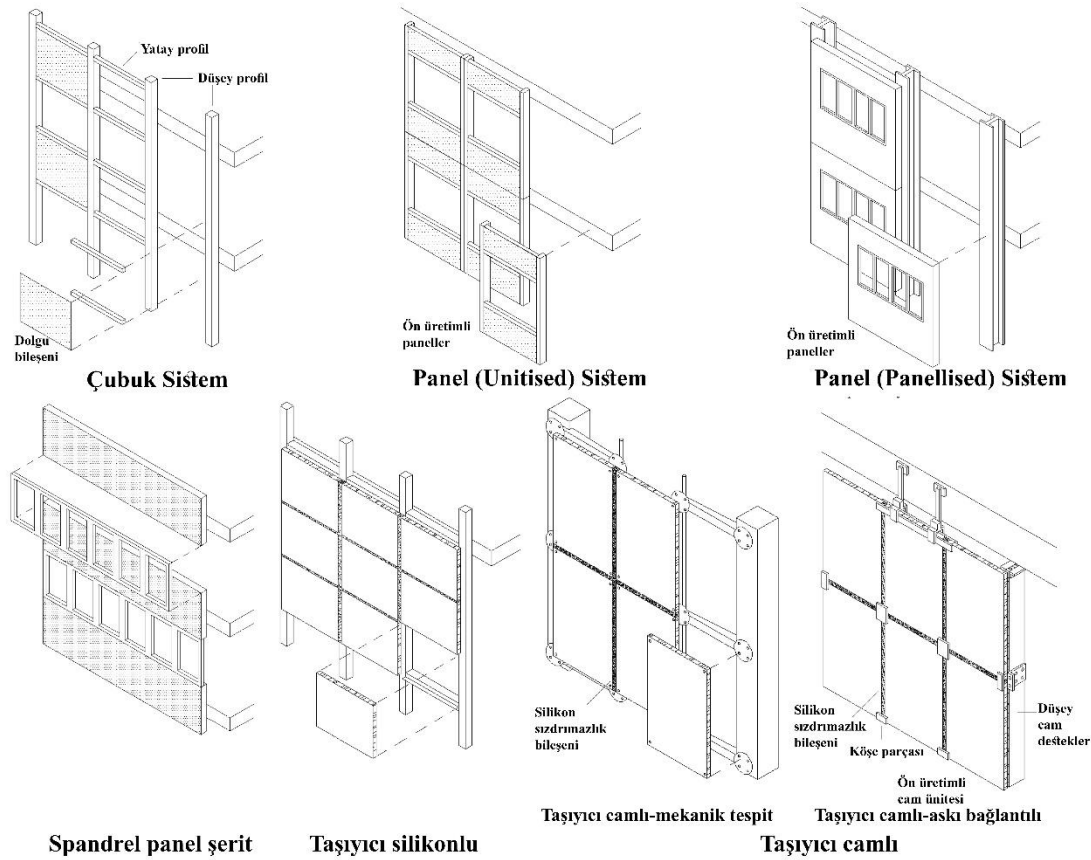
- Cephe modülüne göre,
- Derzlerde sızdırmazlığa göre,
- Taşıyıcı ızgaraya göre,
- Bağlantıya göre,
- Yerleştirme yönüne göre,
- Dolgu birimine göre

sınıflandırmaktadır.

CWCT (2000a) Teknik Not 14’de giydirme cephe sistemleri 6 başlık altında incelenmektedir (Şekil 2.1):

- Çubuk: Ekstrüde alüminyum profillerden oluşturulan yatay ve düşey taşıyıcı bileşenler, dolgu bileşeni, iç ve dış sızdırmazlık bileşenleri ve baskı profilinin şantiye ortamında bir araya getirilmesiyle oluşturulan sistemlerdir.
- Panel (Unitized): Fabrikada kontrollü ortamda üretilen kat yüksekliğinde çelik ya da alüminyumdan taşıyıcı çerçeveye sahip ön üretimli dar panellerdir.
- Panel (Panelized): Fabrika ortamında üretilen bina taşıyıcı sistemine (kolon ya da döşemeye) bağlanan geniş boyutlu panellerdir.
- Spandrel panel şerit: Spandrel paneller arasına yerleştirilen uzun ya da sürekli görüş camı ünitelerine sahip kolon ya da döşeme tarafından desteklenen sistemlerdir.
- Taşıyıcı silikonlu/macunlu: Cam ünitelerinin fabrika ortamında özel bir taşıyıcı silikon yardımıyla taşıyıcı bileşenlere tutturulması suretiyle oluşturulan sistemlerdir.

- Taşıyıcı camlı sistemler: Cam ünitelerinin taşıyıcı çerçeveye köşe noktalarında gizli ya da görünür bileşenler yardımıyla tutturulmasıyla oluşturulan sistemlerdir.



**Şekil 2.1** CWCT (2000a)'ye göre giydirme cephe sistemleri.

Gür (2001) giydirme cephe sistemlerini ağırlığına göre;

- Ağır giydirme cephe sistemleri,
- Hafif giydirme cephe sistemleri

olarak ikiye ayrılmaktadır.

Ağırlığı  $100 \text{ kg/m}^2$  altında olan giydirme cephe sistemleri hafif,  $100 \text{ kg/m}^2$ 'nin üstünde olanlar ağır giydirme cephe sistemi olarak adlandırılmaktadır. Ağır giydirme cephe sistemleri genel olarak beton esaslı prekast ve panellerden oluşurken, plastik, cam elyaf donatılı beton, plastik ya da metal malzemelerden de üretilebilmektedir. Hafif giydirme cephe sistemleri ise ağırlığı  $100 \text{ kg/m}^2$ 'nin altında olan, taşıyıcı bileşen, dolgu bileşeni ve tespit bileşeni gibi farklı parçaların bir araya gelerek oluşturduğu sistemler olarak tanımlanmaktadır (Gür, 2001).

TS EN 13830 (2005)'te giydirmce cephe sistemleri montaj türüne göre sınıflandırılmaktadır:

- Çubuk sistem, ön yapımlı, opak ya da saydam dolgu panellerini taşıyan yerinde monte edilen hafif bileşenlerden oluşan iskelet olarak tanımlanmaktadır.
- Panel sistem, ön montajlı, bir ya da birkaç kat yüksekliğinde, dolgu panelleriyle birlikte hazırlanan modüllerdir.
- Modüler sistem, birbirine geçebilen, katın bir bölümü yüksekliğinde olan ve dolgu panelleriyle birlikte hazır olan ön üretimli modüller olarak tanımlanmaktadır.

Atalay (2006) ise giydirmce cephe sistemlerini;

- Taşıyıcı iskelet türüne göre,
  - Çubuk sistem
  - Yarı panel sistem
  - Panel sistem
- Görünüşlerine göre,
  - Yatay-düşey kapaklı
  - Taşıyıcı silikonlu (mastik taşıyıcılı) sistem
  - Karma sistemler olarak sınıflandırmaktadır.

Kazmierczak (2010)'a göre giydirmce cephe sistemleri;

- Montaj şekline göre (çubuk, panel, yarı panel, vb.),
- İşlevine göre (gürültü kontrol özelliği, patlama dayanımı, vb.),
- Taşıyıcı profil malzemesine göre (alüminyum, ahşap, cam, çelik, vb.),
- Taşıyıcı profil türüne göre (kablo, strüktürel cam, boru şeklinde, vb.),
- Cam türüne göre (yansıtıcı, vb.),
- Camın bağlantı türüne göre (strüktürel, kapalı, vb.),
- Camın takıldığı yöne göre (içeriden, dışarıdan takılan),
- Isı iletim özelliğine göre (ısı bariyerli, vb.) sınıflandırılabilir.

Yeun ve diğ. (2011) giydirmce cephe sistemlerini malzemelerine göre, taşıyıcı sistemine göre ve yapım sistemine göre olmak üzere 3 başlık altında sınıflandırmaktadır. Bunlar;

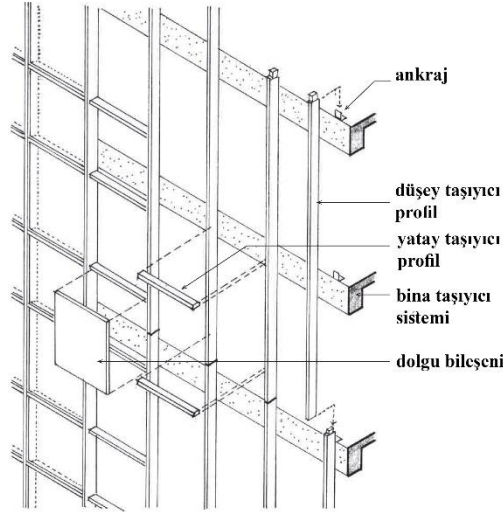
- Malzemelerine göre,

- Metal giydirmce cepheler
  - Polimer beton giydirmce cepheler
  - Prefabrik panel duvar sistemleri
- Taşıyıcı sistemine göre,
  - Düşey kayıt (mulyon) sistemler
  - Spandrel sistemler
  - Kapak tipi
- Yapım sistemine göre,
  - Çubuk sistem
  - Panel sistem
  - Yarı-panel sistemdir.

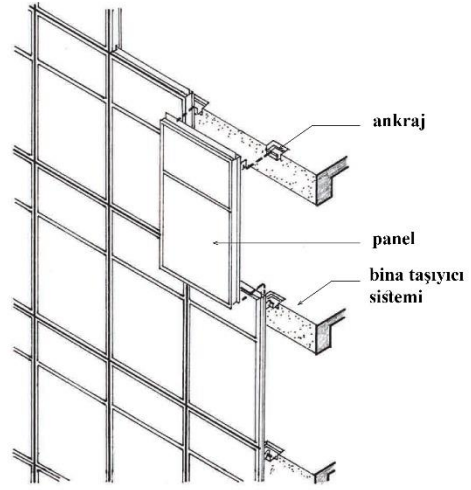
Boswell (2013) giydirmce cephe sistemlerini üretim ve montaj yöntemine göre;

- Çubuk: Düşey ve yatay çerçeve bileşenlerinin cam, alüminyum, taş ya da diğer malzemelerle doldurulmasıyla oluşturulan sistemlerdir.
- Panel: Fabrika ortamında bir araya getirilen çerçeve, cam ya da diğer dolgu bileşenlerinden oluşan sistemlerdir.
- Çubuk üzerine panel (unitized on a stick): Bina taşıyıcı sistemine montajı yapılan çerçeve bileşenlerine fabrika ortamında oluşturulan dolgu bileşenlerinin montajının yapılmasıyla oluşturulan sistemlerdir.
- Kolon kaplaması/Opak panel (column cover/spandrel panel): Panel kolon kaplaması sistem ve/ya da opak panellerden oluşturulan sistemlerdir. Kolon kaplaması ve opak arasındaki dolgu alanları çubuk ya da panel çerçevenin cam ya da diğer dolgu bileşenleriyle doldurulmasıyla oluşturulmaktadır (Şekil 2.2).

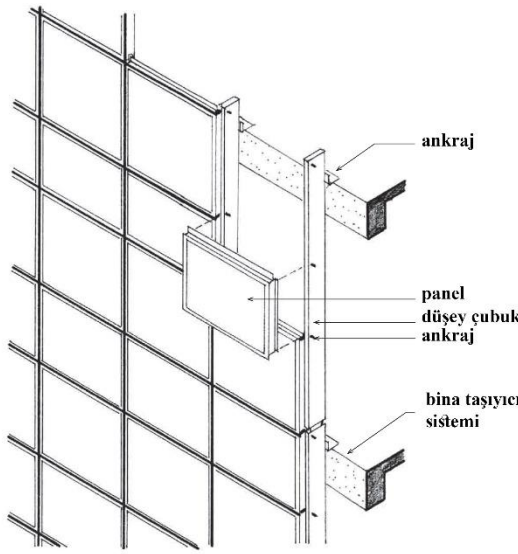
Bu sınıflandırmalara ek olarak son yıllarda tamamen cam görünümünün istendiği durumlarda kenetli silikon cephe sistemleri de tercih edilebilmektedir. Kenetli silikon sistemlerde cam ünitelerinde yer alan çıtalar yapısal kenetleme özelliğine sahiptir. Bu boşluklar yardımıyla alt taşıyıcı sisteme bağlanması sayesinde kaset profili ve bonding işlemine gerek kalmamaktadır. Bu durum sistem maliyetinin düşmesine katkı sağlamaktadır (Url-10, 2018).



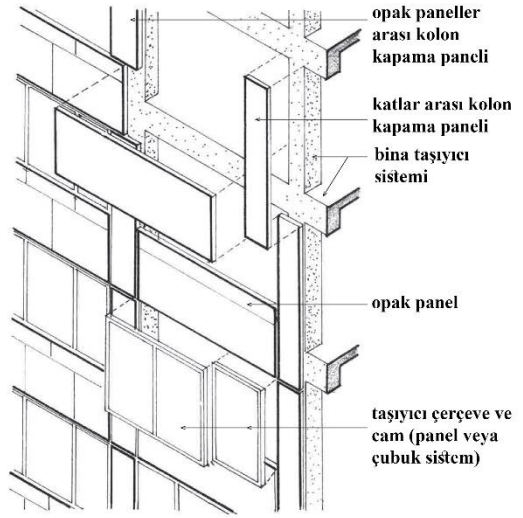
**Çubuk sistem**



**Panel sistem**



**Çubuk üzerine panel**



**Kolon kaplaması/Opak panel**

**Şekil 2.2** Boswell (2013)'e göre giydirme cephe türleri.

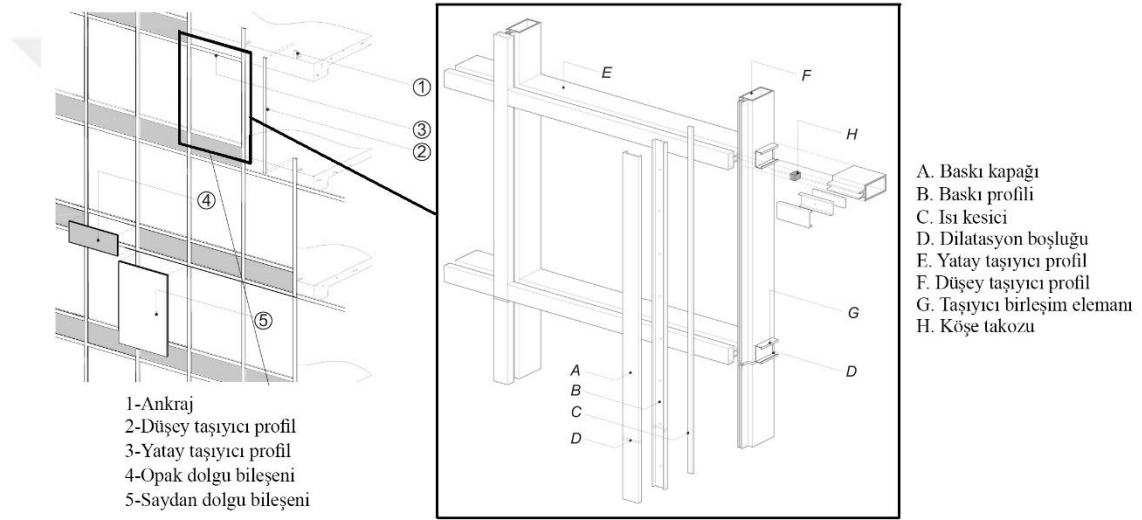
Giydirme cephe sistemlerinin sınıflandırılmasına yönelik literatürde yer alan çeşitli sınıflandırmalar ortaya konulmuştur. Yapılan incelemede TS EN 13830'da ve literatürde en çok karşılaşılan sınıflandırmanın yapım yöntemine/montaj türüne göre olan sınıflandırma olduğu görülmüştür. Bu nedenle, çalışma kapsamında montaj türüne göre ve dolgu bileşeninin bağlantı biçimine göre yapılan sınıflandırmalar dikkate alınmıştır. Montaj türüne göre sistemler çubuk, panel ve yarı panel sistemler olarak sınıflandırılmıştır. Dolgu bileşeninin bağlantı türüne göre baskı kapaklı ve taşıyıcı silikonlu (taşıyıcı macunlu/strüktürel silikonlu) sistemler olmak üzere iki alt başlıkta incelenmiştir.

### 2.2.1.1 Montaj türüne/Yapım yöntemine göre giydirme cephe sistemleri

**Çubuk sistem:** Katlar arasında bina taşıyıcı sistemine asılan kaplama ya da dış duvar sistemi olarak tanımlanan çubuk sistem bilinen en eski giydirme cephe sistemidir (Quirouette, n.d). Çubuk sistem, döşeme kat hizasına yerleştirilen tespit bileşenlerine/ankrajlara düşey ve yatay taşıyıcı profillerin montajıyla oluşturulan taşıyıcı ızgaraya dolgu bileşenlerinin içeriden ya da dışarıdan takılmasıyla oluşturulmaktadır (Akkaya, 1995; Aygün, 1996). Çubuk giydirme cephe sistemi çelik ya da alüminyum ankrajlar, düşey (mulyon) ve yatay (tranzom) taşıyıcı profiller/bileşenler/kayıtlar, dolgu bileşeni (opak/spandrel ve saydam/görüş/vizyon), sızdırmazlık bileşenleri (silikon, fitil, conta), ısı yalıtım bileşeni ve metal tavalardan (metal backpan) oluşmaktadır. Bunlara ek olarak ankraj, alüminyum bağlayıcı bileşenler, ayar takozu (setting blocks), köşe takozu, baskı profili/çıtası ve baskı kapağı gibi çeşitli donanımlara sahiptir (Quirouette, n.d). Çubuk sistemin montajında basit el aletleri kullanılmaktadır. Ayrıca sistemin yapısı gereği kolay bakım-onarım ve değişim olanağı sunmaktadır (Wong, n.d).

Fabrika ortamında üretilen cephe bileşenlerinin şantiye ortamında bir araya getirilmesiyle sistemin montajı gerçekleştirilir. Öncelikle düşey taşıyıcı profiller ankrajlar yardımıyla bina taşıyıcı sistemine asılmaktadır. Düşey taşıyıcı profillerin montajı sırasında genleşme ve çeşitli yapısal hareketlere karşı (rüzgâr, deprem, ısı, vb.) dayanım göstermesi için profiller arasında hareket derzleri/boşlukları bırakılmaktadır. Yatay taşıyıcı profiller düşeylerin arasına yerleştirilerek taşıyıcı çerçeve oluşturulmaktadır. Dolgu bileşenleri (opak ve saydam) oluşturulan taşıyıcı çerçeveye bağlanmaktadır. Dolgu bileşeninin taşıyıcı bileşenlere montajının yapıldığı noktalarda sistemin ısı ve geçirimsizlik performanslarının sağlanması için EPDM (Ethylene Propylene Diene Monomer) fitiller kullanılmaktadır. Döşeme altına gelen kısımlarda genellikle opak dolgu bileşenleri tercih edilmektedir. Opak dolgu bileşeni olarak renkli cam üniteleri ya da çeşitli opak paneller (alüminyum, paslanmaz çelik, bakır, taş, vb.) kullanılabilir. Opak bölümler hava ve buhar geçirimsizliği sağlayacak biçimde metal tavalarla kapatılır. Bu bölümler yüksek yoğunluklu cam yünü, taş yünü gibi ısı yalıtım malzemeleriyle doldurulur. Baskı kapaklı sistemlerde dolgu bileşenlerinin birleşim noktaları baskı profili ile kapatıldıktan sonra üzerine baskı kapağı takılarak sistemin montajı tamamlanır (Quirouette, n.d).

Çubuk sistemler dolgu bileşeninin bağlantı türüne göre baskı kapaklı ya da taşıyıcı silikonlu olarak tasarlanabilmektedir. Kapaklı sistemlerde dolgu bileşeni oluşturulan taşıyıcı çerçeveye dışarıdan yerleştirilen bir baskı profili yardımıyla sabitlenmektedir (Şekil 2.3). Mekanik olarak tespit edilen bu profilin üstüne takılan bir kapak yardımıyla profiller gizlenmektedir (Url-2, 2017). Baskı profillerinin cam üzerine gelen yüzeylerinde EPDM fitiller yerleştirilir. Baskı profilinin iç yüzeyinde kullanılan bu fitiller yardımıyla cam ve profil arasındaki etkileşim azaltılmakta ve bu noktalarda su sızdırmazlık ve geçirimsizlik (hava, ses, toz, vb.) sağlanmaktadır. Profil üzerinde kullanılan ısı bariyeri yardımıyla sistemde ısı geçişinin azalması sağlanmaktadır (Atalay, 2006).



**Şekil 2.3** Baskı kapaklı çubuk sistem örneği (CMHC, 2004).

Taşıyıcı silikonlu sistemler ise son zamanlarda estetik kaygılar nedeniyle en çok tercih edilen sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemde dolgu bileşenleri taşıyıcı çerçeve üzerine uygulanan taşıyıcı özellikteki silikon yardımıyla tutturulmaktadır. Taşıyıcı çerçeve ile cam ünitesi arasında taşıyıcı silikonla beraber EPDM fitiller de kullanılmaktadır. Bu sistemde cephe yüzeyinde baskı kapaklı sistemde olduğu gibi baskı kapakları görünmemekte, cam ünitelerinin de sürekliliği sağlanmaktadır.

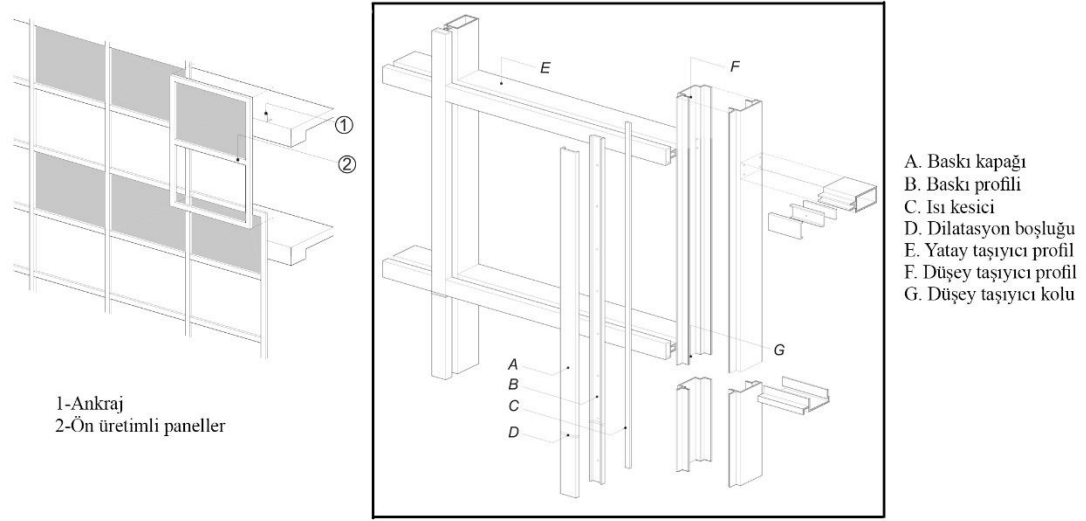
Çubuk sistemin birçok parçadan oluşması bina kabuğunun tamamlanma süresinin uzamasına, yoğun işçilik gereksinimine ve şantiyedeki işçilik maliyetinin yükselmesine neden olmaktadır. Ayrıca sistemin çok parçalı olması ve montajının dış ortam koşullarında yapılması montaj sürecinde işçilik ve çevresel etmenler kaynaklı sorunların oluşumuna yol açabilmektedir. Giydirme cephe sistemlerinin hava geçirimsizlik ve su sızdırmazlık performansının sağlanmasında sızdırmazlık

bileşenleri önemli bir role sahiptir. Çubuk sistemlerinin çevresel koşullara açık biçimde montajının yapılması nedeniyle sızdırmazlık bileşenlerinin uygulama süreci büyük dikkat gerektirmektedir. Sistemin iyi bir sızdırmazlık performansına sahip olması için montaj sırasında silikonun kuru ve temiz yüzeylere, uygun sıcaklık ve nem koşulları altında uygulanması gerekmektedir. Aksi durumlarda yeterli tutuculuğun sağlanmaması nedeniyle yaşam sürecinin ilerleyen safhalarında özellikle su ve hava sızıntısı gibi problemlerle karşılaşilmektedir (ASCE, 2013).

**Panel Sistem:** Son dönemde yaygın olarak bina cephelerinde görülen panel sistem tüm bileşenlerin fabrika ortamında bir araya getirilmesiyle oluşturulmaktadır (Şekil 2.4). Hazırlanan panellerin şantiye ortamında bina taşıyıcı sistemine asılmasıyla sistemin montajı tamamlanmaktadır (Boswell, 2013). Panel sistem bileşenlerinin kapalı bir ortamda, çevresel etmenlere maruz kalmadan bir araya getirilmesi sistemi daha dayanıklı hale getirmektedir (ASCE, 2013). Kapaklı panel sistemde yatay ve düşey kayıtların üzerine yerleştirilen ısı bariyeri yardımıyla ısı geçişi en aza indirilmektedir. Çubuk sistemde olduğu gibi kapaklı panel sistemin dış yüzeyinde kullanılan baskı kapakları görünmektedir. Panellerin birleşim noktalarında kullanılan fitiller yardımıyla sistemin sızdırmazlığı sağlanmaktadır. Taşıyıcı silikonlu panel sistemde dolgu bileşeni (örneğin cam ünitesi) taşıyıcı silikon yardımıyla panel sistemin taşıyıcı çerçevesine tutturulmaktadır (Çelebi, 2017).

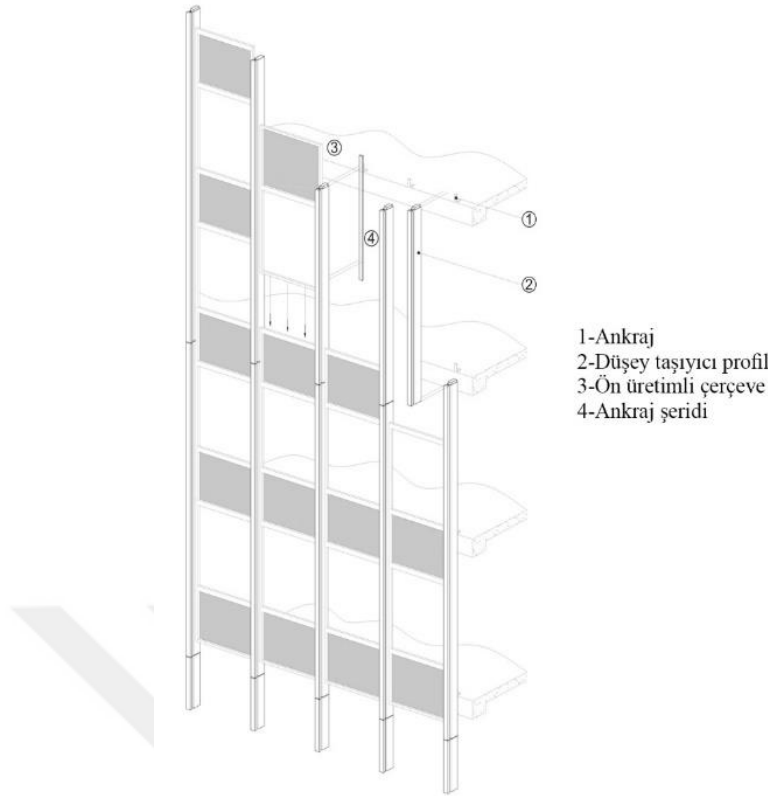
Kendi içinde kapalı bir sistem olması ve yapım sistemi gereği daha az birleşim noktasına sahip olması sızdırmazlık/geçirimsizlik performansının diğer sistemlere oranla daha iyi olmasını sağlamaktadır. Her panelin montajı öncelikle kendi içinde yapılmaktadır. Panel sistem tasarımı gereği üç yönde hareket edebilecek biçimde uygulanmaktadır. Bu durum cephe sisteminin yapısal hareketlere karşı daha uyumlu olmasını sağlamaktadır. Ön üretilmiş panellerin montaj süresinin kısa olması, şantiye ortamında daha az işçilik gerektirmesi, işçilik maliyetinin düşük olması ve işçilik kaynaklı hasar oluşma riskinin düşük olması panel sistemlerin tercih edilme nedenlerindendir (Allana ve Carter, 2012; Gür, 2001). Büyük paneller halinde takılabilmesi, hızlı montaj imkânı sunması ve bileşen sayısının az olması gibi özellikleri sayesinde özellikle yüksek yapılarda tercih edilmektedir. Panellerin birleşim mekanizmasında birbirini kilitlemesi nedeniyle bakım-onarım ve panel değişimi yapmak diğer sistemlere göre zor olabilmektedir (Wong, n.d). Panel sistemin

maliyetinin yüksek olması ve montaj sırasında vinç gerektirmesi sistemin sakıncalarındandır.



Şekil 2.4 Panel sistem örneği (CMHC, 2004).

**Yarı panel sistem:** Çubuk sistemin ekonomikliği ve panel sistemin hareket uyumunu bir araya getiren sistemlerdir (Atalay, 2006). Kat yüksekliği kadar üretilen düşey taşıyıcı profiller bina taşıyıcı sistemine çubuk sistemde olduğu gibi monte edilir (Şekil 2.5). Düşey taşıyıcı profillerin kat bazında yatay taşıyıcı profiller ile birleştirilmesiyle sistem sürekli bir eleman haline dönüştürülmektedir. Ardından dolgu bileşenlerinin montajı yapılarak sistem tamamlanmaktadır (Gür, 2001). Sistem bina yüksekliği boyunca bütün olarak görünmesine rağmen her kat kendi içinde bağımsız gibidir (Doğruel, 2010). Yarı panel sistemin avantajı, panel sistemin fabrika kalite kontrolünün bir kısmını sağlaması ve maliyetinin görece düşük olmasıdır. Panel sisteme oranla daha az özel üretim/tasarım (less customization) gerektirmesi yarı panel sistemin üretim sürecini de kısaltmaktadır (Sanders, 2006). Teslim sürecindeki faktörleri, montaj kolaylığını ve ekonomiyi dengede tutması nedeniyle orta ölçekli yapılar için en uygun sistemlerdir (Wong, n.d).



**Şekil 2.5** Yarı panel sistem örneği (CMHC, 2004).

#### **2.2.1.2 Giydirme cephe sistem türü seçiminde etkili olan etmenler**

Giydirme cephe sistemleri çok katlı ticari ya da konut türü yapılarda tercih edildiği gibi, çeşitli nedenlerle düşük maliyetli ya da az katlı binalarda da tercih edilmektedir. Giydirme cephe sistem türünün seçimi çok kolay olmamakla birlikte seçim sürecinde en etkili faktörler maliyet (cost), estetik (aesthetic), zaman ölçeği (timescale), erişim sınırlamalarıdır (access limitation) (CWCT, 2000a).

Genel olarak çubuk sistem en düşük maliyete sahip olan sistemdir. Karmaşıklık düzeyinin ve fabrika montajının artması sistem maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca sistemlerde standart olmayan kalemlerin sayısının artması, yalnızca kullanılan ek malzeme maliyeti nedeniyle değil aynı zamanda bileşen-sistem bütünlenmesi için gerekli olan ek tasarım çalışması nedeniyle sistem maliyetinin artmasına yol açmaktadır. Ayrıca sistem testlerinin yapılmasının zorunlu olması da sistem maliyetinin artmasına neden olan bir diğer konu olarak karşımıza çıkmaktadır (CWCT, 2000a).

Görünüşün önemi yapının nasıl görünmesini istediğimize bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Prestijli bir bölgede, çok görünen bir mevkide yer alan bir yapının cephe sisteminin daha yüksek maliyetli malzeme ya da sistem türüne sahip olması

talep edilebilmektedir. Yapının cephesi, diğer yapılar arasında övgüyle bahsedilen ya da zıtlık oluşturacak şekilde tasarlanabilmektedir (CWCT, 2000a).

Sistem seçimindeki bir diğer önemli konu süredir. Yapılan sözleşmelere bağlı olarak cephe sisteminin montaj süresiyle ilgili sınırlamalar olabilmektedir. Örneğin çubuk sistemin montajının hızlı başlamasına karşın, montaj süresi panel sisteme göre daha uzun sürebilmektedir. Benzer biçimde panel sistemin fabrikada hazırlanıp şantiyeye getirilmesinde de süreyle ilgili sorunlar yaşanabilmektedir. Panellerin üretim sürecinin uzaması nedeniyle şantiyeye geç getirilmesi ya da üretimin erken tamamlanarak panellerin şantiyeye getirilmesi nedeniyle depolama maliyetinin artması gibi problemler ortaya çıkabilmektedir (CWCT, 2000a).

Bakım-onarım kolaylığı süre ve maliyetle ilişkili önemli konulardan biridir. Örneğin cam ünitelerinde oluşan hasarların bakım-onarım süreci ve maliyeti, sistem türü ve cam ünitesinin bağlanma şekline göre değişiklik gösterebilmektedir.

Cam ünitelerinde oluşan problemlerin (örneğin kırılma) cephe sisteminde ileri düzeyde hasara neden olmayacak biçimde tasarlanması, başka bir deyişle, cephe tasarımında bakım-onarım sürecinin dikkate alınması özellikle maliyetle ilgili konularda büyük önem teşkil etmektedir. Ayrıca mimar yapının farklı cepheleri için birden çok cephe türünü bir arada kullanabilmektedir. Bu noktada tasarım geliştirme ve test aşamaları boyunca sonradan ortaya çıkabilecek yapımla ilgili problemleri ve performans problemlerindeki riski en aza indirmek için yapım ara yüzlerine odaklanılmalıdır (CWCT, 2000a).

Sistem türü seçiminde pek çok parametre bir arada düşünülmelidir. Çubuk ve panel sistemin özelliklerine göre üstün ve sakıncalı olduğu durumlar mevcuttur. Çizelge 2.1’de çubuk ve panel giydirme cephe sistemlerinin özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

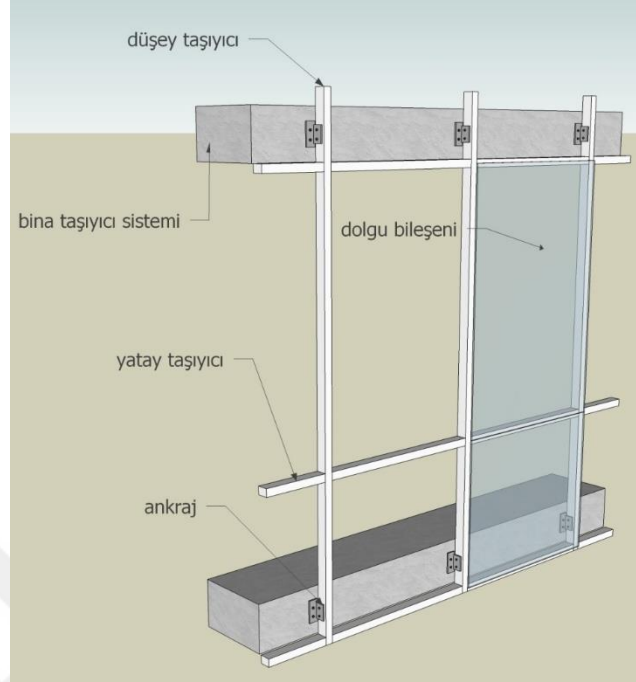
**Çizelge 2.1** Çubuk ve panel sistem karşılaştırması (Watts, 2014; Wong, n.d; Url-3, 2018).

| Seçim ölçütleri                                    | Çubuk sistem                                                                                                                                                               | Panel sistem                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Bileşen sayısı</b>                              | Çok sayıda bileşen içermektedir.                                                                                                                                           | Paneller halinde üretilir.                                                                                                                                                                                         |
| <b>Birleşim yeri</b>                               | Sistemin montajı şantiye ortamında yapılır.                                                                                                                                | Paneller fabrika ortamında hazırlanır.                                                                                                                                                                             |
| <b>Modülerlik</b>                                  | Modüler olmayan tasarımlar için daha uygundur. Modüllerin boyutları açısından daha özgür tasarım imkânı sunar.                                                             | Modüler tasarımlar için daha uygundur.                                                                                                                                                                             |
| <b>Duvarın biçimi (Wall configuration)</b>         | Karmaşık geometrilere daha uygundur.                                                                                                                                       | Modüler geometrilere daha uygundur.                                                                                                                                                                                |
| <b>Proje büyüklüğü / Kat sayısı</b>                | Genellikle az katlı yapılarda tercih edilmektedir.                                                                                                                         | Genellikle çok katlı yapılarda tercih edilmektedir.                                                                                                                                                                |
| <b>Ulaşılabilirlik ve Güvenlik</b>                 | Dışarıdan erişim gereklidir. Montaj için iş iskelesi gerektirir.                                                                                                           | İçeriden ayarlanabilir. Dışarıdan ayarlama yapmak opsiyoneldir. Montaj için iş iskelesi gerektirmez.                                                                                                               |
| <b>Uygulama süresi ve şantiye işçilik maliyeti</b> | Uygulama (montaj) süreci uzundur. Bu nedenle işçilik maliyeti yüksektir.                                                                                                   | Fabrika üretimi sayesinde uygulama (montaj) süresi kısadır. Daha kaliteli olmasının yanında sistem maliyeti yüksektir.                                                                                             |
| <b>Montaj kalitesi</b>                             | Tüm bileşenlerin şantiyede (dış ortam koşullarında) bir araya getirilmesi nedeniyle montaj kalitesi düşüktür. Yapım süreci kaynaklı sorunlarla karşılaşma oranı yüksektir. | Tüm bileşenlerin fabrika ortamında bir araya getirilerek ön üretimli panellerin halinde montajının yapılması nedeniyle montaj kalitesi yüksektir. Yapım süreci kaynaklı sorunlarla karşılaşma oranı daha düşüktür. |
| <b>Yapısal hareketlere uyum</b>                    | Yapısal hareketlere karşı uyum kabiliyeti düşüktür.                                                                                                                        | Bina taşıyıcı sistemine montaj biçimi sayesinde yapısal hareketlere karşı uyum kabiliyeti yüksektir.                                                                                                               |
| <b>Bakım-onarım</b>                                | Bakım onarım sırasında değişim yapmak kolaydır.                                                                                                                            | Bakım onarım sırasında değişim yapmak zordur.                                                                                                                                                                      |
| <b>Birleşim yeri</b>                               | Çok sayıda birleşim yeri içermektedir.                                                                                                                                     | Birleşim yeri sayısı daha azdır.                                                                                                                                                                                   |
| <b>Cam ünitesinin montajı</b>                      | Şantiye ortamında monte edilmektedir.                                                                                                                                      | Fabrika ortamında monte edilmektedir.                                                                                                                                                                              |
| <b>Değişiklik/Tadilat</b>                          | Şantiyede düzenleme yapılabilir                                                                                                                                            | Ön üretimlidir.                                                                                                                                                                                                    |

## 2.2.2. Giydirme cephe sistemlerinin bileşenleri ve özellikleri

Giydirme cephe sistemleri düşey ve yatay taşıyıcı profiller (düşey ve yatay kayıt), dolgu bileşeni/kapatma paneli (spandrel/opak ve görüş camları), sızdırmazlık

bileşenleri (silikon ve fitiller) ve tespit bileşenleri/ankrajlar olmak üzere dört temel bileşenden oluşmaktadır (Şekil 2.6).



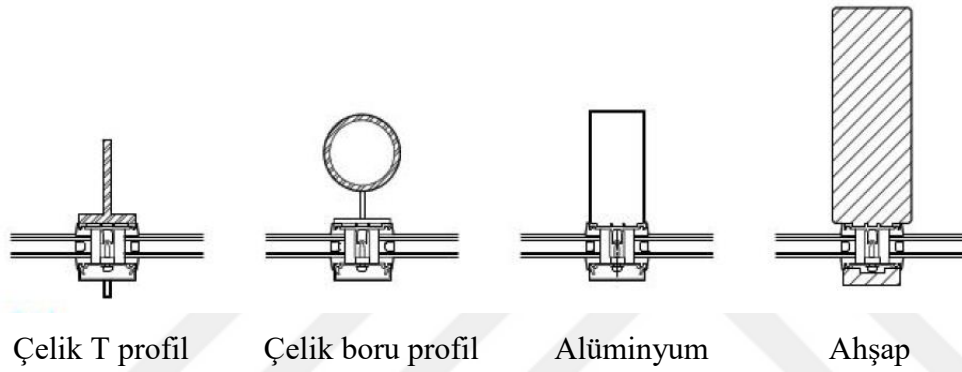
**Şekil 2.6** Giydirme cephe sistem bileşenleri.

#### **2.2.2.1 Taşıyıcı profiller (Taşıyıcı bileşenler/Yatay ve düşey kayıt)**

Taşıyıcı profiller cephe sisteminin kendi öz ağırlığını ve üzerine etki eden yükleri karşılayıp ankrajlar yardımıyla güvenli biçimde bina taşıyıcı sistemine ileten yapısal çerçeve bileşenleridir. Literatürde taşıyıcı profiller, taşıyıcı bileşenler, yatay kayıt (transom) ve düşey kayıt (mulyon) olarak kullanılmaktadır. Giydirme cephe sistemlerinde taşıyıcı çerçeve çelik veya alüminyum düşey ve yatay konumlandırılan profillerden meydana gelmektedir. Sistemler yalnızca düşey profillerden meydana gelebileceği gibi yatay taşıyıcı profillerle de desteklenebilmektedir. Düşey taşıyıcı profiller kat hizalarında ankrajlar yardımıyla bina taşıyıcı sistemine bağlanmaktadır. Düşeylerin arasına takılan yatay taşıyıcı profiller cephe sistemine takılan cam ve dolgu bileşenini desteklemektedir. Düşey taşıyıcı profiller sistemin kendi ağırlığına ve üzerine gelen yüklere (yapısal hareketlere ve iklimsel koşullar) dayanım gösterecek şekilde boyutlandırılmaktadır. Sistemin sağlaması gereken performans ölçütleri ve önyüz yerdeğiştirme miktarları taşıyıcı profillerin boyutlandırılmasında dikkate alınması gereken önemli noktalardır. Taşıyıcı çerçeve bileşenlerinin geçtiği açıklık (yatay ve düşey) ve çerçeve bileşenleri arasında yük aktarılan yüzey (tributary area),

taşıyıcı profillerin derinliğini, kalınlığını ve geometrisini belirleyen etmenlerdir (Boswell, 2013).

Giydirme cephe sistemlerinde dayanıklı ve hafif bir malzeme olması nedeniyle ekstrüde alüminyum profiller sıkça tercih edilmektedir (Murray, 2009). Taşıyıcı profiller projeye uygun olacak şekilde farklı kesitlerde, tek bileşenli (boru kesitli) ya da çift bileşenli olarak üretilebilmektedir (Şekil 2.7) (McFarquhar, 2012). Düşey ve yatay bileşenler taşıyıcılık kaynaklı nedenlere bağlı olarak genellikle aynı derinlikte yapılmamaktadır. Ancak, güneş kontrol elemanlarını desteklemesi gerektiği durumlarda ya da görsel nedenlerle ilişkili olarak aynı boyutlarda yapıldığı durumlar mevcuttur (Watts, 2014).



Şekil 2.7 Düşey taşıyıcılarda kullanılan profil kesit örnekleri (Murray, 2009).

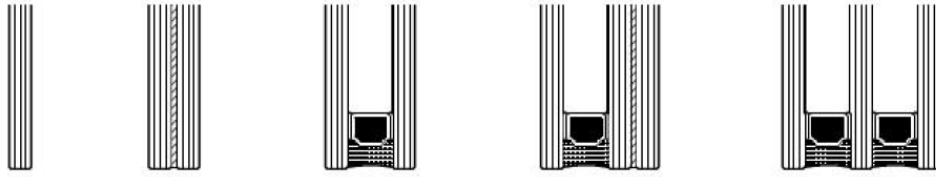
#### 2.2.2.2 Dolgu bileşeni

Dolgu bileşeni, giydirme cephe sisteminin taşıyıcı çerçevesine takılan panellerdir. Dolgu bileşeni opak (spandrel) ya da saydam (görüş/vizyon) paneller halinde kullanılabilir. Çalışmada alüminyum cam giydirme cephe sistemlerinin ele alınması nedeniyle dolgu bileşeni cam ünitesi üzerinden açıklanacaktır.

Cam ünitesi, kullanıcıların iç ve dış mekân arasında görsel ilişkisini kuran ve iç mekânın gün ışığından yeterli düzeyde faydalanmasını sağlayan cephe bileşenidir. Ayrıca yapının enerji performansı açısından cam üniteleri büyük öneme sahiptir. Cam üniteleri türüne, rengine, boyutuna ve dayanımına göre nitelendirilmektedir (ASCE, 2013).

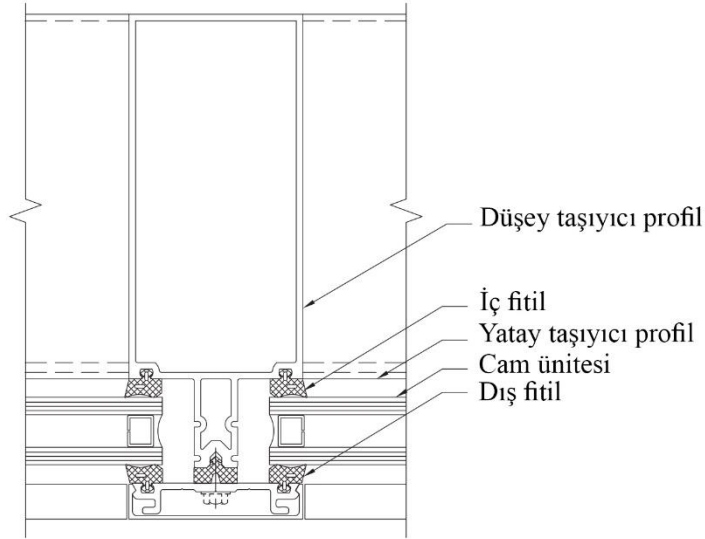
Giydirme cephelerde kullanılan cam ünitelerinin üretim sürecine bağlı olarak fiyat, dayanıklılık, darbe dayanımı, güvenlik ve kararlılığına göre çeşitleri mevcuttur. Float cam, tavllanmış cam (annealed glass), temperli cam, ısıya dayanıklı ve kimyasallara dayanıklı cam, lamine cam, yalıtımlı cam ünitesi (insulating glazing units), spandrel

(renkli) cam olmak üzere çeşitleri bulunmaktadır (Sanders ve Hargrove, 2012). Giydirme cephe sistemlerinde cam türü ve kalınlığı sistemin ihtiyacına göre seçilmektedir. Yapının ısı ve nem kontrolünün sağlanması için genellikle ısı yalıtımlı cam üniteleri tercih edilmektedir (Şekil 2.8). Giydirme cephelerde vizyon camları tek, çift ya da üçlü cam olarak uygulanabilmektedir. Görüş camlarında genellikle şeffaf cam tercih edilmektedir (Ouirouette, n.d). Opak kısımlar içeride yer alan servis sistemlerini ya da taşıyıcı sistemleri görsel açıdan gizlemek için kullanılan dolgu panellerdir. Cephenin görünüşünde sürekliliğin sağlanmasına yardımcı olurken, yalıtım seçenekleriyle birlikte sistemin ısı yalıtım performansına katkı sağlamaktadır (Url-4, 2018). Opak panel ünitelerinde renkli camlar, yapay taşlar, kompozit panel gibi bileşenler tercih edilmektedir. Opak kısımlarda döşeme-cephe birleşimlerinde oluşabilecek ısı geçişlerinin önlenmesi amacıyla ısı yalıtımları (taş yünü, vb) kullanılmaktadır. Parapet kısmına yerleştirilen metal taveların iç kısımları ısı yalıtım malzemesiyle doldurulduktan sonra ön kısımda tasarıma uygun/estetik açıdan tercih edilen kaplama malzemeleriyle (renkli cam, taş, vb.) sistem tamamlanmaktadır.



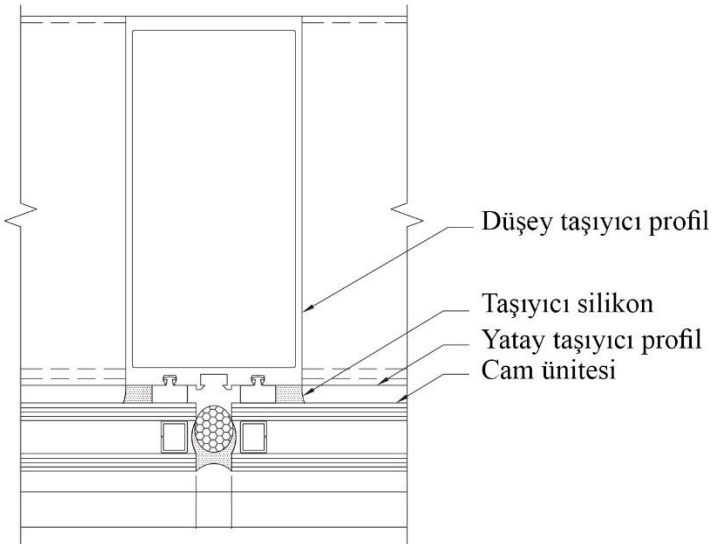
**Şekil 2.8** Giydirme cephe sistemlerinde kullanılan cam ünitesi örnekleri, soldan sağa tek cam, lamine cam, yalıtımlı cam ünitesi, yalıtımlı lamine cam ünitesi, üçlü yalıtımlı cam ünitesi (Murray, 2009).

Sistemlerde kullanılan dolgu bileşeninin kalınlığı ve boyutları, üzerine gelen yatay yükleri karşılayabilecek ve bu yükleri cephe taşıyıcı bileşenlerine güvenli olarak aktarabilecek şekilde hesaplanarak belirlenmektedir. Dolgu bileşeninin türüne göre birçok birleşim yöntemi mevcuttur. Cam ünitesi, taşıyıcı bileşene baskı kapaklı, taşıyıcı silikonlu ya da her iki yöntemin bir arada kullanıldığı şekillerde tespit edilebilmektedir (Şekil 2.11). Baskı kapaklı (dry-glazed) sistemlerde fitil ya da taşıyıcı/yapısal bant (structural tape) kullanılarak cam ünitesi profildeki yuvaya yerleştirilir. Cam ünitesi (dolgu bileşeni) dış kısmından yerleştirilen baskı profillerinin (baskı profili ve fitil) vida yardımıyla taşıyıcı profillere tespit edilmesiyle sabitlenir. Baskı profilinin üzerine takılan baskı kapağı yardımıyla profil gizlenir (Şekil 2.9). Sistem tasarımına göre cam ünitesi iç ya da dış kısımdan takılabilmektedir (Boswell, 2013; ASCE, 2013).

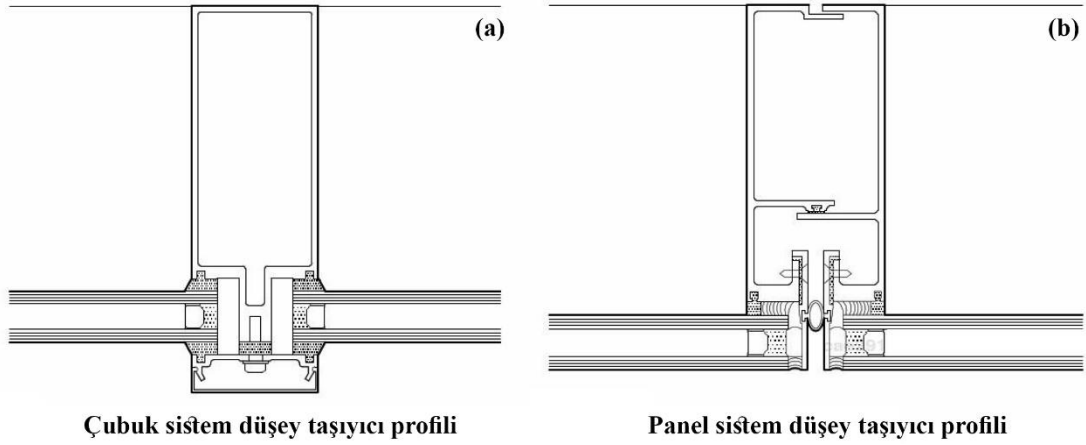


**Şekil 2.9** Baskı kapaklı sistem (ASCE, 2013).

Taşıyıcı silikonlu sistemlerde ise (ıslak birleşimli-wet glazed), dolgu bileşeni birincil bağlayıcı bileşen olan taşıyıcı silikon yardımıyla taşıyıcı çerçeveye bağlanır (Şekil 2.10). Cam ünitesi, taşıyıcı silikon ve taşıyıcı bileşenin sistem üzerine etkiyen yatay yüklere karşı yeterli dayanıklılığı gösterecek düzeyde birbirini tutması beklenmektedir. Bu nedenle sistemlerde silikonun doğru biçimde uygulanması sistem performansının sağlanmasında büyük öneme sahiptir. Silikonun sabit iklimsel koşullar altında (genellikle fabrika ortamında) ve temiz yüzeye uygulanması dayanıklı ve güvenli sistem tasarımı için gereklidir (Boswell, 2013; ASCE, 2013).



**Şekil 2.10** Taşıyıcı silikonlu sistem (ASCE, 2013).



**Şekil 2.11** Baskı kapaklı çubuk sistemde düşey taşıyıcı profil (a), Yapısal silikonlu panel sistemde düşey taşıyıcı profil (b) (Murray, 2009).

Ayrıca giydirme cephe sistemlerinde cam ünitelerinin montajı noktasal bağlantılı (point supported) ve kablolu (cable net) sistemlerle de yapılabilmektedir. Noktasal bağlantılı sistemlerde kullanılan bileşenler sistem için özel tasarlanmaktadır. Detaylandırma büyük dikkat ve koordinasyon gerektirmektedir. Ayrıca birleşim noktalarının dayanıklılığı (özellikle yük aktarım konusu) uygulama öncesinde yapılan testlerle belirlenmelidir. Kablolu sistem estetik açıdan iyi görünmesinin yanında oldukça maliyetli bir sistemdir. Yük aktarımını etkilemesi nedeniyle tasarımının ve montajının çok iyi şekilde yapılması gereklidir (ASCE, 2013).

Dolgu bileşeninin birleşim türünün tasarımcı tarafından seçilmesinde sistemin görünüşü, performans gereksinimleri dikkate alınmalıdır. Tüm dolgu bileşenlerinin yatay ve düşey kesişim noktaları görsel düzen, taşıyıcılık kapasitesi ve iklimsel kontrolün sürekliliği konularının yakın ilişkili olarak düşünülmesini gerektirmektedir (Boswell, 2013).

### 2.2.2.3. Sızdırmazlık bileşenleri

Sızdırmazlık bileşenleri, dolgu bileşeni ile taşıyıcı profiller arasında ve paneller arasında sızdırmazlığın sağlanması amacıyla kullanılan fitil, yalıtım macunu (silikon), conta gibi bileşenlerdir. Cam ünitesinin taşıyıcı çerçeve ile birleşiminde farklı birleşim türlerine uygun sızdırmazlık bileşenleri seçilmektedir. Baskı kapaklı sistemlerde baskı profilinin arkasında ve taşıyıcı profil üzerinde yer alan fitillerin arasında (cam ünitesinin iç ve dış yüzeyinde) dolgu fitili sıkıştırılmaktadır. Taşıyıcı silikonlu sistemde ise dolgu bileşeni profilin üzerine uygulanan taşıyıcı silikon yardımıyla cephe sistemine sabitlenmektedir. Taşıyıcı silikonlu sistemlerde sızdırmazlığı

sağlamak amacıyla cam ünitesinin iç yüzeyinde sızdırmazlık fitilleri de kullanılmaktadır.

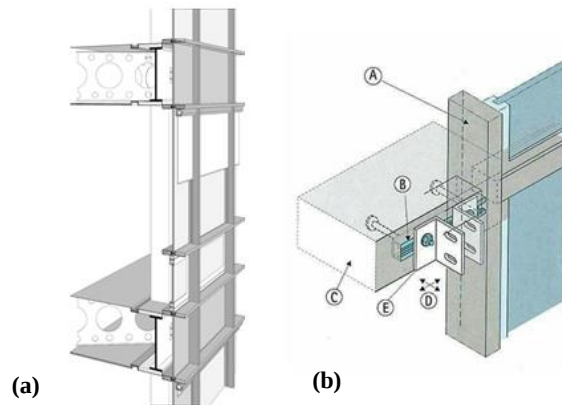
Giydirme cephe sistemlerinde iklimsel sızdırmazlık ve yapısal hareketlere uyum sağlamak, yükleri karşılamak ve dağıtmak (distribute and absorb the loads), toleranslara uyum sağlamak için fitiller (gasket) kullanılmaktadır. Uygulamada birçok fitil çeşidi mevcuttur. Fitiller şekilsel kararlılık, iklimsel dayanım, yüksek ve düşük sıcaklık altında çalışma kapasitesi ve kopma dayanımı gibi özelliklerine bağlı olarak tercih edilmektedir. Bu özelliklerin yanında maliyet fitil seçiminde önemli bir etmen olarak karşımıza çıkmaktadır. Fitiller EPDM, neopren, termoplastik lastik, vb. malzemelerden yapılabilmektedir (CWCT, 2001). Sistemin prensibine bağlı olarak iç ve/ya da dış fitiller kullanılmaktadır. Dış fitiller dolgu bileşeni ve baskı profili arasında, iç fitiller dolgu bileşeni ile ana taşıyıcı profil arasına dolgu bileşeninin güvenli biçimde sıkıştırılmasını ve sistemin sızdırmazlığını sağlamaktadır.

Yalıtım macunları ise hava sızdırmazlık, su sızdırmazlık, hava ve su sızdırmazlık ya da iç kısımda kullanılan macunu korumak için kullanılır. Yalıtım macunları bağlandıkları bileşenleri tutmalı, kopma dayanımına sahip olmalı ve dayanıklı olmalıdır. Yalıtım macunlarının ömürleri, etmenlere karşı yeterli biçimde korunmadığı ya da sızdırmazlığın sağlanamadığı durumlarda tasarlanan bina ömründen kısa olmaktadır. Yalıtım macunlarında genellikle sentetik macunlar tercih edilirken, zaman içerisinde sertleşen yağ esaslı macunlar çok uygun olmamaktadır. Yalıtım macunu uygulamalarında temizleyici (cleaner), astar (primer), derz dolgu fitili (backer rod) kullanılmaktadır. Macun uygulamasından önce temizleyici yardımıyla yüzey kalıntılardan temizlenir. Genellikle kullanılan solvent esaslı temizleyici yardımıyla yüzey yağdan arındırılır. Temizleyiciler, yüzey malzemesi ve macun malzemesine uygun olarak seçilmektedir. Yüzey üzerinde kullanılmadan önce temizleyiciler belirli bir bölgede denenmelidir. Yüzey temizliğinin ardından gerçekleştirilen astar uygulamasıyla yüzey tutuculuğu sağlayacak şekilde hazırlanır. Astar yalıtım macununun yüzeye nüfuz etmesini önlemek, tutuculuğu arttırmak ya da yüzey ve macun arasında kimyasal bağlantıyı sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Derz fitili ise derzin şeklini korumak ve çok derin olan derzlerde macunun gereksiz kullanımını önlemek amacıyla yalıtım macunu uygulamasından önce kullanılmaktadır (CWCT, 2001). Taşıyıcı silikon giydirme cephe sistemlerinde dolgu bileşeninin profile taşınmasını ve sistemde sızdırmazlığı sağlamaktadır. Sistem üzerine etkiyen yatay

yükler (rüzgâr yükü vb.) silikon yardımıyla dolgu bileşeninden taşıyıcı bileşenlere aktarılır. Silikonun boyutları, panelin boyutları, sisteme etki eden yatay yükler ve ısı hareketler düşünülerek belirlenmelidir. Taşıyıcı silikonlu sistemler su ve hava sızdırmazlığı azaltması, hava kaynaklı sese karşı akustik konfor sağlaması, doğal ısı kesici görevi görmesi, ısı kaynaklı gerilmeleri azaltması, kolay temizlenmesi ve hızlı montaj gibi avantajlara sahiptir (Tanno ve Happold, 1997).

#### 2.2.2.4. Ankrajlar (Tespit bileşenleri)

Tespit bileşenleri/Ankrajlar cephe sisteminin bina taşıyıcı sistemine (birincil taşıyıcı sistem) ya da sırt duvarına tespit edilmesini sağlayan bileşenlerdir (CWCT, 2005a). Giydirme cephe sistemlerinin ağırlığını (ölü yüklerini) ve cephe sisteminin üzerine etki eden çevresel yükleri (rüzgâr, deprem, vb.) bina taşıyıcı sistemine güvenli biçimde aktarılmasını sağlamaktadır. Bina taşıyıcı sistemi, içerisine gömülmüş ankraj ya da plakaya ya da ankrajın sisteme takılabilmesi için gerekli diğer bileşenlere sahip olmalıdır (Boswell, 2013; Gür, 2001). Ankrajlar döşeme altına, ortasına ya da üstüne çelik dübeller yardımıyla monte edilebilmektedir (Şekil 2.12). Ankrajların sayısı cephe üzerine etki eden etmenler, sistemin ağırlığı ve sıcaklık gibi etmenlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Oraklıbel, 2014; ASCE, 2013; MEB, 2012). Ankrajların yeterli dayanıma sahip olması, ayarlanabilir olması, kolay montaj olanağı sunması ve korozyona karşı yüzey koruması yapılması gerekmektedir (Gür, 2001). Ankrajlar cephe sisteminden bina taşıyıcı sistemine iletilen tüm momentler ve eksantirik yatay ve düşey yüklerden meydana gelen tüm momentleri karşılayacak şekilde tasarlanmalıdır. Ayrıca birleşimlerde herhangi birinin zarar görmesi durumunda diğerlerinde büyük bir hasara neden olmayacak şekilde tasarlanmalıdır (CWCT, 2005b).

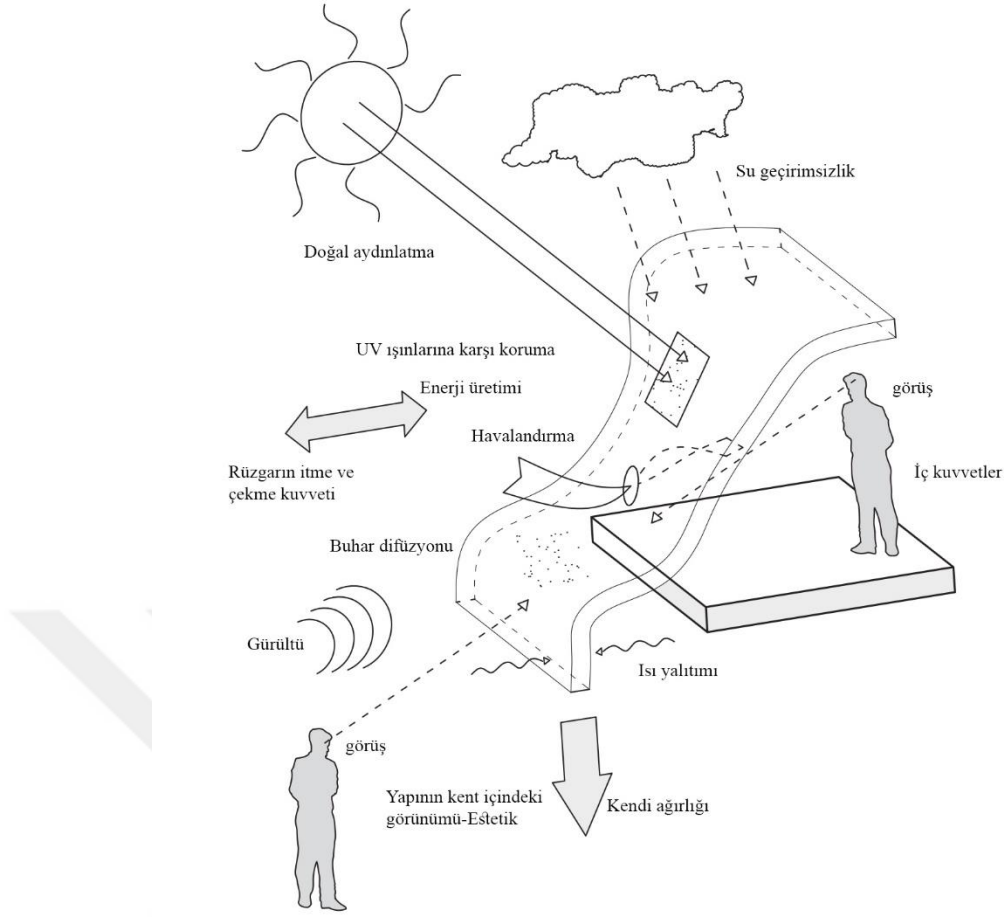


Şekil 2.12 Ankraj bağlantı şeması (a) (Url-5, 2018), (b) (Url-6, 2018).

### 2.2.3. Giydirme cephe sistemlerinin performans özellikleri

Özkan (1976) performans kavramını bir nesne ya da olgunun nasıl olacağı değil, çözüm içerisinde nasıl davranması gerektiği ya da işlevini nasıl yerine getireceği şeklinde tanımlamaktadır. Yapı sistemi üzerinden düşünüldüğünde kullanıcıların gereksinimlerini karşılamalarını sağlayan işlev olarak açıklanabilmektedir. (Özkan, 1976). Sistemlerin performansını etkileyen pek çok etmen bulunmaktadır. Yapı elemanlarının performansının belirlenmesinde kullanıcı konforunu sağlama, sistem ve sistemi oluşturan tüm malzeme/bileşenlerin performansı ve çevresel etmenlere karşı dayanım gösterme gibi konular birlikte ele alınmalıdır.

Cephe sistemleri iç ve dış mekân arasında ayırma işlevine sahiptir. Bu nedenle etki eden çevresel faktörlere karşı yeterli kontrolü sağlayabilmelidir. Cephe sistemleri yapının dış görünüşünü oluşturmali, iç ve dış mekân arasında görsel bağlantı sağlamali, rüzgârdan kaynaklanan basınç ve emme kuvvetlerini karşılamali/sönümleyebilmeli, kendi öz ağırlığını ve diğer bileşenlerin yüklerini taşıyabilmelidir. Ayrıca güneş ışığının iç mekâna girmesine izin verirken, güneşin olumsuz etkilerine karşı gerekli korumayı da sağlayabilmelidir. Yağmur suyuna karşı dayanıklılık göstermeli ve iç mekâna nüfuz etmesini engellemelidir. Sıcak, soğuk ve sese karşı yalıtım sağlarken, gerekli durumlarda enerji de üretebilme özelliğine sahip olmalıdır. Cephe sistemi yaşam dönemi içerisinde birçok çevresel etmene maruz kalmaktadır (Şekil 2.13). Belirtilen performans gereksinimleri cephe sisteminin yaşam dönemi içerisinde kavramsal tasarım aşamasından başlanılarak, yapım ilkelerinin belirlenmesinde, detaylandırma aşamasında ve yapım sürecine kadar iyi düşünülmesi gerekmektedir (Knaack ve diğ, 2007).



**Şekil 2.13** Cephe sistemine etki eden etmenler (Knaack ve diğ, 2007).

### 2.2.3.1 Taşıyıcılık

Giydirme cephe sistemleri taşıyıcı olmayan sistemler olarak tanımlansa da her sistem gibi kendi ağırlığını taşımalı, üzerine etkiyen pozitif ve negatif rüzgâr yüküne karşı dayanıklılık göstermeli ve yükleri bina taşıyıcı sistemine güvenli bir biçimde aktarmalıdır (Chudley, 1987; Foster ve Harington, 1994).

Cephe sistemlerinin üzerine etki eden yatay yüklerin şiddeti yapının yüksekliği, konumu ve yükün etki düzeyine göre değişiklik göstermektedir. Cephe sistemlerinin yeterli dayanım ve rijitliğe sahip olması (strength and stiffness) düşey ve yatay taşıyıcı profillerin en kesit özelliklerine, ankrajlara ve bina taşıyıcı sistemine bağlıdır (Chudley, 1987). Metal ve cam cephe sistemlerinin yük aktarımında üç temel bileşen bulunmaktadır: Birincil taşıyıcı, bina taşıyıcı sisteminin kendisidir. İkincil taşıyıcı, bina taşıyıcı sistemi ve dolgu bileşeni arasındaki ilişkiyi kuran cephenin taşıyıcı sistemidir (taşıyıcı çerçeve). Yük aktarım şemasında yeralan bir diğer bileşen dolgu bileşenidir. Dolgu bileşeninin taşıyıcılık açısından üzerine gelen yükü belirli bir güvenlik düzeyinde karşılaması ve cephe taşıyıcı sistemine güvenli bir biçimde

aktarması gerekmektedir. Aynı şekilde cephe taşıyıcı sisteminin de üzerine etkiyen yükleri bina taşıyıcı sistemine güvenli biçimde iletmesi beklenmektedir. Etki eden çevresel etmenlere bağlı olarak bina taşıyıcı sistemi ile cephe taşıyıcı bileşenlerinin birleşim noktalarında meydana gelen farklı hareketlerin dengede tutulması önemlidir. Bu nedenle, cephe sistemi-taşıyıcı sistem birleşimlerinin ve ankrajların çok iyi tasarlanması gerekmektedir (Knaack ve diğ, 2007; Foster ve Harington, 1994). Bağlantı parçalarının/bileşenlerinin üzerine gelen yükü güvenli biçimde aktarabilmesi için yeterli dayanım, esneklik ve üzerine gelen pozitif ve negatif yükler karşısında eski haline dönebilme özelliğine sahip olması gereklidir (Güzel ve Sönmez, 2002). Cephenin taşıyıcı çerçevesine bağlanan dolgu bileşenleri ise üzerine gelen rüzgâr yüküne karşı yeterli dayanımı gösterirken aynı zamanda iç ve dış ortam arasında ara yüz oluşturarak hava ve su sızdırmazlık sağlamalı ve ısı köprülerinin oluşumunu da engellemelidir (Knaack ve diğ, 2007).

#### **2.2.3.2 Hava geçirimsizlik/sızdırmazlık**

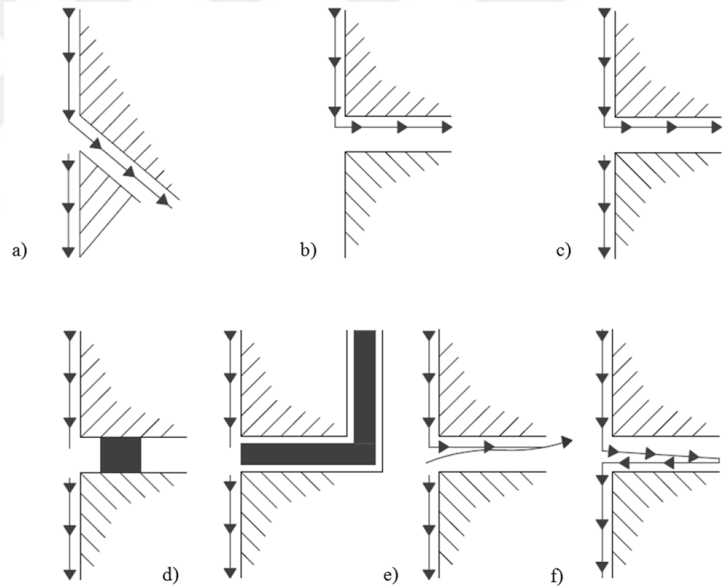
Aksi tanımlanmadığı sürece cephe sistemleri kullanıcı konforunu sağlamak, ısı kayıp ve kazancını sınırlandırmak, rüzgâr kaynaklı gürültüyü azaltmak amacıyla hava geçişini sınırlandıracak şekilde tasarlanmalıdır (CWCT, 2005c). Hava geçirgenlik miktarının yüksek olması, sistemin yeterli su sızdırmazlık performansını da göstermediğine işaret etmektedir. Buradan hareketle sistem performansının sağlanması için hava geçirgenlik oranının kabul edilebilir bir seviyede olması gerekmektedir (CWCT, 2005c; Boswell, 2013).

Giydirme cephe sistemlerinin hava geçirimsizlik performansının sağlanmasında dolgu bileşeni ve taşıyıcı bileşenlerin birleşiminde kullanılan iç ve dış fitiller (EPDM fitiller) önemli bir role sahiptir (İlter, 2016). Sistemlerin hava geçirimsizlik performansı, iklimsel etkilerle oluşan aşınma ve yaşlanmaya, UV ışınlarının etkisine ve esas olarak sızdırmazlık bileşenlerinin performansına bağlıdır. Sistemlerin geçirimsizlik performansları hava akışı kaynaklı oluşan enerji kayıplarının önlenmesinde etkili olmaktadır (TS EN 13830, 2015). Sistemin hava geçirgenlik miktarının gözlem yoluyla tespit edilmesi mümkün değildir. Bu nedenle, tasarlanan giydirme cephe sistemlerine ait bir örneğin uygulama öncesinde standartlarda belirtilen sınır değerlere uygun olarak hava geçirimsizlik koşulunu sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir.

Sistemlerin hava geçirimsizlik performansı ile ilgili ön bilgi sağlanmasında laboratuvar ortamında ve şantiyede yapılan testler yardımcı olmaktadır.

### 2.2.3.3 Su sızdırmazlık ( ve rüzgârla itilen yağmur suyu sızdırmazlık)

Giydirme cephe sistemlerinin su sızdırmazlık performansları iç mekân konforunun sağlanması, binanın ve kullanıcıların ısı konforunun sürekliliğinin sağlanması ve güvenlik açısından büyük öneme sahiptir. Su sızdırmaz sistem tasarımında rüzgârla itilen yağmur suyu ve yoğunlaşma tasarımcıları en çok zorlayan faktörlerdir (ASCE, 2013). Cephe sistemlerinin su geçirimsiz olarak tasarlanması kuru bir iç ortam sağlamanın yanında, cephe bileşenleri ve bitirmelerinin dayanıklılığını sağlamaktadır (CWCT, 2005c). Cephelerde su girişinin çoğunlukla derzlerden kaynaklandığı görülmektedir. Derzlerde su girişi kinetik enerji, yüzey gerilmesi, yer çekimi, kılcallık, rüzgâr basıncı, yüzey gerilimi ve hava akımı nedeniyle meydana gelmektedir (Şekil 2.14) (Güzel ve Sönmez, 2002).



**Şekil 2.14** Derzlerdeki su girişi, Yer çekimi (a), Kinetik enerji (b), Yüzey gerilmesi (c), Kılcal hareket (d), Hava taşınımı (e), Basınç farkı (f) (CWCT, 2001; İltar, 2016).

Giydirme cephe sistemleri dış ortamdan iç ortama su ve nem geçişini engellerken, çeşitli nedenlerle oluşan nemin dış ortama aktarılmasına izin verecek şekilde tasarlanmalıdır. Giydirme cephe sistemlerinde suyun uzaklaştırılmasında üç yöntem kullanılmaktadır. Birincisi kapalı sistem olarak tasarlamaktır. Kapalı sistemler, dış ortam suyunun derz üzerinden akıtılarak sistemden uzaklaştırılması ve derzlerin basınç farklılıklarına karşı sızdırmaz şekilde tasarlanması ilkesine bağlıdır. İkinci yöntem içsel drenaj olarak adlandırılan sistemlerdir. Bu sistemler suyun belirli bir noktada

toplanması ve dışarı atılması ilkesine dayalıdır. Üçüncü yöntem ise basınç dengeli sistemlerdir (Güzel ve Sönmez, 2002).

Rüzgâr basıncının etkisiyle suyun bir kısmı cephe yüzeyinden akarken, bir kısmı bileşenlerin ya da panellerin birleşim noktaları gibi zayıf bölgelerden içeri girmeye çalışmaktadır. Birleşimlerin yapısal hareketlere uyum gösterirken, aynı zamanda su sızdırmazlık işlevini yerine getirmesi beklenmektedir. Giydirme cephe sistemlerinin birleşim noktalarında su sızdırmazlığının sağlanması için dolgu macunu, sızdırmazlık fitili ve metal kapaklar ya da çıtalar (beads) kullanılmaktadır. Detay tasarımının karmaşıklığına göre bu bileşenlerden bir ya da birkaçı aynı anda kullanılabilir (Foster ve Harington, 1994).

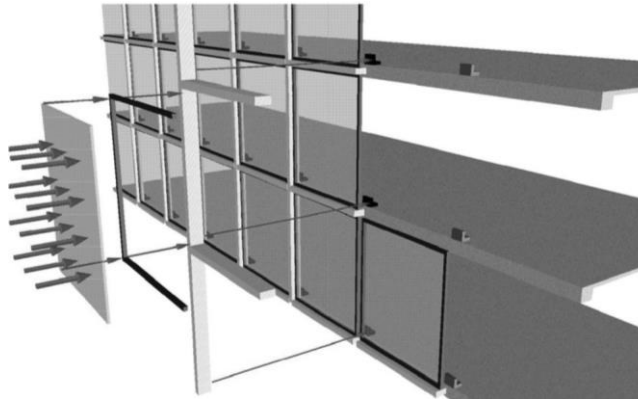
Sistemin yaşam dönemi boyunca performansının sürekliliğinin sağlanması için su sızdırmazlığın yanında nem kontrolünün de sağlanması gerekmektedir. Yoğuşmanın neden kaynaklandığı, hangi bölgelerde görüldüğü ve nem kaynaklı hasarların oluşumunun nasıl azaltılabileceği tasarım aşamasından itibaren düşünülmesi gereken konulardır. Nem kaynaklı hasarların önlenmesinde, sızdırmazlık bileşenlerine ek olarak buhar bariyerlerinin kullanılması fayda sağlamaktadır. Özellikle opak kısımlarda nem kontrolü taş yünü benzeri ısı yalıtımlarının kullanılması nedeniyle ayrı bir öneme sahip olmaktadır (Doğan, 2013). Yaşam dönemi içinde yer alan aşamalara veya çevresel etmenlere bağlı oluşan problemler nedeniyle cam ünitelerinin içerisinde de yoğuşma meydana gelebilmektedir. Bu tür problemlerin önlenmesi için özellikle üretim ve uygulama aşamasında çok dikkat edilmesi gereklidir (Yalaz ve diğ., 2016). Cephe sistemleri farklı şekillerde tasarlanmış olsa da temel hedef iç mekânı kuru ve ılık tutabilmektedir. Bu nedenle sistem ve sistem bileşenleri sızıntı suyu ve yoğuşmaya karşı dayanıklı olmalıdır. Tasarımcılar üretilen sistemlerin detaylandırma ve nemle ilgili stratejilerini iyi anlamalı, drenaj kanallarının kapatılması ya da eteklerin kısa yapılması gibi istenmeyen durumların oluşumuna karşı gerekli önlemleri almalıdır (ASCE, 2013).

#### **2.2.3.4 Rüzgâr dayanımı**

Giydirme cephe sistemi, bina üzerinde rüzgâr yükünün etki ettiği ilk yapı bileşenidir. Rüzgâr özellikle cephe sisteminin taşıyıcı bileşenleri üzerinde etkili olmaktadır. Bu nedenle rüzgâr yüküne dayanıklı cephe iyi bir aerodinamik analiz, yasal kaynaklara (code sources) uygun titiz bir kontrol süreci, doğru malzeme ve geometri / form seçimi,

üretim ve montaj sınırlamalarını dikkate alan doğru bir tasarım gerektirmektedir. Tasarım sürecinde, dış panel yüzeyinden taşıyıcı çerçeve bileşenlerine, taşıyıcı çerçeve bileşenlerinden binanın taşıyıcı sistemine doğru olan etkileşim iyi planlanmalıdır. Özellikle birleşim noktalarındaki detaylandırmaya çok dikkat edilmelidir. Rüzgâr yüküne dayanıklı iyi bir cephe tasarımı, üç boyutlu olarak bileşenlerin yük altındaki davranışlarının, yük dağılımının ve nasıl dayanıklılık gösterdiğinin tespit edilmesiyle mümkün olmaktadır. Bu nedenle cephenin taşıyıcı bileşenleri arasındaki hiyerarşinin iyi tanımlanması ve anlaşılması gerekmektedir (ASCE, 2013). Rüzgâr yükü cephe sistemine pozitif ve negatif yönde etki edebilmektedir. Etki eden rüzgârın şiddeti binanın yüksekliği, etki etme açısı ve binanın konumuna bağlı olarak çok değişiklik göstermektedir (Chudley, 1987).

Yükün ilk etki ettiği nokta cam üniteleri ya da panel yüzeyleridir (Şekil 2.15). Paneller yükleri çerçevedeki mesnetlere iletmektedir. Daha sonra çerçeve yükleri doğrusal olarak devam eden çerçeve bileşenlerine iletmektedir. Genellikle kat yüksekliği boyunca devam eden bu taşıyıcı profiller yüklerini ankrajlar yardımıyla bina taşıyıcı sistemine iletmektedir. Yatay taşıyıcı profiller düşey taşıyıcı profillerin arasına konumlandırılan, üzerine gelen rüzgâr yükü ve ölü yükleri destekleyen ikincil taşıyıcı bileşenlerdir. Ayrıca kullanılan camların kalınlığı, panellerin boyutları (açıklıklar) ve etkiyen yükler rüzgâra karşı dayanıklı tasarım için önemli diğer etmenlerdir (ASCE, 2013).



**Şekil 2.15** Şematik bir cephe sisteminde yük aktarım hiyerarşisi (ASCE, 2013).

Giydirme cephe sistemleri dış ve iç ortam arasında oluşan basınç farkında kırılma, kalıcı deformasyon ya da belirlenen performans özelliklerinden herhangi bir kayıp olmaksızın dayanıklılık göstermelidir (TS EN 13830, 2015). Bina kat yüksekliği arttıkça cephe sistemine etki eden rüzgâr yükü de artış göstermektedir. Rüzgâr

yükünün bölgeden bölgeye ve çevresel koşullara bağlı olarak değişiklik göstermesi nedeniyle cephenin yapılacağı iklimsel koşullar ve coğrafi özellikler düşünülerek belirlenen rüzgâr yükü tasarım aşamasından itibaren dikkate alınmalıdır (Doğan, 2013; Atalay 2006). Giydirme cephelere TS EN 12179 (2000) standardına uygun biçimde rüzgâr testi uygulanabilmektedir. Bu standarda göre en büyük önyüz yerdeğiştirme miktarı;

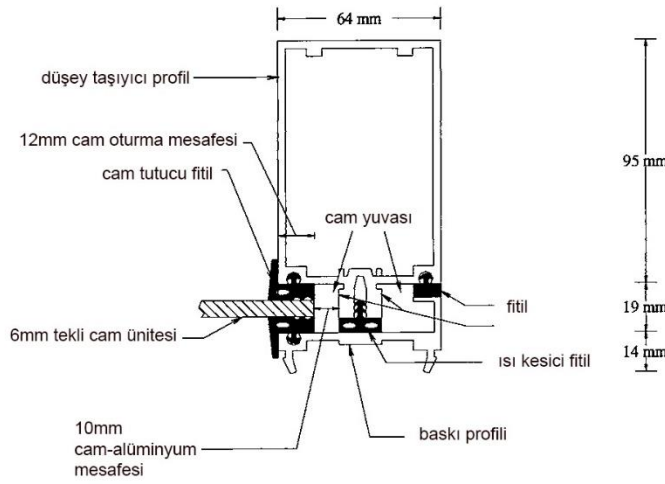
$$\begin{aligned} d < H/200, H < 3000 \text{ mm iken} \\ d < 5 \text{ mm} + H/300, 3000 \text{ mm} < H < 7500 \text{ mm iken} \\ d < H/250, H > 7500 \text{ mm iken} \end{aligned} \quad (2.1)$$

(2.1)'e göre hesaplanır ve belirtilen değerlerin altında kalması beklenir (TS EN 13830, 2015). Rüzgâr yüküne karşı dayanıklı cephe tasarımı için taşıyıcı bileşenlere ek olarak cephe sisteminde yer alan diğer bileşenlerin (cam üniteleri, opak kısımlar, vb.) seçimi ve tasarımına da dikkat edilmelidir. Ayrıca, şiddetli iklimsel koşullar altında etkileyen rüzgâr yükünün artış gösterebileceği düşünülerek tasarım yükünün belirlenmesi ve hesaplamalarda dikkate alınması güvenli bir sistem tasarımı için büyük öneme sahiptir.

#### **2.2.3.5 Deprem dayanımı**

Sistemlerin deprem yüküne karşı dayanım performansı özellikle deprem kuşağı üzerinde yer alan bölgelerde uygulanan yapılar için daha önemli hale gelmektedir. Cephe sisteminin bina taşıyıcı sistemiyle doğrudan ilişkili olması nedeniyle, binanın depreme uygun tasarlanması gibi cephe sisteminin de deprem yükünü karşılayabilecek özellikte tasarlanması gerekmektedir (Doğan, 2013). Deprem etkisine karşı en hassas bölüm cam üniteleridir. Deprem yapısal bileşenlere çok az ya da hiç zarar vermediği yapılarda cam hasarları görülebilmektedir. Genellikle büyük şehirlerde deprem kaynaklı meydana gelen cam hasarlarının, yapısal hasar görebilecek küçük alanlara oranla daha geniş ölçekte gerçekleşmesi beklenmektedir. Bu tür cam hasarlarının ortaya çıkması genellikle alakalı sorunlara, kullanıcı huzurunun bozulmasına ve ekonomik açıdan kayıplara neden olmaktadır. Çeşitli cam türlerinin (örneğin temperli cam), farklı cam ünitelerinin (tek, lamine, yalıtım cam ünitesi), farklı yapı türlerinin (çubuk sistem, panel sistem) ve farklı cam-çerçeve (kuru birleşimli, taşıyıcı silikonlu) birleşimlerinin ortaya çıkmasıyla birlikte farklı tasarım olanağı ortaya çıkmıştır. Ancak, farklı sistemlerin ortaya çıkması, sistem ve sistem bileşenleri arasındaki bağlantıların (örneğin taşıyıcı profiller-cam ünitesi) deprem etkisi altında

davranışlarının doğru anlaşılması gerekliliğini beraberinde getirmiştir (ASCE, 2013). Cam üniteleri özellikle kenar ve köşe noktalarından etki eden yüklere karşı çok hassastır. Cephenin taşıyıcı çerçevesi ile bina taşıyıcı sistemi arasında yapılan sabit birleşimler, deprem anında cephenin gerekli salınımı yapmasına engel olarak taşıyıcı bileşenlerin deforme olmasına ve cam ünitelerinde kırılmaların oluşumuna neden olabilmektedir. Bu tür hasarların önlenmesinde bina-cephe taşıyıcı çerçevesi, cephe taşıyıcı çerçevesi-cam ünitesi birleşimlerinde yeterli hareket boşluklarının/toleranslarının bırakılması etkili olmaktadır. Boşluklarda kullanılan esnek fitiller cephenin taşıyıcı çerçevesi ile cam ünitesi arasında yeterli hareket boşluğunu sağlamaktadır. Esnek fitillerin metal ve cam arasında sıkışmasıyla hasar oluşma riski en aza indirilmektedir (Şekil 2.16) (Url-7, 2018).



**Şekil 2.16** Deprem dayanımına uygun cam ünitesi birleşim detayı (Behr, 2006).

### 2.2.3.6 Yangın dayanımı

Giydirme cephe sistemlerinde korunmayan alanların büyük boyutlu olması nedeniyle yeterli düzeyde yangın dayanımının sağlanması konusu karşılaşılan en büyük sınırlamalardan biridir. Opak panellerde uygun malzeme ve malzeme birleşimlerin kullanılmasıyla yangına dayanıklı bölge olarak sınıflandırılabilen alanların oluşturulması mümkün olabilmektedir (Chudley, 1987).

Bina kabuğunun bazı bölümlerinin yangına yeterli dayanıma sahip olması gerekmektedir. Bu bölümler binaların yakınlığı ve kaçış noktalarının yerleri dikkate alınarak belirlenmesi gereklidir. Bu alanlarda kullanılan giydirme cephe sistemlerinin yeterli yangın dayanımına sahip olması gerekirken, kullanılan çerçeve ve dolgu bileşenlerinin yeterli performansı gösterdiği test edilerek belirlenmelidir. Giydirme

cephe sistemleri normal olarak bina kabuğu üzerinde yangına dayanıklı olması gerekmeyen bölümlerde kullanılmasına karşın yangının yayılmasını önlemek için uygun biçimde detaylandırılmış olmalıdır. Giydirme cephe sistemlerinden yangın dayanımı konusunda beklenen temel performans, dış duvar kompartıman döşemeler ve duvarlar arasında yangını durdurmasıdır. Bazı durumlarda yangına karşı koruma için duvarı destekleyen braketlerde ve duvarın içinde kullanılan malzemelerin yanıcılık düzeyine sınır getirilebilmektedir (CWCT, 2011).

#### **2.2.3.7 Ses geçirimsizlik/Akustik**

Bilindiği üzere ses geçişi trafik, uçak, tren ya da insan kaynaklı üretilen ses nedeniyle oluşmaktadır. Su, rüzgâr, ısı genleşmeler gibi nedenlerle de gürültü oluşabilmektedir. Gürültü sesin desibeline bağlı olarak tanımlanmaktadır. Desibel seviyesi ne kadar yüksek olursa gürültü seviyesi de o kadar yüksek olmaktadır. Cephe sistemleri kabul edilebilir, minimum ses iletimine göre tasarlanmalıdır. Sesle ilgili tasarım sürecinde opak ve saydam bölgeler kendi içinde ve sistem bütününde olmak üzere iki şekilde ele alınmalıdır. Gürültü kontrolü saydam bileşenlerde camın kalınlığına ve cam ünitesinin bağlantı biçimine bağlıdır. Opak bileşenlerde ise kullanılan yalıtımlar sayesinde kütle kalınlığını artırarak ısı ve ses yalıtımı aynı anda sağlanabilmektedir. Sistemlerin ses yalıtım düzeyleri laboratuvarlarda gerçekleştirilen akustik testler yardımıyla ölçülebilmektedir (Boswell, 2013).

Ses darbe ve hava yoluyla olmak üzere iki şekilde iletilmektedir. Ses yalıtımı kütlenin artırılması ya da konstrüksiyonda kesintiler oluşturmasıyla sağlanabilmektedir (Foster ve Harington, 1994). Giydirme cephe sistemi gibi bina taşıyıcı sistemine bağlanan sistemlerde ses genellikle düşey bileşenler arasında iletilmektedir. Ayrıca bina-cephe birleşim noktaları ses oluşumuna neden olan diğer bölgelerdir. Bu nedenle, bağlantılarda kullanılan metal bileşenler arasında ses iletimini azaltacak yumuşak malzemeler ya da ses yalıtımı sağlayan özel malzemeler kullanılmaktadır. Giydirme cephe sistemlerinin hafif sistemler olması özellikle hava kaynaklı oluşan sesin daha kolay iletilmesinde etkili olmaktadır. Buna ek olarak giydirme cephe sistemlerinde camın büyük alan kaplaması, cephe taşıyıcı profilleri ve cam ünitesi birleşimleri sesin iletimine yol açan zayıf noktalar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu açıdan değerlendirildiğinde cam yüzeylerin miktarını azaltmak, cam ünitelerinde kullanılan cam sayısını ve camın kalınlığını arttırmak, cam ünitesi-taşıyıcı profil birleşimlerinde

yumuşak bileşenlerin kullanılması ses yalıtımının sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Kullanılan esnek bileşenler, sistem bileşenleri arasında genişlemeye bağlı meydana gelen seslerin önlenmesine de yardımcı olmaktadır (Chudley, 1987).

#### **2.2.3.8 Isıl dayanım**

Cephe sistemlerinin ısı performansında binanın enerji kayıp ve kazancı ile iç mekânın ısı konforu, ısı farkların cephe sistemi üzerindeki etkileri ve sıcaklık farkı nedeniyle cephe sistemi ve bileşenlerinde meydana gelen genişleme, büzülme ve yoğunlaşma gibi konular ele alınmaktadır. Sıcak ve soğuk nedeniyle dış ortamda meydana gelen sıcaklık değişimleri bina kabuğu üzerinde dinamik bir güç oluşturmaktadır. Dış ortam ve iç ortam arasındaki sıcaklık farkı ise cephe sistemi boyunca ısı akışına neden olmaktadır. Sistemin ısı performansı iç ve dış ortam sıcaklıkları ile yapının kullanım türüne uygun ısı performans ölçütleri, seçilen cephe kaplama malzemesinin türünü, cephe sistemindeki malzemelerin katmanlaşmasını, ısı akışının kontrol edilmesini sağlayan yalıtım malzemesinin türünü ve dolayısıyla cephenin ısı kayıp ve kazancını doğrudan etkilemektedir. Sıcaklık değişimleri malzemelerin genişleme ve büzülme kapasitesine bağlı olarak birleşim noktalarının tasarımını da etkilemektedir. Isı, sıcak ortamdan soğuk ortama doğru akış göstermektedir. Dolayısıyla cephe tasarımında ısının akış yönü dikkate alınarak tasarım geliştirilmelidir. Isıyla ilişkili bir diğer önemli konu ise yoğunlaşmadır. Sıcaklığın artması ve azalmasına bağlı olarak cephe yüzeyinde yoğunlaşma görülebilmektedir. Yoğunlaşma oluşumunun önlenmesi için, iç ve dış ortam sıcaklık değişimi dikkate alınarak cephe sisteminde kullanılacak malzemelerin doğru seçilmesi ve konumlandırılması gerekmektedir (Boswell, 2013).

Giydirme cephe sistemlerinde ısı yalıtımı konusunda esas amaç tüm dış duvar sistemlerinde olduğu gibi binanın toplam enerji tüketim miktarını düşürmek ve yoğunlaşma oluşumunu engellemektedir. Enerji korunumu ısı yüklerin azaltılmasıyla mümkündür. Havalandırma sistemine sahip yapılarda güneş ısı kazancı nedeniyle artan soğutma yükünün azaltılması göz önünde bulundurulmalıdır. Giydirme cephe sistemlerinin ısı yalıtım özellikleri belirlenirken, yapının toplam enerji ihtiyacı ya da opak (solid) bölümlerin U değerinin ve cam yüzeylerin alanı dikkate alınmalıdır. Benzer şekilde, ısı kesici bileşenlerin kullanılması sistemin ısı yalıtım performansı açısından büyük öneme sahip olmaktadır. Özellikle iç ve dış ortamla etkileşim halinde bulunan bileşenler arasında kullanılan ısı kesiciler yardımıyla sistemlerdeki ısı

geçişleri azaltılmaktadır. Isı kesici bileşenlerden en iyi verimin alınması için mümkün olduğunca dış ortama en yakın bölgeye konumlandırılmalıdır. Ayrıca iletken özelliğe sahip cephe bileşenleri yoğunlaşma riski ve sistemin ısı özellikleri üzerindeki etkisi nedeniyle bu konu özel dikkat gerektirmektedir (CWCT, 1993). Giydirme cephe sistemlerinde çerçeve bileşenleri (taşıyıcı profiller) ve opak paneller yeterli ısı yalıtım düzeyini sağlamalıdır. Isı yalıtımı, giydirme cephe sisteminden ayrı ya da giydirme cephe sistemiyle ilişkili olarak panellerin içerisinde sağlanabilmektedir (Foster ve Harington, 1994). Alüminyum ve çelik gibi metallerden yapılan taşıyıcı bileşenlerde malzeme özelliğine bağlı olarak ısı iletimi çok fazla olmaktadır. Profillerde kullanılan ısı kesiciler yardımıyla bu noktalarda iç ve dış ortam arasındaki ısı geçişleri engellenmektedir (Boswell, 2013). Buna ek olarak, yatay ve düşey taşıyıcı bileşenler arasında plastik kökenli boşluk tutucuların, fitillerin ya da silikonlu birleşimlerin kullanılması ısı köprülerinin oluşumunu, dolayısıyla sistemde yoğunlaşma oluşumunu engellemektedir. (Foster ve Harington, 1994). Cam üniteleri ısıya karşı bir bariyerden çok bir filtre görevi görmektedir. Kullanılan cam ünitesine göre (monolitik/tek, çift cam, vb) iç ortama yeterli düzeyde gün ışığı girmesini sağlamaktadır. Camın U değerinin yüksek olması nedeniyle ısı kayıp ve kazancı daha çok olmaktadır. Opak kısımlar ise kullanılan ısı yalıtımı, havalandırma boşlukları sayesinde ısı kayıp ve kazancına karşı dayanıklı alanlar olmaktadır (Boswell, 2013).

Çatlaklar arasında yoğunlaşma özellikle giydirme cephe gibi iyi ısı yalıtımına sahip geçirimsiz cephe yüzeyine sahip sistemlerde özel dikkat gerektirmektedir. Özellikle iyi ısıtılan yapılarda iç ortam nem miktarı artış göstermektedir. Bu durum iç ve dış ortam arasındaki buhar basıncında farklılıklara yol açmaktadır. Tuğla gibi dış duvar sistemlerinde nefes alan duvarlar sayesinde buhar geçişi mümkün olurken, geçirimsiz yüzeylerde meydana gelen yoğunlaşma nedeniyle sistemlerde hasar oluşumu gözlemlenebilmektedir. Buhar geçişi sırasında sıcaklık farkı nedeniyle kesit içerisinde yoğunlaşma oluşumu gözlemlenebilmektedir. Bu durum gözenekli ısı yalıtım malzemelerinin içerisinde oluşursa ısı yalıtım malzemesinin performansında kayıplara yol açmaktadır. Cephe tasarımında uygun yerlerde kullanılan buhar kesiciler yardımıyla yoğunlaşma oluşumu engellenmektedir. Panellerin iç yüzeyinde yer alan metallerde yapısı gereği buhar geçişini önleyebilmektedir (Foster ve Harington, 1994).

### 2.3 Genel Değerlendirme

Bu bölümde mevcut standartlar, makaleler, tezler ve kitaplardan yapılan literatür araştırmasına bağlı olarak giydirme cephe sistemleri, sınıflandırılması, bileşenleri ve performans özellikleri detaylı olarak açıklanmıştır. Giydirme cephe sistemlerinin sağlaması gereken performans ölçütleriyle ilgili yapılan araştırma sonucunda farklı nedenlerle meydana gelen hasarların sistemlerin yaşam dönemi performansını olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Test merkeziyle birlikte giydirme cephe sistem türlerinin sayısal analizine yönelik gerçekleştirilen ön çalışma sonucunda İstanbul’da çok katlı yapılarda yaygın olarak çubuk ve panel giydirme cephe sistemlerinin uygulandığı belirlenmiştir. Buradan hareketle ikinci bir ön çalışma olarak İstanbul’da çubuk ve panel giydirme cephe sistemleri uygulanan binaların cephe sistemlerinin yaşam dönemi içerisindeki (mevcut) durumlarının ortaya konulmasına karar verilmiştir.



### **3. ÇUBUK VE PANEL GİYDİRME CEPHE SİSTEMLERİNDE GÖRÜLEN HASARLAR**

Giydirme cephe sistemi teknolojisindeki gelişmelere karşın yaşam dönemi içerisinde çeşitli problemlerle karşılaşılabilir. Bölüm 2’de detaylı olarak belirtildiği gibi giydirme cephe sistemlerinin yaşam dönemi boyunca hava geçirimsizlik, su sızdırmazlık, rüzgâr ve deprem yüküne dayanım, yangın dayanımı, ses dayanımı, durabilite, estetik gibi birçok performans gereksinimlerini sağlaması gerekmektedir (Çatıkkaş, 1996; Gür, 2001). Genel olarak, giydirme cephe sistemlerinin yaşam ömürlerinin düzgün tasarım ve düzenli bakımla bina ömrüne (30~50 yıl) eşit olması ve bu süre içerisinde sağlaması gereken performans gereksinimlerini sorunsuz biçimde sürdürmesi beklenmektedir (CWCT, 1993).

Giydirme cephe sistem üreticileri tasarladıkları sistemlere günümüzde en çok 20 yıl garanti vermektedir. Ancak mekanik, elektromanyetik, ısı, kimyasal etkiler ve biyolojik etmenlere bağlı olarak yapı elemanlarının servis ömrü içerisinde çeşitli hasarlarla karşılaşmaktadır (Çizelge 3.1) (BS ISO 15686-1, 2000). Sistemlerde yaşam dönemi içerisinde görülen hasarlar tasarım, üretim, montaj, bakım-onarım süreci kaynaklı da oluşabilmektedir. Ayrıca, bina ve cephe sistemi arasındaki ilişkiler ya da çevresel etmenler nedeniyle cephe sistemlerinde birçok hasar meydana gelebilmektedir. Giydirme cephe sistemlerine etki eden etmenlerin ve oluşabilecek hasarların uygulama sürecinden önce belirlenmesi, sistemlerin yaşam dönemi performansının gerçeğe en yakın şekilde tespit edilebilmesi açısından büyük öneme sahiptir. Problemler alanların önceden tespit edilmesi sistemlerin yaşam ömrünün uzamasına, kullanıcı konforunun uzun vadede sağlanmasına yardımcı olmaktadır (Yalaz ve diğ, 2016).

**Çizelge 3.1** Yapı elemanlarının servis ömrünü etkileyen etmenler (BS ISO 15686-1, 2000).

| NİTELİĞİ                       | SINIF                                              | ÖRNEKLER                               |
|--------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>Mekanik etkiler</b>         | *Yer çekimi, düşey yükler                          | Kar/yağmur yükü                        |
|                                | *Yükler ve etkiyen ya da engellenen deformasyonlar | Buz oluşumu, genleşme/büzülme, vb.     |
|                                | *Kinetik enerji                                    | Kum fırtınası, darbeler                |
| <b>Elektromanyetik etkiler</b> | *Vibrasyon ve ses                                  | Trafik vb. nedenle oluşan vibrasyonlar |
|                                | *Radyasyon                                         | Güneş ya da UV, radyoaktif ışıınım     |
|                                | *Elektrik                                          | Elektrolit reaksiyon, şimşek/yıldırım  |
| <b>Isıl etkiler</b>            | *Manyetizma                                        | Manyetik alanlar                       |
|                                | *Uç seviyeler ya da sıcaklıktaki hızlı değişimler  | Sıcaklık, donma, ısıl şok, yangın      |
|                                | *Su ve çözücüler                                   | Hava nemi, zemin suyu, alkol           |
| <b>Kimyasal etkiler</b>        | *Oksidasyon                                        | Oksijen, dezenfektan, beyazlatmak      |
|                                | *İndirgeyici maddeler                              | Sülfatlar, amonyak, patlama etkisi     |
|                                | *Asit                                              | Karbonik asit, kuş pisliği, vb.        |
| <b>Biyolojik etmenler</b>      | *Bazlar                                            | Kireç, hidroksitler                    |
|                                | *Tuzlar                                            | Nitrat, fosfat, kloridler              |
|                                | *Kimyasal nötr                                     | Kireç taşı, yağ, vb.                   |
| <b>Biyolojik etmenler</b>      | *Bitki ve mikrobiyal                               | Bakteri, küf, mantar, bitki kökleri    |
|                                | *Hayvanlar                                         | Kemirgenler, termit, kurtlar, kuşlar   |

Mevcut standartlar dikkate alındığında giydirme cephe sistemlerinin performansı üç farklı yöntem kullanılarak belirlenebilmektedir. Birinci yöntemde incelenen binalara ait hasar, binanın yapım yılı, hasar tarihi, bakım-onarım tarihi, sistemin hangi performansının olumsuz yönde etkilediği gibi verilere dayanarak sistemin yaşam dönemi performansıyla ilgili bilgi edinmek mümkündür. İkinci yöntem ise belirli koşullar altında hasarların fiziksel olarak modellenmesidir. Burada deneysel yöntem kullanılmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalar yardımıyla sistemin performansıyla ilgili gerekli bilgi elde edilebilmektedir (BS 7543, 2015). Ancak gerçekleştirilen zorunlu testler sistemin kullanılabilir/uygulanabilir olduğunu kanıtlarken, sistem performansının yaşam dönemi boyunca aynı olacağını garanti etmemektedir (CWCT, 2005a). Üçüncü yöntemde ise varsa ulusal bir veri tabanı yardımıyla sistemlerin performansıyla ilgili gerekli bilgiye ulaşmaktır (BS 7543, 2015).

Bu bölümde mevcut durum incelemesi yöntemiyle alüminyum ve cam giydirme cephe sistemlerindeki hasarların değerlendirilmesine yönelik bir pilot çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında önerilen hasar sınıflandırmasına bağlı olarak ülkemizde yer alan giydirme cephe sistemlerinde en çok görülen hasarlar ve nedenleri, mevcut binalara ait veriler kullanılarak ortaya konulmuştur. Çalışmadan çıkarılan sonuçların çubuk ve panel sistemlerde en çok görülen hasarlarla ilgili ön bilgi sağlaması ve deneysel çalışma kapsamında değerlendirilecek performans ölçütlerinin belirlenmesine yardımcı olması amaçlanmıştır. Ayrıca, çalışmanın sonuçlarının binaya

en uygun sistem seçiminde cephe paydaşlarına yardımcı olması ve mevcut verilerin genişletilerek ulusal bir veri tabanı oluşturulmasına öncülük edeceği düşünülmektedir.

### **3.1 Giydirme Cephe Sistemlerinde Oluşan Hasarların Sınıflandırılması**

Giydirme cephe sistemlerinde görülen hasarlar yapılan literatür araştırması ve hasar analizine bağlı olarak üç ana başlık altında incelenmiştir.

#### **3.1.1 Yaşam döneminde görülen hasarlar**

Bu başlık altında giydirme cephe sistemlerinde tasarım, üretim, montaj, kullanım, bakım-onarım ve kontrol süreci kaynaklı hasarlar detaylı olarak incelenmiştir.

##### **3.1.1.1 Tasarım (Projelendirme) süreci kaynaklı hasarlar**

Tasarım aşamasında görülen hasarlar mimari ve mühendislik kaynaklı hasarlar olmak üzere iki grup altında incelenmektedir. Mimari tasarım aşamasında görülen hasarlar dolgu bileşenin boyutlandırılması, cephe formu, cephe formuna uygun olmayan dolgu bileşenin seçilmesi, malzeme özelliğine uygun olmayan detay tasarımı, bakım-onarım kolaylığının tasarım aşamasında düşünülmemesi, uygulama ve çizim detaylarının yetersizliği gibi nedenlerle ortaya çıkmaktadır. Tasarım aşamasında düşünülmesi gereken en önemli konulardan biri yerel iklimsel koşullara uygun cephe formunun ve bitirme malzemesinin seçilmesidir. İklim koşullarına uygun olmayan bitirme seçimi sistemin yaşam ömrünün kısılmasına ve yaşam dönemi boyunca bakım-onarım masraflarının artmasına neden olmaktadır. Cephe formu nedeniyle oluşan hasarlarda özellikle rüzgâr ve yağmurun etkili olduğu görülmüştür. Dolgu bileşenlerinin (cam ünitesi, vb) boyutlandırılması bir diğer önemli konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Büyük boyutlarda tasarlanan dolgu bileşenlerinin, üzerine etki eden yükleri karşılayamaması nedeniyle sistemden ayrılmalara ya da dolgu bileşeninde kırılmalar gözlenmektedir. Cephe formuna uygun olmayan dolgu bileşeni malzemesi ya da türünün seçilmesi hasarlara neden olmaktadır. Örneğin, eğrisel formda tasarlanan bir cephe sisteminde uygun olmayan cam türünün (lamine, temperli vb.) kullanılması zaman içerisinde sistemde hasar oluşumuna neden olabilmektedir. Cephe bitirmeleri arasındaki derzlerin yetersiz ölçüde olması, başka bir deyişle malzemenin özelliğine uygun olmayan biçimde detaylandırılması nedeniyle cephe sistemi, malzeme ve cephe hareketlerine karşı yeterli uyum gösterememektedir. Derzlerin

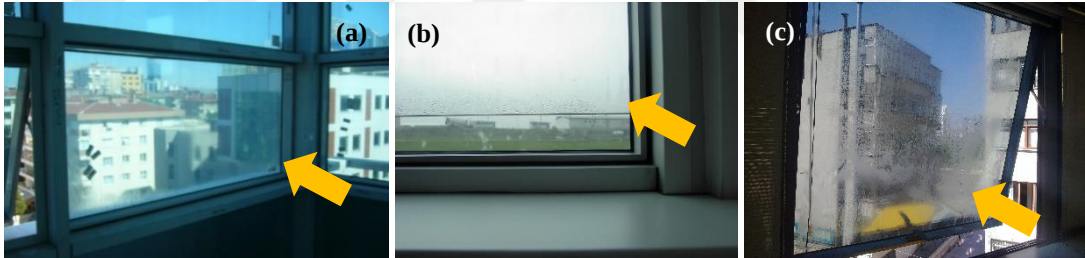
detaylandırılmasından kaynaklanan hasarların önlenmesinde malzemelerin ısı hareketlerine karşı davranışları (genleşme ve büzülme), bina ve cephe hareketleri dikkate alınmalıdır. Tasarım sürecinde dikkat edilmesi gereken en önemli konulardan biri bakım-onarım kolaylığıdır. Yaşam dönemi içerisinde bakım-onarım süreci düşünülerek gerekli mesafelerin bırakılması gerekmektedir. Giydirme cephe sistemleri birçok bileşenin bir araya getirildiği karmaşık sistemlerdir. Yeterli çalışma alanının bırakılmadığı uygulamalar, onarım sırasında cephe sistemiyle ilişkili olan diğer bileşenlerin ya da yapı elemanlarının zarar görmesine neden olabilmektedir. Tasarım aşaması kaynaklı oluşan hasarların bir diğeri, tasarımcı ile cephe paydaşları arasındaki iletişim yetersizliğinden ortaya çıkmaktadır. Mimari tasarım kaynaklı hasarların yalnızca estetik açıdan değil, yapısal açıdan da özellikle hava geçirimsizlik ve su sızdırmazlık gibi performansların düşmesine neden olmaktadır (Mook King Tong, 2006; Yalaz ve diğ, 2016).

Giydirme cephe sistemlerinde mühendislik kaynaklı oluşan hasarlar cephe taşıyıcı bileşenlerinin doğru boyutlandırılmaması, cephe bileşenlerinin ve geçilen açıklığın boyutlarına uygun hesaplama yapılmaması, cephe sisteminin yeterli hareket koşuluna sahip olmaması, açılır bölümlerin ağırlığına uygun aksesuarların seçilmemesi ve yapısal hesaplar sırasında cepheye etki eden yüklerin beklenilenden daha şiddetli olabileceğinin göz ardı edilmesi olarak sıralanmaktadır. Cephe taşıyıcı bileşenleri hem cephenin ölü yükünü hem de üzerine gelen yatay yükleri (rüzgâr, deprem) karşılayarak bina taşıyıcı sistemine güvenli bir biçimde iletmelidir. Bu nedenle, taşıyıcı çerçeveyi oluşturan yatay ve düşey profiller, üzerine etki edecek yüklerin miktarı dikkate alınarak boyutlandırılmalıdır. Hesaplama aşamasında cephe üzerine etkiyen yüklerin büyüklüklerinin arttırılarak hesaplama yapılması (örneğin %50'si kadar) sistemin olası şiddetli koşullar altında da performansını güvenli biçimde sürdürmesine yardımcı olmaktadır. Cephe bileşenlerinin ve cephenin geçtiği açıklıkların uygun şekilde boyutlandırılması önemlidir. Büyük boyutlarda tasarlanan bileşenler (örneğin dolgu bileşeni) üzerine etkiyen yüklere karşı yeterli dayanımı gösteremediği durumlarda zarar görmektedir. Cephe sistemi deprem, rüzgâr ya da ısı kaynaklı yapısal hareketlere maruz kalmaktadır. Etki eden hareketler karşısında sistemin mevcut durumunu koruması gereklidir. Bu nedenle etki eden yüklere karşı hareket derzlerinin iyi hesaplanması gerekmektedir. Benzer biçimde açılabilir kanatlarda kullanılan taşıyıcı aksesuarlar kanat boyutu ve ağırlığına uygun seçilmelidir. Yanlış aksesuar seçimi

nedeniyle açılır kanatlarda görülen hasarlar sonucunda sistemin özellikle hava ve su geçirimsizlik performansında düşüş görülmektedir (Mook King Tong, 2006; Yalaz ve diğ, 2016).

#### 3.1.1.2 Üretim (İmalat) süreci kaynaklı hasarlar

Üretim süreci kaynaklı hasarların esas olarak sistem tedarikçilerinin yanlış uygulamaları nedeniyle olduğu görülmektedir. Bileşenlerin üretim sürecinde gerekli üretim standartlarına uyulmaması, malzemelerin uygun koşullar altında üretilmemesi ya da bileşenlerin uygun koşullar altında bir araya getirilmemesi gibi nedenler cephe sistemlerinin yaşam dönemi içerisinde hasar oluşumuna yol açmaktadır. Örneğin, cam üretimi sırasında içerisinde metal parçacıkların (partiküllerin) kalması, kullanım sürecinde ısı etkileri nedeniyle yüzey sıcaklığının artmasına bağlı olarak oluşan genleşme sonucunda camın kırılmasına yol açmaktadır. Benzer şekilde cam ünitelerinin üretimi sırasında silikon uygulamalarının sabit koşullar altında yapılması gerekmektedir. Aksi durumlarda kullanım süreci içerisinde cam ünitesinde yoğuşma gibi sorunlarla karşılaşılması kaçınılmaz hale gelmektedir (Şekil 3.1a, Şekil 3.1b ve Şekil 3.1c).



Şekil 3.1 Cam ünitelerinde görülen yoğuşma problemi (a), (b), (c).

#### 3.1.1.3 Montaj (Yapım ve işçilik) süreci kaynaklı hasarlar

Montaj süreci, tasarım sürecine oranla daha çok dikkat ve emek gerektirmektedir. Sistemin iyi tasarlanmış olmasına karşın montaj sürecinde yapılan hatalar sistemin yaşam dönemi performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Sistemle uyumlu olmayan malzemelerin ya da bileşenlerin kullanılması zaman içerisinde çeşitli problemlere neden olmaktadır. Örneğin, sisteme uygun olmayan boyutlarda fitilin seçilmesi ya da süresi geçmiş malzemelerin kullanılması cephe performansının düşmesine neden olmaktadır. Yapı denetiminin zayıf olması, düzenli denetimlerin ihmal edilmesi, projelerin düzgün okunamaması, çizimlerdeki uygulama detaylarının

yetersizliği de montaj sürecinde hata yapma olasılığını arttıran nedenler olarak karşımıza çıkmaktadır (Mook King Tong, 2006).

Giydirme cephe sistemlerinin montaj kalitesini arttıran bir diğerk faktör işçilik kalitesidir. En doğru tasarımın bile iyi uygulanmadığı durumlarda sistem performansında kayıpların görülmesi kaçınılmaz olmaktadır. Giydirme cephenin türü ve montaj şekli fark etmeksizin başarılı projeler için yer alan paydaşların ve ekiplerin yeterli profesyonelliğe sahip olması gerekmektedir. Uygulama sürecinde özellikle nitelikli işçilerin yer alması ve kalite kontrol sürecinin iyi planlanması, doğru tasarlanan sistemlerin performansının artırılmasında büyük öneme sahip olmaktadır (McCowan ve diğ, 2007). Gerçek ölçekli giydirme cephe sistem numunelerinin performans testleri test stantlarına gerçeğe en uygun şekilde bağlanarak gerçekleştirilmektedir. Genelde bu aşamada cephe sistemlerinin montajındaki işçilik kalitesi çok iyi düzeyde sağlanmaktadır. Ancak, sistemin uygulanması sırasında aynı işçilik kalitesini yakalamak zor olabilmektedir (İlter ve diğ, 2015; Kaskel, 1998). Özellikle çubuk sistem gibi birçok bileşenden oluşan ve montajı şantiye ortamında yapılan giydirme cephe sistemlerinde işçilik kalitesinin önemi daha da artarken, bu tür cephe sistemlerinde işçilik kaynaklı hasar oluşma olasılığının yüksek olduğu görülmektedir (Mc Cowan ve Kivela, 2010). Uygulama sırasında mevcut detayların birebir uygulanmaması ya da ön onay alınmadan farklı uygulamaların yapılması işçilik kaynaklı hasarlara neden olmaktadır. Bu nedenle, uygulama sırasında yapılan değişikliklerin son projelere işlenerek kayıt altına alınması gerekmektedir (CWCT, 1993).

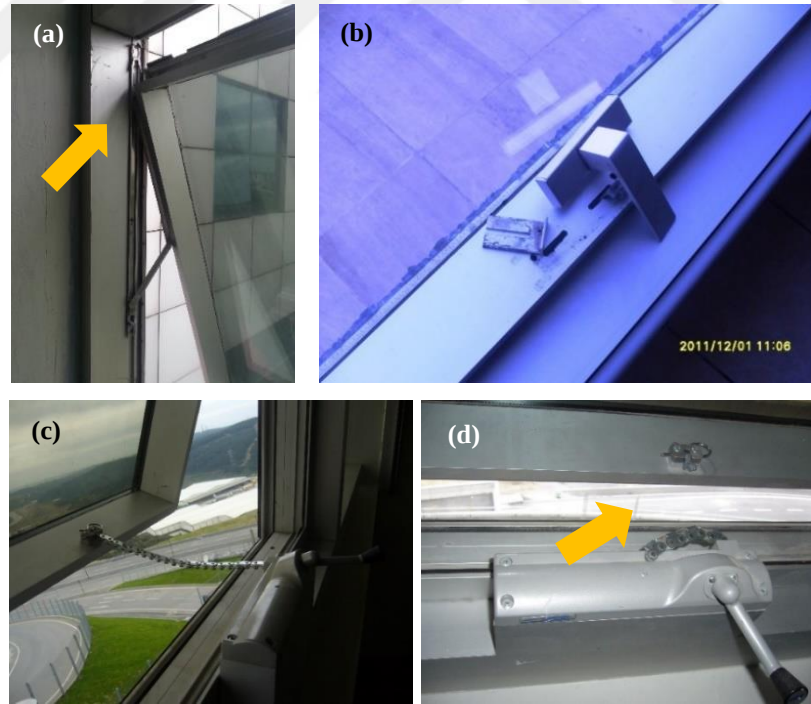
Montaj sürecinde dilatasyon (genleşme/genişleme) boşluklarının ya da yeterli hareket mesafelerin bırakılmaması hasar oluşumuna neden olmaktadır. Özellikle düşey taşıyıcı profiller (mulyon) arasında genleşme derzinin ihmal edilmesi profillerde sehime neden olmaktadır. Cam ünitesi montajının yanlış yapılması ya da cam ile metalin doğrudan temas ettirilerek hareket boşluklarının ihmal edilmesi erken dönemlerde cephelerde özellikle dolgu bileşenlerinde hasar oluşumuna neden olmaktadır (Mayer ve Brewer, 2001).

Uygulama yapılacak yüzeylerin temiz olması sistemin performansını arttıran önemli bir diğerk konudur. Yüzeyde biriken yağ ve toz montaj sırasında malzemelerin bağlayıcılığının azalmasına dolayısıyla sistemde zayıf noktaların oluşmasına neden olmaktadır. Bu zayıf noktalar sistemlerin hava geçirimsizlik ve su sızdırmazlık

performansında büyük oranda kayıp yaşanmasına neden olmaktadır. Özellikle silikon gibi ıslak birleşimlerin yapıldığı bölgelerde yüzey temizliğine dikkat edilmelidir. Ayrıca kullanılan silikon ve primerin uygulama yüzeyinde kullanılan malzeme ve bitirmeyle uyumlu olması gereklidir. Uygulama öncesinde hazırlanan silikonlara belirli testler uygulanarak dayanıklılığı ve performansı test edilmektedir. Ancak, uygulamadaki aksaklıklar nedeniyle silikonlarda yüzeyden ayrılma ya da iç mekâna su girişi gibi problemlerle karşılaşılabilir (CWCT, 1993).

#### 3.1.1.4 Kullanım ve bakım-onarım sürecinde oluşan hasarlar

Kullanıcılar, çevresel etmenlerin yanı sıra giydirme cephe sistemlerini en çok etkileyen etmenlerdendir. Kullanıcıların sistemleri yanlış kullanması nedeniyle cephe sistemlerinde çeşitli hasarlar görülebilmektedir. Açılabilir kısımların sürekli açık tutulması nedeniyle zaman içerisinde kanatları taşıyan makasların deforme olduğu görülmektedir (Şekil 3.2a). Özellikle üst katlara çıkıldıkça rüzgârın artan etkisi nedeniyle açık bırakılan kanatlarda sarkmalar ve aksesuarlarda kırılmalar gözlenmektedir (Şekil 3.2b, Şekil 3.2c ve Şekil 3.2d).



**Şekil 3.2** Aksesuarlarda görülen hasarlar. Makasta kırılma (a), İspanyolette görülen hasar (b), Mesafe tutucuda görülen kırılma (c), Aksesuarda kırılma (d).

Sistemlerin kullanım ömrü içerisinde çeşitli nedenlere bağlı olarak hasar görebileceği düşünülerek bakım-onarım sürecinin tasarım aşamasından itibaren düşünülmesi gerekmektedir. Sistemlere yapılan düzenli bakım sayesinde sistemin yaşam ömrünün

uzadığı bilinmektedir. Bu aşamada bakım-onarım sũrelerinin uzamamasına dikkat edilmelidir. Bakım-onarım sırasında varsa hazırlanmış olan bakım kitapçığına uyulmalıdır. Bakım-onarım ve temizlik araçlarının kullanımı sırasında mevcut kurallara uyulması hasar oluşumunu engellemektedir. Örneğin, cephede bulunan temizlik asansrũnũn çarpması nedeniyle cam ũnitelerinde kırılma grũlebilmektedir. Benzer şekilde temizlik sırasında kullanılan kimyasallar cephe sistemine zarar verebilmektedir. Bakım-onarım ekibinin yeterli deneyime sahip olması hasarların önlenmesinde etkili olmaktadır (Mook King Tong, 2006). Ancak, vresel kuvvetlerin etkisiyle bazı hasarlar yapılan bakım-onarım sonrasında tekrar edebilmektedir. Örneğin zemin yapısı nedeniyle, zemin oturmasının çok olduğu bölgelerde dolgu bileşeni hasarları (rneğin cam kırılmaları) yinelenebilmektedir. Bu tũr hasarların tekrarı bakım-onarım sũrecinde alınan önlemlerle engellenebilmektedir.

#### **3.1.1.5 Denetim (Kontrol) sũrecinde oluşan hasarlar**

Denetim sũreci, tasarımdan bakım-onarıma kadar cephe sũrecinin içerisinde yer alan tũm aşamaları etkilemektedir. Sistemlerin mevcut standartlara ve kontrol listelerine göre uygunluğunun denetlenmesi yaşam dönemi içerisinde hasar oluşumunun önlenmesinde yardımcı olmaktadır. Sistem tasarımılarının ũretim standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmesi, yapım sũrecinde işçilik ve malzeme kalitesinin denetimi sistem performansının sũrekliliđi açısından bũyũk öneme sahiptir. Özellikle sistemlerin verilen tolerans değerlerine uygun olarak montajlarının yapılması, kusurlu malzemelerin/bileşenlerin montaj aşamasında kullanımının nũne geçilmesi hasar oluşumunun önlenmesinde bũyũk etkiye sahiptir.

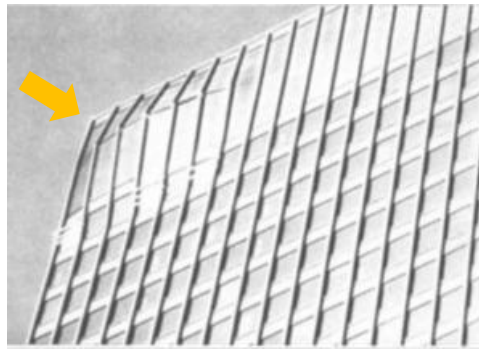
#### **3.1.2 Sistem-bileşen ilişkisinden kaynaklanan hasarlar**

Bu blũmde giydirme cephe hasarları, literatũr çalışması ve mevcut yapıların cephelerinde gözlemlenen hasarlar esas alınarak bina-cephe ve cephe-bileşen ilişkisi kaynaklı olarak ele alınmıştır. Giydirme cephe sistemleri kendi yũkũne ve ũzerine etkiyen yũklere karşı dayanıklı olmalı ve yũkleri bina taşıyıcı sistemine dũzgũn biçimde iletmelidir (Url-8, 2017). Yũk aktarımı sırasında paneller ve/ya da cam ũniteleri arasında bir hareket ya da hasar oluşmaması gereklidir (CWCT, 1993). Bina taşıyıcı sistem tũrũ, zemin yapısının özellikleri (toprak yapısı) ve yapısal hareketlere bağlı olarak cephe sisteminde hasar oluşumu gözlenmektedir. elik taşıyıcı sisteme sahip yapılarda yoğun trafik gibi vresel dinamikler nedeniyle oluşan etkilere bağlı

olarak özellikle dolgu bileşeninde (cam ünitesinde) kırılmalar ya da cepheden ayrılmalar görülmektedir.

Cephe-bileşen ilişkisi kaynaklı hasarlar incelendiğinde birçoğunun eğrisel formlar gibi karmaşık cephe formlarından kaynaklandığı görülmüştür. Dolgu bileşenlerinin çok büyük boyutlarda tasarlanması, cephe formu ya da iklimsel koşullara uygun olmayan malzeme, bileşen seçimi cephe-bileşen ilişkisindeki diğer problemleri alanlardır.

Giydirme cephe sistemleri temel olarak taşıyıcı bileşen, dolgu bileşeni ve sızdırmazlık bileşeni olmak üzere üç bileşenden meydana gelmektedir. Giydirme cephe sistemlerinin taşıyıcı bileşenlerinde su ve neme bağlı olarak korozyon, aşırı rüzgâr yükü nedeniyle aşırı deformasyon ya da göçme gibi sorunlar gözlenmektedir (Şekil 3.3) (Kelley ve Johnson, 1998). Taşıyıcı bileşenlerin tasarımında özellikle rüzgâr ve deprem yükü dikkate alınmalıdır. Bina yüksekliğinin artmasına bağlı olarak rüzgâr yükünün etkisi de artış göstermektedir. Bu nedenle, yüksek binaların ve cephelerinin tasarımında rüzgâr yükü büyük öneme sahiptir. Benzer şekilde ülkemizde deprem etkilerinin önemli olması nedeniyle, deprem yükü taşıyıcı sistem bileşenlerinin boyutlandırılmasında ve yeterli hareket yeteneğinin tanımlanmasında dikkate alınması gereken bir diğer etmendir. (Url-8, 2017). Cephe taşıyıcı bileşenleri üzerine etkiyen yüklere karşı dayanımı sağlarken, yeterli hareket yeteneğine de sahip olmalıdır. Taşıyıcı bileşenler arasında bırakılan hareket derzleri sayesinde dolgu bileşenlerinin zarar görmesi engellenebilmektedir (Weber, 2003). Giydirme cephe sistemlerinin taşıyıcı bileşenlerin en çok karşılaşılan hasar nedenleri, sistem bileşenlerinin arasındaki bağlantıların ya da giydirme cephe sisteminin bina taşıyıcı sistemiyle arasındaki strüktürel bütünlüğü kaybetmesidir. Bu durum özellikle köşe noktalarında hasar oluşma riskini arttırmaktadır (Kelley ve Johnson, 1998).

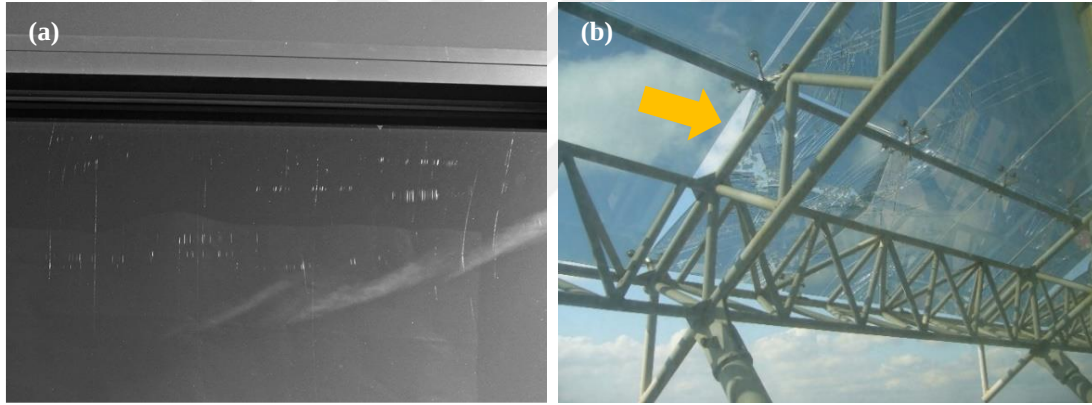


**Şekil 3.3** Cephe taşıyıcı bileşeninde deformasyon (Kelley ve Johnson, 1998).

Çeşitli nedenlerle cephe sisteminde kullanılan gergilerin kopması taşıyıcı bileşen hasarlarına örnek olarak verilebilmektedir. Cephe sistemlerinin boyutlarına uygun hesaplama yapılamaması, cephe açıklıklarının ve kat yüksekliğinin fazla olması nedeniyle taşıyıcı bileşen boyutunun gelen yükleri karşılamada yetersiz kalması hasar oluşturan diğer nedenlerdir.

Giydirme cephe sistemlerinde dolgu bileşeni olarak cam üniteleri yaygın kullanıma sahiptir. Dolgu bileşeninde görülen hasarlar şu şekilde sıralanabilmektedir;

- Camın kalitesi, fabrikada üretim sırasında oluşan cam çizikleri ya da camın üretimi safhasında içerisinde metal parçacıkların kalması gibi nedenlerle oluşan hasarlar (Şekil 3.4a),
- Camın yüzey sıcaklığının artmasıyla birlikte oluşan ısıl gerilmeler sonucunda (özellikle cam ve metal etkileşimi nedeniyle) camların kırılması (Şekil 3.4b),



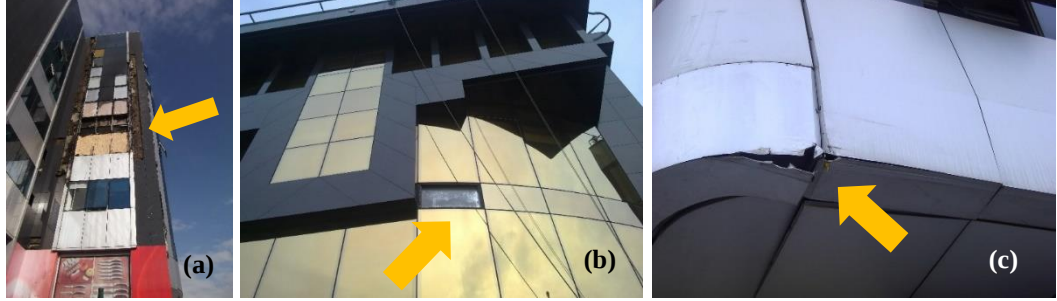
**Şekil 3.4** Camda oluşan ince çizikler (Sanders ve Hargrove 2012) (a), Isıl gerilmeler nedeniyle saçak camında kırılma (b).

- Zemin yapısına bağlı olarak bina oturması ve cephe hareketleri nedeniyle cam kırılması (Şekil 3.5a ve Şekil 3.5b),



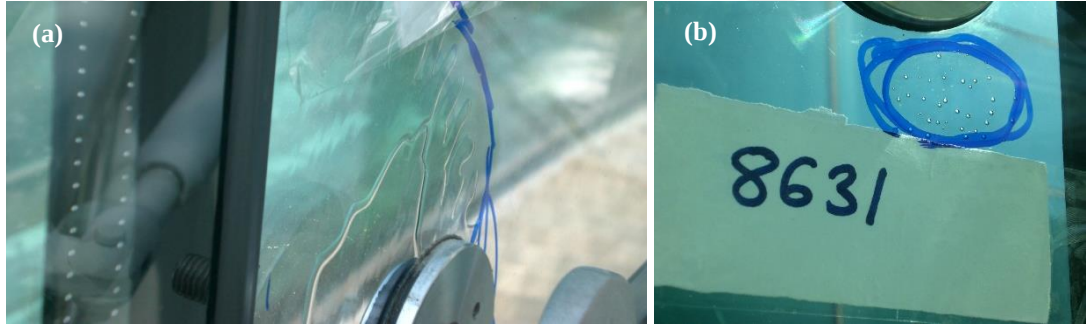
**Şekil 3.5** Bina oturması nedeniyle camda oluşan kırılmalar (a) ve (b).

- Cam ünitelerinin çok büyük boyutlarda tasarlandığı durumlarda üzerine gelen yükleri karşılayamaması sonucunda kırılmaların görülmesi ya da cephe panellerinin şiddetli rüzgâr etkisiyle yerinden kopması (Şekil 3.6a, Şekil 3.6b ve Şekil 3.6c),



**Şekil 3.6** Rüzgârın etkisiyle cephe panellerinde görülen kopmalar (a), (b) ve (c).

- Cephe sisteminin formu,
- İklim koşullarına ya da tasarlanan cephe formuna uygun olmayan cam türünün kullanılması,
- Cam ünitelerinde laminasyonun bozulması ya da üzerinde bulunan filmlerde (örneğin, Low-e) pullanma, soyulma, leke oluşumunun gözlemlenmesi (Şekil 3.7a ve Şekil 3.7b),



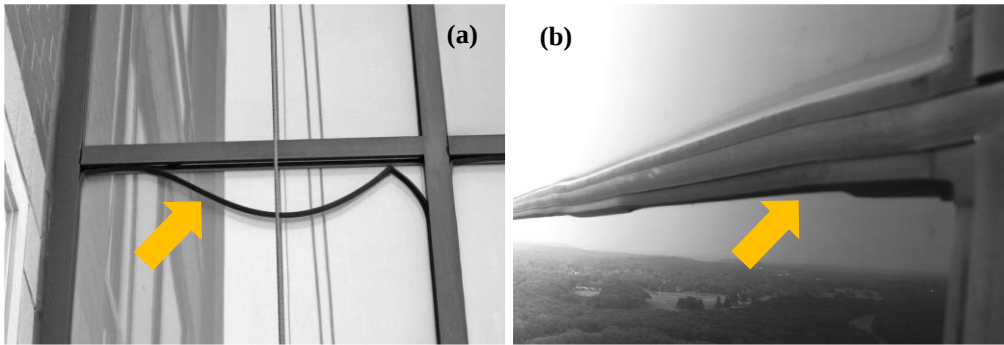
**Şekil 3.7** Cam ünitesinde laminasyonla ilgili görülen problemler (a) ve (b).

- Cephe açıklıklarının fazla olması,
- Cam üzerine etkiyen çeşitli kimyasallar,
- Cam ünitelerine yabancı cisim çarpması

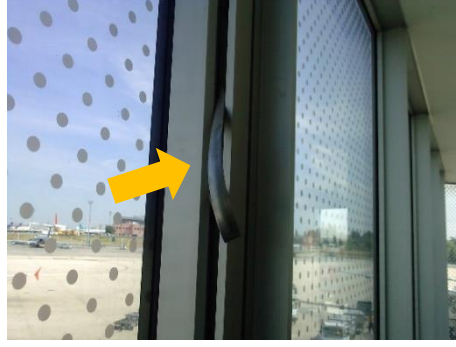
nedeniyle çeşitli hasar oluşumu görülmektedir. Giydirme cephe sistemlerinde kullanılan sızdırmazlık bileşenlerinin performansını sorunsuz biçimde sürdürebilmesi için düzenli aralıklarla bakımlarının yapılması gerekmektedir. Bakım sırasında sızdırmazlık bileşenlerinin performansının yeterli olup olmadığı kontrol edilmelidir. Sızdırmazlık bileşenlerinin yaşam döneminin cephe sistemine göre daha kısa olması

nedeniyle belirli aralıklarla değiştirilmesi sistemin yaşam dđnemi performansını arttırmaktadır. Performans kaybı yaşayan bileşenlerin değiştirilmemesi diğer sistem bileşenlerinin de zarar gđrmesine neden olabilmektedir (Url-9, 2017). CWCT Teknik Not 19 (2000b) da belirtildiği gibi her macunun belirli bir đmrđ vardır.

Sızdırmazlık bileşenleri sıcaklık değişimlerine ve bina hareketlerine karşı dayanıklı olmalıdır (Smith, 2000). Sistemlerin su sızdırmazlık, hava geçirimsizlik ve ısı iletkenlik performansındaki sđrekliplik sistemde kullanılan sızdırmazlık macunu, conta ve fitillere bağlıdır (TS EN 13830, 2015). Sızdırmazlık bileşenlerinde oluşan hasar sonucunda sistemlerin hava ve su sızdırmazlık performansında kayıp, dolgu bileşenlerinde nem/yoğuşma oluşumu ve yapısal hareketlere karşı uyum yeteneğinin azalması gibi sorunlara karşılaşılmaktadır. Sızdırmazlık macunları ve fitiller zaman içerisinde kuruyarak elastikiyetini yitirmektedir. Ayrıca UV ışınları, donma ve özölme olayları sonucunda malzemede deformasyon başlamaktadır. Oluşan deformasyonlar sonucunda sızdırmazlık bileşenleri sistemden ayrılmaya başlamaktadır (şekil 3.8a ve şekil 3.8b). (Url-8, 2017). Ayrıca cephenin açılır bđlđmlerinde de sızdırmazlık amacıyla kullanılan fitillerde kopma ve sistemden ayrılma gibi durumlarla karşılaşılmaktadır. Bu durum başta sızdırmazlık performansı olmak úzere sistemin genel performansını olumsuz yđnde etkilemektedir (şekil 3.9) (Kelley ve Johnson, 1998).



**şekil 3.8** Sızdırmazlık bileşenlerinin sistemden ayrılması (a) ve (b) (Sanders ve Hargrove, 2012).



**Şekil 3.9** Açılır kanatta yer alan sızdırmazlık bileşeninde kopma ve ayrılma.

Giydirme cephe sistemlerinde hareket toleransı için bırakılan dilatasyon boşluklarından su girişini önlemek için sızdırmazlık macunu ve fitiller kullanılmaktadır. Dolgu bileşeni olarak kullanılan çift cam ünitelerinde camları bir arada tutan silikonun zarar görmesi sonucunda cam ünitelerinin iç kısımlarında yoğunlaşma gözlenmektedir. Cephe taşıyıcı bileşeni ve dolgu bileşenleri arasında sızdırmazlığı, sistem türüne göre taşıyıcılığı da sağlamak amacıyla (taşıyıcı silikonlu sistemler) özel fitil ve macunlar kullanılmaktadır. Bu macunların zarar görmesi su ve hava sızdırmazlık performansının düşmesine ya da panellerin taşıyıcı bileşenlerden ayrılmasına neden olmaktadır. Bu sızdırmazlık bileşenleri cephe hareketlerine uyumlu davranarak profillerin ve cam ünitelerinin birbirine zarar vermesini önlemektedir. Bunlara ek olarak farklı malzemelerin birleşim noktalarında, özellikle malzemelerin ısı hareketlerine karşı farklı davranış sergilemesini nedeniyle oluşan hasarlara rastlamak mümkündür (Şekil 3.10) (Mook King Tong, 2006).



**Şekil 3.10** Baskı kapaklarının sistemden ayrılması (Sanders ve Hargrove, 2012) (a), (Yalaz ve diğ. 2016) (b).

### 3.1.3 Çevresel etmenlere bağlı oluşan hasarlar

Cephe sistemleri yaşam dönemleri boyunca birçok çevresel etmene maruz kalmaktadır. En önemli etmenlerden biri olan güneşin ısı etkileri cephe sisteminin yüzey sıcaklığının artmasına ve bileşenlerde genleşmelere neden olmaktadır. Taşıyıcı bileşenler arasında genleşme derzlerinin yetersiz olması durumunda aşırı sehimler ve özellikle cam ünitelerinde kırılmalar görülmektedir. UV ışınlarının cephe sistemi üzerinde yıpratıcı etkileri olduğu bilinmektedir. UV ışınlarının etkisiyle bazı cephe bileşenlerinde (özellikle ahşaplarda) renk değişimleri görülürken, sistemin hava geçirimsizlik ve su sızdırmazlık performansı ile doğrudan ilişkili olan sızdırmazlık bileşenlerinde bozumalar meydana gelmektedir.

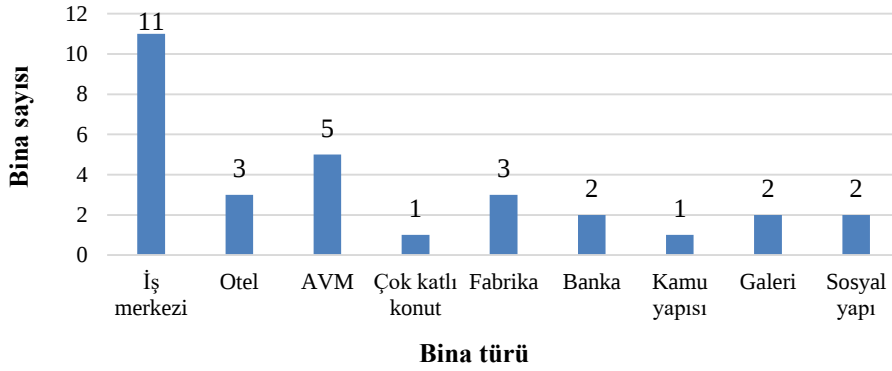
Cephe sistemlerinin deprem yükünü karşılayamadığı ya da yeterli hareket uyumu gösteremediği durumlarda dolgu bileşenlerinde (cam üniteleri) kırılmalar ya da sistemden ayrılmalar görülmektedir. Benzer şekilde yoğun trafik gibi çevresel dinamikler nedeniyle oluşan titreşimler, özellikle bina taşıyıcı sistemi çelik olan yapılarda daha etkili olmaktadır. Bu tür yapılarda bulunan giydirme cephe sistemlerinde salınımlar nedeniyle bina-cephe etkileşimi kaynaklı çeşitli hasarlar meydana gelebilmektedir. Rüzgârın yoğun olduğu bölgelerde şiddetli rüzgârın etkisiyle camlarda kırılma, dolgu bileşenlerinde sistemden ayrılma ya da taşıyıcı sistem bileşenlerinde hasarlara rastlanılmaktadır. İri dolu tanelerinin cephe yüzeyine şiddetli etkisi nedeniyle de cam ünitelerinde kırılmalar görülebilmektedir.

### 3.2 Çok Katlı Yapıların Giydirme Cephe Sistemlerinde Oluşan Hasarların İncelenmesi

Bu bölümde İstanbul'da 1996 ~ 2017 yılları arasında alüminyum ve cam giydirme cephe sistemleriyle yapılan 30 adet yapının cephe sisteminde görülen hasarların incelenmesi yöntemiyle gerçekleştirilen pilot çalışmanın sonuçları önerilen hasar sınıflandırmasına bağlı olarak ortaya konulmuştur. Oluşturulan veri tabanında isimleri gizli tutulan binaların, bina türleri, cephe türleri, yapım yılları, hasar türü, hasarların nedenleri, etkilediği performans ölçütleri ve bakım-onarım yapılan tarih/tarihler belirtilmiştir. Yapılan çalışma kapsamında gözlemlenen hasarlar, yaşam dönemi sürecinden kaynaklanan, sistem-bileşen ilişkisinden kaynaklanan ve çevresel etmenlerden kaynaklanan hasarlar olmak üzere üç başlık altında gruplanmış ve sınıflandırılmıştır. Çalışmanın sonucunda en çok karşılaşılan hasarlar nedenlerine,

performans ölçütlerine, giydirmce cephe sistem türlerine, çevresel etmenlere ve hasarların şiddetine göre gruplanarak değerlendirilmiştir.

İncelenen yapıların 11'i iş merkezi, 3'ü otel, 5'i alışveriş merkezi (AVM), 1'i çok katlı konut, 3'ü fabrika, 2'si banka, 1'i kamu yapısı, 2'si galeri ve 2'si sosyal yapıdır (Şekil 3.11). 24 'ü çubuk, 7'si panel giydirmce cephe sistemine sahip yapıların 11 tanesi 10 kattan az, 9 tanesi 10 ile 20 kat arasında, 9 tanesi ise 20 kattan fazladır.

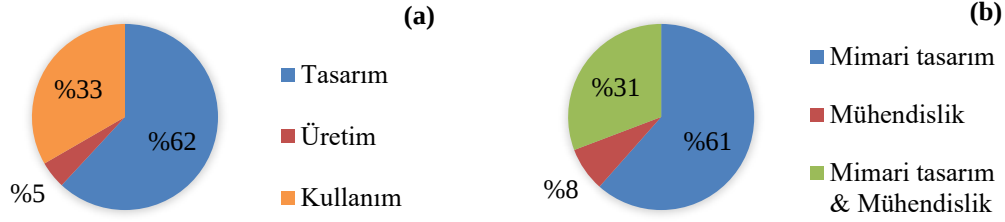


**Şekil 3.11** Bina türlerinin dağılımı.

Veri tabanı oluşturma sürecinde cephelerinde hasar gözlenen binaların türleri, cephe türleri, kat sayıları ve/ya da yaklaşık kat yükseklikleri, binaların yapım tarihleri, hasarların görüldüğü (bakım-onarım) tarih ve/ya da tarihleriyle ilgili bilgiler toplanmıştır. İncelenen binaların cephe sistemlerinde görülen hasarlar, etkilenen performans ölçütleri ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

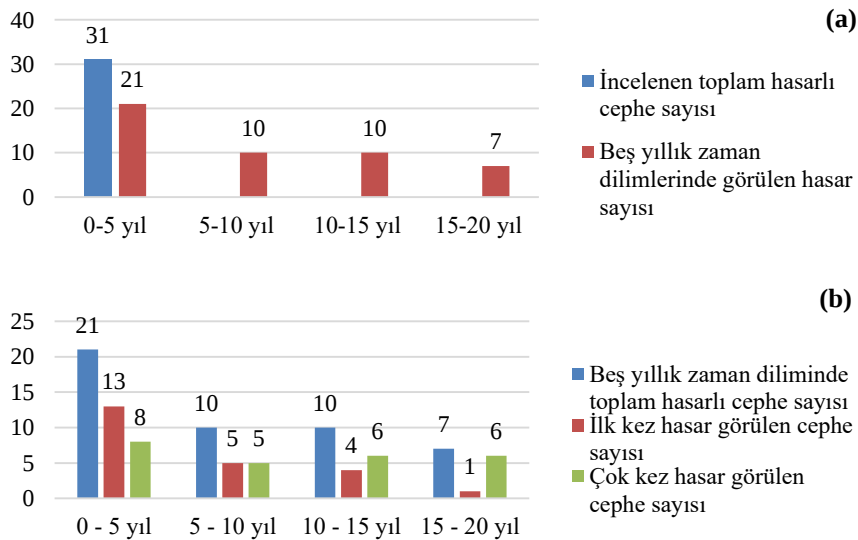
### 3.2.1 Yaşam dönemine bağlı olarak hasarların değerlendirilmesi

İncelenen cephe sistemlerindeki hasarlar tasarım, üretim, montaj, kullanım, bakım-onarım ve denetim aşamaları kaynaklı olarak değerlendirildiğinde hasarların %62'sinin tasarım, %33'ünün kullanım, %5'inin üretim aşamasından kaynaklandığı tespit edilmiştir (Şekil 3.12a). Tasarım aşamasından kaynaklanan hasarlar kendi içinde değerlendirildiğinde, bu hasarların % 61'inin mimari tasarım süreci kaynaklı, %31'inin mimari ve mühendislik tasarım süreci kaynaklı ve %8'inin mühendislik tasarımı süreci kaynaklı olduğu görülmüştür (Şekil 3.12b).



**Şekil 3.12** Yaşam süreci içerisindeki aşamalara göre hasarlar (a), Tasarım sürecinden kaynaklanan hasarlar (b).

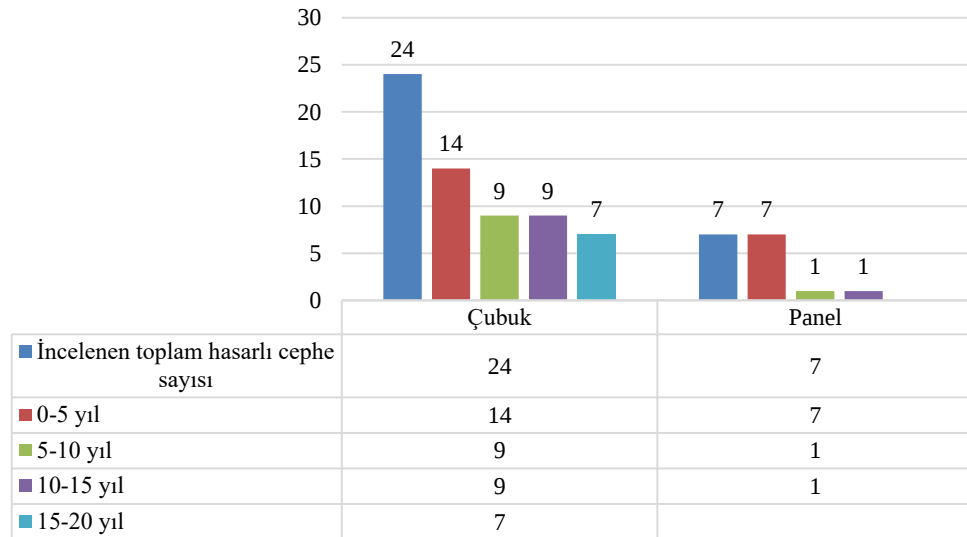
İncelenen 30 binaya ait 31 cephe sisteminin 21 tanesinde hasarlar ilk 5 yıl, 10 tanesinde ilk 10 yıl, 10 tanesinde ilk 15 yıl, 7 tanesinde 20 yıl içerisinde görülmüştür (Şekil 3.13a). Hasarların bazıları yalnızca ilk 5 yıl içerisinde görülürken, bazıları cephe yaşam süreci içerisinde tekrar meydana gelmiştir. Yapılan incelemede ilk 5 yıllık zaman dilimi (0 ~ 5 yıl) içerisinde gerçekleşen hasarların 13'ü ilk defa görülürken, 8 tanesi bu süre içerisinde ikinci kez tekrar etmiştir. İkinci 5 yıllık zaman dilimi (5 ~ 10 yıl) içerisinde görülen hasarın 5'i ilk defa gerçekleşirken, 5 tanesi ikinci kez gerçekleşen hasarlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Üçüncü 5 yıllık zaman dilimi (10 ~ 15 yıl) içerisinde 10 yapıda görülen hasarın 4'ü ilk kez gerçekleşirken, 6'sı ikinci kez tekrar eden hasarlardır. Dördüncü 5 yıllık zaman dilimi (15 ~ 20 yıl) içerisinde hasar görülen cephelerden 1'inde hasar ilk defa görülürken, 6'sında hasarlar ikinci kez görülmüştür (Şekil 3.13b).



**Şekil 3.13** Yaşam dönemi içerisinde giydirme cephe sistemlerinde hasar görülen bina sayıları (a), Yaşam dönemi içerisinde hasarların tekrarlanma durumu (b).

Şekil 3.14'te 5 yıllık zaman dilimleri içerisinde görülen hasarların cephe türlerine göre dağılımları gösterilmiştir. 1996 ~ 2017 yılları arasında yapılan cephe türlerine ilişkin cephe üreticisi ile yapılan görüşmede yapılan cephe sistemlerinin yaklaşık %75'inin panel sistem, %25'inin ise çubuk sistemle yapıldığı bilgisi alınmıştır. İncelenen zaman aralığı içerisinde hasarları değerlendirilen binaların cephe hasarlarının çoğunlukla çubuk sistemde olduğu belirlenmiştir. İncelenen 24 adet çubuk sistemin 14 tanesinde hasarlar ilk 5 yıllık zaman dilimi içerisinde (0 ~ 5 yıl) görülürken, ikinci 5 yıl içerisinde (5 ~ 10 yıl) 9 yapıda, üçüncü 5 yıl içerisinde (10 ~ 15 yıl) 9 yapıda, dördüncü 5 yıl içerisinde (15 ~ 20 yıl) 7 yapının cephesinde hasar görülmüştür. Hasar görülen 7 panel cephe sisteminin tümünde ilk 5 yıllık zaman dilimi içerisinde (0 ~ 5 yıl) hasar görülürken, yalnızca 1'er tanesinde hasar ikinci (5 ~ 10 yıl) ve üçüncü (10 ~ 15 yıl) beş yıllık zaman dilimi içerisinde tekrar etmiştir.

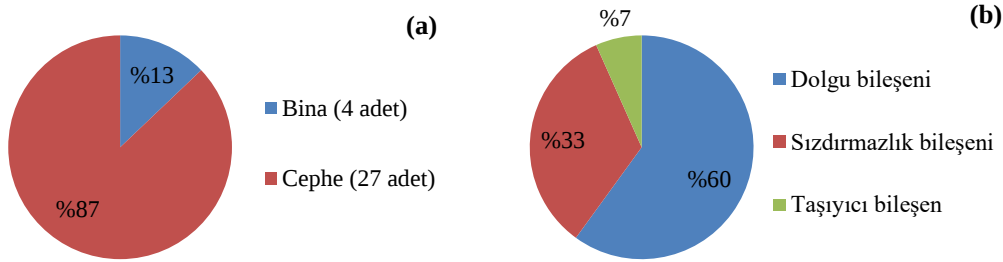
Şekil 3.13a, Şekil 3.13b ve Şekil 3.14'te hasar sonrasında bakım-onarım süreci geçiren cephe sistemlerinde mevcut hasarların tekrarlama oranının azaldığı açıkça görülmektedir. Bir başka ifadeyle tasarım, üretim, yapım süreci kaynaklı oluşan hasarın bakım-onarım sürecinde yapılan çalışmalarla yeniden oluşumunu önlenmek mümkün olmaktadır. Yapılan değerlendirmenin sonucunda bakım-onarım aşamasının özellikle giydirme cephe sistemlerinin yaşam dönemi performansı için çok önemli bir süreç olduğu görülmüştür.



**Şekil 3.14** Yaşam dönemi içerisinde görülen hasarların cephe türüne bağlı olarak tekrarlama durumu.

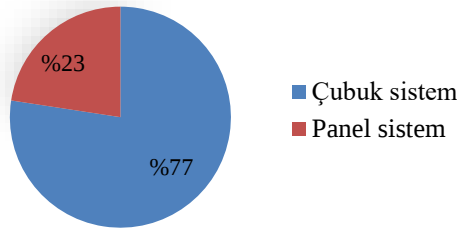
### 3.2.2 Sistem-bileşen ilişkisinden kaynaklanan hasarların değerlendirilmesi

Bina ve cephe sisteminin arasındaki etkileşim kaynaklı oluşan hasarlar incelendiğinde bu hasarların %87'sinin cephe kaynaklı olurken %13'ünün bina kaynaklı nedenlerle meydana geldiği görülmüştür (Şekil 3.15a). Bina kaynaklı hasarlarda zemin özellikleri ve bina taşıyıcı sistem türünden (çelik, betonarme) kaynaklanan cephe hasarları dikkate alınmıştır. Cephe bileşeni kaynaklı oluşan hasarlar incelendiğinde %60'ının dolgu bileşeninde, %33'ünün sızdırmazlık bileşeninde, %7'sinin taşıyıcı bileşende olduğu görülmüştür (Şekil 3.15b).



**Şekil 3.15** Bina ve cephe ilişkisi kaynaklı oluşan hasarlar (a), Cephe-bileşen ilişkisi kaynaklı oluşan hasarlar (b).

İncelenen 30 yapıda görülen cephe hasarların %77'si çubuk sistemde, %23'ü panel sistemde görülmüştür (Şekil 3.16). İncelenen cephe sistemleri içerisinde çubuk sistemlerin diğer sistemlere göre daha hassas sistemler olduğu görülmektedir.

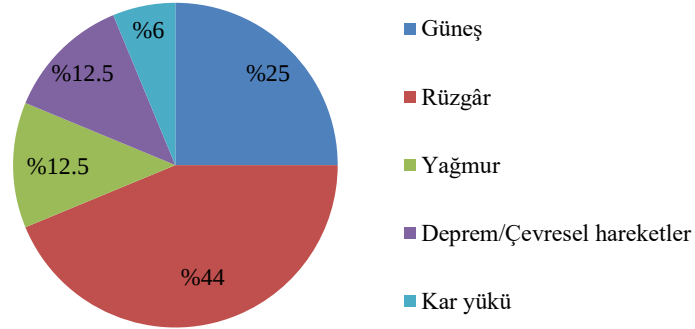


**Şekil 3.16** İncelenen giydirme cephe sistem türlerine göre hasarların dağılımı.

### 3.2.3 Çevresel etmenlere bağlı oluşan hasarların değerlendirilmesi

Güneş, rüzgâr, yağmur, dolu ve deprem giydirme cephe sistemlerinde hasar oluşumuna neden olan çevresel faktörlerdendir. Yapılan değerlendirme sonucunda özellikle güneş ve rüzgârın cephe sistemi üzerinde hasar oluşumuna neden olan en etkili çevresel etmenler olduğunu görülmüştür (Şekil 3.17). İncelenen yapıların cephe sistemlerinde görülen hasarların %25'inin güneşin olumsuz etkileri nedeniyle, %44'ü rüzgâr nedeniyle, %12.5'i yağmur ve dolu kaynaklı meydana gelirken, %12.5'inin

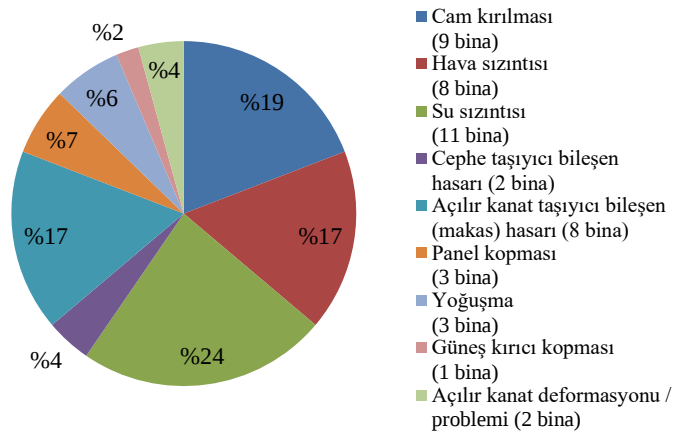
deprem ve trafik gibi yoğun çevresel dinamikler, %6'sının kar yükü nedeniyle ortaya çıktığı belirlenmiştir. Özellikle güneşin ısı etkisi nedeniyle cam ünitelerinde meydana gelen ısı gerilmeler sonucunda cam kırılmaları ve UV ışınlarının zararlı etkisiyle sızdırmazlık bileşenlerinde bozulmaların meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca şiddetli rüzgârın etkisiyle cephe dolgu panellerinde sistemden ayrılmalara, şiddetli dolu ya da çevresel hareketler nedeniyle cam ünitelerinde kırılmalara rastlanmıştır.



**Şekil 3.17** Cephe sistemlerinde hasar oluşumuna neden olan çevresel etmenler.

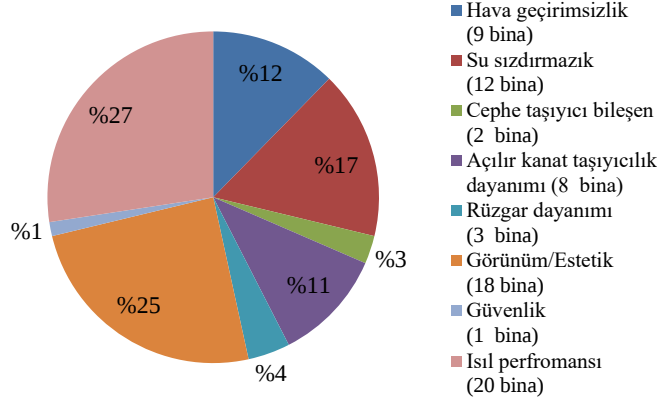
### 3.3 Hasar Durum İncelemesi Sonuçları

Hasar durum analizi kapsamında mevcut binaların alüminyum ve cam giydirme cephe sistemine ait hasarlar önerilen ölçütlere bağlı olarak değerlendirilmiştir. 30 binanın cephe hasarı analizi sonuçlarına göre su sızıntısı, cam ünitesi kırılması, hava sızıntısı, cephe taşıyıcı bileşen hasarı, açılır kanat taşıyıcı bileşen (makas) hasarları, panel kopması, yoğunlaşma, açılır kanat deformasyonu ve güneş kırıcı kopma cephe sistemlerinde en çok görülen hasarlar olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 3.18).



**Şekil 3.18** İncelenen cephe sistemlerinde görülen hasarlar.

İncelenen binaların cephe sistemlerinde görülen bu hasarların %27'si sistemlerin ısı performansını, %25'i estetik, %17'si su sızdırmazlık, %12'si hava geçirimsizlik, %11'i açılır kanat taşıyıcılık dayanımını, %3'ü cephe taşıyıcı bileşeninin taşıyıcılık performansını, %4'ü rüzgâr dayanım performansını, %1'i güvenlik performansını olumsuz yönde etkilediği görülmüştür (Şekil 3.19).



Şekil 3.19 Cephe hasarlarının etkilediği performans özellikleri.

### 3.4 Genel Değerlendirme

Gerçekleştirilen pilot çalışma kapsamında mevcut hasarları incelenen alüminyum ve cam giydirmeye cephe sistemlerinin yaşam dönemine göre yapılan değerlendirmede hasarların çoğunlukla tasarım sürecinden kaynaklandığı görülmüştür. 20 yıllık zaman dilimi içerisinde yapılan değerlendirmede giydirmeye cephe sistemlerinde bakım-onarım süreci sonrasında hasarların görülme olasılığının azaldığı, bu nedenle bakım-onarım sürecinin sistemlerin yaşam dönemi performansının iyileştirilmesinde önemli bir role sahip olduğu görülmüştür. Sistem türü bazında değerlendirildiğinde panel sistemin daha çok uygulama alanı olmasına karşın çubuk sistemde hasar görülme oranının daha çok olduğu tespit edilmiştir. Sistem-bileşen ilişkisine bağlı oluşan hasarların çoğunlukla cephe kaynaklı olduğu ve hasarların çoğunlukla dolgu bileşeninde (cam ünitesinde) görüldüğü tespit edilmiştir. Çevresel etmenler içerisinde güneş ve rüzgârın cephe sistemlerinde hasar oluşumuna neden olan en etkili etmenler olduğu belirlenmiştir.

Yapılan incelemede en çok görülen hasarların cam kırılması, hava girişi, su girişi, taşıyıcı aksesuarlarda kırılmalar, panel kopması, yoğunlaşma olduğu görülmüştür. İncelenen hasarların sistemin ısı performansı, estetik, hava geçirimsizlik ve su sızdırmazlık performanslarında kayıp yaşanmasına neden olduğu belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında sistemin temel performansını doğrudan etkileyen hasarlar ağır hasar, dolaylı yoldan etkileyen hasarlar hafif hasar olarak değerlendirilmiştir. Hasar incelemesinde tespit edilen hasarların çoğunlukla sistemin hava geçirimsizlik, su sızdırmazlık, taşıyıcılık ve dayanıklılık gibi temel performanslarını olumsuz etkileyen ağır hasarlar olduğu görülmüştür. Bu nedenle deneysel çalışma kapsamında alüminyum ve cam çubuk ve panel giydirme cephe sistemlerinin hava geçirimsizlik, su sızdırmazlık ve taşıyıcılık performanslarının yaşam dönemi içerisinde değerlendirilmesine karar verilmiştir. Ses geçirimsizlik ve yangın dayanımı performanslarının belirlenmesi için ayrı bir deney düzeneğine ihtiyaç duyulması ve özel uzmanlık alanı gerektirmesi nedeniyle bu iki performans özelliğinin değerlendirilmesi deneysel çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır.



#### 4. GERÇEK BOYUTLARDA YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMA

Bölüm 2 ve Bölüm 3 kapsamında cephe türlerinin sayısal analizi ve mevcut hasar incelemesine ilişkin ön çalışmaların sonucunda, sistemlerin yaşam dönemi performanslarının ikinci bir yöntem olan deneysel yöntemle değerlendirilmesine karar verilmiştir. Bölüm 2’de yapılan ön çalışma yardımıyla deneysel çalışmada kullanılacak sistem türleri, numunelerin özellikleri ve performans gereksinimleri belirlenerek numunelerin üretim sürecine geçilmiştir. Bölüm 3’te ise çok katlı binaların yoğunlukla yer alması nedeniyle 30 binanın cephe hasarlarının incelenmesine bağlı olarak İstanbul’a ait mevcut durum ortaya konulmuş, en çok karşılaşılan hasarlar ve nedenleri, en çok hasar gören sistem türü ve etkilenen performans ölçütleri belirlenmiştir. Yapılan ön çalışmalara bağlı olarak çubuk ve panel giydirme cephe sistemlerinin İstanbul koşullarında yaşam dönemi performanslarının deneysel olarak değerlendirilmesine karar verilmiştir. İstanbul’da uygulanan alüminyum ve cam çubuk ve panel sistemlerde yaşam dönemi içerisinde en çok karşılaşılan problemlerin iklimsel geçirimsizlik ve taşıyıcılık performansı ile ilgili olduğu görülmüştür. Bu nedenle, sistemlerin iklimsel geçirimsizlik ve taşıyıcılık performanslarının ilk durum ve yaşam dönemi performansı kapsamında değerlendirilmesine yönelik yeni bir deney prosedürü oluşturulmuştur. Mevcut standartlarda belirtildiği gibi zorunlu testlerin sistemlerin yaşam dönemi performansının değerlendirilmesinde yetersiz kalması nedeniyle, çeşitli performans testlerinin yanında yaşam dönemi performansının değerlendirilmesi için oluşturulan deney prosedürüne “ısı döngü testi” eklenmiştir.

Bu bölümde deney düzenekleri, çalışmada kullanılan gerçek ölçülerdeki numunelerin özellikleri, yaşam dönemi performansının değerlendirilmesine yönelik önerilen deney prosedürü ve deney sürecinde yer alan performans testleri detaylı olarak açıklanmıştır. Cephe numunelerine uygulanan performans testleri İstanbul Çatalca’da yer alan, Türkiye Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) tarafından akredite Facade Testing Institute - Fasad Teknoloji Merkezinde (FTI) gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan gerçek ölçeklerde çubuk ve panel sistem numuneleri Metal Yapı A.Ş. tarafından, test stantları ise FTI test merkezi tarafından özel olarak tasarlanmıştır.

Önerilen deney prosedürü kapsamında gerçekleştirilecek olan ısı döngü (yaşlanma) testi için gerekli ekipmanların temini ve deney düzeneğinin hazırlaması test merkezi tarafından gerçekleştirilmiştir.

#### 4.1 Deney Düzenekleri

Cephe sistemlerinin boyutlarına uygun iki adet test standı, numunelerin gerçeğe uygun biçimde takılması için gerekli tüm donanımına sahip olacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 4.1). Stantlar, test sırasında ulaşılan en yüksek basınç değerlerine karşı dayanıklı ve gereken sızdırmazlığa sahip olacak şekilde çelik taşıyıcı profiller ve kontrplaktan imal edilmiştir. Numunelerin testlerine başlamadan önce kabinlerin sızdırmazlıkları yeniden kontrol edilmiş ve kaçak noktaların oluşumu engellenmiştir.



Şekil 4.1 Çalışmada kullanılan test stantları.

Test stantlarının test merkezinde çalışma için özel olarak yapılması nedeniyle, deneysel çalışma sırasında kalibrasyonu yapılan harici cihazlar kullanılmıştır. Yapılan ölçümler elektronik ortamda kayıt altına alınmıştır. Şekil 4.2a, Şekil 4.2b, Şekil 4.2c ve Şekil 4.2d’de testler sırasında kullanılan cihazlar gösterilmiştir.



**Şekil 4.2** Hava ve su sızdırmazlık testi için basınç oluşturma düzeneği (a), Deprem testinde kullanılan özel piston (b), Mazotlu ısıtıcı (c), Sıvı azot tüpleri (d).

#### 4.2 Deney Numunelerinin Özellikleri

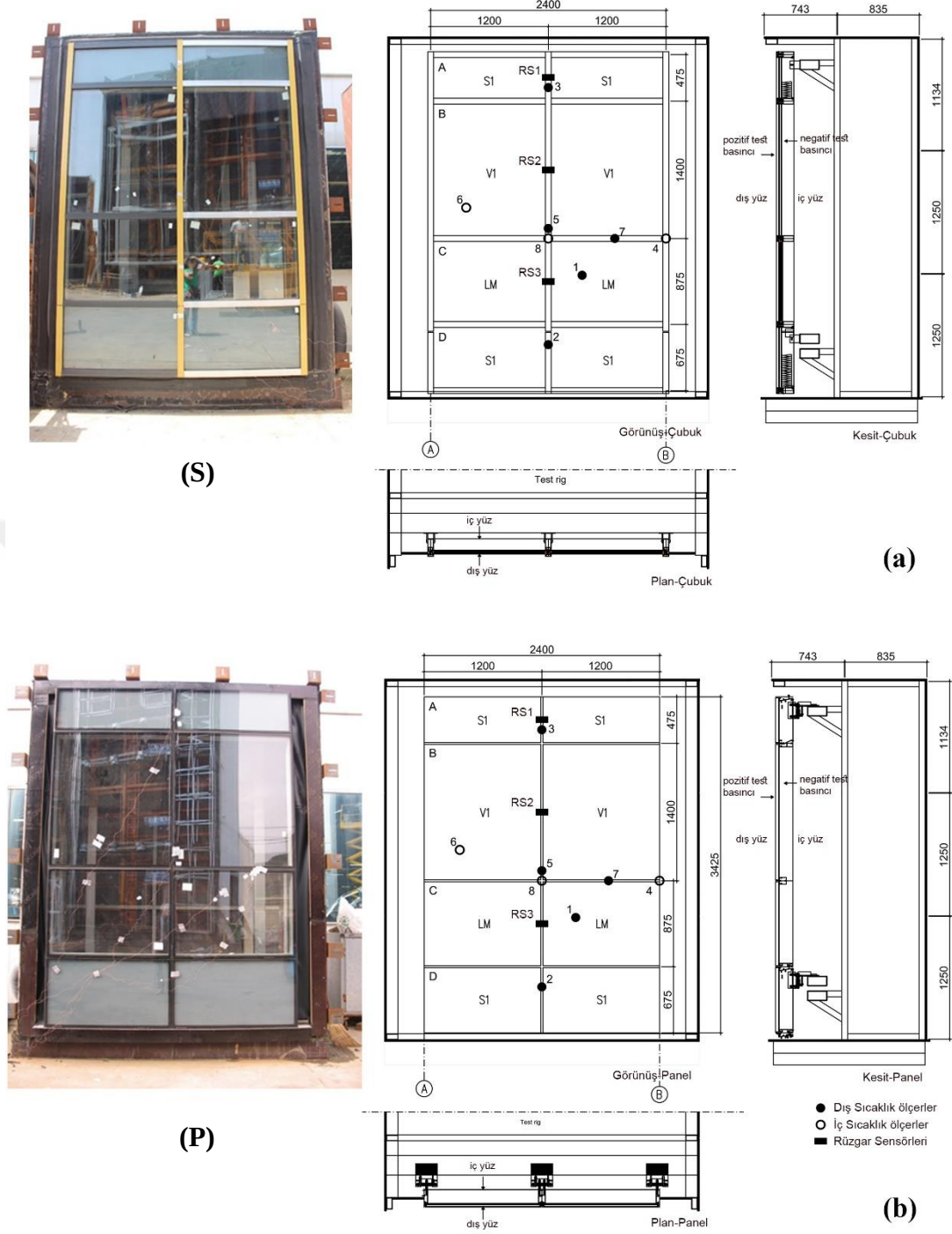
Gerçek boyutlardaki alüminyum ve cam çubuk ve panel sistem numuneleri aynı özelliklere sahip olacak şekilde bu çalışma için özel olarak üretilmiştir. Yatay ve düşeyde aynı aks aralıklarına sahip olan çubuk ve panel sistem numunelerinin asıldığı binanın kat yüksekliği 2750 mm'dir. Numunelerin yatay aks aralıkları 1200 mm, düşey aks aralıkları ise yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla 475 mm, 1400 mm, 875 mm ve 675 mm'dir. Her iki numunede de açılabilir kanat bulunmamaktadır. Numunelerde kullanılan spandrel (renkli) ve vizyon (görüş) camlarının özellikleri Çizelge 4.1'de, numunelerin ölçüleri ve stantlara yerleşimleri Şekil 4.3a ve Şekil 4.3b'de detaylı olarak açıklanmıştır.

Çubuk sistemin montajı tüm bileşenlerin test merkezine getirilmesinin ardından kabin yalıtımıyla birlikte yaklaşık üç iş günü içerisinde tamamlanmıştır. Test merkezine getirilen ön üretimli panel sistemin montajı ise test standının yalıtımıyla birlikte iki iş gününden daha kısa sürede tamamlanmıştır. Çubuk sistemin montajında bir usta ve bir işçi sürekli çalışmıştır. Gerekli durumlarda bir ya da iki işçi daha yardımcı olmuştur. Panel sistemin ön hazırlıklarının tamamlanmasında bir işçi görev almıştır. Panellerin

kabine asılması sürecinde iki işçi çalışmıştır. Üst kısımda yer alan iki büyük panelin takılması için vinç kullanılmıştır.

**Çizelge 4.1** Numunelerin özellikleri.

| Numune özellikleri            | Açıklama                                                              |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Numune boyutları (LxH)        | 2460 mm x 3485 mm                                                     |
| Şeffaf/Vizyon camı 1 (B)      | 6mm float temperli cam + 18 mm hava boşluğu + 6 mm float temperli cam |
| Şeffaf/Vizyon camı 2 (C)      | 6mm float temperli cam + 18 mm hava boşluğu + 8mm lamine cam          |
| Renkli/Opak cam (A&D)         | 6mm float temperli cam + 18 mm hava boşluğu + 6 mm float temperli cam |
| Yüzey alanı (m <sup>2</sup> ) | 8,57 m <sup>2</sup>                                                   |
| Bina kat yüksekliği           | 2750 mm                                                               |



**Şekil 4.3** Çalışmada kullanılan numuneler ve çizimleri, rüzgâr sensörleri ve sıcaklık ölçerlerin yerleri, çubuk sistem (S) (a), panel sistem (P) (b).

#### 4.3 Deney Süreci ve Deney Prosedürü

Çalışma kapsamında, çubuk ve panel giydirmce cephe sistem numunelerine uygulanan hava geçirgenlik, statik ve dinamik su sızdırmazlık, rüzgâr dayanımı, deprem dayanımı ve ısı döngü testlerinde kullanılan standartlar çizelge 4.2’de verilmiştir. İlgili bölümlerde çubuk sistem numunesi için “S”, panel sistem numunesi için “P” kodu kullanılmıştır. Performans testleri, çalışma kapsamında önerilen deney prosedürüne göre çubuk ve panel sistem numunelerine sırasıyla uygulanmıştır.

**Çizelge 4.2** Çalışmada kullanılan test standartları.

| Standart No   | Tarih | Standard Adı                                                                                                                                |
|---------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TS EN 12152   | 2004  | Giydirme Cepheler, Hava Geçirgenliği, Performans Gereklere ve Sınıflandırma                                                                 |
| TS EN 12153   | 2006  | Giydirme cepheler - Hava geçirgenliği – Deney metodu                                                                                        |
| TS EN 12154   | 2004  | Giydirme Cepheler – Su Sızdırmazlık, Performans Şartları ve Sınıflandırma                                                                   |
| TS EN 12155   | 2005  | Giydirme Cepheler - Su sızdırmazlık – Statik Basınç Altında Laboratuvar Deneyi                                                              |
| TS EN 12179   | 2000  | Perde duvar – Rüzgâr yüklerine dayanım - Deney Metodu                                                                                       |
| TS EN 13116   | 2004  | Giydirme Cepheler – Rüzgâr Yüküne Dayanım-Performans Şartları                                                                               |
| TS EN 13050   | 2011  | Giydirme Cepheler – Su Sızdırmazlık- Dinamik Hava Basıncı ve Su Püskürtme Etkisi Altında Laboratuvar Deneyi                                 |
| AAMA 501.5-07 | 2007  | Test Method for Thermal Cycling of Exterior Walls                                                                                           |
| AAMA 501.4-09 | 2009  | Recommended Static Testing Method for Evaluating Curtain Wall and Storefront Systems Subjected to Seismic and Wind Induced Interstory Drift |

TS EN 13830 Giydirmce cepheler – Mamul standardı (Curtain walling – Product standard) (2015)’te Metot A ve Metot B olmak üzere iki adet deney prosedürü tanımlanmaktadır. Metot A giydirmce cephe sistemlerine uygulanması zorunlu olan hava geçirimsizlik, statik su sızdırmazlık ve rüzgâr dayanım testlerini içermektedir. Zorunlu deney prosedürünün genişletilmesiyle oluşturulan Metot B, zorunlu testlerin yanında dinamik su sızdırmazlık testi ve deprem testi gibi ek performans testlerini de içermektedir. CWCT Standard for Systemised Building Envelopes (2005) test standardı sistem performansının gerçeğe en yakın şekilde belirlenmesi için zorunlu testlere ek olarak ısı döngü (yaşlandırma) testi gibi ek testlerin yapılmasını da önermektedir. Ancak, iklimsel değişikliklerin cephe sistemlerine uygulanarak cephe üzerindeki etkileri hakkında ön bilgi edinmemizi sağlayan ısı döngü testini içeren bir deney prosedürü TS EN 13830 (2015) standardında yer almamaktadır. Ayrıca, Türk

Standartlarında yaşlandırma testiyle ilgili mevcut bir test standardı bulunmamaktadır. Bu nedenle bu deneysel çalışma kapsamında TS EN 13830 Metot B deney prosedürü CWCT (2005)'te yer alan deney prosedürüyle desteklenerek ısı döngü testini de içeren yeni bir deney prosedürü önerilmiştir. AAMA 501.5-07 (2007) ısı döngü test standardı İstanbul koşullarına uyarlanarak sistemlerin ilk performanslarının, yaşlanma sonrasındaki performanslarının ve çeşitli çevresel etmeler ile yaşlanmaya maruz kalmalarının ardından performanslarının değerlendirilmesi amacıyla deney prosedürüne Adım 3 ve Adım 9'da olmak üzere iki aşamada dâhil edilmiştir.

İlk aşamada Adım 1 ve Adım 2'de gerçekleştirilen hava geçirgenlik ve su sızdırmazlık testleriyle sistemlerin ilk performansı belirlenmiştir. Adım 3'te gerçekleştirilen birinci ısı döngü testi ile sistemler yaşlandırıldıktan sonra Adım 4 ve Adım 5'te gerçekleştirilen hava geçirgenlik ve su sızdırmazlık testleri ile sistemlerin yaşlanma sonrasındaki performansı ortaya konulmuştur.

İkinci aşamada sistemlerin şiddetli çevresel etmenlere, başka bir deyişle rüzgâr dayanım testine (Adım 6) maruz bırakılmasının ardından performanslarındaki değişim Adım 7 ve Adım 8'de gerçekleştirilen hava geçirgenlik ve su sızdırmazlık testiyle yeniden belirlenmiştir. Sistemlerin yaşam ömrü içerisinde yaşlanma ve çevresel etmenlere maruz kalmasının ardından yeniden yaşlandırılarak (Adım 9) yaşam dönemi içerisindeki performansları belirlenmeye çalışılmıştır. Deney prosedürü kapsamında sistemlerin yaşam dönemi içerisinde maruz kalabileceği deprem, rüzgârla itilen yağmur suyu gibi çevresel etkiler sistemlere uygulanarak yaşam dönemi içerisinde sistemlerin performanslarındaki değişim ortaya konulmaya çalışılmıştır. Yaşam dönemi performanslarındaki değişimin belirlenmesinin ardından son test olarak sistemlerin güvenlik yükü altındaki durumu değerlendirilerek deney prosedürü sonlandırılmıştır. Çalışma kapsamında numunelere uygulanan performans testlerinin sıralaması Çizelge 4.3'te belirtilmiştir.

**Çizelge 4.3** Çalışma kapsamında önerilen deney prosedürü.

| Test adımları | Standart Test Sırası                  | Uygulanan Standart | Test Değerleri                  |
|---------------|---------------------------------------|--------------------|---------------------------------|
| 1             | Hava geçirgenlik (pozitif ve negatif) | TS EN 12153        | 600 Pa                          |
| 2             | Su sızdırmazlık (statik)              | TS EN 12155        | 600 Pa                          |
| 3             | Isıl döngü                            | AAMA 501.5-07      | -10 °C - +50 °C                 |
| 4             | Hava geçirgenlik (pozitif ve negatif) | TS EN 12153        | 600 Pa                          |
| 5             | Su sızdırmazlık (statik)              | TS EN 12155        | 600 Pa                          |
| 6             | Rüzgâr dayanımı-hizmet elverişlilik   | TS EN 12179        | 2400 Pa                         |
| 7             | Hava geçirgenlik (pozitif ve negatif) | TS EN 12153        | 600 Pa                          |
| 8             | Su sızdırmazlık (statik)              | TS EN 12155        | 600 Pa                          |
| 9             | Isıl döngü                            | AAMA 501.5-07      | -10 °C - +50 °C                 |
| 10            | Hava geçirgenlik (pozitif ve negatif) | TS EN 12153        | 600 Pa                          |
| 11            | Su sızdırmazlık (statik)              | TS EN 12155        | 600 Pa                          |
| 12            | Dinamik su sızdırmazlık               | EN 13050           | 300 Pa ve 900 Pa                |
| 13            | Deprem dayanımı                       | AAMA 501.4-09      | Kat yüksekliğinin %1'i, 27.5 mm |
| 14            | Hava geçirgenlik (pozitif ve negatif) | TS EN 12153        | 600 Pa                          |
| 15            | Su sızdırmazlık (statik)              | TS EN 12155        | 600 Pa                          |
| 16            | Rüzgâr dayanımı-güvenlik (1,5 katı)   | TS EN 12179        | 3600 Pa                         |
| 17            | Söküm, inceleme ve kayıt              |                    |                                 |

Deneyisel çalışma sürecinde sırasıyla çubuk sistem “S” numunesinin ve panel sistem “P” numunesinin testleri tamamlanmıştır. Deney prosedürü boyunca çalışma ortamıyla ilgili bazı zorunlu nedenlere bağlı olarak panel sistem numunesi stanttan bir defaya mahsus olmak üzere sökülülmüştür. Bu sayede sistemlerde sökölüp-takılmaya bağlı olarak oluşabilecek performans değişiklikleri en aza indirilmeye çalışılmıştır. Çalışma sürecinde yalıtımlı kabinin takılıp-sökülmesi sürecinde yaşanan aksaklıklar nedeniyle panel sistemin cam ünitesinde kırılmalar meydana gelmiştir:

- Adım 2 (su sızdırmazlık testi) sonrasında ısı döngü testi için yalıtımlı kabin takılması sırasında sol üst cam ünitesinde kırılma,
- Adım 3 (birinci ısı döngü) sonrasında yalıtımlı kabin çıkarılırken alınan darbe sonucunda sol üst cam ünitesinde kırılma,
- Adım 3'te cam ünitesi değişimi yapıldıktan sonra numunenin kabinden sökümü,
- Numunenin takılması sürecinde sağ alt panelde yer alan cam ünitesinde darbe nedeniyle kırılma

meydana gelmiştir. Cam ünitelerinde deney sürecinden bağımsız meydana gelen kırılmalar ve söküm süreci sonrasında gerekli onarımlar yapılarak deney prosedürüne uygun olarak deney sürecine devam edilmiştir. Performans testlerinin cephe sistemi üzerindeki etkileri, alınan ölçümler ve gözlem sonuçlarına göre değerlendirilmiştir. Test süresince;

- Hava geçirgenlik testlerinde ölçülen değerler, test süresince standartta belirlenen aralıklarla elektronik ortamda kayıt altına alınmıştır.
- Statik ve dinamik su sızdırmazlık testlerinde test sırasında ve sonrasında gerçekleştirilen gözlem sonuçları kayıt altına alınmıştır.
- Isıl döngü testi boyunca iç ortam, dış ortam ve yüzey sıcaklıklarının değişimleri 10 saniye aralıklarla yapılan ölçümlerle elektronik ortamda kayıt altına alınmıştır. Ayrıca, kabin içine yerleştirilen nemölçer yardımıyla 10 dakika aralıklarla kabinin iç ortam nem oranı kaydedilmiştir.
- Tasarım yükü altında gerçekleştirilen rüzgâr dayanım testinde (hizmete elverişlilik) kullanılan ölçüm sensörleri yardımıyla basınç değişimine bağlı olarak numunelerde oluşan ön yüz yerdeğiştirme miktarı 3 noktadan kayıt altına alınmıştır. Arttırılmış yük altında gerçekleştirilen rüzgâr dayanım testinde (güvenlik) numunelerde herhangi bir hasar olup olmadığı yapılan gözlem sonuçlarına bağlı olarak kaydedilmiştir.
- Deprem testinde numunenin bağlı olduğu kirişe takılan piston yardımıyla cephe yatay doğrultuda, numune düzlemi içinde her iki yönde hareket ettirilmiştir. Deprem testi sırasında yapılan gözlem sonuçlarına bağlı olarak sistemde oluşan değişiklikler kayıt altına alınmıştır.
- Isıl döngü, rüzgâr dayanımı (hizmete elverişlilik), dinamik su sızdırmazlık ve deprem dayanımı testleri gibi performans testlerinin sonrasında gerçekleştirilen hava geçirgenlik, statik su sızdırmazlık testleri ve gözlem sonuçlarına bağlı olarak sistemlerin performans değişimleri detaylı olarak incelenmiştir.

Deneyisel çalışma öncesinde, performans testlerinde uygulanacak test değerlerinin belirlenmesi için sistem üreticisi ve test merkeziyle görüşmeler yapılmıştır. Sistem üreticisinin uygulamış olduğu test standartları ve değerlerine bağlı olarak elde edilen sonuçlar çalışmaya ait test değerlerinin belirlenmesinde dikkate alınmıştır. Çalışmanın kapsamında ısı döngü testinde uygulanacak en düşük ve en yüksek sıcaklık

değerlerinin belirlenmesinde İstanbul'a ait son 20 yıllık sıcaklık verileri kullanılmıştır. Sistemin güvenlik yükü altındaki performansının değerlendirilmesi için rüzgâr dayanım testinde uygulanan tasarım yükünün %150'si uygulanarak test yöntemi tamamlanmıştır. Sisteme uygulanan basınç değerleri Çizelge 4.4'te belirtilmiştir.  $P_{normal}$  hava geçirgenlik ve statik su sızdırmazlık testlerinde uygulanan en yüksek basınç değerini,  $P_{tasarım}$  rüzgâr yükü dayanım testinde uygulanan en yüksek basınç değerini,  $P_{arttırılmış}$  ise sisteme güvenlik yükü testinde uygulanan en yüksek basınç değerini belirtmektedir.

**Çizelge 4.4** Test yönteminde kullanılan basınç değerleri (Pa).

| Basınç            | Pozitif yönde basınç değeri | Negatif yönde basınç değeri |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| $P_{normal}$      | + 600 Pa                    | - 600 Pa                    |
| $P_{tasarım}$     | + 2400 Pa                   | - 2400 Pa                   |
| $P_{arttırılmış}$ | + 3600 Pa                   | - 3600 Pa                   |

#### 4.3.1 Hava geçirgenlik testi

Montaj süreci öncesinde numunelere uygulanması gereken zorunlu performans testlerinden ilki hava geçirgenlik testidir. Giydirme cephe sistemlerinin hava geçirgenlik performansında özellikle birleşim noktaları büyük öneme sahiptir. Hava geçirgenlik testinin amacı numunenin sabit ve açılabilir kısımlarında oluşabilecek hava geçirgenlik miktarını pozitif ve negatif basınç değerleri altında belirlemektir (TS EN 12153, 2006).

Cephe sisteminin hava geçirgenlik performansının en doğru şekilde belirlenebilmesi için uygulamada kullanılması düşünülen form, malzeme, bileşen, ölçü ve detayları yansıtan birebir ölçekli test numunelerinin hazırlanması gereklidir. Bununla birlikte numunenin test standına bağlantısı mümkün olduğunca gerçeğe en yakın şekilde yapılmalı ve bağlantı sonrasında test standı numuneye ek bir destek sağlamamalıdır (TS EN 12153, 2006).

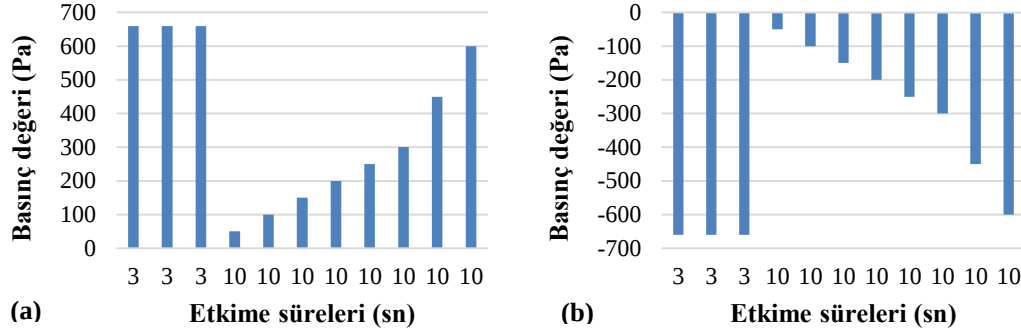
Test sırasında sistem performansının en iyi şekilde değerlendirilmesi için numunenin yatay ve düşey birleşim yerlerine sahip olması gerekmektedir. Buradan hareketle TS EN 12153 (2006)'da test numunesinin en az iki birim genişliğe sahip ve bir düşey birleşim yeri ya da çerçeve elemanı ya da her ikisinin üzerine yük binmesini sağlayacak özellikte olması gerektiği belirtilmiştir (s. 5). Test edilecek numunenin yüksekliğinin en az bir kat yüksekliğinde olması gerekmektedir (TS EN 12153, 2006, s. 5).

Deney numunesi “iki yöndeki normal kullanım durumu için düz, kare şeklinde ve sabitleme tertibatlarının kullanımının bir sonucu olan gözle görünür bir bükülme veya eğilme olmaksızın doğru bir şekilde yerleştirilir” (TS EN 12153, 2006, s. 5). Teste başlamadan önce numunede yer alan tüm destekler ve koruyucu malzemeler çıkartılmaktadır. Açılabilir bölümlerde oluşabilecek hava girişinin önlenmesi amacıyla tüm ek yerleri bantlanmaktadır. Bunlara ek olarak havalandırma cihazlarının bulunduğu vb. yerler sızdırmaz hale getirilerek sistemde oluşan hava sızıntısının daha kolay belirlenmesi sağlanmaktadır (TS EN 12153, 2006).

Test öncesinde numuneye pozitif ve negatif yönde uygulanacak en yüksek basınç değeri ( $P_{en\check{c}ok}$ ) belirlenmektedir. “Hava geçirgenlik testi boyunca 50 Pa’dan 300 Pa’ya kadar olan artışlarla ve 150 Pa’dan azami deney basıncına kadar olan artışlarla deney basınçları numuneye uygulanır” (TS EN 12153, 2006, s. 6). Test süresince uygulanan basınç değerlerinin etki süresi 10 sn’nin altında kalmamalıdır. Bu süre sonunda uygulanan basınç değeri altında sistemin hava geçirgenlik değeri tespit edilir.

Hava geçirgenlik testinin başlangıcında numuneye 500 Pa ya da en yüksek basıncının %10 fazlası (hangisi büyükse) 1 saniyeden az ve 3 saniyeden fazla olmayacak biçimde, 3 darbe uygulanmaktadır. Çalışma kapsamında çubuk ve panel sistem numunelerine hava geçirgenlik testinde uygulanacak en yüksek basınç değeri üretici firma ve test merkeziyle yapılan görüşme doğrultusunda 600 Pa olarak belirlenmiştir. Testin başlangıcında en yüksek basınç değerinin (600 Pa) %10 fazlası (660 Pa) 3 saniye arayla 3 darbe şeklinde numunelere uygulanmıştır. Ardından 50, 100, 150, 200, 250 300, 450, 600 Pa basınç değerleri 10 saniyeden kısa olmayan aralıklarla sırasıyla uygulanarak ölçülen hava geçirgenlik değerleri kayıt altına alınmıştır. Pozitif yöndeki test tamamlandıktan sonra aynı işlemler sırasıyla negatif yönde tekrar edilerek sistemlerin her iki yönde hava geçirgenlik değerleri belirlenmiştir (Şekil 4.4a ve Şekil 4.4b).

Önerilen deney prosedürüne bağlı olarak, hava geçirgenlik testi ilk performansı belirlemek ve sisteme uygulanan performans testlerinden sonra sistemin hava geçirgenlik değerindeki değişimi belirlemek için Adım 1, Adım 4, Adım 7, Adım 10 ve Adım 14’te olmak üzere 5 kez tekrar edilmiştir.



**Şekil 4.4** Hava geçirgenlik deneyi basınç değerleri ve süreleri pozitif yönde (a), negatif yönde (b).

Sistemin hava geçirgenlik testini başarıyla tamamlaması için, test süresince uygulanan basınç değerleri altında ölçülen hava geçirgenlik değerlerinin standartta belirtilen  $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$  sınır değerini geçmemesi gerekmektedir. 150 Pa'nın altındaki basınç değerlerinde numunenin hava geçirgenlik değerinin  $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ 'ı aşması durumunda numune sınıflandırılmamaktadır. Çizelge 4.5'te belirtilen sınıflandırmaya göre 600 Pa basınç altında numuneye ait hava geçirgenlik değerinin  $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ 'ın altında kalması durumunda numune A4 olarak sınıflandırılırken, 600 Pa'nın üzerindeki basınç değeri altında sınır değerinin aşılmadığı durumlarda numune AE (E: istisnai) olarak sınıflandırılmaktadır (TS EN 12152, 2004).

**Çizelge 4.5** Hava geçirgenlik sınıfları (TS EN 12152, 2004).

| Maksimum basınç değeri $P_{\max}$ (Pa) | Hava geçirgenlik limit değeri ( $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ ) | Sınıf |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------|
| 150                                    | 1.5                                                                | A1    |
| 300                                    | 1.5                                                                | A2    |
| 450                                    | 1.5                                                                | A3    |
| 600                                    | 1.5                                                                | A4    |
| > 600                                  | 1.5                                                                | AE    |

Giydirme cephe sistemlerinin üzerine etki eden etmenlere karşı dayanıklı olması ve yaşam dönemi boyunca performansında kayıp olmaması beklenmektedir. TS EN 13116 Giydirme Cepheler – Rüzgâr Yüküne Dayanım – Performans Şartları standardında belirtildiği üzere birinci ve ikinci hava geçirgenlik testlerinde uygulanan en yüksek basınç altında ölçülen hava geçirgenlik değerlerinin arasındaki pozitif farkın  $0,30 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ 'ı geçmemesi gerekmektedir (TS EN 13116, 2004). Tez çalışması kapsamında beş hava geçirgenlik testinin uygulanması nedeniyle bu fark değeri iki şekilde ele alınmıştır: Birinci durumda ardışık testler arasındaki fark değeri, ikinci

durumda ise sistemin ilk performansı ile uygulanan diğer testler arasındaki fark değerleri değerlendirilmiştir (Çizelge 4.6).

**Çizelge 4.6** Hava geçirgenlik değerleri arasındaki mutlak farkın değerlendirilmesi.

| Ardışık testler arasındaki<br>farka göre | İlk performans ile arasındaki<br>farka göre | Sınır değer<br>(mutlak fark) $m^3/m^2h$ |
|------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Adım 1 – Adım 4                          | Adım 1 – Adım 4                             | 0.30                                    |
| Adım 4 – Adım 7                          | Adım 1 – Adım 7                             | 0.30                                    |
| Adım 7 – Adım 10                         | Adım 1 – Adım 10                            | 0.30                                    |
| Adım 10 – Adım 14                        | Adım 1 – Adım 14                            | 0.30                                    |

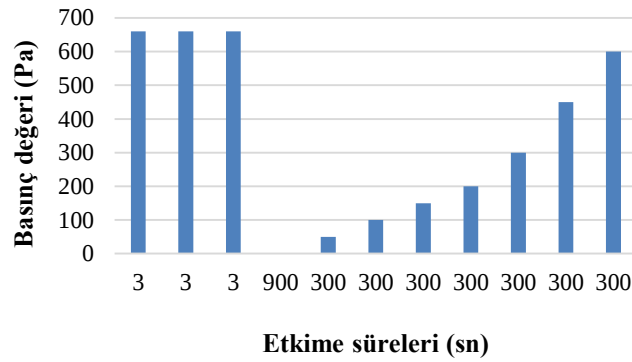
#### 4.3.2 Su sızdırmazlık testi (statik)

Statik su sızdırmazlık testi numunelerin sabit ve açılabilir bölümlerinde oluşabilecek su sızdırmazlığın tespitinde kullanılan, uygulama öncesinde yapılması zorunlu olan testlerden bir diğeridir (TS EN 12155, 2005). Önerilen deney prosedürü kapsamında statik su sızdırmazlık testleri TS EN 12155 (2005) Giydirme cepheler – Su sızdırmazlık – Statik basınç altında laboratuvar deneyi standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Test süresince, numunenin dış yüzeyine  $2 L/m^2$  debide su püskürtülmek suretiyle, belirli zaman aralıkları boyunca etki ettirilen pozitif basınç değerleri altında numunede herhangi bir su sızıntısının olup olmadığı gözlemlenmektedir. Test sırasında ve bitiminde yapılan gözlem sonuçlarına bağlı olarak varsa su sızıntısının görüldüğü yer, basınç değeri ve zamanı kaydedilmelidir (TS EN 12155, 2005).

Öncelikle TS EN 12154 (2004) standardına göre numunenin su sızdırmazlık testi performansına göre sınıflandırılabilmesi için en yüksek test basıncı ( $P_{en\check{c}ok}$ ) belirlenir. Testin başlangıcında numuneye 500 Pa ya da en yüksek basıncın %10 fazlasına eşit olan basınç değeri 1 saniyeden az, 3 saniyeden fazla olmayacak şekilde üç darbe etki ettirilir. Test süresince cephe yüzeyine  $2L/m^2$  debide su püskürtülmektedir. Testin ilk 15 dakikası boyunca su 0 Pa basınç altında cephe yüzeyine etki ettirilir. Ardından sırasıyla pozitif yönde 50, 100, 150, 200, 300, 450 ve 600 Pa basınç değerleri 5 dakika aralıklarla numuneye uygulanır. Test süresi boyunca numunede herhangi bir su sızıntısı olup olmadığı kontrol edilir. Varsa sızıntının görüldüğü bölgeyle ilgili bilgiler kayıt altına alınır (TS EN 12155, 2005).

Üretici firma ile yapılan görüşmeler doğrultusunda çubuk ve panel sistem numuneleri için uygulanan en yüksek basınç 600 Pa olarak belirlenmiştir. Cephe numunelerine

testin başlangıcında 660 Pa ( $600 \text{ Pa} + 600 \text{ Pa} \times \%10$ ) basınç değeri 3 saniye aralıklarla 3 darbe şeklinde etki ettirilmiştir. Numune 0 Pa basınç değeri altında 15 dakika boyunca dış yüzeyinden suya maruz bırakılmıştır. Ardından pozitif yönde sırasıyla 50, 100, 150, 200, 300, 450 ve 600 Pa basınç değerleri 5 dakika boyunca numune yüzeyine su püskürtülmesiyle eş zamanlı olarak etki ettirilmiştir (Şekil 4.5). Deney sırasında ve sonrasında yapılan gözlemler sonucunda numunelerin su sızdırmazlık performansları değerlendirilmiştir. Çubuk ve panel sistem numunelerine deney prosedürü boyunca, ilk performanslarını belirlemek ve uygulanan diğer performans testleri sonrasında numunenin su sızdırmazlık performansındaki değişimi gözlemlemek için Adım 2, Adım 5, Adım 8, Adım 11 ve Adım 15'te olmak üzere 5 kez statik su sızdırmazlık testi uygulanmıştır.



**Şekil 4.5** Su sızdırmazlık testinde uygulanan basınç değerleri ve uygulama süreleri.

Test sonunda giydirme cephe sistemi su sızdırmazlık performansı açısından TS EN 12154 (2004) standardından belirtilen koşulları sağlaması durumuna göre sınıflandırılmaktadır. Sistemlerin sınıflandırılmasına ilişkin bilgiler çizelge 4.7'de gösterilmektedir. Su sızdırmazlık testi sırasında herhangi bir sayısal veri elde edilememesi nedeniyle, sistemlerin performansı test sırasında yapılan gözlem sonucuna bağlı olarak değerlendirilmektedir. 150 Pa basınç değerinden daha düşük bir değerde sistemin su alması durumunda sistem sınıflandırılmazken, 600 Pa basınç değeri üstündeki sistemler E (İstisnâî) olarak sınıflandırılmaktadır (TS EN 12154, 2004).

**Çizelge 4.7** Statik su sızdırmazlık testinde uygulanan basınç değerleri ve etkiye sürelerine bağlı sınıflandırma (TS EN 12154, 2004).

| Sınıf  | Basınç Değerleri (Pa)/Deney Süresi (dk) Pa/dk                                                                               | Su püskürtme hızı L/m <sup>2</sup> dk |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| R4     | 0/15; 50/5; 100/5; 150/5                                                                                                    | 2                                     |
| R5     | 0/15; 50/5; 100/5; 150/5;200/5; 300/5                                                                                       | 2                                     |
| R6     | 0/15; 50/5; 100/5; 150/5;200/5; 300/5; 450/5                                                                                | 2                                     |
| R7     | 0/15; 50/5; 100/5; 150/5;200/5; 300/5; 450/5; 600/5                                                                         | 2                                     |
| RE xxx | 0/15; 50/5; 100/5; 150/5;200/5; 300/5; 450/5; 600/5; 600/5'in üstünde, 150 Pa'lık basınç kademelerinde ve 5 dakika süre ile | 2                                     |

#### 4.3.3 Dinamik su sızdırmazlık testi

Dinamik su sızdırmazlık testi giydirme cephe sistemlerinin sabit ve açılabilir bölümlerine ait su sızdırmazlık performansının değerlendirilmesinde kullanılan ilave test yöntemidir. Bu test sınıflandırma için gerekmemekle birlikte, gerekli görülen durumlarda (isteğe bağlı olarak) deney prosedürüne eklenmektedir. Dinamik su sızdırmazlık testinde devamlı biçimde püskürtülen su ve sert/türbülanslı/şiddetli hava akımıyla birlikte etki eden değişken pozitif basınç değerleri altında gerçek boyutlu cephe numunesinin su sızdırmazlık performansı değerlendirilmektedir (TS EN 13050, 2011, s.4).

Deney prosedürü kapsamında çubuk ve panel sisteme uygulanan dinamik su sızdırmazlık testinde TS EN 13050 (2011) Giydirme cepheler – Su sızdırmazlık – Dinamik hava basıncı ve su püskürtme etkisi altında laboratuvar deneyi standardı kullanılmıştır. Test boyunca numunenin dış yüzeyinden 2 L/m<sup>2</sup> debide su sürekli olarak püskürtülürken aynı anda şiddetli/türbülanslı hava akımının oluşturulması gereklidir. Türbülanslı hava akımı, 90° bükülerek cephe yüzeyine yönlendirilen 600 mm çaplı bir boruya sabitlenmiş değişken hızlı eksenel bir fanla üretilir. Borunun dirseğinin yarıçapı 300 mm ± 5 mm, dirsekten sonra borunun düz gelen kısmının yarıçapı 300 mm ± 10 mm olmalıdır. Kullanılan fan, kanalın sonundan 20 mm ölçülen ve yatay merkezi eksen 300 mm geçmeyecek şekilde olmalıdır. Bununla birlikte merkez yatay eksen boyunca minimum hız 30 m/s iken ölçüm alanının %75'ini oluşturan bölümde ölçülen minimum hız 20 m/s olmalıdır. Ölçüm alanının herhangi bir bölümünde ölçülen hava hızı 8 m/s'den az olmamalıdır. Numune yüzeyine dik biçimde gelmesi gereken boru ile cephe arasındaki uzaklık 650 mm ± 50 mm olmalıdır. Mevcut özelliklere sahip fanın cephe yüzeyi boyunca hareketini sağlayacak bir cihaza

bağlanması gerekmektedir (TS EN 13050, 2011, s.5). Dinamik su sızdırmazlık testinde uygulanacak en düşük ve en yüksek pozitif basınç değerleri,

$$P_{\text{ençok}}=3P_{\text{enaz}}=0.375 \times P_{\text{tasarım}} \quad (4.1)$$

bağıntısına göre hesaplanmaktadır. Çalışmada, sistemlerin tasarım yükünün 2400 Pa olarak belirlenmesi nedeniyle (4.1)'e göre yapılan hesaplamaya bağlı olarak dinamik su sızdırmazlık testinde uygulanacak en yüksek basınç değeri 900 Pa, en düşük basınç değeri 300 Pa olarak belirlenmiştir. Testin başlangıcında sisteme 500 Pa ya da en yüksek basınç değerinin %10 fazlası (990 Pa) 1 saniyeden az 3 saniyeden fazla olmayacak biçimde 3 darbe uygulanmaktadır. Sonrasında 15 dakika boyunca 0 Pa basınç altında numune yüzeyine 2 L/m<sup>2</sup> debide su püskürtülmektedir. Ardından en düşük (300 Pa) ve en yüksek (900 Pa) basınç değerleri 5 sn ± 1 sn olacak şekilde sırayla etki etmeye devam ederken fan yardımıyla hava akımı cephenin dış yüzeyine uygulanır (TS EN 13050, 2011).

Fan çalıştırıldıktan sonra borunun merkez yatay eksenini boyunca kanalın ucundan 20 mm ötede hava hızı 20 m/s olacak biçimde ayarlanır. Ardından fan 2.5 m/dk ± 0.5 m/dk hızla numunenin üst noktasını 30 cm geçecek şekilde yukarı doğru hareket ettirilir. Sonrasında fan olabildiğince hızlı biçimde tekrar numunenin alt hizasına kadar getirilir. İkinci kez yukarıya doğru hareket ettirilir ve yeniden alt hizaya getirilir. Ardından fan bir yandaki aks hizasına kaydırılır ve aynı işlemler numunenin tamamı için uygulanana kadar devam ettirilir. Dinamik su sızdırmazlık testi boyunca sistemde herhangi bir su sızıntısı olup olmadığı iç ortamdan gözlenir. Test sırasında su sızıntısının görülmesi durumunda fanın yaklaşık konumu ve deneyin süresi kaydedilir (TS EN 13050, 2011).

#### 4.3.4 Rüzgâr dayanım testi

Giydirme cephe sistemleri bina üzerinde rüzgâr etkisinde kalan ilk yapı elemanıdır. Bu nedenle giydirme cephe sistemlerinde panellerden bina taşıyıcı sistemine doğru olan yük aktarım şeması ve buna bağlı olarak geliştirilen detay tasarımı sistem performansı için büyük öneme sahiptir. Rüzgâr yüküne karşı doğru sistem tasarımının gerçekleştirilmesinde üç boyutlu modeller üzerinde çalışmaların yapılması büyük öneme sahip olmaktadır (ASCE, 2013).

Esas olarak rüzgâr dayanım testi, sisteme pozitif ve negatif yönde etki ettirilen rüzgâr yükü altında açılabilir ve sabit bölümlerinin performansının değerlendirilmesidir.

Oluşturulan deney prosedürü kapsamında TS EN 12179 (2000) Perde duvarları – Rüzgâr yüklerine dayanım – Deney metodu standardı kullanılmıştır. Test öncesinde cephenin yerdeğiştirme miktarını ölçecek sensörler orta aksta yer alan düşey taşıyıcı üzerine üç noktada yerleştirilmektedir. Bu sensörlerde ölçülen yerdeğiştirme miktarı, cephenin yapısal mesnetleri arasındaki açıklığın 1/200’ü ya da 15 mm’den hangisi küçükse onu geçmemelidir. Bununla birlikte, cephe sisteminde oluşan sehimin en az %95’inin yükün kaldırılmasının ardından geçen bir saat içerisinde eski haline dönmesi ve yalnızca geçici şekil değiştirme niteliğinde olması gerekmektedir (TS EN 13116, 2004).

Rüzgâr dayanım testi pozitif ve negatif yönde uygulanmaktadır. Testin başlangıcında 500 Pa ya da tasarım yükünün %50’sinden hangisi büyükse cepheye 1 saniyeden az 3 saniyeden fazla olmayacak biçimde 3 darbe etki ettirilir. Test sırasında tasarım yükünün %25, %50, %75 ve %100 ‘ü 15 sn  $\pm$  5 sn aralıklarla cephe sistemine uygulanır. Aynı işlemler negatif yön için sırasıyla tekrar edilir. Pozitif ve negatif rüzgâr dayanım testi sırasında sensörler yardımıyla cephenin ön sehim miktarı ölçülür. Ayrıca test sırasında ve sonrasında yapılan gözleme bağlı olarak cephede herhangi bir hasar tespit edilmesi durumunda kayıt altına alınır (TS EN 12179, 2000; TS EN 13116, 2004). Rüzgâr dayanım testi sırasında çubuk ve panel sistem numunelerinde oluşan ön sehim miktarı, iki yatay kiriş arasında orta aks üzerinde bulunan taşıyıcı bileşene üç noktada yerleştirilen (üst, orta ve alt) sensörler yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 4.6 ve Şekil 4.7).



Şekil 4.6 Çubuk sistem ölçüm sensörlerinin yerleşimi.

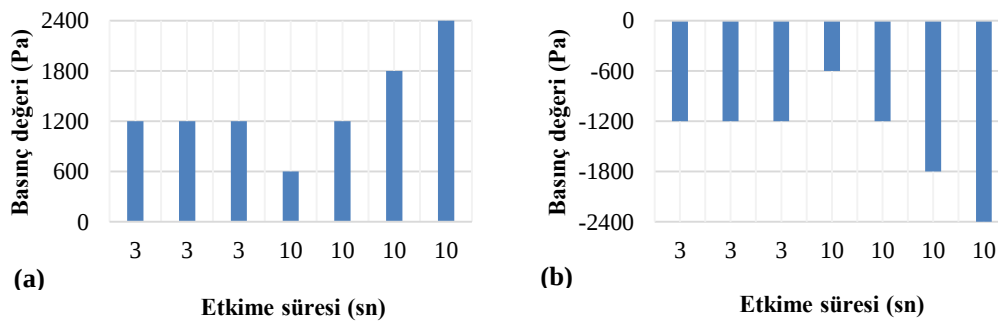


**Şekil 4.7** Panel sistem ölçüm sensörlerinin yerleşimi.

Çubuk ve panel sistem numunelerinin tasarım yükü 2400 Pa olarak belirlenmiştir. Testin başlangıcında tasarım yükünün %50'sine eşit olan 1200 Pa basınç değeri 3 darbe şeklinde uygulanmıştır. Ardından basınç değerinin %25'i olan 600 Pa'dan başlayarak 15 sn  $\pm$  5 sn aralıklarla 600 Pa, 1200 Pa, 1800 Pa ve 2400 Pa değerleri sırasıyla cephe sistemine uygulanmıştır (Şekil 4.8a ve Şekil 4.8b). TS EN 13116'da belirtildiği üzere sistemlerdeki ön sehim miktarı, mesnetler arası uzunluğun 1/200'ünü ya da 15 mm hangisi küçükse onu geçmemelidir. Kullanılan numunelerin boyu 3485 mm olması nedeniyle standartta belirtilen;

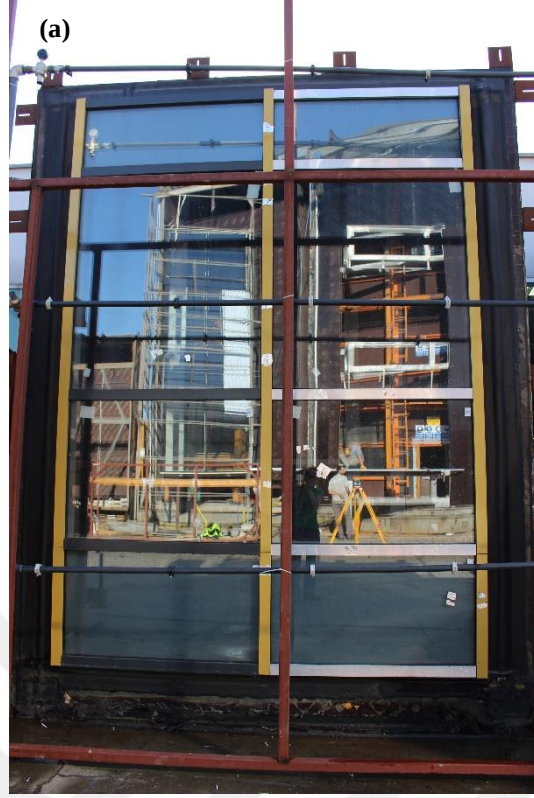
$$5\text{mm} + H/300 \quad (4.2)$$

bağıntısı kullanılmıştır. (4.2)'ye göre yapılan hesaplama sonucunda değerin 16,61 mm çıkması nedeniyle rüzgâr dayanım testine bağlı ölçülen yerdeğiştirme miktarı için sınır değer 15 mm olarak belirlenmiştir.



**Şekil 4.8** Rüzgâr yükü dayanım testinde uygulanan basınç değerleri pozitif yönde (a), negatif yönde (b).

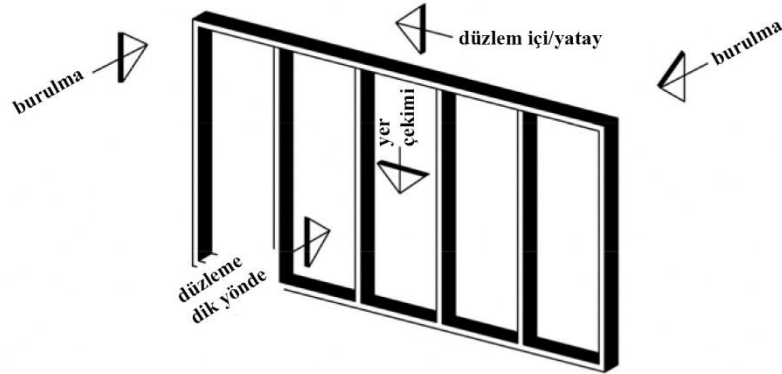
Çubuk ve panel sistem numunelerine son test olarak arttırılmış yük altında rüzgâr dayanım testi uygulanmıştır. Bu test kapsamında cephe sistemi numunelerine doğrudan tasarım yükünün %150'sine eşit olan 3600 Pa 10 saniye boyunca etki ettirmek suretiyle sistemin güvenlik yükü altındaki performansı değerlendirilmektedir. Sırasıyla, hem pozitif hem de negatif yönde uygulanan test kapsamında çerçeve elemanları, dolgu panelleri, açma mekanizmaları, bağlama elemanları ve ankrajlarda kalıcı bir hasar meydana gelmemesi beklenmektedir (Şekil 4.9a ve Şekil 4.9b). Arttırılmış yük altında uygulanan performans (güvenlik yükü) testi kapsamında cephenin sehim (ön yüz yerdeğiştirme) miktarına ilişkin herhangi bir ölçüm alınmamaktadır. Test sırasında camın kırılması durumunda, cam ünitesinin değiştirilerek testlere devam edilmesi ve kırılma nedeninin araştırılması gerekmektedir (TS EN 13116, 2004).



**Şekil 4.9** Numunelerinin güvenlik yükü testi sonrası durumu çubuk (a), panel (b).

#### 4.3.5 Deprem testi

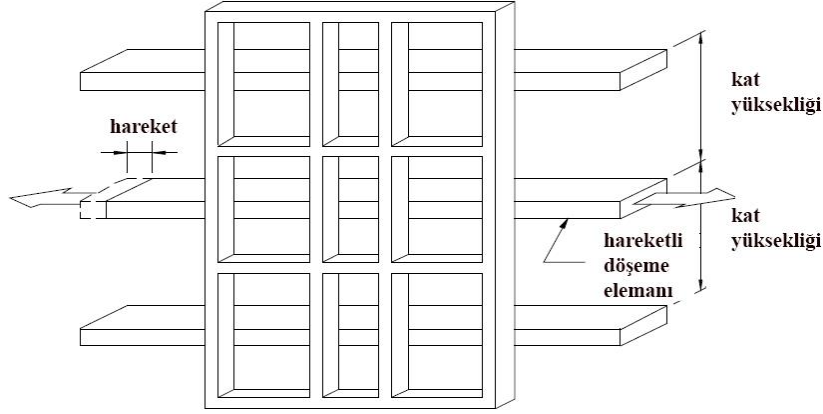
Deprem sırasında hareket edemeyecek kadar rijit bir bina ya da cephe olması çok mümkün değildir. Bu nedenle bina taşıyıcı sisteminin ve cephe sisteminin deprem nedeniyle oluşan yapısal hareketlere karşı uyumlu olması beklenmektedir (Şekil 4.10). Cephe sistemlerinin deprem kaynaklı oluşan hareketlerde hasarlar oluşumunu önleyecek biçimde tasarlanması ve deprem sırasında ve sonrasında cepheye ait herhangi bir bileşenin sistemden ayrılmaması istenmektedir. Deprem kaynaklı hareketlere karşı iyi bir cephe sisteminin geliştirilmesi için iki önemli konu bulunmaktadır. Birincisi şiddetli yüklerin etki edebileceği düşünülerek sistemlerin mümkün olan en yüksek hareket toleransına sahip olması diğeri ise doğru hareket mekanizmasını sağlayacak detayların tasarlanmasıdır. Bu nedenle tasarım aşamasından itibaren mühendislerle görüşülerek en uygun standartların ve hareket toleransının belirlenmesi gerekmektedir (Charleson, 2007). Cephenin türü, kullanılan cam türü, camın bağlanma biçimi gibi konular sistemlerin deprem etkisi altındaki davranışının anlaşılmasında etkili olmaktadır (ASCE, 2013). Cephe sistemlerinde köşe noktaları yatay hareketlere karşı en hassas bölümlerdir. Bu bölümlerde önemli hasarlar ya da cam düşmeleri gibi durumlarla karşılaşılabilir (Charleson, 2007).



**Şekil 4.10** Cephe ya da pencere sistemi üzerinde etkimesi olası yükler (Charleson, 2007).

Deprem testi, laboratuvar koşulları altında giydirme cephe sistemlerinin deprem ya da şiddetli bir rüzgârın etkisiyle yatay hareket etkisinde kalması durumuna bağlı olarak sistem performansının değerlendirilmesini sağlamaktadır. Oluşturulan test yöntemi kapsamında deprem testi AAMA 501.4-09 (2009) Recommended Static Testing Method for Evaluating Curtain Wall and Storefront Systems Subjected to Seismic and Wind Induced Interstory Drift standardına göre gerçekleştirilmiştir. Test sırasında dinamik, burulma ve düşey hareketler test kapsamı dışında bırakılmıştır. Deprem

testinde cephe numunesi kat yüksekliğinin 0.010'u (%1'i) kadar yatay olarak cephe düzlemi içinde her iki yönde hareket ettirilir (Şekil 4.11). Deprem testinin sonrasında hava ve su sızdırmazlık testlerinin tekrar edilmesi gerekmektedir.



**Şekil 4.11** Deprem testi hareket mekanizması (AAMA 501.4-09, 2009).

Test edilecek giydirme cephe sistem numunesi, tüm bileşenlerinin performans özelliklerini yansıtabilecek özelliğe sahip olmalıdır. Numunenin genişliği iki ünite genişliğinden az olmamalıdır. Yüksekliği ise bina kat yüksekliği ya da ünite yüksekliğinden hangisi büyükse onun ölçüsünde olmalı ve düşey genleşmeye uyum sağlayan tam bir yatay birleşimi içermelidir. Ayrıca test edilen cephe numunesinin gerçek ölçülerde, aynı malzeme, cam türü, detaylar, yapım tekniği ve ankrajlara sahip, diğer bir deyişle gerçekteki uygulamasını birebir yansıtacak özellikte olması gereklidir (AAMA 501.4, 2009).

Deprem testinin mümkün olduğunca hava sızdırmazlık, su sızdırmazlık ve rüzgâr yükü testinin yapıldığı kabin üzerinde yapılması önerilmektedir. Test kabini binaya ait birincil taşıyıcı sistemin özelliklerini yansıtmalı ve tanımlanan hareketleri yapabilecek özelliklere sahip olmalıdır. Deprem testi en az üç döngüden oluşmaktadır. Test sonunda numunede herhangi bir hasar olup olmadığı gözlemlenmektedir. Test sırasında cam kırılmasının meydana gelmesi durumunda nedeninin detaylı olarak araştırılması gerekmektedir. Camın kırılma nedeninin tespit edilemediği durumlarda, cam ünitesinin değiştirilerek testin yeniden yapılması önerilmektedir. Deprem testinde gerçekleştirilen döngüler arasında herhangi bir zaman sınırlaması bulunmamaktadır (AAMA 501.4, 2009).

Önerilen deney prosedürüne uygun olarak çubuk ve panel sistem numunelerine deprem testi bir defa uygulanmıştır. Yatay kirişler arasındaki uzaklığın ( $H = \text{Kat}$

yüksekliğinin) 2750 mm olması nedeniyle çubuk ve panel cephe sistemler, takılan piston yardımıyla yatay yönde 27.5 mm ( $H \times 0.01$ ) yerdeğiştirme etkisinde bırakılmıştır. Sistem orta aks hizasından pozitif yönde 27.5 mm yerdeğiştirme yaptıktan sonra tekrar hizaya getirilmiştir. Aynı işlem negatif yönde tekrar edilmiştir. Numunelere yatayda pozitif ve negatif yönde uygulanan yerdeğiştirme değeri toplamda 55 mm'dir. Deprem testi boyunca bu döngü 3 kez tekrar edilmiştir (Şekil 4.12a, Şekil 4.12b ve Şekil 4.12c). Deprem testi sonrasında çubuk ve panel sisteminde herhangi bir hasar oluşumu gözlenmemiştir. Testin sonrasında sistemlerin performanslarındaki değişimin gözlenmesi için hava geçirgenlik ve su sızdırmazlık testleri sırasıyla uygulanmıştır.



**Şekil 4.12** Deprem testinde kullanılan cihazlar (a), Deprem testinin uygulanması çubuk sistem (b) ve panel sistem (c).

#### 4.3.6 Isıl döngü testi

Sistemlerin ve bileşenlerinin bakım-onarım yapılarak ya da yapılmaksızın belirli bir yaşam ömrü bulunmaktadır. Sistemlerin yaşam dönemi boyunca mevcut performans özelliklerini sürdürmeleri beklenmektedir. Ancak, zaman içerisinde yaşlanma ve çevresel faktörlerin etkisiyle sistem ve bileşenlerinin performansında kayıplar meydana gelmektedir. Yaşlanma etkisiyle ortaya çıkan durumlar sistemlerin özellikle hava geçirimsizlik ve su sızdırmazlık gibi temel performanslarını doğrudan etkilemektedir. Giydirmce cephe sistemlerine uygulanan zorunlu performans testleri sistemlerin yaşam dönemi performansı ile ilgili bilgiyi sağlamakta yetersiz kalmaktadır. Diğer taraftan, sistemlerin bulundukları bölgeye ait şiddetli iklimsel koşulları dikkate alınarak testlerinin gerçekleştirilmesi sistemlerin yaşam dönemi performansı hakkında bilgi sahibi olunmasına yardımcı olabilmektedir. Bu noktada ısı döngü testi sistemlerin şiddetli iklimsel değişikliğe maruz bırakılması (yaşlandırılması) suretiyle yaşam dönemi performanslarındaki değişimlerin

gözlenmesi, oluşabilecek problemlerin uygulama öncesinde ortaya konulması açısından önemli bir yere sahiptir.

Isıl döngü testi gerçek boyutlu cephe sistemlerinin, bileşenlerinin ve kaplamalarının üzerinde sıcaklık etkisinin değerlendirilmesini sağlayan laboratuvar testi yöntemidir. Isıl döngü testi, belirlenen sayıda ve sıcaklık değerlerinde ısı döngülere maruz bırakıldıktan sonra bir dış duvar sisteminin kabul edilebilir performans özelliklerini koruyabilme kabiliyetinin değerlendirilmesini sağlamaktadır. Isıl döngü testinin cephe sisteminin performansı üzerindeki esas etkileri, testin öncesinde ve sonrasında yapılan hava geçirgenlik ve su sızdırmazlık testlerinin sonuçlarındaki değişime göre değerlendirilmektedir (AAMA 501.5-07, 2007).

Büyük boyutlu duvar numuneleriyle ilişki standartlaşmaya (tek tipleşmeye) ve yeniden üretilebilirliğe engel olan pek çok kontrol edilemeyen test değişkeninin bulunması nedeniyle bu test yönteminin yoğunlaşma ya da çığ noktası performansının değerlendirilmesinde kullanılması uygun değildir. Bu test değişkenleri standart iç ve dış hava filminin yeniden oluşturulması için önemli olan hava akışını ve ortama ait hava koşullarını etkiler ve çok katlı gerçek boyutlu modellerde bu değişkenlerin kontrolü çok zor olmaktadır. Ortam sıcaklığının ve yüzey sıcaklığının  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  değişmesi olağandışı bir durum değildir. Bu nedenle yoğunlaşma ve çığ noktasının değerlendirilmesinde ısı döngü testinin kullanılması uygun olmamaktadır (AAMA 501.5-07, 2007).

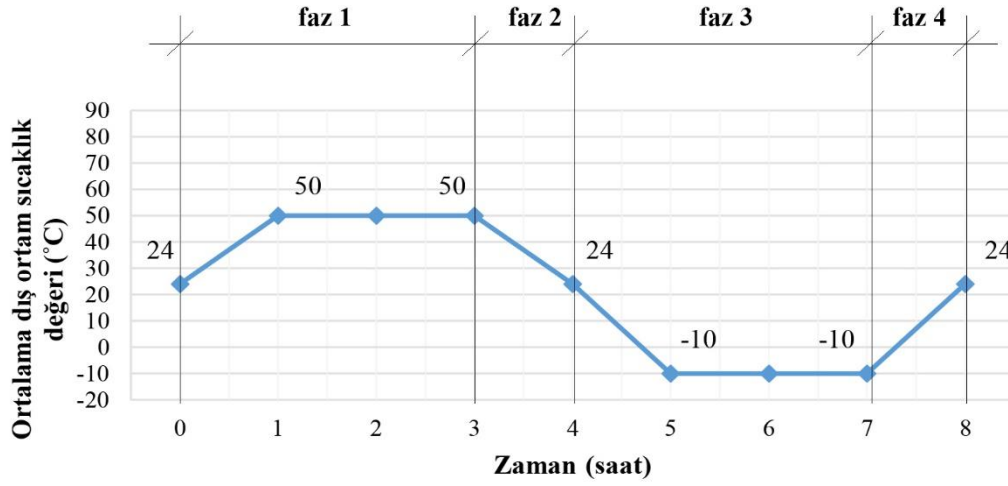
En düşük ve en yüksek sıcaklıklar proje için özel olarak şartname hazırlayıcısı (test yürütücüsü) tarafından belirlenebilmektedir. Test sıcaklıklarının belirtilmediği durumlarda standartta tanımlanan mevcut sıcaklık değerleri kullanılabilir. Aksi belirtilmedikçe test kapsamında en az 3 döngü (çevrim) yapılması gerekmektedir. Gerçek boyutlu cephe numunesine uygulanan ısı döngü testi sırasında belirlenen sıcaklık değerleri  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  tolerans payıyla korunmaya çalışılmalıdır. Test sırasında camın yüzey sıcaklığının aşırı derecede artmasına karşı gerekli önlemler alınabilmektedir. Test boyunca numune, sıcak ve soğuk doğrudan etki etmesine karşı korunmalıdır. Test sırasında iç ortam koşulları için tanımlanan nem ve hava hızı değeri bulunmamaktadır. Sıcaklığın katmanlaşmasını ve sıcaklıkların dalgalanmasını en aza indirmek için havanın dolaşımının sağlanması gereklidir. Hava akımının cephenin iç ve dış yüzeyine dik ya da paralel olacak şekilde etki ettirilmesiyle sağlanabilmektedir. Yüzey sıcaklıklarının ölçülmesinde sıcaklık ölçerlerin

kullanılması ve bunların alüminyum bant ile yapıştırılması gerekmektedir. Ortam sıcaklığını ölçmek için kullanılan sıcaklık ölçerlerin ise cephe numunesinden 75 mm uzakta olacak biçimde yerleştirilmesi gereklidir. Test boyunca yalıtımlı kabinin ortam sıcaklığının ölçülmesi ve kontrol edilmesi için kabinin alt, orta ve üst bölgelerinde olmak üzere en az 3 adet sıcaklık ölçer kullanılmalıdır (AAMA 501.5-07, 2007).

Dış duvar test numunelerinin performanslarını belirleyebilmek için, eğer mümkünse köşeleri de dâhil olmak üzere tüm tipik parçaların yeterli büyüklüğe sahip olması gerekmektedir. Giydirmce cepheler ya da prefabrike ünitelerle oluşturulan duvarlar için numune genişliği iki ünite genişliğinden daha az olmamalı, ayrıca her iki taraftan bağlantıları ve destek elemanları olmalı ve en az bir tipik düşey çerçeve elemanında tam yüklemeyi sağlayacak kadar büyük olmalıdır. Yükseklik iki bina yüksekliğinden ya da iki tam panel yüksekliğinden az olmamalı, en az bir adet ortak düşey genişleşme derzine sahip olmalı ve ünitelerin üstünde ve altındaki bulunan tüm bağlantıları içermelidir. Numunelerin iki kattan az olduğu durumlarda tam kat yüksekliği test edilebilmektedir. Duvar sistemine ait tüm parçalar gerçek binada kullanılan malzeme, detay, yapım yöntemi, tespit bileşenini ve bileşen ölçülerini birebir yansıtmalıdır. Deney sırasında kullanılan yapısal destekler ise binanın taşıyıcılık koşullarını mümkün olduğunca gerçeğe en yakın haliyle yansıtmalıdır (AAMA 501.5-07, 2007).

Teste başlamadan önce numunede varsa açılabilir kısımlar güvenli biçimde kapatılır ve kilitlenir. Isıl döngü testi öncesinde numuneye hava geçirgenlik ve statik su sızdırmazlık testleri yapılır, ardından numunenin ilk durumunu belirlemek için görsel olarak incelenir. Hava geçirgenlik ve su sızdırmazlık testlerinin tamamlanmasının ardından dış ortam koşullarının oluşturulacağı numune dış yüzeyi yalıtımlı bir kabin yardımıyla kapatılır. Şartname hazırlayıcısı ya da test yürütücüsü tarafından sıcaklık değerlerinin belirtilmediği durumlarda en yüksek test sıcaklığı ( $T_{\text{ençok}}$ )  $+82^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ), en düşük sıcaklık ( $T_{\text{enaz}}$ )  $-18^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) ve iç ortam sıcaklığı ( $T_{\text{ortam}}$ )  $24^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) olarak uygulanır (AAMA 501.5-07, 2007). Isıl döngü testinde gerçekleştirilen her bir döngü dört fazdan meydana gelmektedir. Birinci fazda  $24^{\circ}\text{C}$ 'de bulunan ortam sıcaklığı bir saat içerisinde en yüksek sıcaklığa kadar çıkarılır ve bu sıcaklık değeri iki saat boyunca korunur. İkinci fazda bir saat içerisinde sistem tekrar ortam sıcaklığı olan  $24^{\circ}\text{C}$ 'ye döndürülür. Üçüncü fazda  $24^{\circ}\text{C}$ 'de bulunan ortam sıcaklığı bir saat içerisinde en düşük sıcaklığa indirilir ve bu sıcaklık değeri iki saat boyunca korunur. Dördüncü fazda ise bir saat içerisinde sıcaklığın yeniden ortam sıcaklığına dönmesi sağlanır.

Böylece ısı döngü testinin bir döngüsü sekiz saat içerisinde tamamlanmış olur (Şekil 4.13). Aynı işlem sırası ikinci ve üçüncü döngülerde tekrar edilir ve üç döngü sonunda ısı döngü testi tamamlanmış olur (AAMA 501.5-07, 2007).



**Şekil 4.13** Isıl döngü testinin bir döngüsüne ait zaman-sıcaklık değişim grafiği.

Önerilen deney prosedürüne bağlı olarak yaşlandırma sürecini gerçekleştirmek için ısı döngü testi çubuk ve panel sistem numunelerine iki farklı aşamada uygulanmıştır. Öncelikle uygulanan hava geçirgenlik ve statik su sızdırmazlık testleriyle (Adım 1 ve Adım 2) sistemlerin ilk performansları belirlenmiştir. Ardından numuneler birinci ısı döngü testiyle (Adım 3) yaşlandırılmıştır. Isıl döngü testinin ardından hava geçirgenlik ve statik su sızdırmazlık testleri (Adım 4 ve Adım 5) uygulanarak sistemlerin performans değişimleri incelenmiştir. Rüzgâr dayanım testi sonrasında sistem performansının belirlenmesinin ardından (Adım 6, Adım 7 ve Adım 8) ikinci ısı döngü testi (Adım 9) gerçekleştirilmiştir. Test sonrasında hava geçirgenlik ve statik su sızdırmazlık testleri (Adım 10 ve Adım 11) tekrar edilerek sistemlerin performans değişimleri değerlendirilmiştir. Bu şekilde numunelerin ilk performansının belirlenmesinin ve çeşitli çevresel etmenlere maruz kalmasının ardından yaşlanma sürecinin sistemlerin yaşam dönemi performansı üzerindeki etkileri iki aşamalı olarak ortaya konulmaya çalışılmıştır.

DeneySEL çalışmanın İstanbul koşullarında gerçekleştirilmesi nedeniyle ısı döngü testinde AAMA 501.5-07 (2007) standardında belirtilen sıcaklık değerleri yerine İstanbul'a ait sıcaklık verileri kullanılarak yeni test sıcaklıkları belirlenmiştir. Isıl döngü test standardında belirtildiği üzere test sıcaklıklarının belirlenmesinde ASHRAE (2009) standardından faydalanılmaktadır. ASHRAE standardında, test

sırasında uygulanacak en düşük ve en yüksek sıcaklık değerlerinin belirlenmesinde son 10 yıla ait sıcaklık verilerinin dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir. Çalışmada kullanılacak sıcaklık değerlerinin belirlenmesi için İstanbul’da altı farklı gözlem istasyonunda ölçülen son 20 yıla ait sıcaklık verileri Orman ve Su işleri Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir (Meteoroloji, 2015). Çizelge 4.8’de görüldüğü gibi 1994 - 2015 yılları arasında en düşük ve en yüksek sıcaklıklar Şile istasyonunda ölçülmüştür. Bu verilere bağlı olarak en yüksek test sıcaklığı  $T_{\text{ençok}} + 50^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ), en düşük sıcaklık  $T_{\text{enaz}} - 10^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) ve iç ortam sıcaklığı  $24^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 4.8** İstanbul’da son 20 yılda ölçülen en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri (1994 ~ 2014) (Meteoroloji, 2015).

| Veri İstasyonları   | En Yüksek Sıcaklık /Yılı | En Düşük Sıcaklık/Yılı |
|---------------------|--------------------------|------------------------|
| KUMKÖY              | 41.4 / 2000              | - 7.5 / 2000           |
| KİREÇBURNU          | 41.5 / 2000              | -7.1 / 2004            |
| GÖZTEPE             | 40.2 / 2000              | -6.4 / 2004            |
| KARTAL (İST. BÖLG.) | 40.6 / 2007              | -5.1 / 2008            |
| ŞİLE                | 45.2 / 2000*             | -7.7 / 1997**          |
| FLORYA              | 38.5 / 2002              | -7.2 / 2004            |

\* Ölçülen en yüksek sıcaklık değeri  
\*\* Ölçülen en düşük sıcaklık değeri

Test boyunca sekiz adet sıcaklık ölçer yardımıyla dış ortam, iç ortam ve yüzey sıcaklığına ilişkin ölçümler alınmıştır. Numunelerin dış yüzeyinde üst (no.3), orta (no.5) ve alt (no.2) bölümde yerleştirilen sıcaklık ölçerler yardımıyla iklimsel koşulların benzetildiği kabine ait sıcaklık değerleri (dış ortam sıcaklığı) ölçülmüştür. Aynı şekilde cephenin iç kısmında bir adet sıcaklık ölçer yardımıyla iç ortam sıcaklığı (no.8) ölçülmüştür. Bir adet sıcaklık ölçer iç cam yüzeyi sıcaklığını (no.6), bir diğeri ise dış cam yüzey sıcaklığını (no.1) ölçecek biçimde cam yüzeyinde konumlandırılmıştır. Bir adet sıcaklık ölçer iç profil yüzey sıcaklığını (no.4) ölçerken bir sıcaklık ölçer de derz noktasına (no.7) yerleştirilmiştir (Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17).



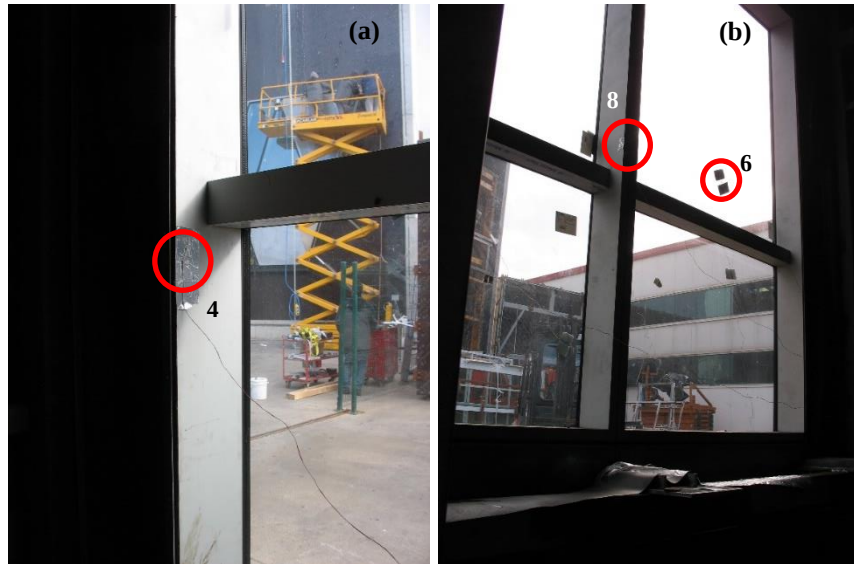
Şekil 4.14 Çubuk sistemde dış ortamda bulunan sıcaklık ölçerler.



Şekil 4.15 Çubuk sistemde iç ortamda bulunan sıcaklık ölçerler (a) ve (b).



**Şekil 4.16** Panel sistemde dış ortamda bulunan sıcaklık ölçerler.



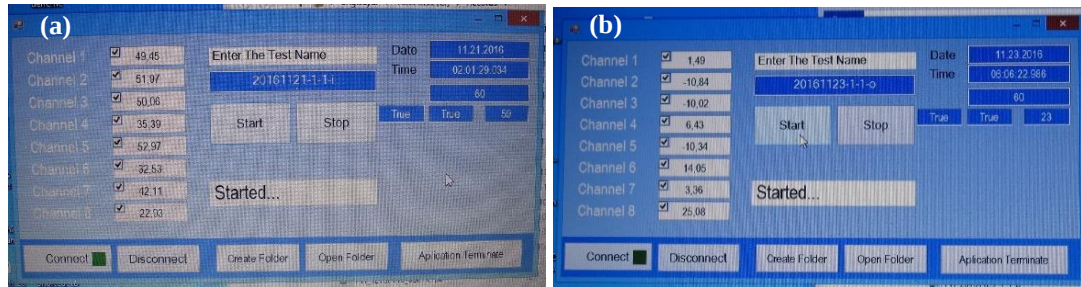
**Şekil 4.17** Panel sistemde iç ortamda bulunan sıcaklık ölçerler (a) ve (b).

Sıcaklık ölçerlerin takılmasının ardından, 18 mm'lik plywood, 10 cm taş yünü ve sac levhadan oluşan yalıtımlı kabin cephe sisteminin dış yüzeyine bulonlar yardımıyla

takılmıştır. Yalıtımlı kabin ve cephenin birleşim yerinde sızdırmazlık sağlanması için kabinin dört tarafında özel bir fitil kullanılmıştır. Isıl döngü testinin ısıtma sürecinde mazotlu ısıtıcı (dipaz) kullanılırken, soğutma sürecinde sıvı azot tüpleri kullanılmıştır (Şekil 4.18a, Şekil 4.18b ve Şekil 4.18c). İç ortam sıcaklığının sağlanmasında sıvı azot tüpleri ve elektrikli ısıtıcılardan faydalanılmıştır. Bununla birlikte kabinin içerisine yerleştirilen nemölçer yardımıyla 10 dakika arayla iç ortam nemi düzenli olarak ölçülmüştür. Ölçüm sürecine ilişkin ekran görüntüleri şekil 4.19a ve Şekil 4.19b’ de gösterilmiştir.



**Şekil 4.18** Test boyunca kullanılan cihazlar mazotlu ısıtıcı (a), sıvı azot tüpü (b), nemölçer (c).



**Şekil 4.19** Isıl döngü testi ölçüm ekranı ısıtma süreci (a), soğutma süreci (b).

#### 4.4 Genel Değerlendirme

Bu bölümde çubuk ve panel giydirmeye cephe sistemlerinin yaşam dönemi performanslarının değerlendirilmesine yönelik oluşturulan deney prosedürü ve test standartları, deney sürecinde kullanılan çubuk ve panel sistem numunelerinin özellikleri, deneysel çalışma kapsamında oluşturulan düzenekler ve temin edilen donanımlarla ilgili detaylı bilgi verilmiştir. Çubuk ve panel sistem numunelerine

uygulanan deney prosedürü sonucunda elde edilen sonuçları karşılaştırmalı olarak Bölüm 5’te verilmiştir.





## 5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde çubuk ve panel sistemin performansları deney prosedürü kapsamında uygulanan hava geçirgenlik, statik ve dinamik su sızdırmazlık, ısı döngü, rüzgâr dayanımı, deprem dayanımı ve güvenlik testlerin sonuçlarına bağlı olarak incelenmiştir. Çubuk sistem ve panel sistemin performansındaki değişim öncelikle kendi içinde ve ardından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sürecinde standartlarda belirtilen sınır değerler, uygulanan testlere bağlı olarak sistemlerin performanslarındaki değişimler ve gözlem sonuçları dikkate alınmıştır.

### 5.1 Performans Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

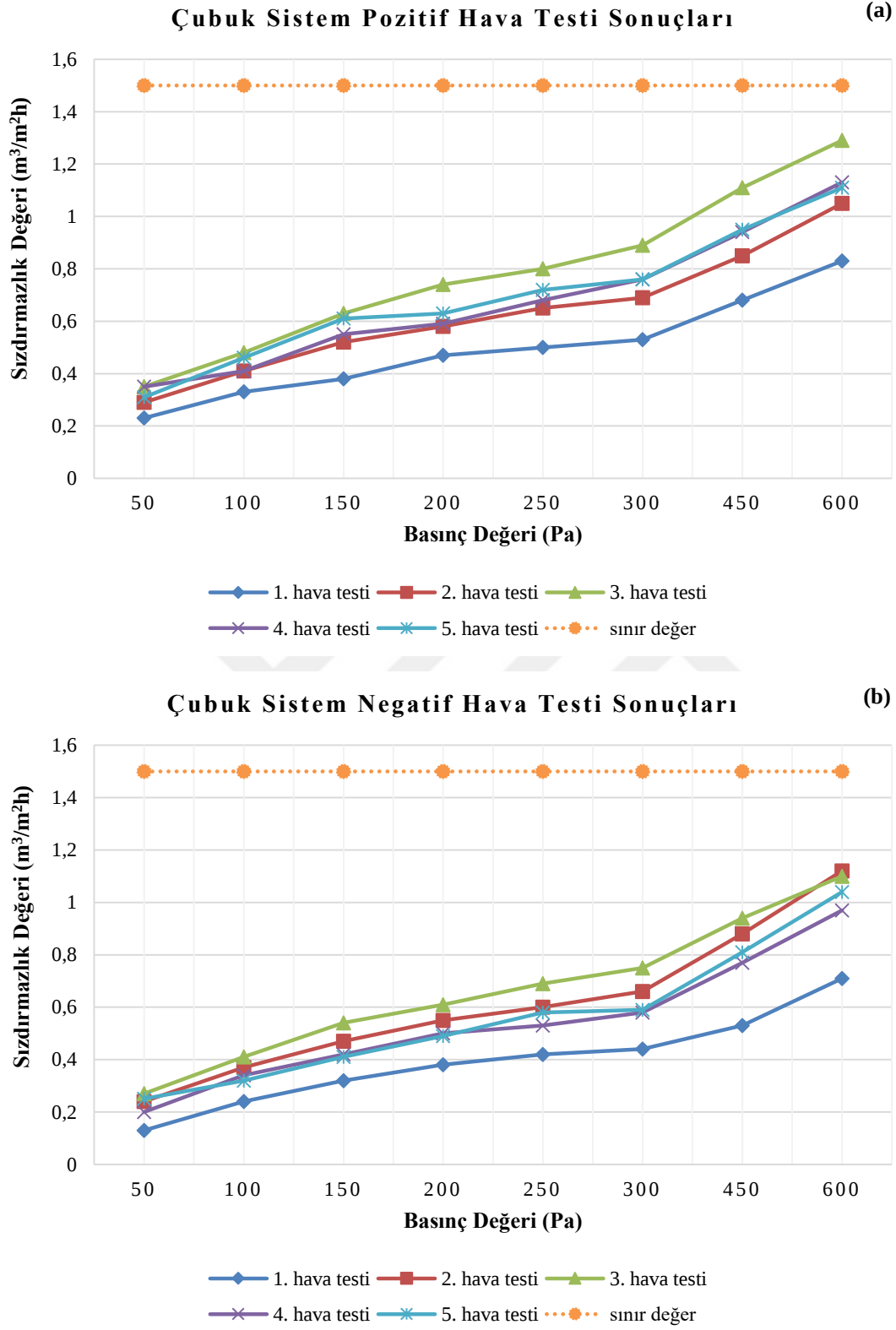
Bu bölümde sistemlere uygulanan performans testlerinin sonuçları değerlendirilmiştir.

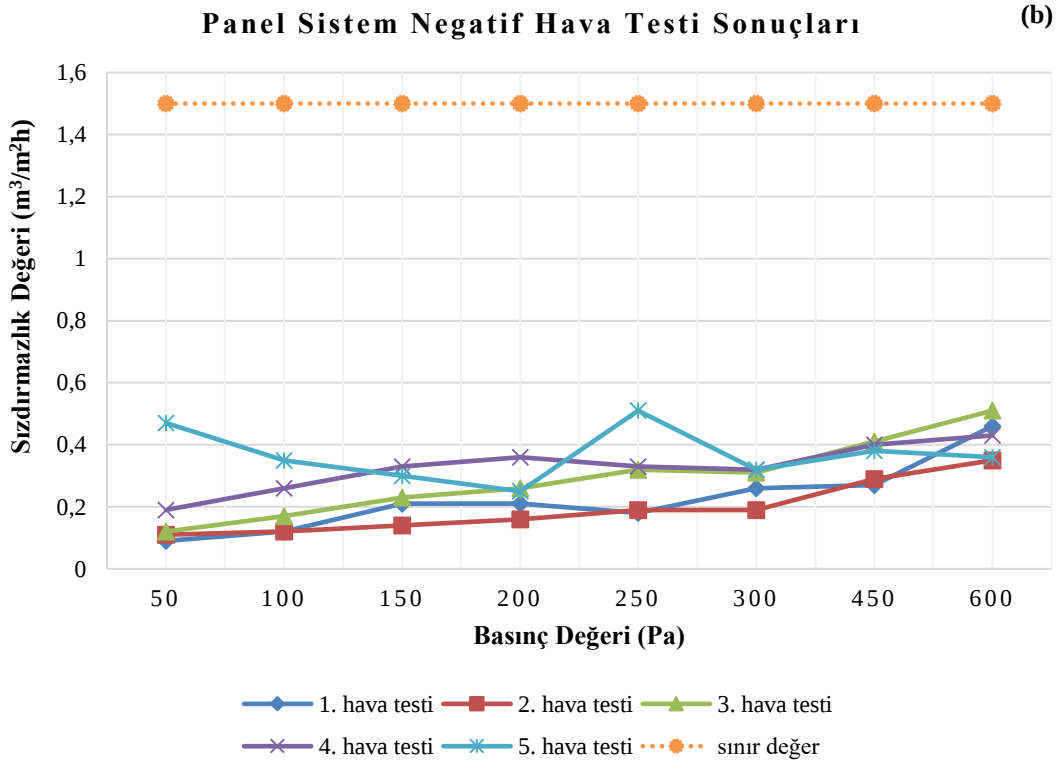
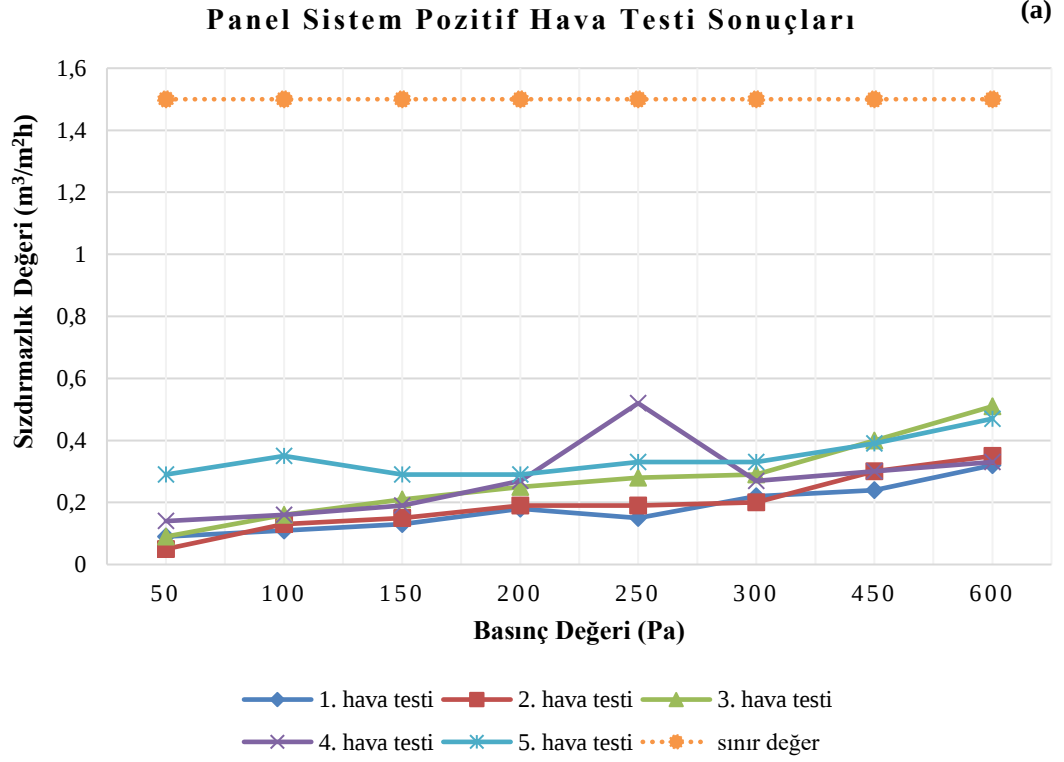
#### 5.1.1 Hava geçirgenlik testleri

Çubuk ve panel sistem numunelerinin ilk performanslarının belirlenmesi için öncelikle Adım 1’de hava geçirgenlik testi uygulanmıştır. Deney prosedürüne göre Adım 4, Adım 7, Adım 10 ve Adım 14’te gerçekleştirilen hava geçirgenlik testleri ise performans testlerinin ardından sistemlerin performansındaki değişimin gözlemlenmesi için uygulanmıştır (Çizelge 5.1). Testler sırasıyla pozitif ve negatif yönde uygulanarak sistemlerin durumu her iki yön için ayrı ayrı değerlendirilmiştir (Şekil 5.1a, Şekil 5.1b, Şekil 5.2a, Şekil 5.2b, Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3).

**Çizelge 5.1** Hava geçirgenlik testleri ve adımları.

| Adım sayısı | Hava geçirimsizlik testi | Test yöntemi içerisindeki yeri                              |
|-------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Adım1       | 1. hava testi            | İlk performansın belirlenmesi                               |
| Adım 4      | 2. hava testi            | Birinci ısı döngü sonrası performansın belirlenmesi         |
| Adım 7      | 3. hava testi            | Rüzgâr dayanım testi sonrasında performansın belirlenmesi   |
| Adım 10     | 4. hava testi            | İkinci ısı döngü testi sonrasında performansın belirlenmesi |
| Adım 14     | 5. hava testi            | Deprem dayanımı testi sonrasında performansın belirlenmesi  |





**Şekil 5.2** Panel sisteme ait 5 hava geçirgenlik testinin sonuçları pozitif yönde (a), negatif yönde (b).

**Çizelge 5.2** Çubuk sistem hava geçirgenlik değerleri.

| Test numarası     | Numune | Basınç yönü | 50 Pa | 100 Pa | 150 Pa | 200 Pa | 250 Pa | 300 Pa | 450 Pa | 600 Pa |
|-------------------|--------|-------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1. Test (Adım 1)  | S      | pozitif     | 0.23  | 0.33   | 0.38   | 0.47   | 0.50   | 0.53   | 0.68   | 0.83   |
|                   |        | negatif     | 0.13  | 0.24   | 0.32   | 0.38   | 0.42   | 0.44   | 0.53   | 0.71   |
| 2. Test (Adım 4)  | S      | pozitif     | 0.29  | 0.41   | 0.52   | 0.58   | 0.65   | 0.69   | 0.85   | 1.05   |
|                   |        | negatif     | 0.24  | 0.37   | 0.47   | 0.55   | 0.60   | 0.66   | 0.88   | 1.12** |
| 3. Test (Adım 7)  | S      | pozitif     | 0.35  | 0.48   | 0.63   | 0.74   | 0.80   | 0.89   | 1.11   | 1.29*  |
|                   |        | negatif     | 0.27  | 0.41   | 0.54   | 0.61   | 0.69   | 0.75   | 0.94   | 1.10   |
| 4. Test (Adım 10) | S      | pozitif     | 0.35  | 0.41   | 0.55   | 0.59   | 0.68   | 0.76   | 0.94   | 1.13   |
|                   |        | negatif     | 0.20  | 0.34   | 0.42   | 0.50   | 0.53   | 0.58   | 0.77   | 0.97   |
| 5. Test (Adım 14) | S      | pozitif     | 0.31  | 0.46   | 0.61   | 0.63   | 0.72   | 0.76   | 0.95   | 1.11   |
|                   |        | negatif     | 0.25  | 0.32   | 0.41   | 0.49   | 0.58   | 0.59   | 0.81   | 1.04   |

\* Pozitif yönde 600 Pa basınç değeri altında ölçülen en yüksek hava geçirgenlik değerleri

\*\* Negatif yönde 600 Pa basınç değeri altında ölçülen en yüksek hava geçirgenlik değerleri

**Çizelge 5.3** Panel sistem hava geçirgenlik değerleri.

| Test numarası     | Numune | Basınç yönü | 50 Pa | 100 Pa | 150 Pa | 200 Pa | 250 Pa | 300 Pa | 450 Pa | 600 Pa |
|-------------------|--------|-------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1. Test (Adım 1)  | P      | pozitif     | 0.09  | 0.11   | 0.13   | 0.18   | 0.15   | 0.22   | 0.24   | 0.32   |
|                   |        | negatif     | 0.09  | 0.12   | 0.21   | 0.21   | 0.18   | 0.26   | 0.27   | 0.46   |
| 2. Test (Adım 4)  | P      | pozitif     | 0.05  | 0.13   | 0.15   | 0.19   | 0.19   | 0.20   | 0.30   | 0.35   |
|                   |        | negatif     | 0.11  | 0.12   | 0.14   | 0.16   | 0.19   | 0.19   | 0.29   | 0.35   |
| 3. Test (Adım 7)  | P      | pozitif     | 0.09  | 0.16   | 0.21   | 0.25   | 0.28   | 0.29   | 0.40   | 0.51*  |
|                   |        | negatif     | 0.12  | 0.17   | 0.23   | 0.26   | 0.32   | 0.31   | 0.41   | 0.51** |
| 4. Test (Adım 10) | P      | pozitif     | 0.14  | 0.16   | 0.19   | 0.27   | 0.52   | 0.27   | 0.30   | 0.33   |
|                   |        | negatif     | 0.19  | 0.26   | 0.33   | 0.36   | 0.33   | 0.32   | 0.40   | 0.43   |
| 5. Test (Adım 14) | P      | pozitif     | 0.29  | 0.35   | 0.29   | 0.29   | 0.33   | 0.33   | 0.39   | 0.47   |
|                   |        | negatif     | 0.47  | 0.35   | 0.30   | 0.25   | 0.51   | 0.32   | 0.38   | 0.36   |

\* Pozitif yönde 600 Pa basınç değeri altında ölçülen en yüksek hava geçirgenlik değerleri

\*\* Negatif yönde 600 Pa basınç değeri altında ölçülen en yüksek hava geçirgenlik değerleri

Çubuk sisteme pozitif yönde uygulanan testlerin sonuçları incelendiğinde, rüzgâr dayanım testinden sonra uygulanan üçüncü hava geçirgenlik testinin (Adım 7) sonuna kadar sistemin hava geçirgenlik performansında düşüş olduğu görülmüştür. İkinci ısı döngü (Adım 9) sonrasında uygulanan dördüncü hava geçirgenlik testi (Adım 10) sonuçlarının, deprem testi (Adım 13) sonrasında gerçekleştirilen beşinci hava geçirgenlik testi (Adım 14) sonuçlarıyla yakın olduğu görülmüştür (Şekil 5.1a ve Çizelge 5.2). Panel sisteme pozitif yönde uygulanan test sonuçları incelendiğinde de rüzgâr dayanım testi (Adım 6) sonrasında gerçekleştirilen üçüncü hava geçirgenlik testine (Adım 7) kadar sistem performansında kayıp gözlenmiştir. Sisteme uygulanan birinci (Adım 3) ve ikinci (Adım 9) ısı döngü testlerinin sonrasında gerçekleştirilen birinci ve dördüncü hava geçirgenlik testlerinin (Adım 4 ve Adım 10) sonuçları birbirine yakın ölçülmüştür. Uygulanan deprem dayanım testi sonrasında ise sistemin hava geçirgenlik değerinin (Adım 14) ilk duruma göre düşük olduğu görülmüştür (Şekil 5.2a, Çizelge 5.3).

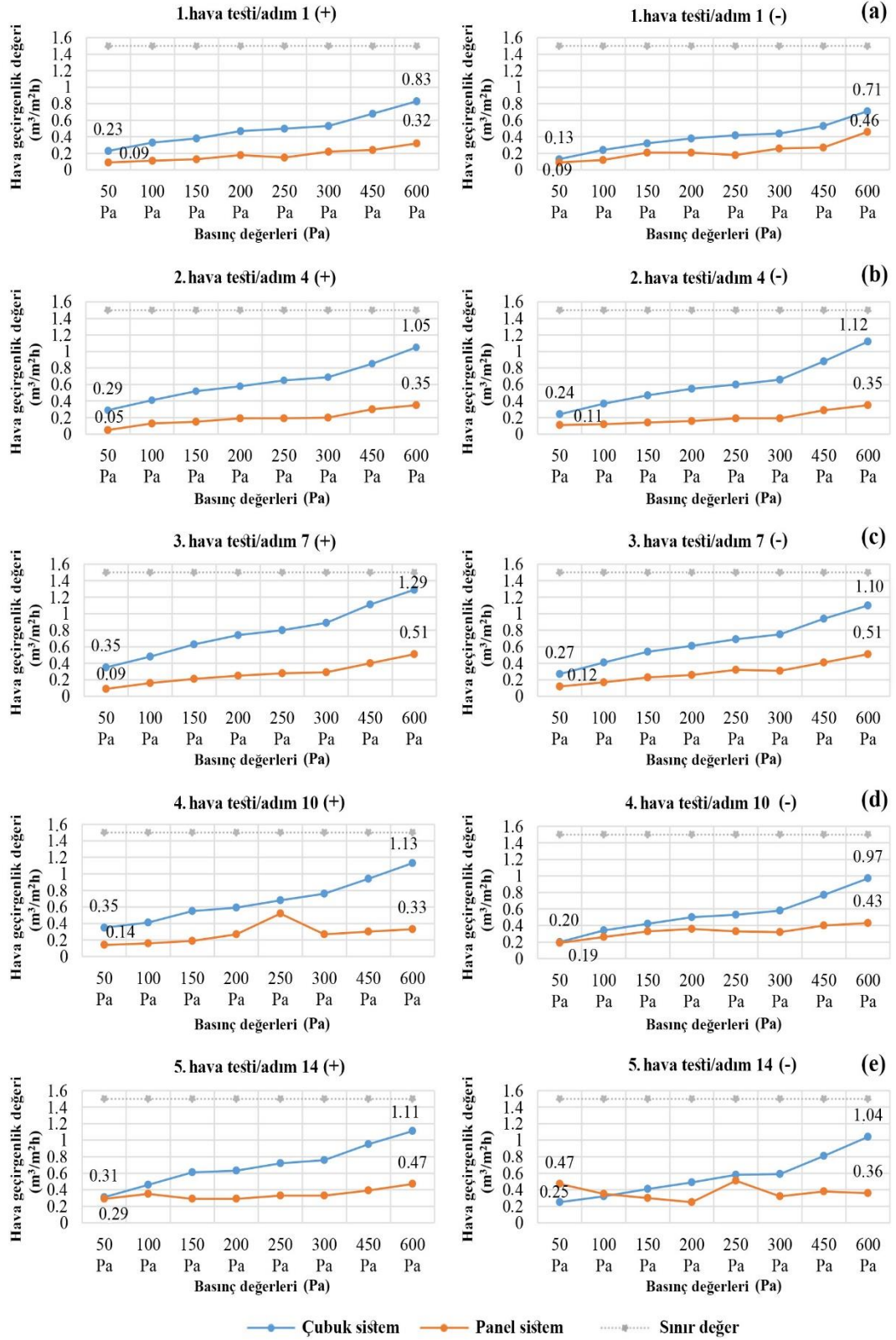
Çubuk sisteme negatif yönde uygulanan hava geçirgenlik testlerinde sistemin en yüksek hava geçirgenlik değeri birinci ısı döngü testi sonrasında uygulanan ikinci

hava geçirgenlik testinde (Adım 4) ölçülmüştür. Rüzgâr dayanım testi sonrasında Adım 7’de uygulanan üçüncü hava geçirgenlik testinde ölçülen hava geçirgenlik değerinin bir önceki değere yakın olduğu görülmüştür. İkinci ısıl döngü testi sonrasında uygulanan dördüncü hava geçirgenlik testinde (Adım 10) ölçülen değerde bir miktar düşüş gözlenirken, sistemin birinci (Adım 1) ve deprem testi sonrasında uygulanan beşinci (Adım 14) hava geçirgenlik testlerinin sonuçları değerlendirildiğinde ilk duruma göre performansında kayıp yaşanmıştır (Şekil 5.1b, Çizelge 5.2). Panel sisteme Adım 1’de negatif yönde uygulanan testte sistemin hava geçirgenlik değeri  $0.46 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$  ölçülmüştür. Birinci ısıl döngü testi sonrasında uygulanan ikinci hava geçirgenlik testinde (Adım 4) sistemin performansında bir miktar düşüş görülürken rüzgâr dayanım testi sonrasında (Adım 7) en düşük performans değerine ulaşılmıştır. İkinci ısıl döngü testi sonrasında Adım 10’da ölçülen hava geçirgenlik değeri bir miktar iyileşme göstermiştir. Panel sistemde uygulanan performans testlerine bağlı olarak sistem performansında kayıp yaşanması beklenirken deney prosedürü sonunda sistemin negatif yöndeki hava geçirgenlik performansında (Adım 14) ilk duruma göre (Adım 1) düzelme kaydedilmiştir (Şekil 5.2b, Çizelge 5.3).

Pozitif ve negatif yönde ölçülen hava geçirgenlik değerleri değerlendirildiğinde sistemler en düşük performanslarını rüzgâr dayanım testi sonrasında (Adım 7) ve birinci ısıl döngü testi sonrasında (Adım 4) göstermiştir. Rüzgâr dayanım testinde (Adım 6) sistemler 2400 Pa değerinde tasarım yüküne maruz bırakılmaktadır. Sistemlerin şiddetli yük altında sehim yapmasına bağlı olarak en yüksek hava geçirgenlik değerlerinin ölçülmesi beklenen bir durumdur. Benzer şekilde ısıl döngü testinde uygulanan döngülerle sistemler şiddetli sıcaklık değişimlerine maruz bırakılmaktadır. Isıl etkilere bağlı olarak sistem performansında düşüş gözlenebilmektedir. Özellikle birinci ısıl döngü testi sonrasında sistemlerin hava geçirgenlik değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Ancak rüzgâr dayanım testi sonrasında gerçekleştirilen ikinci ısıl döngü testi sonrasında ise sistemlerin hava geçirgenlik değerlerinde bir miktar düşük kaydedilmiştir. İkinci ısıl döngü testi sırasında meydana gelen ısıl hareketler rüzgâr dayanım testinde oluşan yapısal hareketleri bir miktar sönümleyerek sistemin oturmasını (kendini bulmasını) sağlamaktadır. Bu durum sonucunda sistem performansında bir miktar iyileşme gösterebilmektedir. Ancak yaşanan bu iyileşmenin çok düşük olduğu sistemlerin ilk duruma göre performansında kayıp yaşandığı tespit edilmiştir.

Sistemlere uygulanan hava geçirgenlik testlerinde iklimsel koşullara, test cihazlarının konumuna ve cihazların ölçüm toleranslarına bağlı olarak hava geçirgenlik değerlerinin ölçümü sırasında anlık değişiklikler görülebilmektedir. Cephe numuneleri şiddetli rüzgârın hâkim olduğu Çatalca bölgesinde yer alan test merkezinde açık alanda çalışma için özel oluşturulan kabinler üzerinde test edilmiştir. Kullanılan harici test cihazlarının rüzgârdan etkilenmesi nedeniyle yapılan ölçümlerde anlık değişikliklerin ortaya çıkabileceği görülmüştür. Bunun yanında ölçüm cihazları %10'luk tolerans payına sahiptir. Bu nedenlere bağlı olarak ölçümlerde anlık değişikliklerin meydana gelebileceği görülmüştür.

Çubuk ve panel sistemin hava geçirgenlik performansları  $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$  sınır değere göre değerlendirildiğinde her iki sistemin testleri başarıyla tamamladığı görülmektedir. Her iki sistemin testleri başarıyla geçmesine rağmen iki sistemin ölçülen hava geçirgenlik değerleri arasında farklılıklar olduğu görülmektedir. Sistemlerin hava geçirgenlik değerleri Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'te gösterilmiştir. Beş hava geçirgenlik testi boyunca en yüksek basınç değeri altında (600 Pa) çubuk sistemin hava geçirgenlik değerleri panel sistemden daha yüksek çıkmıştır. Şekil 5.3'te çubuk ve panel sisteme uygulanan hava geçirgenlik testlerinin sonuçları pozitif ve negatif yön için karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.



**Şekil 5.3** Çubuk ve panel sistemin hava geçirgenlik testlerinin karşılaştırılması, 1.Test (a), 2. Test (b), 3. Test (c), 4. Test (d), 5.Test (e).

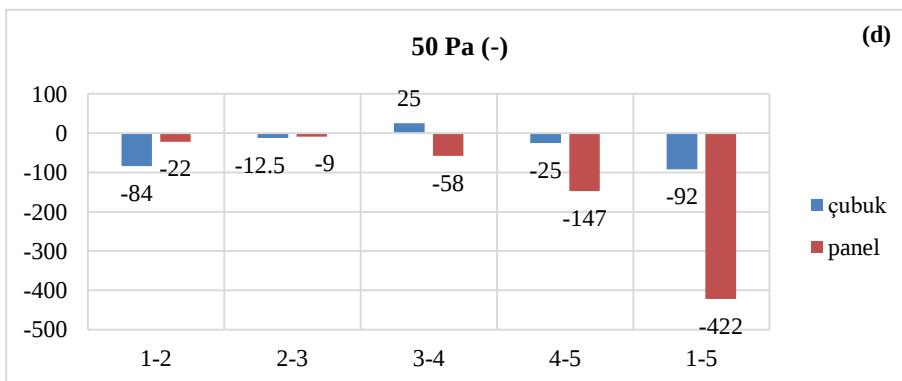
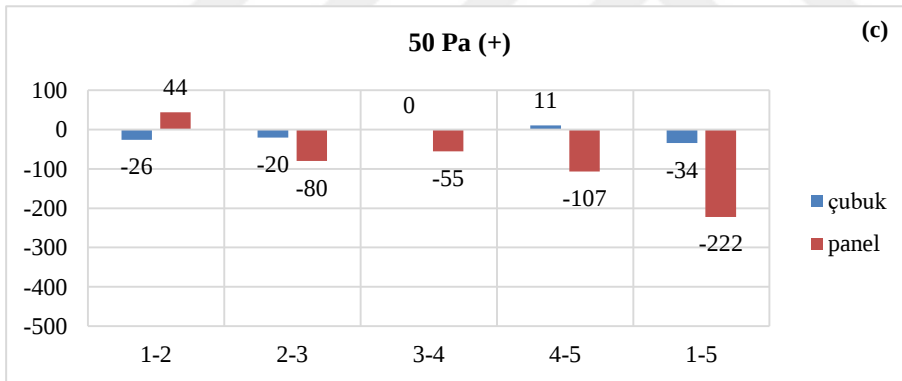
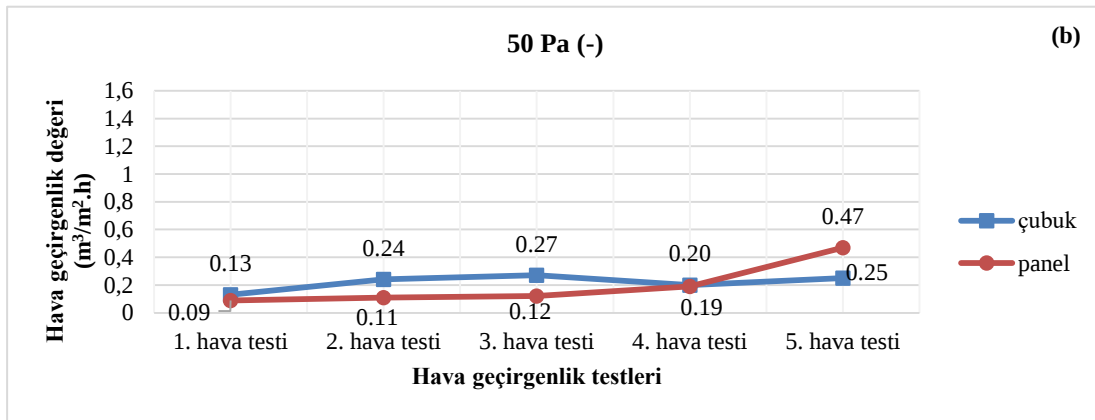
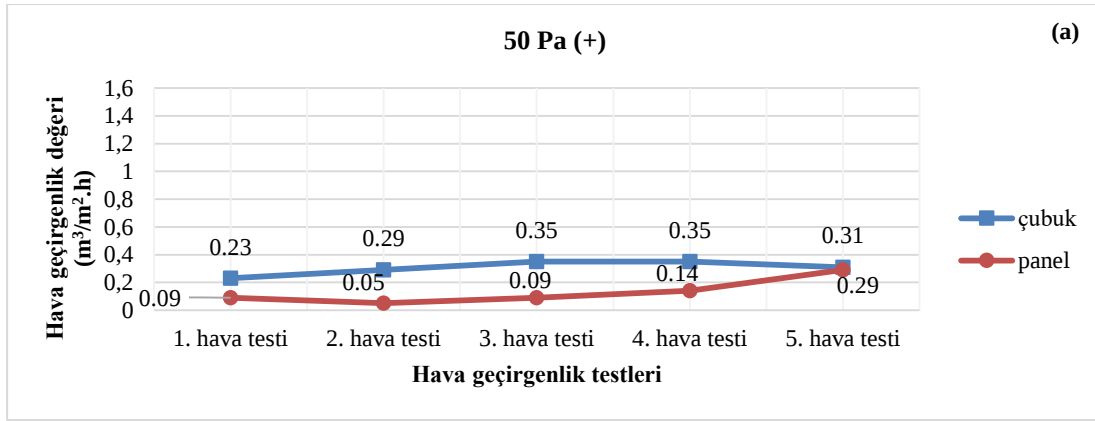
Şekil 5.3a’ da çubuk ve panel sistemin birinci hava geçirgenlik testinde (Adım 1) çubuk sistemin performansı pozitif yönde 2.5 kat, negatif yönde ise 1.5 kat düşük performans sergilemiştir. Birinci ısıl döngü testi sonunda gerçekleştirilen ikinci hava geçirgenlik testinde (Adım 4) çubuk sistemin ilk duruma göre performansında bir miktar daha kayıp görülmüştür. Sistemlerin performansları karşılaştırıldığında çubuk sistemin pozitif ve negatif yönde yaklaşık 3 kat düşük performans gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 5.3b). Deney prosedürü boyunca rüzgâr dayanım testinin sistemlerin performansını en çok etkileyen testlerden biri olduğu görülmüştür. Rüzgâr dayanım testi sonrasında tasarım yükü altında sistemler en düşük performanslarını göstermiştir. Adım 7’de uygulanan üçüncü hava geçirgenlik testinde panel sistem çubuk sisteme göre yaklaşık 2.5 kat iyi performans sergilemiştir (Şekil 5.3c). İkinci ısıl döngü testi sonrasında uygulanan dördüncü hava geçirgenlik testinin sonuçları değerlendirildiğinde (Adım 10) sistemlerin hava geçirgenlik değerlerinde düşüş olduğu görülmüştür. Ancak sistemlerin ilk durumuna göre performanslarının düşük olması nedeniyle tam bir iyileşme olarak adlandırılmamaktadır. Test sonunda çubuk sistemin pozitif yönde yaklaşık 3.5 kat, negatif yönde yaklaşık 2.5 kat düşük performans gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 5.3d). Deney prosedürü kapsamında uygulanan beşinci hava geçirgenlik testinin (Adım 14) sonuçları değerlendirildiğinde panel sistemin pozitif yönde 2.5 kat, negatif yönde ise 3 kat daha iyi performans sergilediği görülmüştür (Şekil 5.3e).

Çubuk ve panel sisteme uygulanan her hava geçirgenlik testinde 50, 100, 150, 200, 250, 300, 450 ve 600 Pa basınç değerleri sırasıyla etki ettirilmiştir. Aynı basınç altında ölçülen hava geçirgenlik değerlerinin beş test boyunca değişimine göre sistemlerin performansı incelenmiştir.

Çubuk ve panel sistemin pozitif yönde uygulanan hava geçirgenlik testlerinde 50 Pa’da ölçülen hava geçirgenlik değerlerinin değişimi Şekil 5.4a’da gösterilmektedir. Çubuk sistem en yüksek hava geçirgenlik değerine rüzgâr dayanım testi ve ikinci ısıl döngü testi sonrasında (Adım 7 ve Adım 10) ulaşmıştır. Panel sistem ise en yüksek hava geçirgenlik değerine deprem testi sonrasında uygulanan beşinci hava geçirgenlik testinde (Adım 14) ulaşmıştır. Sistemin birinci ve üçüncü hava geçirgenlik testinde performansının aynı olmasına karşın sonrasında uygulanan testlerde performansında kayıp yaşanmıştır. Çubuk sistemin ilk duruma göre performansındaki kayıp %34 iken panel sisteminki %222’dir (Şekil 5.4c).

Negatif yönde 50 Pa basınç altında çubuk sistemin en yüksek hava geçirgenlik değeri rüzgâr dayanımı sonrasında (Adım 7) ölçülmüştür. Sistem dördüncü hava geçirgenlik testinde (Adım 10) ısıl etkilere bağlı olarak performansında bir miktar iyileşme kaydedilse de test sonunda Adım 7’de ki duruma yakın bir değere ulaşmıştır. Panel sistemin ise ilk üç test boyunca performansı belirli bir dengede iken ikinci ısıl döngü ve deprem dayanım testleri sonrasında (Adım 10 ve Adım 14) performans kaybının ilk üç teste oranla arttığı görülmektedir (Şekil 5.4b). Özellikle son testte beklenenin çok üzerinde bir kayıp yaşanmıştır. Çubuk sistemin ilk duruma göre performans kaybı %92 iken panel sistemin %422 performans kaybına uğradığı görülmüştür (Şekil 5.4d).

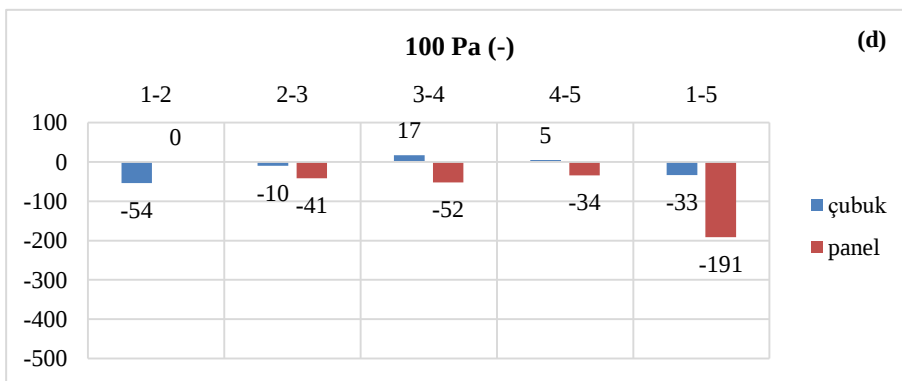
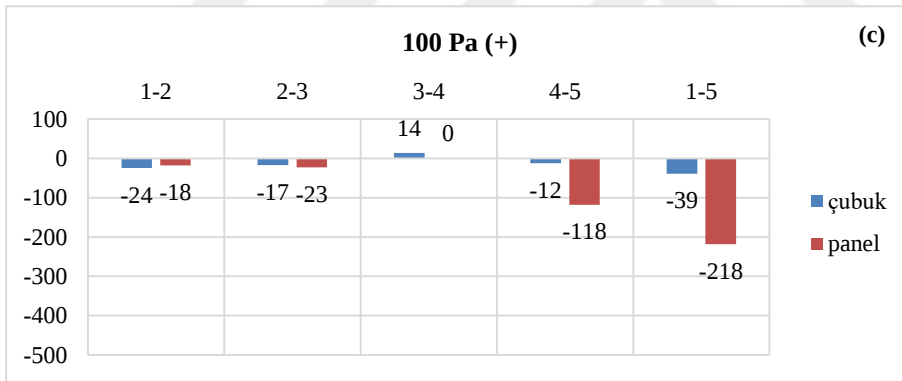
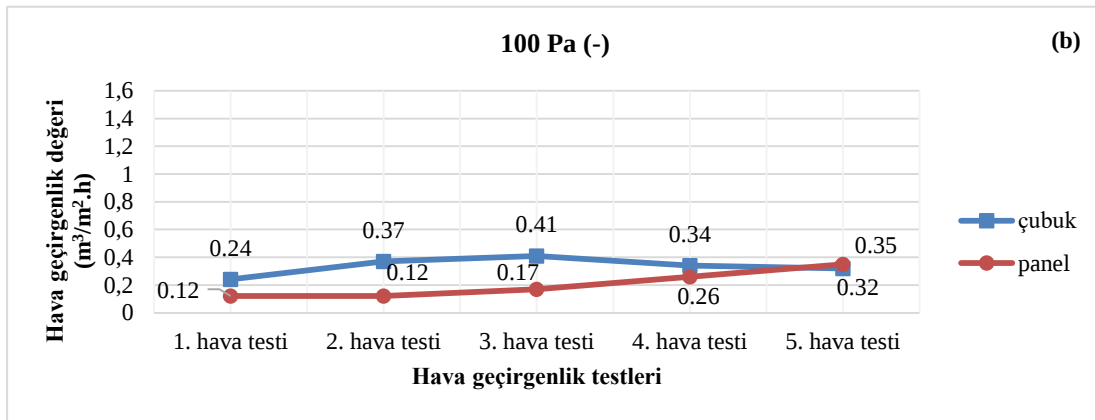
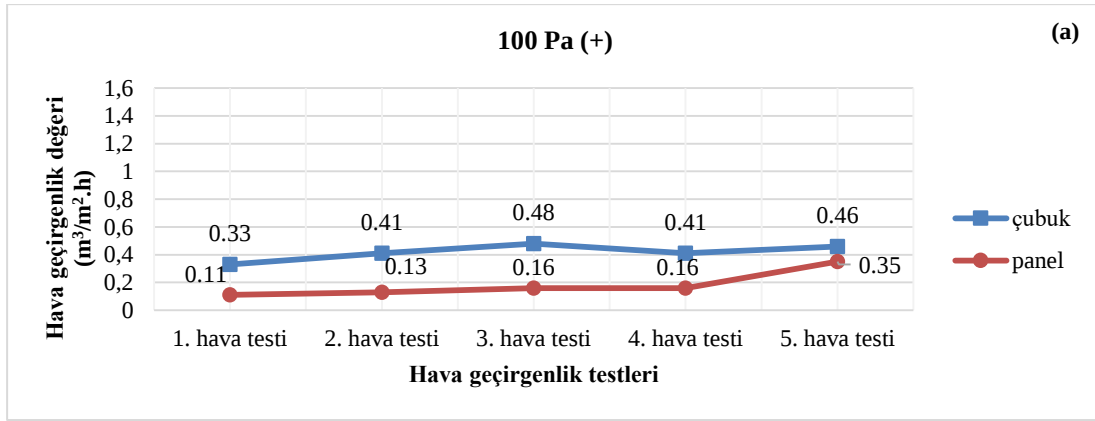




**Şekil 5.4** Sistemlerin 50 Pa basınç altında hava geçirgenlik değerlerinin değişimi, pozitif yönde (a), negatif yönde (b); Sistemlerin performans değişimi pozitif yönde (c), negatif yönde (d).

Pozitif yönde 100 Pa basınç altında çubuk sistemin en yüksek hava geçirgenlik değeri rüzgâr dayanım testi sonrasında uygulanan üçüncü hava geçirgenlik testinde (Adım 7) ölçülmüştür. İlk testte  $0.33 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$  olan hava geçirgenlik değeri üçüncü testin sonuna kadar artış göstermiştir. İkinci ısıl döngü testi sonrasında hava geçirgenlik değerinde bir miktar düşüş görülürken deprem dayanım testi sonrasında bu değerin artış göstermiştir. Panel sistem ise üçüncü hava geçirgenlik testine kadar performansında kayıp göstermiştir. Rüzgâr dayanım testi ve ikinci ısıl döngü testi sonrasında uygulanan hava geçirgenlik değerlerinde bir değişim görülmezken, deprem dayanım testi sonrasında uygulanan hava geçirgenlik testinde performansında kayıp görülmüştür (Şekil 5.5a). Deney prosedürü sonunda çubuk sistem ilk performansına göre %39'luk bir kayıp yaşarken, panel sistem %218'lik performans kaybına uğramıştır (Şekil 5.5c).

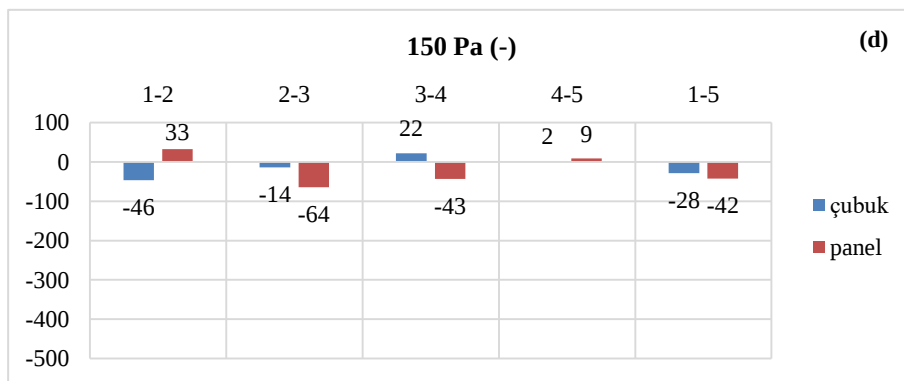
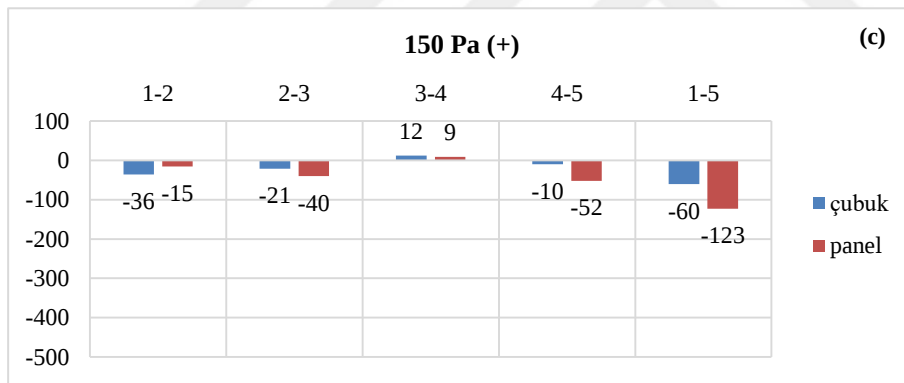
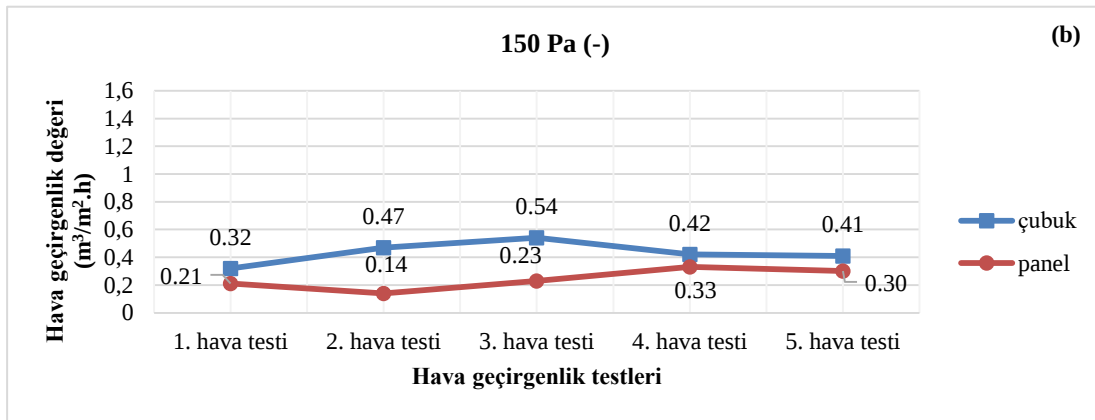
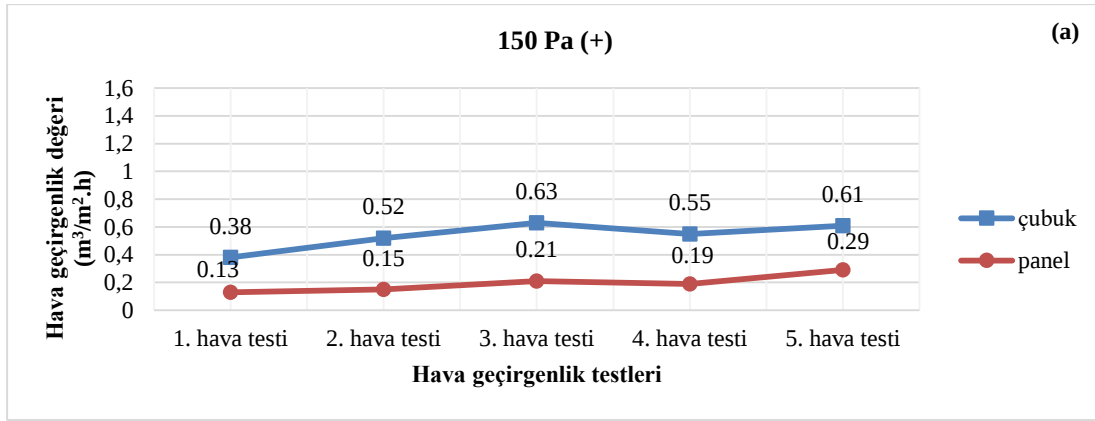
Çubuk sistemin negatif yönde 100 Pa basınç altında ölçülen hava geçirgenlik değerleri incelendiğinde sistemin en düşük performansı rüzgâr dayanım testi sonrasında üçüncü hava geçirgenlik testinde (Adım 7) görülmüştür. Dördüncü (Adım 10) ve beşinci (Adım 14) hava geçirgenlik değeri birbirine yakın çıkmıştır. Sistemin test yöntemi boyunca gösterdiği performansı değerlendirildiğinde ilk duruma göre performansında kayıp yaşanmıştır. Panel sistemde birinci hava geçirgenlik testiyle (Adım 1) birinci ısıl döngü testi sonrasında uygulanan ikinci hava geçirgenlik testinde ölçülen değerlerin (Adım 4) aynı olduğu görülmüştür. Sistem ikinci hava geçirgenlik testi sonrasında performans kaybetmeye başlamıştır. Panel sistem en düşük performansını deprem dayanım testi sonrasında göstermiştir (Şekil 5.5b). Test sonunda çubuk sistemin performans kaybı %33 iken, panel sistemin %191'dir (Şekil 5.5d).



**Şekil 5.5** Sistemlerin 100 Pa basınç altında hava geçirgenlik değerlerinin değişimi, pozitif yönde (a), negatif yönde (b); Sistemlerin performans değişimi pozitif yönde (c), negatif yönde (d).

Pozitif yönde 150 Pa basınç altında çubuk sistem en düşük performansını rüzgâr dayanım testi sonrasında uygulanan üçüncü hava geçirgenlik testinde (Adım 7) göstermiştir. Hava geçirgenlik değeri ikinci ısıl döngü testi sonrasında bir miktar düşüş gösterse de deprem dayanım testi sonrasında sistem yeniden performans kaybına uğramıştır. Panel sistem de üçüncü hava geçirgenlik testi sonuna kadar hava geçirgenlik değerinde artış kaydedilmiştir. Deprem dayanımı testi sonrasında  $0.29 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$  değeriyle en düşük performansı göstermiştir (Şekil 5.6a). Çubuk sistem ilk duruma göre %60 performans kaybı gösterirken panel sistemde bu oran %123 olarak belirlenmiştir (Şekil 5.6c).

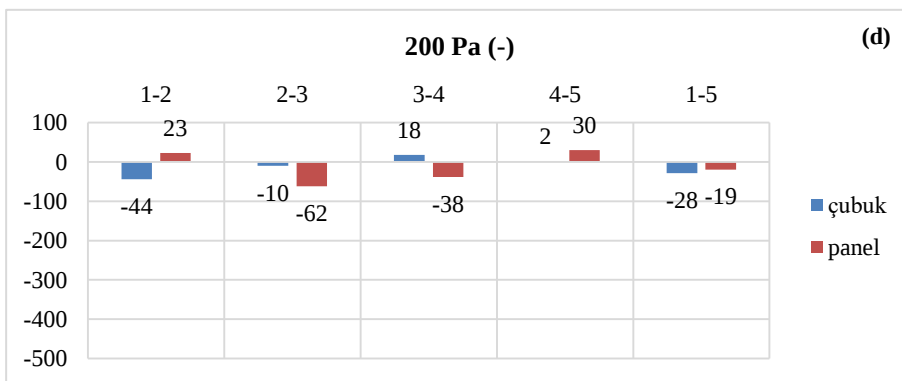
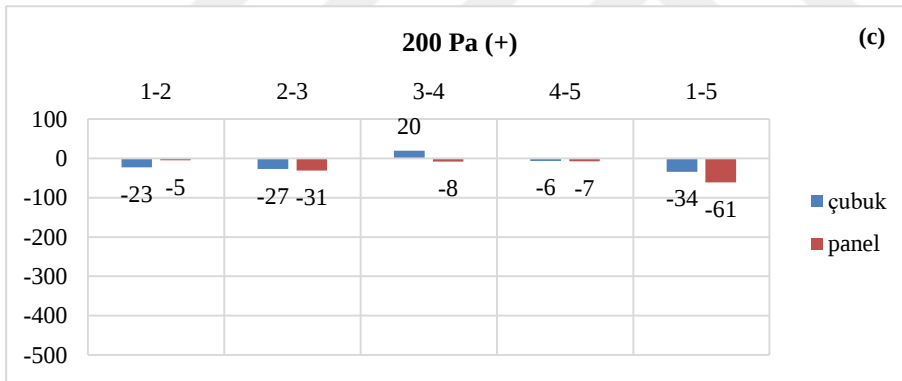
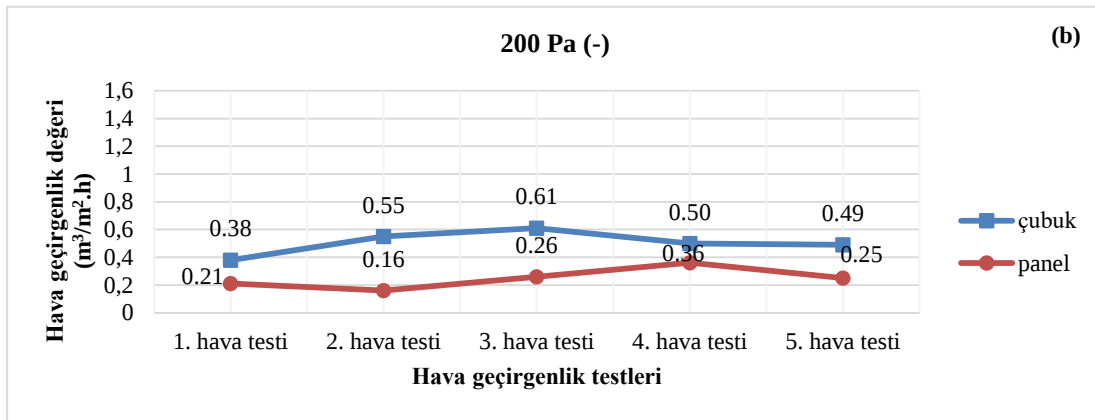
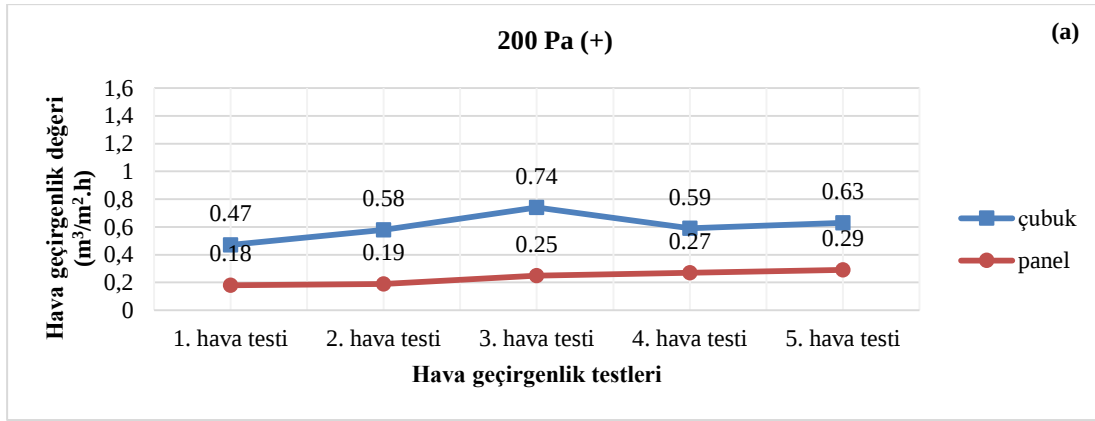
Negatif yönde ise çubuk sistem pozitif yönde olduğu gibi üçüncü hava geçirgenlik testine kadar sistem performans kaybına uğrayarak Adım 7’de en yüksek hava geçirgenlik değerine ulaşmıştır. İkinci ısıl döngü testi sonrasında hava geçirgenlik değerinde düşüş kaydedilse de deprem dayanımı testinin ardından sistemin hava geçirgenlik performansında yeniden kayıp meydana gelmiştir. Panel sistemde negatif yönde birinci ısıl döngü testi sonrasında (Adım 4) performansında iyileşme görülse de ikinci ısıl döngü testinin sonuna kadar (Adım 10) sistemin hava geçirgenlik değerinde artış görülmüştür (Şekil 5.6b). Yapılan değerlendirme sonucunda çubuk sistem negatif yönde %28 performans kaybı yaşarken panel sistem %42’lik bir kayıp göstermiştir (Şekil 5.6d).



**Şekil 5.6** Sistemlerin 150 Pa basınç altında hava geçirgenlik değerlerinin değişimi, pozitif yönde (a), negatif yönde (b); Sistemlerin performans değişimi pozitif yönde (c), negatif yönde (d).

Şekil 5.7a’da çubuk ve panel sistemin pozitif yönde 200 Pa basınç değeri altındaki performansı değerlendirilmiştir. Çubuk sistemin hava geçirgenlik değeri rüzgâr dayanım testi sonrasında uygulanan üçüncü hava geçirgenlik testine kadar artış gösterirken ikinci ısıl döngü testi sonrasında değerlerde düşüş olduğu görülmüştür. Deprem dayanımı testi sonrasında sistem performans kaybederek hava geçirgenlik değeri  $0.63 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$  olarak ölçülmüştür. Panel sistemin performansında pozitif yönde uygulanan testlerde aşamalı olarak düşüş kaydedilmiştir. Sistem en düşük hava geçirgenlik performansını deprem dayanımı testi sonrasında (Adım 14) göstermiştir. İlk duruma göre çubuk sistem %34 performans kaybı gösterirken, panel sistem %61 performans kaybı göstermiştir (Şekil 5.7c).

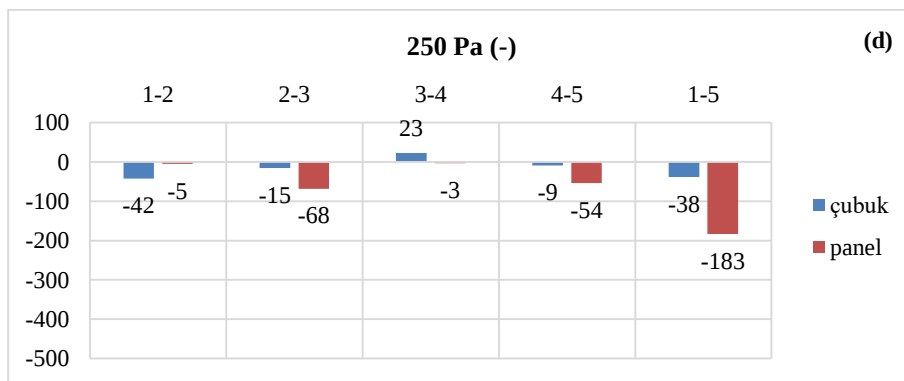
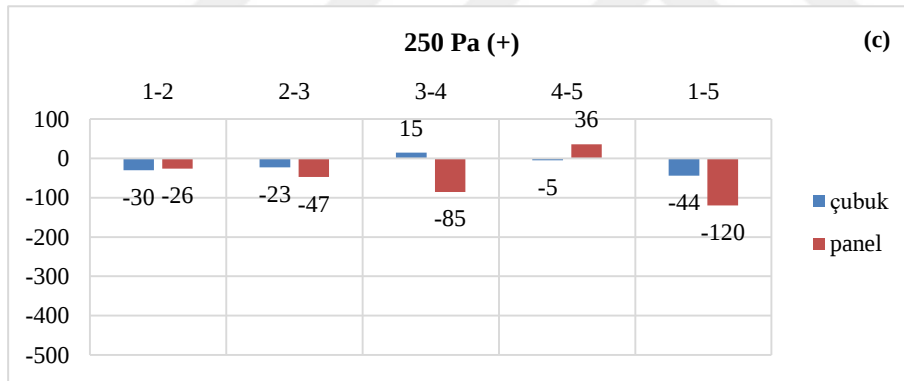
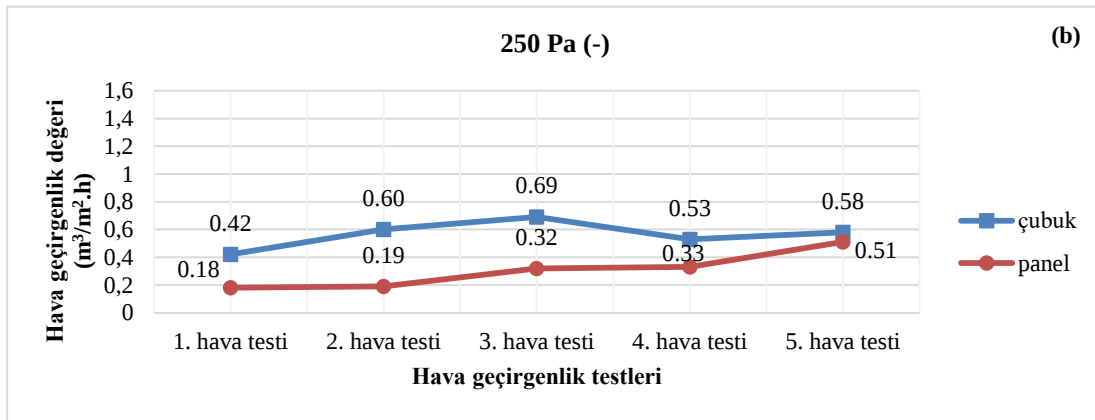
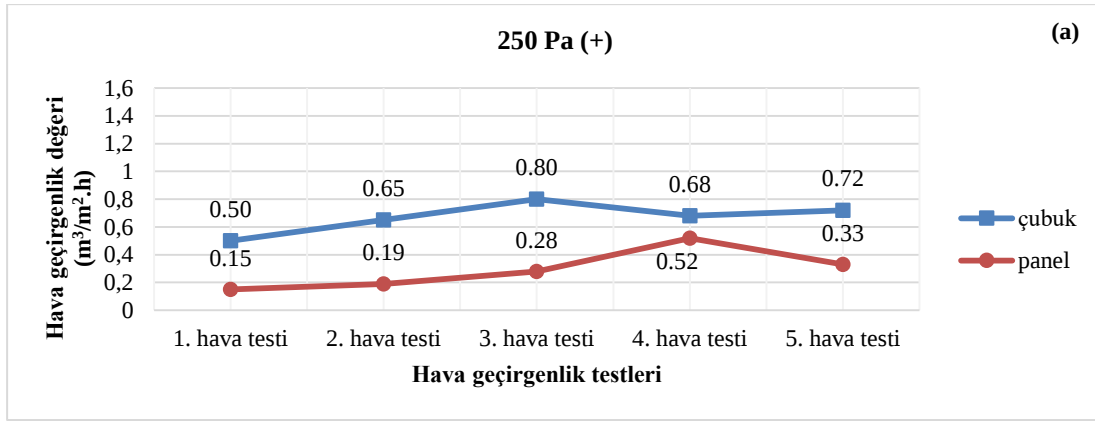
Çubuk sistemde negatif yönde üçüncü hava geçirgenlik değerinde (Adım 7)’de en düşük değerine ulaşmıştır. Adım 10 ve Adım 14’te gerçekleştirilen dördüncü ve beşinci hava geçirgenlik testlerinde sistem performansında bir miktar iyileşme görülmüştür. Panel sistemin negatif yöndeki hava geçirgenlik değerleri incelendiğinde ikinci ısıl döngü testi sonrasına kadar performans kaybederek en yüksek hava geçirgenlik değerine (Adım 10) ulaştığı görülmektedir. Deprem dayanımı testinden sonra sistem performansında bir miktar iyileşme kaydedilse de sistem performans kaybına uğramıştır (Şekil 5.7b). İlk duruma göre çubuk ve panel sistemin performans kaybı sırasıyla %28 ve %19’dur (Şekil 5.7d).



**Şekil 5.7** Sistemlerin 200 Pa basınç altında hava geçirgenlik değerlerinin değişimi, pozitif yönde (a), negatif yönde (b); Sistemlerin performans değişimi pozitif yönde (c), negatif yönde (d).

Çubuk sistemin 250 Pa basınç değeri altında ölçülen en yüksek hava geçirgenlik değeri  $0.80 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$  rüzgâr dayanım testi sonrasında (Adım 7) ölçülmüştür. İkinci ısı döngü testi sonrasında (Adım 10) bu değerde düşüş görülse de deprem dayanım testinde hava geçirgenlik değeri artarak sistem performans kaybına uğramıştır. Panel sistemin en yüksek hava geçirgenlik değeri ikinci ısı döngü testi sonrasında (Adım 10) ölçülmüştür. Deprem dayanımı testi sonrasında ölçülen hava geçirgenlik değerinde azalma görülmüştür (Şekil 5.8a). Deney prosedürü sonunda çubuk sistemin performans kaybı %44 iken panel sistemin %120 olarak belirlenmiştir (Şekil 5.8c).

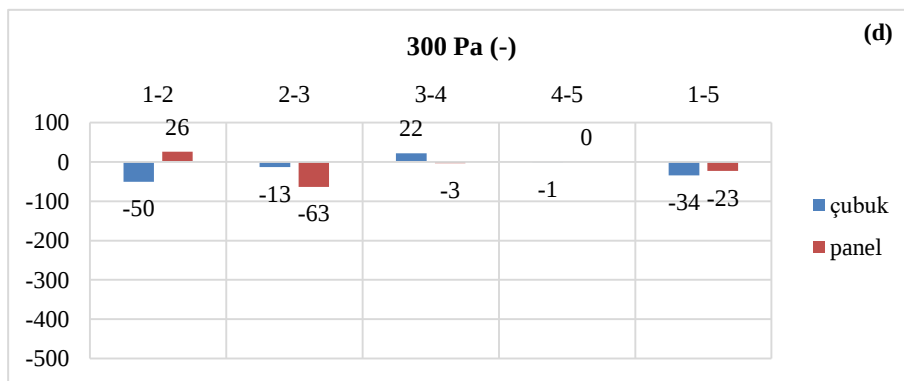
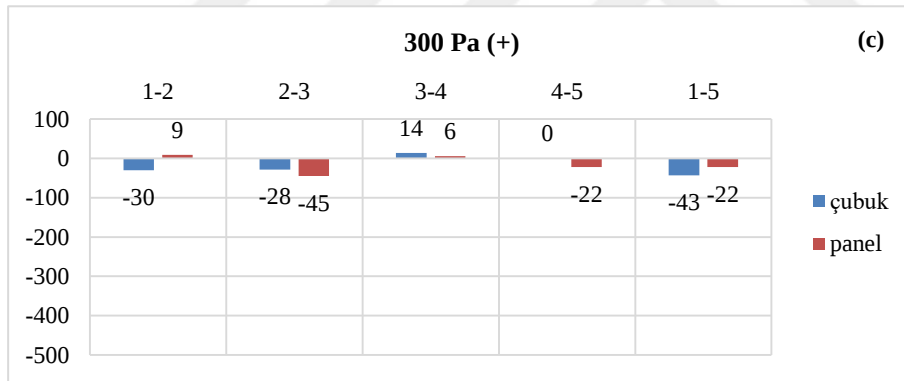
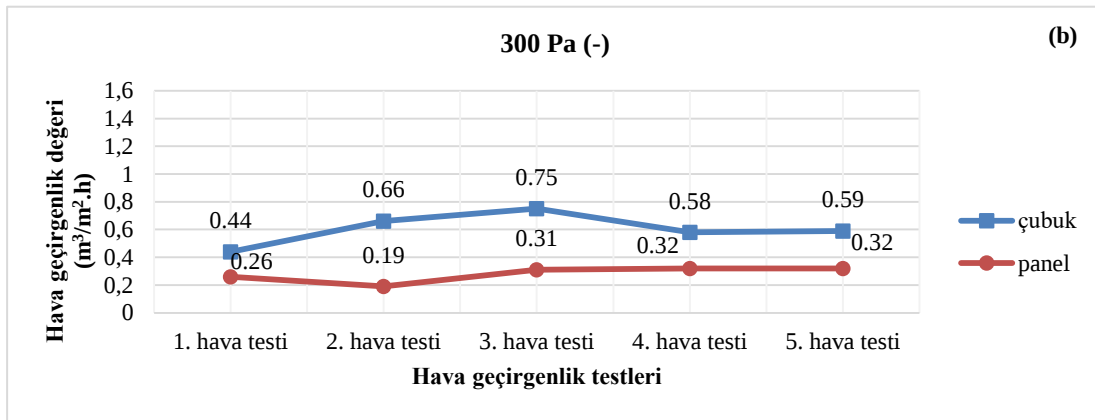
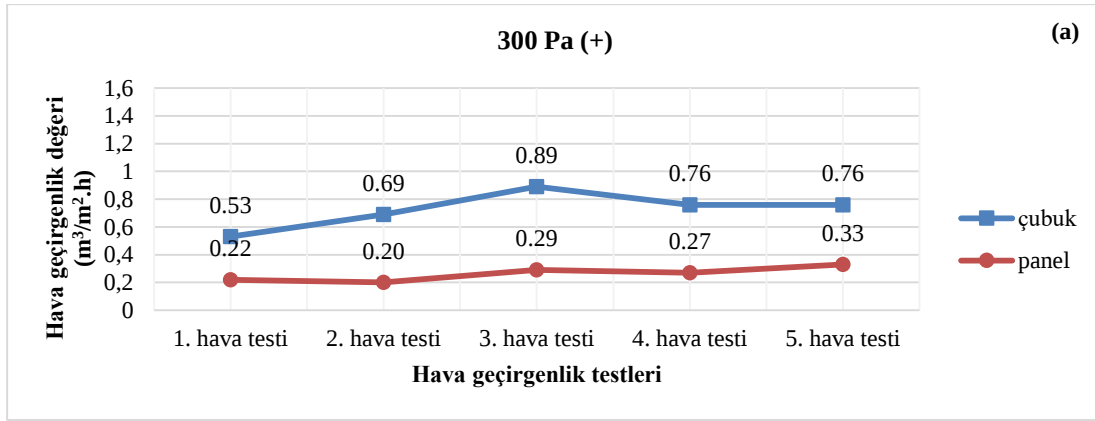
Çubuk sistemin hava geçirgenlik değeri negatif yönde üçüncü hava geçirgenlik testine kadar artış göstererek en yüksek değerine ulaşmıştır. Deney prosedürünün devamında gerçekleştirilen dördüncü ve beşinci testlerde geçirgenlik değerinde bir miktar düşüş olduğu görülmüştür. Panel sistemin hava geçirgenlik değeri deprem dayanımı testi sonuna kadar artış göstererek en yüksek değere ulaşmıştır. Rüzgâr dayanımı ve ikinci ısı döngü testleri sonrasında (Adım 7 ve Adım 10) sistemin performansında değişim görülmemiştir (Şekil 5.8b). İlk performansa göre çubuk sistemin performans kaybı %38, panel sistemin ise %183'tür (Şekil 5.8d).



**Şekil 5.8** Sistemlerin 250 Pa basınç altında hava geçirgenlik değerlerinin değişimi, pozitif yönde (a), negatif yönde (b); Sistemlerin performans değişimi pozitif yönde (c), negatif yönde (d).

Pozitif yönde 300 Pa basınç değeri altında çubuk sistemin hava geçirgenlik değeri rüzgâr dayanım testi sonrasına kadar (Adım 7) artış göstermiştir. En yüksek değerine Adım 7’de ulaşan sistemin hava geçirgenlik değeri ikinci ısıl döngü testi sonrasında düşüş göstermiş deprem dayanımı testi sonrasında sistem mevcut durumunu korumuştur. Panel sistemde rüzgâr dayanım testi sonrasına kadar artış gösteren hava geçirgenlik değeri (Adım 7), deprem dayanımı testi sonrasında en yüksek değerine ulaşmıştır (Şekil 5.9a). Çubuk sistemin pozitif yönde performans kaybı %43 iken, panel sistemin %22’tür (Şekil 5.9c).

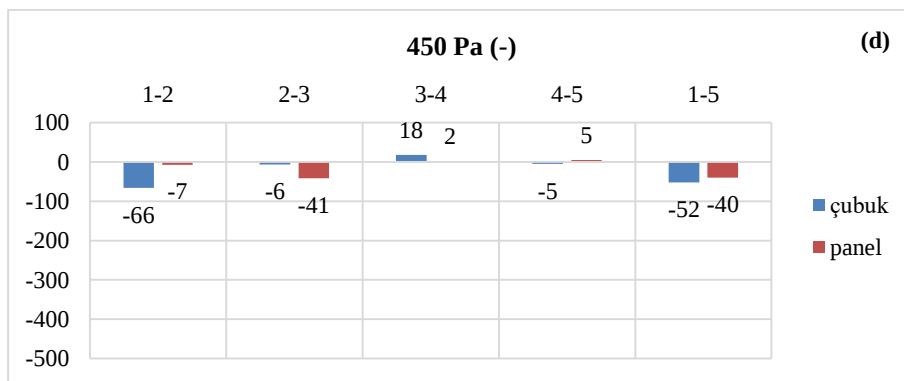
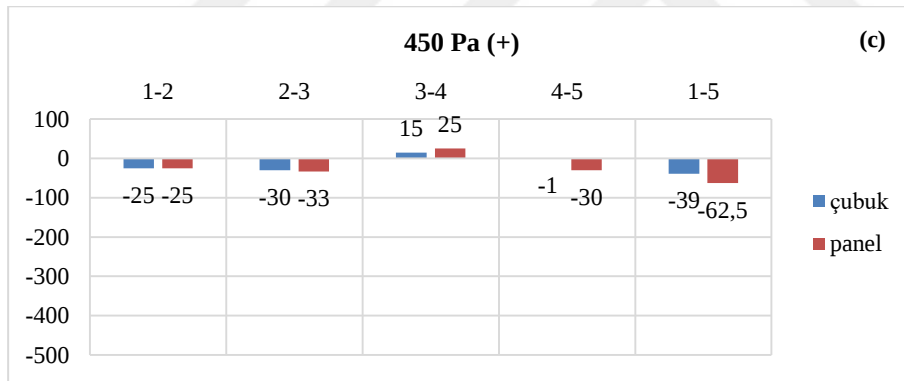
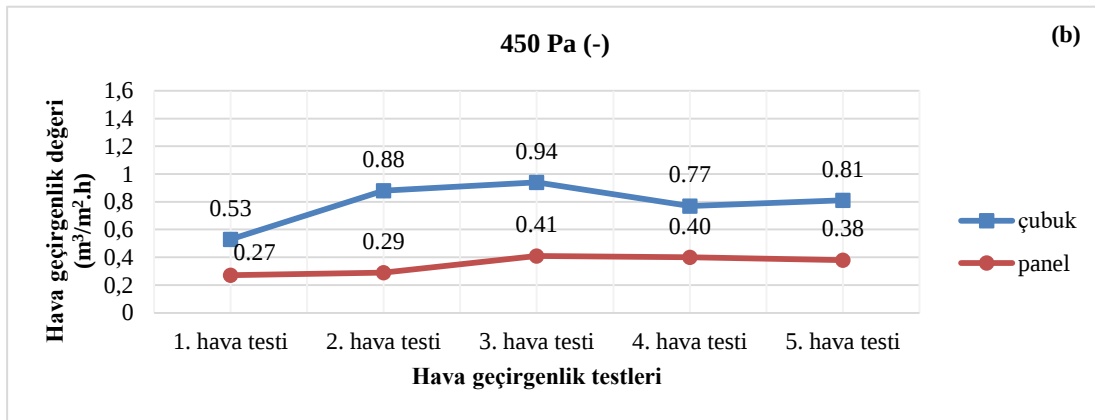
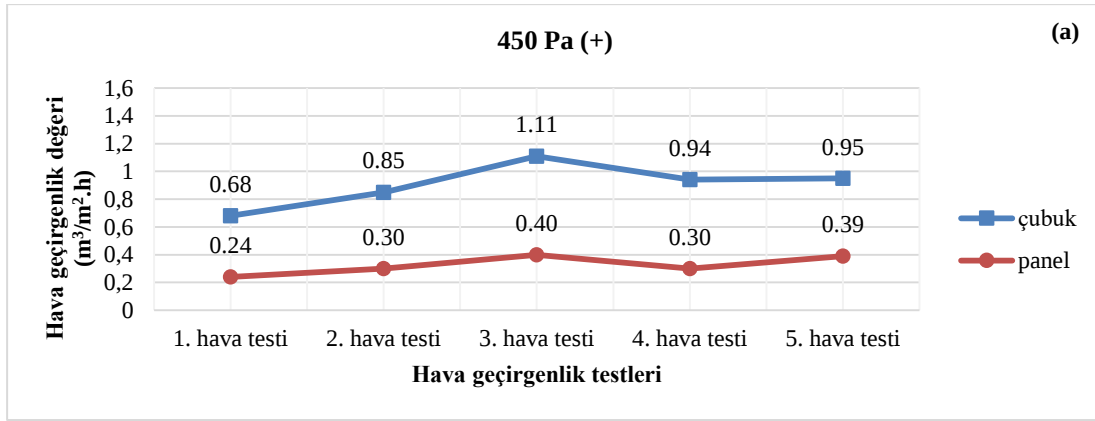
Pozitif yöne benzer şekilde çubuk sistem 300 Pa’da negatif yönde de rüzgâr dayanımı testi sonrasına kadar performans kaybına uğramıştır. İkinci ısıl döngü testi sonrasında performansında iyileşme kaydedilmiştir. Negatif yönde panel sistem en düşük hava geçirgenlik değerine ikinci ısıl döngü testi sonrasında ulaşmış ve deney prosedürü sonuna kadar bu durumu korumuştur (Şekil 5.9b). İlk duruma göre çubuk sistem %34 performans kaybederken panel sistem %23 performans kaybına uğramıştır (Şekil 5.9d).



**Şekil 5.9** Sistemlerin 300 Pa basınç altında hava geçirgenlik değerlerinin değişimi, pozitif yönde (a), negatif yönde (b); Sistemlerin performans değişimi pozitif yönde (c), negatif yönde (d).

Pozitif yönde 450 Pa basınçta çubuk sistemin en yüksek hava geçirgenlik değeri rüzgâr dayanım testinden sonra ölçülmüştür. Bu değer ikinci ısı döngü ve deprem dayanımı testi sonrasında (Adım 10 ve Adım 14) bir miktar düşüş göstererek sırasıyla 0.94 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h ve 0.95 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h olarak ölçülmüştür. Panel sistemin hava geçirgenlik değeri rüzgâr dayanım testi sonrasında kadar (Adım 7) artış göstererek en yüksek değere ulaşmıştır. İkinci ısı döngü testi sonrasında bir miktar iyileşme gösterse deprem dayanım testi sonrasında yeniden performans kaybına uğramıştır (Şekil 5.10a). Çubuk sistemin performans kaybı ilk duruma göre %39 iken panel sistemin %62.5 olarak belirlenmiştir (Şekil 5.10c).

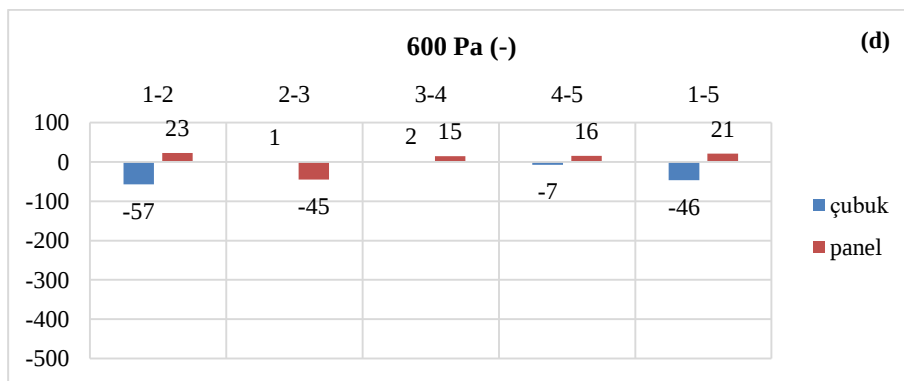
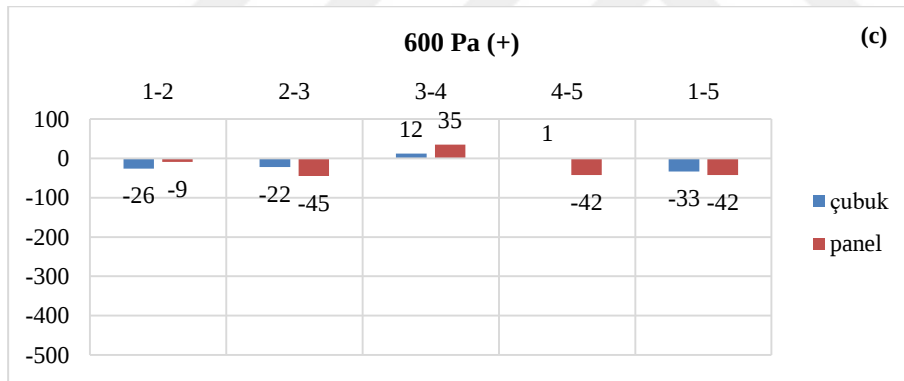
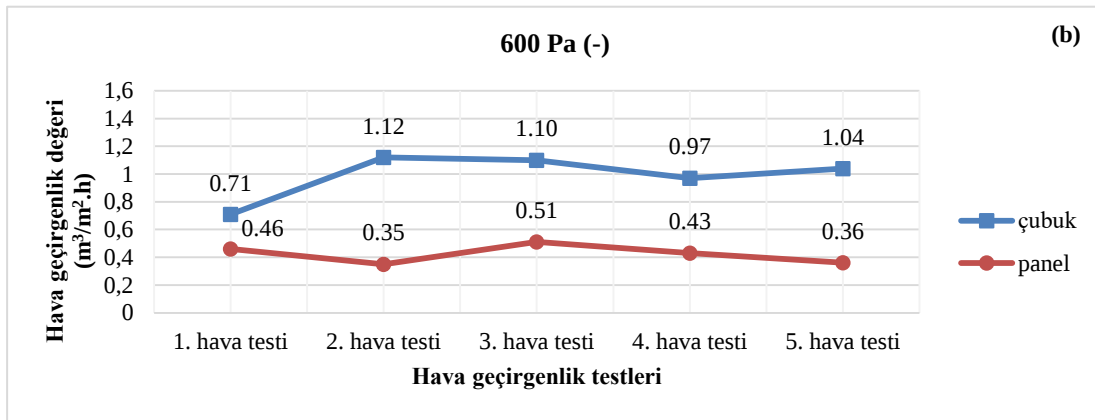
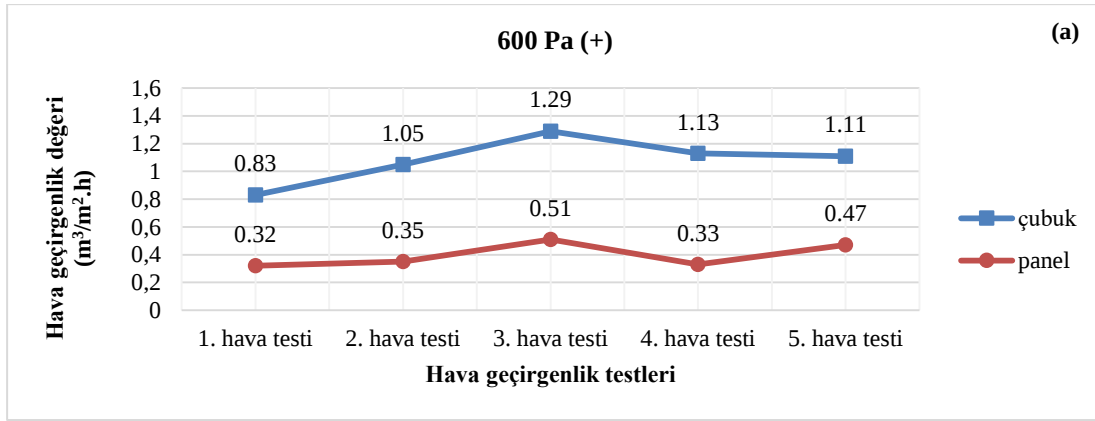
Negatif yönde 450 Pa'da çubuk sistemin performansı rüzgâr dayanım testi sonrasında kadar düşüş göstermiştir. İkinci ısı döngü testi sonrasında hava geçirgenlik değerinde iyileşme görülse de deprem dayanım testi sonrasında sistem yeniden performans kaybına uğramıştır. Panel sistemin negatif yönde en yüksek hava geçirgenlik değeri rüzgâr dayanım testi sonrasında ölçülmüştür. İkinci ısı döngü testi ve deprem testi sonrasında gerçekleştirilen testlerde de ulaşılan en yüksek değere yakın değerler ölçülmüştür (Şekil 5.10b). Çubuk sistemin test yöntemi sonunda negatif yönde performans kaybı %52 iken panel sistemin %40 olarak belirlenmiştir (Şekil 5.10d).



**Şekil 5.10** Sistemlerin 450 Pa basınç altında hava geçirgenlik değerlerinin değişimi, pozitif yönde (a), negatif yönde (b); Sistemlerin performans değişimi pozitif yönde (c), negatif yönde (d).

Çubuk sistemin 600 Pa'da pozitif yönde en yüksek hava geçirgenlik değeri rüzgâr dayanımı testi sonrasında  $1.29 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$  olarak Adım 7'de ölçülmüştür. İkinci ısı döngü testi sonrasında hava geçirgenlik değerinde düşüş kaydedilmesine karşın sistem ilk duruma göre performans kaybına uğramıştır. Panel sistemde  $0.32 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$  olan hava geçirgenlik değeri  $0.51 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$  ile rüzgâr dayanımı testi sonrasında en yüksek değere ulaşmıştır. Testler boyunca sistemin ölçülen hava geçirgenlik değerleri değişiklik gösterse de sistemin performansında pozitif yönde kayıp yaşanmıştır (Şekil 5.11a). Çubuk sistemin en yüksek basınç değeri altında ilk duruma göre performans kaybı %33, panel sistemin % 42 olarak belirlenmiştir (Şekil 5.11c).

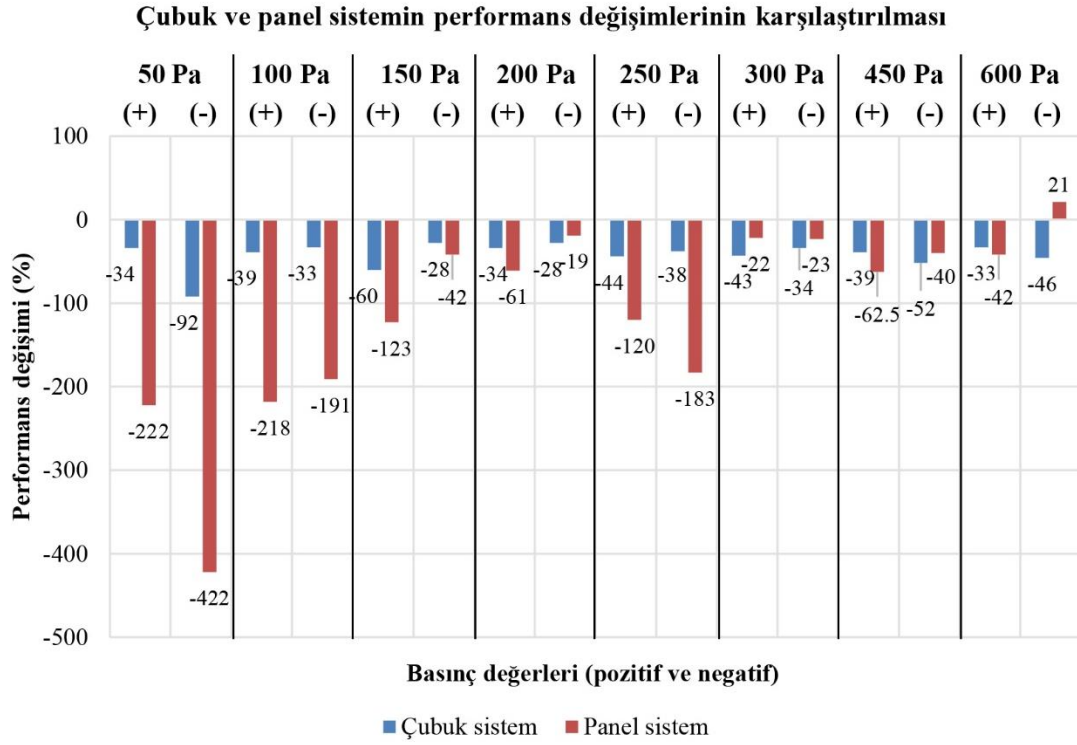
Çubuk sistemin negatif yönde en yüksek hava geçirgenlik değeri birinci ısı döngü testi sonrasında uygulanan ikinci hava geçirgenlik testinde (Adım 4) ölçülmüştür. Sistemin hava geçirgenlik değeri ikinci ısı döngü testi sonrasına kadar (Adım 10) iyileşme gösterse de deprem dayanımı test sonrasında sistem ilk duruma göre performans kaybetmiştir. Panel sistemin negatif yönde basınç altındaki durumu incelendiğinde birinci ısı döngü testi sonrasında hava geçirgenlik değerinde düşüş olsa da rüzgâr dayanımı testinden sonra en yüksek değerine ulaşmıştır. Deprem dayanımı testi sonrasında panel sistemin hava geçirgenlik değerinde düşüş görülmüştür (Şekil 5.11b). Çubuk sistem negatif yönde 600 Pa basınç altında %46 performans kaybederken, panel sistemin performansında ilk duruma göre %21'lik bir iyileşme kaydedilmiştir (Şekil 5.11d).



**Şekil 5.11** Sistemlerin 600 Pa basınç altında hava geçirgenlik değerlerinin değişimi, pozitif yönde (a), negatif yönde (b); Sistemlerin performans değişimi pozitif yönde (c), negatif yönde (d).

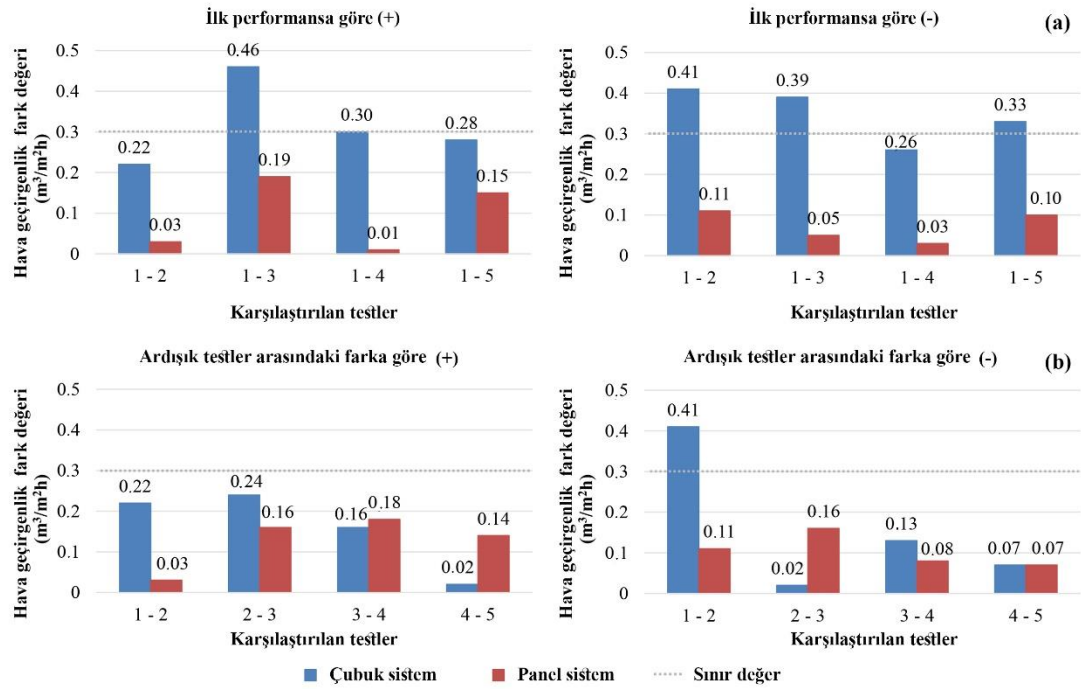
Belirtilen basınç değerleri altında ölçülen hava geçirgenlik değerlerine bağlı çizilen grafikler incelendiğinde, basınç değerlerinin artmasına bağlı olarak sistemlerin hava geçirgenlik değerlerinin arttığı görülmüştür. Uygulanan performans testlerine bağlı olarak sistemlerde oluşan yaşlanma ve yorulma nedeniyle aynı basınç değeri altında ölçülen ilk ve son test arasındaki hava geçirgenlik performansında kayıp meydana gelmiştir. Bununla birlikte, basınç değerlerinin artışına bağlı olarak çubuk ve panel sistemde ölçülen hava geçirgenlik değerleri arasındaki farkın gittikçe arttığı görülmektedir. Yüksek basınç değeri altında panel sistemin performansının çubuk sisteme göre daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Çubuk ve panel sistemin performansları genel olarak değerlendirildiğinde panel sistemin aynı basınç değeri altında performans değişim yüzdesinin çubuk sisteme göre fazla olmasına karşın sistemin ölçülen hava geçirgenlik değerlerinin çubuk sisteme göre çok düşük olduğu görülmektedir. Şekil 5.12’de çubuk ve panel sistemin birinci (Adım 1) ve beşinci (Adım 14) hava geçirgenlik testleri arasında her basınç değeri için performans değişimi gösterilmektedir. Sistem üzerinde en etkili olan basınç değerlerinin 300, 450 ve 600 Pa olmasına bağlı olarak sistemlerin performanslarındaki değişim değerlendirildiğinde çubuk sistemin performansının pozitif yönde -%33 ile -%43, negatif yönde -%34 ile -%52 arasında değiştiği, panel sistemin ise pozitif yönde -%22 ile -%62.5, negatif yönde -%40 ile %21 arasında değiştiği görülmüştür. Panel sistemin performans değişiminin yüksek olmasına karşın hava geçirgenlik değerlerinin çubuk sisteme göre çok daha iyi olması sistemin cepheye etki eden çeşitli yüklere karşı daya uyumlu olduğunu ve sızdırmazlık performansının bununla doğru orantılı olduğunu kanıtlamaktadır. Panel sistemin fabrika ortamında kapalı bir sistem olmasının da sistem performansını olumlu yönde etkilediği öngörülmektedir.



**Şekil 5.12** Sistemlerin birinci ve beşinci hava geçirgenlik değeri arasındaki performans değişimlerinin karşılaştırılması.

Giydirme cephe sistemlerinin performanslarının değerlendirilmesinde en yüksek basınç değeri (600 Pa) altında ölçülen hava geçirgenlik değerleri arasındaki mutlak fark değeri kullanılmaktadır. TS EN 13116 (2004)'te birinci ve ikinci hava geçirgenlik testinde en yüksek basınç değeri altında ölçülen hava geçirgenlik değerleri arasındaki farkın  $0.30 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 'ı geçmemesi gerektiği belirtilmiştir. Buna bağlı olarak çubuk ve panel giydirme cephe sistemlerinin hava geçirgenlik testleri arasındaki mutlak fark değerine göre performansları değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında mutlak fark değeri ardışık testler ve ilk performansa göre olmak üzere iki şekilde ele alınmıştır. Ardışık testler arasındaki farka göre yapılan değerlendirmede birinci ve ikinci (Adım 1 – Adım 4), ikinci ve üçüncü (Adım 4 – Adım 7), üçüncü ve dördüncü (Adım 7 – Adım 10), dördüncü ve beşinci (Adım 10 – Adım 14) hava geçirgenlik testleri arasındaki ölçülen hava geçirgenlik değerlerinin mutlak farkı dikkate alınmıştır. İlk performansa göre yapılan değerlendirmede ise sistemin uygulanan performans testleri sonrasındaki durumu ile ilk performansı arasındaki mutlak fark değeri dikkate alınmıştır. Burada birinci ve ikinci (Adım 1 – Adım 4), birinci ve üçüncü (Adım 1 – Adım 7), birinci ve dördüncü (Adım 1 – Adım 10), birinci ve beşinci (Adım 1 – Adım 14) testlerde ölçülen hava geçirgenlik değerleri arasındaki mutlak fark değerlendirilmiştir.



**Şekil 5.13** Çubuk ve panel sistemin hava geçirgenlik testleri arasındaki fark değerleri, ilk performansa göre (a), ardışık testler arasındaki farka göre (b).

İlk performansa göre yapılan değerlendirmede çubuk sistemin birinci ve üçüncü (Adım 1 – Adım 7) hava geçirgenlik testi değerlerinin arasındaki mutlak farkın  $0.46 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$  olduğu birinci ve dördüncü (Adım 1 – Adım 10) arasında sınır değeri olan  $0.30 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ 'a ulaştığı görülmüştür. İlk performansa göre negatif yönde yapılan değerlendirme de ise çubuk sistemin uygulanan ilk test ile birinci ısıl döngü testi sonrasında uygulanan ikinci hava geçirgenlik test değerleri arasında  $0.41 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$  ile bu farkı aştığı görülmüştür. Benzer şekilde birinci ve üçüncü (Adım 1 – Adım 7), birinci ve beşinci (Adım 1 – Adım 14) arasında sırasıyla  $0.39 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ ,  $0.33 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$  fark değerlerine ulaşılmıştır. Çubuk sistemin birinci ısıl döngü testi sonrasında hava geçirgenlik performansında kayıp yaşadığı belirlenmiştir. İlk performansa göre yapılan değerlendirmede panel sistemin belirtilen sınır değeri aşmadığı ve testleri başarıyla tamamladığı görülmüştür (Şekil 5.13a). Ardışık testler arasında yapılan değerlendirmeye göre çubuk sistemin birinci hava geçirgenlik testi ile birinci ısıl döngü testi sonrasında uygulanan ikinci hava geçirgenlik testi arasında negatif yönde  $0.41 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$  mutlak fark değerine ulaşması nedeniyle sistem performansında kayıp yaşandığı belirlenmiştir. Panel sistemin ise ardışık testler arasında yapılan değerlendirmede  $0.30 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ 'ı aşmadığı ve testleri başarıyla tamamladığı görülmektedir (Şekil 5.13b).

İlk performansa ve ardışık testlere bağlı yapılan değerlendirmenin sonucunda çubuk ve panel sistemin  $1.5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$  sınır değeri aşmayarak testleri başarıyla tamamlamasına karşın çubuk sistemin birinci ısı döngü testi sonrasında performans kaybına uğradığı, panel sisteminse performansında herhangi bir kayıp yaşanmadığı belirlenmiştir.

### 5.1.2 Su sızdırmazlık testleri

Bu bölümde çubuk ve panel sistem numunelerine uygulanan statik ve dinamik su sızdırmazlık testlerinin sonuçları verilmektedir.

#### 5.1.2.1 Statik su sızdırmazlık

Çubuk ve panel sistemin ilk durumunun ve uygulanan performans testlerinin ardından sistemlerin su sızdırmazlık performansındaki değişimin belirlenmesi için Adım 2, Adım 5, Adım 8, Adım 11 ve Adım 15'te olmak üzere statik su sızdırmazlık testi 5 kez tekrar edilmiştir (Çizelge 5.4). Statik su sızdırmazlık testi standart gereği numunelere yalnızca pozitif yönde uygulanmıştır.

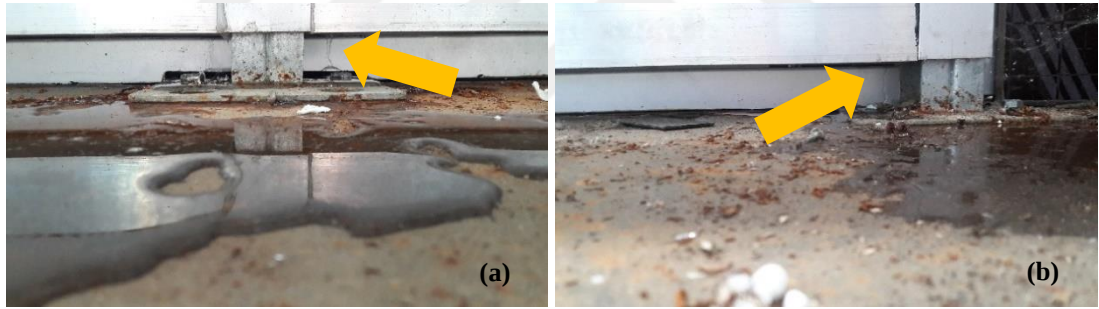
**Çizelge 5.4** Su sızdırmazlık testleri ve adımları.

| Adım sayısı | Su sızdırmazlık testi    | Test yöntemi içerisindeki yeri                              |
|-------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Adım 2      | 1. su sızdırmazlık testi | İlk performansın belirlenmesi                               |
| Adım 5      | 2. su sızdırmazlık testi | Birinci ısı döngü sonrası performansın belirlenmesi         |
| Adım 8      | 3. su sızdırmazlık testi | Rüzgâr dayanım testi sonrasında performansın belirlenmesi   |
| Adım 11     | 4. su sızdırmazlık testi | İkinci ısı döngü testi sonrasında performansın belirlenmesi |
| Adım 15     | 5. su sızdırmazlık testi | Deprem dayanımı testi sonrasında performansın belirlenmesi  |

Statik su sızdırmazlık testi kapsamında herhangi bir sayısal veri elde edilememektedir. Bu nedenle sistemlerin su sızdırmazlık performansları test sırasında ve sonrasında yapılan gözlem sonuçlarına bağlı olarak değerlendirilmektedir. Yaklaşık bir saat süren statik su sızdırmazlık testi boyunca numunelerin dış yüzeyi sabit debide püskürtülen suyla birlikte belirli aralıklarla değişen basınç değerlerine maruz bırakılmıştır. Numuneler test süresince kabin içerisinde yer alan gözlemci tarafından kontrol edilerek iç ortama su girişinin olduğu noktalar ve basınç değerleri düzenli olarak kayıt altına alınmıştır.

Çubuk sistem, ilk performansının belirlenmesi için Adım 2'de uygulanan su sızdırmazlık testini başarıyla tamamlamıştır. Test sırasında ve sonrasında cephe

yüzeyinde ve birleşim noktalarında herhangi bir su girişi gözlenmemiştir. Birinci ısı döngü testi sonrasında uygulanan su sızdırmazlık testi sırasında (Adım 5) cephe yüzeyinde herhangi bir su girişi görülmezken, 50 Pa altında orta aks üzerinde yer alan ankrajın olduğu bölgeden içeriye su girişi tespit edilmiştir. Aynı testin sonunda 600 Pa altında sağ ankrajın olduğu bölgede de su girişi olduğu görülmüştür. Ankrajın arkasından su girişinin olması nedeniyle orta aksta yer alan baskı profili sökülerek sisteme bakım yapılmıştır. Bakım sonrasında sisteme 2400 Pa değerinde rüzgâr dayanım testi uygulanmıştır. Sistemin rüzgâr dayanım testi sonrasında performansındaki değişimin belirlenmesi için Adım 8’de yeniden su sızdırmazlık testi uygulanmıştır. Test boyunca numune yüzeyinde herhangi bir su girişi görülmezken, 300 Pa’da orta ve sağ ankraj üzerinde, 600 Pa’da sol ankraj üzerinde su girişi görülmüştür. İkinci ısı döngü testi ve deprem testi sonrasında uygulanan su sızdırmazlık testlerinin (Adım 11 ve Adım 15) ilk 15 dakikası boyunca su girişi görülmezken, 50 Pa basınç değeri altında orta ankrajın olduğu bölgeden yeniden su girişi tespit edilmiştir (Çizelge 5.4, Şekil 5.14a ve Şekil 5.14b).



**Şekil 5.14** Çubuk sistemde su girişi 50 Pa altında (a), 600 Pa altında (b).

Panel sistem test yöntemi kapsamında Adım 2’de uygulanan birinci, Adım 5’te uygulanan ikinci ve Adım 8’de uygulanan statik su sızdırmazlık testlerini başarıyla tamamlamıştır. İkinci ısı döngü testi sonrasında uygulanan su sızdırmazlık testinin sonunda (Adım 11) panellerin birleşim noktasında birkaç damla su girişi tespit edilmiştir. Deprem dayanım testi sonrasında uygulanan su sızdırmazlık testinde (Adım 15) aynı birleşim noktasında 150 Pa basınç altında su girişi kaydedilmiştir (Çizelge 5.5, Şekil 5.15).



**Şekil 5.15** Panel sistemde su girişi.

**Çizelge 5.5** Çubuk ve panel sistemde su girişinin görüldüğü basınç değerleri.

| Test adımları | Test numarası            | Çubuk sistem (Pa) | Panel sistem (Pa) |
|---------------|--------------------------|-------------------|-------------------|
| Adım 2        | 1. Su sızdırmazlık testi | Gözlenmedi        | Gözlenmedi        |
| Adım 5        | 2. Su sızdırmazlık testi | 50 & 600*         | Gözlenmedi        |
| Adım 8        | 3. Su sızdırmazlık testi | 300 & 600*        | Gözlenmedi        |
| Adım 11       | 4. Su sızdırmazlık testi | 50*               | 600**             |
| Adım 15       | 5. Su sızdırmazlık testi | 50*               | 150**             |

\* Belirtilen basınç değerlerinde ankrajların olduğu bölgede su girişi görülmüştür.

\*\* Belirtilen basınç değerlerinde panellerin birleşim noktasında su girişi görülmüştür.

Genel olarak değerlendirildiğinde, çubuk sistemin test boyunca yüzeyinde herhangi bir su girişi görülmemiştir. Bununla birlikte, sistemde birinci ısıl döngü testi sonrasında (Adım 5) ankraj noktalarında su girişi tespit edilmiştir. Bu noktalarda su girişinin birçok nedeni olabilirken, test sonunda yapılan incelemede bunun 3 nedene bağlı olabileceği sonucuna varılmıştır: Birinci neden sistemin birinci ısıl döngü testi boyunca şiddetli sıcaklık değişimine bağlı olarak meydana gelen ısıl hareketlerin cephe performansının üzerinde oluşturduğu olumsuz etkilerdir. Ankraj noktası olarak sözü edilen bölgeler cephe sisteminin bina taşıyıcı sistemiyle birleştiği noktalardır. Yapılan testlerin sonuçları değerlendirildiğinde cephe yüzeyindeki birleşimler kadar cephe-bina birleşimlerinin de su sızdırmazlık performansı için önemli olduğu görülmüştür. Sistemlerde su sızıntısına neden olan bir diğer konuda işçilik kaynaklı ortaya çıkan problemlerdir. Giydirme cephe sistemleri, yoğunlaşma kanalları üzerinden biriken suyu tahliye edebilecek özellikte sistemlerdir. Ancak, yoğunlaşma kanallarının tahliye noktalarında yapılan işçilik hataları suyun düzgün biçimde cepheden atılamamasına neden olmaktadır. Bu durumda kanallarda biriken suyun iç ortama

nüfuz edebileceği görülmüştür. Üçüncü neden ise beklenen bir durum olan sistemin yaşlanmasıdır. Sistemde su girişinin görüldüğü basınç değerleri incelendiğinde özellikle son testlerde düşük basınç değerleri altında su girişi olduğu tespit edilmiştir. Bu durum uygulanan performans testlerine bağlı olarak sistemin gitgide yorulduğu/yaşlandığını kanıtlamaktadır.

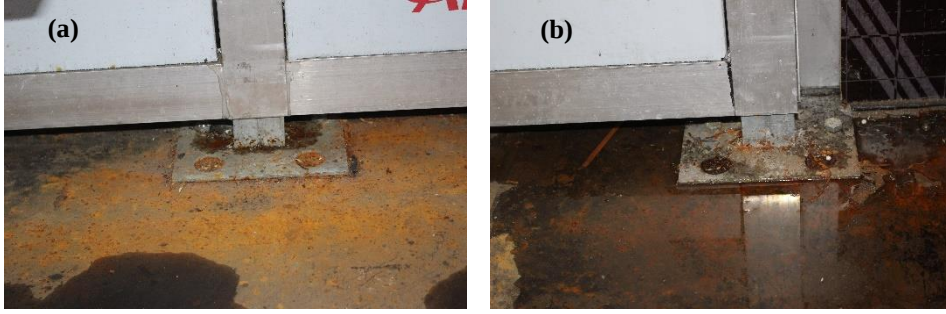
Panel sistemin su sızdırmazlık performansında ikinci ısı döngüsü sonrasında düşüş olduğu görülmüştür. Test sonunda yapılan incelemede panel sistemde kabin yalıtımı ve işçilik kaynaklı nedenlerle düşey yoğunlaşma/su atım kanalına giren suyun test sırasında uygulanan basınçla birlikte içeriye nüfuz ettiği belirlenmiştir. İncelemede, birleşim noktasında kullanılan şişen bantta ıslaklığın meydana geldiği, ancak yatay su atım kanallarının kuru olduğu görülmüştür. Birleşim noktasında meydana gelen su girişinin doğrudan detaylandırma kaynaklı olmadığı sonucuna varılmıştır. Düşey kanallarda biriken suyun düzgün biçimde atılamamasının ve panelin bir kez sökülüp yeniden takılmasının içeri suyun girişinde etkili olduğu düşünülmektedir. Birleşim noktalarında panelin söküm sürecinde kalan silikon, vb. atıkların sistemin su sızdırmazlık performansını olumsuz etkileyen nedenlerden bir diğeri olabileceği öngörülmektedir.

İki sistemin su sızdırmazlık performansları değerlendirildiğinde çubuk sistemin birinci, panel sistemin ise ikinci ısı döngüsü testi sonrasında performans kaybına uğramasına bağlı olarak panel sistemin su sızdırmazlık performansının çubuk sisteme göre daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Sistemlerde su girişlerinin temel nedenlerinin işçilik kaynaklı olduğu ve bu durumun ısı döngüsü testlerinde uygulanan yüksek sıcaklık değişimlerine bağlı olarak sistemlerde su girişine neden olduğu belirlenmiştir.

#### **5.1.2.2 Dinamik su sızdırmazlık**

Dinamik su sızdırmazlık testi boyunca sistemler sabit debide püskürtülen su, sırasıyla değişen yüksek ve düşük pozitif basınç değerleriyle birlikte şiddetli hava akımına maruz bırakılmıştır. Bu test kapsamında rüzgârla itilen yağmur suyuna karşı sistemin sızdırmazlık performansı değerlendirilmiştir. Test sırasında (4.1) bağıntısına göre yapılan hesaplamaya bağlı olarak sistemler beşer saniye arayla 900 Pa ( $P_{ençok}$ ) ve 300 Pa ( $P_{enaz}$ )'ya maruz bırakılmıştır. Deney prosedürü kapsamında yalnızca bir defaya mahsus uygulanan dinamik su sızdırmazlık testinde statik su sızdırmazlık testinde

olduğu gibi çubuk sistemde ankraj noktalarında, panel sistemde ise panel birleşim noktasında su girişi tespit edilmiştir (Şekil 5.16a, Şekil 5.16b ve Şekil 5.17).



**Şekil 5.16** Çubuk sistemde ankraj bölgesinde su orta aks girişi (a), sağ aks (b).



**Şekil 5.17** Panel birleşiminde su girişi.

### 5.1.3 Rüzgâr dayanım testi

Deney prosedürü kapsamında rüzgâr dayanım testi tasarım yükü altında (serviceability) Adım 6'da ve güvenlik (safety) yükü altında Adım 16'da olmak üzere iki kez uygulanmıştır. Tasarım yükü altında sistem 2400 Pa basınç altında pozitif ve negatif yönde test edilerek sistemlerin ön yüz yerdeğiştirme miktarları belirlenmiştir. Son test olarak güvenlik yükü altında sistemler tasarım yükünün %150'si olan 3600 Pa basınca pozitif ve negatif yönde maruz bırakılarak sistemlerin ağırlaştırılmış yük altındaki durumu değerlendirilmiştir.

Tasarım yükü altında sistemlerin ölçülen sehim miktarlarının 15.00 mm'yi geçmemesi gerekmektedir. Yapılan test sırasında çubuk ve panel sistemin ölçülen sehim miktarları Çizelge 5.6'da verilmiştir. Çubuk sistemin en yüksek basınç değeri altında ön yüz yerdeğiştirme miktarı pozitif yönde 4.40 mm, negatif yönde ise 3.01 mm'dir. Panel sistemin 2400 Pa altındaki ön yüz yerdeğiştirme miktarı pozitif yönde 1.36 mm iken negatif yönde 3.55 mm olarak ölçülmüştür. Çubuk ve panel sistemde ölçülen sehim miktarı dikkate alındığında tasarım yükü altında rüzgâr dayanım testini başarıyla

geçmiştir. Bu testlerin uygulaması sırasında ve sonrasında yapılan gözlem sonucunda sistemlerde herhangi bir kalıcı hasara rastlanmamıştır.

Sistemlerin bağlantı şekillerine bağlı olarak tasarım yükü altındaki sehim miktarları değişiklik gösterebilmektedir. Çubuk sistemde düşey profiller alt kısımda yer alan ankrajlara oturtulduktan sonra kirişlere bağlanmıştır. Bu nedenle sistemin ön yüz yerdeğiştirme miktarının beklenenden düşük olduğu görülmüştür. Panel sistem ise kabinin alt kısmına yerleştirilen kılavuz profili üzerine yerleştirildikten sonra kirişlere bağlanmıştır. Ardından paneller üst üste yerleştirilerek sistemin montajı yapılmıştır. Panel sistemin ölçülen sehim miktarının yüksek olmasına karşın kalıcı sehim miktarları düşük çıkmıştır. Panel sistemin çubuk sisteme göre hareketlere karşı uyum gösterme yeteneğinin daha iyi olduğunu kanıtlamaktadır (Çizelge 5.6).

**Çizelge 5.6** Çubuk ve panel sistemin tasarım yükü altında ölçülen sehim miktarları.

| Numune | Yön     | Tasarım yükü (2400 Pa)          | Tasarım yükü (2400 Pa) | Sınır değer |
|--------|---------|---------------------------------|------------------------|-------------|
|        |         | altında ölçülen en yüksek sehim | altında ölçülen sehim  |             |
| S      | Pozitif | 7.54                            | 4.40                   | 15.00 mm    |
|        | Negatif | 6.47                            | 3.01                   | 15.00 mm    |
| P      | Pozitif | 15.71                           | 1.36                   | 15.00 mm    |
|        | Negatif | 9.38                            | 3.55                   | 15.00 mm    |

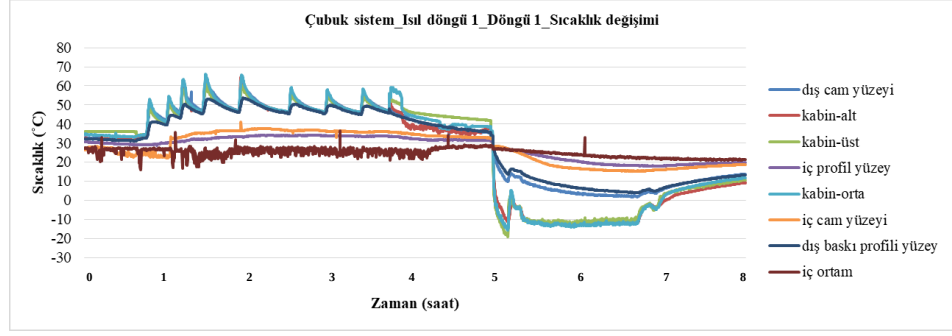
Deney prosedürü sonunda pozitif ve negatif yönde uygulanan 3600 Pa'lık güvenlik yükü testi sırasında ve sonrasında yapılan gözlem sonucunda çubuk ve panel sistemde ve sistem bileşenlerinde (taşıyıcı bileşenler, cam üniteleri, vb) herhangi bir hasar meydana gelmemiştir (Şekil 4.9).

#### 5.1.4 Deprem dayanım testi

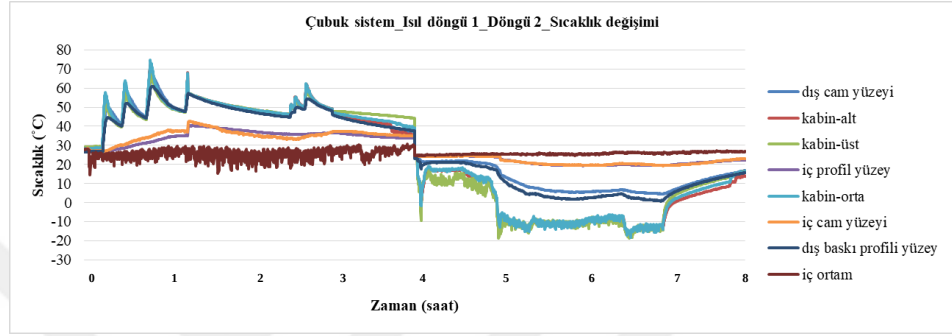
Önerilen test yöntemi kapsamında çubuk ve panel sistem numunelerine deprem dayanım testi Adım 13'te bir kez uygulanmıştır. Deprem dayanımı testinde yalnızca yatay yerdeğiştirmeler uygulanmıştır. Sistemler kat yüksekliğinin 0.010'u kadar (27.5 mm) yatay yerdeğiştirme etkisinde bırakılmıştır. Deprem dayanım testi 3 döngü halinde gerçekleştirilmektedir. Yatay yönde toplamda 55 mm hareket ettirilen çubuk ve panel sistemde ve bileşenlerinde herhangi bir kalıcı hasar gözlenmemiştir. Deprem dayanım testi sonrasında hava geçirgenlik ve statik su sızdırmazlık testleri tekrar edilerek sistemlerin performansındaki değişim ayrıca değerlendirilmiştir.

### 5.1.5 Isıl döngü testi

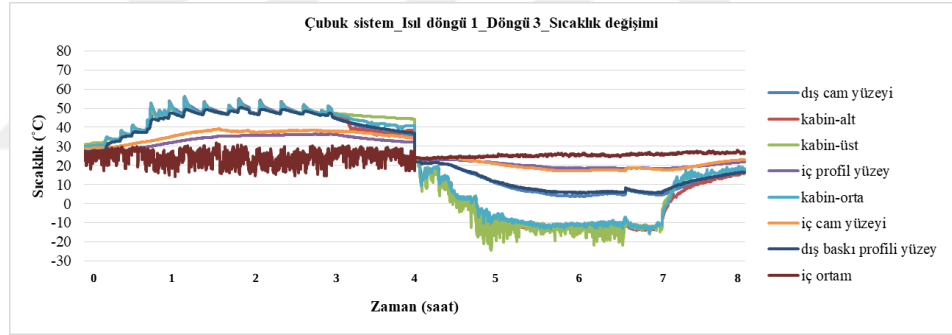
Isıl döngü testi çubuk ve panel sistem numunelerine Adım 3 ve Adım 9’da olmak üzere iki aşamada uygulanmıştır. Sistemlerin performansındaki değişim, uygulanan ısıl döngü testleriyle sistemin aşamalı olarak yaşlandırılmasına bağlı olarak değerlendirilmiştir. Isıl döngü testi sonrasında yapılan gözlem ile hava geçirgenlik ve su sızdırmazlık testi sonuçlarına bağlı olarak sistemlerin performansındaki değişim yorumlanmıştır. Her biri üç döngüden oluşan ısıl döngü testi boyunca ortam sıcaklıkları ve yüzey sıcaklıkları 10 saniye arayla, iç ortam nemi 10 dakika arayla ölçülmüştür. Çubuk sisteme uygulanan birinci ve ikinci ısıl döngü testlerindeki sıcaklık değişimleri Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.22, Şekil 5.23, Şekil 5.24’te, nem değişimleri Şekil 5.21 ve Şekil 5.25’te belirtilmiştir. Panel sisteme uygulanan birinci ve ikinci ısıl döngü testine ait sıcaklık değişimleri Şekil 5.27, Şekil 5.28, Şekil 5.29, Şekil 5.31, Şekil 5.32, Şekil 5.33’te, nem değişimleri ise Şekil 5.30 ve Şekil 5.34’te gösterilmiştir.



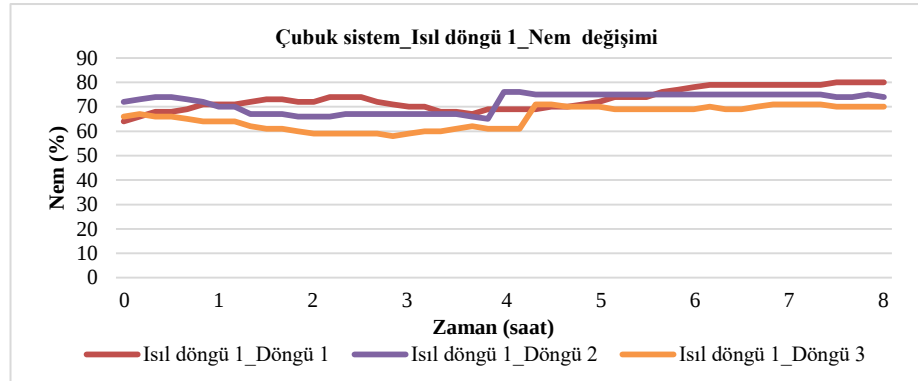
Şekil 5.18 Çubuk sistem birinci ısıl döngü testi 1. döngü sıcaklık değişim grafiği.



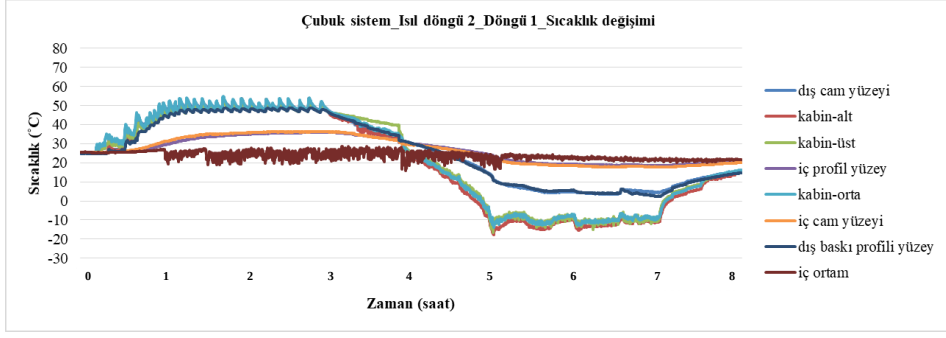
Şekil 5.19 Çubuk sistem birinci ısıl döngü testi 2. döngü sıcaklık değişim grafiği.



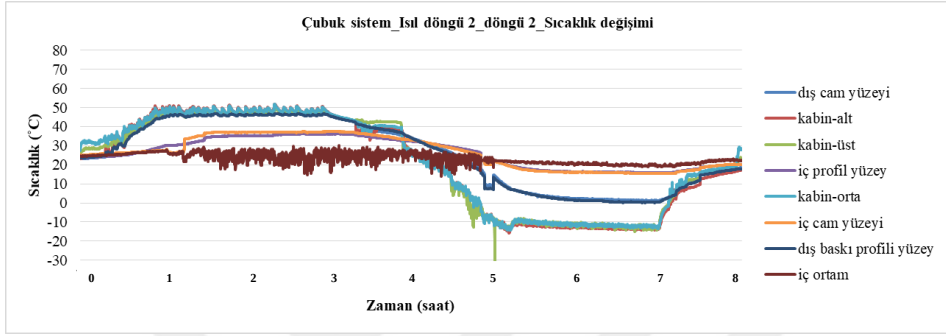
Şekil 5.20 Çubuk sistem birinci ısıl döngü testi 3. döngü sıcaklık değişim grafiği.



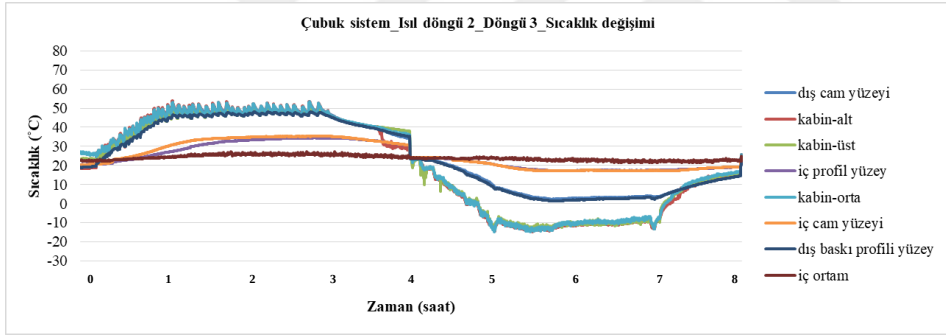
Şekil 5.21 Çubuk sistem birinci ısıl döngü testi nem değişim grafiği.



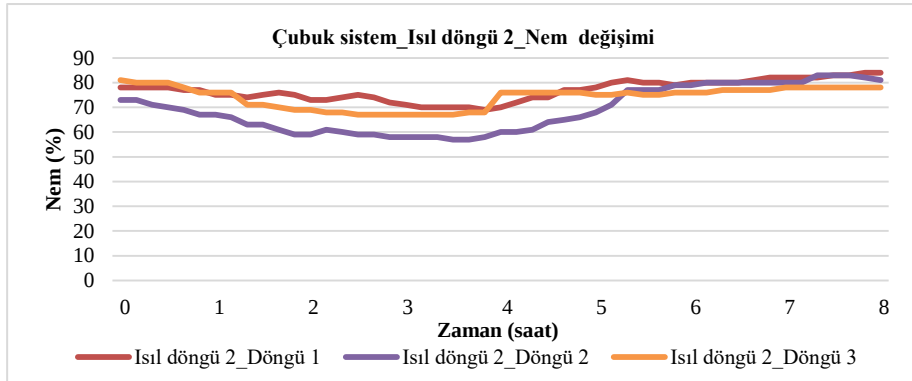
Şekil 5.22 Çubuk sistem ikinci ısıl döngü testi 1. döngü sıcaklık değişim grafiği.



Şekil 5.23 Çubuk sistem ikinci ısıl döngü testi 2. döngü sıcaklık değişim grafiği.



Şekil 5.24 Çubuk sistem ikinci ısıl döngü testi 3. döngü sıcaklık değişim grafiği.



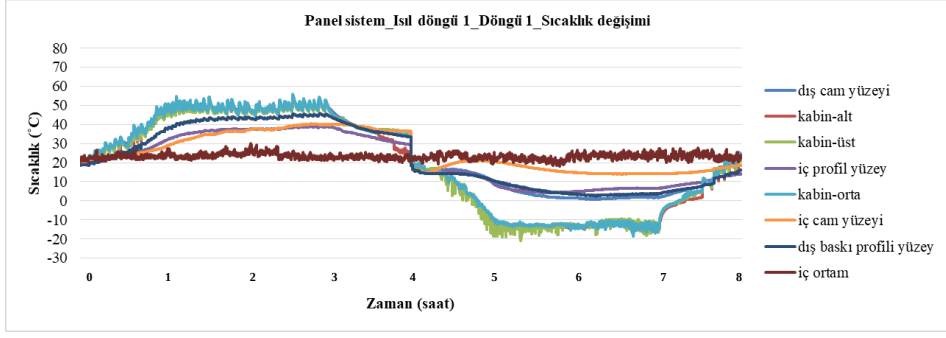
Şekil 5.25 Çubuk sistem ikinci ısıl döngü testi nem değişim grafiği.

Birinci (Adım 3) ve ikinci (Adım 9) ısıl döngü testi boyunca gerçekleştirilen her bir döngünün ardından yapılan gözlem sonucunda çubuk sistemde herhangi bir kalıcı hasara rastlanmamıştır. Ancak, gerçekleşen döngülerin her birinin sonunda cephe sisteminin cam ünitelerinin ve taşıyıcı profillerin iç yüzeyinde yoğuşma meydana gelmiştir (Şekil 5.26a, Şekil 5.26b ve Şekil 5.26c).

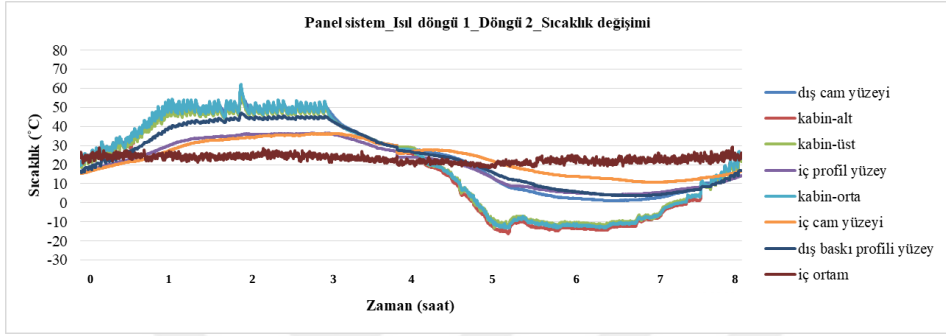


**Şekil 5.26** Çubuk sistemde ısıl döngü testinde yoğuşma oluşumu (a), cam ünitesinde yoğuşma (b), düşey profilde yoğuşma (c).

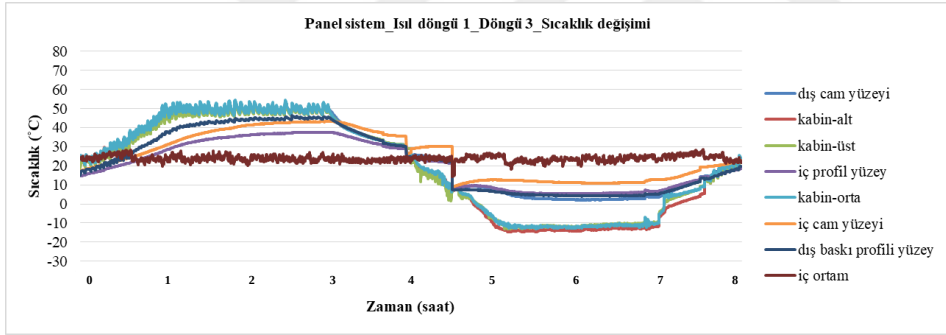
Sistemlerin performansındaki ısıl döngü test standardında belirtildiği gibi test öncesinde ve sonrasında gerçekleştirilen hava geçirgenlik ve su sızdırmazlık testlerinin sonuçlarına göre değerlendirilmiştir. Birinci ısıl döngü testi sonrasında çubuk sistemin hava geçirgenlik değerinde artış meydana gelmiştir (Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21). Numunenin hava geçirgenlik değeri  $1.5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ 'ın altında kalarak testi başarıyla geçse de birinci ısıl döngü testi öncesinde ve sonrasında uygulanan hava geçirgenlik testleri arasındaki fark değerinin negatif yönde  $0.30 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ 'ı aşması nedeniyle sistem performansında kayıp yaşandığı tespit edilmiştir. Benzer biçimde birinci ısıl döngü testi sonrasında sistemin bina-cephe birleşiminde 50 Pa ve 600 Pa'da su girişi görülmüştür. Hava geçirimsizlik ve su sızdırmazlık performansları değerlendirildiğinde birinci ısıl döngü testinin sistemin performansında kayıp yaşanmasına neden olduğu belirlenmiştir. İkinci ısıl döngü testi ise sistemin rüzgâr yükü gibi şiddetli çevresel yüklere maruz kalmasının ardından uygulanmıştır (Şekil 5.22, Şekil 5.23, Şekil 5.24, Şekil 5.25). İkinci ısıl döngü testi sonrasında çubuk sistemin hava geçirgenlik değerinde bir önceki teste göre düşüş kaydedilmiştir. Tasarım yükü altında oluşan hareketlerin ısıl hareketler ile dengelenmesi sonucunda hava geçirgenlik değerinin düştüğü öngörülmektedir. İkinci ısıl döngü testi sonrasında da sistem aynı noktalardan su almaya devam etmiştir.



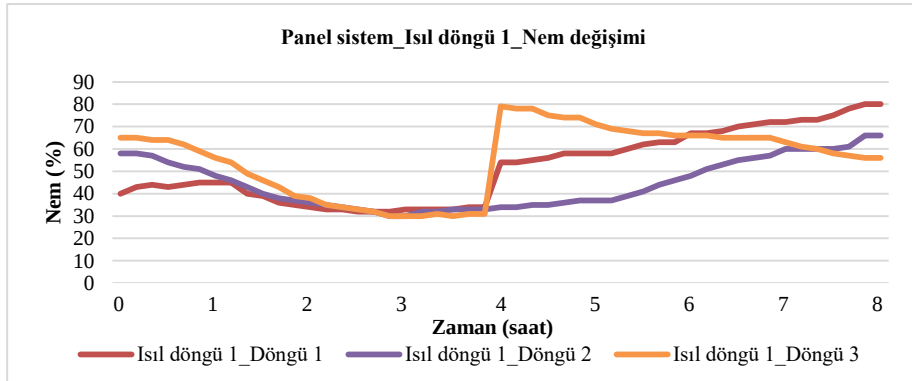
Şekil 5.27 Panel sistem birinci ısıl döngü testi 1. döngü sıcaklık değişim grafiği.



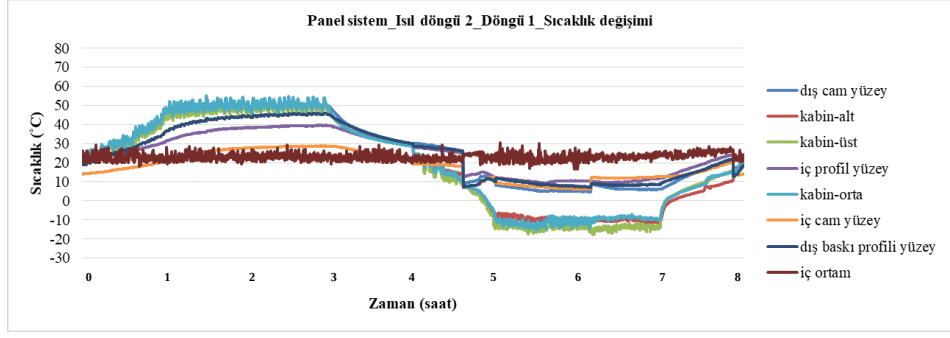
Şekil 5.28 Panel sistem birinci ısıl döngü testi 2. döngü sıcaklık değişim grafiği.



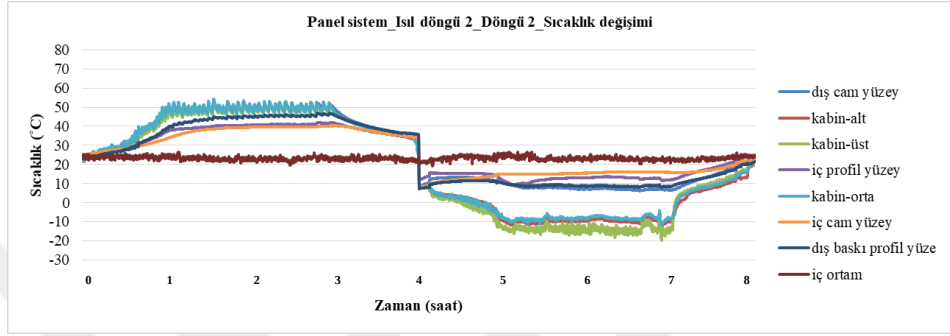
Şekil 5.29 Panel sistem birinci ısıl döngü testi 3. döngü sıcaklık değişim grafiği.



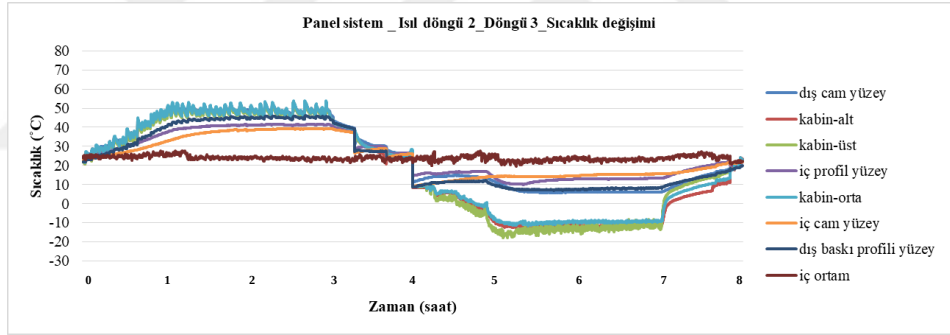
Şekil 5.30 Panel sistem birinci ısıl döngü testi nem değişim grafiği.



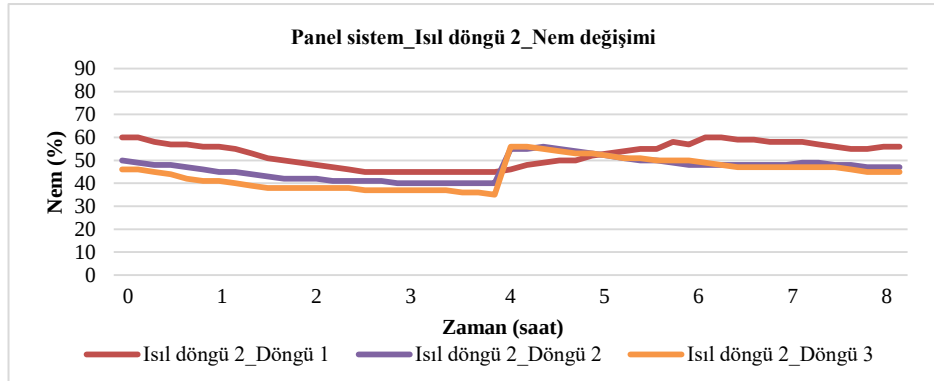
Şekil 5.31 Panel sistem ikinci ısıl döngü testi 1. döngü sıcaklık değişim grafiği.



Şekil 5.32 Panel sistem ikinci ısıl döngü testi 2. döngü sıcaklık değişim grafiği.

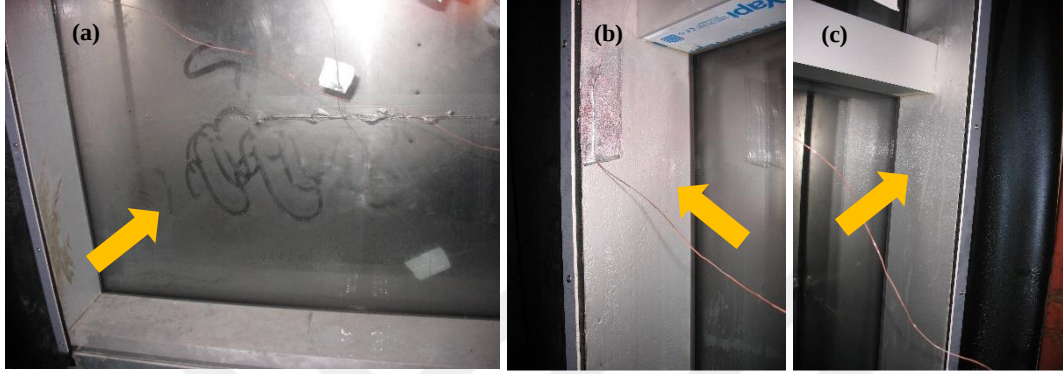


Şekil 5.33 Panel sistem ikinci ısıl döngü testi 3. döngü sıcaklık değişim grafiği.



Şekil 5.34 Panel sistem ikinci ısıl döngü testi nem değişim grafiği.

Test kapsamında uygulanan birinci (Adım 3) ve ikinci (Adım 9) ısıl döngü testlerinin sonucunda panel sistemde yapısal bir hasar meydana gelmemiştir. Panel sistemde cam ünitelerinin ve taşıyıcı profillerin iç yüzeyinde gerçekleştirilen altı döngünün dördünde yoğuşma meydana gelmiştir (Şekil 5.35a, Şekil 5.35b ve Şekil 5.35c). Sistemde meydana gelen yoğuşmanın yalıtım örtüsü-cephe birleşiminde biriken su nedeniyle kaynaklandığı öngörülmektedir.



**Şekil 5.35** Panel sistemde ısıl döngü testinde yoğuşma oluşumu, cam ünitesinde yoğuşma (a), Düşey profilde yoğuşma (b) ve (c).

Panel sistemde birinci ısıl döngü testi öncesinde ve sonrasında ölçülen hava geçirgenlik değerlerine göre sistemin performansında büyük bir değişim yaşanmadığı görülmüştür. Birinci ısıl döngü testi sonrasında uygulanan su sızdırmazlık testinde sistemde su girişine rastlanılmamıştır (Şekil 5.27, Şekil 5.28, Şekil 5.29 ve Şekil 5.30). İkinci ısıl döngü testi sonrasında sistemin hava geçirgenlik değerleri incelendiğinde, tasarım yükü altında en düşük hava geçirimsizlik performansını gösteren panel sistemin uygulanan test sonrasında hava geçirgenlik değerinde iyileşme görülmüştür. Test sırasında oluşan ısı hareketlerine bağlı olarak sistemin oturmasıyla birlikte sistemin hava geçirimsizlik performansını iyileştiği düşünülmektedir. İkinci ısıl döngü testi sonrasında uygulanan su sızdırmazlık testinin sonunda panellerin birleşim noktasından birkaç damla su girişi tespit edilmiştir (Şekil 5.31, Şekil 5.32, Şekil 5.33 ve Şekil 5.34).

Yapılan testlerin sonuçları değerlendirildiğinde çubuk sistemin birinci ısıl döngü testi sonrasında hava geçirimsizlik ve su sızdırmazlık performanslarında kayıp meydana geldiği, panel sistemin ise ikinci ısı döngü testi sonrasında yalnızca su sızdırmazlık performansında düşüş olduğu görülmüştür. Sistemlere iki test boyunca toplamda altı döngü uygulanmıştır. Çubuk sistemde her döngünün sonunda yoğuşma tespit edilirken, panel sistemde altı döngünün dördünde yoğuşma meydana gelmiştir. Bu nedenle aynı koşullar altında çubuk sistemin yoğuşma riskinin panel sisteme göre daha

yüksek olduğu anlaşılmaktadır. İki sistemin yaşlandırma testine bağlı olarak performansları değerlendirildiğinde panel sistemin bir miktar daha dayanıklı olduğu sonucuna varılmıştır. Panel sistemin fabrika ortamında paneller halinde üretilmesine bağlı olarak kendi içinde kapalı bir sistem olması, daha az birleşim noktasına sahip olması ve daha az şantiye işçiliği gerektirmesi gibi özellikleri sistemin daha iyi performans göstermesinde etkili olduğu düşünülmektedir.

## 5.2 Deneysel Çalışmanın Özeti

Deneysel çalışma kapsamında çubuk ve panel sistem numunelerinin performanslarının kendi içinde değerlendirilmesinin ardından sistemlerin yaşam dönemi performansları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Öncelikle sistemlerin ilk performansları Adım 1 ve Adım 2’de gerçekleştirilen hava geçirgenlik ve su sızdırmazlık testlerinin sonuçlarına bağlı olarak belirlenmiştir. Ardından sistemler ısı döngü ve rüzgâr dayanımı, deprem dayanımı, dinamik su sızdırmazlık gibi performans testlerine maruz bırakılarak yaşam dönemi performansları değerlendirilmiştir. Sistemlerin yaşam dönemi performanslarının değerlendirilmesinde performans testlerinin öncesinde ve sonrasında uygulanan hava geçirgenlik ve su sızdırmazlık testleri, ön yüz yerdeğiştirme miktarları ve gözlem sonuçları dikkate alınmıştır.

Sistemlerin ilk performansının belirlenmesi için Adım 1’de 600 Pa altında uygulanan hava geçirgenlik testinde çubuk sistemin hava geçirgenlik değeri pozitif ve negatif yönde sırasıyla  $0.83 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  ve  $0.71 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  iken panel sistemin pozitif yönde  $0.32 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  negatif yönde ise  $0.46 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  olarak ölçülmüştür. Her iki sistemde Adım 2’de uygulanan su sızdırmazlık testini başarıyla tamamlamıştır. İlk testlerin sonuçlarına göre iki sistemin de hava geçirgenlik testini başarıyla geçmesine karşın, aynı basınç altında panel sistemin ilk performansının çubuk sistemden daha iyi olduğu görülmüştür. Çubuk sistemin birçok bileşenden oluşması ve bu bileşenlerin şantiye koşulların altında bir araya getirilmesi nedeniyle sistemin performansında beklenmedik etkiler görülebilmektedir. İşçilik kalitesi ve bileşen sayısının özellikle çubuk sistemde arzu edilen performansın sergilenmesinde etkili bir role sahip olduğu görülmüştür.

İkinci değerlendirme aşamasında, sistemler yaşlandırma süreci için İstanbul’un en düşük ve en yüksek sıcaklıklarının uygulandığı ısı döngü testine maruz bırakılmıştır. ısı döngü testinin yanı sıra rüzgâr dayanım testi, deprem testi ve dinamik su

sızdırmazlık testi gibi farklı performans testleri, cephe sistemleri üzerinde çeşitli çevresel faktörlerin etkilerini belirlemek ve cephe sistemlerinin yaşam dönemi performanslarını karşılaştırmalı olarak değerlendirmek için sistemlere uygulanmıştır.

Gerçek ölçülerdeki numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlara göre çubuk ve panel sistem uygulanan beş adet hava geçirgenlik testinde  $1.5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  sınır değerinin altında kalarak testleri başarıyla geçmiştir. Beş hava geçirgenlik testinin sonuçları değerlendirildiğinde iki sistemin 600 Pa basınç değeri altında ölçülen hava geçirgenlik değerleri arasında farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Test yöntemi boyunca çubuk sistemin hava geçirgenlik değerlerinin panel sistemden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Hava geçirgenlik değerleri arasındaki farka göre yapılan ikinci performans değerlendirmesinde, çubuk sistemin negatif yönde birinci (Adım 1) ve ikinci (Adım 4) hava geçirgenlik testleri arasında  $0.30 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  fark değerini aşarak performansında kayıp yaşandığı belirlenmiştir. Sistemlerin su sızdırmazlık performansları değerlendirildiğinde çubuk sistemde birinci ısıl döngü testi sonrasında (Adım 5) su girişi tespit edilirken, panel sistemde ikinci ısıl döngü testi sonrasında (Adım 11) su girişi olduğu belirlenmiştir. Test sonuçlarına göre çubuk sistemin birinci ısıl döngü testi sonrasında performansında kayıp meydana gelmiştir. Panel sistemde deney prosedürü boyunca hava geçirgenlik performansında kayıp görülmezken, ikinci ısı döngü testi sonrasında su sızdırmazlık performansında kayıp yaşanmıştır.

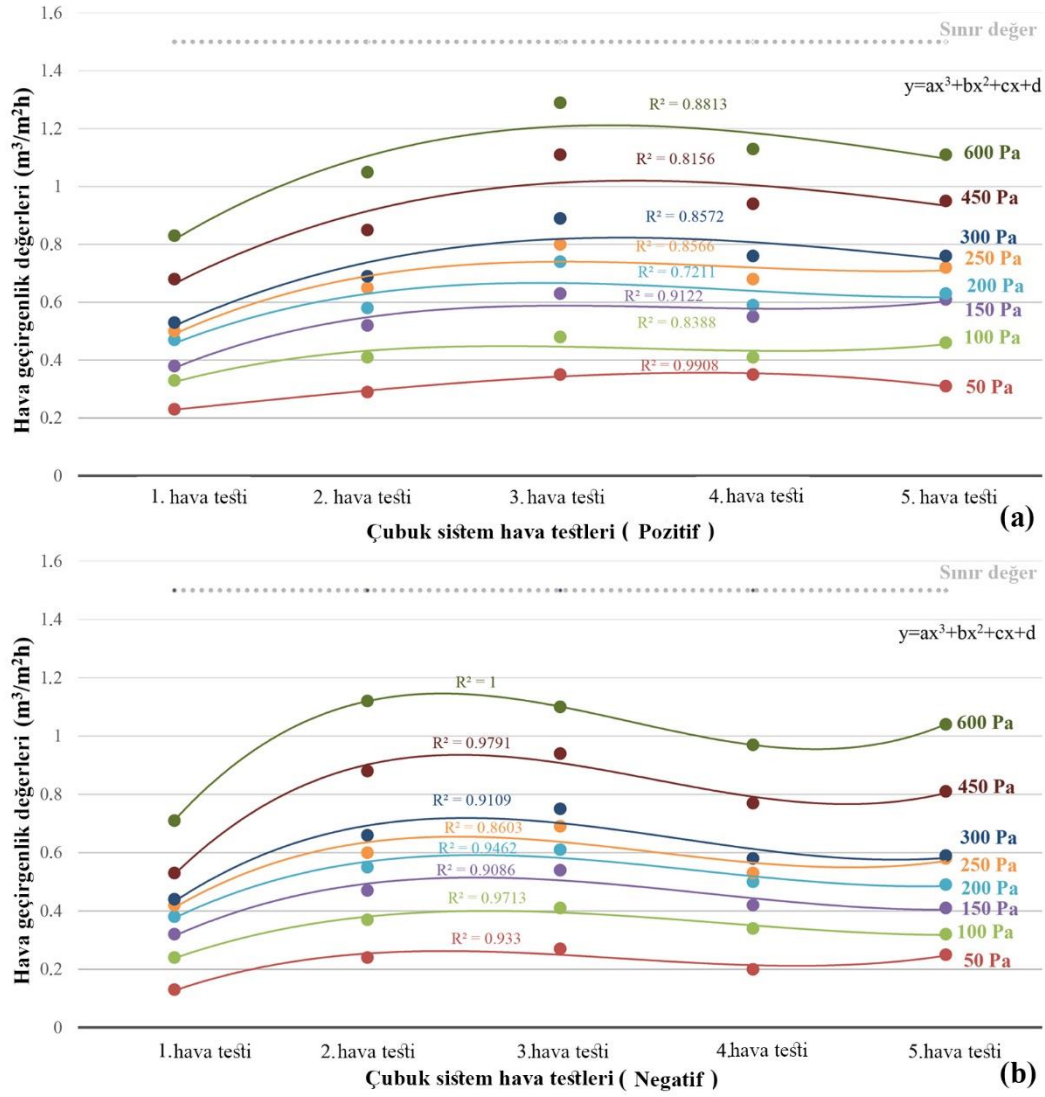
### 5.3 Deneysel Verilerin Eğri Uydurma (Curve Fitting) Yöntemine Göre Değerlendirilmesi

Aynı basınç değeri altında beş hava geçirgenlik testinde ölçülen hava geçirgenlik değerlerine bağlı olarak sistemlerinin yaşam dönemi performanslarının daha iyi değerlendirilmesi için test deney prosedürü boyunca elde edilen veriler eğri uydurma yöntemine (curve fitting method) göre değerlendirilmiş ve oluşturulan grafikler Şekil 5.36, Şekil 5.37, Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8’de gösterilmiştir. Ayrıca her bir hava geçirgenlik testine ait veriler de eğri uydurma yöntemine göre değerlendirilmiş ve grafikleri Şekil 5.38, Şekil 5.39, Çizelge 5.9, Çizelge 5.10’da verilmiştir. Sonuçların en iyi şekilde değerlendirilmesi için polinom denklemler kullanılarak hava geçirgenlik değerlerine bağlı eğriler formül (5.1)’e göre oluşturulmuştur.

$$y=ax^3+bx^2+cx+d \quad (5.1)$$

Verilere bağılı olarak en iyi eğrilerin çizilmesi için  $R^2$  değeri 1'e en yakın olacak şekilde ayarlanmıştır. Grafiklerdeki eğriler takip edildiğinde 600 Pa'dan daha fazla yük uygulanması durumunda çubuk sistemin panel sistemden önce performans kaybına uğrayacağı görülmüştür (Şekil 5.36, Şekil 5.37, Şekil 5.38, Şekil 5.39). Deney prosedürü boyunca çubuk sistemin hava geçirgenlik değerleri panel sistemden fazla ölçülmüştür. Deney prosedürünün sonucunda ölçülen değerler incelendiğinde panel sistemin performansı ilk durumdaki performansına (Adım 1) yakın çıkarken, çubuk sistemin hava geçirgenlik değerlerinin ilk duruma göre yükseldiği görülmektedir. Test sırasında ölçülen hava geçirgenlik değerlerinde meydana gelen beklenmedik dalgalanmalar ısı döngü testi nedeniyle meydana gelen ısı hareketleri (özellikle Adım 9), ölçümlerin alındığı günlerde etkili olan şiddetli rüzgâr, ölçüm cihazlarının yaklaşık %10'luk hata payı oranı gibi nedenlere bağılı olarak görülebilmektedir. Örneğin panel sistemde 250 Pa basınç değeri altında dördüncü hava geçirgenlik testinde (Adım 10) pozitif yönde ve beşinci hava geçirgenlik testinde negatif yönde beklenenin çok üstünde anlık değerler ölçülmüştür. Şekil 5.38 ve Şekil 5.39'da gösterilen değerlendirmede, panel sisteme ait bu iki değer göz ardı edildiğinde sistemlerin  $R^2$  değerlerinin sırasıyla 0.9415 ve 0.9521 olarak en iyi sonucun elde edileceği eğrilere yaklaştığı görülmektedir. Sonuçlar iki sistemin farklı yapım tekniklerine sahip olması nedeniyle (örneğin; çubuk sistemin çok bileşenli olması ve panel sistemin daha bütüncül bir sistem olması), çubuk sistemin şiddetli çevresel koşullara ve ısı hareketlerine karşı daha az uyumlu olduğunu göstermektedir. Testler arasındaki mutlak fark sınır değeri ( $0,30 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ) çubuk sistemde ilk performansa göre yapılan değerlendirmede birinci ve üçüncü, birinci ve dördüncü, birinci ve beşinci hava geçirgenlik testleri arasında aşılmıştır. Ayrıca panel sistemin performansındaki değişim oranının (%) çubuk sistemden fazla olmasına karşın, en yüksek basınç değeri altında panel sistem çubuk sistemden daha iyi bir performans sergilemiştir. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde panel sistemin çubuk sisteme göre daha uyumlu bir sistem olduğu sonucuna varılmıştır.

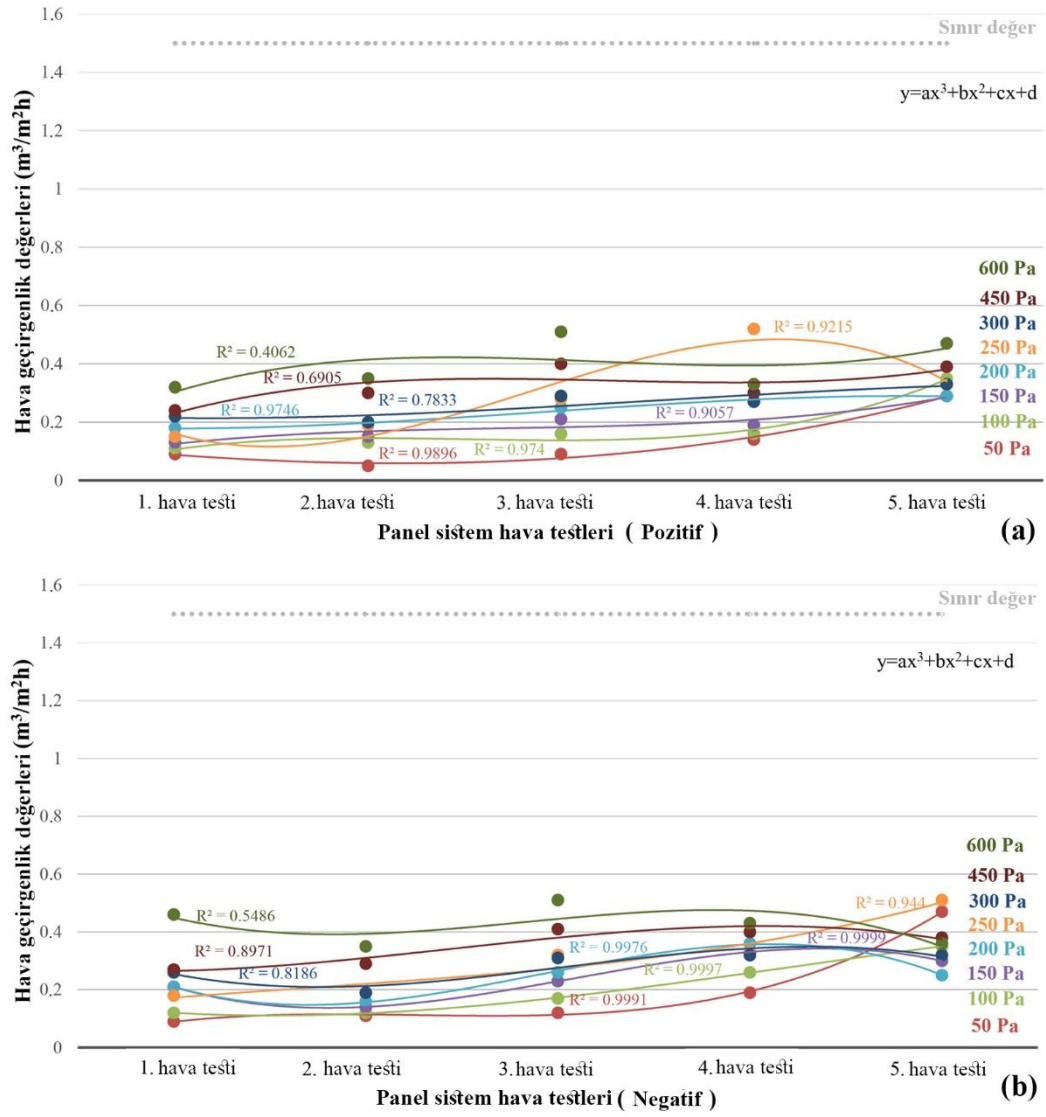
Elde edilen deneysel verilere bağılı olarak eğri uydurma (curve fitting) yöntemiyle oluşturulan grafikler yardımıyla sistemlerin gelecekteki durumlarıyla ilgili tahminlerin yapılması mümkündür.



**Şekil 5.36** Çubuk sistemin her basınç değeri altında 5 hava geçirgenlik testi boyunca ölçülen hava geçirgenlik değerlerinin değişimi pozitif yönde (a), negatif yönde (b).

**Çizelge 5.7** Çubuk sistemde her basınç değeri için oluşturulan eğrilerin formülleri.

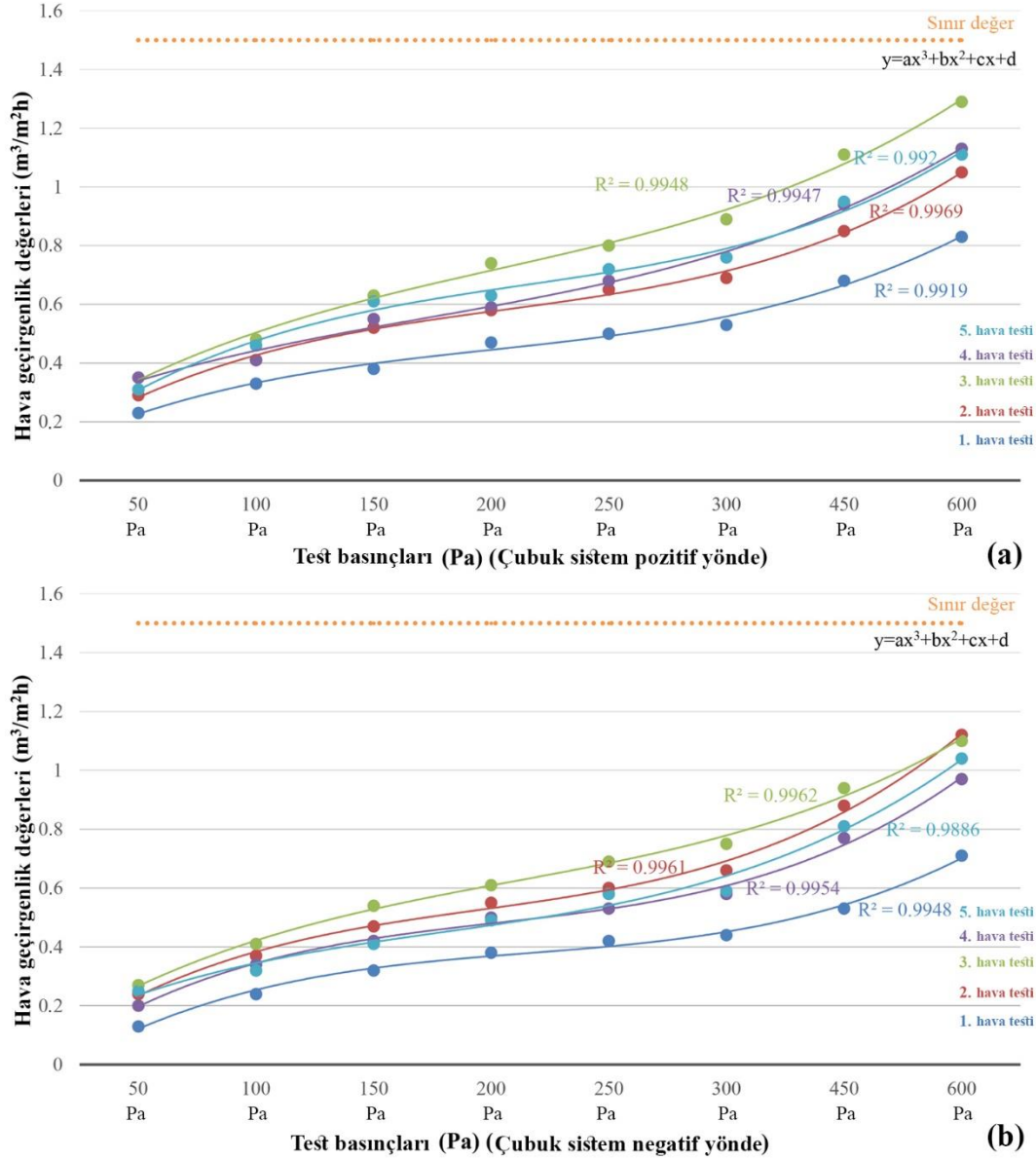
| Test basınçları | Çubuk sistem (pozitif)                         | Çubuk sistem (negatif)                        |
|-----------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 50 Pa           | $y = -0.0033x^3 + 0.0114x^2 + 0.0548x + 0.166$ | $y = 0.0167x^3 - 0.1657x^2 + 0.5076x - 0.232$ |
| 100 Pa          | $y = 0.0108x^3 - 0.1118x^2 + 0.3674x + 0.058$  | $y = 0.0117x^3 - 0.1343x^2 + 0.464x - 0.104$  |
| 150 Pa          | $y = 0.0142x^3 - 0.1525x^2 + 0.5333x - 0.022$  | $y = 0.0158x^3 - 0.1789x^2 + 0.6052x - 0.128$ |
| 200 Pa          | $y = 0.0117x^3 - 0.1371x^2 + 0.5012x + 0.082$  | $y = 0.0175x^3 - 0.1954x^2 + 0.6571x - 0.104$ |
| 250 Pa          | $y = 0.0133x^3 - 0.155x^2 + 0.5717x + 0.06$    | $y = 0.025x^3 - 0.2614x^2 + 0.8336x - 0.186$  |
| 300 Pa          | $y = 0.0075x^3 - 0.1139x^2 + 0.5086x + 0.116$  | $y = 0.0258x^3 - 0.2811x^2 + 0.9231x - 0.236$ |
| 450 Pa          | $y = 0.0075x^3 - 0.1211x^2 + 0.5614x + 0.216$  | $y = 0.0417x^3 - 0.4357x^2 + 1.3926x - 0.474$ |
| 600 Pa          | $y = 0.01x^3 - 0.1529x^2 + 0.6771x + 0.282$    | $y = 0.0525x^3 - 0.5289x^2 + 1.6286x - 0.442$ |



Şekil 5.37 Panel sistemin her basınç değeri altında 5 hava geçirgenlik testi boyunca ölçülen hava geçirgenlik değerlerinin değişimi pozitif yönde (a), negatif yönde (b).

Çizelge 5.8 Panel sistemde her basınç değeri için oluşturulan eğrilerin formülleri.

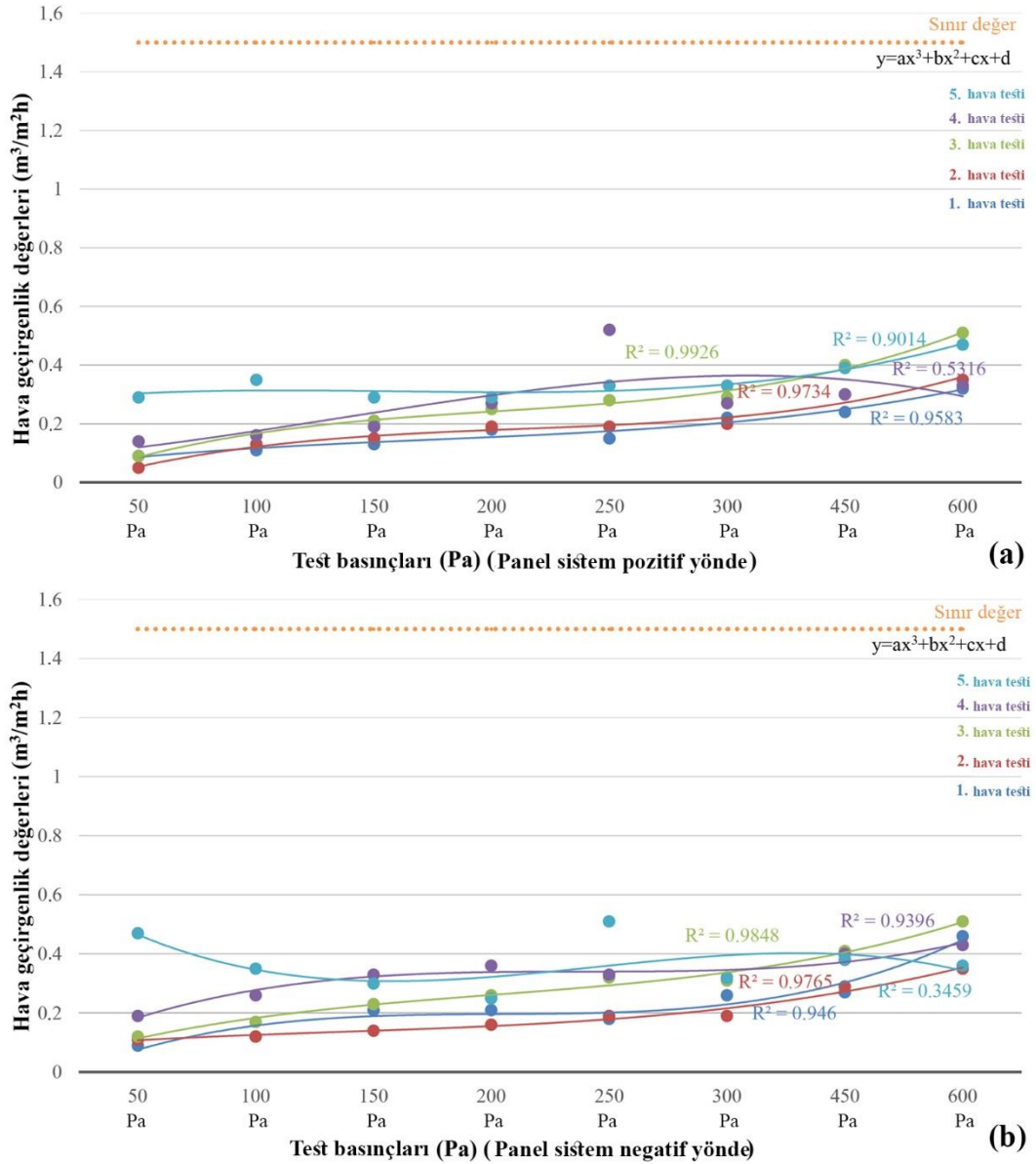
| Test basınçları | Panel sistem (pozitif)                         | Panel sistem (negatif)                         |
|-----------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 50 Pa           | $y = 0.0017x^3 + 0.0129x^2 - 0.0788x + 0.152$  | $y = 0.0183x^3 - 0.1236x^2 + 0.2681x - 0.074$  |
| 100 Pa          | $y = 0.015x^3 - 0.1129x^2 + 0.2721x - 0.068$   | $y = -0.0042x^3 + 0.0532x^2 - 0.1326x + 0.204$ |
| 150 Pa          | $y = 0.0067x^3 - 0.0543x^2 + 0.159x + 0.014$   | $y = -0.0242x^3 + 0.2239x^2 - 0.5719x + 0.582$ |
| 200 Pa          | $y = -0.0042x^3 + 0.0361x^2 - 0.0598x + 0.206$ | $y = -0.03x^3 + 0.2614x^2 - 0.6286x + 0.608$   |
| 250 Pa          | $y = -0.04x^3 + 0.3379x^2 - 0.7421x + 0.604$   | $y = 0.0042x^3 - 0.0218x^2 + 0.084x + 0.106$   |
| 300 Pa          | $y = -0.0025x^3 + 0.0261x^2 - 0.0514x + 0.242$ | $y = -0.0167x^3 + 0.1521x^2 - 0.3812x + 0.5$   |
| 450 Pa          | $y = 0.0125x^3 - 0.1225x^2 + 0.385x - 0.044$   | $y = -0.0092x^3 + 0.0675x^2 - 0.0933x + 0.3$   |
| 600 Pa          | $y = 0.0158x^3 - 0.1511x^2 + 0.4531x - 0.014$  | $y = -0.0217x^3 + 0.1836x^2 - 0.4548x + 0.742$ |



**Şekil 5.38** Çubuk sisteme uygulanan hava geçirgenlik testlerine ait hava geçirgenlik değerlerinin değişimi pozitif yönde (a), negatif yönde (b).

**Çizelge 5.9** Çubuk sistemde iki yönde her bir hava geçirgenlik testine ait formüller.

| Hava geçirgenlik testi | Çubuk sistem (pozitif)                         | Çubuk sistem (negatif)                         |
|------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1. hava testi          | $y = 0.0033x^3 - 0.0396x^2 + 0.2014x + 0.0614$ | $y = 0.0042x^3 - 0.054x^2 + 0.2651x - 0.0936$  |
| 2. hava testi          | $y = 0.0043x^3 - 0.0535x^2 + 0.274x + 0.0579$  | $y = 0.0054x^3 - 0.0629x^2 + 0.3008x - 0.0093$ |
| 3. hava testi          | $y = 0.0036x^3 - 0.0439x^2 + 0.2684x + 0.1136$ | $y = 0.0037x^3 - 0.046x^2 + 0.2672x + 0.0421$  |
| 4. hava testi          | $y = 0.0027x^3 - 0.028x^2 + 0.1677x + 0.1971$  | $y = 0.0051x^3 - 0.0624x^2 + 0.2982x - 0.0436$ |
| 5. hava testi          | $y = 0.0046x^3 - 0.0595x^2 + 0.314x + 0.0486$  | $y = 0.0039x^3 - 0.0421x^2 + 0.2071x + 0.0679$ |



**Şekil 5.39** Panel sisteme uygulanan hava geçirgenlik testlerine ait hava geçirgenlik değerlerinin değişimi pozitif yönde (a), negatif yönde (b).

**Çizelge 5.10** Panel sistemde iki yönde her bir hava geçirgenlik testine ait formüller.

| Hava geçirgenlik testi | Panel sistem (pozitif)                          | Panel sistem (negatif)                        |
|------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1. hava testi          | $y = 0.0011x^3 - 0.0112x^2 + 0.0565x + 0.04$    | $y = 0.004x^3 - 0.0486x^2 + 0.1995x - 0.0793$ |
| 2. hava testi          | $y = 0.0023x^3 - 0.029x^2 + 0.139x - 0.0586$    | $y = 0.001x^3 - 0.008x^2 + 0.0353x + 0.0793$  |
| 3. hava testi          | $y = 0.0028x^3 - 0.0335x^2 + 0.1616x - 0.0443$  | $y = 0.002x^3 - 0.0241x^2 + 0.1279x + 0.0079$ |
| 4. hava testi          | $y = -0.0017x^3 + 0.0138x^2 + 0.0262x + 0.0814$ | $y = 0.0029x^3 - 0.0412x^2 + 0.1973x + 0.025$ |
| 5. hava testi          | $y = 0.0017x^3 - 0.016x^2 + 0.0462x + 0.2714$   | $y = -0.0046x^3 + 0.068x^2 - 0.29x + 0.6921$  |

Çubuk sistemin su sızdırmazlık performansı hava geçirgenlik testinde olduğu gibi birinci ısı döngü testi sonrasında (Adım 5) kayba uğramıştır. Sistemde ankrajların bulunduğu bölgede su girişi meydana gelmiştir. Panel sistemde su girişi ikinci ısı döngü testi sonrasında uygulanan su sızdırmazlık testinde (Adım 11) panellerin

birleşim noktasında görülmüştür. Buna ek olarak, deney prosedürü sırasında uygulanan dinamik su sızdırmazlık testinde çubuk ve panel sistemde aynı noktalarda su girişi görülmeye devam etmiştir. Birinci ısı döngü testi çubuk sistemin hava geçirgenlik ve su sızdırmazlık performansını olumsuz etkilerken, ikinci ısı döngü testi panel sistemin yalnızca su sızdırmazlık performansını olumsuz etkilemiştir. Deney prosedürünün tamamlanmasının ardından söküm sürecinde yapılan incelemede sistemlerdeki su girişinin esas nedeninin zayıf işçilik olduğu belirlenmiştir. Ayrıca her iki sistemde cephe ve test kabini arasındaki yalıtım problemlerine bağlı olarak su girişinin meydana geldiği görülmüştür.

Test sonuçlarına göre cepheye ait yoğunlaşma/su atım kanallarının bölgeye ait yıllık yağış miktarının dikkate alınmasının iyi bir tasarım için etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Buna ek olarak sistemin iyi bir performans göstermesi için kanallardaki tahliye noktalarında iyi bir işçiliğe ihtiyaç duyulmaktadır. İşçilik kaynaklı nedenlere bağlı olarak kanalarda biriken su başta ısı hareketlerin etkisiyle iç ortama doğru su girişine neden olmuştur. Ayrıca yapılan deneysel çalışma bize cephe bileşenlerinin birleşimleri kadar cephe-bina birleşimlerinin de sistem performansı için çok önemli olduğunu göstermiştir. Özellikle ısı hareketler ve işçilik kalitesi çubuk sistemde su girişine neden olurken, tasarım yükünün panel sistemde su girişi görülmesinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Belirli koşullar dikkate alınarak yapılan çalışmanın sonucunda şiddetli koşullar altında panel sistemin çubuk sisteme göre daha kolay uyum sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

Her iki sistemde rüzgâr dayanım testinde ölçülen ön yüz yerdeğişme miktarları 15.00 mm sınır değeri aşmayarak testleri başarıyla geçmiştir. Rüzgâr dayanım testi kapsamında uygulanan hizmete elverişlilik (Adım 6) ve güvenlik testlerinde (Adım 16) cephe sistemlerinde herhangi bir hasara rastlanılmamıştır. Ancak her iki sistemde genel olarak en yüksek hava geçirgenlik değerleri tasarım yükünün ardından uygulanan hava geçirgenlik testinde (Adım 7) ölçülmüştür. Bu durum rüzgâr dayanım testinin cephe sistemlerinin performansları üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu göstermektedir. Yapılı çevrenin de rüzgârın etkisini değiştirdiği bilinmektedir. Bu nedenle iyi bir sistem tasarımı için yapının bulunduğu bölgeye ait iklimsel verilerin dikkate alınarak rüzgâr analizlerinin yapılması önerilmektedir. Adım 13'te uygulanan deprem dayanım testi sırasında ve sonrasında çubuk ve panel sistemde ve sistem bileşenlerinde herhangi bir hasara rastlanılmamıştır. Isı döngü (yaşlandırma) testinin

etkileri hava geçirgenlik ve su sızdırmazlık performanslarının değişimine göre analiz edilmiştir. Test sonuçlarındaki değişime ek olarak birinci ve ikinci ısı döngü testlerinde cephe taşıyıcı bileşenleri ve cam ünitelerinin iç yüzeyinde yoğuşma oluşumu değerlendirilmiştir. Çubuk sistemde toplamda birinci ve ikinci ısı döngü testleri boyunca uygulanan altı döngüde yoğuşmaya rastlanmıştır. Panel sistemde ise birinci ısı döngü testinde uygulanan döngülerin hepsinde (3 döngü) ve ikinci ısı döngü testinde ise yalnızca ilk döngüde olmak üzere toplamda altı döngünün dördünde yoğuşma meydana gelmiştir. Hava geçirimsizlik, su sızdırmazlık ve yoğuşma riski birlikte değerlendirildiğinde panel sistemin yaşam dönemi boyunca ısı hareketlere karşı daha uyumlu olduğu soncuna varılmıştır.





## 6. SONUÇLAR

Yapı sektörünün gelişmesine paralel olarak ortaya çıkan cephe sistemlerinin yaşam dönemi performansları bina yaşam döngüsü içerisinde yer alan aşamaların her biriyle yakından ilişkilidir. Bina maliyetinin de büyük bir kısmını oluşturan cephe sistemlerinin, yapının servis ömrünü ve kullanıcıların konforunu yakından ilgilendirmesi nedeniyle yaşam dönemi performansları büyük önem kazanmıştır. Giydirme cephe sistemlerinde yapının bulunduğu bölgenin iklimsel koşulları, yapının yüksekliği gibi çeşitli nedenlere bağlı olarak cephe sisteminin yaşam dönemi performansını olumsuz yönde etkileyen hasarlar meydana gelebilmektedir.

Günümüzde en çok tercih edilen sistemlerden biri olarak karşımıza çıkan giydirme cephe sistemleri içerisinde çubuk ve panel sistemler geniş bir uygulama alanına sahip olmaktadır. Uygulama öncesinde cephe sistemini temsil eden bir bölüm üzerinde performans testlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Ancak uygulanan testlerin sistemlerin kullanılabilirlik durumlarının değerlendirilmesine yardımcı olurken, yaşam dönemi performanslarıyla ilgili bilgi sağlama konusunda yetersiz kaldığı görülmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında sistemlerin yaşam dönemi performanslarının gerçeğe en yakın biçimde değerlendirilmesine yönelik deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma öncesinde hasar incelemesine yönelik gerçekleştirilen ön çalışma ile sistemlerin mevcut durumları üzerinden yaşam dönemi performanslarıyla ilgili bilgi sağlanmıştır. Bu sayede İstanbul'da yer alan çok katlı binaların alüminyum ve cam giydirme cephe sistemlerinde görülen hasarların durumu ve İstanbul koşulları altında test edilen alüminyum ve cam giydirme cephe sistemlerinin durumları karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Böylelikle çalışma kapsamında mevcut durum ve deneysel çalışma sonuçları bir arada değerlendirilmiştir.

### 6.1. Hasar İncelemesi Çalışmasından Elde Edilen Sonuçlar

İncelenen 30 adet binanın alüminyum ve cam giydirme cephe sisteminde görülen hasarlardan yola çıkılarak gerçekleştirilen ön çalışmada elde edilen sonuçlar şöyledir:

- Yaşam sürecinde görülen hasarlar tasarım, üretim, montaj, kullanım, bakım-onarım ve denetim aşamalarına göre değerlendirildiğinde hasarların çoğunlukla tasarım aşamasından kaynaklandığı görülmüştür. Bunun yanı sıra sistemlerde kullanım ve üretim sürecinden kaynaklı çeşitli hasarlar meydana geldiği belirlenmiştir.
- Tasarım süreci mimari tasarım ve mühendislik kaynaklı olmak üzere gruplandığında hasarların çoğunlukla mimari tasarım süreci kaynaklı olduğu belirlenmiştir.
- 20 yıllık zaman dilimini kapsayan değerlendirmede hasarların çoğunlukla 0 ~ 5 yıllık süreçte meydana geldiği görülmüştür. Cephe sistemlerinde ortaya çıkan hasarlara uygulanan bakım-onarım süreci sonrasında hasarların tekrarlama riskinin/oranının giderek azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum yaşam dönemi içerisinde yer alan herhangi bir aşamaya bağlı olarak ortaya çıkan hasarların bakım-onarım sürecinde düzeltilebileceği ve aynı hasarların yeniden oluşumunun önüne geçilebileceğini göstermiştir. Bu nedenle bakım-onarım süreci sistemlerin yaşam dönemi performansının iyileştirilmesinde önemli bir role sahip olmaktadır.
- Son yıllarda panel sistem, çubuk sisteme göre daha yaygın uygulama alanına sahip olmaktadır. Bununla birlikte, ön çalışma kapsamında yapılan incelemede, hasarların genellikle çubuk sistemlerde meydana geldiği görülmektedir. Bu durum çubuk sistemin daha hassas bir sistem olduğunu göstermektedir.
- Sistemlerde görülen hasarlar bina-cephe sistemi ilişkisinde değerlendirildiğinde hasarların %87'sinin cephe sistemi kaynaklı olmasına karşın, %13'ünün bina kaynaklı nedenlere bağlı olarak meydana geldiği görülmüştür.
- Sistem bileşenleri bazında değerlendirildiğinde hasarların %60'ı dolgu bileşeninde (özellikle cam üniteleri), %33'ünün sızdırmazlık bileşeninde, %7'sinin ise taşıyıcı bileşenlerde meydana geldiği belirlenmiştir.
- Rüzgâr ve güneşin cephe sistemleri üzerinde hasar oluşumuna neden olan en etkili iki etmen olduğu görülmüştür. Güneşin etkisiyle cephe bileşenleri üzerinde oluşan ısıl gerilmeler ve UV ışınları nedeniyle zaman içerisinde bileşenlerde görülen bozulmalara bağlı olarak hasarların meydana geldiği

tespit edilmiştir. Ayrıca, şiddetli rüzgârın etkisiyle dolgu bileşenlerinde kopma/sistemden ayrılmalar, çevresel hareketler ve dolu nedeniyle de dolgu bileşeninde kırılmalar görülmüştür.

- Yapılan incelemede en çok görülen hasarlar cam kırılması, sistemde hava sızıntısı ve su sızıntısıdır. Şiddetli rüzgârın etkili olduğu durumlarda ise taşıyıcı bileşen hasarları ve panel kopması gibi problemlerle karşılaşma ihtimalinin arttığı belirlenmiştir. Bu gibi hasarların sistemlerin temel performanslarını doğrudan etkileyen ağır hasarlar olduğu görülmüştür.
- Açılabilir kanatlara sahip olan cephe sistemlerinde bu noktaların sabit kısımlara göre daha hassas olduğu ve açılabilir kanatlara ait aksesuarlarda ve/ya da parçalarda (taşıyıcı makas, mesafe tutucular, vb) çeşitli problemlerin meydana gelebileceği görülmüştür. Bu gibi hasarların sistemlerde sızdırmazlıkla ilgili sorunların artmasına neden olduğu belirlenmiştir.
- Görülen bu hasarlar özellikle sistemlerin ısı, estetik, su sızdırmazlık, hava geçirimsizlik ve taşıyıcılık gibi temel performanslarında büyük oranda kayıp yaşanmasına neden olduğu belirlenmiştir. Açılabilir kanatlarda ise çevresel etmenler (özellikle rüzgâr) ve kullanıcı hatalarına bağlı olarak kanatların dayanıklılığının olumsuz yönde etkilendiği görülmüştür.

## 6.2 Deneysel Çalışmadan Elde Edilen Sonuçlar

Çubuk ve panel giydirme cephe sistemlerine ait birebir (1:1) ölçekli numunelerinin yaşam dönemi performanslarının belirlenmesine yönelik uygulanan deney prosedürünün sonucunda elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Hava geçirgenlik testlerinin sonuçları değerlendirildiğinde hem çubuk hem panel sistemin  $1.5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  sınır değerinin altında kalarak testleri başarıyla tamamladığı görülmüştür. Ancak, iki sistemin ölçülen hava geçirgenlik değerleri arasında farklılıklar olduğu, çubuk sistemin hava geçirgenlik değerlerinin panel sistemden yüksek çıktığı görülmüştür. İki hava geçirgenlik testi arasındaki fark değerine göre yapılan performans değerlendirilmesinde panel sistem  $0.30 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  sınır değeri aşmazken, çubuk sistemin birinci ısı döngü testi sonrasında bu sınır değeri negatif yönde aşarak performansında kayıp yaşandığı görülmüştür. Benzer şekilde, ilk performansa göre gerçekleştirilen fark değeri ele alındığında çubuk sistemin bu fark değerini farklı testler arasında yeniden aştığı tespit edilmiştir.

Sistemlerin su sızdırmazlık testine ait performansları incelendiğinde çubuk sistemin birinci ısı döngü testi sonrasında su sızdırmazlık performansında kayıp meydana gelirken, panel sistemin ise ikinci ısı döngü testi sonrasında sızdırmazlık performansında kayıp görülmüştür. Dinamik su sızdırmazlık testinde de aynı noktalarda su girişleri devam etmiştir.

Sistemlerin 2400 Pa tasarım yükü altında rüzgâr dayanım performansları incelendiğinde her iki sistemin ön yüz yerdeğiştirme miktarlarının 15.00 mm sınır değerin altında kaldığı belirlenmiştir. Yapılan test sonuçları değerlendirildiğinde panel sistemin 2400 Pa basınç değeri altında ölçülen en yüksek sehim miktarının çubuk sistemden fazla olduğu halde iki sistemde ölçülen sehim miktarlarının birbirine yakın olduğu belirlenmiştir. 3600 Pa arttırılmış yük altında gerçekleştirilen güvenlik testi sırasında ve sonrasında yapılan gözlem sonucunda sistemlerde herhangi bir kalıcı hasar oluşmadığı görülmüştür.

Deprem dayanım testinde sistemler kat yüksekliğinin 0.010'u (%1'i) kadar yatay yerdeğiştirme etkisinde bırakılmıştır. Döngülerin sonucunda sistemlerde toplamda yapılan 55 mm'lik yerdeğiştirmenin ardından herhangi bir hasar meydana gelmediği görülmüştür.

Gerçekleştirilen ısı döngü testlerine bağlı olarak sistemlerin performansları hava geçirgenlik ve su sızdırmazlık testlerinin sonuçlarına göre değerlendirilmiştir. Ayrıca test sırasında ve sonrasında yapılan gözlem sonuçlarına bağlı olarak gerçekleştirilen altı döngüde meydana gelen yoğunlaşma oluşma durumu değerlendirildiğinde, çubuk sistemde yoğunlaşma görülme riskinin panel sistemden yüksek olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada alüminyum ve cam çubuk ve panel giydirmeye cephe sistemlerinin İstanbul koşulları altında yaşam dönemi performansları karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Deneysel çalışmanın önemli noktalarından biri ısı döngü (yaşlandırma) testinin yaşam dönemi performansının değerlendirilmesindeki önemini vurgulamaktır. Çalışmanın sonucunda;

- Hava geçirimsizlik ve su sızdırmazlık performanslarındaki değişim dikkate alındığında, aynı koşullar altında çubuk sistemin panel sisteme göre daha hassas bir sistem olduğu tespit edilmiştir.

- İki sisteminde performans testlerini başarıyla geçtiği durumlarda da panel sistemin performansının çubuk sisteme göre daha başarılı olduğu belirlenmiştir.
- 300, 450 ve 600 Pa gibi etkili basınç değerleri altında panel sistemin hava geçirgenlik performansındaki değişimin yüzdesinin çok olmasına karşın hava geçirgenlik değerlerinin çubuk sistemden daha iyi olduğu belirlenmiştir.
- Deney prosedürü sonunda panel sistemin su sızdırmazlık performansının çubuk sisteme göre daha iyi olduğu görülmüştür.
- Rüzgâr dayanım testi ve ısıl döngü testlerinin sistem performansları üzerinde en etkili testler olduğu belirlenmiştir. Özellikle sistemlerin su sızdırmazlık performansları üzerinde büyük etkileri olduğu görülmüştür. Yapılan deneylerin sonucunda sistemlerin ilk performans testlerini başarıyla geçtiği halde birinci ısıl döngü testi sonrasında çubuk sistemin hava geçirimsizlik ve su sızdırmazlık, ikinci ısıl döngü testi sonrasında ise panel sistemin su sızdırmazlık performansında kayıplar meydana geldiği görülmüştür. Bu nedenle, sistemlerin yaşam dönemi performanslarının değerlendirilmesi için test yöntemlerine ısıl döngü testi eklenmesinin önemli olduğu sonucuna varılmıştır.
- Çalışma kapsamında önerilen deney prosedürü sayesinde sistemlerin performansları iki farklı açıdan ortaya konulmuştur. Deney prosedüründe sistemlerin ilk performansının belirlenmesinin ardından gerçekleştirilen yaşlanma sürecinin (ısıl döngü testinin) sistem performansı üzerindeki etkileri doğrudan belirlenmeye çalışılmıştır. İkinci aşamada ise sistemlerin yaşam dönemi içerisinde maruz kalabileceği etmenlerle birlikte yaşlanmaya bağlı olarak yaşam dönemi performansındaki değişim ortaya konulmuştur. Standart deney prosedürlerinin yaşam dönemi performansını değerlendirme açısından eksik kaldığı düşünüldüğünde, sistemin ilk performansı ve yaşam dönemi performansının bir arada değerlendirme imkanı sunması açısından önerilen deney prosedürü çalışmanın kilit noktalardan birini oluşturmaktadır.
- Uygulama süreci öncesinde yaşam dönemi içerisinde gerçekleşmesi olası hasarların 1:1 ölçekli numuneler üzerinde deneysel yöntemle belirlenebildiği görülmüştür. Bu da uygulama öncesinde cephe sürecinde yer alan paydaşlara önemli bir girdi sağlamaktadır.

- Bir diğer önemli sonuç ise çevresel etmenlerin yanında sistemlerin yaşam dönemi performansında işçiliğin önemli bir yere sahip olduğu ortaya konulmuştur. Sistemlerin doğru tasarlanmasına karşın yapılan işçilik hatalarının sistemlerin özellikle su sızdırmazlık performanslarında kayıplara neden olduğu görülmüştür. Özellikle su atım/yoğuşma kanallarının doğru tasarlanması kadar bu kanalların bitiş noktalarındaki işçiliğin önemli bir rolü olduğu tespit edilmiştir.
- Elde edilen deneysel verilere bağlı olarak eğri uydurma yöntemiyle oluşturulan grafikler yardımıyla sistemlerin gelecekteki durumlarıyla ilgili tahminlerin yapılması mümkündür.

### 6.3 Hasar İncelemesi ve Deneysel Çalışmadan Elde Edilen Ortak Sonuçlar

Hasar incelemesi ve deneysel çalışmanın sonucunda;

- Hava geçirimsizlik ve su sızdırmazlık performanslarının en çok etkilenen performanslar olduğu,
- Çubuk sistemde hasar meydana gelme olasılığının panel sisteme göre daha yüksek olduğu,
- Panel sistemin çevresel etmenlere ve şiddetli koşullara karşı daha uyumlu bir sistem olduğu,
- Zorunlu deney prosedürüne bağlı olarak gerçekleştirilen testleri başarıyla geçerek uygulanan sistemlerde zaman içerisinde hasarın meydana geldiği ancak ısı döngü (yaşlandırma) testi eklenerek oluşturulan yeni deney prosedürü ile bu tür hasarların uygulama öncesinde tespitinin mümkün olduğu,
- Belirli bir bölgede yer alan mevcut yapılardaki hasarların durumlarının, aynı koşullar altında gerçekleştirilen deneysel çalışmalarla benzer sonuçlara sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durum deneysel çalışmaların sistemlerin yaşam dönemi performansının belirlenmesi için önemli ve gerekli olduğunu ortaya çıkarmaktadır.
- Binaya en uygun giydirme cephe türü seçiminde maliyet, bina yüksekliği, mimari özellikler, yapı çevre, bölgeye ait iklimsel koşullar, zaman gibi bir çok ölçütün etkili olduğu bilinmektedir. Bu anlamda binaya en uygun cephe türü seçiminde deneysel çalışmanın sonuçlarına bağlı olarak elde edilen sistem

performansı ile ilgili ön bilgi ile birlikte farklı ölçütlerin bir arada düşünülerek cephe türü seçimine girdi oluşturulmasının önemli olduğu unutulmamalıdır.

#### **6.4 Gelecekteki Çalışmalar İçin Öneriler**

Çalışma kapsamında çubuk ve panel sistemin yaşam dönemi performanslarının ortaya konulması ve değerlendirilmesinde mevcut hasar incelemesi ve deneysel çalışma yöntemi kullanılmıştır. Bu süreçte kullanılacak bir diğer yöntem, varsa ulusal veri tabanının kullanılmasıdır. Ülkemizde çok katlı binaların giydirme cephe sistemlerinde görülen hasarlara ilişkin mevcut bir veri tabanı bulunmamaktadır. Yapılan hasar incelemesi ön çalışmasının ulusal veri tabanı oluşturulmasına öncülük etmesi ve yerel firmalarında desteğiyle birlikte ulusal bir veri tabanı oluşturulmasının bu konuda büyük katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Cephe testleri yüksek maliyet ve yoğun bir çalışma süreci gerektirmektedir. Bu nedenle, ulusal veri tabanının özellikle deneysel çalışma öncesinde önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında aynı özelliklere sahip iki farklı giydirme cephe sisteminin önerilen deney prosedürüne bağlı olarak performansları değerlendirilmiştir. İlerleyen aşamalarda numune sayısının artırılarak çalışma kapsamında önerilen deney prosedürü ile deneylerin yapılması ya da farklı performans özelliklerinin değerlendirilmesine katkı sağlayacak şekilde önerilen farklı/yeni deney prosedürleri ile sistemlerin performanslarının karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesine ilişkin yeni çalışmaların yapılabileceği düşünülmektedir. Ayrıca tez çalışması kapsamında İstanbul koşulları göz önünde bulundurularak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ülkemizdeki mevcut durumun ortaya konulması adına çalışma kapsamında önerilen test yönteminin farklı iklim bölgelerine göre uyarlanarak sistemlerin durumlarındaki değişimlerin karşılaştırmalı olarak değerlendirilebileceği düşünülmektedir.



## KAYNAKLAR

- AAMA.** (2005). *Curtain Wall Design Guide Manual* (AAMA CW-DG-1-96). American Architectural Manufacturers Association, Schaumburg. Retrieved from: <https://tr.scribd.com/doc/238476700/Curtain-Wall-Design-Guide-Manual>.
- AAMA** (2007). *Test Method for Thermal Cycling of Exterior Walls* (AAMA 501.5-07). American Architectural Manufacturers Assosiation, Schaumburg.
- AAMA** (2009). *Recommended Static Testing Method for Evaluating Curtain Wall and Storefront Systems Subjected to Seismic and Wind Induces Interstory Drift* (AAMA 501.4-09). American Architectural Manufacturers Assosiation, Schaumburg.
- Akkaya, Ş.** (1995). *Giydirme cephe sistemleri ve bunların tasarım ve uygulamalarında dikkat edilmesi gereken hususlar*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Allana, P.K. & Carter, D.** (2012). *Curtain Wall Issues, Problems, and Solutions. Building Envelope Technology Symposium*, Palo Alto, October 2012.
- ASCE** (2013). *Curtain Wall Systems A Primer*. Virginia, American Society of Civil Engineers.
- ASHRAE** (2009). *Handbook Fundamentals, Chapter 25 Heat, Air, and Moisture Control in Building Assemblies-Fundamentals*. American society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- ASTM** (2006). *Standard Terminology of Building Construction* (ASTM E631-06). American Society for Testing and Materials International.
- Atalay, B.** (2006). *Alüminyum giydirme cephe sistem seçiminde uygulama öncesi süreç analizi*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aygün, N.M.** (1996) *Giydirme cephelerde sistem seçimi*, İstanbul: İTÜ.
- Azari-N, R. & Kim, Y.W.** (2012). Comparative assessment of life cycle impacts of curtain wall mullions, *Building and Environment*, 48 (2012) 135-145.
- Becker, R.** (2010). Air leakage of curtain walls – Diagnostics and remediation, *Journal of Building Physics*, 34-1 (2010) 57-75.

- Behr, R.A.** (2006). Design of Architectural Glazing to Resist Earthquakes, *Journal of Architectural Engineering*, 12, 3, pp 122-128.
- Boswell, C.K.** (2013). *Exterior Building Enclosures Design Process and Composition for Innovative Facades*. New Jersey, John Wiley & Sons.
- Brock, L.** (2005). *Designing the Exterior Wall: An Architectural Guide to the Vertical Envelope*. Wiley Press.
- BS** (2015). *Guide to Durability of Buildings and Building Elements, Products and Components* (BS 7543). BSI Standards Publication.
- BS ISO** (2000). *Buildings and Constructed Assets-Service Life Planning-Part 1: General Principles and Framework* (BS ISO 15686-1) BS Standards Limited.
- Buljan, N., Bjelanovic, A., Turkulin, H., Zobec, M.** (2015). TimberCW - Structurally Glazed Laminated Wood Façade. In *Proceedings of Advances Building Skins*, (pp. 502-511). Switzerland, Bern : November 3-4.
- Charleson, A.** (2007). *Architectural Design for Earthquake A Guide to The Design of Non-Structural Elements*. Retrieved from: <https://www.nzsee.org.nz/db/PUBS/ADE2007.pdf>
- Chudley, R.** (1987). *Construction Technology, Vol.4*, (2nd ed.). London, Longman.
- CMHC** (2004). Glass and metal curtain walls best practice guide building technology, *Canada Mortgage and Housing Corporation*. Retrieved from: [http://publications.gc.ca/collections/collection\\_2016/schl-cmhc/NH15-428-2004-eng.pdf](http://publications.gc.ca/collections/collection_2016/schl-cmhc/NH15-428-2004-eng.pdf)
- Coşkun, K.** (2013). *Yapı elemanlarının üretiminde kullanılan yerinde yapım tekniklerinin iyileştirilmesi için model önerisi*. (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Cuce, E., Riffat, S.B., Young, C.H.** (2015). Thermal insulation, power generation, lighting and energy saving performance of heat insulation solar glass as a curtain wall application in Taiwan: A comparative experimental study, *Energy Conversion and Management*, 96 (2015) 31-38.
- CWCT** (1993). *Standard and Guide to Good Practice for Curtain Walling*. Center for Window and Cladding Technology, University of Bath.
- CWCT** (2000a). *Curtain Wall Types* (CWCT Technical Note No. 14). Centre for Window and Cladding Technology.
- CWCT** (2000b). *Selection and Use of Sealants* (CWCT Technical Note No. 19). Centre for Window and Cladding Technology.

- CWCT** (2001). *Curtain Wall Installation Handbook*. Centre for Window and Cladding Technology, UK. Retrieved from: <http://www.cwct.co.uk/construction/installation%20guide/INST-ALL.pdf>
- CWCT** (2005a). *Standard for Systemised Building Envelopes - Part 1 Scope, Terminology, Testing and Classification*. Centre for Window and Cladding Technology.
- CWCT** (2005b). *Standard for Systemised Building Envelopes - Part 2 Loads, Fixings and Movement*. Centre for Window and Cladding Technology.
- CWCT** (2005c). *Standard for Systemised Building Envelopes - Part 3 Air, Water and Wind Resistance*. Centre for Window and Cladding Technology.
- CWCT** (2011). *Fire Performance of Curtain Walls and Rainscreens* (CWCT Technical Note No. 73). Centre for Window and Cladding Technology. Retrieved from: <http://www.cwct.co.uk/publications/tns/short73.pdf>
- Çatıkkaş, F.E.** (1996). *Alüminyum giydirmce cephe sistemlerinin yeniden sınıflandırılması ve değcrlendirilmesi*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çelebi, M.** (2017). *Alüminyum giydirmce cephe sistemleri bileşen üretim ve yapıım, sistem tasarım ve performans standartları için bir kontrol listesi önerisi*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çıkış, D.T.** (2007). *The evolution and change of building facades: A research for developing alternative composite surface materials*. (Yüksek lisans tezi). İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Doğın Şengün, B.N.** (2013). *An investigation on the performance of aluminium panel curtain wall system in relation to the facade tests*. (Master thesis). The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara.
- Doğruel, N.** (2010). *Binalarda cephe kaplamalarının ısı yalıtımına etkisi*. (Yüksek lisans tezi). Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Eyüce, Ö.** (2002). Değişen bina kabuğu ve çağdaş gelişmeler, *Ege Mimarlık*, 2002/4, 44, 4-7. Erişim: <http://www.egemimarlik.org/44/44-2.pdf>
- Foster, J.S. & Harrington, R.** (1994). *Mitchell's Structure and Fabric Part 2*, (5th Ed.), Longman.

- Gonçalves, M.D. & Jutras, R.** (2007). Evaluating the field performance of windows and curtain walls of large buildings. *Symposium on Building Envelope and Technology*, Boston, Massachusetts. Erişim: [http://www.cbc.ca/toronto/features/condos/pdf/evaluating\\_windows.pdf](http://www.cbc.ca/toronto/features/condos/pdf/evaluating_windows.pdf)
- Greeno, R. & Osbourn, D.** (2013). *Mitchell's Introduction to Building* (5th ed). USA, Routledge, Taylor & Francis.
- Gür, V.** (2001). *Hafif giydirme cephe sistemlerinin analizi ve değerlendirilmesi için bir model*. (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Güzel, N.O. & Sönmez, A.** (2002). Giydirme Cephe Sistemlerinin Performans Özellikleri. *Ege Mimarlık*, 2002/4, 44, 12-17. Erişim: <http://egemimarlik.org/44/44-4.pdf>
- Hasol, D.** (1995). *Ansiklopedik mimarlık sözlüğü* (6.bs.). İstanbul: Yapı-Endüstri Merkezi Yayınları.
- Herzog, T., Krippner, R., Lang, W.** (2004). *Façade Construction Manual*. Germany, Birkhauser.
- Horowitz, J.M.** (1991). The interrelation of exterior Wall and structural systems in buildings. *Exterior Wall Systems: Glass and Concrete Technology, Design and Construction* (pp. 5-23). Edited by Barry Donaldson, ASTM STP 1034. Erişim: [https://compass.astm.org/DIGITAL\\_LIBRARY/STP/SOURCE\\_PAGES/STP1034.htm](https://compass.astm.org/DIGITAL_LIBRARY/STP/SOURCE_PAGES/STP1034.htm)
- Huang, B., Chen, S., Lu, W. Mosalam, K.M.** (2017). Seismic demand and experimental evaluation of the nonstructural building curtain Wall, A review, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 100 (2017) 16-33.
- Hunt, W.D.** (1958). *The Contemporary Curtain Wall: Its Design, Fabrication and Erection*. USA, F. W. Dodge.
- İlter, E., Tavil, A., Celik, O.C.** (2015). Full-scale performance testing and evaluation of unitized curtain walls, *Journal of Facade Design and Engineering*, 3 (2015) 39-47.
- İlter, E.** (2016). *Gerçek boyutu cam panel cephe sisteminin uzun dönem taşıyıcılık ve sızdırmazlık performansının değerlendirilmesi*. (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kazmierczak, K.** (2010). Review of curtain walls, focusing on design problems and solutions. *BEST2 Conference Building Enclosure Science & Technology*. Erişim: [https://c.ymcdn.com/sites/www.nibs.org/resource/resmgr/BEST/BEST\\_2\\_008\\_EE4-1.pdf](https://c.ymcdn.com/sites/www.nibs.org/resource/resmgr/BEST/BEST_2_008_EE4-1.pdf)

- Kaskel, B.S.** (1998). Critical review of curtain wall mockup testing for water penetration, water leakage through building facades, Edited by Kudder, R. J. and Erdly, J. L., ASTM STP 1314.
- Kelley, S.J. & Johnson, D.K.** (1998). The Metal and Glass Curtain Wall: The History and Diagnostics. In Cunningham A. (Ed), *Modern Movement Heritage* (1st ed., pp. 66-76). London : Taylor & Francis.
- Knaack, U., Klein, T., Bilow, M., Auer, T.** (2007). *Façades Principles of Construction*. Basel: Birkhauser.
- Lee, T.K, Kuo, C.Y., Pan, A.D.E., Li, Y.C.** (2013). Pressure distribution of dynamic water penetration tests for curtain walls, *Journal of Testing and Evaluation*, 41-3 (2013) 471-480. Erişim: <https://doi.org/10.1520/JTE20120121>
- Matthews, R.S., Bury, M.R.C., Redfearn, D.** (1996). Investigation of dynamic water penetration tests for curtain walling, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 60 (1996) 1-16.
- Mayer, P.D. & Brewer, R.** (2001). Auditing for Durability. Retrieved from: [http://www.bath.ac.uk/cwct/cladding\\_org/wlp2001/paper3.pdf](http://www.bath.ac.uk/cwct/cladding_org/wlp2001/paper3.pdf)
- McCowan, D., Brown, M., Louis, M.** (2007). Curtain wall problems tips on fabrication, construction and testing. *Glass Magazine*. Retrieved from: <https://glassmagazine.com/article/commercial/curtain-wall-problems>
- McCowan, D.B. & Kivela, J.B.** (2010). Lessons learned from curtain wall investigation. *Proceeding of the Building Envelope Technology Symposium*. Erişim: <http://rci-online.org/wp-content/uploads/2011-03-mccowan-kivela.pdf>
- McFarquhar, D.G.** (2012). The Role of Building Facade – Curtain Walls, *Building Enclosure Science & Technology Conference*. Atlanta. Retrieved from: <https://www.brikbases.org/sites/default/files/10.mcfarquhar.pdf>
- Meteoroloji** (2015). Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 1994 - 2014 yılları arasında ölçülen İstanbul'a ait sıcaklık verileri.
- Milli Eğitim Bakanlığı.** (2012). *İnşaat Teknolojisi, Giydirmce Cephe İmalat Kontrolü*. Ankara, MEB Yayınları.
- Mook King Tong, C.** (2006). *Curtain wall defects in Hong Kong high-rise office buildings-incidences, seriousness and cause*. (Bachelor thesis). The University of Hong Kong, Hong Kong. Retrieved from: <https://hub.hku.hk/bitstream/10722/48906/1/b37943224.pdf>
- Murray, S.** (2009). *Contemporary Curtain Wall Architecture*. New York: Princeton Architectural Press.

- Nashed, F.** (1995). *Time-Saver Details for Exterior Wall Designs*, USA, McGraw-Hill.
- No, S.T., Kim, K.S., Jung, J.S.** (2008). Simulation and mock-up tests of thermal performance of curtain walls, *Energy and Buildings*, 40 (2008) 1135-1144.
- Oktuğ, Y.** (1991). Yüksek binalarda alüminyum giydirme cephe sistemleri. *Giydirme Cephe Sempozyumu*. İstanbul: YEM Yayın.
- Oraklıbel, A.** (2014). *Alüminyum giydirme cephe sistemlerinin bina ile bütünlenmesinde kullanılabilecek performans ölçütlerinin ve bağl önemlerinin belirlenmesi*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özkan, E.** (1976). *Yapım sistemlerinin seçimi için bir yöntem*. (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Quirouette, R.** (n.d.). Glass and Aluminum Curtain Wall Systems. *Ontario Association of Architects*, Canada. Retrieved from: [https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-05-25\\_11-46-10102938.pdf](https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-05-25_11-46-10102938.pdf)
- Sanders, R.M.** (2006). Curtain Walls: Not Just Another Pretty Façade, *Journal of Architectural Technology*, Published by Hoffmann Architects, 1 (23). Retrieved from: <http://www.hoffarch.com/assets/Vol-23-N1-Curtain-Walls.pdf>
- Sanders, R.M. & Hargrove, C.A.** (2012). Preventing and Treating Failure in Glazed Curtain Wall Systems, *Journal of Architectural Technology*, Published by Hoffmann Architects, 2 (29). Retrieved from: <http://www.hoffarch.com/assets/Vol-29-N2-Glazed-Curtain-Wall-Systems.pdf>
- Sezer Şenkal, F.** (2003). Giydirme cephe kavramı. *Mimarlık*, 311 (2003). Erişim: <http://www.mimarlikdergisi.com/index.cfm?sayfa=mimarlik&DergiSayi=8&RecID=206>
- Smith, W.D.** (2000). Water leakage in Glazed Curtain Wall Systems: Cause, Effect, and Cure. *Interface*. Retrieved from: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.583.9842&rep=rep1&type=pdf>
- Tanno, S. & Happold, B.** (1997). Structural silicone glazing design, application and maintenance. *International Conference on Building Envelope Systems and Technology*. Retrieved from: [http://www.bath.ac.uk/cwct/cladding\\_org/icbest97/paper22.pdf](http://www.bath.ac.uk/cwct/cladding_org/icbest97/paper22.pdf)
- TS EN** (2000). *Curtain Walling – Resistance to Wind Load – Test Method* (TS EN 12179). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

**TS EN (2004).** *Giydirme Cepheler - Hava Geçirgenliği – Performans Gerekleri ve Sınıflandırma* (TS EN 12152). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

**TS EN (2004).** *Curtain Walling – Resistance to Wind Load – Performance Requirements* (TS EN 13116). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

**TS EN (2004).** *Giydirme Cepheler – Su Sızdırmazlık – Performans Şartları ve Sınıflandırma* (TS EN 12154) Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

**TS EN (2005).** *Giydirme Cepheler – Mamul Standardı* (TS EN 13830). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

**TS EN (2005).** *Giydirme Cepheler – Su Sızdırmazlık – Statik Basınç Altında Laboratuvar Deneyi* (TS EN 12155). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

**TS EN (2006).** *Giydirme Cepheler – Hava Geçirgenliği –Deney Metodu* (TS EN 12153). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

**TS EN (2009).** *Giydirme Cepheler-Terimler ve Tarifleri* (TS EN 13119). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

**TS EN (2011).** *Giydirme cepheler – Su sızdırmazlık- Dinamik Hava Basıncı ve Su Püskürtme Etkisi Altında Laboratuvar Deneyi*, (TS EN 13050), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

**TS EN (2015).** *Curtain Walling – Product Standard* (TS EN 13830). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

**Url-1:** <<https://tr.scribd.com/doc/238476700/Curtain-Wall-Design-Guide-Manual>> erişim tarihi 27.01.2017

**Url-2 :** <[http://www.commercialwindows.org/frames\\_curtainwall.php](http://www.commercialwindows.org/frames_curtainwall.php)>, erişim tarihi 27.01.2017

**Url-3:** <<http://www.wausauwindow.com/resources/education/curtainwall/curtainwall.pdf>> erişim tarihi 17.03.2018

**Url-4:** <<https://www.pilkington.com/en-gb/uk/products/product-categories/decoration/pilkington-spandrel-glass#benefits>> erişim tarihi 17.03.2018

**Url-5:** <<http://cargocollective.com/daniellemcdonough/MORPH-Future-Use-Design>> erişim tarihi 7.05.2018

**Url-6:** <[https://i.pinimg.com/originals/87/c5/9f/87c59fac11be90a34c0765306c1fdea1.jpg?epik=0l04kE\\_IWH598](https://i.pinimg.com/originals/87/c5/9f/87c59fac11be90a34c0765306c1fdea1.jpg?epik=0l04kE_IWH598)> erişim tarihi 17.01.2018

**Url-7:** <[https://www.wbdg.org/resources/env\\_seismicsafety.php](https://www.wbdg.org/resources/env_seismicsafety.php)> erişim tarihi 17.01.2018

**Url-8:** <<https://www.bdcnetwork.com/aia-building-envelope>> erişim tarihi 19.07.2017

**Url-9:** <<http://www.bolliya.com/en/ShowNews.asp?Id=555&Col=516>> erişim tarihi 19.07.2017

**Url-10:** <<http://www.gencer.com.tr/cephe-sistemleri.html#kenetlisilikoncepte>> erişim tarihi 29.07.2018

**Warner, S.A.** (2009). Test methods for performance of glazing systems and exterior walls during earthquakes and extreme climatic events. In R.A. Behr (Ed), *Architectural glass to resist seismic and extreme climatic events* (pp 232-251). Erişim: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845693695500097>

**Watts, A.** (2014). *Modern Construction Envelopes*, (2nd ed.). AMBRA.

**Weber, B.J.** (2003). Unwrapping modern building envelopes. *A&E Perspectives*. Retrieved from: <https://www.djc.com/news/ae/11151058.html>

**Wong, R.W.M.** (n.d). Construction and Performances of Curtain Wall Systems for Super Highrise Buildings. Retrieved from: <https://tr.scribd.com/document/76189323/Construction-and-Performance-of-Curtain-Wall-Systems-for-Super-Highrise-Buildings>

**Yalaz, E.T., Tavil, A., Celik, O.C.** (2016). Curtain wall deficiency and failures: Observations on multi-story buildings in Istanbul. In D. Noble, K. Kensek, S. Das, (Eds.), *Façade Tectonics World Congress Los Angeles 2016*, Proceedings of Façade Tectonics World congress Los Angeles 2016, Volume 1, (pp. 329-338). U.S.A : October 10-11.

**Yalaz, E.T., Tavil, A., Celik, O.C.** (2017). Lifetime performance evaluation of a stick curtain wall system by full-scale testing. In A. Tavil, O.C. Celik (Eds.), *International Conference on Building Envelope Systems and Technology 2017*, Proceedings ICBEST Istanbul 2017, (pp. 270-281). Istanbul : May 15-18.

**Yalaz, E.T., Tavil, A., Celik, O.C.** (2018). Lifetime performance evaluation of stick and panel curtain wall systems by full-scale testing, *Construction and Building Materials*, 170 (2018) pp.254-271.

**Yeun, K.W., Han, G. H., Lee, Y.W., Kim, J.** (2011). A study on the sustaining capability of the curtain wall system for the attached cleaning robot. *The 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, Seoul. Erişim: <http://www.iaarc.org/publications/fulltext/S30-2.pdf>

**Ziyaettin, N.** (2004). *Alüminyum giydirmce cephelelerde sızdırmazlık sorunları ve çözüm yolları*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.





## **EKLER**

### **EK A: İncelenen Yapılar**





**Çizelge A.1** İncelenen 30 yapıya ait veriler.

| Bina adı | Bina türü  | Kat sayıları | Cephe sistem türü | Bina yapım yılı | Bakım-onarım tarihleri | Tespit edilen hasarlar                                                                              | Hasar nedenleri                                        | Hasar sonucu                               | Hasar kaynağı      | Etkilenen özellikleri                                                                                                               | performans |
|----------|------------|--------------|-------------------|-----------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| B1       | İş merkezi | 10           | Çubuk             | 1998            | 2002-2015-2017         | Açılır kanat hasarına bağlı su girişi                                                               | 1. Taşıyıcılık<br>2. Kullanıcı<br>3. Tasarım (Mimari)  | Sistemde hava girişi ve Su sızıntısı       | Cephe ve Kullanıcı | Açılır kanat taşıyıcılık dayanımı<br>Hava geçirimsizlik<br>Su sızdırmazlık<br>Isıl performans<br>Görünüm/Estetik<br>Isıl performans |            |
| B2       | Otel       | 12           | Çubuk             | 2012            | 2012-2015-2017         | Bina oturması ve büyük dolgu bileşenleri ve sıcaklığa bağlı cam kırılmaları                         | 1. Zemin çökmesi<br>2. Malzeme<br>3. Tasarım (Mimari)  | Cam kırılması                              | Bina ve Cephe      | Görünüm/Estetik<br>Isıl performans                                                                                                  |            |
| B3       | İş merkezi | 13           | Çubuk             | 2004            | 2008-2014              | Çelik taşıyıcı sistemli yapının çevresel dinamiklerden etkilenmesi nedeniyle cam kırılmaları        | 1. Taşıyıcılık<br>2. Çevresel dinamikler<br>3. Malzeme | Cam kırılması                              | Bina               | Görünüm/Estetik<br>Isıl performans                                                                                                  |            |
| B4       | İş merkezi | 4            | Çubuk             | 1999            | 2010-2015              | Silikon hasarı nedeniyle su girişi                                                                  | 1. Malzeme                                             | Sistemde su sızıntısı                      | Cephe              | Su sızdırmazlık                                                                                                                     |            |
| B5       | AVM        | 4            | Çubuk             | 2008            | 2012-2014              | Zemin çökmelerine bağlı taşıyıcı gergilerde kopma oluşumu                                           | 1. Zemin çökmesi<br>2. Taşıyıcılık<br>3. Malzeme       | Taşıyıcı bileşende kopma ve Cam kırılması  | Bina               | Taşıyıcılık performansı<br>Görünüm/estetik<br>Isıl performans<br>Su sızdırmazlık                                                    |            |
| B6       | İş Merkezi | 8            | Çubuk             | 2010            | 2011                   | Çelik taşıyıcılı binanın hareketlerden etkilenmesi ve fugalarda silikon ayrışmasına bağlı su girişi | 1. Taşıyıcılık<br>2. Çevresel dinamikler<br>3. Malzeme | Sistemde su sızıntısı                      | Bina ve Cephe      |                                                                                                                                     |            |
| B7       | İş merkezi | 10           | Çubuk             | 2000            | 2005-2008              | Açılır kanatların uzun süre açık kalmasına bağlı oluşan deformasyon nedeniyle sistemde hava girişi  | 1. Taşıyıcılık<br>2. Kullanıcı                         | Aksesuar kırılması ve Sistemde hava girişi | Cephe ve Kullanıcı | Açılır kanat taşıyıcılık dayanımı<br>Hava geçirimsizlik<br>Isıl performans                                                          |            |

**Çizelge A.1 (devam) İncelenen 30 yapıya ait veriler.**

| Bina adı | Bina türü        | Kat sayıları | Cephe sistem türü | Bina yapım yılı | Bakım-onarım tarihleri | Tespit edilen hasarlar                                                                                                      | Hasar nedenleri                                             | Hasar sonucu                                        | Hasar kaynağı      | Etkilenen özellikleri                                                                                            | performans |
|----------|------------------|--------------|-------------------|-----------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| B8       | İş merkezi       | 30           | Panel             | 2002            | 2003-2015-2017         | Kanat hasarı nedeniyle sistemde hava ve su girişi ve sistemde cam kırılmaları                                               | 1. Taşıyıcılık<br>2. Kullanıcı<br>3. Malzeme                | Aksesuar kırılması ve Sistemde hava girişi          | Cephe ve Kullanıcı | Görünüm/Estetik<br>Açılır kanat taşıyıcılık dayanımı<br>Hava geçirimsizlik<br>Su sızdırmazlık<br>Isıl performans |            |
| B9       | AVM              | 24           | Çubuk             | 2000            | 2005-2014-2017         | Rüzgârın etkisiyle büyük boyutlu panellerde sistemden ayrılma                                                               | 1. Tasarım (Mimari & Mühendislik)<br>2. Çevresel etmenler   | Panellerde kopma, Sistemde su girişi ve Hava girişi | Cephe              | Görünüm/Estetik<br>Hava geçirimsizlik<br>Su sızdırmazlık<br>Rüzgâr dayanımı<br>Isıl performans                   |            |
| B10      | İş merkezi       | -            | Panel             | 2005            | 2008-2009              | Köşe panellerindeki cam ünitelerinde kırılmalar                                                                             | -                                                           | Cam kırılması                                       | Cephe              | Görünüm/Estetik<br>Isıl performans                                                                               |            |
| B11      | İş Merkezi       | 10           | Çubuk             | 1998            | 2010                   | Kanatların uzun süre açık bırakılması nedeniyle hava girişi                                                                 | 1. Taşıyıcılık<br>2. Kullanıcı                              | Aksesuarda kırılma<br>Sistemde hava girişi          | Cephe ve Kullanıcı | Açılır kanat taşıyıcılık dayanımı<br>Hava geçirimsizlik<br>Isıl performans                                       |            |
| B12      | Banka            | 30           | Çubuk             | 2001            | 2005-2017              | Isıl gerilmeler, cam türü ve çelik-cam etkileşimine ve dolu tanelerinin çarpmasına bağlı olarak cam ünitelerinde kırılmalar | 1. Tasarım<br>2. Malzeme                                    | Cam kırılması                                       | Cephe              | Görünüm/Estetik<br>Isıl performans                                                                               |            |
| B13      | Fabrika          | 10           | Çubuk             | 1998            | 2000                   | Radyuslu formda kullanılan cam türü ve ısısal nedenlere bağlı cam kırılmaları                                               | 1. Malzeme<br>2. Tasarım (Mimari)                           | Cam kırılması                                       | Cephe              | Görünüm/Estetik<br>Isıl performans                                                                               |            |
| B14      | Galeri           | 9            | Çubuk             | 2000            | 2007-2011              | Cephe açıklıklarının fazla olması ve çevresel kuvvetlere bağlı cam kırılmaları                                              | 1. Tasarım (Mimari & Mühendislik)<br>2. Çevresel dinamikler | Cam kırılması                                       | Cephe              | Görünüm/Estetik<br>Isıl performans                                                                               |            |
| B15      | Fabrika (Atölye) | 10           | Çubuk             | 2003            | 2010                   | Panelin sistemden ayrılması, iç ortama su ve hava girişi                                                                    | 1. Tasarım (Mimari)                                         | Sistemde hava ve Su girişi                          | Cephe              | Görünüm/estetik<br>Hava geçirimsizlik<br>Su sızdırmazlık<br>Isıl performans                                      |            |

**Çizelge A.1 (devam)** İncelenen 30 yapıya ait veriler.

| Bina adı | Bina türü       | Kat sayıları | Cephe sistem türü | Bina yapım yılı | Bakım-onarım tarihleri | Tespit edilen hasarlar                                                                                                                             | Hasar nedenleri                                      | Hasar sonucu                                             | Hasar kaynağı      | Etkilenen özellikler                                                                    | performans |
|----------|-----------------|--------------|-------------------|-----------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| B16      | Otel            | 30           | Panel             | 2012            | 2015-2017              | Baskı kapaklarını düşmesine bağlı sistemde hava ve su girişi ile güvenlik sorunları                                                                | 1. Çevresel Dinamikler                               | Sistemde hava ve Su girişi, Kullanıcı güvenliğini tehdit | Cephe              | Görünüm/Estetik<br>Hava geçirimsizlik<br>Su sızdırmazlık<br>Güvenlik<br>Isıl performans |            |
| B17      | İş merkezi      | 25           | Çubuk             | 1999            | 2009-2010-2017         | Camın üretimi sürecindeki probleme bağlı cam ünitelerinde yoğunlaşma oluşumu ve sistemde su girişi                                                 | 1. Malzeme<br>2. Üretim                              | Yoğuşma ve Sistemde su girişi                            | Cephe              | Yoğuşma<br>Isıl performans<br>Görünüm/estetik<br>Su sızdırmazlık                        |            |
| B18      | Fabrika         | 8            | Çubuk             | 2010            | 2012-2013              | Cam ünitelerindeki silikonun hasar görmesi ve uygun koşullar altında uygulanmamaya bağlı olarak yoğunlaşma oluşumu                                 | 1. Malzeme<br>2. Üretim                              | Yoğuşma                                                  | Cephe              | Yoğuşma<br>Isıl performans<br>Görünüm/Estetik                                           |            |
| B19      | Kamu yapısı     | 12           | Çubuk             | 2001            | 2007-2015-2017         | Kanatların uzun süre açık kalması nedeniyle kanat hasarları, sistemde cam ünitelerinde kırılmalar, şiddetli rüzgâra bağlı saçak camında kırılmalar | 1. Malzeme<br>2. Kullanıcı<br>3. Çevresel dinamikler | Kanat hasarı<br>Cam kırılması                            | Cephe ve Kullanıcı | Açılır kanat taşıyıcılık dayanımı<br>Görünüm/Estetik<br>Isıl performans                 |            |
| B20      | Çok katlı konut | 23           | Panel             | 2005            | 2005-2010              | Kanatlardaki makas hasarlarına bağlı sistemde hava girişi                                                                                          | 1. Taşıyıcılık<br>2. Kullanıcı                       | Aksesuar hasarı<br>Sistemde hava girişi                  | Cephe ve Kullanıcı | Açılır kanat taşıyıcılık dayanımı<br>Hava geçirimsizlik<br>Isıl performans              |            |

**Çizelge A.1 (devam) İncelenen 30 yapıya ait veriler.**

| Bina adı | Bina türü         | Kat sayıları | Cephe sistem türü | Bina yapım yılı | Bakım-onarım tarihleri | Tespit edilen hasarlar                                                                                                                    | Hasar nedenleri                                                               | Hasar sonucu                              | Hasar kaynağı | Etkilenen özellikleri                                | performans  |
|----------|-------------------|--------------|-------------------|-----------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------|------------------------------------------------------|-------------|
| B21      | İş merkezi ve AVM | 33           | Panel             | 2013            | 2015-2017              | Pencere ağırlığına uygun olmayan makas seçimi nedeniyle makaslarda kırılmalar                                                             | 1. Tasarım (Mühendislik)<br>2. Taşıyıcılık                                    | Aksesuarlarda kırılma                     | Cephe         | Açılır kanat dayanımı<br>Taşıyıcılık                 | taşıyıcılık |
| B22      | Otel              | 30           | Panel             | 2003            | 2005-2010              | Kat yüksekliğinin çok olması ve şiddetli rüzgâra bağlı cephe profillerinde sehim                                                          | 1. Tasarım (Mimari & Mühendislik)<br>2. Çevresel Dinamikler<br>3. Taşıyıcılık | Taşıyıcı profillerde sehim                | Cephe         | Taşıyıcılık                                          |             |
| B23      | AVM               | 30           | Çubuk             | 2008            | 2008-2012-2017         | Aşırı eğimli cephe formuna bağlı olarak sistemde su girişi                                                                                | 1. Tasarım (Mimari)                                                           | Sistemde su girişi                        | Cephe         | Su sızdırmazlık                                      |             |
| B24      | Galeri            | 5            | Çubuk             | 1996            | 2008-2015              | Pencere boyutlarının çok büyük olmasına bağlı makas hasarları                                                                             | 1. Tasarım (Mimari)<br>2. Taşıyıcılık                                         | Açılır kanat hasarı<br>Aksesuarda kırılma | Cephe         | Açılır kanat taşıyıcılık dayanımı<br>Taşıyıcılık     |             |
| B25      | AVM               | 4            | Çubuk             | 2015            | 2017                   | Kar ve rüzgâr yüküne bağlı olarak panellerde kopma ve büyük boyutlu dolgu bileşenlerinde cam kırılması                                    | 1. Tasarım (Mimari & Mühendislik)<br>2. Çevresel dinamikler<br>3. Malzeme     | Panellerin kopması ve cam kırılması       | Cephe         | Görünüm/Estetik<br>Rüzgâr dayanım<br>Isıl performans |             |
| B26      | Banka             | 7            | Çubuk ve Panel    | 2015            | 2017                   | Kapakların yerine tam oturmaması nedeniyle sistemde su girişi                                                                             | 1. Kontrol sistemi kaynaklı problemler                                        | Sistemde su girişi                        | Cephe         | Su sızdırmazlık                                      |             |
| B27      | İş merkezi        | 10           | Çubuk             | 2005            | 2017                   | Yetkili personel dışındaki kişilerin cam ve güneş kırıcıları sökmesi ve yeni bağlantıların güçsüz yapılması nedeniyle panellerde kopmalar | 1. Kullanıcı                                                                  | Panellerde / güneş kırıcılarda kopma      | Kullanıcı     | Rüzgâr dayanım<br>Görünüm/Estetik                    |             |
| B28      | AVM               | 8            | Çubuk             | 2016-2017       | 2017                   | Freeform, geniş açıklık ve çelik-cam etkileşimine bağlı olarak sistemde su girişi                                                         | 1. Tasarım (Mimari)<br>2. Malzeme                                             | Sistemde su girişi                        | Cephe         | Su sızdırmazlık<br>Görünüm/Estetik                   |             |

**Çizelge A.1 (devam)** İncelenen 30 yapıya ait veriler.

| Bina adı | Bina türü   | Kat sayıları | Cephe sistem türü | Bina yapım yılı | Bakım-onarım tarihleri | Tespit edilen hasarlar                                                                                    | Hasar nedenleri         | Hasar sonucu                                                      | Hasar kaynağı | Etkilenen özellikleri                         | performans |
|----------|-------------|--------------|-------------------|-----------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------|------------|
| B29      | Sosyal yapı | 2            | Çubuk             | 1998            | 2017                   | Şiddetli yağmur ve rüzgârın etki ettiği iklimsel koşullarda cam ünitelerinde yoğuşma                      | 1. Malzeme<br>2. Üretim | Yoğuşma                                                           | Cephe         | Yoğuşma<br>Isıl performans<br>Görünüm/Estetik |            |
| B30      | Sosyal yapı | 6            | Çubuk             | 2010            | 2017                   | Şiddetli yağmur ve rüzgâra bağlı olarak cephe-duvar/döşeme birleşimlerinde ve açılır kanatlarda su girişi | 1. Çevresel dinamikler  | Cephe-bina birleşiminde su girişi ve açılır kanatlardan su girişi | Cephe         | Su sızdırmazlık<br>Hava geçirimsizlik         |            |



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** : Elif Tuğba YALAZ  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 23.05.1988 / Mardin  
**E-posta** : etyalaz@itu.edu.tr; etyalaz@konya.edu.tr

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2010, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü.
- **Yüksek Lisans** : 2012, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilimdalı.

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

#### Mesleki deneyim

- 2010-2011, Erçin Mimarlık, Mimar
- 2011-2012, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Araştırma Görevlisi
- 2012-2017, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Araştırma Görevlisi
- 2018-Devam, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Araştırma Görevlisi

#### Ödüller

- Prosteel 2010 - Teşvik ödülü

### DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Yalaz, E.T., Taviş, A., Çelik, O.C.** (2016). Giydirmeye cephe sistemlerinde karşılaşılan hasarların sınıflandırılması, 8. *Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu*, 2-3 Haziran, İstanbul.

- **Yalaz, E.T.,** Tavil, A., Celik, O.C. (2016). Curtain wall deficiency and failures: Observations on multi-story buildings in Istanbul. In D. Noble, K. Kensek, S. Das, (Eds.), *Façade Tectonics World Congress Los Angeles 2016*, Proceedings of Façade Tectonics World Congress Los Angeles 2016, Volume 1, (pp. 329-338). U.S.A : October 10-11.
- **Yalaz, E.T.,** Tavil, A., Celik, O.C. (2017). Lifetime performance evaluation of a stick curtain wall system by full-scale testing. In A. Tavil, O.C. Celik (Eds.), *International Conference on Building Envelope Systems and Technology 2017*, Proceedings ICBEST Istanbul 2017, (pp. 270-281). Istanbul : May 15-18.
- **Yalaz, E.T.,** Tavil, A., Celik, O.C. (2018). Lifetime performance evaluation of stick and panel curtain wall systems by full-scale testing, *Construction and Building Materials*, 170 (2018) pp. 254-271.

