

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GERÇEK BOYUTLU CAM PANEL CEPHE SİSTEMİNİN
UZUN DÖNEM TAŞIYICILIK VE SIZDIRMAZLIK
PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Emir İLTER

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

ŞUBAT 2016

**GERÇEK BOYUTLU CAM PANEL CEPHE SİSTEMİNİN
UZUN DÖNEM TAŞIYICILIK VE SIZDIRMAZLIK
PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Emir İLTER
(502082002)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

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

ŞUBAT 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502082002 numaralı Doktora Öğrencisi Emir İLTER, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “GERÇEK BOYUTLU CAM PANEL CEPHE SİSTEMİNİN UZUN DÖNEM TAŞIYICILIK VE SIZDIRMAZLIK PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

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

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

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Cenk ÜSTÜNDAĞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ecem EDİS
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Müjdem VURAL
Doğu Akdeniz Üniversitesi

Prof. Dr. Soofia Tahira ÖZKAN
Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Volkan GÜR
Mimar Sinan Üniversitesi

Teslim Tarihi : 30 Aralık 2015
Savunma Tarihi : 23 Şubat 2016





Sevgili aileme ve tüm sevdiklerime,



ÖNSÖZ

Gerek doktora tez çalışmamda gerekse akademik hayatım boyunca her türlü bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, yardımlarını ve desteğini hiçbir zaman esirgemedi bana yol gösteren Danışmanım Prof.Dr.Aslıhan TAVİL'e ve Eş Danışmanım Prof.Dr.Oğuz Cem ÇELİK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme komitemde yer alarak çalışmalarım süresince yapıcı eleştirileri ve destekleri için Yrd.Doç.Dr.Cenk ÜSTÜNDAĞ'a, Doç.Dr.Müjdem VURAL'a ve Yrd.Doç.Dr.Volkan GÜR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez çalışmam kapsamında performans deneylerini gerçekleştirmiş olduğum cephe sistemlerinin temini konusunda bana yardımcı olan Metal Yapı A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Bülent ÖZGÜL ve Aylin ÖZGÜL'e, cephe sistemleri deneylerinin gerçekleştirilmesini sağlayarak her türlü konuda bilgi birikimlerini benimle paylaşan FTI (Façade Testing Institute) Genel Müdürü Murat SEYHAN'a, Deney Merkezi çalışanları değerli mühendis arkadaşlarım Oktay USTA'ya, Öner ARSLAN'a, Serhat ÇOLAK'a ve Ayfer DİNÇEL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bütün eğitim ve öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen aileme ve her zaman yanımda olan değerli arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Aralık 2015

Emir İLTER
İnşaat Yüksek Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Motivasyon, Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	1
1.2 Problemin Tanımı.....	2
1.3 Çalışmanın Yöntemi.....	5
1.4 Süreç Modeli	6
2. GİYDİRME CEPHE SİSTEMLERİ.....	9
2.1 Cephelerin Fiziksel Gelişimi	9
2.2 Cephe Bileşenleri	12
2.2.1 Taşıyıcı profil	14
2.2.2 Cam ünitesi	23
2.2.3 Contalar	25
2.2.4 Baskı profili	26
2.2.5 Strüktürel silikon	26
2.3 Performans Özellikleri	27
2.3.1 Taşıyıcılık ölçütüne bağlı performans gereksinimleri	28
2.3.1.1 Rüzgâr etkisi	29
2.3.1.2 Deprem etkisi	33
2.3.2 Sızdırmazlık ölçütüne bağlı performans gereksinimleri.....	36
2.3.2.1 Hava geçirgenlik	36
2.3.2.2 Su sızdırmazlık	37
2.4 Cephelerin Taşıyıcılık Özelliğine Göre Sınıflandırılması.....	40
2.5 Genel Değerlendirme	48
3. GERÇEK BOYUTLARDA YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMA	51
3.1 Deney Düzenegi Özellikleri	52
3.2 Deney Numunelerinin Özellikleri	57
3.3 Deney süreci	62
3.4 Deney Prosedürleri ve Deneysel Sonuçlar	69
3.4.1 Hava geçirgenlik deneyi	70
3.4.2 Statik su sızdırmazlık deneyi.....	80
3.4.3 Dinamik su sızdırmazlık deneyi	85
3.4.4 Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi.....	89
3.4.5 Sismik dayanım deneyi.....	100
3.4.6 Yorma deneyi	103

3.5 Genel Değerlendirme	105
4. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ İLE İRDELENMESİ	107
4.1 Çok Ölçütlü Değerlendirme Yöntemleri	107
4.2 Performans Değerlendirmesi İle İlgili Yapılan Çalışmalar	113
4.3 Deneysel Sonuçların AHP Yöntemine Göre Değerlendirilmesi	114
4.4 Deneysel Sonuçların COPRAS Yöntemine Göre Değerlendirilmesi.....	136
4.5 Deneysel Sonuçların TOPSIS Yöntemine Göre Değerlendirilmesi	141
5. GENEL DEĞERLENDİRME.....	147
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	153
6.1 Deneysel Sonuçlar	153
6.2 Çok Ölçütlü Değerlendirme Sonuçları	155
6.3 Öneriler.....	157
KAYNAKLAR.....	159
EKLER.....	167
ÖZGEÇMİŞ.....	203



KISALTMALAR

ASTM	: American Society for Testing and Materials
CWCT	: Centre for Window and Cladding Technology
TS	: Türk Standardları
AS/NZS	: Australian/New Zealand Standard
ISO	: International Organization for Standardization
ASCE	: American Society of Civil Engineers
ETAG	: European Technical Approval Guideline
AAMA	: American Architectural Manufacturers Association
EN	: European Standards
AHP	: Analytic Hierarchy Process
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
COPRAS	: Complex Proportional Assessment
ÇKKV	: Çok Ölçütlü Karar Verme
MADM	: Multiple Attribute Decision-making
MCEM	: Multi-criteria Evaluation Methods
MCDM	: Multi-criteria Decision-making
MCA	: Multi-criteria Analysis
EPDM	: Etylene Propylene Dianene Monomere
TÜRKAK	: Türk Akreditasyon Kurumu



SEMBOLLER

A	: Karşılaştırma matrisi
A_i	: i. alternatif
a_{ij}	: Matris elemanı
C_i	: İdeal çözüme göreli yakınlık değeri
C_j	: j. değerlendirme ölçütü
C_p	: Emme katsayısı
CI	: Tutarlılık göstergesi
CR	: Özvektör tutarlılığı (tutarlılık oranı)
C1, C2, C3,...C10	: Ölçüt kodları
D	: Karşılaştırma matrisi ile üstünlük vektörünün çarpımı
DW	: Karar matrisi
E_i	: Her bir matris elemanının üstünlük vektörüne bölümü
FP1, FP2, FP3, FP4,FP5	: FP numunesi deney kodları
n	: Ölçüt sayısı
P_i	: Performans indeksi
P_{maks}	: Maksimum deney basıncı
P1, P2, P3, P4, P5,	: P numunesi deney kodları
q	: Rüzgâr basıncı (kN/m ²)
Q_i	: Göreli önem değeri
Q_{max}	: En yüksek göreli önem vektörü
r_j	: Ölçüt sırası
R	: Sonuç vektörü
S_i[*]	: İdeal ayırım ölçüsü
S_{i-}	: Faydasız ölçütler için ağ. norm. edilmiş karar matrisindeki değerlerin toplamı
S_i⁻	: Negatif ideal ayırım ölçüsü
S_{i+}	: Faydalı ölçütler için ağ. norm. edilmiş karar matrisindeki değerlerin toplamı
V	: Rüzgâr hızı (m/s)
w	: Eşdeğer statik basınç ya da emme kuvveti
W	: Özvektör (üstünlük vektörü)
w_j	: j. ölçüt için normalleştirilmiş ağırlık
W_j	: j. değerlendirme ölçütünün önem düzeyi
X_{ij}	: j. değerlendirme ölçütü açısından i. alternatifin değeri
λ_{max}	: Matrisin en büyük özvektörü



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Süreç şeması-1.....	6
Çizelge 1.2 : Süreç şeması-2.....	7
Çizelge 2.1 : Bina bileşenlerinin yaşam ömrü (Yang ve Peng, 2001).	14
Çizelge 2.2 : Taşıyıcı sistem seçiminde standartlar.	22
Çizelge 3.1 : Su püskürtme sistemi özellikleri.	53
Çizelge 3.2 : Cephe numunesi özellikleri.	58
Çizelge 3.3 : Cam birimi yapısal özellikleri.	59
Çizelge 3.4 : Cam malzemesi fiziksel özellikleri.	59
Çizelge 3.5 : Numune camlarının özellikleri.	60
Çizelge 3.6 : Fıtil malzemesi özellikleri.	60
Çizelge 3.7 : Numuneye ilişkin alüminyum profil özellikleri.	61
Çizelge 3.8 : Çalışma kapsamında yararlanılan standartlar.	62
Çizelge 3.9 : Numune kodları ve uygulama tarihleri.	63
Çizelge 3.10 : Deney sıralaması.	64
Çizelge 3.11 : Deney kodları (P numunesi).	66
Çizelge 3.12 : Deney kodları (FP numunesi).	66
Çizelge 3.13 : Deney süreleri (dk).	68
Çizelge 3.14 : Ortam koşulları.	69
Çizelge 3.15 : Deney basınç değerleri (Pa).	69
Çizelge 3.16 : Deney kapsamında yararlanılabilecek standartlar.	70
Çizelge 3.17 : Hava geçirgenlik deney sonuçları (m ³ /m ² h).	73
Çizelge 3.18 : Hava geçirgenlik sınıfları.	73
Çizelge 3.19 : Hava geçirgenlik deney sonuçlarının karşılaştırılması (m ³ /m ² h).	77
Çizelge 3.20 : Deney kapsamında yararlanılabilecek standartlar.	82
Çizelge 3.21 : Su sızdırmazlık basınç aşamaları ve sınıflandırma.	84
Çizelge 3.22 : Statik su sızdırmazlık deneyi sonuçları.	84
Çizelge 3.23 : Deney kapsamında yararlanılabilecek standartlar.	85
Çizelge 3.24 : Deney kapsamında yararlanılabilecek standartlar.	90
Çizelge 3.25 : Numune ölçüleri ve sensör koordinatları.	94
Çizelge 3.26 : Deney numuneleri ön sehim değerleri (mm).	97
Çizelge 3.27 : Maksimum ön sehim değerleri (mm).	99
Çizelge 3.28 : Deney kapsamında yararlanılabilecek standartlar.	101
Çizelge 4.1 : AHP hiyerarşik yapısı.	116
Çizelge 4.2 : Hiyerarşik yapı.	118
Çizelge 4.3 : AHP yöntemi bağıntı bilgileri.	119
Çizelge 4.4 : AHP yöntemi önem ölçeği.	120
Çizelge 4.5 : Deneysel veriler.	121
Çizelge 4.6 : Alternatifler için mutlak yükleme farkları (C1 ve C2 ölçütlerine bağlı).	122

Çizelge 4.7 : Alternatifler için mutlak yükleme farkları (C3 ve C4 ölçütlerine bağlı).	122
Çizelge 4.8 : Alternatifler için mutlak yükleme farkları (C5 ve C6 ölçütlerine bağlı).	122
Çizelge 4.9 : Alternatifler için mutlak yükleme farkları (C7 ve C8 ölçütlerine bağlı).	123
Çizelge 4.10 : Alternatifler için mutlak yükleme farkları (C9 ve C10 ölçütlerine bağlı).	123
Çizelge 4.11 : Alternatifler için puan aralığı değerleri.	124
Çizelge 4.12 : Alternatifler için karşılaştırma matrisleri (C1 ve C2 ölçütlerine bağlı).	124
Çizelge 4.13 : Alternatifler için karşılaştırma matrisleri (C3 ve C4 ölçütlerine bağlı).	125
Çizelge 4.14 : Alternatifler için karşılaştırma matrisleri (C5 ve C6 ölçütlerine bağlı).	125
Çizelge 4.15 : Alternatifler için karşılaştırma matrisleri (C7 ve C8 ölçütlerine bağlı).	125
Çizelge 4.16 : Alternatifler için karşılaştırma matrisleri (C9 ve C10 ölçütlerine bağlı).	126
Çizelge 4.17 : Düzenlenmiş deneysel veriler.	127
Çizelge 4.18 : Değer ortalamaları.	128
Çizelge 4.19 : Ön sehim ana ölçütüne bağlı alt ölçütler için karşılaştırma matrisi.	128
Çizelge 4.20 : Hava geçirgenlik alt ölçütleri için puan aralıkları.	129
Çizelge 4.21 : Hava geçirgenlik ana ölçütüne bağlı alt ölçütler için karşılaştırma matrisi.	129
Çizelge 4.22 : Üstünlük matrisi (ağırlık değerleri) [W].	130
Çizelge 4.23 : Rassallık indeksi verileri.	131
Çizelge 4.24 : Özvektör tutarlılığı (CR) değerleri (ön sehim alt ölçütü için).	132
Çizelge 4.25 : Özvektör tutarlılığı (CR) değerleri (hava geçirgenlik alt ölçütü için).	132
Çizelge 4.26 : CR değerleri (maksimum ön sehim alt ölçütüne bağlı alternatifler için).	132
Çizelge 4.27 : CR değerleri (maksimum hava geçirgenlik alt ölçütüne bağlı alternatifler için).	133
Çizelge 4.28 : CR değerleri (sismik dayanım deneyi sonrası hava geçirgenlik farkı alt ölçütüne bağlı alternatifler için).	133
Çizelge 4.29 : CR değerleri (rüzgâr yüküne dayanım deneyi sonrası hava geçirgenlik farkı alt ölçütüne bağlı alternatifler için).	134
Çizelge 4.30 : CR değerleri (deney başlangıcı ve sonundaki hava geçirgenlik değeri arasındaki fark değeri alt ölçütüne bağlı alternatifler için).	134
Çizelge 4.31 : [DW] karar matrisi.	135
Çizelge 4.32 : COPRAS yöntemi sembol bilgileri.	136
Çizelge 4.33 : COPRAS yöntemi ölçüt ve alternatif kodları.	137
Çizelge 4.34 : [D] karar matrisi.	137
Çizelge 4.35 : [Xij] normalize karar matrisi.	138
Çizelge 4.36 : [D'] ağırlıklı normalize karar matrisi.	139
Çizelge 4.37 : Faydalı ve faydasız ölçütler.	140
Çizelge 4.38 : Faydalı ve faydasız ölçüt değerleri.	140
Çizelge 4.39 : Göreceli önem değerleri.	140
Çizelge 4.40 : Performans indeksi değerleri (%).	141

Çizelge 4.41 : Karar matrisi örneği [A].	142
Çizelge 4.42 : [D] karar matrisi.	142
Çizelge 4.43 : Standart karar matrisi [R].	143
Çizelge 4.44 : Ağırlıklı standart karar matrisi [V].	143
Çizelge 4.45 : Çözüm setleri (A^* ve A^-).	145
Çizelge 4.46 : Ayırım ölçü değerleri.	145
Çizelge 4.47 : Göreli yakınlık değerleri.	146
Çizelge 5.1 : Ölçüt önem sıralaması.	148
Çizelge 5.2 : Performans değerlendirme süreci.	149
Çizelge 5.3 : Numunelerin ilgili değerlendirme metodlarına göre kritiklik oranları (M).	150
Çizelge 5.4 : Regresyon analizi kritiklik oranı değerleri.	152
Çizelge A.1 : Hava geçirgenlik değerleri (P1).	171
Çizelge A.2 : Hava geçirgenlik değerleri (P2).	171
Çizelge A.3 : Hava geçirgenlik değerleri (P3).	172
Çizelge A.4 : Hava geçirgenlik değerleri (P4).	172
Çizelge A.5 : Hava geçirgenlik değerleri (P5).	172
Çizelge A.6 : Hava geçirgenlik değerleri (FP1).	173
Çizelge A.7 : Hava geçirgenlik değerleri (FP2).	173
Çizelge A.8 : Hava geçirgenlik değerleri (FP3).	173
Çizelge A.9 : Hava geçirgenlik değerleri (FP4).	174
Çizelge A.10 : Hava geçirgenlik değerleri (FP5).	174
Çizelge A.11 : Maksimum hava geçirgenlik değerleri ($m^3/h.m^2$).	174
Çizelge A.12 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme değerleri (P1).	175
Çizelge A.13 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme değerleri (P2).	175
Çizelge A.14 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme değerleri (P3).	175
Çizelge A.15 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme değerleri (P4).	176
Çizelge A.16 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme değerleri (P5).	176
Çizelge A.17 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme değerleri (FP1).	176
Çizelge A.18 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme değerleri (FP2).	177
Çizelge A.19 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme değerleri (FP3).	177
Çizelge A.20 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme değerleri (FP4).	177
Çizelge A.21 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme değerleri (FP5).	178
Çizelge A.22 : Sismik yükleme öncesi ve sonrası hava geçirgenlik değerleri (P1), ($m^3/h.m^2$).	178
Çizelge A.23 : Sismik yükleme öncesi ve sonrası hava geçirgenlik değerleri (P2), ($m^3/h.m^2$).	178
Çizelge A.24 : Sismik yükleme öncesi ve sonrası hava geçirgenlik değerleri (P3), ($m^3/h.m^2$).	179
Çizelge A.25 : Sismik yükleme öncesi ve sonrası hava geçirgenlik değerleri (P4), ($m^3/h.m^2$).	179
Çizelge A.26 : Sismik yükleme öncesi ve sonrası hava geçirgenlik değerleri (P5), ($m^3/h.m^2$).	179
Çizelge A.27 : Sismik yükleme öncesi ve sonrası hava geçirgenlik değerleri (FP2), ($m^3/h.m^2$).	180
Çizelge A.28 : Sismik yükleme öncesi ve sonrası hava geçirgenlik değerleri (FP3), ($m^3/h.m^2$).	180
Çizelge A.29 : Sismik yükleme öncesi ve sonrası hava geçirgenlik değerleri (FP4), ($m^3/h.m^2$).	180

Çizelge A.30 : Sismik yükleme öncesi ve sonrası hava geçirgenlik değerleri (FP5),(m ³ /h.m ²).	181
Çizelge A.31 : P1 numunesi deney sonuçları.	182
Çizelge A.32 : P2 numunesi deney sonuçları.	183
Çizelge A.33 : P3 numunesi deney sonuçları.	184
Çizelge A.34 : P4 numunesi deney sonuçları.	185
Çizelge A.35 : P5 numunesi deney sonuçları.	186
Çizelge A.36 : FP1 numunesi deney sonuçları.	187
Çizelge A.37 : FP2 numunesi deney sonuçları.	188
Çizelge A.38 : FP3 numunesi deney sonuçları.	189
Çizelge A.39 : FP4 numunesi deney sonuçları.	190
Çizelge A.40 : FP5 numunesi deney sonuçları.	191



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : (a) Reliance Binası ön görünüşü, (b) Reliance Binası üst katların görünüşü, (a) Reliance Binası cephe görünüşü, (Url-1 ; Url-2 ; Url-3).	10
Şekil 2.2 : Cephe yüzey tipleri (Herzog ve Krippner, 2005).	15
Şekil 2.3 : Cephe biriminin rüzgâr yükü altında eğilme davranışı (Galli, 2010).....	16
Şekil 2.4 : Cephe taşıyıcı bileşenleri (Knaack ve Klein, 2007).	17
Şekil 2.5 : Cephe yük transferi (Knaack ve Klein, 2007).	20
Şekil 2.6 : Yük transferi (Knaack ve Klein, 2007).	20
Şekil 2.7 : Cephe taşıyıcı sistem tipleri (Herzog ve Krippner, 2005).	22
Şekil 2.8 : (a) Tekli cam yüzey kesit tanımlaması, (b) Lamine cam yüzey kesit tanımlaması, (c) Yalıtımlı cam yüzey kesit tanımlaması, (d) Yalıtımlı lamine cam yüzey kesit tanımlaması (Quirouette ve Arch, 2005).	24
Şekil 2.9 : Rüzgâr hareketleri (Ambrose, 1993).	31
Şekil 2.10 : Bina formuna bağlı rüzgâr etkisi (Ambrose, 1993).	33
Şekil 2.11 : (a) Binanın deprem yüküne karşı davranışı. (b) Bina periyodu (Galli, 2010).	36
Şekil 2.12 : (a) Yer çekimi ile su geçişi, (b) Kinetik enerji ile su geçişi, (c) Yüzey gerilimi ile su geçişi, (d) Kılcal hareket ile su geçişi, (e) Hava taşınımı ile su geçişi, (f) Basınç farkı ile su geçişi (CWCT, 2001).	39
Şekil 2.13 : (a) Çubuk sistem, (b) Panel sistem (Makepeace, 2004).	42
Şekil 2.14 : Giydirme cephe terminolojisi (Makepeace, 2004).	43
Şekil 2.15 : (a) Çubuk sistem bileşenleri, (b) Panel sistem bileşenleri (Makepeace, 2004).	44
Şekil 2.16 : Tipik bir panel giydirme cephe sistemi (AS/NZS 4284).	46
Şekil 2.17 : Cephe montaj süreci (Friblick ve diğ, 2009).	47
Şekil 3.1 : (a) Deney odası hava ve su tedarik sistemi yerleşimi, (b) Su püskürtme sisteminin deney odası içerisinden görünümü.	53
Şekil 3.2 : Deney düzeneği düşey kesiti.	55
Şekil 3.3 : Deney düzeneği yerleşimi.	56
Şekil 3.4 : Deney düzeneğine yerleştirilmiş cephe numunesi.	56
Şekil 3.5 : Deney numunelerinin kullanıldığı proje örnekleri (a) Black sea Tower, (b) Dap Yapı Tango Kule, (c) Dap Yapı Dalga Kule (d) Dap Yapı Vazo Kule (Url-4 ; Url-5 ; Url-6 ; Url-7).	57
Şekil 3.6 : Cam kesiti.	59
Şekil 3.7 : Panel birleşim noktası detayı.	61
Şekil 3.8 : (a) Numune ön görünüş fotoğrafı, (b) Numune ön görünüş çizimi.	62
Şekil 3.9 : Deney merkezinde açık alanda bekletilen FP numunesi.	65

Şekil 3.10 : Deney merkezinde paketleme işlemi tamamlanan numune P numunesi.	65
Şekil 3.11 : Basınç uygulama adımları (a) Pozitif basınç, (b) Negatif basınç.	72
Şekil 3.12 : Maksimum hava geçirgenlik değerleri. (a) P numunesi, (b) FP numunesi.	74
Şekil 3.13 : Pozitif yükleme için maksimum hava geçirgenlik değerleri (P numunesi).	74
Şekil 3.14 : Negatif yükleme için maksimum hava geçirgenlik değerleri (FP numunesi).	75
Şekil 3.15 : Pozitif yükleme için maksimum hava geçirgenlik değerleri (FP numunesi).	75
Şekil 3.16 : Negatif yükleme için maksimum hava geçirgenlik değerleri (FP numunesi).	76
Şekil 3.17 : Pozitif ve negatif yükleme için hava geçirgenlik grafiği (P1).	77
Şekil 3.18 : Pozitif ve negatif yükleme için hava geçirgenlik grafiği (P2).	78
Şekil 3.19 : Pozitif ve negatif yükleme için hava geçirgenlik grafiği (P3).	78
Şekil 3.20 : Pozitif ve negatif yükleme için hava geçirgenlik grafiği (P4).	78
Şekil 3.21 : Pozitif ve negatif yükleme için hava geçirgenlik grafiği (P5).	78
Şekil 3.22 : Pozitif ve negatif yükleme için hava geçirgenlik grafiği (FP1).	79
Şekil 3.23 : Pozitif ve negatif yükleme için hava geçirgenlik grafiği (FP2).	79
Şekil 3.24 : Pozitif ve negatif yükleme için hava geçirgenlik grafiği (FP3).	79
Şekil 3.25 : Pozitif ve negatif yükleme için hava geçirgenlik grafiği (FP4).	79
Şekil 3.26 : Pozitif ve negatif yükleme için hava geçirgenlik grafiği (FP5).	80
Şekil 3.27 : (a) Su sızdırmazlık deneyi (statik) sırasında dış ortamdan görünüş. (b) Su püskürtme sisteminin deney odası içerisinden görünümü.	81
Şekil 3.28 : Su sızdırmazlık deneyi basınç prosedürü.	83
Şekil 3.29 : Deney sırasında su sızıntısı (a) Numune üzerinde su sızıntısının görüldüğü noktanın (W1) fotoğrafı (b) Çizim üzerinde gösterimi.	85
Şekil 3.30 : ROTAX uçak motoru.	88
Şekil 3.31 : Önyüz sehim.	90
Şekil 3.32 : Bağlantı durumuna göre yerdeğiştirme (AS/NZS4284).	91
Şekil 3.33 : Yerdeğiştirme ölçerlerin yerleştirilmesi (a) Deney numunesi arka yüzeyi (b) Deney numunesi yan görünümü.	92
Şekil 3.34 : Cephe paneli üzerindeki yerdeğiştirme ölçerlerin konumu.	93
Şekil 3.35 : Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi için pozitif ve negatif basınç prosedürü.	94
Şekil 3.36 : Planda kare kesitli ve eğik çatılı kapalı yapılarda rüzgâr yükünün ana taşıyıcı sistem doğrultusunda dağıtımı (TS 498).	95
Şekil 3.37 : P numunesi pozitif ve negatif ön sehim değerleri.	97
Şekil 3.38 : FP numunesi pozitif ve negatif ön sehim değerleri.	98
Şekil 3.39 : P numunesi pozitif ve negatif ön sehim değişimi.	98
Şekil 3.40 : FP numunesi pozitif ve negatif ön sehim değişimi.	98
Şekil 3.41 : P numunesi maksimum ön sehim değerleri.	99
Şekil 3.42 : FP numunesi maksimum ön sehim değerleri.	100
Şekil 3.43 : Deney numunesi sismik hareketi (AAMA 501.4-09).	101
Şekil 3.44 : Sismik dayanım deneyi esnasında deney numunesi.	103
Şekil 3.45 : Rüzgâr basınç düzeneği (emme).	104
Şekil 3.46 : Yorma deneyi basınç değerleri (ETAG 17).	105
Şekil 5.1 : FP numunesi'nin P numunesine göre kritiklik durumu (kritiklik oranı).	151
Şekil A.1 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme grafiği (P1).	168

Şekil A.2 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme grafiği (P2).	168
Şekil A.3 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme grafiği (P3).	168
Şekil A.4 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme grafiği (P4).	169
Şekil A.5 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme grafiği (P5).	169
Şekil A.6 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme grafiği (FP1).	169
Şekil A.7 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme grafiği (FP2).	170
Şekil A.8 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme grafiği (FP3).	170
Şekil A.9 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme grafiği (FP4).	170
Şekil A.10 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme grafiği (FP5).	171
Şekil B.1 : Profil kodları (P002N kodlu panel).	192
Şekil B.2 : Profil kodları (P001N kodlu panel).	192
Şekil B.3 : Panel detayı (P002N kodlu panel).	193
Şekil B.4 : Panel detayı (P001N kodlu panel).	194
Şekil B.5 : Panel üretimi kesim tablosu (P002N kodlu panel).	195
Şekil B.6 : Panel üretimi kesim tablosu (P001N kodlu panel).	196
Şekil B.7 : Deney düzeneği yerleşimi ön görünüşü.	197
Şekil B.8 : Deney düzeneği yerleşimi plan görünüşü.	198
Şekil B.9 : Deney düzeneği yerleşimi kesit görünüşü.	199
Şekil B.10 : (a) Numune transfer işlemi, (b), (c) Panel söküm işlemi, (d), (e) Panel birleşim noktasında oluşan hasar durumu.	200



GERÇEK BOYUTLU CAM PANEL CEPHE SİSTEMİNİN UZUN DÖNEM TAŞIYICILIK VE SIZDIRMAZLIK PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Panel giydirme cephe sistemleri özellikle çok katlı binalarda hafifliği, uygulama kolaylığı ve uzun dönem performansı bakımından yaygın olarak kullanılan sistemlerdir. Giydirme cephe sistemi tasarımı bina ölçeği ve kat yüksekliği arttıkça bakım ve onarım maliyeti de orantılı olarak artmaktadır. Bir binanın olası bakım ve onarım maliyetlerini azaltmak ve bina kullanımı süresince iç ve dış konfor koşullarının sürdürülebilmesi, binanın yaşam dönemi boyunca problem olabilecek faktörlerin belirlenmesi, test edilmesi ve test sonuçlarına bağlı olarak sistem tasarımlarının gerçekleştirilmesi önemlidir.

Çalışma kapsamında, çok katlı binalara uygulanan bir panel giydirme cephe sisteminin dış ortama açık deney düzeneği üzerinde uzun dönemde göstereceği taşıyıcılık ve sızdırmazlık performansının belirlenmesi amacıyla yönelik olarak gerçek zamanlı ve gerçek boyutlarda deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Deneysel çalışmalar, çok katlı binalarda üst katlarda rüzgâr yüklerinin artması ve iklimsel koşullardaki değişime bağlı olarak cephe performansının değişiminin belirlenmesi ilkesine dayanmaktadır. Çalışma kapsamında birebir aynı detaya sahip iki ayrı panel sistem seçilerek test prosedürleri uygulanmıştır. Sistemlerden yalnızca birine yorma deneyi uygulanmış ve her iki sistemin bir yıllık deneysel çalışma sürecinde rüzgâr, hava, su ve sismik dayanım deneyleri beş farklı dönemde gerçekleştirilerek sistemlerin farklı dönemlerdeki performans değişimleri belirlenmiştir. Her deney sonrasında sayısal sonuçlar alınarak standartlarda yer alan sınır değerlerin aşıp aşılmadığı kontrol edilmiş ve sistemlerin farklı performans parametreleri ortaya konmuştur.

Tez altı Bölüm'den oluşmaktadır. Bölüm 1'de çalışmanın amacı, kapsamı, yöntemi ve çalışma süreci hakkında bilgiler verilmiştir. Giydirme cephelerin bütünü ele alınarak, cephelerin gelişimi ve cephe bileşenleri hakkında bilgiler Bölüm 2'de incelenmiştir. Daha sonra, taşıyıcılık ve sızdırmazlık ölçütlerine bağlı olarak performans gereksinimleri açıklanmış ve giydirme cephelerin gelişmiş bir türü olan panel sistemler hakkında bilgiler sunulmuştur. Bölüm 3 tez çalışmasının ana bölümü olup burada deneysel çalışmanın süreç şeması ile deneyler açıklanarak deneylerden elde edilen sayısal sonuçlara yer verilmiştir. Önceki bölümde elde edilen sayısal sonuçlar kullanılarak performans değerlendirmesi Bölüm 4'de yapılmıştır. Performans değerlendirmesi yapılırken günümüzde birçok problemin çözümünde yaygın olarak kullanılan çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden AHP, COPRAS ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak sistemlerin uzun dönemde gösterdiği performans değişimi ortaya konmuştur. Gerçekleştirilen çalışmanın topluca genel bir değerlendirmesi Bölüm 5'de, elde edilen sonuçlar ve gelecekte yapılabilecek olası çalışmalar için öneriler ise Bölüm 6'da verilmiştir.



LONG TERM STRUCTURAL AND IMPERMEABILITY PERFORMANCE EVALUATION OF A FULL-SCALE GLASS PANEL FAÇADE SYSTEM

SUMMARY

Unitized curtain wall systems have been widely seen on high-rise buildings' façades by bringing benefits with regard to ease of construction, lightness, etc. However, some design and application problems related to structural and infiltration performance of a façade system might arise during its lifetime, which is difficult for the building to compensate. Therefore, tests related to building façade system performance are of importance for assuring the comfort requirements and reducing the maintenance and repair costs as well as preventing the potential problems which may be faced during building's lifetime. Full-scale preconstruction curtain wall mock-up testing is today normally considered a standard practice for buildings where the curtain wall is a custom application for high-rise buildings, and for buildings where a high confidence level is desired.

Within the scope of this work, real time and full-scale performance tests in accordance with the load-bearing and impermeability criteria are performed on an outdoor test rig for a unitized glass curtain wall panel which is mostly applied on high-rise buildings. The study is based on the principle of the determination of performance change depending on wind pressure increase in upper stories of high-rise buildings and the variations of climatic conditions during the building's lifetime. Full-scale mock-up testing of two identical unitized curtain wall panels was carried out. During the testing process, one specimen was subjected to a prescribed fatigue process before conducting the standard test procedures while only the standard test procedures were applied on the other identical specimen. In total, six test sequences were conducted on the reference Specimen P and fatigued Specimen FP. The categories of the tests for P are air infiltration, water penetration under static pressure, wind resistance, seismic resistance as the standard tests. Water penetration under dynamic pressure tests and fatigue procedure were the additional tests for FP along with the standard tests. After each test sequence, quantitative results were determined and checked whether the limit values of the related standards were exceeded. Various experimental behavioral parameters of the two panels are presented with graphics.

This thesis consists of six Chapters: In Chapter 1, the aim, scope, method and motivation for this study are given. The existing curtain wall systems are classified and general information was given considering the systems and the components in Chapter 2. Afterwards, minimum performance requirements to compensate the load-bearing and impermeability criteria are explained. Additionally, information regarding the unitized panel systems in particular is presented. Chapter 3 is the main chapter of the thesis and comprises of the testing sequence, full-scale experimental study, and quantitative test results. In Chapter 4, a numerical performance evaluation study is performed by using the experimental data obtained from the experimental study. Widely used numerical methods such as AHP, COPRAS, and TOPSIS were selected for the performance evaluation of the standard and fatigue tested panels by

taking into account of multi-criteria as load-bearing and impermeability. With the help of these evaluation methods, comparative lifetime performances of the tested panels were obtained and critical level of the tested panels denoting the loss of performance was found. A general summary and evaluation of the thesis is given in Chapter 5. Chapter 6 presents the results obtained from the experimental work and also includes the suggested potential future studies for fulfilling the topic covered in this thesis.

The experimental study was carried out on a large test rig located at the Façade Testing Institute, at Çatalca. Air infiltration, static and dynamic penetration, resistance to wind load, seismic resistance and fatigue test procedures were conducted for the full scale façade specimens. The test specimens consist of two identically detailed unitized curtain wall systems with 2,40m width, 4,45m height dimensions, and are comprised of aluminum framing members and insulating glass units. In total, 10 tests were conducted for the standard and fatigue specimens at five phases during 15 months with different intervals between each testing sequence. After completing each testing phase, the test specimens were exposed under environmental effects till the next phase.

Air infiltration tests have been conducted in accordance with TS EN 1253 standard where the air infiltration limit value is set as $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$. Static water penetration tests have been conducted in accordance with TS EN 12155 standard and impermeability of the specimens were observed during the tests where quantitative data were not possible to obtain due to the testing procedure. Wind resistance tests have been conducted in accordance with TS EN 12179 standard, the 15 mm deflection limit value given by the standard was taken into consideration. Seismic resistance tests have been conducted in accordance with AAMA 501.4 and AAMA 501.7 standards where a horizontal movement/displacement was applied on the lower beams placed on the specimens in the amount stated in the standard. Potential damages were conducted following these tests. Dynamic water penetration tests have been conducted in accordance with AAMA 501.1 standard. A ROTAX aircraft type engine was used as a wind generator simultaneously with high pressure water application on the specimen. The water penetration of the inner surface of the specimen was inspected during the tests. The fatigue procedure application has been performed in accordance with ETAG 17 standard. Suction was applied in accordance with the standard. At the end of the test, the specimen was scrutinied whether there is any deficiency or failure.

Both specimens used in the experimental part of the study are identical and 5 performance tests were conducted on each one during a 450 day long test process. Generally accepted and prevalently used standard test procedures were applied on specimen P whereas two additional procedures were conducted on specimen FP to fatigue the façade system in order to obtain more realistic results regarding the long term performance of the unitized curtain wall panels. These tests were defined as dynamic impermeability test comprising water spray application with high wind pressure and ETAG 17 comprising gradual increase in air pressure and sudden application of suction loads.

A multi-criteria performance evaluation was conducted with the obtained experimental data by considering the load-bearing and impermeability criteria. Multiple criteria evaluation methods, namely AHP, COPRAS and TOPSIS, were used within the framework of the performance evaluation and the results were compared. One single and several best options to present the purpose or purposes were chosen by the performance evaluation method related with the decision making. The definition of the multiple criteria decision is being carried out by determining the criteria related to the problem as well as determining the suitability of the alternatives in relation to the chosen criteria. The multiple criteria decision process can be defined generally as defining the problem, determination of the assessment criteria, preparation of the criterion layers and their standardisation, the definition of the criterion weights and the application of the decision analysis. Assessment criteria have to be determined after defining the problem during the decision analysis. The criteria which were defined with regard to the purposes of the decision problem have to be measurable by a number indicating the choices of the decision maker. A total of 10 criteria have been identified in the study.

The alternative with the highest numerical value received higher points during the scoring of the alternatives in the assessment. Therefore, a high score value indicates a high numerical result meaning that the relevant alternative provides values, which are closer to the borderlines values. The condition of being close to borderline values, proves that the relevant alternative provides more critical results in comparison to other results. The “critical level” was defined within the performance evaluation process and it indicates the values (%) of the obtained performance indicators as a result of the assessment results. The performance indicator data obtained from the calculations of the AHP, COPRAS and TOPSIS methods, were utilized during the numerical assessment process. Here, the critical levels of the samples at the 0th, 90th, 270th, 390th and 450th days were calculated.

As a result of the performance evaluations, it has been determined that it is not possible to ignore the climatic effects on the building structure in which the façade system is mounted. Acquirement of appropriate results in a unitized curtain wall panel system which has been tested with adherence to the prevalently used experimental procedure, or in other words, the results which are not exceeding the limit values given in the standards, do not mean that this wall system will not experience any damage throughout its lifetime. One important result obtained as a result of this present study is that a unitized curtain wall panel system, which has been tested without taking into consideration the unexpected conditions it may endure, may face a shorter life expectancy in case it is exposed to these untested conditions.

1. GİRİŞ

1.1 Motivasyon, Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Ülkemizde ve dünyadaki birçok ülkede çok katlı bina uygulamasının yaygınlaşmasıyla birlikte hafiflik, uygulama kolaylığı ve farklı tasarım olanakları sunan giydirme cephelerin kullanımı her geçen gün daha da artmaktadır. Çok katlı binaların uygulama aşamasının normal koşullarda az katlı binalara göre daha uzun sürmesi ve iklimsel koşulların çok katlı binalarda daha farklı olması giydirme cephelerin kullanımını arttırmıştır. Bu süreçte çok katlı bina proje uygulamalarında kısa sürede yaygınlaşan, projenin daha hızlı kullanıma hazır duruma getirilebilmesini sağlayan ve daha kaliteli yapım süreci oluşturan panel giydirme cephe sistemleri ortaya çıkmıştır. Panel giydirme cephe sistemleri birçok üstünlük sağlaması ile birlikte tasarım ve uygulamadan kaynaklanan problemler oluşması durumunda binanın yaşam dönemi esnasında düzeltilmesi oldukça zor olan sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Bu sorunların en aza indirilmesi amacıyla da uygulama öncesinde giydirme cephe sistemlerine standartların öngördüğü normal deney prosedürü mutlaka uygulanmalı, sınır değerlerin üzerine çıkılması durumunda sistemde gerekli revizyonlar yapılarak deneyler tekrarlanmalı ve daha sonra uygulama aşamasına geçilmelidir.

Panel giydirme cephe sistemleri, özellikle çok katlı bina cepheleri tasarlarken ince profilleri ve yüksek yalıtım özellikleri sayesinde tasarımcılara farklı yaratıcılık potansiyelleri sunmaktadır. Cephenin iç ve dış görünen yüzeylerindeki genişlikleri azaltarak cam alanı ve dolayısıyla cephedeki saydamlık oranı arttırılmaktadır. Bununla birlikte, uygulama kolaylığı, seri üretime olanak sağlaması ve bu sayede yapım süresinin kısılması, cam ve çerçeve birimi özelliklerindeki gelişmelere bağlı olarak ısı performansının artırılması, diğer sistemlere göre iklimsel koşullardan daha az etkilenmesi ve dolayısıyla sızdırmazlığın sağlanması gibi nedenlerle panel sistemler yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Giydirme cephelerin tasarım aşamasında alınacak kararlarla, uygulama ve kullanım aşamasında oluşabilecek

sorunların en aza indirilmesi varsayımıyla yola çıkılan bu çalışmanın genel amacını çok katlı binalarda düşey kabuk olarak tanımlanan cephelerin gelişmiş bir türü olan panel giydirme cam cephe sistemlerinin kullanım aşamasını göz önünde bulunduran yaşam dönemi boyunca performansının belirlenmesi oluşturmaktadır. Bu kapsamda seçilen gerçek boyutlardaki cephe numuneleri için taşıyıcılık ve sızdırmazlık ölçütlerine bağlı performans ölçütleri doğrultusunda dış ortama açık deney düzeneği üzerinde gerçek zamanlı olarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında taşıyıcılık ve sızdırmazlık bakımından etkin bir panel giydirme cam cephe sisteminden beklenen alt amaçlar, beklenen etkinlikler doğrultusunda aşağıdaki gibi düzenlenmiştir:

- a. Taşıyıcılık performansı açısından:
 - a.1. Yüksek rüzgâr basıncı altında gerilmelerin ve ankraj deformasyonunun sınır değerlerde tutulması,
 - a.2. Sismik (deprem) yüklerine karşı dayanımın sağlanması.
- b. Sızdırmazlık performansı açısından:
 - b.1. Optimum iç ortam koşullarının sağlanması,
 - b.2. İç ortama rüzgâr geçişinin engellenmesi,
 - b.3. Yatay oluklarda ve bileşen bağlantılarında sızdırmazlık sağlanması.

1.2 Problemin Tanımı

Cephe tasarımının en önemli ölçütlerden biri su sızdırmaz bir cephenin tasarlanması - ve doğru bir şekilde uygulanmasıdır. Bu kapsamda, panel birleşim noktaları gibi kritik noktalarda daha dayanıklı malzemeler kullanılmalıdır. Çok katlı binalarda özellikle üst katlara çıkıldıkça yüksek rüzgâr hızı ve rüzgâr ile itilen yağmur suyunun etkisi ile cephe içerisine su geçişi olabilmektedir.

Sistem içerisinde kritik bölgelerde gözlenen olası bozulmaların nedenleri ise genellikle şu şekilde olmaktadır:

- a. Panel birleşim noktalarında ilk uygulama işçiliğinin kalitesizliği,
- b. Binanın yaşlanması ile birlikte gerekli bakım onarımın yapılmaması,
- c. Binada tekrar eden ısı, rüzgâr ve sismik yüklerin neden olduğu sızdırma, birleşim noktalarında ayrılma gibi olumsuz sonuçlar.

Cephe sistemlerinde suyun girdiği yerden genellikle hava da kolaylıkla girebilmektedir. Hava ve suyun nüfuz etmesi aşağıdaki sonuçları ortaya çıkarmaktadır.

- a. İç mekânda bitiş elemanları zarar görür,
- b. Yatay ve düşey profiller arasında ya da cam üniteleri etrafındaki sızdırmazlık bozulur,
- c. Sistemin metal olan ara bağlantı elemanlarında korozyon başlar, taşıyıcılık azalır (Tekin, 2006b).

Giydirme cephe uygulamalarında diğer bir önemli problem kullanılan vida, conta, vb. bağlantı malzemelerinin yarattığı problemlerdir. Cephede normal çelik vida kullanılması durumunda çelik 10 yıl içerisinde alüminyum malzeme ile kimyasal tepkimeye girer, vida özelliğini kaybeder ve camlar aşağı düşmeye başlar (Direk, 2003). Genel olarak, giydirme cephelerin uygulama aşamasında en sık karşılaşılan problemler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- a. Tasarım ve projelendirmeden kaynaklanan problemler:
 - a.1. Uygun olmayan tasarım ve gereksiz detaylandırmalar,
 - a.2. Yanlış hesaplamalar ve boyutlandırmalar sonucu oluşan istenmeyen yatay ve düşey hatlar, gereksiz bölüntüler oluşması,
 - a.3. Cepheyi oluşturan kaplama malzemeleri arasındaki uyumsuzluk,
 - a.4. Boyutları uygun olmayan camların kırılması, taşıyıcı sistem hesaplarının yetersizliği ya da hatalı profil seçimi nedeniyle rüzgâr basıncının cepheyi koparması,
 - a.5. Alüminyum profillerin sıcaklık değişimleri ile şekil değiştirmesi,
 - a.6. Yatay kayıtlarda genleşme lastiği olmaması durumunda cephede gürültü oluşması, binanın oturması ya da cephe elemanlarında yükler altında ölçü değişiminin istenen sınırların üzerine çıkması durumunda camların kırılması, aralarında açılma ya da sıkışma olması,
 - a.7. Üst katlarda cephenin maruz kalacağı aşırı gerçek rüzgâr yükünün tasarım sırasında doğru bir biçimde kestirilememesi ya da göz ardı edilmesi.
- b. Malzeme seçiminden kaynaklanan problemler:
 - b.1. Çelik inoks vida kullanılmaması durumunda paslanma oluşması,

- b.2. Dış cephede temperli cam kullanılmaması durumunda kırılma anında parça tesiri oluşması,
 - b.3. Cam fitillerinin uygun malzemeden seçilmemiş olması durumunda boyunun kısılması, su alması ve çürümesi.
 - c. Uygulamadan kaynaklanan problemler:
 - c.1. Tasarım sonrasında hatalı uygulanan ölçüler,
 - c.2. Şakül ve terazisinde yapılmayan uygulamalar sonucu karşılaşılan problemler,
 - c.3. Sistem montajının hassas yapılmaması ya da eksik yapılması ile katlar arasına kapatıcı ve yangın tutucu konulmaması sonucu oluşan problemler,
 - c.4. Ustaların cephe sistemi uygulama konusundaki yetersizliği,
 - c.5. Sistemin üretiminden kaynaklanan problemler,
 - c.6. Maliyeti azaltmak amacıyla şartnameye uyulmaması ve bunun kontrol edilmemesi,
 - c.7. Yapımda belirli bir konstrüksiyon sıralamasının olmaması, dolayısı ile detayların sağlıklı işlememesi,
 - c.8. Uygulama ekibi içerisindeki zamanında ve tam olmayan zayıf iletişim
 - c.9. Yüzey birleşim arakesitlerinde (parapet bitişleri, alt başlık, yan duvar bitişleri, iç ve dış köşeler, farklı bir malzeme ya da duvarla birleşme) yanlış uygulanan detaylar sonucu su ve havanın cephe içerisine girmesi, düşey profillerin cephe bitim noktalarında açık kalması halinde su alması ya da kontrollü iç havayı dışarı aktarması gibi problemler oluşmaktadır.
- (Direk, 2003).

Panel sistem cephelerde sistem hazır olarak sahaya getirildiği için üretim daha kalitelidir, çalışma kolaylığı fazladır ve çok katlı binalarda bina salınımlarına bağlı toleranslar bu uygulama sayesinde kolayca verilebilmektedir. Sistemin en belirgin özelliği ise montaj süresinin kısa olması ve yaygın olarak çok katlı binalara uygulanan bir sistem olmasıdır. Çok katlı bina uygulamalarında cephe sistemi deneysel işlemlerinin iklimsel etmenler göz ardı edilerek gerçekleştirilmesi sonucunda yaşam dönemi içerisinde zamanla cephede sızdırma, kopma, kırılma, ayrılma, vb. problemler ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, cephenin uygulanacağı bölgeye ilişkin iklimsel etmenler, emniyet faktörü ve kullanıcı konforu ölçütleri gözönüne alınarak deneysel uygulamaya başlanmalıdır.

Panel sistem cephelerde karşılaşılan problemlerin bitmiş cephe üzerinde çözümü, onarılması ya da yenilenmesi oldukça zor ve yüksek maliyetlidir. Bu nedenle, tasarım evresinde alınacak kararlar ile özellikle büyük ölçekli projelerde uygulama öncesinde cephe sistemi tüm bağlantı ve dolgu elemanları ile birlikte bir sistem olarak laboratuvar ortamında deneysel işlemlerden geçirilmelidir. Panel sistemler yaşam dönemi boyunca doğal etmenler karşısında ilk günlük performansını koruyamaz. Zaman içerisinde iklimsel etmenler cephe panellerine etki ederek taşıyıcılık ve sızdırmazlık performansını önemli ölçüde düşürebilir. Bu bağlamda, uygulama öncesinde genel kabul görmüş standard deney prosedürüne ek olarak cephe sistemi için yorma deneyleri uygulanarak sistemin uzun dönem performansının belirlenmesi önem taşımaktadır. Böylece, cephenin yaşam dönemi boyunca oluşabilecek sorunların azaltılması mümkün olabilecektir.

1.3 Çalışmanın Yöntemi

Bu çalışmada, seçilen örnek bir panel giydirme cephe sisteminin taşıyıcılık ve sızdırmazlık ölçütlerine bağlı yaşam dönemi performansının belirlenebilmesi için rüzgâr yüküne karşı dayanım, su sızdırmazlık, hava geçirimsizlik ve sismik dayanım performans koşulları ele alınacaktır.

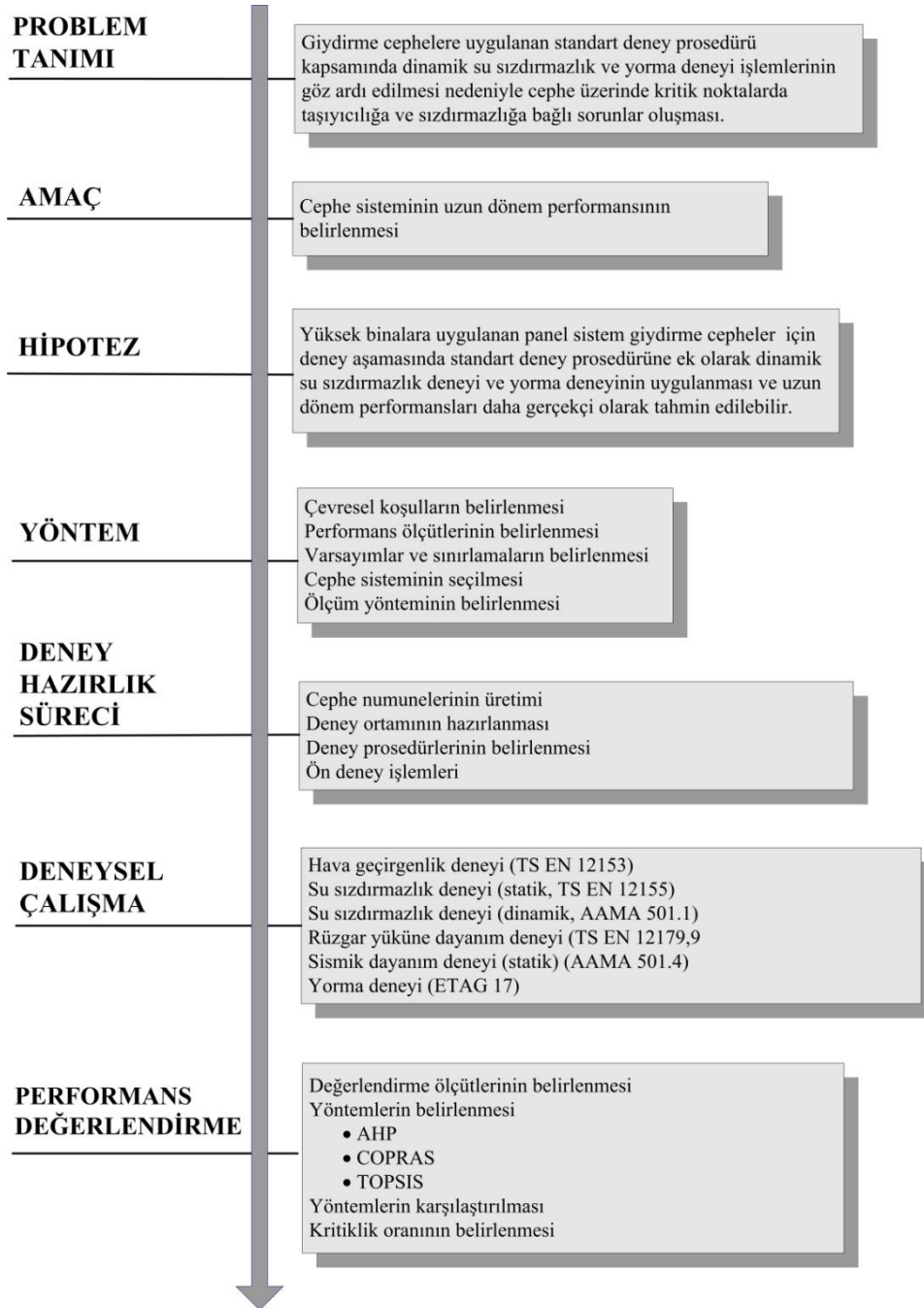
Panel giydirme cephe sistemlerinin yaygın olarak uygulandığı çok katlı bina cephelerinde üst katlara doğru çıkıldıkça cephenin maruz kalacağı rüzgâr yüklerinde ve iklimsel koşullarda bir takım farklılıklar oluşmaktadır. Bu nedenle, söz konusu katlarda taşıyıcılığa ve sızdırmazlığa bağlı olarak cephede meydana gelebilecek olası bozulmaların en aza indirilmesi ilkesine dayanarak hazırlanan deneysel çalışma sürecinde, deney düzeneği içerisine yerleştirilen tamamen aynı detaya sahip iki ayrı panel cephe sistemi kullanılmıştır. Sistemlerden birine yorma deneyi uygulanarak bir yıllık süreçte rüzgâr, hava, su ve sismik dayanım deneyleri beş farklı dönemde gerçekleştirilmiş ve sistemlerin farklı dönemlerdeki performans değişimleri gözlemlenmiştir. Diğer deney numunesine herhangi bir yorma işlemi uygulanmamış; cephe performans değerlendirmesinde standart deney prosedürü kapsamında deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma sonunda iki cephe panelinin performans sonuçları karşılaştırılarak yorma işleminin cephenin taşıyıcılık ve sızdırmazlık performansına olan etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmanın sonunda deney numuneleri için elde edilen sayısal veriler kullanılarak taşıyıcılık ve

sızdırmazlık ölçütlerine bağlı performans değerlendirmesi yapılmıştır. Performans değerlendirmesi kapsamında AHP, COPRAS ve TOPSIS yöntemleri kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

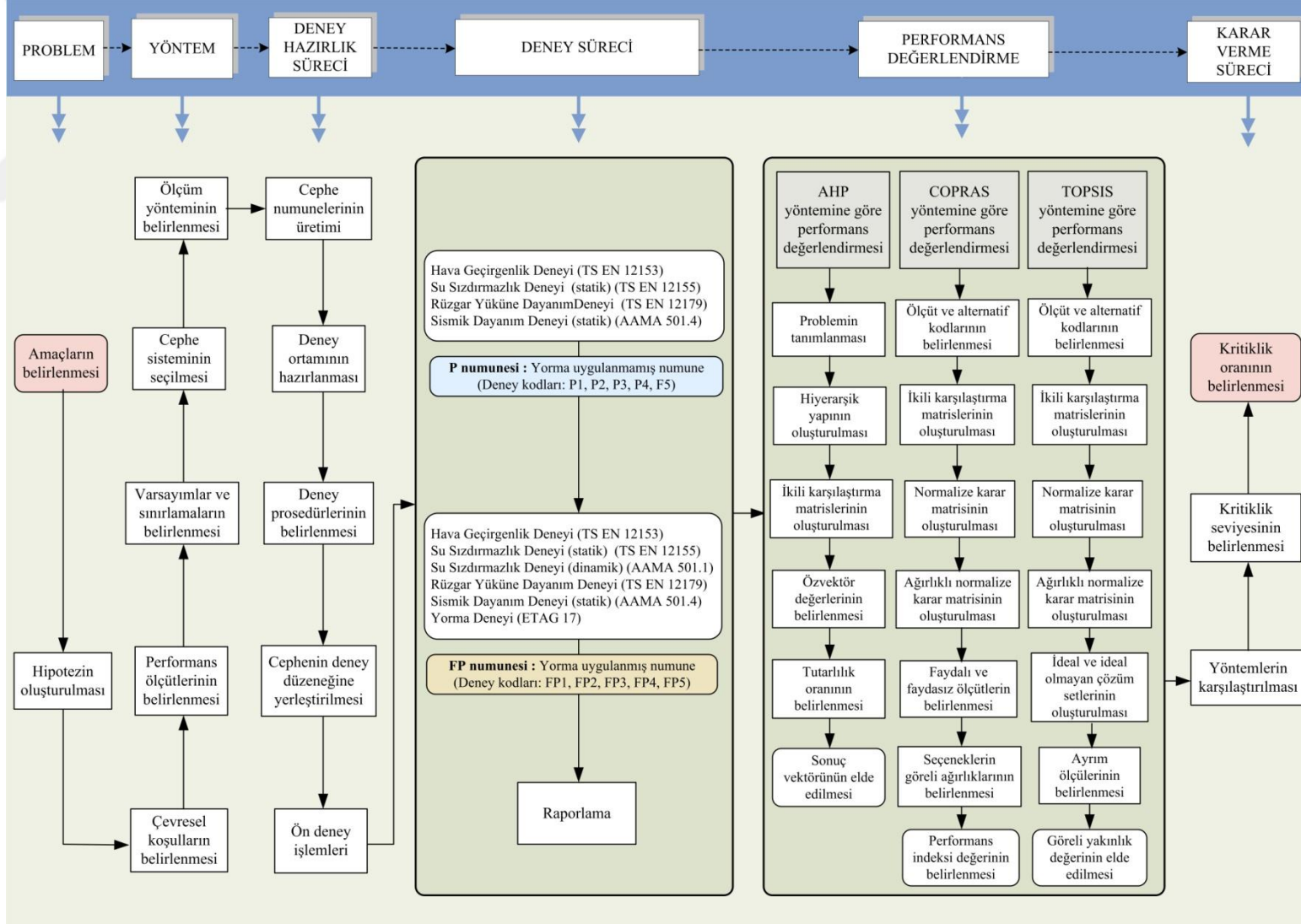
1.4 Süreç Modeli

Tez Çalışmasına ilişkin süreç şemaları Çizelge 1.1 ve Çizelge 1.2'de verilmiştir.

Çizelge 1.1 : Süreç şeması-1.



Çizelge 1.2 : Süreç şeması-2.





2. GİYDİRME CEPHE SİSTEMLERİ

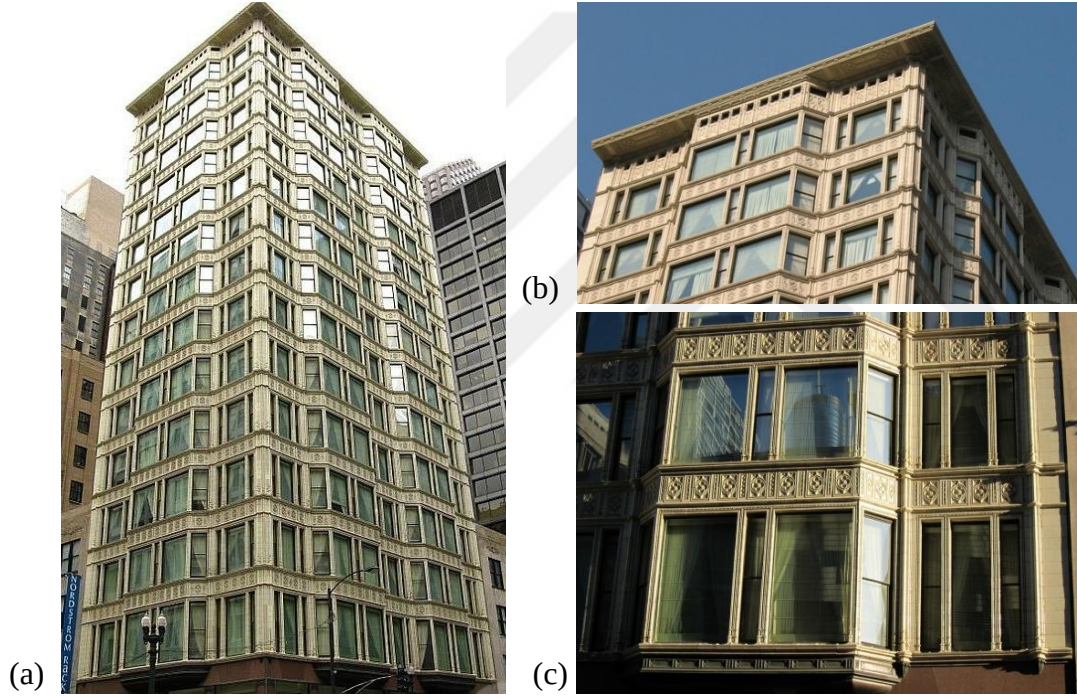
2.1 Cephelerin Fiziksel Gelişimi

Katkılı beton kullanımının artması ve çelik çerçeve sistemlerinin gelişmesi ile birlikte dış kabuk tasarımında taşıyıcı duvarlardan giydirme cephelere geçiş olmuştur. Giydirme cephe sistemleri daha fazla kullanılabilir alanın yanında daha kısa sürede çerçeve oluşturabilme olanağı da sağlamıştır. Giydirme cephelerin gelişiminde bir sonraki aşama, rüzgâr yüklerini karşılama yeteneğinin göz ardı edilmeden üretimin daha ince ve hafif yapılabilmesini sağlamak olmuştur. Tipik giydirme cephe taşıyıcıları, yatay ve düşey panel noktalarını bir araya getiren kabuk panelleri içermektedir (Ting, 1997).

Giydirme cephelerin gelişimi 19. yüzyılın başlarında endüstrileşme ve prefabrikasyonun gelişmesiyle birlikte hızlanmıştır. Bununla birlikte, ilk büyük camlı yapı 1851’de (Crystal Palace, London/United Kingdom) ve ilk bağımsız çerçeve bina 1871’de inşa edilmiştir (Menier Chocolate Factory near Paris, France). Yarım yüzyıl sonra da bu yeni teknoloji Amerika’daki endüstriyel ve finansal merkezlere aktarılmıştır. Crystal Palace’ın mimarideki önemi, yalnızca yapımında dökme demir elemanlar kullanılması değil aynı zamanda camın ustalıkla kullanılmasıdır. Yapıda 7,3 m x 1,25 m boyutlarında cam paneller kullanılmıştır. Cam ve demirin birlikteliğinin geliştirilmesiyle geniş cam cepheler üretilmiştir (Kazmierczak, 2010).

1855-1856 yıllarında Glasgow’da Gardner’s Store, John Baird tarafından Jamaica caddesinde atölye olarak tasarlanmıştır. Cephesi tamamen camdan üretilmiştir. 1871’de Chicago’daki yangın, şehrin merkezinin büyük bir bölümünün tahrip olmasına neden olmuştur. Bu yangın, dökme demirden diğer malzemelere oranla daha iyi yararlanılacağını göstermiş ve tasarımlarında yeni icat edilen asansör, yapıların yükselmesine neden olmuştur. 1870-1880’li yıllarda Chicago’daki yapıların cephelerinde büyük cam cepheler kullanılmaya başlanmıştır. 1879’da William Jenney’in yedi katlı Leither binası bunlardan biridir. Burada, üç açıklıklı dökme demir dikmeli

sistem ve iskeletler arasını geçen döşeme kirişleri ofislere mümkün olduğunca fazla ışık alacak şekilde tasarlanmıştır. Aynı düşünce dokuz katlı Willoughby Binasında uygulanmıştır. 1895 yılında Chicago'daki Reliance Binası'nın çelik çerçeve taşıyıcısının cephesinde, hafif malzeme ve cam, yüzey kaplaması olarak kullanılmıştır (Şekil 2.1). Aynı yıl Adler ve Sullivan, çok katlı ve çelik çerçeve sistemlerin cephelerine cam sistemleri uygulamıştır. Özellikle yığma/kargir ofis yapılarında duvar kalınlıklarının artması sonucu kullanım alanının azalması nedeniyle çelik iskelet ve cam cephe sistemlerinin üstünlükleri daha da belirginleşmiştir.



Şekil 2.1 : (a) Reliance Binası ön görünüşü, (b) Reliance Binası üst katların görünüşü, (c) Reliance Binası cephe görünüşü, (Url-1 ; Url-2 ; Url-3).

Fransız ve İngilizler 19. yy ortalarında büyük boyutlu cilalı dökme plak cam üretmeye başlamışlardır. İngiliz cam plak pazarında en büyük ilerleme 1820-1840 yılları arasında gerçekleşmiştir. 1852-1854 yılları arasında ise Paxton Buckinghamshire'de Mentmore Tower'ın zemin döşemesinde büyük cam levhalar kullanılmıştır. Özellikle dükkanların büyük cephe boşluklarında cam kullanma fikri ana caddede dükkanları olanlar için çok cazip duruma gelmiş, Birmingham'da 6 m yüksekliğinde, 2,44 m x 1,22 m boyutlarında cam levhalar yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. 19. yy ortalarında dökme demir kolonlar ve dövme demir raylar, modüler camla bileşimlerde kullanılmaktaydı. Daha

sonra tren istasyonları ve büyük marketler de bu malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. Geniş hacimli mekânlarda kolonsuz iç mekân, gün ışığının mekânların derinliklerine kadar alınması gibi gereksinimler ortaya çıkmıştır. Bu da cam malzemesi ile sağlanmıştır. 19.yy'ın ortalarında popüler duruma gelen ve alışveriş amaçları için yapılan arkadların üzeri cam çatı ile örtülmüştür. Bir ucu açık, bir iç sokak olarak yaratılan bu arkad sistemi binadan çok bir mikro iklim yaratmaktaydı (Eşsiz, 2004).

19. yüzyılın sonlarında çok katlı bina gereksiniminin artması yapısal çelik çerçeve sistemlerinin gelişimine altlık hazırlamıştır. Çok katlı binalarda kullanılan dış duvarlar genel olarak döşeme ve çatıya mesnet olmak amacıyla değil binanın iç ortamını dış hava koşullarından korumak için tasarlanmıştır. Giydirme cephe olarak adlandırılan sözü geçen bu sistemler düşey ve yatay yükleri binanın ana taşıyıcısına aktaran, dışa açılan bir hava bariyeri ve bir duvarı, elemanı ya da yapısal taşıyıcı sistemi içerirler. Giydirme cepheler bir bariyer sistemi ya da drenaj sistemi görevini de üstlenebilirler. Cephe formunu veren yüzeyin öncelikli görevi dışta su geçişine karşı dayanım sağlaması, daha sonra su geçişi olan bölgelerde suyu dışarıya atan bir mekânizmaya sahip olmasıdır. Başarılı bir dış kabuk tasarımı için, kaplama sistemine etki eden yük ve kuvvetlerin incelenmesi, su ve hava geçirgenliği dayanımı, ısıl etkinlik ve bina taşıyıcı çerçevesinin cepheye göre bağlı yerdeğiştirmesi durumu göz önüne alınması önemli olmuştur (Beasley, 2000).

Günümüzde, cephe binaya kendi ağırlığını iletecek şekilde ve öngörülen herhangi bir yanal ve düzlemsel kuvvetleri yeterli bir güvenlik faktörü ile karşılayacak şekilde tasarlanmalıdır. Cepheler, ince taş, prekast beton paneller, metal paneller, kompozit paneller, metal ve cam giydirme cephe bileşenleri vb. birçok malzeme ve sistemden oluşabilirler. Her bir cephe tipi, farklı yarar ya da potansiyel problemler oluşturabilir. Bu kapsamda malzeme seçimi, görünüm ve bina cephelerinin konfigürasyonunda birçok seçenek üretilebilmektedir. Endüstriyel tesislerde ekonomik bir bina çerçevesi için metal paneller yeterli olurken üst düzey ticari, kurumsal ya da konut binaları için cam ve mimari metallerin birleşimiyle oluşan daha yüksek kalitede paneller tercih edilebilmektedir (Beasley, 2000).

Günümüzde, bir giydirme cephenin karakteristik özellikleri şu şekilde tanımlanmaktadır;

- a. Bina taşıyıcısının dış yüzeyinde asılıdır,
- b. Yapısal olarak güvenlidir ancak ek yük taşımaz,
- c. Doğal etmenleri kontrol eder, ısı geçişini azaltır,
- d. Estetik değere sahiptir, bina kabuğunu oluşturur (Yang, 2003).

Giydirme cephelerin ortaya çıkışı performans ölçütlerinin sağlanmasında belirgin bir farklılık yaratmıştır. Yüzyılı aşkın bir süre geçmiş olmasına karşın giydirme cepheler bina tasarımcıları, giydirme cephe üreticileri ve uygulamacılar tarafından tartışılan bir konudur. Genellikle tipik konular yapısal işler ve iş bölümleri ile cephe kontrol fonksiyonları gibi konular olmaktadır.

Giydirme cephelere geçiş aşağıda tanımlanan gereksinimlerle birlikte ortaya çıkmıştır:

- a. Daha az duvar kaplama alanı = Kullanıcılar için daha fazla yüzey alanı
- b. Paralel planlama = Daha hızlı yapım ve montaj
- c. Daha hafif taşıyıcı = Malzeme ve nakliye tasarrufu
- d. Yapısal esneklik = Daha kolay sismik mühendislik
- e. Gelişmiş ışık geçişi = Daha uyumlu ve ekonomik mimari plan
- f. Yapısal bağımsızlık = Daha uyumlu mimari plan (Kazmierczak, 2010).

Cam ve alüminyum giydirme cepheler birçok ülkede şehir merkezlerinde ticari, endüstriyel ve konut binalarında hem tekil olarak hem de prekast, taş ya da farklı kaplama malzemeleriyle bütünleşik olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, cam giydirme cephe sistemleri günümüzde yaygın olarak kullanılan ve değişik türlerde üretilen yapı bileşenleridir. Bu cephe sistemleri, bina ile dış mekân arasında bir kabuk görevi görür ve bunu yaparken de istenen pek çok özelliği yerine getirir (Quirouette ve Arch, 2005).

2.2 Cephe Bileşenleri

Yapım sistemi kullanıcı gereksinimlerini karşılamak üzere tasarlanmış yapma çevre'yi dış ve iç çevreden fiziksel olarak ayıran “yapı”nın oluşturulması hedefine yönelik sistemlerdir. Bu hedefe göre yapım sistemi “yapı”nın gerçekleştirilmesi için sistem çevresinden sağlanan kaynaklardan yararlanılarak önceden fabrika ya da şantiye ortamında üretim sonunda çeşitli düzeylerde bitirilmiş yapı ürünleri ve diğer kaynaklar kullanılarak yapının yerinde inşaat ya da montajını içeren bir bütün olarak

tanımlanmaktadır. Yapım sistemleri üretim ve inşaat ve/ya da montaj süreçleri olmak üzere iki değişkenden oluşmaktadır. Üretim sonunda sırasıyla birbirlerine göre daha fazla bitirilmiş aşağıda sıralanan yapı ürünleri oluşmaktadır (Özkan, 1976).

Parça: Profil, levha, kablo, blok, vb.

Bileşen: Duvar gövdesi, pencere vb.

Eleman: Dış duvar, döşeme, vb.

Birim: Oda, mutfak, banyo, vb.

Yapıda kullanıcı gereksinimlerini doğrudan ya da birlikte karşılayabilen bu çıktılar inşaat ve montaj süreçleri ile yapı yerinde biçimlendirilmekte, birleştirilmekte ve zemine bağlanmaktadır. Böylece yapım sistemi düzeyinde yapı fiziksel boyutta üretilmiş olmaktadır. Fiziksel olarak yapı, bir sistem olarak güvenli olarak ayakta durabilme, gerekli servisleri sağlayabilme ve bir örtü olarak dışa ve içe süzme işlevlerine göre analiz edilerek alt sistemlerine ayrılabilir. Buna göre yapının fiziksel boyutu ile ilgili işlevine göre üç alt sistem tanımlanabilir. Bunlar, strüktürel alt sistem (yığma sistem, iskelet sistem, vb.), temel elemanlar alt sistemi (dış kabuk, yatay bölme, vb.), servisler alt sistemi (sıvı madde sağlayan ve kullanan sistemler vb.) olarak tanımlanır. Yapım sistemi çerçevesinde son çıktı olarak yapı üç boyutta anlatılabilir ve değerlendirilebilir.

Bunlar:

Fiziksel boyutta,

Parça → Bileşen → Eleman → Birim → YAPI

Fiziksel ve işlevsel boyutta,

Parça → Bileşen → Eleman → (Strüktür, Temel elemanlar, Servisler) → YAPI

Yapının temel işlevlerine bağlı olarak işlevsel boyutta,

İşlevsel bölüm ve alt bölümler → YAPI, (Özkan, 1976).

Giydirme cepheler, bina yaşam ömrü içerisinde taşıyıcı bileşenlerin ardından en önemli yere sahip olan sistemlerdir. Çizelge 2.1’de bir binadaki bileşenlerin yaşam ömürleri verilmiştir. Çizelge 2.1’e göre dış kabuk bir binanın toplam ömrünün değerlendirilmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Bina yaşam ömrü içerisindeki önemi göz önüne alındığında özellikle çok katlı binalarda uygulama sırasında yapılan bir hata düzeltilmesi çok zor olan yıkımlara yol açacağı için uygulama öncesinde bu konuda

deneyimli uzman kişiler tarafından cam cephe sistemlerinin performansı standartlara uygun bir şekilde mutlaka deneysel olarak belirlenmelidir (Yang ve Peng, 2001).

Çizelge 2.1 : Bina bileşenlerinin yaşam ömrü (Yang ve Peng, 2001).

Bina bileşeni	Hizmet ömrü (yıl)
Taşıyıcı sistem	100
Dış kabuk	50
Mekânîk sistemler	25
Elektrik sistemleri	10
İç bölmeler	5
Bilgi teknolojileri	1~3

Giydirme cephelerin ana bileşenini oluşturan cam ünitesinin yapı strüktürü tarafından taşınması için çerçeveye, montaj aksamına ve yardımcı montaj parçalarına gereksinim vardır. Camın çerçeve ile ilişkisi ve taşınma biçimi giydirme cephenin türünü de belirlemektedir. Bunlar taşıyıcı profil, conta, baskı profili ve strüktürel silikon (taşıyıcı macun) vb. malzemelerdir (Alpur, 2009).

2.2.1 Taşıyıcı profil

Giydirme cephe taşıyıcı sistem bileşenleri, dış yükleri (öz yük, deprem ve rüzgâr yükleri) belirli bir güvenlikle taşıyarak genellikle kat hizalarından bağlantı parçaları aracılığıyla bina taşıyıcı sistemine aktarır.

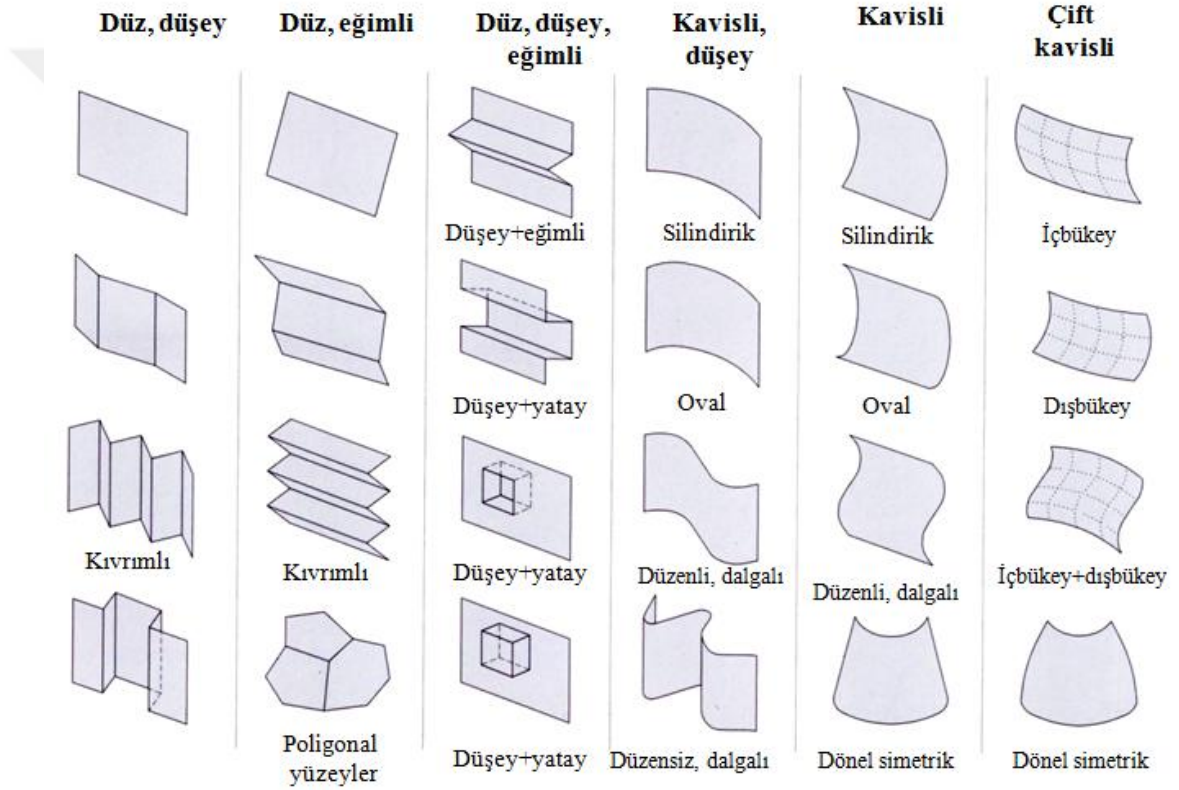
Binanın üç boyutlu dış geometrisi oluşturulurken her cephe sistemi kendi kurallarına göre kaplanmalıdır. Her cephe birbiri ile kesişen ya da ilişkili olan düz ya da eğimli yüzey birimlerinden oluşur. Cephenin düşey, yatay ya da eğimli olmasının cephenin mimari ve mühendislik detaylandırmasında önemli bir etkisi vardır. Üç boyutlu kavramsal modelin yüzeylerinin düzenlenmesi aşamasında çeşitli faktörler etkilidir. Bu faktörler genellikle tek başına değil, ağırlıklarına göre farklılık oluşturarak uygulanır. Örneğin:

- Binanın planı ve yüksekliği,
- Kullanım özellikleri (açık alanlarda boşluk yaratılması),
- Kabuğun yapısal özelliği,
- Isıl performans özellikleri (kabuk alanı/hacim oranını küçültmek),
- Yapısal özellikler,

- f. Malzeme özellikleri,
- g. Mimari hedefler.

Cephe taşıyıcı sistemi seçiminde farklı yüzey tipleri olabilmektedir. Bunlar:

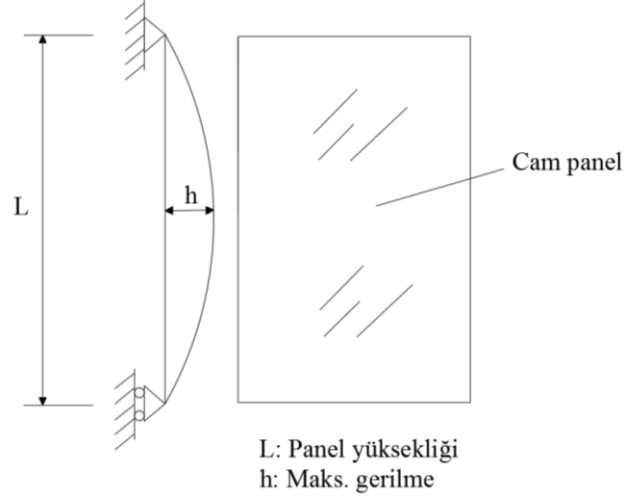
- a. Düşey yüzeyler,
- b. Eğimli yüzeyler,
- c. Eğri yüzeyler,
- d. Çift kavisli yüzeyler (Şekil 2.2) (Herzog ve Krippner, 2005).



Şekil 2.2 : Cephe yüzey tipleri (Herzog ve Krippner, 2005).

Cephe sistemi taşıyıcısı, bir araya geldiğinde çerçeveyi oluşturan yatay ve düşey farklı profillerden oluşur. Bu esas olarak cephe üzerindeki rüzgâr basıncına karşı dayanım sağlayan panel bileşeni olarak ifade edilir. Gerçekte farklı yüzeyler, camlar ve spandrel bileşenler rüzgâr basıncını alır ve çerçeveye aktarır. Düşey profiller yabancı literatürde "mulyon" olarak adlandırılır. Mulyonların kat yüksekliği boyunda olması ve çerçevenin en uzun profilleri olması nedeniyle çerçevenin en fazla gerilme etkisinde kalan bileşenleridir (Şekil 2.3). Yatay profiller ise yabancı literatürde "transom" olarak

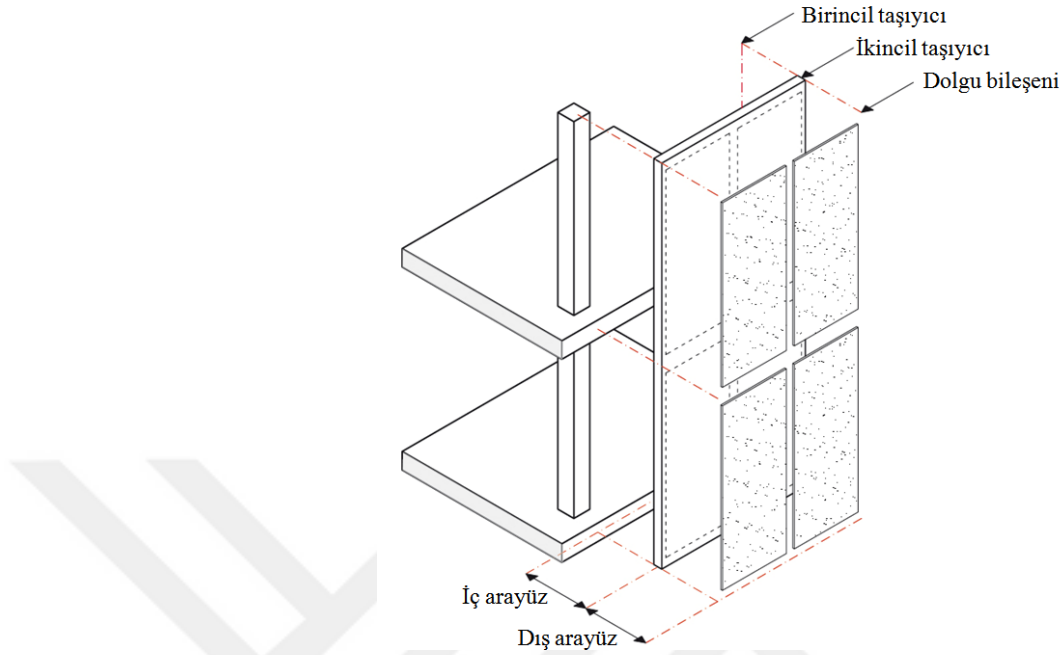
adlandırılır. Bunlar, camın destek elemanı olmasına ve cephe panelini bir arada tutmasına karşın cama gelen rüzgâr yükünün bir kısmını alarak mulyonlara aktarır (Galli, 2010).



Şekil 2.3 : Cephe biriminin rüzgâr yükü altında eğilme davranışı (Galli, 2010).

Bir giydirme cephe içerisinde üç temel taşıyıcı alt sisteminden bahsedilebilir. Bunlar;

- Birincil taşıyıcı (binanın ana taşıyıcı sistemi): Tüm bina taşıyıcısını oluşturur ve yükleri cepheden temele iletir.
- İkincil taşıyıcı (cephe taşıyıcı sistemi); Yüklerini birincil taşıyıcıya aktarır.
- Dolgu bileşeni. (Şekil 2.4), (Knaack ve Klein, 2007).



Şekil 2.4 : Cephe taşıyıcı bileşenleri (Knaack ve Klein, 2007).

Bina ve cephe taşıyıcısının her biri farklı bir alt sisteme bağlıdır. Örneğin, bina dış kaplaması genelde beton ana taşıyıcıya, cephe ise metal bir sisteme bağlıdır. Bu bileşenler farklı üreticiler tarafından üretildiğinde arayüzde özel bir birleşime gereksinim duyulur. Üreticilerin bina kaplaması için izin verdikleri aralık cm mertebesinde, cephe için ise mm mertebesinde. Cam, panel, vb. dolgu bileşenleri cephe taşıyıcısına monte edilirler. Bu dışarıya açılan arayüz bazı fonksiyonları yerine getirmek zorundadır. Bu bileşenler rüzgâra ve suya dayanıklı ya da dışarıya bir kanalla iletilebilecek özellikte olmalıdır. Cephe taşıyıcısı ve bileşenler arasındaki hareketler izin verilebilecek aralıkta olmalı ve ısıl köprülerden kaçınılmalıdır. Bu nedenlerden dolayı cephe taşıyıcısı oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Bununla birlikte, cephe ve bina taşıyıcısının tek bir bileşenden oluştuğu cephe yapıları da mevcuttur. Bu durumda iç ve dış arayüz de tek bir arayüz olarak ele alınır. Bu tip yapılar ele alındığında standartların izin verdiği değerlere, eğilme ve yapı fiziği kurallarına uyulması gerekir (Knaack ve Klein, 2007).

Alüminyum çerçeve, ağırlığına göre oldukça dayanıklı olması ve karmaşık şekillere girebilmesi nedeniyle giydirme cephe sistemi uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Alüminyum malzeme çelik malzemeye göre %66 oranında daha hafiftir. Alüminyum malzeme çoğunlukla 6000 serisi ısıya dayanıklı magnezyum silikon

alaşımları ile oluşturulur. Bunlar yüksek haddeleme işlemine maruz bırakıldığı için karmaşık yüzeylerin yaratılmasında oldukça idealdir. Belirli performans gerekliliklerin elde edilmesinde bu malzeme için doğru kalıbın tasarlanması oldukça önemlidir (Kawneer, 1999).

Alüminyum düşey taşıyıcı ve yatay bağlantı profilleri, giydirme cephe sisteminin maliyetini etkileyen en önemli bileşenlerdir. Binanın ağırlığına, dolayısı ile binaya etkileyecek deprem yüküne etki eden giydirme cephe sistemi ağırlığının azaltılması ile hem giydirme cephe sistem maliyeti hem de bina maliyeti azaltılmış olacaktır. Bu nedenle taşıyıcı sistem profilleri için optimum enkesit boyutlarının belirlenmesi daha da önem kazanmaktadır. Giydirme cephe sisteminin tüm elemanları, dış etkiler (özyükler, deprem ve rüzgâr yükleri vb.) altında yürürlükteki standartlara ve yönetmeliklere göre boyutlandırılırlar. Bunlar, alüminyum düşey ve yatay profiller, birleşim elemanları, cam, kompozit panel vb. örtü bileşenleridir (İrtem ve Tığ, 2006).

Yük analizleri, yüklerin transferi, farklı hareketler ve taşıyıcı sistem ile mimari yüzey arasındaki koordinasyon tasarımının ilk aşamalarında belirlenmesi gereken durumlar olup yapısal faktörler mimari yapıyı daha çok etkileyecektir. Bu faktörlerin göz ardı edilmesi sonucu bölgesel kusurlar oluşabilmektedir. Cephe mühendisliğinin ayrı bir disiplin olarak ortaya çıkması tasarımcı ve yüklenicilerin özellikle yüksek performanslı cephe üretimi konusunda oldukça zorlamıştır (Kazmierczak, 2010).

Rijid/kırılgan taşıyıcı duvar kullanımından sünek çerçeve kullanımına geçiş, binanın hareket yeteneğini arttırmıştır. Her iki kullanımda da yükler aynı olmakla birlikte pencereleli bir taşıyıcı duvar ile giydirme cephe arasındaki en önemli fark bina hareketlerindeki durumlarıdır. Burada üç hareketten söz etmek gerekir: Bunlar düşey, duvar düzleminde yanal hareket ve duvar düzlemine dik yanal hareketlerdir. Bu hareketler tipik olarak mesafe oranı ile tanımlanmaktadır. Bu nedenle modern yapılarda yapısal mesafe oranları bina bileşenlerinin yerdeğiştirmelerini belirgin şekilde daha uygun hale getirmiştir. Ana çerçevenin tipik hareketli yük limitleri çoğunlukla sapma yapan bileşenin uzunluğuna (ya da yüksekliğine) bağlı bina kodları ile tanımlanır. Örneğin, basit açıklık için $L/360$, konsol için $L/240$, farklı kat hareketleri için $H/300$ olarak verilmektedir; burada L: Çerçeve elaman açıklığı, H: Kat yüksekliği olarak

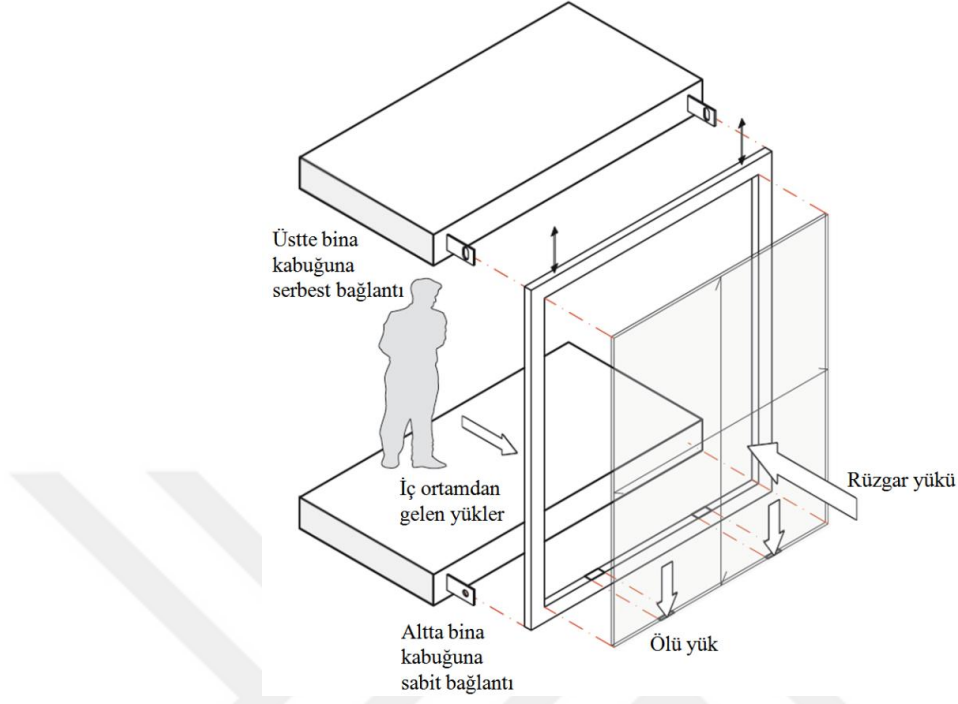
tanımlanmaktadır. Benzer olarak, bir giydirme cephenin hareketli yük limitleri yine sapma yapan bileşenin uzunluğuna bağlı bir oranla ifade edilebilir. Burada, bir duvar düzlemine dik doğrultuda yanal mulyon sehim için $L/180$ ya da cam yüzeyin kısa kenarına göre $L/50$ cam sehim olmalıdır. Daha üst eşikler genellikle daha büyük açıklıklara uygulanmaktadır (Kazmierczak, 2010).

Cepheye etkiyen yükler şu şekildedir:

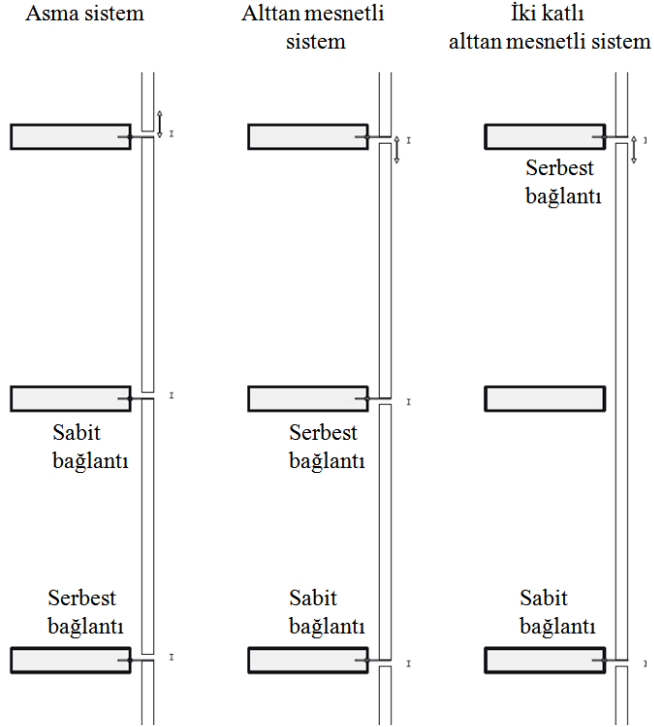
- a. Cephe bileşenlerinin kendi ağırlıkları,
- b. Kar yükü,
- c. Rüzgâr yükü (emme ve basınç),
- d. Hareketli yükler,
- e. Gerilme yükleri (sıcaklık ya da nem miktarına bağlı olarak bileşenlerde oluşan yerdeğiştirmeler).

Cam paneller kendi ağırlıklarını cepheye paralel şekilde iletirler. Bu panellerin düzlemsel ya da yukarıdan asılı olmadığı durumlarda iki plastik blok üzerine oturtulur. Cam panellerde eğilme meydana gelmeyeceği için yalnızca iki blok yeterlidir; bu yüzden de iki mesnet noktası yeterli olacaktır. Sabit bağlantılar cepheyi sabit bir noktada tuttuğu halde serbest bağlantılar yapının olası yerdeğiştirmelerine karşı denge sağlar. Cephe üzerinde rüzgâr yükleri ve diğer dinamik yüklerle oluşan çekme-itme kuvvetleri fonksiyonel tabakadan doğrusal cephe taşıyıcısına aktarılır (çerçeve). Daha sonra cephe taşıyıcısı bu yükleri bina taşıyıcı sistemine iletir (Şekil 2.5), (Knaack ve Klein, 2007).

Cepheler doğrusal uzantıda genellikle farklı malzemelerden oluşur. Bununla birlikte bina taşıyıcısı diğer yüklerden doğrudan etkilenir. Vidalama yapılmadığı durumlarda cephe taşıyıcısı en alçak noktasından desteklenir ya da yukarıdan asılır (Şekil 2.6).



Şekil 2.5 : Cephe yük transferi (Knaack ve Klein, 2007).



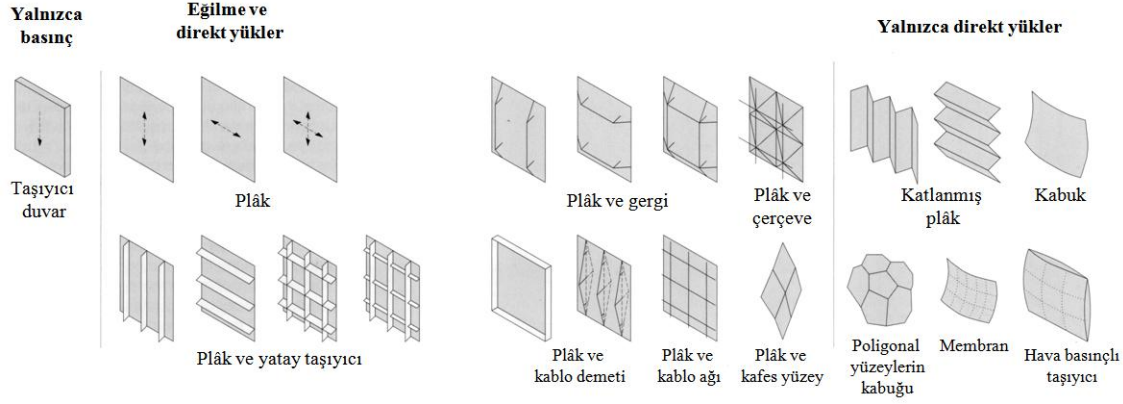
Şekil 2.6 : Yük transferi (Knaack ve Klein, 2007).

Birçok durumda, cephe yükleri kattan kata iletilir ve dilatasyon derzi ekleme gereksinimi doğar. Bu nedenle birkaç kat boyunca ölçülerde değişme olmamaktadır. Bu durum bina ve cephe taşıyıcıların birbirinden ayrı olması halinde ortaya çıkar. Eğer cephe, bina taşıyıcısının bir parçası ise ve taşıyıcılık fonksiyonu varsa iklimsel değişimleri göz önüne almak gerekir. İki ayrı yapıyı karşılaştırıldığı zaman, yükler dilatasyon derzleri aracılığıyla iletilemediğinden daha karmaşık bir durum ortaya çıkar (Knaack ve Klein, 2007).

Cephe üzerindeki tüm kabuk düzlemsel yüzeylerle kapatılmaktadır. Taşıyıcı sistem tipine bağlı olarak bu yüzeyler düzlemleri içinde ve düzlemlerine dik doğrultudaki yükler etkisinde kalırlar. Yapı taşıyıcısı dış yüklerin karşılanmasında malzemelerin verimli kullanımında tek başına bir etkiye sahip değildir. Prefabrikasyon ve yapının ayakta durmasını sağlayan ilkelerin de bu konuda önemli bir rolü vardır (Herzog ve Krippner, 2005).

Giydirme cephe taşıyıcı sistem tipleri şu şekilde sınıflandırılabilir: (Şekil 2.7)

- a. Taşıyıcı duvarlar,
- b. Plâklar,
- c. Plâk + gergiler,
- d. Plâk + yatay taşıyıcılar (eğilme),
- e. Plâk ve doğrusal elemanlar,
- f. Katlanmış plâklar, kabuklar, membranlar,
- g. Sürekli iç yapılar,
- h. Yüksek oranda boşluk ya da hava içeren iç yapılar, tabakalı iç yapılar (sürtünmeli bağlantı ya da kenetli bağlantı),
- i. Tabakalı iç yapılar (malzeme bağlantılı),
- j. Sandviç yapılar,
- k. Nervürlü kiriş ya da çerçeveler,
- l. Profilli elemanlar (Herzog ve Krippner, 2005).



Şekil 2.7 : Cephe taşıyıcı sistem tipleri (Herzog ve Krippner, 2005).

Türkiye’de giydirmce cephe uygulaması yapan firmalar, taşıyıcı sistem profillerinin boyutlandırılması ve yalıtım performansları için çoğunlukla Alman Normlarını (DIN 1055-4, DIN 4113-1, DIN 4108, DIN 4109 v.b.) kullanmaktadır. Profil üreticisi firmalar ise malzeme özellikleri ve enkesit boyutları için Türk Standardlarını (TS EN 755-2, TS EN 755-5, TS 1164, TS 5247 EN 12020-2 v.b.) kullanmaktadır (Çizelge 2.2). Türkiye’de çelik yapılar ve giydirmce cephe taşıyıcı sisteminde kullanılan alüminyum profiller için benzer standardlar olmasına karşın, alüminyum profiller için tek tip standart kesit boyutları ile ilgili herhangi bir tablo bulunmamaktadır. Bunun yerine Türkiye’deki bazı alüminyum profil üreticisi firmaların kataloglarında kendi ürettikleri profil kesit tiplerini ve boyutlarını içeren tablolar bulunmaktadır. Ancak, her üretici firmanın profil kesit tiplerinin ve boyutlarının birbirinden farklı olması nedeniyle bu kataloglarda üretici firmaların kendi birleşim sistemleri ve sistem detayları da gösterilmektedir (İrtem ve Tığ, 2006).

Çizelge 2.2 : Taşıyıcı sistem seçiminde standardlar.

Standard adı	Açıklama
DIN 1055-4	Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 4: Windlasten (Bina hareketleri - Bölüm 4: Rüzgâr yükleri)
TS EN 755-2	Alüminyum ve alüminyum alaşımları-ekstrüzyonla imal edilmiş tellik çubuk/çubuk, boru ve profiller Bölüm 2: mekânîk özellikler.
TS EN 755-5	Alüminyum ve alüminyum alaşımları-ekstrüzyon telli çubuk/çubuk boru ve profil - Bölüm 5: dikdörtgen kesitli çubuklar, boyut ve şekil toleransları .
TS 1164	Alüminyum ve alüminyum alaşımlarından yapılan I-L-T ve U ekstrüzyon profilleri.
TS 5247	Alüminyum ve alüminyum alaşımları-en AW-6060 ve EN AW 6063 alaşımlarından ekstrüzyon ile imal edilmiş hassas profiller.

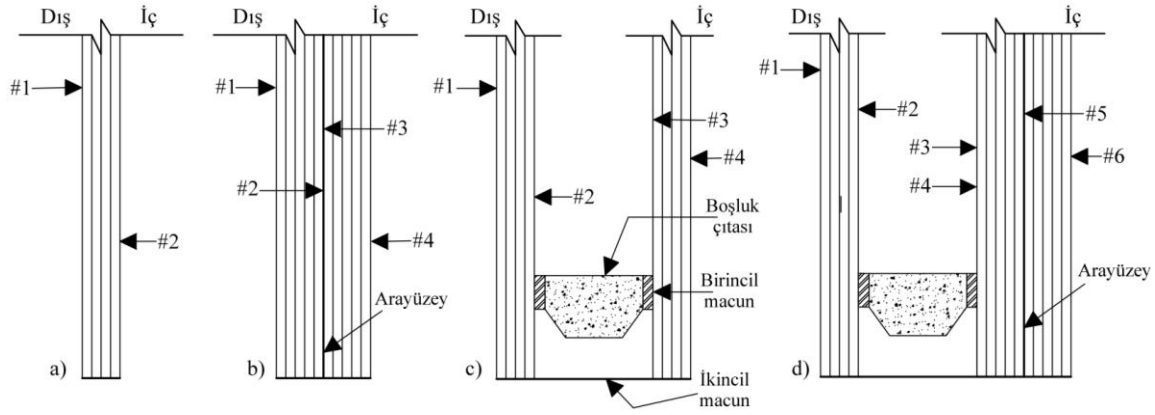
Projeye özel tasarlanan sistemlerde kullanılan profil kesiti de dahil olmak üzere en uygun yapısal çözümü bulabilmek için detaylarda köklü değişimler yapılabilir. Giydirme cephelerde taşıyıcı sistem seçiminde belirleyici faktörler aşağıda verilmiştir:

- a. Seçilen sistem tipi,
- b. Projenin karmaşıklık düzeyi,
- c. Proje için ayrılan bütçe (Candemir, 2002).

2.2.2 Cam ünitesi

Cam, çerçeve tarafından desteklenen ve bir takım hesap yöntemlerine göre boyutu ve ağırlığı belirlenen en önemli cephe bileşenleridir. Büyük boyutlara sahip olması nedeniyle rüzgâr yüklerinin büyük kısmını alır. Giydirme cephe tiplerinin bir çoğu cam-çerçeve bağlantısına göre belirlenir. Bu bağlantı camın iç profile “baskı plakası” olarak adlandırılan bir dış parçanın yapısal silikon kullanılarak monte edilmesiyle oluşturulmaktadır (Galli, 2010).

Bir binaya dışarıdan bakıldığında cephe sisteminin tamamı cam olarak görülür. Cam bileşeni metal spandrel kaplamalar ile uygulanabileceği gibi spandrel çerçevelere monte edilmiş granit kaplamalarla da kullanılabilir. Giydirme cephelerde kullanılan cam float, renkli (ısı emici), telli, desenli, vb. türlerde olabilir. Float camın sıcak işlenerek ya da temperlenerek ısıl ve mekânîk gerilmelere karşı oldukça iyi dayanım göstermesi sağlanabilir. Bununla birlikte ek dayanım ve güç istenmesi durumunda sıcak işlenmiş, temperlenmiş, lamine ya da telli cam kullanılabilir. Giydirme cephede kullanılan cam ikili ya da üçlü cam kombinasyonundan oluşabilir. Giydirme cephelerde camlama, yapılacak olan uygulamaya göre değişiklik gösterir. Genel olarak camlar 4-6 mm arasında ve şeffaf olup, kalınlığı değişiklik gösterebilir. Genellikle ısı kontrolü ve nem dengesini sağlayabilmek için yalıtımlı cam ünitesi olarak oluşturulurlar. Cam ürünlerinin sınıflandırılması için cam endüstrisi tarafından tekli, ikili ve lamine cam ünitelerinin yüzey tanımlamaları için standart bir metod geliştirilmiştir ve giydirme cephelerde kullanılan temel camlama seçenekleri Şekil 2.8’de verilmiştir (Quirouette ve Arch, 2005).



Şekil 2.8 : (a) Tekli cam yüzey kesit tanımlaması, (b) Lamine cam yüzey kesit tanımlaması, (c) Yalıtımlı cam yüzey kesit tanımlaması, (d) Yalıtımlı lamine cam yüzey kesit tanımlaması (Quirouette ve Arch, 2005).

Tipik bir yalıtımlı cam ünitesi iki cam tabakası arasında bir ara boşluk çitasından oluşur. Kullanılan bu çitalar metal (alüminyum) ya da metal olmayan (fiberglas) malzeme olabilir. Fiberglass boşluk çitaları yalıtımlı cam ünitesindeki ısı kaybını önlemek ya da içteki camın sıcaklığını artırmak için kullanılır. Bunların içi nemi absorbe eden bir toz ile doludur. Camların bir arada tutulması için tek kattan oluşan polisülfat, poliüretan, bütül ya da çift kattan oluşan ilk katı polibütülen ve ikinci katı silikon, polisülfad ya da poliüretan kullanılabilir. Çift kattan oluşan ünite de ilk kat buhar bariyeridir; ikinci kat ise camları bir arada tutmaya yarar. Spandrel cam genellikle metalik kaplama ve polyester film tabakasının ısıl işlem görmesiyle oluşur. Bu kaplama ve film tabakası spandrel camın renginin oluşmasını ve kırılma durumunda emniyeti sağlayabilmek içindir. Monolitik spandrel camlarda cam kalınlığı ve kaplama malzemesi uygulamaya göre değişmektedir. Spandrel alan ayrıca görüntü olarak uniform bir renk sağlayabilmek için yalıtımlı cam ünitesi ile de oluşturulabilir. Bir spandrel yalıtımlı cam ünitesi yalıtımlı spandrel camın monolitik tabakası arkasında yer alan bir metal kaplamaya göre yeterli ısıl dayanım sağlamaz. Yalıtımlı cam ünitesinin montajı için cam çevresinde 6-10 mm arasında boşluk olması gerekir. Üniteler silikon, EPDM (ethylene propylene diene terpolymer) ya da neopren bloklara (uzunluk: 100 mm, genişlik: 20~25 mm, kalınlık: 6 mm) monte edilirler. Ünitenin ikincil tabakası olarak silikon kullanılırsa neopren bloklar kullanılmamalıdır (Quirouette ve Arch, 2005).

Cam genellikle nedensiz olarak kırılmaz. Basınç yüzeylerinde oluşan aşırı eğilme momenti, yüksek rüzgâr basıncı, deprem yükleri ve sıcaklık farkları kırılma nedeni olabilir. Yalıtımlı cam ünitesinin iç ya da dış camında kırılma olması ısı farkları olduğunu gösterir. Bu tip kırılma cam yüzeyinin merkezindeki ısı ile kenarındaki ısıdan fazla olması durumunda (30°C ve üzeri sıcaklıklarda) ya da soğuk bir gecenin ardından doğan güneşin cama yansması sırasında gerçekleşir. Isıya dayanımlı ve temperlenmiş camlarda 30°C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda kırılma meydana gelmez. Kırılmanın çok sık meydana gelmesi durumu nem nedeniyle olur. Yalıtımlı cam ünitesinin alt kısmı uzun süre su içerisinde tutulursa sızdırmaz contalara zarar verir ve ünite içerisindeki boşluklara dolar. Böyle bir durumda üniteyi tamamiyle değiştirmek gerekir. Cam ve alüminyum giydirme cepheler dış kabuk olarak şehir merkezlerinde ticari, endüstriyel, vb. binalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Giydirme cephe sistemi renkli görünen cam yüzeyi ve spandrel cam alanı ile karakterize edilir. Sistem prekast, tuğla ya da taş kaplama sistemleri ile kombine olarak da kullanılabilir. Bununla birlikte, genellikle alüminyum çerçeveye, vizyon cam ve spandrel cam panellerine (metal ya da taş) asılır olarak durur. Bu sistemler çubuk sistem, panel sistem ve taşıyıcı camlı sistemlerin tamamında kullanılabilir. Cam ve alüminyum giydirme cepheler rüzgâr ve deprem yüklerine karşı dayanım sağlama, hava geçirgenliği sınırlama, buhar difüzyonunu kontrol etme, yağmur sızıntısını önleme, yüzey ve boşluk yoğunlaşmasını önleme ve aşırı ısı kazanımı ve kaybını sınırlandırma ilkelerine bağlı kalınarak tasarlanır. Bir üst aşamada ise gürültü ve yangın durumları ele alınır (Quirouette ve Arch, 2005).

2.2.3 Contalar

Bu bileşenler, dış ortamdan iç ortama iki dolgu birimi arasında hava ve su sızıntısını önlemenin yanında birimlerin metal profillerle bir araya getirilmesine olanak sağlarlar.

Dış ve iç contaların her biri ayrı olabileceği gibi dış-dış, dış-iç ya da iç-iç şeklinde birleştirilmiş olarak da tasarlanabilir. Baskı profil sistemlerinde dış contalar bu profilin iç yüzünde bulunmakta ve dolgu birimini sıkıştırmaktadır. İç contalar da aynı şekilde ana profil üzerine yerleştirilmektedir. Strüktürel Silikonlu (taşıyıcı macunlu) sistemlerde ise iç contalar baskı profil sistemdekiler ile aynı konumda bulunmakla birlikte bir ek

profili sıkıştırmaktadır. Dış contalar çoğunlukla birleşimin simetri aksı üzerinde yer alır. Bu konumdakilerde iki çözümle karşılaşılmaktadır. İlkinde dış conta tek ya da iki bileşenli olarak iki dolgu birimi arasında bir tıkaç gibi sıkıştırılmaktadır. İkinci çözümde ise dış conta ek profil ile ana profil arasında kalmaktadır. Baskı profilli sistemlerdeki dış ve iç contalar birbirlerine benzemektedir. Strüktürel Silikonlu (taşıyıcı macunlu) sistemlerde ise şekil olarak belirgin bir farklılık gözlenmektedir (Alpur, 2009).

2.2.4 Baskı profili

Baskı profilli birleşimlerde camı kenarları boyunca dış taraftan içe doğru sıkıştıran bir baskı profili bulunmakta ve bu profil cam ya da dolgu biriminin dış yüzeyi kenarlarında bulunmaktadır. Bu bileşen cam ya da dolgu birimini iç taraftaki ızgara bileşenine doğru bastırarak mekânîk bir bağlantı sağlar. Birim ile baskı profili arasına dış conta yerleştirilir. Bazı sistemlerde baskı profili her cam birimi için ayrı bir tane olmak üzere toplam iki bileşenden oluşmaktadır (Alpur, 2009).

2.2.5 Strüktürel silikon

Yapısal silikon ile camlama süreci bir dış kaplama bileşeninin (genellikle cam ya da metal panel) silikon malzemesi ile çerçeveye yapıştırılması sürecini kapsar. Silikon malzemesi estetik görünümün yanında duvar ya da çatı kaplama sistemlerinde su ve kir tutulumunu azaltan, sese karşı akustik izolasyonun iyi olması, doğal ısı kesici özelliği olması, ısıl gerilmeleri azaltması, temizlik ve montaj kolaylığı sağlayan bir malzemedir. Yapısal silikon dolgusu kaplamaya gelen rüzgâr yüklerini alarak arka çerçeveye iletir. Silikonun boyutları panelin boyutları ve en/boy oranına, rüzgâr ya da diğer yanal yüklere ve ısıl hareket gerekliliklerine bağlı olarak değişmektedir. Dolgu tasarım gerilmesi genellikle $0,138 \text{ N/mm}^2$ olarak kabul edilmekte ve emniyet gerilmesi olarak tarif edilmektedir. Bu değer çeşitli firmaların araştırma ve ölçümlerine göre değişiklik gösterebilmektedir (Tanno, 1997).

Yapısal silikon dış ya da iç camın iç yüz kenarında, her iki cam kenarında ya da çift cam biriminin yan yüzünde bulunabilir. Yapısal Silikon uygulaması güvenilirliğin sağlanması açısından fabrikada yapılmaktadır. Yapısal silikonlu sistemlerde daha fazla bileşen bulunduğu için, birleşimin tasarımı da daha karmaşıktır. Yapısal silikon iki bileşenli nötr

bir yapıştırıcı olup cam, metal ve diğer yapı malzemelerinin konstrüktif bağlanması için tasarlanmıştır. Taşıyıcı macun olarak silikonun tercih edilmesinde bir takım önemli etkenler vardır. Silikon malzemesi, ozon, ultraviyole ve diğer atmosferik etkilere ve bu arada organik yıpranmaya karşı dayanıklıdır, çekme dayanımının fazlalığı nedeniyle taşıyıcı fitil kullanımına uygundur, dolgu panellerin ya da camların genleşmesini çok iyi tolere edebilir, yanmaya karşı dirençlidir ve 320 °C’ de fiziki özelliklerini kaybetmeden birkaç dakika dayanabilir, alev almadan kendi kendine sönebilir, yüksek ısı kapasitesine sahip olması nedeniyle özellikle cam yüzeylerdeki değişik ısı farklarından doğan gerilmelerin önlenmesi sağlar. Bununla birlikte, sınırsız renkte üretilebilir ve 60~80 yıl arasında bir kullanım sürecine sahiptir (Alpur, 2009).

Mimaride çeşitlilik sağlayan yapısal silikon sistemlerde silikonun yapışması en önemli konulardan biridir. Yapısal silikonun başarısızlığı, suyun cepheden içeri sızmasına, dolayısıyla da bina bileşenlerinde ve taşıyıcısında hasara yol açmaktadır. Onarımı zor ve pahalıdır. Silikonun boyutlandırılmasında cam boyutu, rüzgâr yükü ve silikonun dayanımını içeren aşağıdaki hesaplama yapılır:

$$\text{Boyut} = \frac{(\text{en küçük cam boyutu} \times \text{rüzgâr yükü})/2}{\text{silikonun dayanımı}}$$

Rüzgâr yükü silikonun boyutlandırılmasında ve hesaplanmasında kritik derecede önemli etkenlerden biridir. Ayrıca deprem yükleri de cephenin yapılacağı bölge göz önüne alınarak hesaba katılmalıdır. Diğer önemli bir etken de ısısal değişimdir. Isısal değişim sonucu gerek camda, gerekse taşıyıcı kayıtlarda ve silikonda genleşme söz konusu olur. Yapısal silikonun kullanılacağı çoğu durumlarda % 25 genleşme payı ya da orijinal uzunluğun 1,25 kadarı tolerans payı olarak bırakılmalıdır (Alpur, 2009).

2.3 Performans Özellikleri

Bu çalışma kapsamında panel giydirme cephe sistemlerinin taşıyıcılık ve sızdırmazlık performanslarına bağlı deneysel çalışmaları yapılması sebebiyle bu bölümde söz konusu performans özelliklerine ilişkin bilgiler verilecektir.

Giydirme cephe tasarımında en önemli faktörlerden biri hareketlerdir. Giydirmeye cephe sistemi bir bütün halinde yapının taşıyıcı sistemine göre hareket ederken, aynı zamanda

sistemi oluşturan bileşenler (çerçeve bileşenleri, yatay taşıyıcılar ve raylar) kendi aralarında da hareket etmektedir. Gerçekte tüm sistem hareket halindedir. Bu hareketi oluşturan etkenler ısı genleşmeler ve büzülme, rüzgâr yükleri, yerçekimi kuvveti ve bina çerçevesini etkileyen diğer yükler, titreşim yükleri, hareketli yük vb. yüklerdir. Cephe hareketinin nedeni ne olursa olsun bu problem hareketli düğüm noktası tasarımına indirgenmektedir. Eğer kaplama üniteleri fabrikada üretilen büyük bileşenler ise ve bunlar nakliyattan sonra bir bütün olarak monte ediliyor ise ısı değişimleri karşısında oluşacak genleşme, büzülme hareketleri ve gerilmeler ünitenin kendi içindeki birleşim noktalarında değil üniteler arasındaki düğüm noktalarında oluşur. Bu nedenle ünitelerin olduğunca büyük yapılar, problemli düğüm noktası sayısının en aza indirilmesi akılcı olmaktadır. Buna karşılık ünite boyutlarının artması, ünite bütününde oluşacak ısısal hareket miktarını arttırmaktadır. Cepheye etki eden ve unutulmaması gereken diğer bir konu ise küçük yer sarsıntıları ve deprem etkisinin sistemin boyutlandırılmasında ihmal edilmemesi gereğidir (Güzel ve Sönmez, 2002).

2.3.1 Taşıyıcılık ölçütüne bağlı performans gereksinimleri

Günümüzde cephe elemanları teknolojinin gelişmesiyle daha hafif olarak üretilmektedir. Böylece yapı öz ağırlığı azalmakta ve buna paralel olarak binaya etkiyecek deprem yükü değeri de bir miktar azalmaktadır. Bu nedenle, yapının taşıyıcı sistem bileşenleri de daha ekonomik olarak boyutlandırılabilir. Çalışmada taşıyıcılık ölçütüne bağlı performans gereksinimleri için rüzgâr yüküne ve sismik yüklere karşı dayanım performansları ele alınacaktır.

Cephe sistemine etki edecek yükü belirlemek ve yapının taşıyıcı sistem öğelerini tasarlamak yapı mühendisinin sorumluluğunda iken, rüzgâr yüklerini de karşılayabilen cephe kaplaması tasarlamak genellikle mimarın sorumluluğunda olan bir konudur. Giydirmeye cephelerde metal çerçeveli cam vb. malzemeli panellerde rüzgâr yükleri çerçeve bileşenine yumuşak, sentetik lastik vb. bir fitil malzeme ile aktarılır. Yükler bina taşıyıcı sistemine ankraj elemanları yardımı ile iletilir. Buna bağlı olarak bağlantı parçalarının yeterli basınç dayanımına, esnekliğe, sayısız negatif ve pozitif yüklemelerde fonksiyonunu yerine getirebilme ve eski şekline dönebilme yeteneğine sahip olması gerekir. Problem, sıcaklık değişimlerinden dolayı genleşme ve büzülme hareketleri ile

suyun ve oksijenin metal bileşenleri etkilemesiyle daha karmaşık duruma gelmektedir. Yapısal kapasite, hem dayanım hem de rijitliği ifade eder. Giydirmce cephe, üzerine gelen tüm olası yükleri belirli bir süre zarara uğramadan taşımaktadır; ancak aşırı yükler altında eğilmeye karşı koyan sistem yeterli rijitliğe sahip olmayabilir. Böylece kuvvetli rüzgârlar altında yeterince sağlam olmasına karşın giydirmce cephede rüzgâr yönünde eğilme/deformasyon ve bu davranışlar karşısında cam yüzeylerde de kırılma meydana gelebilir. Cam ünitenin esnekliği, çerçeve bileşenlerinin rijitlik derecesini belirler. Tasarım açısından diğer bir önemli nokta ise bağlantılar için uygun metal türünün seçimidir. Bağlantı parçaları korozyona karşı dayanıklı olmalıdır. Cam levha ve ısıcam ünitelerinin maksimum boyutları ve kalınlıklarının belirlenmesinde rüzgâr yükleri hesaba katılmalıdır (Güzel ve Sönmez, 2002).

2.3.1.1 Rüzgâr etkisi

Cephelerin yapısal tasarımında Türkiye de dahil olmak üzere birçok ülkede rüzgâr yükleme deneyleri ve malzeme dayanım hesapları yapılmaktadır. Genellikle ülke bazında tutarlı ve etkin bir tasarım bulunmamaktadır. Ülkeler arasında cam için rüzgâr yükü hesaplamaları, limit durum faktörleri ve bazı yapısal özellikler farklılık gösterebilmektedir (Wymond ve Arumugam, 2000).

Rüzgâr yüklemesinde etkili olan faktörler aşağıda verilmiştir:

- a. Konum: Bir bölgedeki rüzgâr yükü, oradaki kritik rüzgâr durumları incelenerek belirlenir. Farklı konumlardaki rüzgârları karşılaştırmak için yerel yüzeyden izole edilmiş rüzgâr eğrileri kullanılır.
- b. Dönüş periyodu: Dönüş periyodu uzun yıllardır aşılammış en yüksek rüzgâr yoğunluğu ölçüsünü ifade eder. AS/NZ 1170'de rüzgâr hızları farklı durumlar için verilmiştir.
- c. Ani rüzgâr durumu: Rüzgâr yoğunluğu bina ya da eleman/bileşen vibrasyonuna göre değişkenlik göstermektedir. Bu yoğunluk kısa süreli keskin pik değerler yapabilmektedir. AS/NZ 1170-2. Bölüm'de 3 sn'lik bir ani hız değişimi için atıf yapılmaktadır. Bu değişim 3 sn'lik ara ile oluşmaktadır. Bazı US standartlarında da 1 sn'lik değişimden söz edilmiştir..

- d. Yön faktörleri: Rüzgâr yoğunluğu, rüzgâr yönünün bir fonksiyonudur. Bu konuda bazı standartlarda bir rüzgâr yönü çoklayıcıya bağlı yön faktörleri verilir. Yine bazı ülkelerde rüzgâr yönü, gücü ve sıklığını belirleyen rüzgâr gülleri kullanılır.
- e. Yükseklik faktörleri: Rüzgâr yönü ve basınç için genel bir kural olarak yükseklikle birlikte arttıkları bilinir, ancak basınç katsayıları sabittir. Pik emiş gücü binanın genelde tepe noktasında oluşmaktadır.
- f. Topoğrafik faktörler: Bina çevresi genellikle yüksek rüzgârları bloke eder ve basınç azalması durumu oluşur. Rüzgâr hızları da bir tepe üzerine çıkar gibi yükselir ve hızları daha da artar. Bu durumda dış kabuk basıncı da artar.
- g. Yerel basınç faktörleri: Yerel dış basınçlar bina yüzeyi ve köşelere olan yakınlığa bağlı olarak değişir.
- h. Önem faktörü, (Wymond ve Arumugam, 2000).

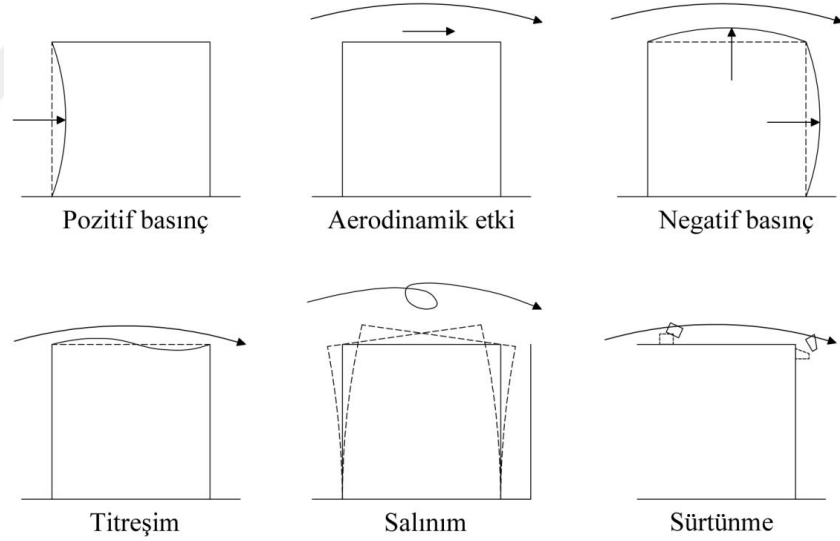
Doğal afet durumlarında özellikle hastane ve polis istasyonu gibi önem taşıyan yapıların zarar görmemesi gerekir. Bu yüzden bu binalarda normal binalara göre daha yüksek rüzgâr yüklerine göre hesap yapılmalıdır. Rüzgâr yüklerinin değişimi tasarımda hep göz ardı edilir ancak dikkat edilmesi gereken önemli bir noktadır. GANA-2004'te ortalama basınçlar ve ani rüzgâr değişimleri arasındaki ilişki kullanılarak 3 sn'lik verinin 50 yıldaki dönüşü 1,21 ile çarpılarak 1 dk'ya dönüştürülür. Daha sonra limit durum değerleri 1,4 ile çarpılarak dönüşüm periyodu 500-1000 yıl'a çevrilir.

Bununla birlikte, mühendislik analizleri genel olarak bir yapının gerilme ve yerdeğiştirmelere dayalı performansını belirlemek için yapılır. Emniyet faktörlerinin uygulanmasıyla malzemenin akma ya da kopma dayanımı azaltılarak izin verilebilir limit sınırlara çekilir. Bu azalma malzeme tipi ve değişmezliğine bağlıdır. Bu metodun avantajı malzemenin yapısal davranışı hakkında fikir vermesidir (Wymond ve Arumugam, 2000).

Binalar sürekli rüzgâr etkisi altındadır. Özellikle birbirine yakın çok katlı binalar arasında hava sıkışması ve türbülans oluşmakta, bu nedenle rüzgâr şiddeti daha da artmaktadır. Rüzgâr yükü öncelikle kesitleri büyüten bir faktördür. Cephe üzerinde açılır pencere yapılmaması havalandırma sistemi gereksinimini doğurur, kat yüksekliği artar

ve kesitler büyür. Bu da sistemin düğüm noktalarını ve contaları zorlar. Rüzgâr, yapılarda basınç etkisinin yanında emme bölgeleri de oluşturmaktadır. Rüzgâr yükü hesabında ilgili standartlar dışında yapının bulunduğu alana ilişkin 50 yıllık meteoroloji raporları da incelenmelidir (Atalay, 2006).

Rüzgârın hareketsiz cisimler üzerindeki etkileri farklı şekillerde olabilir. Cepheye dik etki yaptığı alanlarda basınç oluştururken üst ve yanlara doğru rüzgârın yön değiştirmesiyle cephenin bu bölgelerinde vakum, diğer bir deyişle emme yaratır. Bir bina üzerine gelen rüzgâr, estiği taraftaki cephenin ortasında pozitif basınç, köşelerde ise negatif basınç (emme) etkisi oluşturur. Ön yüzde yavaşlayan rüzgâr, yanlardan ve çatıdan geçerken hızlanıp bu bölgelerde kuvvetli basınç etkisi yaratır. Binanın arka tarafında dönen rüzgâr yan bölümlerdekine oranla az kuvvetli basınç oluşturur (Şekil 2.9), (Tekin, 2006a).



Şekil 2.9 : Rüzgâr hareketleri (Ambrose, 1993).

Direkt pozitif basınç: Rüzgâr yönüne dik yüzeyler, doğrudan hava basıncı etkisinde kalarak basıncın büyük bölümünü alırlar ve rüzgâr bu yüzeylerde direkt darbe etkisi yaratır.

Aerodinamik direnç: Rüzgârın yüzeye doğrudan çarpmadan etrafında bir akışkan olarak hareket etmesi, yüzey üzerinde rüzgâr yönüne paralel olarak bir direnç oluşmasına neden olur. Bu yüzeyler içe ve dışa doğru basınca direç göstererek rüzgâr yönünde genel bir kuvvet oluşmasına neden olur.

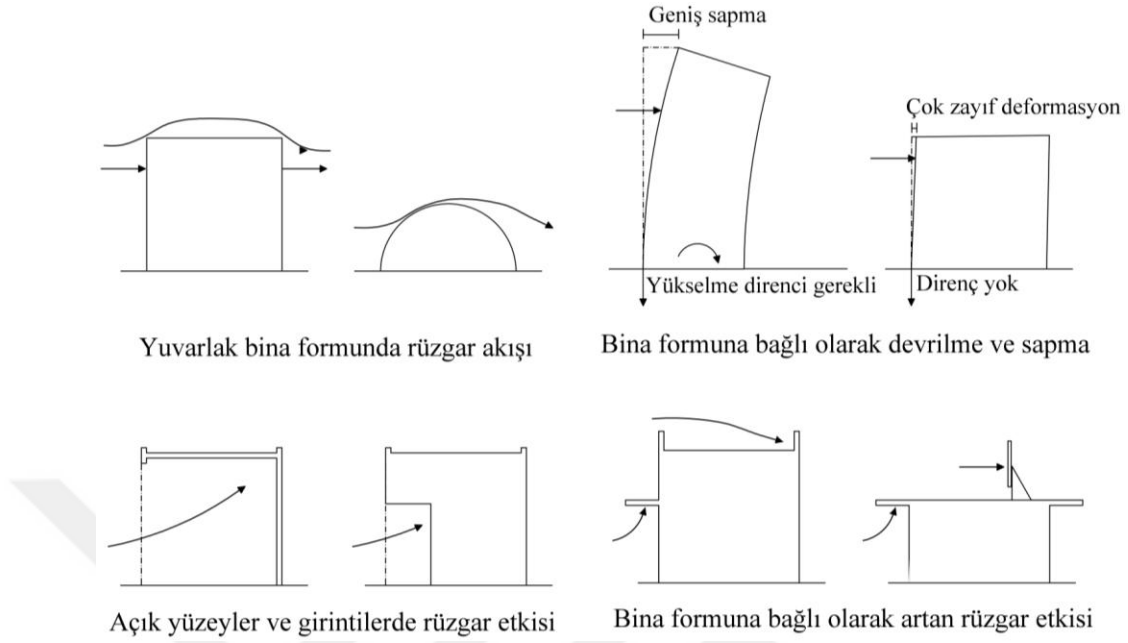
Negatif basınç (emme): Rüzgâr yönünün tersi yönünde cisim üzerinde emme etkisi oluşur.

Salınım etkisi: Şiddetli rüzgâr durumunda rüzgârın hacmi ve yönü sabit değildir. Fırtına ve türbülanslı hava akımı durumunda cisim direnç göstererek salınım yapmaya eğilimlidir. Gevşek bağlantılı cisimler ya da yüksek esnekliğe sahip yüzeyler bu etkiye karşı dayanıklı değildir.

Harmonik etki: (titreme): Rüzgâr çoğu zaman uğultu, titreme, vb etkileri oluşturabilir. Bu etkiler genellikle düşük hacimli rüzgâr fırtınaları sırasında meydana gelir.

Sürtünme etkisi: Binada, rüzgâr akış yönü üzerinde baca, gölgeleme elemanı, levha vb. elemanlar olması durumunda bu akışın etkisiyle elemanlar yerdeğiştirilerek farklı bir noktaya taşınırlar.

Rüzgâr tek başına ele alındığında göz önüne alınması gereken bir takım durumlar vardır. Bunlar, rüzgâr hacmi büyüklüğü, yüksek hacimli rüzgârların süresi, fırtına ve türbülans etkileri ve rüzgârın hakim yönüdür. Rüzgâr, akış yönündeki cisimlere bağlı olarak ele alındığında ise cismin boyutları ve aerodinamik yüzeyi, cisim ya da parçalarının titreşim periyodu, yüzeylerin göreceli sertliği ve bağlantıların sızdırmazlığı vb. etkileri göz önüne almak gerekir. Bunların dışında binanın bulunduğu zemin formu, çevre düzeni ve bitişik binaların durumu da rüzgâr akışını etkileyen özelliklerdir. Bu etkiler rüzgâr hızında artışa ve düzensiz bir rüzgâr oluşturarak türbülans oluşumuna neden olur. Cismin rüzgâr esnasındaki davranışını anlayabilmek için laboratuvar ortamında rüzgâr tüneli deneyi uygulanmalıdır. Bu deneylerde isteğe göre rüzgâr hacimleri cisim üzerine uygulanabilmektedir. Rüzgâr araştırmalarında değişken sayılarını azaltmak için bir takım varsayımlar yapılmaktadır. Bu varsayımlardan bazıları birçok binanın kapalı kutu biçiminde ya da büyük boyutlu ve pürüzsüz yüzeylere sahip olduğu, ayrıca binanın oturduğu yüzeyin oldukça düzgün olduğu varsayımdır. Bunların dışında çok katlı binalar, açık yüzeyli binalar yüksek esnekliğe sahip binalar ya da sıradışı aerodinamik yüzeyler olması durumunda rüzgâr tünelinin de olduğu oldukça kapsamlı araştırmalar yapılmalıdır. Bina formuna bağlı olarak rüzgâr etkisi Şekil 2.10'da gösterilmiştir (Ambrose, 1993).



Şekil 2.10 : Bina formuna bağlı rüzgâr etkisi (Ambrose, 1993).

Giydirme cephelerde rüzgâr yükleri taşıyıcı sisteminin tasarımında birinci derecede önemlidir. Sistem bileşenlerinin tip, boyut gibi özelliklerini bu kuvvetler belirler; örneğin camın kalınlığı, ankraj detaylarının dayanımı, taşıyıcı elemanların kesitleri gibi. Rüzgâr yükleri yapıyı etkileyen taşıyıcı sistemin belirlenmesinde geçerli olan diğer yüklerden farklı olup iyi tanınması gereklidir (Güzel ve Sönmez, 2002).

2.3.1.2 Deprem etkisi

Deprem bölgelerinde binanın taşıyıcı sisteminde alınan önlemlerin yanısıra giydirme cephe uygulamalarında da benzer önlemler alınmalı, uygun detay çalışmaları yapılmalıdır. Giydirme cephe sistemleri özel detay çözümleriyle yatay yüklere dayanımlı ve tolere edebilir olmalı, yapının taşıyıcı sisteminde meydana gelecek hareketlerden yalıtılmalıdır. Cephe sistemlerinde deprem etkisiyle alüminyum profillerde ve bağlantı noktalarında göçme riskinin yanı sıra camın kırılması sonucu insan hayatını tehdit edecek olasılıklara karşı uygun detay çözümleri geliştirilmelidir. Detay çözümünde karşılaşılan iki temel ilke bulunmaktadır. Bunlardan ilki cephe panellerinin deprem sırasında düzlemsel hareket etmesi (kayması), diğeri ise panellerin düzlem içinde dönmesine olanak sağlayan detay çözümleridir. Paneller dönme hareketi için bir sabit bir hareketli mesnetle taşıyıcı sisteme bağlanmalıdır. Panellerin kayma

hareketi için mesnet noktalarında özel ankraj parçaları kullanılmalıdır. Panel giydirme cam cephe sistemlerinde sistem çözümü yatay ve düşey hareketlere elverişlidir ve bu sistemlerde bir kat ya da iki kat aynı anda örtülebilmekte, kullanılan alüminyum profillerin, sistem bileşenlerinin ve camın ağırlığına bağlı olarak yatayda birden fazla akstan oluşan paneller kullanılabilir. Panel sistemler şantiyede meydana gelebilecek olası işçilik hatalarını azaltmakta ve hızlı montaj edilmekte dolayısıyla kötü hava koşullarından en az düzeyde etkilenmelerini sağlamaktadır. Camın kırılmasını önlemek için deprem yükü altında camın yatay ve düşey hareketlerine olanak sağlayacak alüminyum sistemler seçilmelidir (Atalay, 2006).

Giydirmeye cephe sistemi sadece kendini taşıyan bir sistem olup bina taşıyıcısına bina hareketlerine karşı uyumlu bir mesnet ile bağlıdır. Bu mesnet elemanı bina hareketlerine karşı uyumlu olmalıdır. Bununla birlikte sismik olaylar bina temelinde yatay hareketlenmeye neden olur. Bu bazen çok az da olsa düşey hareketlenmeye de neden olur. Bu durumda farklı bir gerilme durumu da göz önüne alınmalıdır. Taşıyıcı sistem bakımından statik yükler altında taşıyıcı bileşenlerin gereklilikleri Eurocode ve NTC08 standartlarına göre belirlenebilir. Taşıyıcı olmayan sistemler bakımından tipolojiye bağlı olarak bina içerisindeki bağlantı sistemi ve pozisyonuna göre her bir bileşenin en kötü yükleme durumunun değerlendirilmesi gerekir (Galli, 2010).

Taşıyıcı olmayan bir bileşenin zarar görmesinin taşıyıcı sistemin taşıma kapasitesine herhangi bir etkisi yoktur. Ancak, bu durum bina içinde ya da dışında insan hayatı için tehlike oluşturabilir. Bununla birlikte, bu durum bina içerisindeki başka bir taşıyıcı olmayan sisteme (örneğin yangın söndürme sistemi) zarar verebilir. Sonuç olarak, normal ve sıradan bir deprem durumunda taşıyıcı olmayan bileşenler fonksiyonel ve güvenli bir şekilde kalabilmelidir. Dolayısıyla tasarım aşamasında bu elemanların zarar görme durumları titizlikle araştırılmalı ve buna göre boyutlandırma yapılmalıdır. Bir bileşenin zarar görme mekânizması bileşenin kendisi ile ilgili bir durum olması ile birlikte üzerine etki eden yükle de ilgili bir durumdur. İşte bu durum binada bir tetikleme, yer değiştirme ya da kuvvet oluşmasına neden olabilir. Bu nedenle, ilgili taşıyıcı sisteme ve karakteristik özelliklerine bağlı olarak en kötü yükleme durumuna göre değerlendirme yapmak gerekir. Panel sistem göz önüne alındığında her bir panel farklı hareket ve yükler etkisinde kalır ve bu nedenle bu yüklere göre tasarlanırlar.

Rüzgâr cephe yüzeyine paralel ve dik olarak etkiyebilir ve birçok durumda maksimum düzeye ulaşabilir. Dinamik hareketler göz önüne alındığında her bina sismik etki durumunda farklı hareketler gösterebilir. Bu nedenle tasarım aşamasında geçmiş dönemdeki sismik hareketler dikkate alınarak bina davranışı incelenmelidir. Özellikle üst katlarda farklı gerilmelerin oluşacağı bilinmelidir (Galli, 2010).

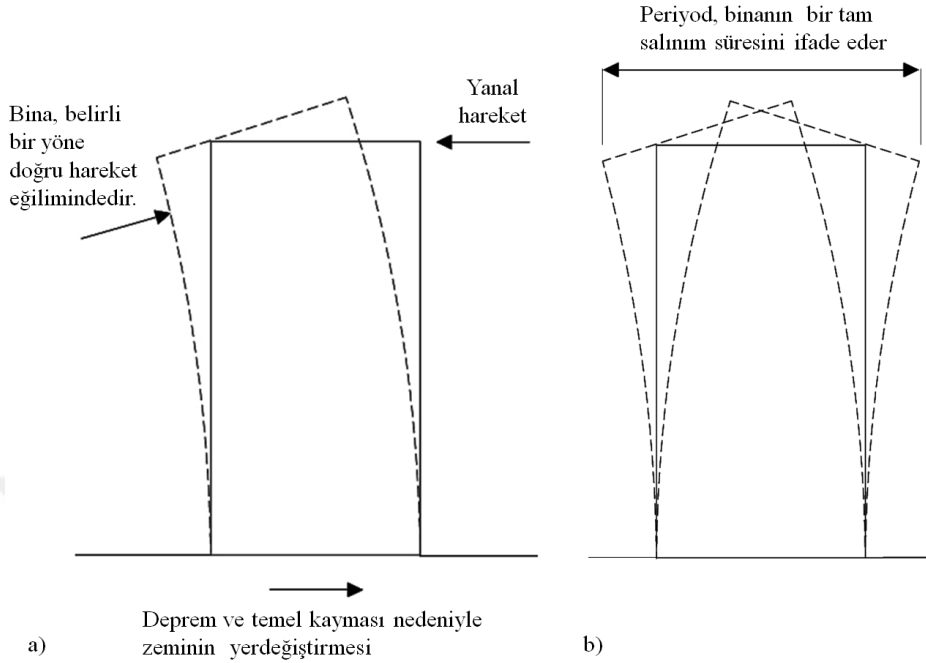
Deprem hareketinden kaynaklanan zemin yerdeğiştirmeleri ile bir takım zararlı etkiler ortaya çıkar. Bunlar şu şekilde açıklanmaktadır:

Binaların direkt hareketi: Direkt hareket binanın zeminle doğrudan bağlantılı olması nedeniyle oluşan harekettir. Bu hareketin en önemli etkisi titreşime ve bina kütlesi ataletiyle oluşan savrulma kuvvetine bağlı olarak gelişen denge bozulmasıdır.

Zemin yüzeyindeki hasarlar: Zemin hasarları çatlaklar, düşey kaymalar, bölgesel çökmeler, toprak kayması vb hasarlardır.

Taşkın, yangın, gaz patlaması vb. hasarlar: Zemin hasarları ya da hareketleri depo, havuz, dere yatakları, yer altı boruları vb birçok nesneye zarar vererek tehlikeli durumlar oluşturabilirler.

Bu etkilerden en önemlisi binaların direkt hareket etkisidir. Araştırmacılar bu etkiye karşı dinamik stabiliteyi sağlamak ve binanın enerji yükleme dayanımını belirlemek için çalışmaktadırlar. Hareketin oluşturduğu kuvvet etkisi genellikle binanın ölü ağırlığı ya da bina tarafından taşınan ölü yükle orantılıdır. Bu yük aynı zamanda yapının dinamik karakterini belirler. Deprem binalar üzerinde diğer önemli etkisi binanın titreşim periyodu ve enerji yutma kapasitesidir. Titreşim periyodu esasen bina kütlesi, binanın göstereceği direnç ve bina boyutları ile ilgilidir. Enerji etkinliği ise bina elastisitesi, mesnetlerin dayanımı/rijitliği, hareketli parçaların sayısı ve bağlantıların rijitliği ile ilgilidir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 : (a) Bina, belirli bir yöne doğru hareket eğilimindedir. Yanal hareket. Deprem ve temel kayması nedeniyle zeminin yer değiştirmesi. (b) Bina periyodu (Galli, 2010).

Çok katlı yapılar gibi geniş ölçekli ve esnek yapılarda yapının farklı parçalarının aynı anda karşılıklı olarak hareket etmesi nedeniyle bu süre çok uzun olur. (Şekil 2.13.b). Bu tip karmaşık yapılarda sözkonusu parçaların bu hareketi bağlantı noktalarında kritik gerilmeler oluşturur. Bu durumun oluşmaması için parçaların bağımsız hareketini sağlayacak şekilde gerekli bağlantı boşlukları bırakılmalıdır. Bu tip bağlantı şekli “sismik izolasyon” olarak ifade edilir (Ambrose, 1993).

2.3.2 Sızdırmazlık ölçütüne bağlı performans gereksinimleri

Bina cephesi rüzgâr ile birlikte yağmur etkisinde iken basınç farklılıkları nedeniyle rüzgâr basıncı ile yağmur suyu cephe üzerindeki kusurlu bölgelerden içeri girme eğilimindedir. Özellikle kullanıcı konforu göz önüne alınarak sistemde en uygun şekilde sızdırmazlık sağlanmalıdır.

2.3.2.1 Hava geçirgenlik

Hava geçirgenlik için gerekli tüm koşullar giydirmce cephe tarafından mutlaka karşılanmalıdır. Bunun için cam ve spandrel paneller arasındaki hava akışının geçirgenliği yatay profiller önündeki EPDM fitiller ile sağlanır.

Tasarımcı mutlaka her üniteadaki varsa hava sızma miktarını belirlemeli, buna göre malzeme seçimi ve detaylandırma yapmalıdır. Hava geçirgenlik bazen gözle tespit edilebilir, bazen de görülmeyen noktalarda olabilir. O zaman problemi tayin etmek oldukça zordur. Bu nedenle, böyle bir oranın tespit edilmesi ve problemin nerede olduğu ancak bu sistemin inşa edilmeden önce bir örneği üzerinde hava geçirgenlik deneyinin yapılması ile belirlenebilir (Tekin, 2006b).

Giydirme cephe sistemlerinde derzlerde hava, su, ısı, alev ve dumana karşı önlemler alınmalıdır. Derzlerde sızıntı durumu kinetik enerji, yüzey gerilmesi, yerçekimi, kılcalık ve rüzgâr basıncıyla oluşmaktadır. Derzlerde sızdırmazlık içte ve dışta uygulanan fitiller ve dolgu macunlarla sağlanmaktadır (Atalay, 2006).

Giydirme cepheler sistem üzerinde minimum hava geçirgenliği sağlayacak şekilde tasarlanırlar. Hava geçirgenlik için izin verilebilir sınır değerler sistem üreticisi tarafından belirlenir. Bu değerler tasarlanan binaya, binanın klima sistemi olup olmamasına ve ısıtma sistemi tasarlanırken yapılan varsayımlara bağlıdır. Hava geçirgenlik miktarının fazla olması, ısıtma maliyetlerinin artmasına ve binanın tam olarak ısıtılmasında zorluklar oluşmasına neden olmaktadır (CWCT, 2001).

2.3.2.2 Su sızdırmazlık

Panel noktalarındaki su sızdırmazlık probleminin kontrolü modern bina endüstrisinde sürekli karşılaşılan bir problem olarak görülmüştür. Giydirme cephelerde yapılan bir araştırmaya göre, karşılaşılan su sızdırmazlık problemlerinin nedenleri, panel noktaları boyunca uygun olmayan dolgu malzemesi seçilmesi, farklı pozitif hava ve su basınçları olarak görülmektedir. Bu faktörlerin hepsi bir arada görüldüğü durumlarda su, oluşan pozitif basınç nedeniyle cephe içerisine itilmektedir. Giydirme cephe sistemlerinde dolgu problemi belirgin bir kusur oluşana kadar ilk zamanlarda görülememektedir. Cephede oluşan zararın daha da büyümemesi için gerekli onarımın ardından kontrollere devam edilmelidir (Ting, 1997).

Giydirme cepheyi oluşturan kaplama malzemeleri ve bunu destekleyen tüm bileşenler herhangi bir sızıntıyı önlemek için dış cephe etkilerine karşı birlikte hareket etmeli, sızdırmaz özellikte tasarlanmalı, detaylandırılmalı ve uygulanmalıdır. Giydirme cephe sistemini oluşturan cam, alüminyum çerçeve, fitil ve izolasyon gibi bileşenlerin tek

başına iken ses, su, ısı yalıtımı gibi özellikleri vardır. Ancak tüm bu bileşenlerin bir araya gelmesinden sonra dış ortam koşullarına dayanımını anlamak için gerekli tüm deneyler yapılmalıdır. Eğer cephe sistemi deneylerden geçirilmemişse, binanın dış ortam koşullarına karşı davranışı, ancak bina kullanım sürecinde gözlenebilir (Tekin, 2006b).

Giydirme cephe sistemlerinde su sızdırmazlık, genellikle sistemdeki çerçeve birleşim noktalarında ya da birbirine bağlı üniteler arasındaki noktalarda gözlenmektedir. Bazı sistem üreticilerinin tasarımlarında saçak ya da çerçeve destek bileşeni dolgu malzemesi ile çevrili olsa dahi içeri su geçişi olabilmektedir. Saçaklarla ilgili görülen tipik problem, bağlantı noktalarından kırık, çatlak ya da delik nedeniyle su/hava girişi olmasıdır. Giydirme cephelerde saçaklar tipik olarak bütünleyici bir parça olmadığı için doğru bir uygulama yapılması için bu parçaların tasarımına ve montajına dikkat edilmelidir (Beasley, 2000).

Cephelerde suyun bina içerisine geçişi direkt yağmur ya da erime suyunun girişi, kılcal hareket, cephenin drenaj sistemi, cephe boşluklarındaki basıncın eşitlenmemesi gibi durumlarda olur. Giydirme cephelerde su sızdırma problemlerinin nedenleri şu şekildedir:

- a. Duvar panel bağlantıları boyunca doğru olmayan sızdırmazlık
 - a.1. Cam ünitesinin düşeyde sızdırmazlığı,
 - a.2. Panelden panele bağlantı sızdırmazlığı, yatayda sızdırmazlık,
 - a.3. Panelden destek bileşenine olan sızdırmazlık.
- b. Farklı hava basınçları
- c. Su, (Tekin, 2006b).

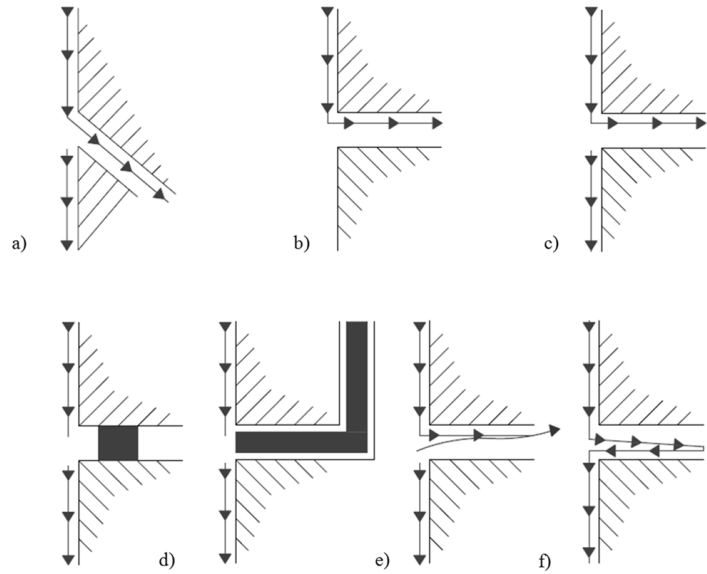
Bu etkenlerden su, rüzgâr ve hava basıncının aynı anda etkimesi durumunda su cephe üzerindeki kusurlu bölgelerden içeri girebilir. Bu etkiler genellikle bina yaşam dönemi içerisinde fark edilir, ancak onarımı mümkün olsa bile yeniden sızdırma olasılığı oldukça yüksektir. Bu nedenle asıl önlem cephe sisteminin tasarımı aşamasında alınmalıdır. Giydirme cephelerde, suyun cephe ya da bileşen içerisine geçişi genel olarak altı temel yol ile olmaktadır.

Bunlar:

- a. Yerçekimi,
- b. Kinetik enerji,
- c. Yüzey gerilimi,
- d. Kılcal hareket,
- e. Hava taşınımı,
- f. Basınç farkı (CWCT, 2001), (Şekil 2.12).

Bazı durumlarda da, suyun cephe içerisine geçişi birkaç faktörün birleşimiyle olmaktadır:

- a. Hatalı monte edilen saçaklar, contalar ve zayıf kapama noktalarında oluşan boşluklarda yerçekimi nedeniyle içeri su geçişi olabilir. Bu durumda eğer drenaj yolları da kapalı ise yerçekimi ile biriken su cephe içerisine taşabilir.
- b. Kapama noktalarındaki kusurlar ve contaların hatalı yerleşimi nedeniyle rüzgârın da etkisiyle cephe içerisine su geçişi olabilir.
- c. Hava kapama noktalarının hatalı montajı nedeniyle hava ile birlikte cephe içerisine su geçişi olabilir.
- d. Bileşenlerin altında bulunan damlalıkların kaldırılması sonucu yüzey gerilimi nedeniyle yüzeyde biriken su cephe içerisine geçebilir (CWCT, 2001).



Şekil 2.12 : (a) Yer çekimi ile su geçişi, (b) Kinetik enerji ile su geçişi, (c) Yüzey gerilimi ile su geçişi, (d) Kılcal hareket ile su geçişi, (e) Hava taşınımı ile su geçişi, (f) Basınç farkı ile su geçişi (CWCT, 2001).

Bununla birlikte, giydirme cephe sisteminde suyun bina içine nüfuz etmeye başlaması ve zarar vermesi farklı şekillerle olabilir. Bunlar:

- a. Direkt yağmur ya da erime suyunun girişi,
- b. Rüzgâr basıncı,
- c. Kılcal hareket,
- d. Cephenin drenaj sistemindeki aksaklıklar,
- e. Giydirmce cephe boşluklarındaki basıncın eşitlenmemesi, şeklinde özetlenebilir.

Cephe sistemini oluşturan panelleri, panel çerçevesi ile bir bütün haline getirerek mesnet parçaları ile arasında bağlantılarını sabitlemek ve bitişik paneller arasındaki sızdırmazlık noktasında serbest kaymaya ve yanal basınca izin vermek gerekir. Cephe sistemleri bitişik taşıyıcı elemanlar arasında yeterli yatay makaslama etkisini absorbe edecek şekilde tasarlanmaz ise cam kırılmalarına, metal panellerde çökme darbe ya da cephe panellerinde strüktürel başarısızlığa neden olurlar (Tekin, 2006b).

2.4 Cephelerin Taşıyıcılık Özelliğine Göre Sınıflandırılması

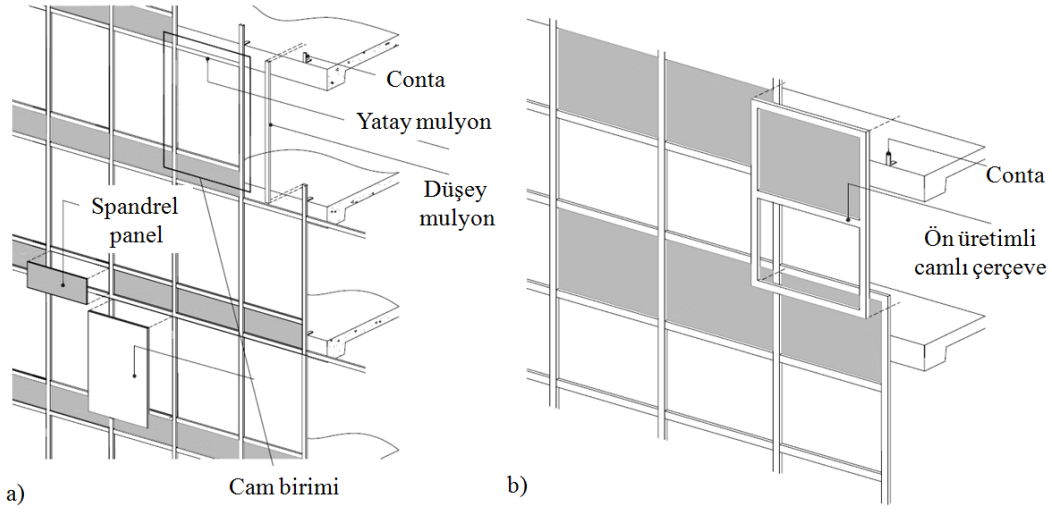
Giydirmce cepheler genel sınıflandırma dışında taşıyıcılık özelliğine göre birçok malzeme ve sisteme bağlı olarak sınıflandırılabilir. Cephelerin tek başına taşıyıcılık özelliği olmamasına karşın bina üzerinde taşıyıcılık özelliği olan döşeme, kolon vb. elemanlara monte edilerek dolaylı olarak bina taşıyıcı sistemine etki eder. Bu bağlamda sınıflandırma işlemi taşıyıcı sistem ya da ızgara tipine göre, taşıyıcı tipine göre, taşıyıcı ızgara ve dolgu birimi arasındaki bağlantı şeklinde göre aşağıdaki gibi yapılmıştır:

- a. Taşıyıcı sistem tipine göre:
 - a.1. Düşey ve yatay taşıyıcılı cephe
 - a.2. Düşey taşıyıcılı cephe
 - a.3. Yatay taşıyıcılı cephe (Herzog ve Krippner, 2005).
- b. Taşıyıcı ızgara türüne göre:
 - b.1. Çubuk sistem
 - b.2. Yarı panel sistem
 - b.3. Panel sistem (Çetiner, 2002).
- c. Taşıyıcı ızgara/dolgu birimi arası bağlantı şekline göre:
 - c.1. Sürekli bağlantılı sistemler

- c.1.1. Baskı profilli sistemler
- c.1.2. Taşıyıcı macunlu sistemler
- c.1.3. Karma sistemler
- c.2. Noktasal bağlantılı sistemler
 - c.2.1. Standart bulonlu bağlantı
 - c.2.2. Standart bulonlu ve levhalı bağlantı
 - c.2.3. Gömme bulonlu bağlantı
 - c.2.4. Eklemlı gömme bulonlu bağlantı (Aygün ve İlhan, 2005).
- d. Taşıyıcı tipine göre:
 - d.1. Çelik profil taşıyıcılı cepheler
 - d.1.1. Pilon taşıyıcılı sistemler
 - d.1.2. Kafes-kiriş taşıyıcılı sistemler
 - d.1.3. Kablo destekli çelik profillerden oluşan sistemler
 - d.2. Kablo sistem taşıyıcılı cepheler
 - d.2.1. Yatay kablo sistemler
 - d.2.2. Düşey kablo sistemler
 - d.2.3. Cam eleman taşıyıcılı cepheler (Güzel, 2006).

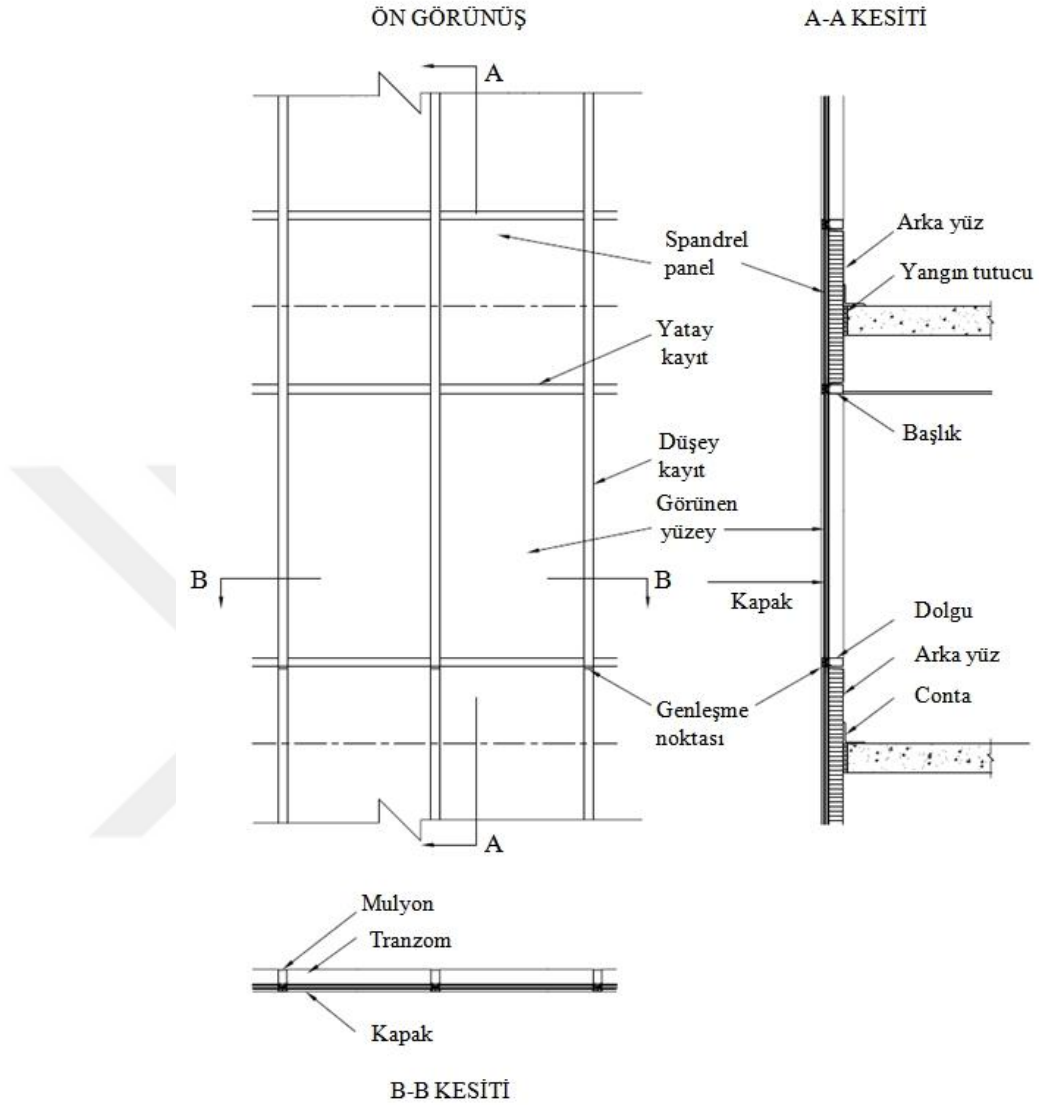
Giydirme cepheler için en sık kullanılan sınıflandırma tipi montaj ve camlama metoduna göre sınıflandırmadır. Örneğin bir kaplama sistemi standard, tercihe bağlı, çubuk, panel sistem ya da yapısal silikonlu sistem olarak sınıflandırılabilir. Çalışmada, taşıyıcı ızgara tipine göre sınıflandırmada yer alan ve yaygın olarak kullanılan panel sistem cephe kullanılmıştır.

Günümüzde uygulamada yaygın olarak kullanılan sistemlerden birisi çubuk sistemlerdir. Çubuk sistemler genellikle az katlı ve küçük ölçekteki projelerde uygulanır. Sisteme ilişkin tüm bileşenler şantiye ortamında monte edilir; dolayısıyla iş gücü fazladır. Sistemin şantiye ortamına nakli genellikle hızlı olmakla birlikte montaj süresi uzun sürmektedir ve sistemin deprem hareketlerine uyumu zayıftır. Buna karşın panel sistemler genellikle dört kat ve daha fazla katlı binalara uygulanmakta olup deprem hareketlerine uyumu daha fazladır (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 : (a) Çubuk sistem, (b) Panel sistem (Makepeace, 2004).

Panel sistem 1980'lerde uygulanmaya başlamıştır. Sistem tüm bileşenleriyle birlikte şantiye ortamına getirilir ve paneller genellikle tek kat yüksekliğindedir. Panel yüksekliğinin artması durumunda nakliye koşulları zorlaşmaktadır. Panel sistemlerde nakliye koşulları oldukça önemlidir ve fabrika ortamında hazırlanan sistem şantiye ortamında bekletilmeden doğrudan montaj olanağı sağlar. Bununla birlikte çubuk ve panel sistemin bir arada kullanıldığı sistemler de mevcuttur. Sistem tasarımını doğru bir şekilde anlayabilmek için bileşenleri tanımlayan temel terminolojiyi bilmek gerekir (Şekil 2.14), (Makepeace, 2004).

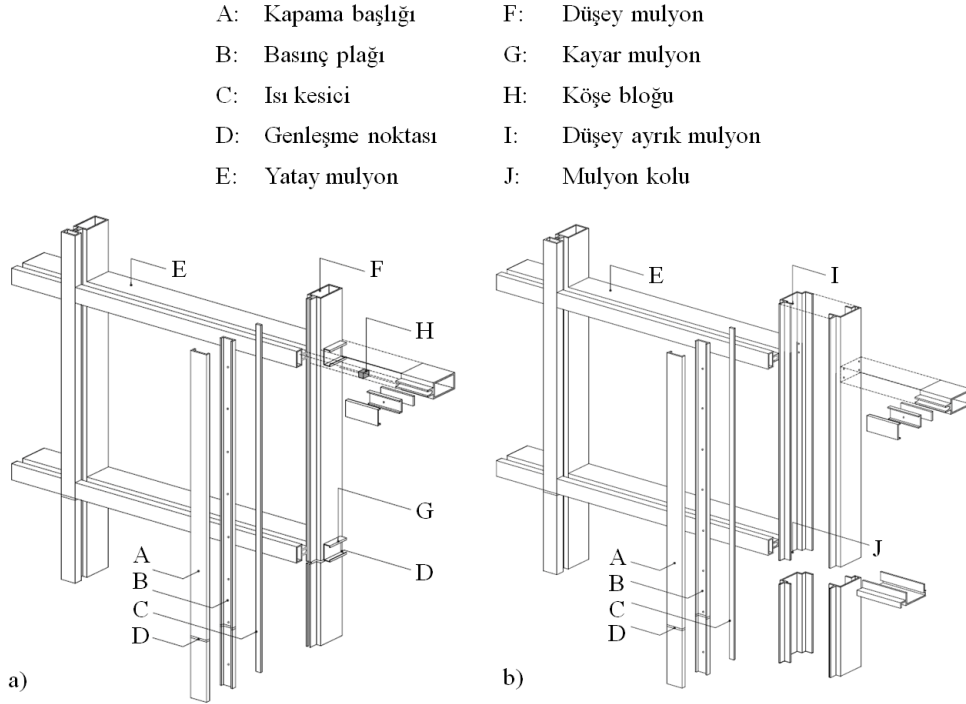


Şekil 2.14 : Giydirme cephe terminolojisi (Makepeace, 2004).

Giydirme cephe sistemleri içerisinde panel sistemler malzeme ve üretim maliyetlerinin yüksek olması ile birlikte özellikle büyük ölçekteki binalarda çoğunlukla tercih edilmektedir (Klein, 2013). Bununla birlikte panel cephe sistemleri mühendislik ve mimarlık alanlarında gerek estetik ve performans bakımından, gerekse de düşük bakım onarım maliyetleri gerektirmesi bakımından oldukça önemli bir yere sahiptir (İlter, 2015a). Binalar için en gelişmiş dış kaplama sistemleri olarak görülen panel sistem için tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken en önemli ölçütler kullanılan cam ve alüminyum malzemesinin karakteristik özelliklerinin iyi bilinmesi, montaj

gereksinimlerinin belirlenmesi ve sistemin bina üzerinde ya da laboratuvar ortamında deneysel işlemlerinin gerçekleştirilmesidir (Wong, 2007).

Panel giydirme cepheler çubuk sistemler ile aynı bileşenlere sahiptir. Bunlar mulyon, yalıtımlı cam ünitesi, alüminyum çerçeveye monte edilmiş spandrel paneller, ısı kesici gibi bileşenlerdir. Bu tür cepheler, çubuk sistem giydirme cepheler ile hemen hemen aynı mühendislik yaklaşımı ile tasarlanır ancak tamamen önceden birbirine monte edilmiş bir sistemi temsil eder. Bu sistemler genellikle iki döşeme arasındaki boşluğu kapatarak düşey ve yatay rüzgâr yüklerini karşılamak için döşeme düzlemine bağlanırlar. Bağlantılar gerektiğinde panelin sola ve sağa hareketine izin verecek şekilde düzenlenebilir (Şekil 2.15), (Quirouette ve Arch, 2005).



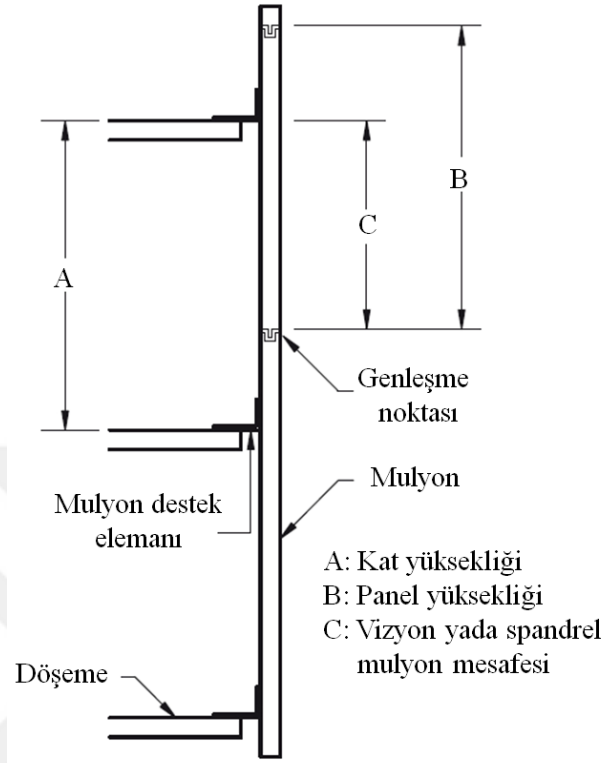
Şekil 2.15 : (a) Çubuk sistem bileşenleri, (b) Panel sistem bileşenleri (Makepeace, 2004).

Panel giydirme cephe sistemleri proje maliyeti ve uygulama hızı bakımından üstünlüğü olan sistemler olup çubuk sistemlere göre daha fazla tercih edilen sistemlerdir. Sistemin tüm montajı fabrika ortamında yapıldığı için daha kaliteli bir üretim sağlanmakta ve şantiye ortamında iş yükü azalmaktadır. Sistemde panel boyutları nakliye montaj

güçlüğü nedeniyle çoğunlukla 10 m²'nin altında tutulmaktadır (Donaldson, 2009); (Friblick ve diğ., 2009).

Panel giydirme cephe sistemi taşıyıcı sistemin bir parçası olmayıp yalnızca rüzgâr yüklerini taşıyan sistemdir; taşıyıcı sistemin yanal yüklere karşı dayanımına herhangi bir etkisi yoktur ya da önemsenmeyecek kadar azdır. Cephe sistemi ana taşıyıcıya doğrudan bağlı olup geliştirilen detaylar sonucu ana taşıyıcıdan cepheye herhangi bir yük aktarılmaz. Kullanılan cam tipi seçildikten sonra camın kalınlığı bazı faktörlere bağlıdır. Bunlar panelin alanı, mesnet noktası durumları (iki, üç, dört noktadan ya da köşe noktalarından sabitlemeli), panelin en/boy oranı, panelin üst noktasına etkiyen rüzgâr basıncı (IS 875-1987, Bölüm 3), camın gerilme/yük taşıma kapasitesi olarak verilmektedir (Makwana, 2013).

Panelleri betonarme döşeme elemanı ya da yapısal çerçeve üzerine yerleştirmek için bir takım mekânîk araçlar kullanılması gerekir. Panel sistemler diğer sistemlere göre birçok önemli üstünlüğü olması ve özellikle çok katlı binalarda vinç yardımıyla montajının sağlanabilmesi, montaj için iskele kurulmasına gerek duyulmaması nedeniyle yaygın olarak kullanılan sistemlerdir. Panel sistemler birbirinden farklı ve yapıya sabitlenen modüler birimlerden oluşabilir. Bu sabitleme için birçok farklı yol olması ile birlikte genellikle betonarme döşeme elemanına ya da kiriş vb yapısal elemanlara yapılmaktadır. Ancak sabitleme türü ne olursa olsun ana sabitleme koşulları aynıdır. Bu koşullar yatay tolerans, düşey tolerans, ve farklı yüklere karşı taşıma kapasitesi olarak verilmektedir. Yatay ve düşey tolerans koşulları uygun bileşen ya da mesnet bileşeninin sağlanmasıdır. Mesnetler esas olarak iki tipdir. Bunlar, cepheyi ana taşıyıcıya (çelik ya da betonarme) bağlayan mesnet elemanları ve cepheyi bileşenlere bağlayan destek bileşenleri (cam için düşey destek bileşenleri, dekoratif bileşenler) olarak verilmektedir. Mesnet oluşturan parçalar genellikle alüminyum ya da çelik malzemeden oluşur ve binanın yaşam dönemi süresince oluşabilecek düşey ve yatay yerdeğiştirmelere karşı tolerans gösterecek şekilde tasarlanmalıdır (Galli, 2010). Panel cephe sistemine ilişkin tipik bir panel kesiti Şekil 2.16'da verilmiştir.



Şekil 2.16 : Tipik bir panel giydirme cephe sistemi (AS/NZS 4284).

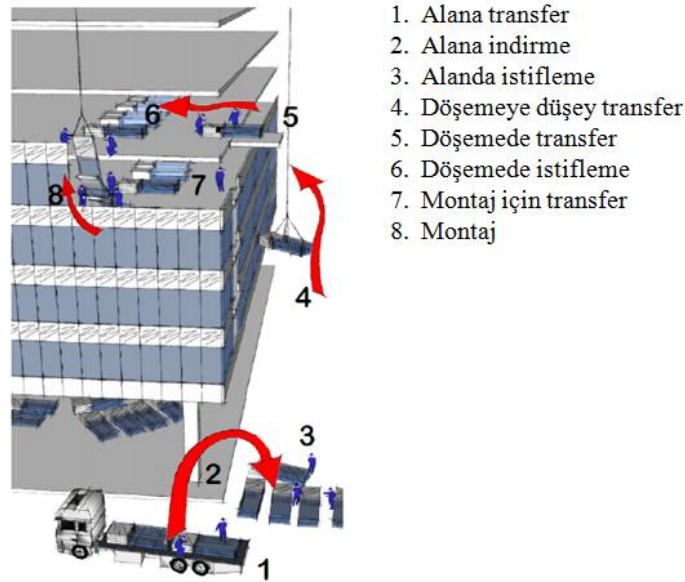
Bununla birlikte, mesnetlerin farklı yük tiplerine göre tasarlanması gerekir. Bunlar, panelin kendi ağırlığından gelen ölü yükler, cephe üzerinde oluşan rüzgâr yükleri ve çift kabuklu cephe olması durumunda bina içindeki insanların yürüme yolu üzerinde oluşturduğu ek yükler olarak verilmektedir (Galli, 2010).

Panel sistemler dış cephe sistemleri içerisinde hava koşullarına dayanıklılık ve geçirimsizlik bakımından en dayanıklı cephe türüdür. Panel sistemlerin tasarımında dikkat edilmesi gereken bir takım konular vardır. Bunlar, yapısal bütünlüğün sağlanması, sızdırmazlığın sağlanması ve nakliye süreci göz önüne alınarak tasarımın yapılmasıdır. Bunların dışında, yük durumları, sonlu eleman analizi ve taşıyıcı eleman analizlerinin de gözönüne alınması gerekir. Panel sistemlerin montajında kullanılan vida, çelik, somun, vb parçaların tamamı çelik olup bu malzemeler için bir takım tasarım kodları kullanılır (örneğin BS 5950). Bu kodlar bina ve benzeri yapılarda kullanılan sıcak işlenmiş çelik parça ve yüzeyler için tasarım önerileri vermektedir. Bu standartta

panel sistemlerde en sık kullanılan tasarım önerilerinde yerdeğiştirme sınırı, gerilme sınır ve eğilme gerilmesi sınırı yer almaktadır (Sie, 2007).

Panel sistemlerde paneller arasındaki bağlantı contalarının montajına dikkat edilmelidir. Aksi takdirde panellerin ağır ve genişliğinin fazla olması nedeniyle nakliye esnasında bu ara bağlantılarda problemler oluşabilir. Bu problemler zaman zaman bilgi eksikliği ya da dikkatsizlik sonucu sistem üreticisi tarafından bağlantılarda değişiklik yapılarak çözülmeye çalışılır. Örneğin, bir milyon klipsinin kaybolması durumunda bir boşluk oluşur. Bu boşluk yeni bir düşey hat oluşturur. Bu durumda klipsin yeniden yerleştirilmesi ya da bu boşluktan yeterli bir mesafeye conta yerleştirilmesi yerine klipsler yerinde bırakılır ve bu da sistemde yetersiz mesnetlenme durumunun oluşmasına neden olur (Peewey, 2011).

Panel giydirme sistemler büyüklüğüne bağlı olarak tablalar üzerinde taşınır. Bu tablalar nakliye aracından vinç yardımıyla inşaat sahasına indirilir. (Tommelein ve Beeche, 2001). Tablaların inşaat sahasına transferi ve araçtan sahaya indirilmesi oldukça dikkatli yapılması gereken işlerdir. Bununla birlikte tablaların sahadan düşey olarak binaya taşınması da kule vincin doğru kullanılması ve sağlam bir koordinasyon ile gerçekleştirilmelidir (Şekil 2.17), (Friblick ve diğ, 2009).



Şekil 2.17 : Cephe montaj süreci (Friblick ve diğ, 2009).

Panel sistemler doğru bir montaj stratejisi gerektirir. Küçük boyutlu paneller vinç ya da uygulama işçileri yardımıyla taşınabilir. Ancak büyük boyutlu paneller yalnızca vinç yardımıyla bina üzerine taşınmalıdır. Paneller bitişik iki kat arasına yerleşecek şekilde ve transfer olanaklarına bağlı olarak boyutlandırılmalıdır. Paneller fabrika ortamında hazırlanırken çerçeve elemanlarının kesilmesi, birleştirilmesi, cam, metal, taş, vb. yüzeylere monte edilmesi işlemleri uygulanır. Her panel birbirinden bağımsız bir çerçeveye sahiptir. Paneller arasında hava sızdırmaz contalar bulunmaktadır (Patterson, 2008).

Panel cephe sistemleri, ısı yalıtımlı ve farklı derinliklere sahip alüminyum taşıyıcı profilleri ile geniş açıklık uygulamalarına olanak sağlamakla birlikte bina dış görünümü itibarıyla ince ve estetik modülasyonlardan oluşmaktadır. İçeriden ve dışarıdan bakıldığında aynı taşıyıcı kalınlığı ile karmaşıklıktan uzak bir görüntü oluşturmaktadır. Sistemin diğer cephe sistemlerine göre montaj olanaklarının daha hızlı olması ve su, rüzgâr , hava, deprem yüklerine karşı daha mukavemetli olması günümüzde yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. Bu yüklere karşı cephenin yaşam dönemindeki dayanımının belirlenebilmesi için de bu çalışmada cephelerin gelişmiş bir türü olan panel cephe sistemi kullanılarak deneysel uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

2.5 Genel Değerlendirme

Çalışmanın bu bölümünde giydirme cephe sistemlerinin gelişimi, cephe bileşenleri, taşıyıcılık ve sızdırmazlık ölçütlerine bağlı performans gereksinimleri açıklanarak panel sistem giydirme cepheler hakkında bilgi verilmiştir.

Giydirme cepheler dolgu bileşenleri, cam ünitesi, metal paneller, taş, vb. malzemelerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan alüminyum çerçeve elemanlar olup panel sistem ve çubuk sistem olarak iki ana bölümde incelenebilir. Bu sistemlerden hangisinin bina cephesine uygulanacağı titizlikle araştırılmalıdır. Panel sistemlerin sahada montajının oldukça hızlı olması nedeniyle özellikle çok katlı bina uygulamalarında yaygın olarak kullanılan sistemlerdir. Montaj olanağı çubuk sistemlere göre 2-3 kat daha hızlı ancak nakliye maliyetleri daha fazladır. Rüzgâr yüklerine, hava, nem ve deprem yüklerine karşı yüksek performans göstermesi istenen binalarda panel cephe sistemi uygulaması doğru bir seçim olacaktır.

Projenin panel cephe sistemi ölçütlerine uymaması durumunda çubuk sistem kullanılmalıdır. Çubuk sistemde camdan taşıyıcı sisteme olan yük aktarımını sağlayabilmek için döşemeler arasında düşey ve yatay alüminyum çubuklar yerleştirilir. Sistemin montajının tamamı neredeyse şantiye ortamında yapılır. Bundan dolayı şantiye ortamında mutlaka yeterli çalışma ve depolama alanı bulundurmak gerekir. Dolayısıyla İstanbul gibi trafik yoğunluğunun fazla olduğu, cadde ve sokak genişliklerinin yeterli olmadığı ve bu nedenle kısıtlı çalışma alanı bulunan şehirlerde bina kabuğu olarak bir panel sistemin kullanılması büyük üstünlük sağlamaktadır.





3. GERÇEK BOYUTLARDA YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMA

Bölüm 2'de giydirmce cephelerin tanımlı, bileşenleri, sınıflandırılması ve performans özelliklerine ilişkin bilgiler verilmiştir. Giydirmce cephe sistemlerinden panel sistem sağladığı avantaj ve performans özellikleri nedeniyle deneysel uygulama için seçilmiş ve gerçcek boyutlu paneller üretilerek önceki bölümde üzerinde önemle durulan taşıyıcılık ve sızdırmazlık performans özelliklerine yönelik deneyler gerçekleştirilmiştir.

Cephe elemanlarının gerçcek boyutlarda yapılacak deneyleri için mimar ve tasarımcılar gerçcek performansının belirlenmesi bakımından bina cephesini temsil edecek cephe numunesini en doğru biçimde belirlemelidir. Cephe boyut ve özellikleri bina kat yüksekliğine göre belirlenmekte, karmaşık bir yapıda farklı cephe tipleri kullanılması durumunda her bir cephe tipi için ayrı bir numune hazırlanarak deneyler gerçekleştirilmektedir. Cephe boyutlarına göre en uygun deney düzeneği seçilmelidir. Birçok gelişmiş deney laboratuvarında 9x12 metre boyutlarında düzenekler hazırlanabilmektedir. Cephede su sızdırmazlığının doğru gözlenebilmesi için cephe numunesi deneyleri duvar alanı, köşeler, eğimli alanlar, geçişler vb. bölümlerle birlikte gerçekleştirilmelidir. Bina cephesinin farklı sistemlerden oluşması durumunda bitişik sistemler arası geçişler de göz önüne alınmalıdır. Bu durumda bir proje için birkaç farklı cephe numunesi kullanılması olağandır. Cephe numunesinin tek kat yüksekliğinde modülden oluşması yeterlidir. Bununla birlikte, cephe numunesinin bir sistem olarak performansının belirlenebilmesi için su toplama, drenaj ve kontrol sistemi özellikleri numunede bulunmalıdır (Kaskel, 1998).

Bu çalışma kapsamında seçilen panel cephe sistemine ilişkin performans deneyleri FTI (Facade Testing Institute) firmasına ilişkin İstanbul Çatalca'da yer alan deney merkezinde gerçekleştirilmiştir. Deney merkezi, giydirmce cephe ve bina malzemeleri konusunda inşaat sektörüne üçüncü taraf olarak performans deneyi hizmeti vermekte ve

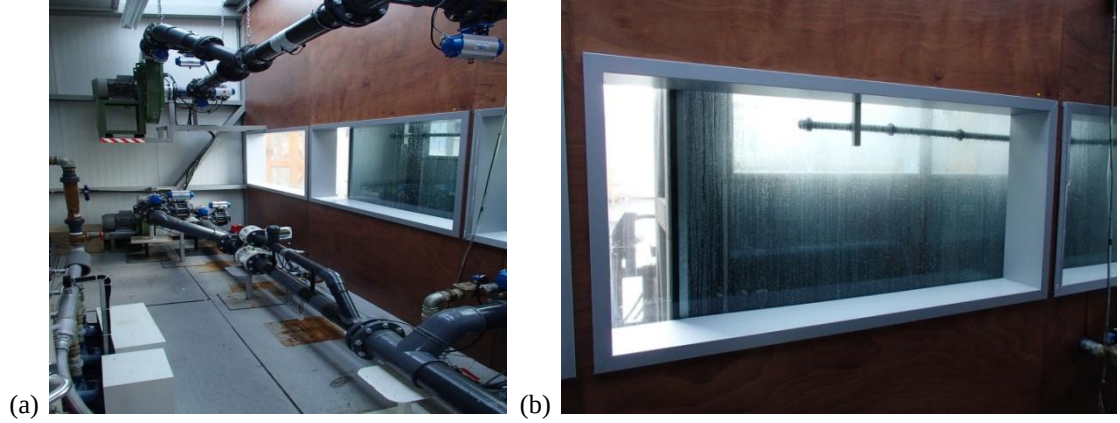
mevcut ya da inşaatı devam eden binaların giydirme cephe, doğrama ve diğer malzemeleri için tam boy cephe numuneleri üzerinde uluslararası standartlara uygun, istenilen tüm laboratuvar deneylerini (TÜRKAK tarafından akredite olarak) uygulamaktadır. Çalışmada deneysel incelemesi gerçekleştirilen cephe numuneleri için 12x12 metre boyutlarındaki deney düzeneği kullanılmıştır. Numunelerin tüm bileşenleri ile birlikte fabrika ortamında montajının tamamlanmasının ardından tek parça halinde deney merkezine getirilerek düzenek içerisine yerleşimi sağlanmıştır.

3.1 Deney Düzeneği Özellikleri

Deney düzeneği proje koşullarını sağlamak üzere özel olarak hazırlanmış olup düzenek içerisine yerleştirilecek deney numunelerinin dış hava ile temas halinde olması sağlanmıştır. Düzenek tamamen çelik konstrüksiyon ve alüminyum plakalardan oluşmakta ve uygulanan deney basıncı altında numunelerin performansını etkileyebilecek miktarda herhangi bir şekil değiştirme yapmayacak özelliktedir.

Düzenek, numuneler için belirlenmiş bağlantıların deforme olmadan yapılabileceği şekilde donatılmış ve numunenin karakteristik ölçülerine ayarlanabilir özellikte olup cephenin tamamını ve bütün bağlantıları kapsayacak büyüklüktedir. Ayrıca, deney odasına monte edilecek ölçüm cihazı yardımıyla numune bağlantılarının bütün çevre boyunca sıklığı (geçirimsizliği) kontrol edilerek tam sızdırmazlık sağlanmıştır.

Deney düzeneği arkasında deney odası ve ölçüm cihazları bulunmaktadır. Bu oda, deney sırasında uygulanması olası basınçlara yeterince dayanacak kadar dayanıklı, rijit ve numunenin performansını etkileyecek boyuttaki deney basıncı altında bozulmayacak özellikte olup numuneye herhangi bir ek destek sağlamayacak özelliktedir. Elektronik cihaz ölçümleri deney odasında yer alan bilgisayar sistemi yardımıyla alınarak saklanmaktadır. Deney merkezinde tüm ölçüm cihazları ve deney ekipmanlarının sürekli kontrolü ve kalibrasyonu sağlanmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : (a) Deney odası hava ve su tedarik sistemi yerleşimi, (b) Su püskürtme sisteminin deney odası içerisinden görünümü.

Hava tedarik eden sistem merkezkaç fanı, ortak hortumlu ve farklı negatif, pozitif basınç oluşturabilen kontrol valflerinden oluşmaktadır; deney periyodu süresince sabitlenen basınçta sürekli hava üfleyebilecek özellikte ve 165 km/h (102 mph, 1350 Pa) basınç yeteneğine sahiptir. Dinamik deney için kullanılan rüzgâr jeneratörü, deney süresince farklı pozitif basınç oluşturabilecek özellikte, 1850 mm çapında, 1350 Pa (165 km/h) basınç yeteneğine sahip, ters dönen pervaneli bir ROTAX uçak motorudur.

Çalışma kapsamında kullanılan su püskürtme sisteminin özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Su püskürtme sistemi özellikleri.

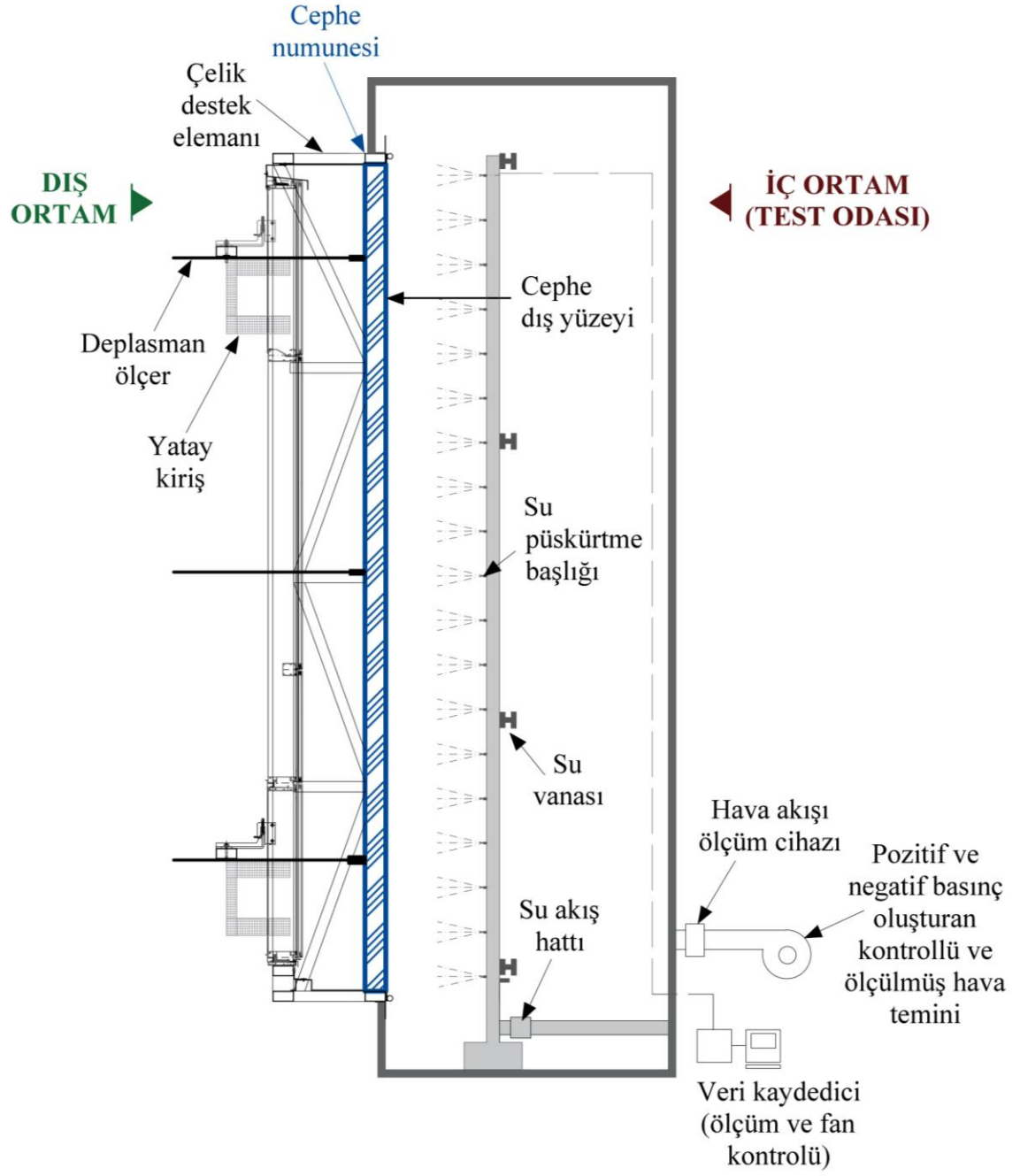
Özellik türü	Ölçü
Sistem ızgara aralığı	600 mm
Başlık sayısı	18 (3 sıra yatay, 6 sıra düşey)
İlk püskürtme başlığı ile cephe bitişi arası mesafe	250 mm
Püskürtme başlıkları arası mesafe	1500 mm
Sistem kapasitesi	3.4 l/m ² dk
Her bir yatay çubuktaki başlık sayısı	7
Püskürtme suyu sıcaklığı	+8°C ile +25°C

Numune üzerindeki basınç farklılıklarını ölçmek için lineer değişken bir basınç transformatörü (LVDT) kullanılmaktadır. Bu dönüştürücü basınç farklılığını %1, hava akışını %5 hassasiyetle ölçebilir özelliktedir. Hava akış hacmi boru içerisinde bir rüzgâr

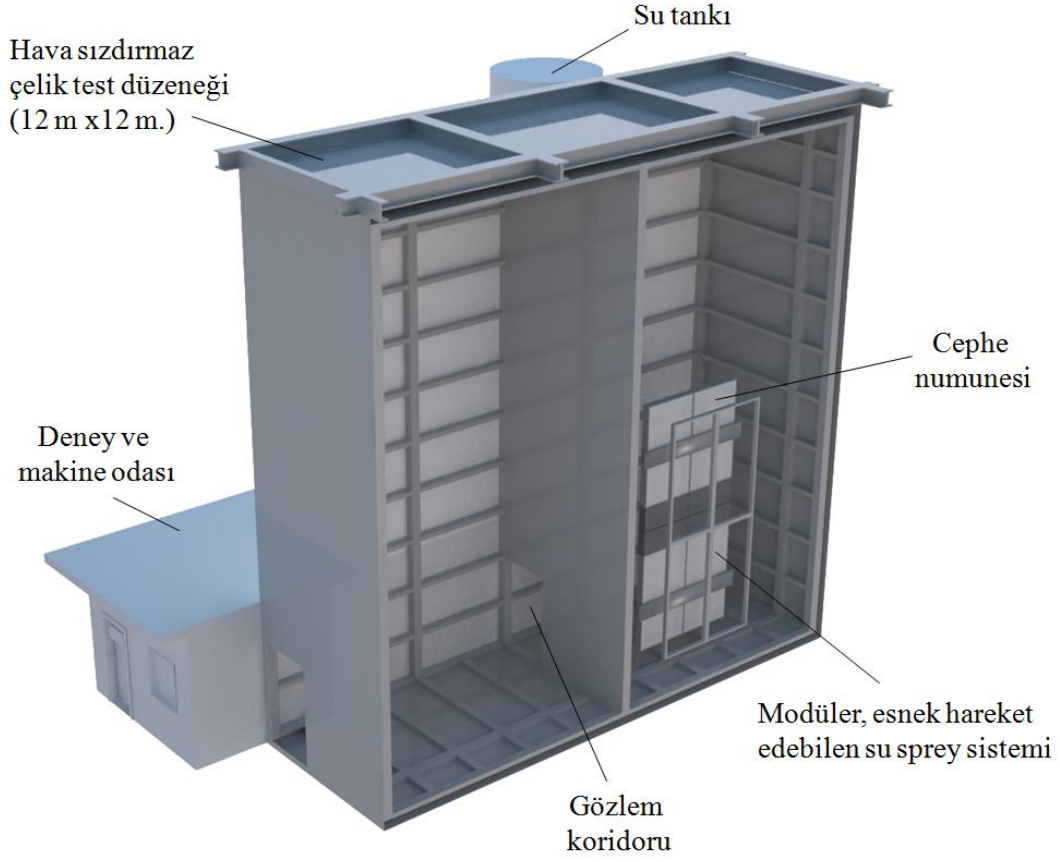
ölçer takılarak yapılmaktadır. Transformatör sistemi, çerçeve elemanların yerdeğiştirmesini 0,1 mm hassasiyetle ölçebilecek özelliktedir.

Çalışmaya ilişkin deney düzeneği düşey kesiti Şekil 3.2’de, deney düzeneği yerleşimi Şekil 3.3’de ve cephe numunesinin deney düzeneğine yerleştirilmiş durumu Şekil 3.4’de verilmiştir.





Şekil 3.2 : Deney düzeneği düşey kesiti.



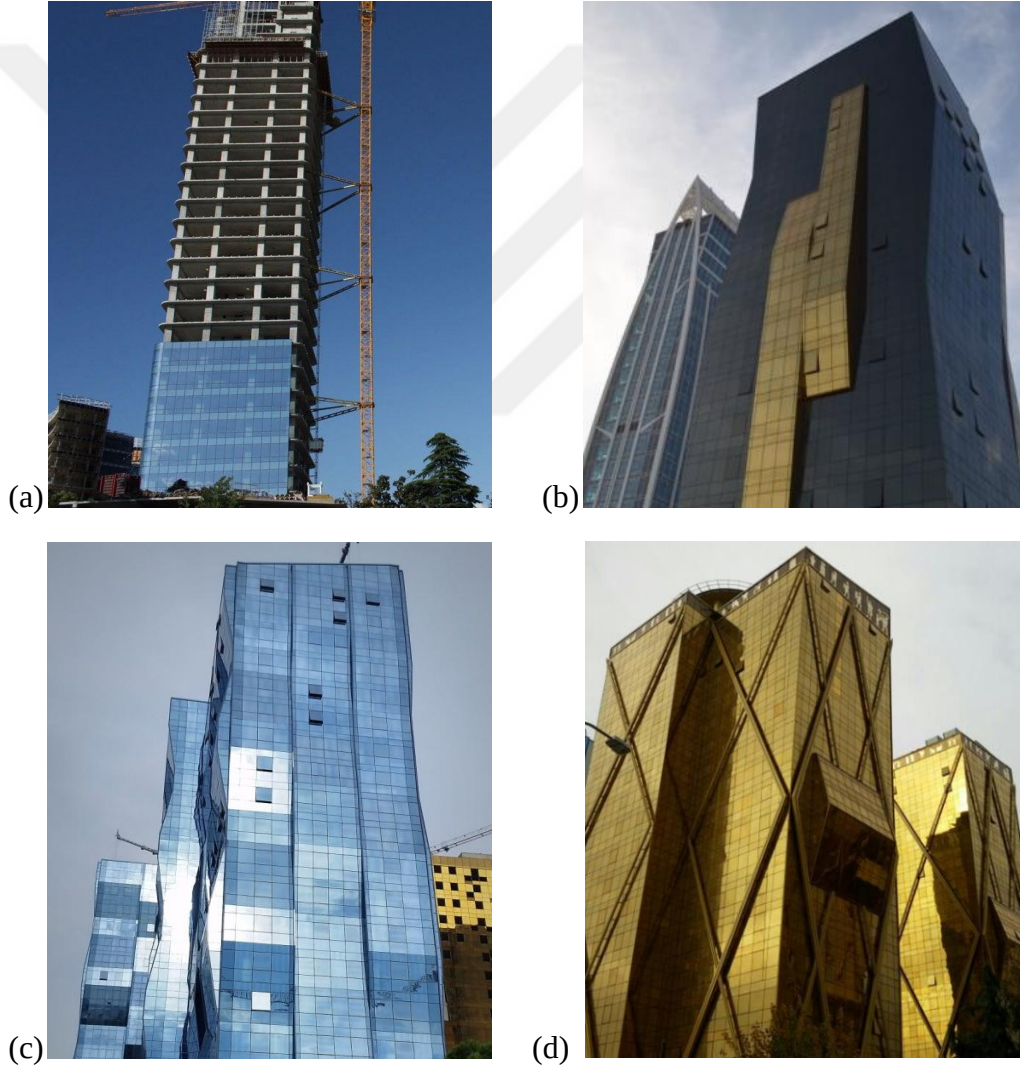
Şekil 3.3 : Deney düzeneği yerleşimi.



Şekil 3.4 : Deney düzeneğine yerleştirilmiş cephe numunesi.

3.2 Deney Numunelerinin Özellikleri

Çalışma kapsamında kullanılan giydirme cephe sistemi numuneleri Metal Yapı A.Ş. tarafından temin edilmiştir. Kullanılan sistem, ilgili firma tarafından yaygın olarak kullanılmakta olan MYS CPS70 kodlu gelişmiş bir panel cephe sistemi olup Blacksea Tower (Kat sayısı:24, Gürcistan, 2011), Dap Yapı Tango Kule (Kat sayısı: 18, İstanbul, 2014), Dap Yapı Dalga Kule (Kat sayısı: 22, İstanbul, 2014), Dap Yapı Vazo Kule (Kat sayısı: 22, İstanbul, 2015) projelerinde uygulanmış olan yaygın bir sistemdir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 : Deney numunelerinin kullanıldığı proje örnekleri (a) Black sea Tower, (b) Dap Yapı Tango Kule, (c) Dap Yapı Dalga Kule (d) Dap Yapı Vazo Kule (Url-4 ; Url-5 ; Url-6 ; Url-7).

Sistem önemli projelerde kullanılmış olması ile birlikte üretici firma tarafından da uzun dönem performansı bilinmeyen ve araştırılmasının uygun olacağı düşünülen bir sistem olması nedeniyle çalışma kapsamında detaylı bir biçimde ele alınması uygun görülmüştür. Deneysel çalışmada kullanılan numuneler gerçek kullanımdaki bağlantıları temsil edecek sayıda bileşen, bağlantı parçaları ve yapıya sabitleme için kullanılan bileşenler ile oluşturulmuştur. Cephe üzerinde herhangi bir açılır kanat bulunmamaktadır. Sistemin 2011 yılında uygulandığı “Hilton Blacksea Tower” projesinde kat yüksekliği 3,40 m ve cephe numunesinde tek kat yüksekliğinde 4 adet panel (8 parça cam birimi) birleşimi kullanılmıştır. Kat yüksekliğinin ve panel birleşim nokta sayısının yeterli olduğu düşünülerek aynı kat yüksekliği ve panel sayısında cephe numuneleri hazırlanmıştır. Sistemi oluşturan panellerin cam, conta ve ankraj parçaları fabrika ortamında montajı tamamlanarak deney ortamına getirilmiştir. Bu sayede cephenin montaj süresinde ciddi bir zaman tasarrufu sağlanmıştır. Kullanılan cephe sistemine ilişkin çizimler Ek B’de verilmiş olup deney numunelerinin özellikleri Çizelge 3.2’de belirtilmiştir.

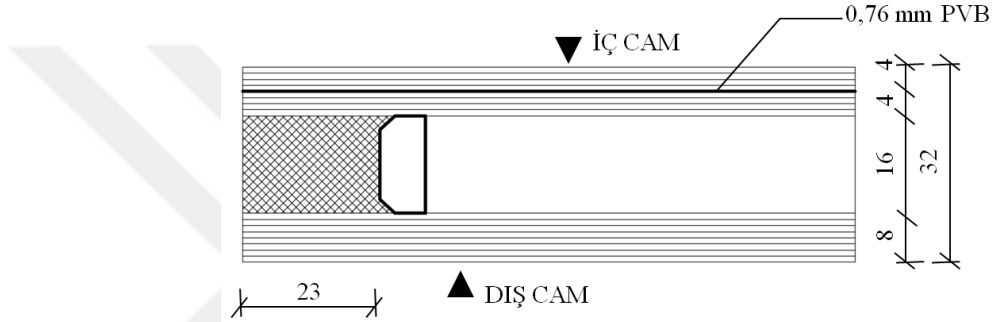
Çizelge 3.2 : Cephe numunesi özellikleri.

Özellik	Açıklama
Numune Tipi	Panel Giydirme Cephe
Sistem Üreticisi / Üretim Yeri	Metal Yapı A.Ş. / Çatalca
Numune Ölçüleri (LxH)	4450 mm x 2400 mm
Numune Yüzey Alanı (m ²)	10,68
Açılabilir Kanat Sayısı	-
Açılma Şekli	-
Açılabilir Yüzey Alanı	-
Cam Tipi	Temperli (dış), Kaplamasız float (iç)
Kat Yüksekliği	3,40 m

Çalışma kapsamında deney işlemleri gerçekleştirilen cephe sistemi numunelerine ilişkin cam birimi özellikleri Çizelge 3.3’de, cam kesiti Şekil 3.6’da verilmiştir. Dışta 8 mm kalınlığında temperli cam, içte 8 mm kalınlığında kaplamasız float cam tipi ve içte yer alan bu cam tabakaları arasında 0,76 mm kalınlığında PVB (polivinil butiral) malzemesi kullanılmıştır.

Çizelge 3.3 : Cam birimi yapısal özellikleri.

	Kalınlık (mm)	Cam tipi	Katman sıralaması
Dış cam	8	Temperli, 4 Kenarı Makine Rodajlı	Kaplama 2. yüzde
İç cam	8	Kaplamasız float	4 mm Kaplamasız float 0,76 mm Şeffaf PVB 4 mm Kaplamasız float
Hava boşluğu	16 mm kalınlığında yapısal silikonlu siyah ara boşluk çitası		



Şekil 3.6 : Cam kesiti.

Çalışma kapsamında deney işlemleri gerçekleştirilen cephe sistemi numunelerine ilişkin cam malzemesinin fiziksel özellikleri Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4 : Cam malzemesi fiziksel özellikleri.

Toplam ışık geçişi	%50
Işık Yansım Oranı (dış)	%23
Işık Yansım Oranı (iç)	%22
Genel renk dönüştürme indeksi	%95
Ultraviyole ışıınımı	%18
Direkt güneş ışıınımı	%29
İkincil iç ısı transferi faktörü	%3
Toplam solar enerji geçişi	%32
Toplam yansım katsayısı	0,37 g/0.87
Isıl iletkenlik (hava)	1,4 W/m ² K
Isıl iletkenlik (%90 argon)	1,1 W/m ² K
Kaplamanın ısıl yayma oranı	0,03

Cephe numunelerinde farklı boylarda üç ayrı cam birimi kullanılmıştır. Kullanılan camlara ilişkin ölçüler Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5 : Numune camlarının özellikleri.

En (mm)	Boy (mm)	Adet	Alan (m ²)
1180	980	4	4,63
1180	1780	2	4,20
1180	630	2	1,49

Çalışma kapsamında deney işlemleri gerçekleştirilen numunelerin panel ve cam birleşiminde kullanılan fitillerin mekânîk özellikleri Çizelge 3.6’da, alüminyum profil özellikleri Çizelge 3.7’de, panel birleşimi Şekil 3.7de, numunenin deney standına yerleşimi Şekil 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.6 : Fitil malzemesi özellikleri.

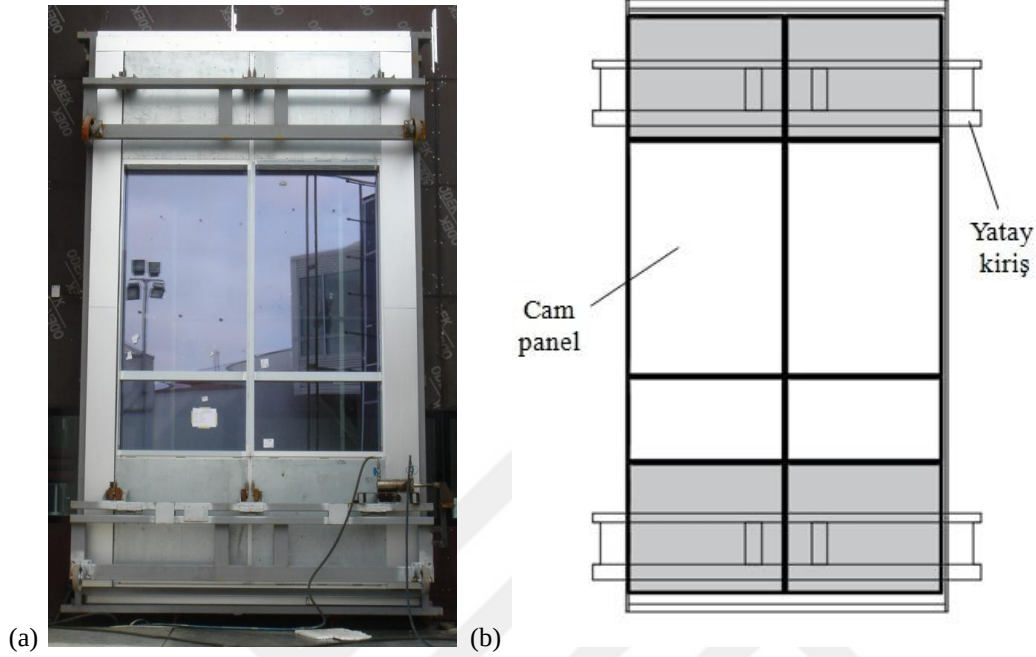
Özellik	Açıklama
Kimyasal Yapı	EPDM (Etilen Propilen Dien Monomer)
Isıl Yapı	Kükürtle Vulkanize Edilmiş Kauçuk
Sürekli Çalışma Sıcaklığı	Termoset Madde
Elastikiyeti Koruma Sıcaklığı	110°C -130°C
Yoğunluk	-10°C ile 35°C arasında değişir
Kopma Dayanımı	1,24 gr/cm ³
Uzama	0,34 MPa ile 24 MPa arasında değişir
Yırtılma Derecesi	%100'den %700'e kadar değişebilir
Aşınma Direnci	Orta-İyi Sınıf
Atmosferik Yaşlanma	Çok İyi Sınıf
Sıcaklık ile Kullanım	Çok İyi Sınıf
Kırılma Sertliği	-45°C Güvenli Kullanım Sağlar
Fitil Ölçü Toleransları	95-100 Shore A
Standartı	DIN 7715 E1-E2-E3
Fitil Sertliği	Firma Genel Toleransı: ± 0,2 mm
Standartı	DIN 7863
Fitil Sertliği	Firma Genel Toleransı: 60 ± 5 mm

Çizelge 3.7 : Numuneye ilişkin alüminyum profil özellikleri.

Özellik	Açıklama
Kimyasal Bağıntısı	6063 (AlMgSi 0,5)
Yoğunluk	2,71 gr/cm ³
Genleşme Katsayısı	26 x10 ⁶ / K (20 - 100 ⁰ C)
İletkenlik	2,02 W / cm K (25 ⁰ C)
Akma Dayanımı	175 N/mm ²
Çekme Dayanımı	205 N/ mm ²
Gerilme Dayanımı	14 kg/ mm ²
Kopma Dayanımı	22~24 N/ mm ²
Uzama	% 12
Brinell Sertliği	65~70
Korozyon Direnci	Çok iyi
Kaynaklanabilme	iyi
Lehimlenebilme	iyi
Alüminyum Alaşımılı	
Profillerin Boyut ve Toleransları	DIN 17615
Çubuk Profillerde Teknik Muayene ve Deney Şartları	TS EN 755 - 1
Çubuk ve Boru Profiller İçin Mekânik Özellikler	TS EN 755 - 2
Al. ve Al. Alaşımlarından İmal Edilen Yuvarlak Çubuk,Kare, Dikdörtgen, Altıgen, Dikişsiz Boru, Lomboz Boru Boyut ve Şekil Toleransları	TS EN 755- 3,4,5,6,7,8
Alüminyum Alaşımların Anodik Oksidasyon ve Teknik Özellikleri	TS 4922



Şekil 3.7 : Panel birleşim noktası detayı.



Şekil 3.8 : (a) Numune ön görünüş fotoğrafı, (b) Numune ön görünüş çizimi.

3.3 Deney süreci

Çalışma kapsamında numunelere uygulanan deney metotları Çizelge 3.8’de belirtilen standartlara bağlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.8 : Çalışma kapsamında yararlanılan standartlar.

No	Standard no	Yayın tarihi	Standard adı
1	TS EN 12152	2004	Giydirme Cepheler, Hava Geçirgenliği, Performans Gereklere ve Sınıflandırma
2	TS EN 12153	2006	Giydirme Cepheler, Hava Geçirgenliği, Deney Metodu
3	TS EN 13830	2005	Giydirme Cepheler, Mamul Standardı
4	TS EN 12154	2004	Giydirme cepheler - Su sızdırmazlık, Performans şartları ve sınıflandırma
5	TS EN 12155	2005	Giydirme cepheler - Su sızdırmazlık, Statik basınç altında laboratuvar deneyi
6	TS EN 12179	2000	Giydirme Cepheler, Rüzgâr Yüklerine Dayanım - Deney Metodu
7	TS EN 13116	2004	Giydirme Cepheler, Rüzgâr Yüküne Dayanım, Performans Şartları
8	AAMA 501.1	2005	Standard Test Method for Water Penetration of Windows, Curtain Walls and Doors using Dynamic Pressure
9	AAMA 501.4	2009	Recommended Static Test Method for Evaluating Curtain Wall and Storefront Systems Subjected to Seismic and Wind Induced Interstory Drifts

Çalışmada yorma uygulanan cephe numunesinin kodu “FP” olarak belirlenirken, yorma uygulanmayan numuneye ilişkin kod “P” olarak alınmıştır. P ve FP numunelerine ilişkin numune kodları ve uygulama tarihleri Çizelge 3.9’da verilmiştir. Deney tarihlerine karar verilirken daha uygun bir karşılaştırma yapabilmek için iklim koşullarının farklı olması amaçlanmakla birlikte deney merkezinin çalışma programı da göz önüne alınmıştır.

Çizelge 3.9 : Numune kodları ve uygulama tarihleri.

Deney no	Numune P		Numune FP	
	Deney kodu	Deney tarihi	Deney kodu	Deney tarihi
1	P1	Aralık 2012	FP1	Aralık 2012
2	P2	Mart 2013	FP2	Mart 2013
3	P3	Eylül 2013	FP3	Eylül 2013
4	P4	Ocak 2014	FP4	Ocak 2014
5	P5	Mart 2014	FP5	Mart 2014

Deney numunelerine uygulanacak performans deneyleri TS EN 13830 (Giydirme Cepheler-Mamul Standardı), CWCT (2006a ve 2006b) ve AAMA 501.4 (Recommended Static Test Method for Evaluating Curtain Wall and Storefront Systems Subjected to Seismic and Wind Induced Interstory Drifts) standartlarında belirtilen sıralamaya uygun olarak yapılmıştır. Buna göre çalışmada deney işlemleri gerçekleştirilen numuneler için deney uygulama sırası Çizelge 3.10’da özetlenmiştir.

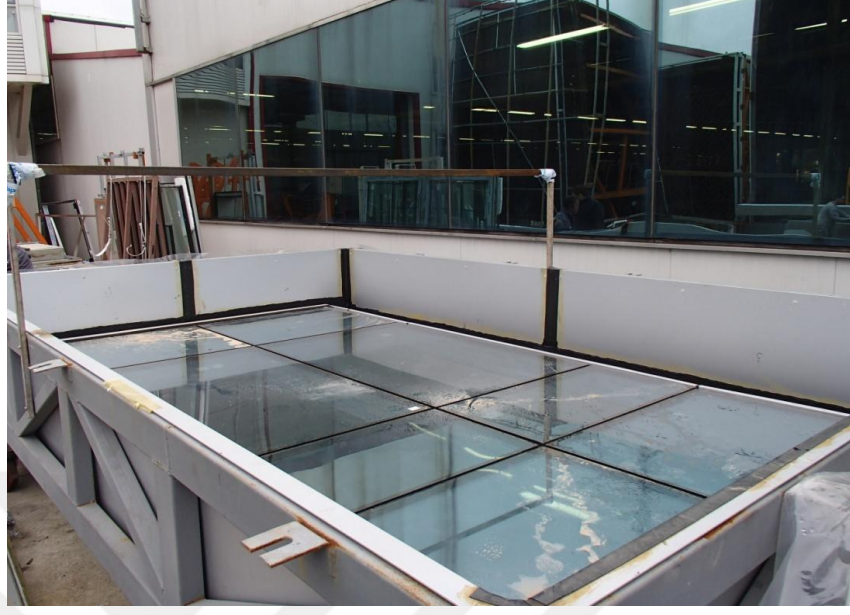
Çizelge 3.10 : Deney sıralaması.

	Deney adı	Deney tipi
Deney 1.	Hava geçirgenlik deneyi	Pozitif ve negatif yükleme
Deney 2.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	Pozitif yükleme
Deney 3.	*Su sızdırmazlık deneyi (dinamik)	Pozitif yükleme
Deney 4.	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (tasarım yükü)	Pozitif ve negatif yükleme
Deney 5.	Hava geçirgenlik deneyi	Pozitif ve negatif yükleme
Deney 6.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	Pozitif yükleme
Deney 7.	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	Çift yönde yerdeğiştirme
Deney 8.	Hava geçirgenlik deneyi	Pozitif ve negatif yükleme
Deney 9.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	Pozitif yükleme
Deney 10.	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (Tasarım yükünün 1.5 katı)	Pozitif ve negatif yükleme
Deney 11.	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	Çift yönde yerdeğiştirme
Deney 12.	*Yorma deneyi (ETAG 17)	Negatif yükleme

** Yalnızca FP1, FP2, FP3, FP4 ve FP5 kodlu numunelere uygulanmıştır.*

Yorma deneyi uygulanan FP numunesi deney işlemlerinin tamamlanmasının ardından vinç yardımıyla deney standından indirilerek bir sonraki deney zamanına kadar dış ortamda bekletilmiştir. Deney zamanı gelen numune tekrar vinç yardımıyla deney standına yerleştirilmiş ve deney işlemleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.9).

Yorma deneyi uygulanmayan P numunesi deney işlemlerinin tamamlanmasının ardından vinç yardımıyla deney standından indirilerek kapalı laboratuvar ortamına alınmış ve paketleme işlemi yapılarak bir sonraki deney zamanına kadar kapalı laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Deney zamanı gelen numune tekrar vinç yardımıyla deney standına bağlanmış ve deney işlemleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.9 : Deney merkezinde açık alanda bekletilen FP numunesi.



Şekil 3.10 : Deney merkezinde paketlenme işlemi tamamlanan numune P numunesi.

Çalışma kapsamında belirlenen tarihlerde deneyleri gerçekleştirilen numuneler için bir kodlama sistemi oluşturulmuştur (Çizelge 3.11 ve Çizelge 3.12). Bölüm 4’de bu kodlama sistemi kullanılarak performans değerlendirmesi yapılacaktır. Su sızdırmazlık, rüzgâr yüküne dayanım, sismik ve yorma deneyleri kapsamında herhangi bir sayısal veri elde edilmediği için bu deneylere ilişkin kodlama yapılmamıştır.

Çizelge 3.11 : Deney kodları (P numunesi).

Deney sırası	Deney adı	Yükleme tipi	Deney kodu				
			P1	P2	P3	P4	P5
1	Hava geçirgenlik deneyi	Pozitif	P1/1P	P2/1P	P3/1P	P4/1P	P5/1P
		Negatif	P1/1N	P2/1N	P3/1N	P4/1N	P5/1N
2	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	Pozitif	-	-	-	-	-
3	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (tasarım yükü)	Pozitif	P1/3P	P2/3P	P3/3P	P4/3P	P5/3P
		Negatif	P1/3N	P2/3N	P3/3N	P4/3N	P5/3N
4	Hava geçirgenlik deneyi	Pozitif	P1/4P	P2/4P	P3/4P	P4/4P	P5/4P
		Negatif	P1/4N	P2/4N	P3/4N	P4/4N	P5/4N
5	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	Pozitif	-	-	-	-	-
6	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	Çift Yön	-	-	-	-	-
7	Hava geçirgenlik deneyi	Pozitif	P1/7P	P2/7P	P3/7P	P4/7P	P5/7P
		Negatif	P1/7N	P2/7N	P3/7N	P4/7N	P5/7N
8	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	Pozitif	-	-	-	-	-
9	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi	Pozitif	-	-	-	-	-
		Negatif	-	-	-	-	-
10	(tasarım yükünün 1.5 katı) Sismik dayanım deneyi (tasarım)	Çift Yön	-	-	-	-	-

Çizelge 3.12 : Deney kodları (FP numunesi).

Deney sırası	Deney adı	Yükleme tipi	Deney kodu				
			FP1	FP2	FP3	FP4	FP5
1	Hava geçirgenlik deneyi	Pozitif	FP1/1P	FP2/1P	FP3/1P	FP4/1P	FP5/1P
		Negatif	FP1/1N	FP2/1N	FP3/1N	FP4/1N	FP5/1N
2	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	Pozitif	-	-	-	-	-
3	Su sızdırmazlık deneyi (dinamik)	Pozitif	-	-	-	-	-
4	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (tasarım yükü)	Pozitif	FP1/4P	FP2/4P	FP3/4P	FP4/4P	FP5/4P
		Negatif	FP1/4N	FP2/4N	FP3/4N	FP4/4N	FP5/4N
5	Hava geçirgenlik deneyi	Pozitif	FP1/5P	FP2/5P	FP3/5P	FP4/5P	FP5/5P
		Negatif	FP1/5N	FP2/5N	FP3/5N	FP4/5N	FP5/5N
6	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	Pozitif	-	-	-	-	-
7	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	Çift Yön	-	-	-	-	-
8	Hava geçirgenlik deneyi	Pozitif	FP1/8P	FP2/8P	FP3/8P	FP4/8P	FP5/8P
		Negatif	FP1/8N	FP2/8N	FP3/8N	FP4/8N	FP5/8N
9	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	Pozitif	-	-	-	-	-
10	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (Tasarım yükünün 1.5 katı)	Pozitif	-	-	-	-	-
		Negatif	-	-	-	-	-
11	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	Çift Yön	-	-	-	-	-
12	Yorma deneyi (ETAG 17)	Negatif	-	-	-	-	-

Kodlama sisteminde, XY/ZT biçiminde tanımlanan kodlamada:

X değeri: Numune kodu (P ya da FP)

Y değeri: Uygulanan deney prosedürü sayısı (Örneğin P2/3N kodlamasındaki P2 kodu: P numunesinin 2. deney prosedürünü, diğer bir deyişle 90. günde uygulanan prosedürünü; FP5/8P kodlamasındaki FP5 kodu: FP numunesinin 5. deney prosedürünü, diğer bir deyişle 450. günde uygulanan prosedürünü ifade etmektedir.)

Z değeri: Deney sırası (Örneğin FP2/5N kodlamasındaki 5 rakamı, uygulanan deney prosedüründe deney sırasında 5. sırada yer alan deney sonucunu ifade etmektedir.)

T değeri: Yükleme tipi (Pozitif için P, Negatif için N)

Genel olarak bir tanımlama yapıldığında, FP3/8N kodu, FP numunesinin 270. günde (bu numuneye uygulanan 3. deney prosedüründe) deney sıralamasında 8. sırada yer alan deney (hava geçirgenlik deneyi) için negatif yükleme sonucu ifade etmektedir.

Çalışma kapsamında deneyleri gerçekleştirilen numunelere ilişkin deney süreleri Çizelge 3.13'de verilmiştir. Çizelgeye göre en uzun deney süresi su sızdırmazlık (statik) deneyinde, en kısa deney süresi ise sismik dayanım deneyinde gerçekleşmiştir.

Çizelge 3.13 : Deney süreleri (dk).

Deney sırası	Deney adı	Yükleme tipi	Deney kodu									
			P1	P2	P3	P4	P5	FP1	FP2	FP3	FP4	FP5
1	Hava geçirgenlik deneyi	Pozitif	15:11	15:28	15:05	15:02	15:19	15:45	14:12	23:38	25:13	23:48
		Negatif	14:31	14:20	13:52	14:02	14:43	15:29	14:37	23:47	22:07	20:18
2	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	Pozitif	54:36	57:07	01:10:05	58:12	55:25	56:39	55:18	01:00:01	57:42	56:09
3	Su sızdırmazlık deneyi (dinamik)	Pozitif	-	-	-	-	-	15:00	15:00	15:00	15:00	15:00
4	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (tasarım yükü)	Pozitif	04:30	04:55	05:01	05:22	05:13	03:41	05:15	05:56	04:58	05:10
		Negatif	04:45	05:24	04:56	04:51	05:07	04:54	05:12	05:21	05:20	05:01
5	Hava geçirgenlik deneyi	Pozitif	14:58	14:48	15:20	15:46	15:34	06:03	11:47	22:30	12:15	20:03
		Negatif	13:51	14:52	14:12	14:50	14:42	05:31	09:40	22:32	08:51	10:26
6	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	Pozitif	54:57	54:57	56:08	54:03	54:52	59:12	55:04	01:02:50	58:45	59:31
7	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	Çift Yön	01:20	01:30	01:10	01:22	01:12	01:50	01:20	01:30	01:30	01:35
8	Hava geçirgenlik deneyi	Pozitif	12:31	07:47	10:26	09:36	10:07	10:54	09:28	20:10	18:10	20:56
		Negatif	12:05	10:51	10:47	10:13	11:54	11:16	09:07	18:50	16:55	14:08
9	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	Pozitif	01:01:07	55:26	58:56	57:31	57:02	01:06:03	54:49	01:01:10	59:35	58:02
10	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (Tasarım yükünün 1.5 katı)	Pozitif	02:45	02:10	02:05	02:42	02:15	03:13	02:50	02:50	03:20	02:12
		Negatif	02:20	02:40	02:55	02:45	02:40	02:55	01:20	02:20	02:04	01:55
11	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	Çift Yön	01:25	01:20	01:36	01:27	01:30	01:30	01:30	01:10	01:25	01:20
12	Yorma deneyi (ETAG 17)	Negatif	-	-	-	-	-	25:26	10:45	16:32	16:28	18:20

Çalışma kapsamında deney işlemleri gerçekleştirilen cephe sistemlerinin deneyi sırasındaki ortam koşullarına ilişkin bilgiler Çizelge 3.14’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde deney işlemlerinin en düşük 4°C, en yüksek 20°C sıcaklıkta gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu sıcaklık farkının cephe profillerinde ve panel birleşim noktalarında genleşme etkisinden dolayı performans değişimine neden olabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 3.14 : Ortam koşulları.

	Deney kodu									
	P1	P2	P3	P4	P5	FP1	FP2	FP3	FP4	FP5
Yerel sıcaklık (°C)	4	9	20	5	10	2	8	16	4	9
Atmosfer Basıncı (MBar)	1012	1020	980	1005	1010	1016	1022	996	992	1008
Ortam nemi (%)	78	87	80	82	72	75	86	75	79	68

3.4 Deney Prosedürleri ve DeneySEL Sonuçlar

Giydirme cepheler için genel olarak uygulanan deneyler hava geçirgenlik, su sızdırmazlık, rüzgâr ve sismik hareketlere bağlı yerdeğiştirme deneyleridir. Statik deney için ASTM E331, dinamik deney için AAMA 501.1 standartlarından yararlanılmakta birlikte deneylerin CWCT ile uyumlu olması gerekmektedir (Tekin, 2006a).

Deneyler sırasında numuneye uygulanan basınç değerleri Çizelge 3.15’de verilmiştir. Tasarım basıncı değeri sistem üreticisi firma ve deney merkezi ile yapılan ortak görüşmeler sonucunda sistemin daha önce gerçekleştirilen deney sonuçlarındaki performansı gözönüne alınarak belirlenmiştir. Normal basınç değeri, tasarım basıncı değerinin %25’i ve en yüksek basınç değeri de tasarım basıncı değerinin %150’si olarak seçilmiştir (TS EN 12154).

Çizelge 3.15 : Deney basınç değerleri (Pa).

	Basamak	Pozitif basınç	Negatif basınç
1	$P_1 = P_N$	600	-600
2	$P_2 = P_D$	2400	-2400
3	$P_E = \%150P_D$	3600	-3600

P_N : Normal basınç değeri

P_D : Tasarım basıncı değeri

P_E : En yüksek basınç değeri

3.4.1 Hava geçirgenlik deneyi

Giydirme cephe üzerinde hava geçişi, yatay ve düşey profiller arasındaki hatalı bağlantılardan ya da fitillerden gerçekleşmektedir. Hava kaçağı binalardaki enerji kaybının ana nedenidir. Tamamlanmış binaların bütününde yapılan enerji hesaplarına göre hava sızma miktarı $10 \text{ m}^3/\text{saat}/\text{m}^2$ 'dir. Bina içinde ve dışında farklı basınçlar oluşur. Hava basıncı için sınır değerler klimalı mekânlar için 600 MPa, klimasız mekânlar için 300 MPa verilmektedir (Tekin, 2006a). Cepheler için hava geçirgenlik deneyi kapsamında yararlanılabilecek standartlar Çizelge 3.16'da özetlenmiştir.

Çizelge 3.16 : Deney kapsamında yararlanılabilecek standartlar.

No	Standard	Yayın tarihi	Standard adı
1	TS EN 12152	2004	Giydirme Cepheler, Hava Geçirgenliği, Performans Gerekleri ve Sınıflandırma
2	TS EN 12153	2006	Giydirme Cepheler, Hava Geçirgenliği, Deney Metodu
3	TS EN 13830	2005	Giydirme Cepheler, Mamul Standardı
4	TS EN 13119	2009	Giydirme Cepheler, Terimler ve Tarifleri
5	TS EN 12207	2004	Pencereler ve Kapılar, Hava Geçirgenliği, Sınıflandırma
6	ASTM E330	2002	Standard Test Method for Structural Performance of Exterior Windows, Doors, Skylights and Curtain Walls by Uniform Static Air Pressure Difference
7	AS/NZS 4284	2008	Testing of Building Facades
8	ASTM E283	2004	Standard Test Method for Determining Rate of Air Leakage Through Exterior Windows, Curtain Walls, and Doors under Specified Pressure Differences Across the Specimen

Hava geçirgenlik deneyi, pozitif ve negatif hava basıncı altında giydirme cephelerin sabit ve açılabilir parçalarında hava geçirgenliği ile ilgili gereklerin yerine getirilmesi ve bu parçaların hava geçirgenlik bakımından sınıflandırılması prensibini kapsamaktadır (TS EN 12152).

Giydirme cephenin sabit alanlarındaki hava geçirgenlik değerleri hesaplanırken açılabilir birleşim yerleri olması durumunda bu bölgelerden geçen hava dikkate alınmamalı ve hava geçirgenliği hesabı uygulanan pozitif basınç, numunenin toplam alanı ya da sabit birleşim yeri uzunlukları kullanılarak hesaplanmalıdır. Giydirme cephenin yatay ve düşey taşıyıcı elemanlarla birleştirilmiş çok sayıda küçük parçadan oluşması durumunda, hava geçirgenliğini giydirme cephenin m² cinsinden alanı yerine, sabit birleşim yerinin metre cinsinden uzunluğuyla ifade etmek gerekir. Panellerin bir araya gelerek cepheyi oluşturduğu sistemlerde ise hava geçirgenliği cephenin m² cinsinden alanı kullanılarak hesaplanmalıdır.

Deneysel çalışmada her iki cephe sistemi cam panellerin birleştirilmesi ile oluşturulduğu için hava geçirgenlik değerleri hesaplanırken cephenin m² cinsinden toplam alanı (10,68 m²) dikkate alınmıştır.

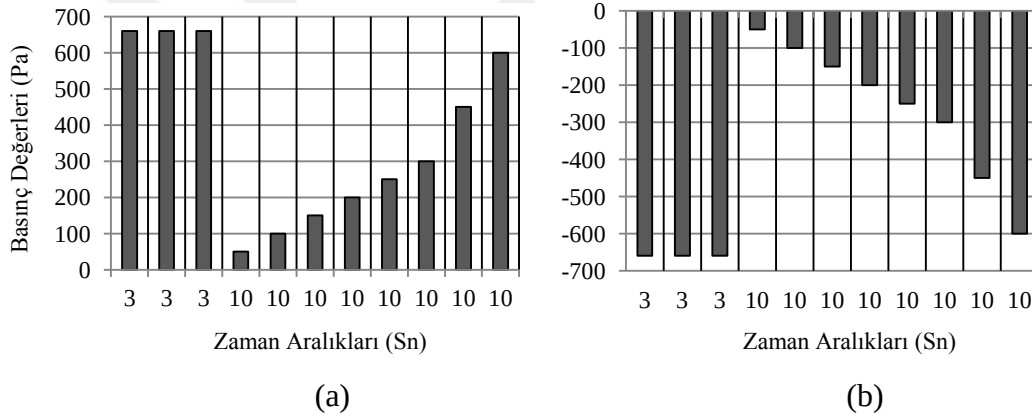
Deney numunesinin deney standına yerleştirilmesi sırasında her iki yöndeki normal kullanım durumu için düz, kare şeklinde ve sabitleme düzeneklerinin kullanımının bir sonucu olan gözle görünür bir bükülme ya da eğilme olmaksızın doğru bir şekilde yerleştirilmesi gerekir. Cephenin açılabilir ek yerleri olması durumunda hava girişini engellemek için bu ek yerleri bantlanmalıdır. Deney öncesinde numune ile deney odası arasındaki bütün ek yerlerinin sızdırmazlığı sağlanmalı, deneye başlamadan önce numune temiz olmalıdır (TS EN 12152 ve TS EN 12153).

Hava geçirgenlik deneyi öncesinde deneysel çalışma sonunda bir sınıflandırma yapabilmek için maksimum deney basıncı (P_{maks}) belirlenmelidir. Deney sırasında 50 Pa'dan 300 Pa'ya kadar olan artışlarla ve 150 Pa'dan maksimum deney basıncına kadar olan artışlarla deney basınçları uygulanmalıdır. Çalışmada (P_{maks}) değeri sistem üreticisi firma ve deney merkezi ile görüşülerek 600 Pa olarak belirlenmiştir.

Deney başlangıcında 500 Pa'ya ya da maksimum deney basıncının (P_{maks}) %10 fazlasına eşit (hangisi büyükse) olacak şekilde üç pozitif basınç darbesi uygulanmalıdır. Bu basınç darbeleri numunenin deney düzeneğine yerleştirilmesi sonrasında bağlantı elemanları arasında oluşabilecek boşlukların deney sırasında hava kaçışına neden olmasını engellemek için uygulanmaktadır.

Çalışmada hava geçirgenlik deneylerine başlamadan önce numunelere normal basınç değerinin (600 Pa) %10'u kadar (660 Pa) 3 sn'lik aralıklarla pozitif ve negatif üç adet basınç değeri uygulanmıştır. Çalışmada numunelere uygulanan bu basınç darbeleri sonrasında herhangi bir hava kaçıışı olmadığı deney odasında numune kontrolünün sağlandığı bilgisayar sisteminde gözlemlendiği için numuneler üzerinde herhangi bir bağlantı kontrolüne gerek kalmadan deney işlemlerine başlanmıştır.

Deneyler esnasında 50, 100, 150, 200, 250, 300, 450, 600 Pa'lık basınç darbeleri 10 sn'lik aralıklarla uygulanarak bu basınç kademelerinde cephe sisteminin tamamından geçen hava miktarları her bir numune için ayrı ayrı elde edilmiştir. Numunelere uygulanan basınç kademelerine ilişkin grafiksel veriler Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11 : Basınç uygulama adımları (a) Pozitif basınç, (b) Negatif basınç.

Hava geçirgenlik deneyleri, uygulanan deney prosedürü kapsamında her bir numune için deney sıralamasına uygun olarak toplam üç kez tekrarlanmıştır. Deneylerde elde edilen hava geçirgenlik değerleri Çizelge 3.17'de, maksimum hava geçirgenlik değerleri Şekil 3.12'de ve detaylı sonuç tablolar Ek-A'da yer almaktadır. Çizelge 3.17'de yer alan hava geçirgenlik değerleri deney prosedüründe yer alan 1. hava geçirgenlik deneylerine ilişkin sayısal sonuçlardır. 2. ve 3. hava geçirgenlik deneylerine ilişkin detaylı sayısal veriler yine Ek-A'da verilmiştir.

Çizelge 3.17 : Hava geçirgenlik deney sonuçları ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$).

Zaman (gün)	N. kodu	Deney kodu	Basınç değerleri (Pa)								Sınır değer
			50	100	150	200	250	300	450	600	
0	P1	P1/1P	0,18	0,22	0,28	0,28	0,38	0,41	0,53	0,68	1,50
		P1/1N	0,09	0,10	0,11	0,19	0,25	0,30	0,39	0,52	
90	P2	P2/1P	0,11	0,19	0,25	0,30	0,50	0,46	0,80	0,88	
		P2/1N	0,00	0,17	0,16	0,20	0,24	0,31	0,39	0,56	
270	P3	P3/1P	0,27	0,38	0,41	0,53	0,50	0,62	0,89	1,07	
		P3/1N	0,17	0,22	0,31	0,33	0,39	0,48	0,59	0,80	
390	P4	P4/1P	0,19	0,28	0,41	0,51	0,54	0,63	0,75	0,99	
		P4/1N	0,13	0,24	0,26	0,32	0,39	0,40	0,53	0,74	
450	P5	P5/1P	0,21	0,32	0,44	0,54	0,61	0,70	0,83	1,03	
		P5/1N	0,17	0,28	0,30	0,39	0,45	0,46	0,59	0,80	
0	FP1	FP1/1P	0,21	0,33	0,43	0,53	0,59	0,66	0,79	1,04	1,50
		FP1/1N	0,19	0,29	0,44	0,62	0,62	0,73	0,97	1,27	
90	FP2	FP2/1P	0,26	0,44	0,53	0,60	0,68	0,79	1,02	1,59	
		FP2/1N	0,33	0,53	0,69	0,77	0,88	1,04	1,34	1,56	
270	FP3	FP3/1P	0,48	0,78	0,95	1,21	1,42	1,55	2,08	2,79	
		FP3/1N	0,52	0,81	0,90	1,12	1,25	1,34	1,86	2,23	
390	FP4	FP4/1P	0,66	1,01	1,24	1,42	1,66	1,88	2,45	3,06	
		FP4/1N	0,68	1,04	1,23	1,45	1,64	1,78	2,20	2,40	
450	FP5	FP5/1P	0,65	0,94	1,25	1,48	1,48	1,79	2,32	2,67	
		FP5/1N	0,62	0,93	1,20	1,38	1,48	1,74	2,12	2,36	

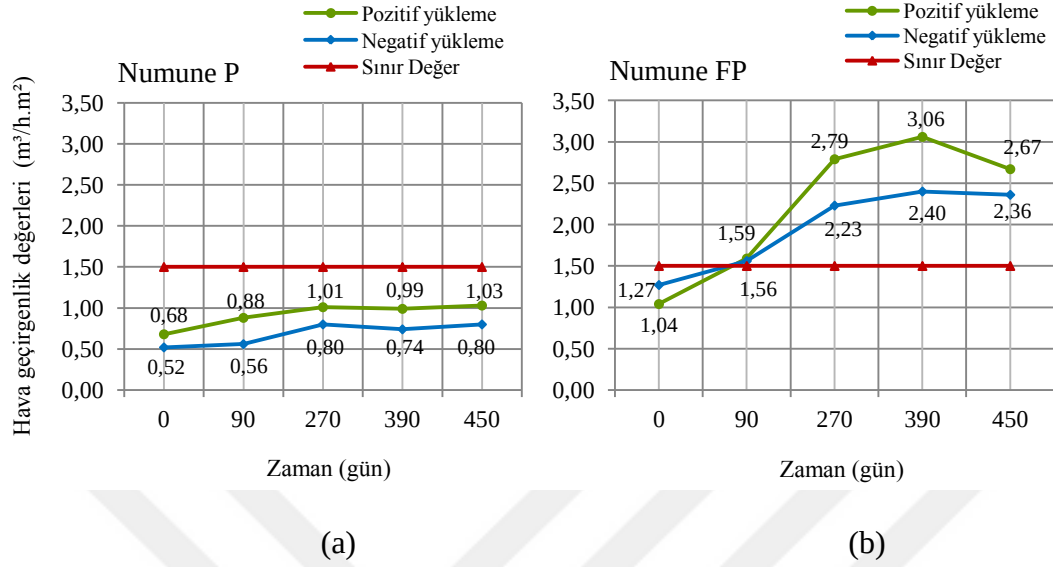
*TS EN12152'ye göre $1,50 \text{ m}^3/\text{h}.\text{m}^2$ sınır değerini aşan sonuçlar.

Giydirme cephenin bir sınıfa dâhil olması için ilgili sınıfa ilişkin Çizelge 3.18'de verilen en büyük deney basıncı altında ve ara basınçlar altında izin verilen hava geçirgenliğini hiçbir deney basıncı kademesinde aşmaması gerekmektedir (TS EN 12152). 150 Pa'dan daha az basınç altında, $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ 'ten daha fazla hava sızdıran numuneler herhangi bir sınıfa dâhil edilmez. 600 Pa'dan daha yüksek basınç altında $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ 'ten daha az hava sızdıran numuneler E (istisnai) olarak sınıflandırılır.

Çizelge 3.18 : Hava geçirgenlik sınıfları.

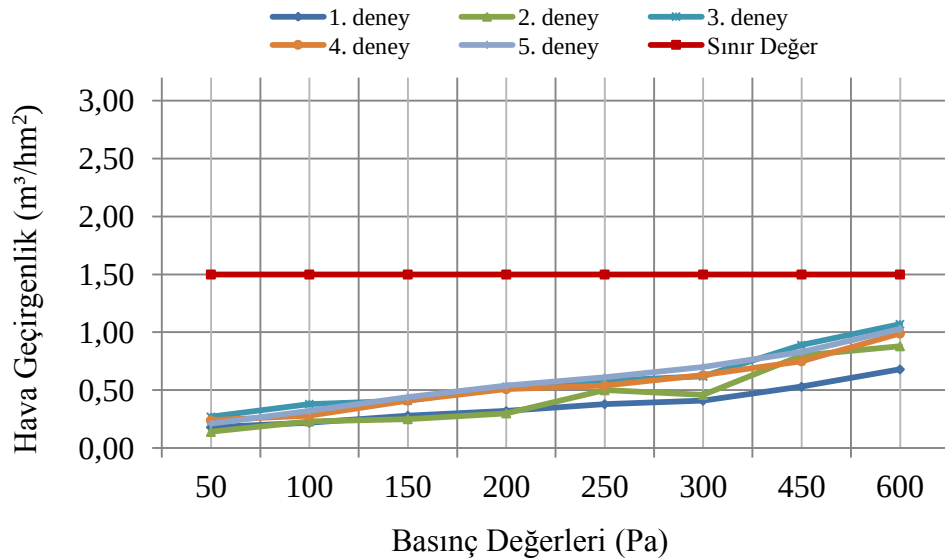
En büyük basınç değeri P_{maks} (Pa)	Hava geçirgenliği ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$)	Sınıf
150	1,5	A1
300	1,5	A2
450	1,5	A3
600	1,5	A4
>600	1,5	A5

Çizelge 3.17’de $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ sınır değerini aşan sonuçlar gösterilmiştir. Bu sonuçlara ait grafiksel veriler Şekil 3.12.a ve 3.12.b’de verilmiştir.

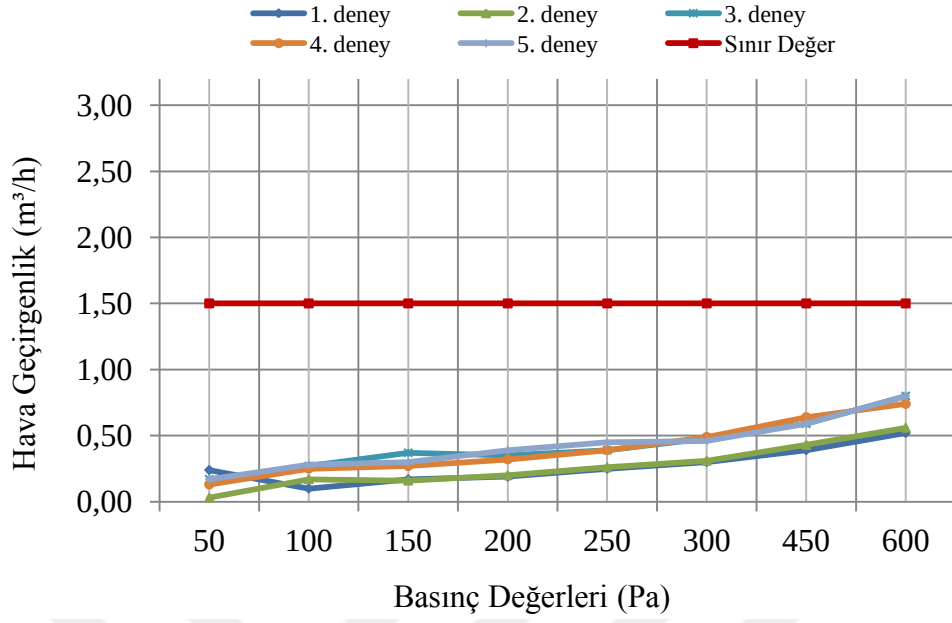


Şekil 3.12 : Maksimum hava geçirgenlik değerleri. (a) P numunesi, (b) FP numunesi.

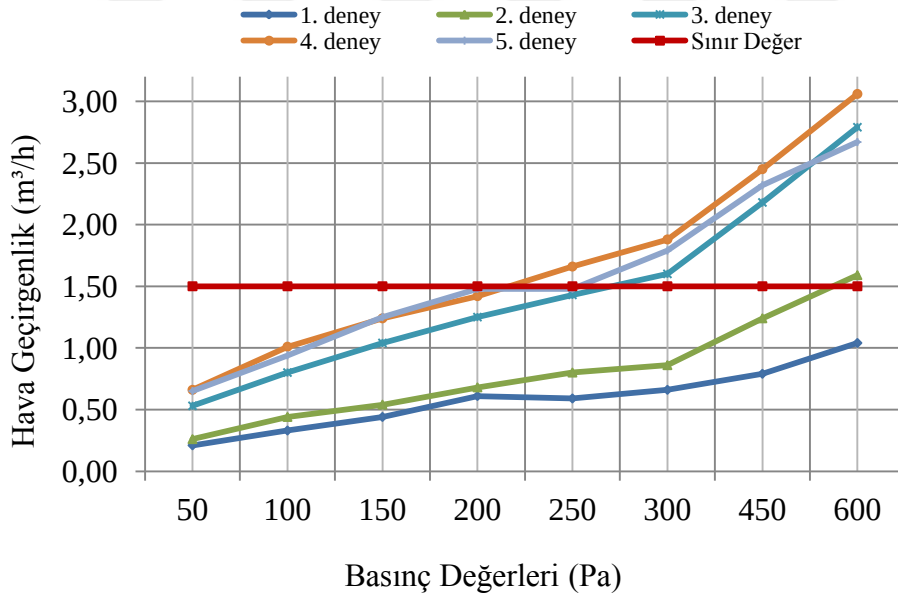
Deney işlemleri tamamlanan numuneler için pozitif ve negatif yüklemelerde 0., 90., 270., 390. ve 450. günlerde elde edilen maksimum hava geçirgenlik değerleri P ve FP numuneleri için ayrı ayrı düzenlenerek Şekil 3.13, 3.14, 3.15 ve 3.16 oluşturulmuştur.



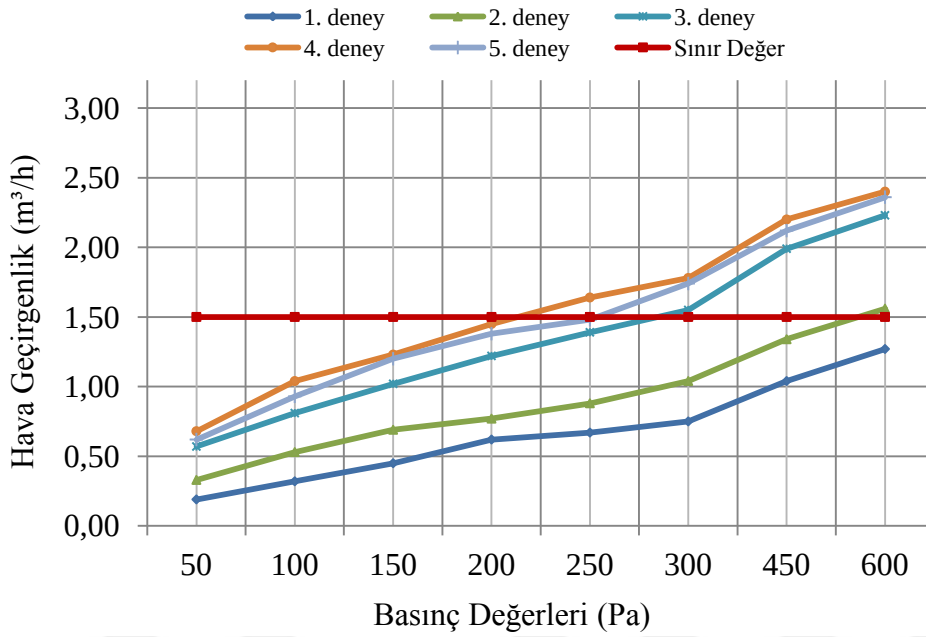
Şekil 3.13 : Pozitif yükleme için maksimum hava geçirgenlik değerleri (P numunesi).



Şekil 3.14 : Negatif yükleme için maksimum hava geçirgenlik değerleri (FP numunesi).



Şekil 3.15 : Pozitif yükleme için maksimum hava geçirgenlik değerleri (FP numunesi).



Şekil 3.16 : Negatif yükleme için maksimum hava geçirgenlik değerleri (FP numunesi).

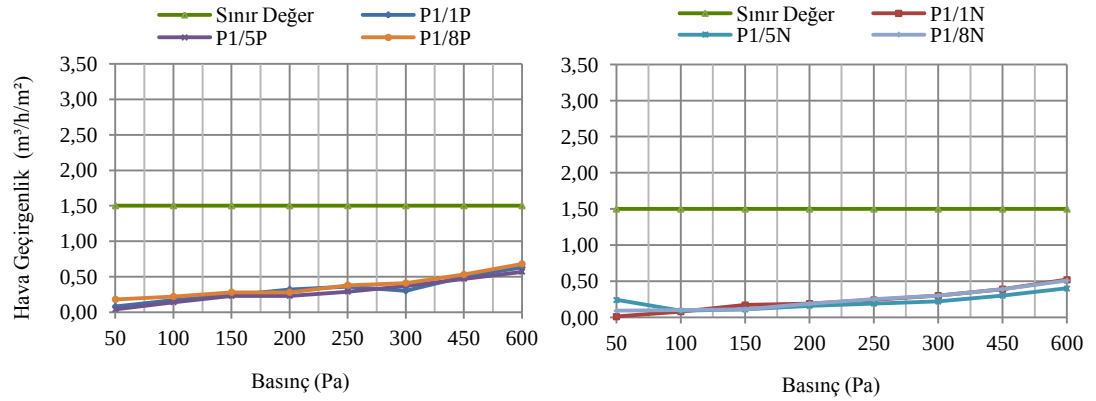
TS EN 13116'ya göre, giydirme cepheler tasarım yükünü performans koşullarında herhangi eksiltme olmadan taşıyabilecek kapasitede olmalıdır. Bu kapsamda ilgili standartta yer alan performans koşulları dışındaki ölçütlere bağlı olarak her bir numune için hava geçirgenlik deneylerine ilişkin sonuçlar karşılaştırılırken, tekrarlanan deney ile bir önceki deney sırasında en yüksek basınç değerinde ölçülen hava geçirgenlik değerleri arasındaki pozitif fark değeri $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ 'yi geçmemelidir. Deney işlemleri gerçekleştirilen numuneler için deney prosedürü kapsamında tekrarlanan üç adet hava geçirgenlik deneyi sonucunda elde edilen sayısal değerler arasındaki pozitif farklar hesaplanarak Çizelge 3.19 oluşturulmuştur. AS/NZS 4284 standardında sınır değeri $1,6 \text{ L}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ olarak verilmiştir.

Çizelge 3.19 incelendiğinde FP2, FP3 ve FP4 kodlu numunelerde pozitif yüklemeler için bu sınır değerini aştığı, diğer numunelerin tamamında ise sınır değerinin altında sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

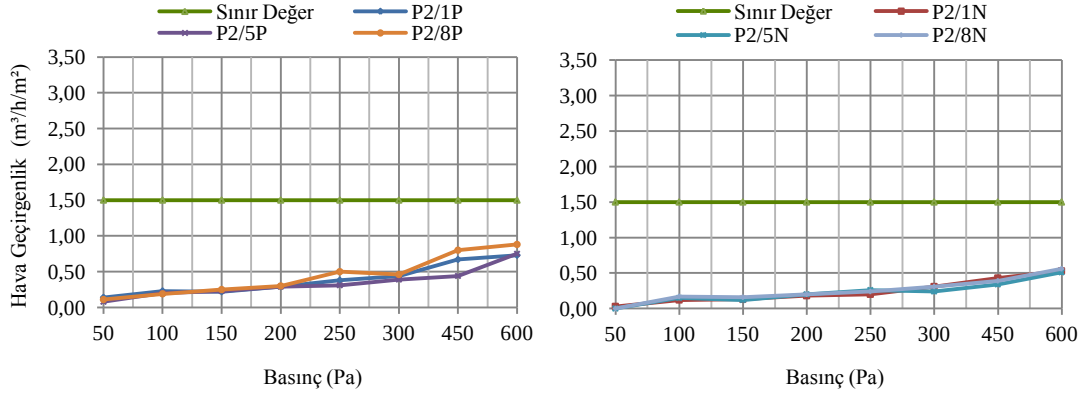
Çizelge 3.19 : Hava geçirgenlik deney sonuçlarının karşılaştırılması (m^3/m^2h).

Numune	Yükleme	1. deney	2. deney	Pozitif fark	Sonuç	2. deney	3. deney	Pozitif fark	Sonuç
P1	Pozitif	0,63	0,57	0,06	✓	0,57	0,68	0,11	✓
	Negatif	0,52	0,40	0,12	✓	0,40	0,51	0,11	✓
P2	Pozitif	0,73	0,75	0,02	✓	0,75	0,88	0,13	✓
	Negatif	0,53	0,51	0,02	✓	0,51	0,56	0,05	✓
P3	Pozitif	1,07	1,01	0,06	✓	1,01	1,01	0,00	✓
	Negatif	0,8	0,74	0,06	✓	0,74	0,79	0,05	✓
P4	Pozitif	0,69	0,75	0,06	✓	0,75	0,99	0,24	✓
	Negatif	0,6	0,68	0,08	✓	0,68	0,74	0,06	✓
P5	Pozitif	1,01	1,02	0,01	✓	1,02	1,03	0,01	✓
	Negatif	0,76	0,77	0,01	✓	0,77	0,80	0,03	✓
FP1	Pozitif	0,89	1,00	0,11	✓	1,00	1,04	0,04	✓
	Negatif	1,20	1,18	0,02	✓	1,18	1,27	0,09	✓
FP2	Pozitif	0,92	*1,51	**0,59	x	*1,51	*1,59	0,08	✓
	Negatif	1,24	1,39	0,15	✓	1,39	*1,56	0,17	✓
FP3	Pozitif	2,31	*2,72	**0,41	x	*2,72	*2,79	0,07	✓
	Negatif	2,04	*2,06	0,02	✓	*2,06	*2,23	0,17	✓
FP4	Pozitif	2,45	*2,51	0,06	✓	*2,51	*3,06	**0,55	x
	Negatif	2,23	*2,32	0,09	✓	*2,32	*2,40	0,08	✓
FP5	Pozitif	2,57	*2,61	0,04	✓	*2,61	*2,67	0,06	✓
	Negatif	2,28	*2,34	0,06	✓	*2,34	*2,36	0,02	✓

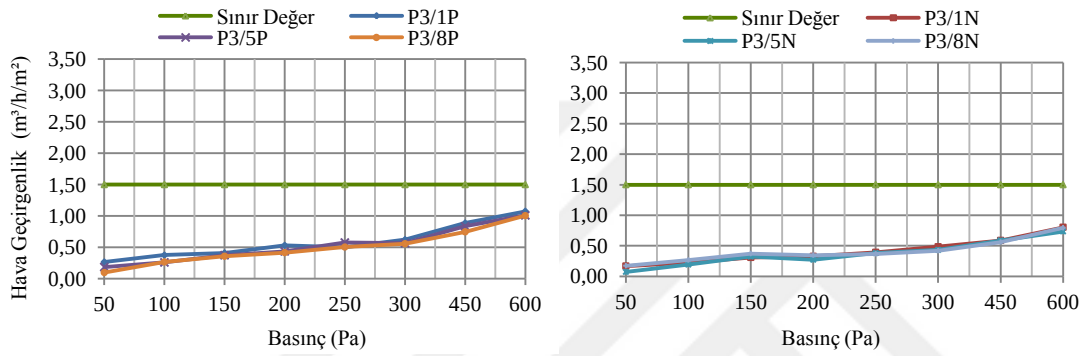
* TS EN12152'ye göre $1,50 m^3/h.m^2$ sınır değerini aşan sonuçlar.
**TS EN13116'ya göre $0,30 m^3/h.m^2$ sınır değerini aşan sonuçlar.



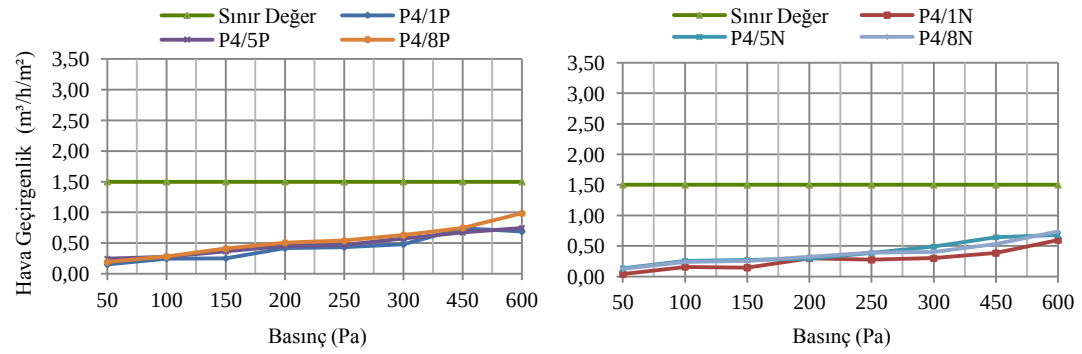
Şekil 3.17 : Pozitif ve negatif yükleme için hava geçirgenlik grafiği (P1).



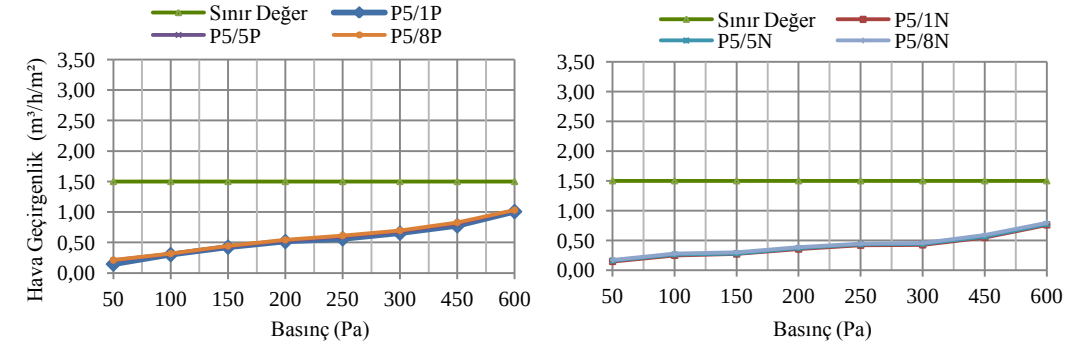
Şekil 3.18 : Pozitif ve negatif yükleme için hava geçirgenlik grafiği (P2).



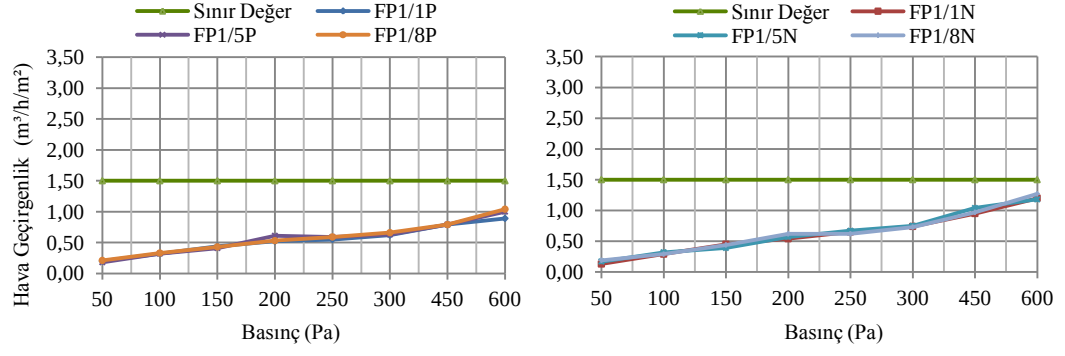
Şekil 3.19 : Pozitif ve negatif yükleme için hava geçirgenlik grafiği (P3).



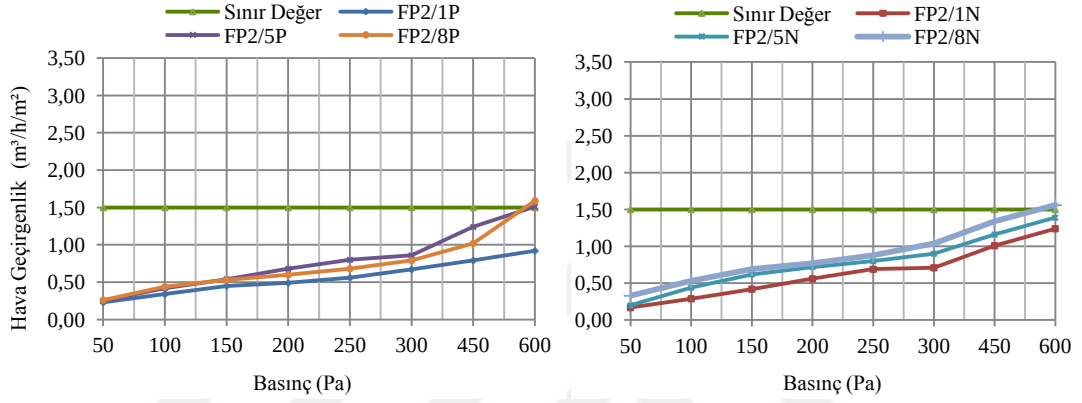
Şekil 3.20 : Pozitif ve negatif yükleme için hava geçirgenlik grafiği (P4).



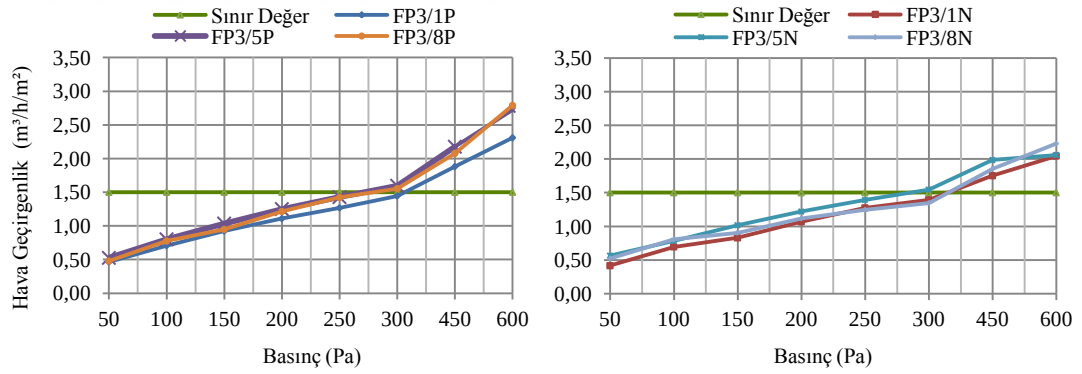
Şekil 3.21 : Pozitif ve negatif yükleme için hava geçirgenlik grafiği (P5).



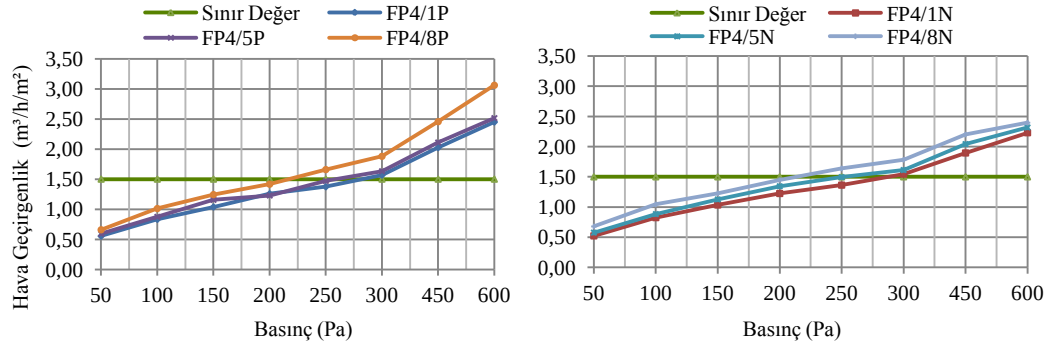
Şekil 3.22 : Pozitif ve negatif yükleme için hava geçirgenlik grafiği (FP1).



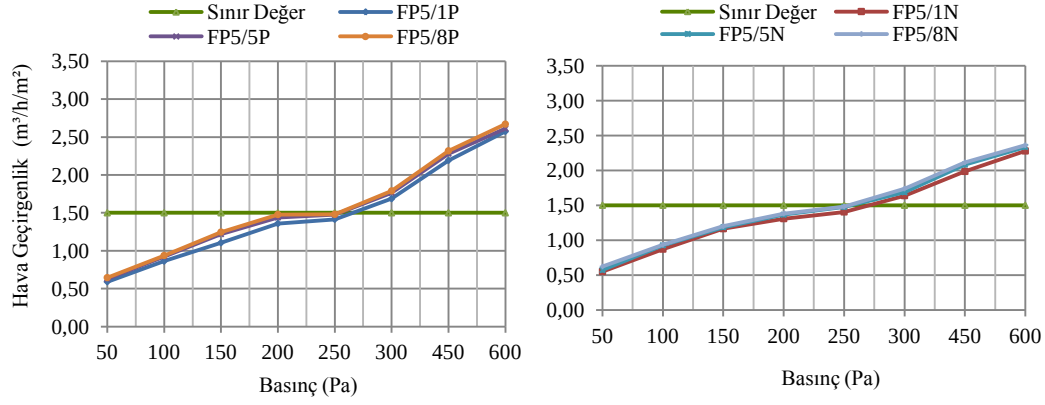
Şekil 3.23 : Pozitif ve negatif yükleme için hava geçirgenlik grafiği (FP2).



Şekil 3.24 : Pozitif ve negatif yükleme için hava geçirgenlik grafiği (FP3).



Şekil 3.25 : Pozitif ve negatif yükleme için hava geçirgenlik grafiği (FP4).



Şekil 3.26 : Pozitif ve negatif yükleme için hava geçirgenlik grafiği (FP5).

3.4.2 Statik su sızdırmazlık deneyi

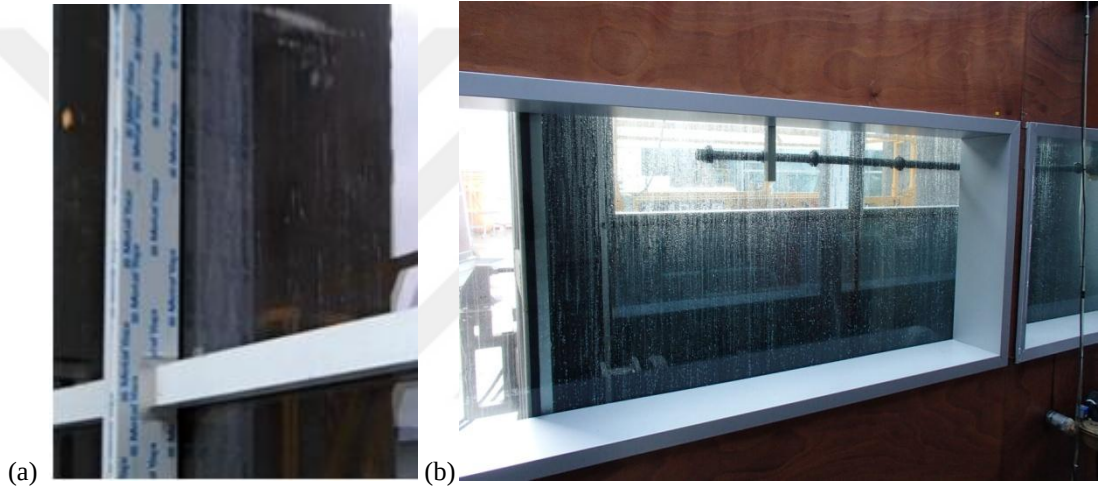
Statik su sızdırmazlık deneyi özellikle son yıllarda inşaat sektöründe uygulama kolaylığı ve düşük maliyetli olmasından dolayı yaygın olarak kullanılan bir deney haline gelmiştir. Uygulanacak dış kabuk sisteminin çeşitliliğine, malzeme farklılıklarına ve performans amaçlarına bağlı olarak bir çok deney prosedürü kullanıma olanağı bulunmaktadır. Bununla birlikte, bu deney su sızdırmazlığının ve numunenin uygulamadaki performansının bir kanıtı olarak da görülmektedir (Smith ve diğ, 1998).

Statik su sızdırmazlık deneyinde sistemin yağmur sırasında su sızdırma durumu kontrol edilir. Deney numunesi üzerine basınçla birlikte su püskürtmesi yapılır. Bu işlem statik, dinamik ve dairesel hareketlerle yapılmalıdır (Chan ve Yu, 2005). Deney esnasında iç mekânlarda az miktarda su geçişi kabul edilebilir olmasına karşın cephelerde amaç mükemmel sızdırmazlığı sağlamaktır. Deney sıralamasına göre su geçirimsizlik performansının yapısal hareketlerden etkilenme durumunun kontrol edilebilmesi için bu deney rüzgâr ve yerdeğiştirme deneylerinden sonra yapılır. İklim bölgelerine göre deney süresi ve basıncı değişiklik göstermektedir. Deney sırasında herhangi bir sızma olursa onarıma kesinlikle izin verilmez, bu durumda sistem detayı tamamen ya da kısmen değiştirilmelidir (Ting, 1997).

Statik su sızdırmazlık deneyinin iki standart versiyonu vardır. Birinde çift diğesinde tek oda kullanılır. Çift oda metodunda her iki odada tek tarafı açık olan iki büyük kutu şeklinde odalar vardır. Açık taraflar arasına deney numunesi yerleştirilerek bir taraftan hava püskürtülür ve diğer taraftan hava sızması olup olmadığı gözlenir. Tek oda metodunda ise deney odasının bir duvarı deney numunesidir; ayrıca dış duvarın onarımına ve dinamik su sızdırmazlık deneylerine olanak verilir. Bunun dışında, oda

içerisine pompalanan hava hacminin ölçülmesiyle hava geçirmezlik değerinin ölçümü sağlanır. Deney kapsamında yararlanılabilecek standartlar Çizelge 3.17’de verilmiştir.

Bu çalışmada deney düzeneği tek oda metoduna uygun olacak şekilde hazırlanmıştır. Statik su sızdırmazlık deneyi için su püskürtme ızgarası cephe numunesi önüne yerleştirildikten sonra numune yüzeyine belirlenen aralıklarla pozitif hava basıncı püskürtme işlemi yapılmıştır. Numuneler düzenek içerisinde yerleştirilirken cephe dış yüzeyi deney odasına, cephe iç yüzeyi ise dış ortama bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Dolayısıyla, su püskürtme işlemi deney odası içerisinden cephe dış yüzeyine doğru yapılmıştır (Şekil 3.27).



Şekil 3.27 : (a) Su sızdırmazlık deneyi (statik) sırasında dış ortamdan görünüş.
(b) Su püskürtme sisteminin deney odası içerisinden görünümü.

Statik su sızdırmazlık deneyi hava geçirgenlik deneyinin ardından gerçekleştirilir. Deney pozitif statik hava basıncı altındaki giydirme cephelerin sabit ve açılabilen bölümlerinin sızdırmazlıkla ilgili performans koşullarını ve su sızdırmazlığa göre sınıflandırılmasını kapsar (TS EN 12154). Deney kapsamında yararlanılabilecek standartlar Çizelge 3.20’de verilmiştir.

Çizelge 3.20 : Deney kapsamında yararlanılabilecek standartlar.

No	Standard no	Yayın tarihi	Standard adı
1	TS EN 12154	2004	Giydirme cepheler - Su sızdırmazlık, Performans şartları ve sınıflandırma
2	TS EN 12155	2005	Giydirme cepheler - Su sızdırmazlık, Statik basınç altında lâboratuvar deneyi
3	TS EN 13830	2005	Giydirme cepheler - Mamul standardı
4	TS EN 13119	2009	Giydirme cepheler - Terimler ve tarifleri
5	AS/NZS 4284	2008	Testing of building facades
6	ASTM E331	2009	Standard Test Method for Water Penetration of Exterior Windows, Skylights, Doors, and Curtain Walls by Uniform Static Air Pressure Difference
7	AAMA 501.2	2003	Quality Assurance and Diagnostic Water Leakage Field Check of Installed Storefronts, Curtain Walls, and Sloped Glazing Systems

Deney işleminde numune önüne yerleştirilen su ızgarası yardımıyla numunenin dış yüzüne belirli zaman aralıkları boyunca uygulanan pozitif deney basıncı artı larıyla birlikte miktarı önceden belirlenmiş sabit debili su, sürekli bir su tabakası oluşacak şekilde uygulanır. Deney işlemi r zg rlı ağır bir ya muru ifade eder; özel zamanlarda yağmur hortumu da kullanılabilir. Su, numune üzerine en az 2 lt/m²dk oranında püskürtülür (TS EN 12155). Deney sırasında varsa su sızıntılarının oluştuğu bölgeler ve sızıntı zamanı kaydedilir.

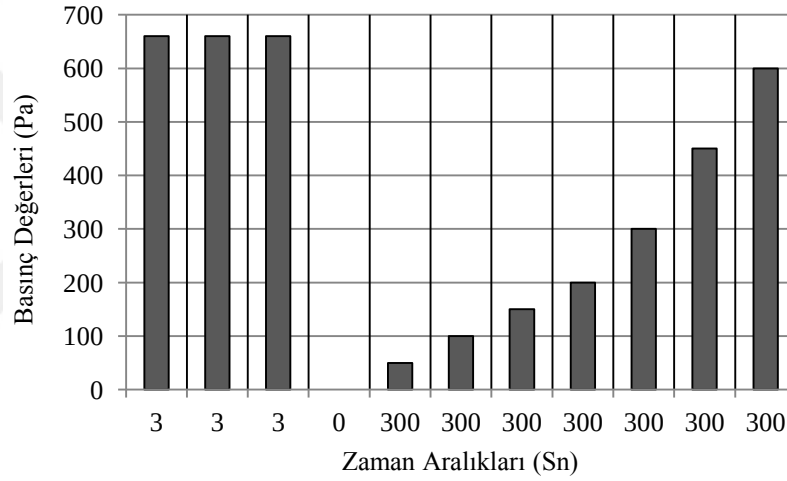
Deney ba lamadan önce numuneye 500 Pa ya da en yüksek deney basıncının %10 arttırılmasıyla bulunan değerden hangisi daha büyükse, o değerde    basınç darbesi uygulanır. Her basınç darbesi için en yüksek basın a en az 1 saniyede ula ılmalı ve basınç bu değerde en az 3 saniye sabit tutulmalıdır.

Deney işleminde püskürtme başlıkları 0 Pa deney basıncında çalıştırılmaya ba lanır ve toplam püskürtme debisi numune yüzeyine 2 lt/m²dk'lık püskürtme yapılacak şekilde numune alanından hesaplanarak ayarlanır. 15 dakika boyunca 0 Pa deney basıncında püskürtme yapıldıktan sonra en yüksek deney basıncına (P_{maks}) ula ılınca kadar belirlenen deney basınçları TS EN 12154  izelge.1'de verilen sıralamayla uygulanır.

Püskürtme süresince numunenin i  yüzeyleri su sızıntısına karşı devamlı kontrol edilir ve varsa gözlenen sızıntının oluştuğu deney basıncı, sızıntı zamanı ve yeri kaydedilir. Gereken en yüksek deney basıncının (P_{maks}) belirlenen zaman boyunca uygulanmasından önce su sızıntısı gözlenmesi durumunda, sızıntının ilk gözlendiği

deney basıncı ve bu basıncın uygulandığı süre kaydedilmelidir (TS EN 12154, TS EN 12155).

Çalışmada en yüksek deney basıncı P_{maks} değeri 600 Pa olarak belirlendiği için (TS EN 12154 Çizelge.1)'e göre uygulanması gereken basınç aşamaları 0, 50, 10, 150, 200, 300, 450 ve 600 Pa olarak belirlenmiştir. Numunelere uygulanan basınç aşamalarına ilişkin değerler Şekil 3.28'de verilmiştir. Deney başlangıcında numunelere normal basınç değerinin (600 Pa) %10'u kadar (660 Pa) üç basınç darbesi uygulanmıştır. 3 sn'lik aralıklarla uygulanan 660 Pa'lık basınçların ardından belirlenen basınç değerleri 300 sn'lik sürelerle uygulanmıştır. Deney sırasında numune yüzeylerine uygulanan toplam su miktarı $3,4 \text{ lt/dk} \times 10,68 \text{ m}^2 = 36,32 \text{ lt/dk} = 2179 \text{ lt/sa}$ civarında olmuştur.



Şekil 3.28 : Su sızdırmazlık deneyi basınç prosedürü.

Deney işleminin tamamlanmasının ardından TS EN 12154'e göre sınıflandırma yapılmaktadır. Standartta karşılaşılabilecek yerel ve bölgesel koşulların tamamını yeterince kapsayan beş sınıf tanımlanmıştır. Bu sınıflar, Çizelge 3.21'de verilmiştir.

Çizelge 3.21 : Su sızdırmazlık basınç aşamaları ve sınıflandırma.

Sınıf	Basınç aşamaları (Pa) ve deney süresi (dakika) Pa/dk	Su püskürtme hızı lt/m ² 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
	0/15; 50/5; 100/5; 150/5; 200/5; 300/5; 450/5; 600/5;	
RE	600/5'in üstünde, 150 Pa'lık basınç kademelerinde ve 5 dakika süre ile	2

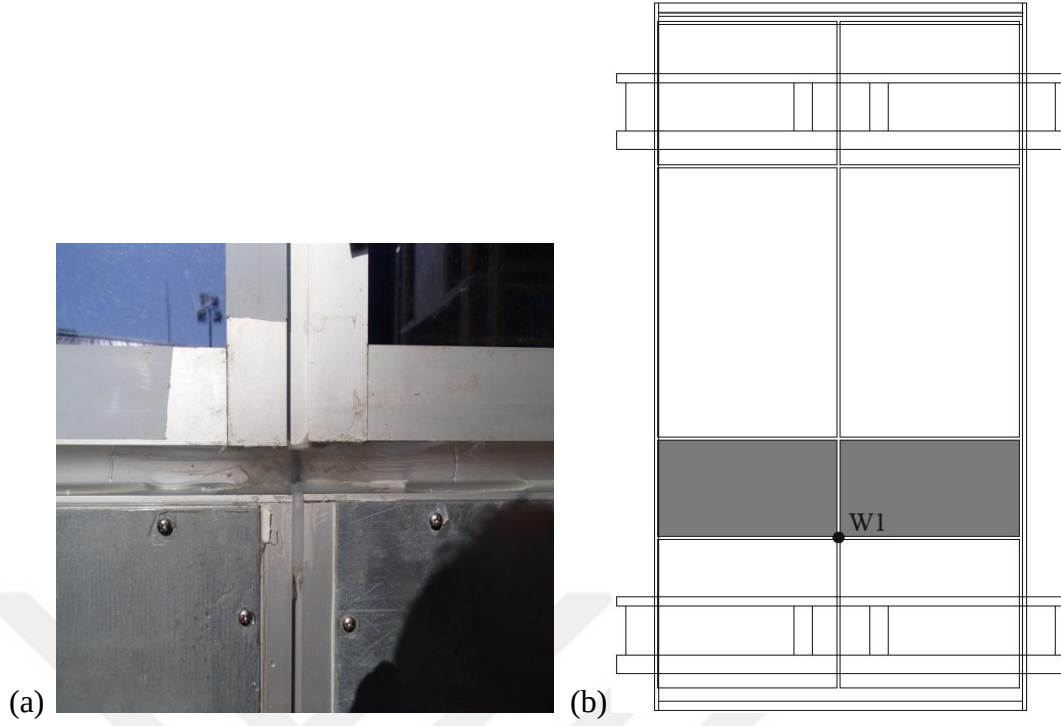
Sınıflandırmaya göre 150 Pa'dan daha az basınçta su sızması olan numuneler için sınıf belirtilmemektedir. 600 Pa'dan daha fazla basınçta su sızması olmayan numuneler ise E (istisnaî) olarak sınıflandırılır (TS EN 12154). Statik su sızdırmazlık deneyi sonucunda sayısal veri elde edilmemektedir.

Çalışmada numunelere uygulanan statik su sızdırmazlık deneyleri sonucunda gözlemlenen su geçişleri ve su geçişinin gerçekleştiği basınç kademelerine bağlı olarak yapılan sınıflandırma Çizelge 3.22'de verilmiştir. Deney sırasında su sızıntısının görüldüğü nokta Şekil 3.29'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.22 : Statik su sızdırmazlık deneyi sonuçları.

Numune	Su geçişi	Su geçişinin başladığı basınç değeri	Sınıflandırma
P1	gözlenmedi	-	R7
P2	gözlenmedi	-	R7
P3	gözlenmedi	-	R7
P4	*W1 noktasında	450	R5
P5	*W1 noktasında	450	R5
FP1	gözlenmedi	-	R7
FP2	*W1 noktasında	450	R5
FP3	*W1 noktasında	450	R5
FP4	*W1 noktasında	300	R4
FP5	*W1 noktasında	300	R4

**Panel birleşim noktası*



Şekil 3.29 : Deney sırasında su sızıntısı (a) Numune üzerinde su sızıntısının görüldüğü noktanın (W1) fotoğrafı (b) Çizim üzerinde gösterimi.

3.4.3 Dinamik su sızdırmazlık deneyi

Dinamik su sızdırmazlık deneyi statik deneyin ekidir ve gerçek ölçekli giydirme cephelere uygulanabilmektedir. Bu metotta, hava motorlu rüzgâr tribünü ve su spreyi aparatı ile numune üzerine çok güçlü bir hava akımı gönderilerek simülasyon yapılır. Dinamik metotta statik metoda göre daha güçlü bir akım oluşur ve su sızma kontrolü yapılır (Sakhnovsky, 1991).

Makine olarak adlandırılan motor ve motor dayanak askısı, çelik bir metal tabak ve kaldırma aparatından oluşur. Kullanılan motor 300~720 Pa basınç yeteneğine sahip olmalıdır (AAMA 501.1, 2005). Deney kapsamında yararlanılabilecek standartlar Çizelge 3.23’de verilmiştir.

Çizelge 3.23 : Deney kapsamında yararlanılabilecek standartlar.

No	Standard no	Yayın tarihi	Standard adı
1	TS ENV 13050	2005	Giydirme cepheler - Su sızdırmazlık - Dinamik hava basıncı ve su püskürtme etkisi altında lâboratuvar deneyi
2	AAMA 501.1	2005	Standard Test Method for Water Penetration of Windows, Curtain Walls and Doors using Dynamic Pressure

Dinamik su sızdırmazlık deneyi kapsamındaki deney metodu giydirme cephelerin sabit ve açılabilir kısımlarının su sızdırmazlık özelliği değerlendirilirken kullanılabilecek ilâve deney metodunu kapsar. Bu deney, su sızdırmazlık sınıflandırması için gerekli olmayan ve yalnızca proje şartnamesi hazırlayıcısı tarafından gereksinim duyulan durumlarda yapılması gereken ilâve bir deneydir. Deney metodunda giydirme cephe numunesi dış yüzünün deney odası içerisinde oluşturulan kesintisiz pozitif hava basınç darbeleri ile birlikte püskürtme sonucu oluşturulan sürekli bir su tabakası ve türbülanslı hava akımına nasıl maruz bırakılacağı tarif edilmiştir (TS ENV 13050).

Dinamik su sızdırmazlık deneyi için hareketli bir rüzgâr üretici gereklidir. Bu üreteç numune yüzeyi üzerindeki her noktaya türbülanslı hava akımını kontrollü şekilde uygulayabilen özellikte olmalıdır. Bu akım havayı 90^0 'lik dirsekten geçirerek numunenin dış yüzeyine doğru yönlendiren 600 mm çaplı rijit bir boruya monte edilmiş değişik hızlarda çalışabilen eksenel akımlı bir fan tarafından üretilmelidir. Borunun dirsek kısmının yarıçapı en az 300 mm $\pm$ 5 mm, dirsekten sonraki düz kısmının yarıçapı ise 300 mm $\pm$ 10 mm olmalıdır.

Kullanılan fan, borunun düz kısmının merkezinden geçen yatay eksenin düşey eksenle kesiştiği noktadan itibaren 300 mm'yi geçmeyecek şekilde boru ağzından itibaren 20 mm uzaklıkta ölçme yapıldığında belirli özellikteki hava akımını üretebilecek kapasitede olmalıdır. Bu özellikler: merkezden geçen yatay eksen doğrultusunda en düşük hız 30 m/s, ölçme alanının % 75'lik kısmı üzerinde en düşük hız 20 m/s, ölçme alanı dâhilinde bulunan herhangi bir noktada ise en düşük hız 8 m/s olmalıdır. Hava akımı boru ağzından numune dış yüzeyinde dik olacak şekilde yatay doğrultuda çıkmalı ve borunun ağzı ile numune arasındaki mesafe 650 mm $\pm$ 50 mm olmalıdır. Rüzgâr üretici, numunenin varsa küçük düşey olmayan bölümleri dikkate alınmadan şeffaf panellere ya da dolgu panellerine paralel bir düzlem içerisinde herhangi bir doğrultuda kontrollü şekilde hareket ettirilebilmesini sağlayan bir tertibat üzerine monte edilmelidir (TS ENV 13050).

Deney işleminde numuneye 500 Pa ya da en büyük deney basıncının % 10 fazlası kadar (hangisi daha büyükse) üç basınç darbesi uygulanır. Her basınç darbesi için en büyük basınç değerine en az 1 saniyede ulaşılmalı ve basınç bu değerde en az 3 saniye sabit tutulması gerekir. Püskürtme başlıkları 0 Pa deney basıncında çalıştırılmaya başlanır ve toplam püskürtme debisi numune yüzeyine dakikada 2

lt/m²dk'lık püskürtme yapılacak şekilde numune alanından hesaplanarak ayarlanır. 15 dakika boyunca 0 Pa deney basıncında püskürtme yapıldıktan sonra, değerleri en büyük deney basıncı değerine (P_{maks}) ve $0,33 \times P_{maks}$ 'a eşit olan en küçük pozitif deney basınç darbeleri düzenli aralıklarla kesintisiz olarak uygulanır. Her basınç darbesinin uygulanma süresi 5 ± 1 saniye olmalıdır.

Fan çalıştırılır ve fan hızı, borunun düz bölümünün merkezinden geçen yatay eksen doğrultusunda boru ağzından 20 mm ötede ölçülen hava akımı hızı 20 m/s olacak şekilde ayarlanır. Rüzgâr üretici, üreteç borusunun düz kısmının merkezinden geçen yatay eksen, numunenin tepesine 0,3 m yaklaşıncaya kadar $2,5 \text{ m/dk} \pm 0,5 \text{ m/dk}$ hızla yukarıya doğru hareket ettirilir ve ardından mümkün olduğunca hızlı şekilde numunenin tabanına yakın olan başlangıç konumuna geri getirilir. Üreteç ilk seferinde olduğu gibi bir kez daha yukarıya doğru hareket ettirilir ve başlangıç konumuna geri getirilir. Üreteç, üreteç borusu düz kısmının merkezinden geçen eksen bir sonraki düşey ara kayıt çiftinin ortasından geçecek şekilde yana doğru kaydırılır ve üretece aynen önceki gibi iki kez yukarı aşağı hareket yaptırılır. Bu işlem numunenin tamamına bu şekilde hava akımı uygulanıncaya kadar tekrarlanır.

Püskürtme süresince numunenin iç yüzeyleri su sızıntısı yönünden sürekli kontrol edilmelidir. Sızıntı gözlenmesi durumunda buna ilişkin ayrıntılar ve püskürtmenin başlatıldığı andan rüzgâr üreticinin hareketini tamamladığı ana kadar geçen toplam süre kaydedilir. Bununla birlikte, su sızıntısı gözlenmesi durumunda, sızıntının ilk kez gözlemlendiği anda rüzgâr üreticinin yaklaşık konumu ve püskürtmenin başlatıldığı andan itibaren geçen süre kaydedilir. Dinamik su sızdırmazlık deneyi kapsamında deney sonucunda herhangi bir sınıflandırma yapılmamaktadır (TS ENV 13050).

Rüzgâr üretici (uçak motoru) deney için gerekli rüzgâr hızını karşılayabilecek özellikte hava akışının serbest akışını emniyetli olarak karşılayabilecek özellikte olmalıdır. Rüzgâr üreticinin kalibrasyonunun sağlanabilmesi için üreteç önüne yerleştirilen bir rüzgâr hızı ölçüm cihazı kullanılabilir. Ölçüm noktaları rüzgâr üreticini çevreleyen daire alanının 1/4 içerisinde kalan 610 mm x 610 mm'lik kareleri kapsayacak şekilde yapılmalıdır. Bu noktalarda alınan ölçüm değerleri kullanılarak ortalama anlık rüzgâr hızı değeri hesaplanır. Bu değer istenilen rüzgâr hızına $\pm 1,1 \text{ m/s}$ ($\pm 2,5 \text{ mph}$) yakınlıkta olmalıdır (AAMA 501.1).

Deney işlemi öncesinde numunenin tüm bağlantıları kontrol edilerek deneye hazır olması sağlanmalıdır. Deney için numune bir tarafı açık olacak şekilde deney düzeneğine yerleştirilir. Su püskürtme sistemi cephe yüzeyine dakikada 1 m²'lik cephe alanına 3,4 lt su gelecek şekilde ve cephenin tümüne nüfuz edecek özellikte olmalıdır. Numunenin dış yüzüne düzenli aralıklarla kesintisiz pozitif deney basınç darbeleri ve tarif edilen türbülanslı hava akımı uygulanırken belirli miktarda su kesintisiz olarak püskürtülür ve numune bu sırada su sızıntısı bakımından kontrol edilir. Deney işlemi 15 dakikadan az olmamalıdır (AAMA 501.1).

Çalışmada kullanılan cephe numunelerinin yaygın olarak çok katlı binalara uygulanan bir sistem olması nedeniyle yüksek rüzgâr basıncı uygulamasına olanak sağlayan üreteç olan uçak motoru tipi bir üreteç kullanılmıştır. Deney için kullanılan rüzgâr jeneratörü, deney süresince farklı pozitif basınç oluşturabilecek özellikte, 1850 mm çapında, 1350 Pa (165 km/sa) basınç yeteneğine sahip, ters dönen pervaneli bir ROTAX uçak motorudur (Şekil 3.30). Rüzgâr üretici olarak uçak motoru kullanılması nedeniyle deney işlemi AAMA 501.1 standardına bağlı olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.30 : ROTAX uçak motoru.

Numuneler deney standına cephe dış yüzeyi deney odasına bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Dolayısıyla dinamik su sızdırmazlık deneyinin uygulanabilmesi için dinamik deney öncesinde numuneler vinç yardımıyla ters yönde çevrilerek cephe dış yüzeyinin dış ortama açık olması sağlanmıştır. Dinamik deney işleminin ardından

diğer deney prosedürlerinin uygulanabilmesi için numune tekrar ters yönde çevrilerek dış yüzeyi deney odasına bakacak şekilde yerleştirilmiştir.

AAMA 501.1 standardında rüzgâr üreticinin deney sırasındaki hareketine yönelik herhangi bir bilgi verilmediği için bu işlem için TS ENV 13050 standardından yararlanılmıştır. Numune önüne yerleştirilen uçak moturu numune üst ucuna doğru yaklaşık 2,0 m/dk hızla yukarıya doğru hareket ettirildikten sonra hızlı bir şekilde başlangıç noktasında geri döndürülmüştür. Bu işlem ortalama 15 dakika boyunca tekrar edilmiştir. Numune üzerinde tek düşey aks bulunması nedeniyle motor yalnızca bu aks üzerinde hareket ettirilmiştir. Deney sırasında numune iç yüzeyindeki su sızdırmazlık durumları kontrol edilmiştir. Dinamik su sızdırmazlık deneyi uygulanan tüm numuneler için herhangi bir su sızıntısı gözlenmemiştir.

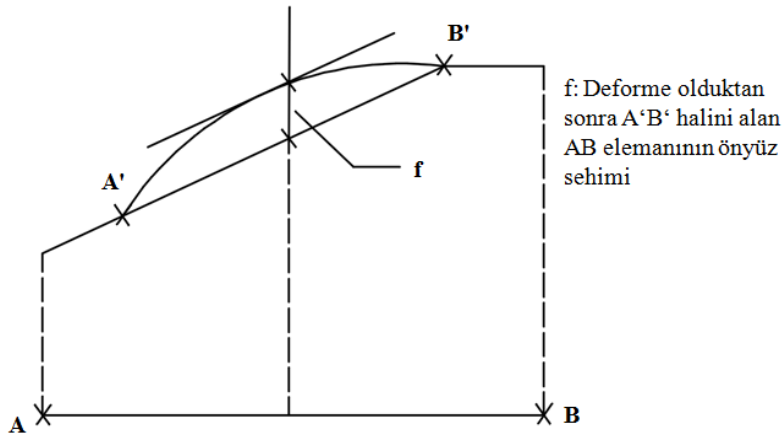
3.4.4 Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi

Cephelerde rüzgâr nedeniyle pozitif ve negatif basınçlar meydana gelir. Bu basınçlar etkisindeki cephe davranışı için bu etkileri temsil edecek şekilde yapılan deneyler gerekli bilgi edinilmesini sağlar. Rüzgâr yüküne dayanım deneyi kapsamında, giydirme cephenin rüzgâr yükü etkisi altında sabit ve hareketli kısımlarının pozitif ve negatif statik hava basıncı etkisi altında göstereceği gerekli yapısal performans koşulları araştırılmaktadır. Cepheler, tasarım yükünü arkadaki mesnet noktaları aracılığıyla bina taşıyıcı sistemine güvenli bir şekilde aktarmalıdır; sistem bu yükü performans koşullarında herhangi bir eksiltme olmadan taşıyabilecek kapasitede olmalıdır. Bu deneyde sistemin rüzgâr yüküne karşı yeterli dayanıma sahip olup olmadığı kontrol edilir ve deney sırasında oluşan yerdeğiştirmelerin büyüklüğüne bakılır. Bu deney giydirme cephenin yapısal dayanımını değerlendirmek için uygulanan bir deney olup dönüşümlü olarak hem pozitif hem de negatif basınçlı rüzgâr yaratılır. Deney kapsamında yararlanılabilecek standartlar Çizelge 3.24’de verilmiştir.

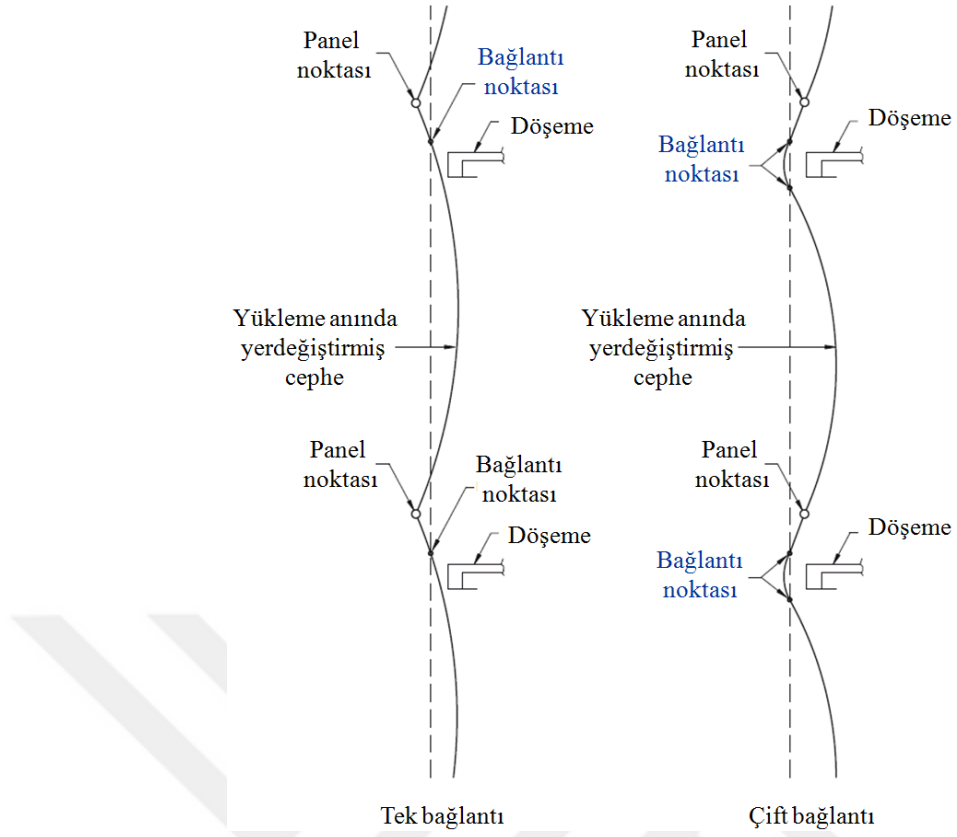
Çizelge 3.24 : Deney kapsamında yararlanılabilecek standartlar.

No	Standard no	Yayın tarihi	Standard adı
1	TS EN 12179	2000	Giydirme Cepheler, Rüzgâr Yüklerine Dayanım-Deney Metodu
2	TS EN 13116	2004	Giydirme Cepheler, Rüzgâr Yüküne Dayanım, Performans Şartları
3	TS EN 13830	2005	Giydirme Cepheler, Mamul Standardı
4	TS EN 13119	2009	Giydirme Cepheler, Terimler Ve Tarifleri
5	AS/NZS 4284	2008	Testing of Building Facades Recommended Static Test Method for Evaluating
6	AAMA 501.4	2009	Curtain Wall and Storefront Systems Subjected to Seismic and Wind Induced Interstory Drifts

Deney öncesinde önyüz deplasmanını ölçmek için kullanılacak cihazlar, maksimum deformasyonları kaydedebilecek pozisyonda yerleştirilmelidir. Her bir deplasman ölçerin ölçüm değerinin ayrı ayrı alınması sağlanmalıdır. Pozitif ve negatif tasarım yükleri altındaki cephede sehim, yapısal mesnet noktaları arasında ölçülen çerçeve elemanının açıklığının $1/200$ 'ünü ya da 15 mm'den hangisi küçükse onu geçmemelidir (Şekil 3.31). Cephede meydana gelen sehimin en az %95'i yükün kaldırılmasından sonraki 1 saatlik süre içerisinde geri dönmeli ve yalnız geçici yerdeğiştirme niteliğinde olmalıdır (TS EN 13116). AS/NZS 4284 standardında rüzgâr yüküne dayanım deneyinde elde edilen sehim değeri için sınır değer 20 mm olarak verilmiştir. Cephe sisteminin yükleme anında bağlantı durumuna göre yaptığı yerdeğiştirme Şekil 3.32'de verilmiştir.



Şekil 3.31 : Önyüz sehimini.



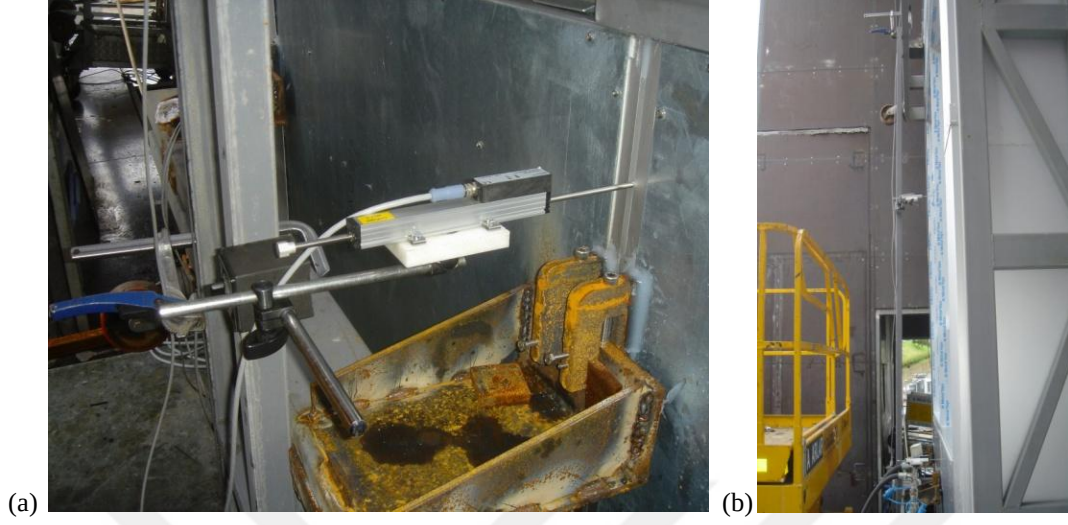
Şekil 3.32 : Bağlantı durumuna göre yerdeğiştirme (AS/NZS4284).

Deney başlangıcında 500 Pa'ya ya da maksimum deney basıncının (P_{maks}) %10 fazlasına eşit (hangisi büyükse) olacak şekilde pozitif basınç deneyinden önce üç pozitif basınç darbesi, negatif basınç yüklenmesinden önce de üç kez negatif hava basıncı darbesi uygulanmalıdır. Pozitif ya da negatif basınç artışı 1 sn'den daha az sürede olmamalı ve pozitif ve negatif basınç en az 3 sn süreyle uygulanmalıdır. Deneyde tasarımın yükünün %25, %50, %75 ve %100'ü değerinde basınç yüklemeleri dört basamakta uygulanır. Her bir basamakta 15 ± 5 sn beklenmelidir.

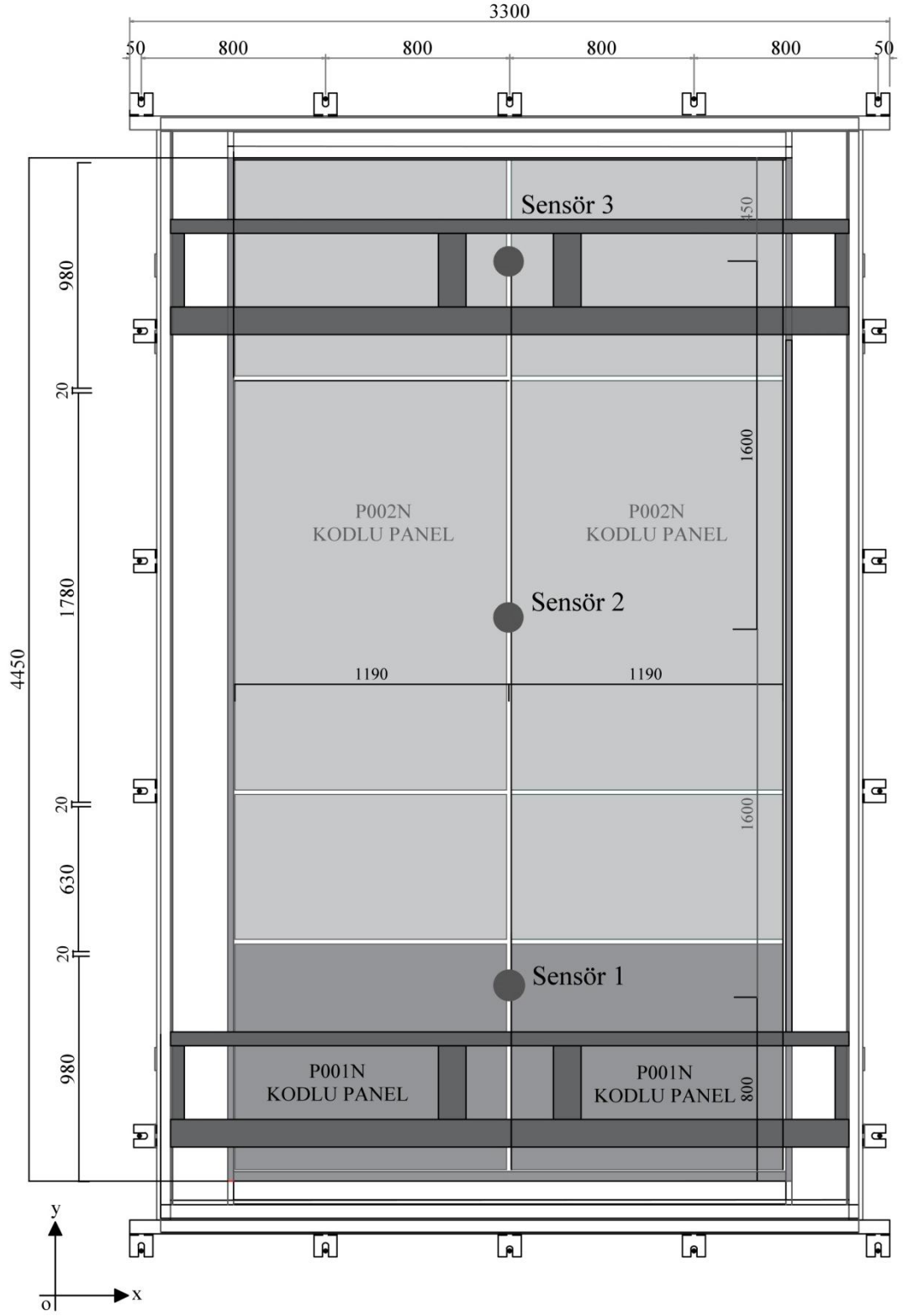
Deney sonunda çerçeve bileşenleri, dolgu panelleri, açma mekânizmaları, bağlantı parçaları ya da ankrajlarda hiçbir kalıcı hasar meydana gelmemelidir. Giydirme cephe montajı sırasında karşılaşılan düşey plânlardaki çok farklı sapmalar ve boyuttaki büyük farklılıklar dolayısıyla giydirme cephe sistemlerinde ve amaca yönelik tasarlanmış yapılarda yapısal sınıflandırma yapmak uygulama için pratik değildir (TS EN 12179 ve TS EN 13116).

Çalışmada, rüzgâr yüküne dayanım deneyi öncesinde deney numuneleri üzerine düşey orta aks üzerine üç adet sehim ölçer yerleştirilmiştir. Sehim ölçerler numune üzerinde döşemeleri temsil eden iki adet yatay kirişe dik olarak bağlı olan ve numune orta aksına monte edilmiş düşey bir profil üzerine yerleştirilmiştir. Sehim ölçerlerin

numune üzerindeki yerleşimi Şekil 3.33 ve Şekil 3.34’de, numune ölçüleri ve sensör koordinatları Çizelge 3.25’de verilmiştir.



Şekil 3.33 : Yerdeğiştirme ölçerlerin yerleştirilmesi (a) Deney numunesi arka yüzeyi
(b) Deney numunesi yan görünümü.

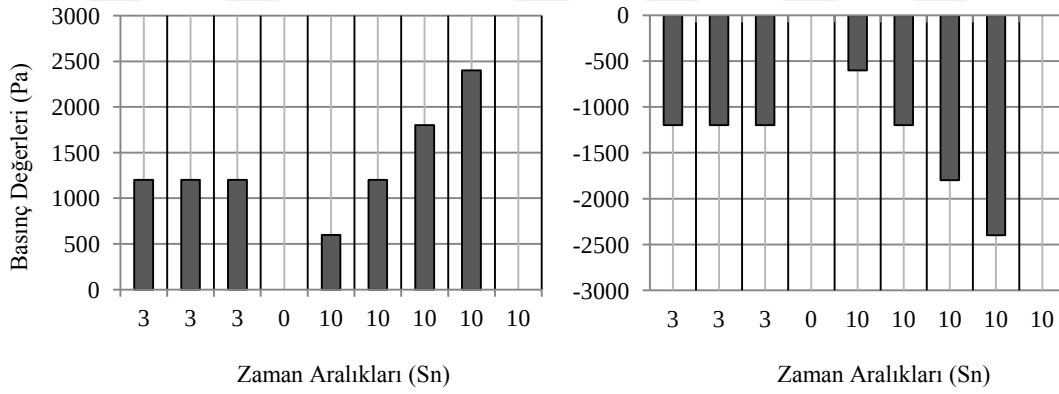


Şekil 3.34 : Cephe paneli üzerindeki yerdeğiştirme ölçerlerin konumu.

Çizelge 3.25 : Numune ölçüleri ve sensör koordinatları.

	X koordinatı (mm)	Y koordinatı (mm)
Dış ölçüler	2400	4450
Sensör 1	1190	800
Sensör 2	1190	2400
Sensör 3	1190	4000

Deneylere başlamadan önce numunelere 3 sn'lik aralıklarla ± 1200 Pa'lık (Tasarım basıncının %50'si) üç basınç darbesi uygulanmıştır. Daha sonra normal basınç değeri olan 600 Pa'dan tasarım basıncı değeri 2400 Pa'a kadar eşit aralıklarla artırılan basınç değerleri 10 sn'lik aralıklarla uygulanmıştır (0, 600,1200,1800, 2400 Pa). Bu işlem pozitif ve negatif basınç yüklemeleri için ayrı ayrı yapılmıştır. Deney uygulama prosedürü Şekil 3.35'de verilmiştir.



Şekil 3.35 : Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi için pozitif ve negatif basınç prosedürü.

Rüzgâr yükü, çok yüksek olmayan normal yapılar için statik olduğu kabul edilen ve yapıya yatay doğrultuda etki eden yük olarak kabul edilir ve TS 498'e göre hesabı yapılır. Rüzgârın esiş yönünde çarptığı yapı yüzeylerinde basınç, terk ettiği arka yüzeylerde ve yalayıp geçtiği yüzeylerde emme oluşmaktadır. Basınç ve emme rüzgârın hızına ve yapının geometrisine bağlıdır. Yapılarda rüzgârın hızı 100 metre yüksekliğe kadar artarken, 100 metreden sonra sabit kalır (TS 498).

TS 498'e göre yapı cephelerine etkiyen rüzgâr yükünün hesabı aşağıda verilen bağıntılar yardımıyla yapılır.

$$w=C_p q \quad (3.1)$$

$$q=\frac{V^2}{1600} \quad (3.2)$$

Burada, q : Rüzgâr basıncı (kN/m^2)

C_p : Emme katsayısı

V : Rüzgâr hızı (m/s)

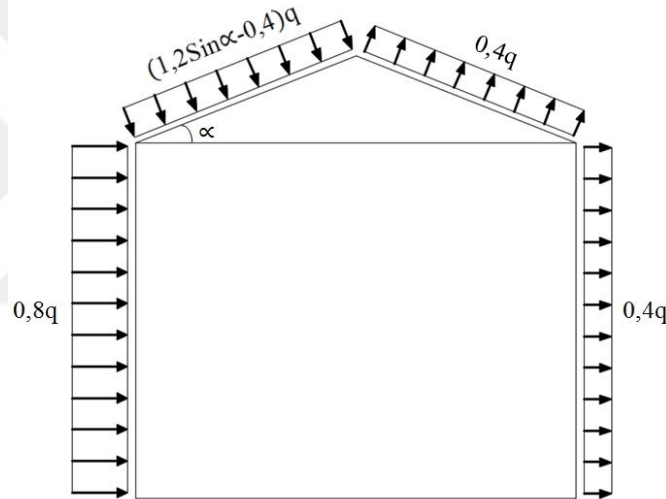
w : Eşdeğer statik basınç ya da emme kuvveti (kN/m^2) olarak ifade edilir.

C_p katsayısı, TS 498 Çizelge 6'dan alınır. Kule tipi yapılarda bu katsayısı değerleri aşağıdaki gibi verilmektedir.

$C_p = 0,8$ (Esiş yönüne dik duran ve rüzgârın çarptığı yüzeylerde (basınç))

$C_p = 0,4$ (Rüzgârın terk ettiği ya da yalayıp geçtiği yüzeylerde (emme))

$C_p = 1,2\sin\alpha - 0,4$ (Rüzgâr yönü ile α açısı yapan ve rüzgârın çarptığı düzlemlerde (basınç ya da emme) , (Şekil 3.36).



Şekil 3.36 : Planda kare kesitli ve eğik çatılı kapalı yapılarda rüzgâr yükünün ana taşıyıcı sistem doğrultusunda dağıtımı (TS 498).

q değeri, TS 498 Çizelge 5'den alınır. Bu değerler tüm Türkiye için geçerli olan değerlerdir. Çizelgeye göre yüksekliği 100 metreden fazla olan yapılarda rüzgâr hızı (V) değeri 46 m/sn , rüzgâr basıncı değeri (q) $1,3 \text{ kN/m}^2$ olarak verilmektedir.

Çalışmada kullanılan panel sistem cephe numunesinin yüksekliği 100 metrenin üzerinde olan çok katlı bir binaya uygulandığı ve rüzgârın tek yönlü cepheye dik olarak etki ettiği düşünülürse rüzgâr hızı (V) değeri TS 498'e göre 46 m/sn , rüzgâr basıncı değeri (q) $1,3 \text{ kN/m}^2$ (1300 Pa) olarak alınabilir. Bu durumda bina üzerinde rüzgârın esiş yönüne dik duran ve rüzgârın çarptığı cephe yüzeyinde oluşan rüzgâr

yükü değeri w_1 ve rüzgârın terk ettiği ya da yalayıp geçtiği cephe yüzeyinde oluşan rüzgâr yükü değeri w_2 aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$w_1 = C_p * q = 0,8 * 1,3 = 1,04 \text{ kN/m}^2 = 1040 \text{ Pa} \quad (3.3)$$

$$w_2 = C_p * q = 0,4 * 1,3 = 0,52 \text{ kN/m}^2 = 520 \text{ Pa} \quad (3.4)$$

Bu değerler, TS 498'e göre cepheye etki eden olası rüzgâr yükü değerleridir.

Gerçekte bu çalışmada cephe yüzeyine uygulanan pozitif ve negatif basınç değerleri (tasarım basıncı değerleri) Bölüm 3.5'de açıklandığı gibi $(q) = \pm 2400 \text{ Pa} = \pm 2,4 \text{ kN/m}^2$ ve maksimum basınç değerleri $(q) = \pm 3600 \text{ Pa} = \pm 3,6 \text{ kN/m}^2$ olarak alınmıştır.

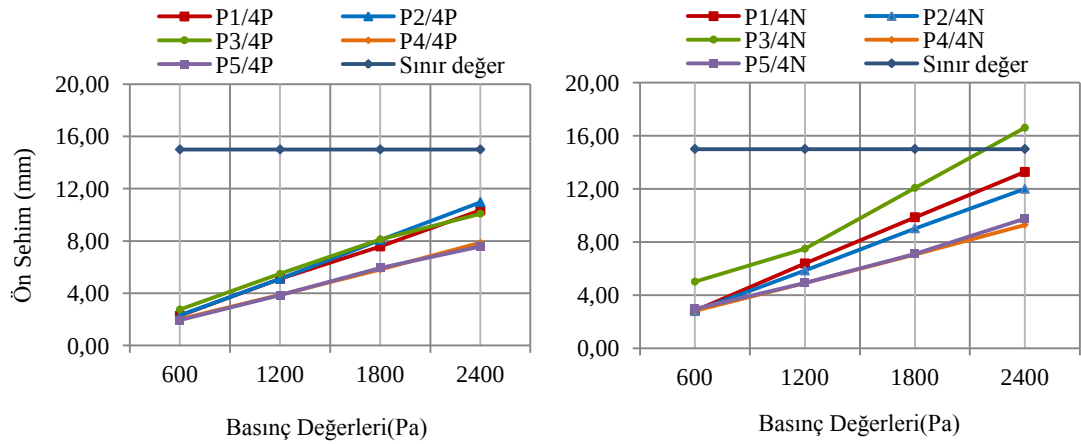
Rüzgâr yüküne dayanım deneyinde yapısal sistem üzerindeki noktalar arasında ölçülen ön sehim değeri, pozitif ve negatif tasarım yüklemesi altında çerçeve eleman açıklığı TS EN 13116 standardında verilen sınır şartına göre pozitif ve negatif tasarım yükleri altındaki cephe üzerinde ölçülen sehim, yapısal mesnet noktaları arasında ölçülen çerçeve elemanının açıklığının 1/200'ünü ya da 15 mm'den hangisi küçükse onu geçmemelidir. Deney numunelerinin açıklık ölçüsü 4450 mm olduğundan $(4450 * 1/200 = 22,25 \text{ mm})$ ön sehim şartı olarak 15 mm değeri “sınır değer” olarak kabul edilmiştir. Denenen numuneler için deney prosedürü kapsamında tasarım yükünün 1.5 katı (3600 Pa) basınç yüklemesi uygulanmıştır. Bu deney sırasında herhangi bir ölçüm alınmamaktadır (TS EN 12179). Deney kapsamında numunelere uygulanan 0, 600, 1200, 1800 ve 2400 Pa'lık basınçlar sırasında ölçülen ön sehim değerlerinin pozitif ve negatif tasarım yüklemesi altında 15 mm'yi geçmeyecek biçimde sonuçlanması istenmektedir (TS 13116, 4.3.1). Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyleri sonucunda 0, 600, 1200, 1800 ve 2400 Pa'lık basınç yüklemelerinde deplasman ölçerler yardımıyla elde edilen yerdeğiştirme değerleri kullanılarak ön sehim değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 3.26).

Çizelge 3.26 : Deney numuneleri ön sehim değerleri (mm).

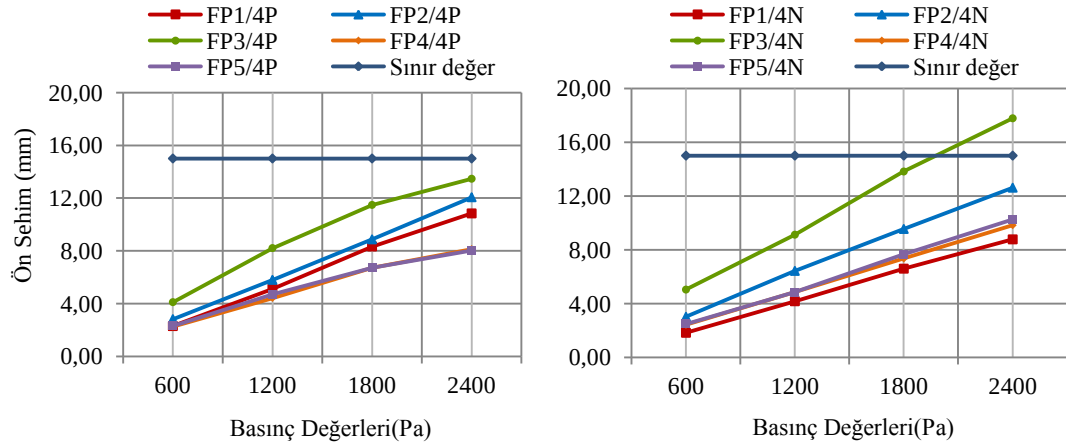
Zaman (gün)	Deney kodu	Deney kodu	Basınç değerleri (Pa)					Sınır değer
			0	600	1200	1800	2400	
0	P1	P1/1P	0,00	2,28	5,10	7,59	10,34	0,30
		P1/1N	0,00	2,83	6,38	9,85	13,27	0,77
90	P2	P2/1P	0,00	2,32	5,11	8,08	10,97	0,55
		P2/1N	0,00	2,80	5,85	9,03	12,00	0,69
270	P3	P3/1P	0,00	2,76	5,49	8,12	10,09	1,00
		P3/1N	0,00	5,02	7,49	12,07	*16,60	0,95
390	P4	P4/1P	0,00	2,02	3,89	5,81	7,86	0,08
		P4/1N	0,00	2,81	4,91	7,06	9,29	0,54
450	P5	P5/1P	0,00	1,95	3,85	5,94	7,57	0,20
		P5/1N	0,00	2,96	4,93	7,12	9,77	0,52
0	FP1	FP1/1P	0,00	2,29	5,12	8,33	10,84	0,82
		FP1/1N	0,00	1,82	4,17	6,59	8,77	0,27
90	FP2	FP2/1P	0,00	2,82	5,80	8,87	12,06	0,84
		FP2/1N	0,00	3,01	6,43	9,55	12,62	0,27
270	FP3	FP3/1P	0,00	4,11	8,21	11,48	13,47	0,54
		FP3/1N	0,00	5,04	9,12	13,82	*17,78	0,27
390	FP4	FP4/1P	0,00	2,26	4,42	6,73	8,13	0,21
		FP4/1N	0,00	2,41	4,86	7,34	9,82	0,16
450	FP5	FP5/1P	0,00	2,30	4,70	6,72	8,02	0,23
		FP5/1N	0,00	2,48	4,85	7,67	10,25	0,17

*TS 13116'ya göre 15 mm sınır değeri aşan sonuçlar.

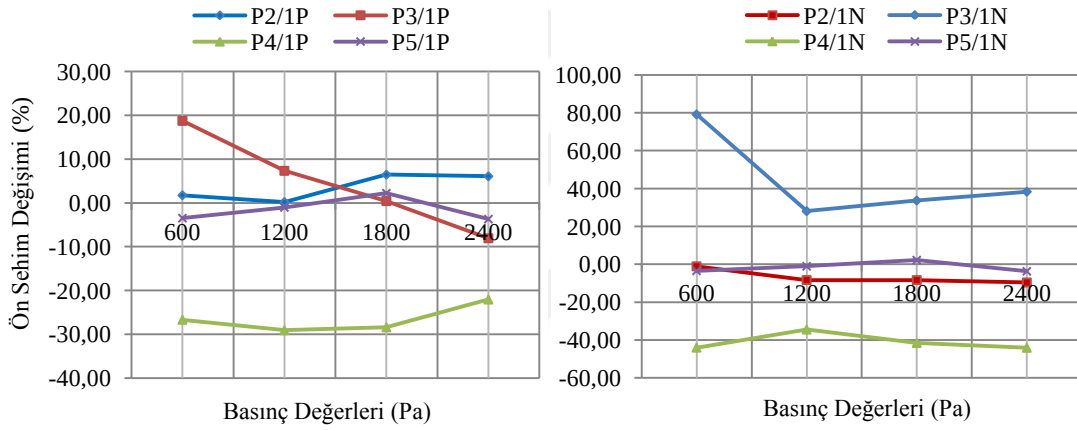
Çizelge 3.21'den yararlanarak ön sehim değerleri için grafiksel veriler oluşturulmuştur (Şekil 3.37, 3.38, 3.39 ve 3.40).



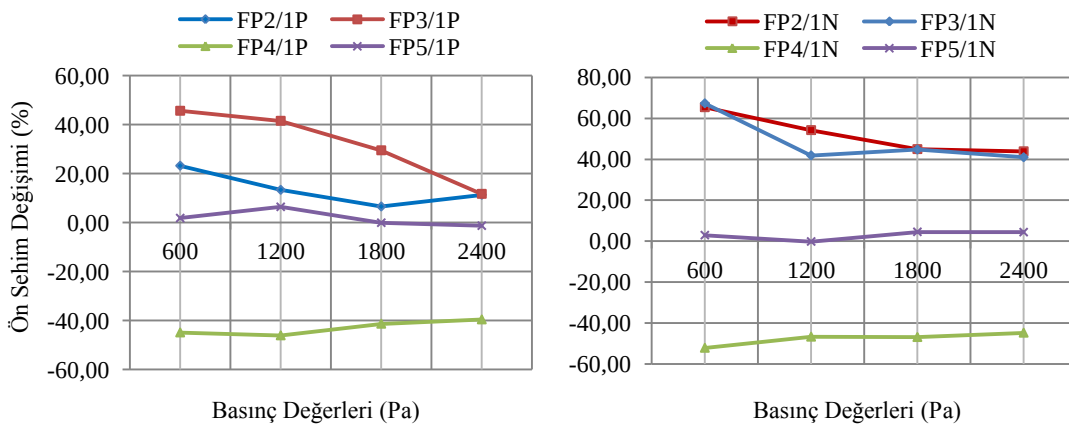
Şekil 3.37 : P numunesi pozitif ve negatif ön sehim değerleri.



Şekil 3.38 : FP numunesi pozitif ve negatif ön sehim değerleri.



Şekil 3.39 : P numunesi pozitif ve negatif ön sehim değişimi.



Şekil 3.40 : FP numunesi pozitif ve negatif ön sehim değişimi.

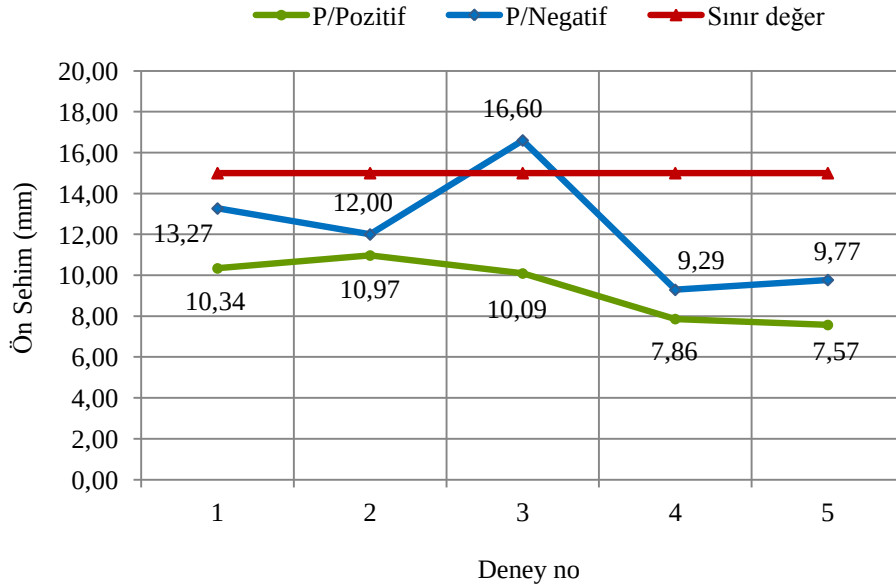
Bu veriler yardımıyla da P ve FP numuneleri için maksimum ön sehim değerleri elde edilmiştir (Çizelge 3.27). Bu değerlere ilişkin grafiksel veriler ise Şekil 3.41 ve 3.42’de verilmiştir.

Çizelge 3.27 : Maksimum ön sehim değerleri (mm).

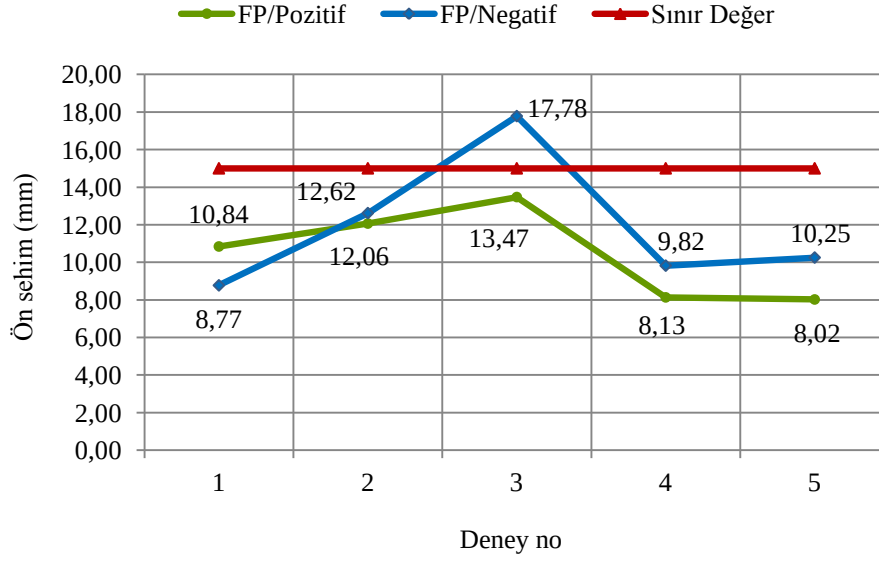
Numune kodu	Yükleme	Zaman (gün)				
		0	90	270	390	450
P	Pozitif	10,34	10,97	10,09	7,86	7,57
	Negatif	13,27	12,00	*16,60	9,29	9,77
FP	Pozitif	10,84	12,06	13,47	8,13	8,02
	Negatif	8,77	12,62	*17,78	9,82	10,25
Sınır Değer		15,00	15,00	15,00	15,00	15,00

**TS 13116’ya göre 15 mm sınır değerini aşan sonuçlar.*

Çalışma kapsamında uzun dönem performansı belirlenecek olan P ve FP numuneleri için 0., 90., 270., 390. ve 450. günlerde rüzgâr yüküne dayanım deneyi sonucunda elde edilen pozitif ve negatif yüklemelerdeki maksimum ön sehim değerleri kullanılarak (Çizelge 3.22) bir sonraki performans değerlendirme bölümünde (Bölüm 4) kullanılmak üzere yeniden ele alınacaktır.



Şekil 3.41 : P numunesi maksimum ön sehim değerleri.



Şekil 3.42 : FP numunesi maksimum ön sehim değerleri.

3.4.5 Sismik dayanım deneyi

Sismik yükler ankrajların ve giydirme cephe sisteminin tasarımı için mutlaka önceden belirlenmelidir. Genellikle profil ile cam arasında gerekli boşluk sağlandığı için cephe doğal olarak sismik ve rüzgâr yüküne dayanabilir. Deneylerde standart giydirme cephe sistemleri su sızdırmadan ve cam kırılmadan 75 mm döşeme hareketine dayanabilmektedir. Giydirme cephe sistemi, kaplama panellerinden, paneli destekleyen çerçevelerden ve çerçeveyi bağlayan bir taşıyıcıdan oluşmaktadır. Isıl yük ve rüzgâr yükü cepheyi doğrudan etkiler. Bu etkilere karşı yeterli performans ve güvenlik önlemleri ile kolaylıkla sağlanabilir. Örneğin, giydirme cephe sistemi bulunduğu bölgenin iklim verilerine göre son 50 yıl içinde gerçekleşen maksimum rüzgâr hızının neden olabileceği rüzgâr yükü için yeterli güvenlikte tasarlanabilir (Tekin, 2006a).

Deneyler sonucunda bir takım problemlerle karşılaşılabilir. Bunlar, bina hareketleri için gerekli toleransların birbirine uyumsuzluğu, düzensiz cephe kaplaması bitiş detayları, ara bileşenler ve bağlantılarda hatalı tasarımlar ile uygun olmayan malzeme kullanımı, sızdırmaz olması gereken bölgelerde yanlış uygulama ve malzeme seçimi, yapım sırasındaki başarısızlıklar ve zayıf işçilik, deneylerdeki başarısızlık ve daha sonra deney alanına göre detayın değiştirilmesi olarak verilebilir (Tekin, 2006b).

Sismik dayanım deneyi giydirme cephelere yalnızca yatay yerdeğiştirme hareketi uygulanması durumundaki performans değerlendirmesi prosedürünü kapsar. Bunun

dışındaki hareketler örneğin düzlem dışı davranış performansı bu yöntemin kapsamı dışındadır. Deney hava, su ve rüzgâr deneylerinin yapıldığı aynı düzlenekte yapılabilmektedir. Herhangi bir proje için tasarım yerdeğiştirmeleri belirtilmediği durumlarda bu deney metodu kullanılabilir. Bu durumda yatay yerdeğiştirme araçlarının konumu ilk numune kat yüksekliğinde olmalıdır (Şekil 3.43). Bu yerdeğiştirme sınır değeri ardışık kat yüksekliğinin %1'inden daha yüksek olmalıdır (AAMA 501.7). Deney kapsamında yararlanılabilecek standartlar Çizelge 3.28'de verilmiştir.

Şekil 3.43 : Deney numunesi sismik hareketi (AAMA 501.4-09).

No	Standard no	Yayın tarihi	Standard adı
1	AAMA 501.4	2009	Recommended Static Test Method for Evaluating Curtain Wall and Storefront Systems Subjected to Seismic and Wind Induced Interstory Drifts.
2	AAMA 501.7	2011	Recommended Static Test Method for Evaluating Windows, Window Wall, Curtain Wall and Storefront Systems Subjected to Vertical Inter-Story Movements

Hasar durumları metal aksamın bozulması, dolgu ya da cam bozulması gibi görsel bozulmalar ya da kalıcı deformasyon olabilmektedir. Eğer bozulma, cam destek bileşeni ya da destek bileşeni ile farklı bir bileşen arasında olursa deneye devam edilmez. Bozulma nedeninin tespit edilemediği durumlarda yeni bir numune ile deney tekrarlanır. Döngüler için zaman sınırlaması bulunmamaktadır. Çok katlı numunelerde, katlar arası yerdeğiştirme değeri farklılık gösterebilir. Aksi belirtilmediği sürece yerdeğiştirme miktarı ardışık katlar arası yüksekliğin %1'i olarak alınmalıdır. Deney esnasında yerdeğiştirme miktarı hareketli döşeme elemanı üzerinde ölçülmeli ve numune üzerinde herhangi bir ölçüm yapılmamalıdır (AAMA 501.4).

Çalışma kapsamında numunelere uygulanan sismik dayanım deneyi numunelerin herbiri için üç döngüde tamamlanmıştır. Deneyde numuneler üzerinde yer alan alt kirişe kat yüksekliğinin %1'i kadar (34 mm) (+) ve (-) yönde toplam 68 mm yerdeğiştirme hareketi uygulanmıştır (Şekil 3.44). 34 mm'lik bu yerdeğiştirme hareketi bir yönde tam yerdeğiştirme ve orijin noktasına geri dönüş, ters yönde tam yerdeğiştirme ve yeniden orijin noktasına dönüş olarak gerçekleştirilmiştir. Uygulanan deplasmanlar sonrasında numunelerde herhangi bir deformasyon gözlemlenmemiştir. Sismik dayanım deneyleri sonrasında prosedürdeki sıralamaya uygun olarak diğer deneyler uygulanmıştır.



Şekil 3.44 : Sismik dayanım deneyi esnasında deney numunesi.

Sismik dayanım deneyi sonucunda herhangi bir sayısal veri elde edilmemektedir. Ancak, sismik dayanım deneyinin numuneler üzerindeki etkilerini görebilmek açısından bir takım karşılaştırmalar yapmak yararlı olacaktır. Bu karşılaştırma bir sonraki performans değerlendirme bölümünde (Bölüm 5) sismik dayanım deneyi uygulanan tüm numuneler için ayrı ayrı yapılmıştır.

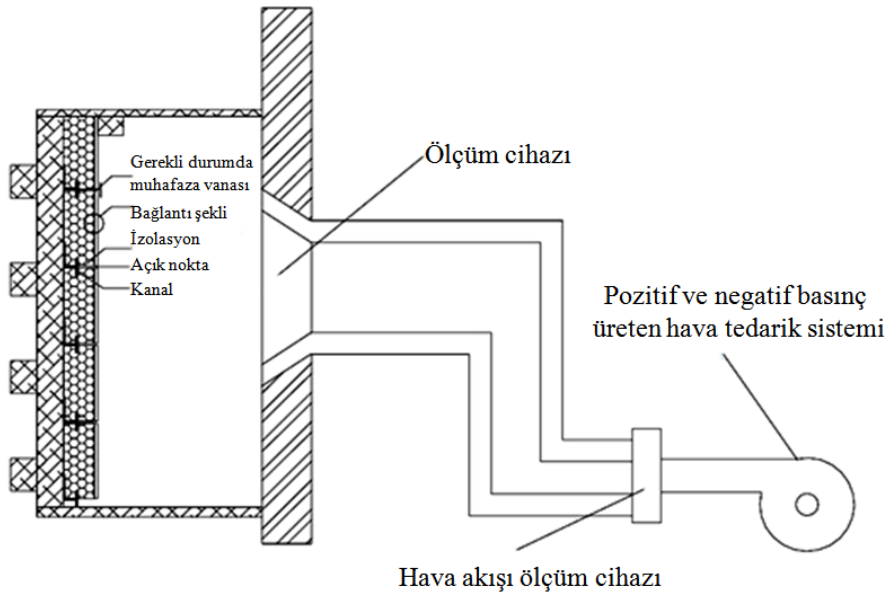
3.4.6 Yorma deneyi

Cephe sistemine uygulanacak yorma deneyi uygulaması ETAG 17 (Guideline for European Technical Approval of Vecture Kits - Prefabricated Units for External Wall Insulation) prosedürüne uygun olarak yapılmaktadır. Deney prosedürü, levha, kiremit, tuğla, panel, sac, ahşap bazlı paneller, çimento, beton, fabrika uygulamalı taş, seramik, metal, cam, plastikler, lamine ve kompozit malzemeler için uygulanabilmektedir.

ETAG 17 kapsamında uygulanacak olan yorma deneyi için hava geçirgenlik deneyi için kullanılan deney düzeneği kullanılabilir. Bu deney kapsamında hava tedarik eden sistem negatif (emme) basıncı oluşturacak şekilde ayarlanmalıdır. Basınç odasının derinliği, numunenin deformasyonunu içine alacak kadar yeterli derinlikte olmalıdır. Emme odası rijid bir çerçeve üzerine monte edilmelidir. Deney sırasında numuneye ani yüksek basınç yüklemeleri yapılacağı için cephenin hava ve su

sızdırmazlık kontrolü detaylı bir şekilde yapılmalıdır. Düzeneğe ilişkin örnek yerleşim Şekil 3.45’de yer almaktadır.

Deney başlangıcında numuneye 0 ile 300 Pa arasında iki basınç darbesi uygulanır. Deney esnasında uniform olarak ayarlanan emme yükleri numune ön yüzeyine uygulanır. Deney basınçları 0, 500 Pa, 1000 Pa ve sonrasında 250 Pa’lık artışlar olacak şekilde belirlenmelidir. Deney sırasında numune üzerinde herhangi bir ölçüm alınmamalıdır. Numunede kırılma, bağlantılarında kopma ya da tabakalarda ayrılma oluşması durumunda numune başarısız sayılmaktadır. Başarısızlık olması durumunda başarısızlığın şekli, maksimum sapma ve başarısızlığın olduğu andaki Q yükü belirlenerek kaydedilmelidir.



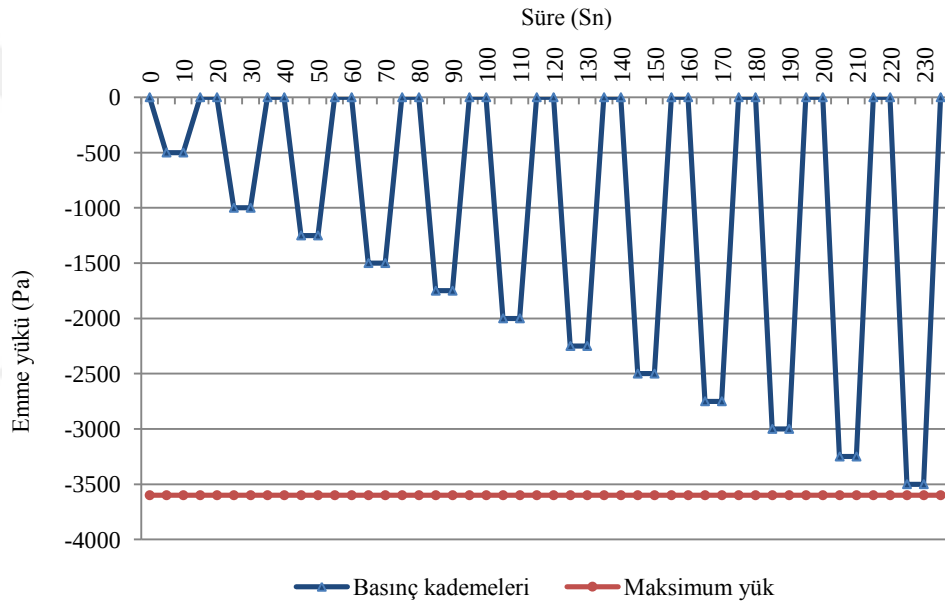
Şekil 3.45 : Rüzgâr basınç düzeneği (emme).

Çalışma kapsamında yorma deneyleri FP1, FP2, FP3, FP4 ve FP5 kodlu numunelere uygulanmıştır. FP1 kodlu numune, yorma prosedürü uygulanacak numunenin 0. gündeki deney performanslarını kapsamaktadır. Bu numune için yorma deneyinin hava geçirgenlik, su sızdırmazlık, rüzgâr yüküne dayanım ve sismik dayanım deneyi sonuçlarını etkilememesi için yorma deneyi deney prosedüründe son sıraya alınmıştır. Dolayısıyla FP2, FP3, FP4 ve FP5 kodlu numuneler için de yorma deneyi deney prosedüründe son sıralamada yer almaktadır.

ETAG 17 kapsamında deney başlangıcında numunelere 0 ile 300 Pa arasında iki basınç darbesi uygulanmıştır. Ardından deney basınçları, 0, 500 Pa, 1000 Pa ve sonrasında 250 Pa’lık basınç artışları ile 1250 Pa, 1500 Pa, 1750 Pa, 2000 Pa, 2250

Pa, 2500 Pa, 2750 Pa, 3000 Pa, 3250 Pa ve 3500 Pa olarak belirlenmiştir. Deneyler için Çizelge 3.15’de verildiği üzere maksimum basınç değerinin 3600 Pa olarak belirlenmesi nedeniyle yorma deneyi uygulaması 3500 Pa basınç değerine ulaşıldığında bırakılmıştır. Aksi takdirde 250 Pa’lık basınç artışları ile uygulamaya devam edileceği için 3500 Pa basınç değeri sonrasında 3750 Pa basınç değerine ulaşılacak ve numuneler için öngörülen maksimum basınç yükü olan 3600 Pa değeri aşılmış olacaktır.

Deney kapsamında belirlenen 0 ile 3500 Pa arasındaki negatif basınç (emme) yükleri numune dış yüzeylerine uygulanmıştır (Şekil 3.46). Deneyler sırasında ve sonrasında numunelerde herhangi bir deformasyon gözlemlenmemiştir.



Şekil 3.46 : Yorma deneyi basınç değerleri (ETAG 17).

3.5 Genel Değerlendirme

Çalışma kapsamında hazırlanan cephe numuneleri için hava geçirgenlik, statik ve dinamik su sızdırmazlık, rüzgâr yüküne dayanım, sismik dayanım ve yorma deneyi uygulamaları FTI (Facade Testing Institute) firmasının İstanbul Çatalca’da yer alan deney merkezinde gerçekleştirilmiştir. Kullanılan cephe sistemi günümüzde farklı projelerde yaygın olarak uygulanmış olan gelişmiş bir panel cephe sistemi olup deneysel çalışma için hazırlanan her bir numune için 5’er kez olmak üzere toplamda 10 kez deneyler tekrarlanmıştır. Numunelerin tüm bileşenleri ile birlikte fabrika

ortamında montaj işleminin tamamlanmasından sonra deney düzeneğine yerleşimi sağlanmıştır.

Çalışmada hava geçirgenlik deneyi TS EN 1253 standardına uygun olarak yapılmış olup hava geçirgenlik sınırı olarak ilgili standartta belirtilen $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ değeri dikkate alınmıştır. Statik su sızdırmazlık deneyinde TS EN 12155 standardına göre deneysel işlemler gerçekleştirilmiş olup deney anında numunenin sızdırmazlık kontrolü gözlemlenmiştir. Bu deney sırasında herhangi bir sayısal ölçüm alınmamaktadır. Rüzgâr yüküne dayanım deneyi TS EN 12179 standardına uygun olarak yapılmış olup ön sehim sınırı olarak ilgili standartta belirtilen 15 mm değeri dikkate alınmıştır. Sismik dayanım deneyi AAMA 501.4 ve AAMA 501.7 standartlarına uygun olarak yapılmış, numuneler üzerine yerleştirilen alt kirişe ilgili standartta belirtilen yerdeğiştirme miktarı kadar yatay hareket uygulanmış ve deney sonrasında numune üzerinde hasar kontrolü yapılmıştır. Dinamik su sızdırmazlık deneyi AAMA 501.1 standardına uygun olarak yapılmış olup rüzgâr üretici olarak ROTAX tipi bir uçak motoru kullanılarak numune üzerine yüksek basınçlı su püskürtme işlemi yapılmıştır. Deney esnasında numune iç yüzeyindeki su sızdırmazlık durumu kontrol edilmiştir. Yorma deneyi uygulaması ETAG 17 standardına uygun olarak yapılmış olup ilgili standarda bağlı olarak numunelere emme basıncı uygulanmıştır. Bu deney sonrasında numune üzerinde hasar olup olmadığı görsel olarak kontrol edilmiştir.

Çalışmanın bu bölümünde deneysel işlemleri gerçekleştirilen panel cephe sistemine ilişkin deney prosedürleri ve deney sonuçları açıklanmış, bir sonraki Bölüm 4’de ise bu bölümde elde edilen deneysel sonuçlardan yararlanarak numunelere ilişkin performans değerlendirmesi yapılacaktır.

4. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ İLE İRDELENMESİ

Çalışmanın 3. bölümünde panel sistem giydirmeye cephelerin taşıyıcılık ve sızdırmazlık uzun dönem performanslarının belirlenmesine yönelik deney prosedürleri uygulanmış ve sayısal veriler elde edilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda ağırlıklar belirlenerek performans analizleri yapılabilmesi için bir değerlendirme yöntemine gereksinim duyulmaktadır. Bu nedenle Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri seçilmiş ve öncelikle bu yöntemler araştırılarak problemi çözmeye yardımcı olacak en uygun yöntemler belirlenmiştir.

4.1 Çok Ölçütlü Değerlendirme Yöntemleri

Çok ölçütlü değerlendirme yöntemlerine göre performans değerlendirmesi karar verme, karar vericinin/vericilerin mevcut seçenekler arasından amacına ya da amaçlarına en uygun bir ya da birkaç seçeneği seçmesidir. Çok kriterli karar verme problem tanımı, probleme ilişkin ölçütlerin belirlenmesi ve alternatiflerin seçilen ölçütlere uygunluğunun saptanması işlemleri ile gerçekleştirilir. ÇKKV süreci en genel şekliyle karar probleminin tanımlanması, değerlendirme ölçütlerinin belirlenmesi, ölçüt katmanlarının hazırlanması ve standartlaştırılması, ölçüt ağırlıklarının belirlenmesi ve karar analizinin uygulanması adımlarından oluşmaktadır. Karar analizinde problem tanımlandıktan sonra öncelikle değerlendirme ölçütlerinin belirlenmesi gerekir. Ölçütler karar problemine ilişkin amaçları karşılayabilecek kapsamda ve ölçütün her sınıfı için karar vericinin tercihlerini belirten bir sayıyla ifade edilebilecek şekilde ölçülebilir özellikte olmalıdır. Değerlendirme ölçütleri anlaşılabilir ya da belirsiz anlamlarda olmamalıdır (Malczewski, 1999).

Ölçütler karar vericiler için farklı ağırlıklarda olabilir. Bu nedenle ölçütlerin bağlı önemi hakkında bilgilerin elde edilmesi gerekmektedir. Ölçüt ağırlıkları karar vericilerin tercihlerine bağlı olarak oluşturulur. Ağırlık verme işlemi genelde her bir

ölçüte diğer ölçütlere göre bağıl önemini gösteren bir ağırlığın atanmasıyla gerçekleştirilir. Değerlendirme ölçütlerine önemlerine göre atanan ağırlıklar her bir ölçütün sahip olduğu çeşitli değerlerin bu ağırlıklara göre değişimini ve bu değişimlere bağlı olarak farklı sayısal değerlerin oluşturulmasını sağlar. Ağırlıkları tek başına değerlendirme ölçütlerinin genel bir ölçütü olarak yorumlamak yanıltıcıdır. Ağırlık değerleri ölçütlerin sınıf değerleriyle işleme konulduğundan her bir ölçüt için en yüksek ve en düşük değerler arasındaki farka ve bunlar arasında aldığı değerlere bağımlıdır (Öztürk ve Batuk, 2007).

Ölçüt ağırlıkları kullanılacak sayı aralığını arttırarak ya da azaltarak keyfi olarak büyük ya da küçük değerler seçilebilir. Ancak ağırlıklar genelde toplamı 1 olacak şekilde normalleştirilir. "n" adet ölçüt olması durumunda ağırlıkların kümesi (w),

$w=(w_1, w_2, \dots, w_n)$ ve $\sum w_j=1$ olarak tanımlanır.

Bu çalışma kapsamında performansları deneysel olarak araştırılan numuneler için taşıyıcılık ve sızdırmazlık ölçütlerine bağlı sayısal performans değerlendirmesi çok ölçütlü değerlendirme yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Buradaki amaç bir önceliklendirme çalışması ile deneysel verilerin (ÇKV) ile performans düzeyinin belirlenmesidir.

Taşıyıcılık ölçütüne bağlı performans değerlendirmesinde ölçütler belirlenirken rüzgâr dayanımı deneylerinde elde edilen sayısal sonuç değerlerinden yararlanılmıştır. Rüzgâr dayanımı deneylerinde cephe numunesi üzerine yerleştirilen sehim ölçerler yardımıyla düşey aksta 3 ayrı noktada farklı basınç değerlerindeki “yerdeğiştirme” değerleri ölçülmüştür (Şekil 3.34). Bu ölçüm sırasında en yüksek yerdeğiştirme değerleri esneme hareketinin cephe ortasında oluşması nedeniyle orta sensör üzerinde ölçülmüştür.

Ölçülen bu yerdeğiştirme değerleri için hesaplanan “ön sehim” değerleri ile ilgili TS EN 13116, (Giydirme cepheler, rüzgâr yüküne dayanım, performans şartları) standardında verilen sınır şartına göre pozitif ve negatif tasarım yükleri altındaki cephe üzerinde ölçülen sehim, yapısal mesnet noktaları arasında ölçülen çerçeve elemanının açıklığının 1/200’ünü ya da 15 mm’den hangisi küçükse onu geçmemelidir. Ön sehim değeri için ilgili standartta öngörülen bu sınır koşulu nedeniyle çalışma kapsamında maksimum pozitif ve negatif basınç yüklemesinde

ölçülen “ön sehim” ana ölçütüne bağlı iki ayrı alt ölçüt belirlenmiştir (Maksimum ön sehim-pozitif, maksimum ön sehim-negatif).

Özellikle düşey açıklığı fazla olan cephe sistemlerinde açıklık ortasında oluşabilecek yerdeğiştirme değerlerinin aşırı artması olasılığı nedeniyle bu iki ölçütün değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Deney numunelerinin açıklık ölçüsü 4450 mm olduğundan ($4450 \times 1/200 = 22,25$ mm) ön sehim koşulu olarak 15 mm değeri “sınır değeri” olarak kabul edilmiştir.

Sızdırmazlık ölçütüne bağlı performans değerlendirmesinde ölçütler belirlenirken hava geçirgenlik deneyleri sonucunda elde edilen sayısal “hava geçirgenlik” değerleri dikkate alınmıştır.

Hava geçirgenlik deneyinde TS EN 12152 standardında izin verilen maksimum hava geçirgenlik değeri $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ olarak verilmiştir. Burada numunelere uygulanan 150, 200, 250, 300, 450 ve 600 Pa’lık pozitif ve negatif basınçlar altında ölçülen hava geçirgenlik değeri $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ sınırını hangi basınç değerinde geçiyor ise numune o basınç değerine göre bir basınç sınıfına dahil edilmektedir. (A1, A2, A3, A4, AE). “Hava geçirgenlik” değeri için ilgili standartta öngörülen bu sınır koşulu nedeniyle çalışma kapsamında maksimum pozitif ve negatif basınç yükleme ölçülen “hava geçirgenlik” ana ölçütüne bağlı pozitif ve negatif yükleme için iki ayrı alt ölçüt belirlenmiştir (Maksimum hava geçirgenlik-pozitif, maksimum hava geçirgenlik-negatif). Numuneler üzerinde deney prosedürü sıralamasına uygun olarak gerçekleştirilen hava geçirgenlik deneyleri üç kez tekrarlanmaktadır. 2. hava geçirgenlik deneyinin ardından uygulanan sismik dayanım deneyi sonrasında 3. hava geçirgenlik deneyi gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla 2. ve 3. hava geçirgenlik deneyleri sonuçları karşılaştırılarak cephe üzerindeki sismik hareketlere bağlı olarak hava geçirgenlik değerlerindeki değişimler hesaplanabilmektedir. Bu nedenle, sızdırmazlık ölçütüne bağlı performans değerlendirmesi yapılırken bu değişim değerleri dikkate alınarak “hava geçirgenlik” ana ölçütüne bağlı pozitif ve negatif yükleme için iki ayrı alt ölçüt daha belirlenmiştir (Sismik yükleme sonrası hava geçirgenlik-pozitif, sismik yükleme sonrası hava geçirgenlik-negatif).

Cephe sistemlerinde özellikle iç ortam konforu koşullarının sağlanabilmesi için gerekli olan su sızdırmazlık deneyleri sırasında TS EN 12154 standardına göre herhangi bir ölçüm yapılmamaktadır ve sayısal değer elde edilmemektedir. Yalnızca

deney sırasında prosedür kapsamında cephe dış yüzeyine pozitif hava basıncı (itme) ile birlikte su püskürtme işlemi uygulanmakta ve cephe iç yüzeyinde su geçişi olup olmadığı gözlemlenmektedir. Bu nedenle su sızdırmazlık deneyine bağlı herhangi bir ölçüt belirlenmemiştir.

Ölçüt ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan başlıca yöntemler şunlardır:

- a. Sıralama yöntemi (Ranking method)
- b. Puanlama yöntemi (Rating method)
- c. Tercih Önceliği yöntemi (Trade-off Analysis)
- d. İkili Karşılaştırma yöntemi (Pairwise Comparison, AHP)

Bu yöntemler doğrulukları, kullanım kolaylık dereceleri, anlaşılabilirliği ve kuramsal yapısı bakımından birbirinden farklıdır. Sıralama yönteminde ölçütlerin önemlerine göre ağırlıklarının atanması işlemi yapılır. Bunun için en basit yöntem ölçütleri önem derecelerine göre sıraya dizmektir. Başka bir deyişle her ölçüt karar vericinin tercihiyle göre sıralanır. Bu amaçla normal sıralama (*straight ranking*) ya da ters sıralama (*inverse ranking*) kullanılabilir. Normal sıralamada en önemli ölçüt =1, ikinci önemli ölçüt =2,... ve ters sıralamada ise en az öneme sahip ölçüt =1, bir sonraki az öneme sahip ölçüt =2,... biçiminde sıralanır (Öztürk ve Batuk, 2007).

Bir ölçüt kümesi sıralandığında sıralama düzeninden sayısal olarak ağırlıkların elde edilmesi için çok sayıda yöntem vardır. Bunlar arasında en çok kullanılan yaklaşımlar aşağıda verilmiştir:

- a. Sıralama toplamı (Rank sum)
- b. Sıralamanın tersinin alınması (Rank reciprocal)
- c. Sıralamanın üslü kuvvetlerinin alınması (Rank exponent)

Sıralama toplamı yöntemine göre ağırlıklar (4.1) bağıntısı ile hesaplanır.

$$w_j = \frac{n - r_j + 1}{\sum (n - r_k + 1)} \quad (4.1)$$

Burada,

w_j : j. ölçüt için normalleştirilmiş ağırlık

n : ölçüt sayısı ($k=1,2,\dots,n$)

r_j : ölçütün sırası

Her bir ölçütün ($n - r_j + 1$) bağıntısına göre ağırlıkları belirlendikten sonra bu ağırlıklar bütün ağırlıkların toplamıyla $\sum (n - r_k + 1)$ normalleştirilir. Sıralamanın tersi alınarak

ağırlıkların elde edilmesi yönteminde ise ağırlıklar bir ölçütün önem sırasının tersinin normalleştirilmesiyle türetilir. Ağırlıkları hesaplamak için (4.1) bağıntısından yararlanılır.

$$w_j = \frac{1/r_j}{\sum (1/r_k)} \quad (4.2)$$

Sıralamanın üslü kuvvetleri alınarak ağırlıkların elde edilmesinde bir ek bilgi daha gereklidir. Burada, karar vericinin 0-1 aralığında en önemli ölçütün ağırlığını belirlemesi gerekmektedir. Bu ağırlık (4.3) bağıntısı ile hesaplanır.

$$w_j = \frac{(n - r_j + 1)^p}{\sum (n - r_k + 1)^p} \quad (4.3)$$

Burada “p” değeri iteratif yöntemle çözülür. Bu değer belirlendikten sonra kalan ölçütler için ağırlıklar hesaplanabilir. Bu yaklaşımda p = 0 için tüm ölçütler eşit ağırlıklı olur ve p=1 için ise ağırlıklar sıralama toplamı yöntemiyle elde edilen ağırlıklara eşit olur.

Puanlama yönteminde karar vericilerin daha önce tanımlanmış bir sayısal aralık temelinde ağırlıkları kestirmesi gerekir. Örneğin 0’dan 100’e kadar değerler kullanılabilir. En basit puanlama yöntemlerinden biri puan tahsisi (point allocation) yaklaşımıdır. Bu yöntemde karar vericinin ilgilenilen ölçütler için 100 puanı tahsis etmesi gerekir. Yöntem, özel olarak 0~100 aralığında puanların verilmesine dayalıdır. Diğerlerine göre daha yüksek puanlı bir ölçüt, daha büyük bağıl önem anlamındadır. Örneğin, bir fabrika yeri seçimi probleminin ulaşım sistemine yakınlık, fabrika kuruluş maliyeti ve su temini gibi 3 ölçütten oluştuğu düşünülecek olursa, örnek olarak karar verici ulaşım sistemine erişime 30 puan, fabrika kuruluş maliyetine 50 puan ve su teminine 20 puan verebilir. Sonuç olarak ağırlıklar bu 3 ölçüte göre sırasıyla 0,3, 0,5 ve 0,2 olarak atanabilir.

Puanlama yönteminde ideal olarak tüm ölçütlere verilen puanların toplamının 100 olması istenebilir. Ancak bu durum nadiren elde edilebilir ve genelde pratikteki uygulamalarda puanlar toplamı 100 olacak şekilde düzeltilir.

Puan tahsisi yönteminin bir alternatifi oran kestirimi (ratio estimation) işlemidir. İşlem, puan tahsisi yönteminin değiştirilmiş bir halidir. Bu yöntem en önemli ölçüte keyfi bir puanın atanmasıyla başlar. Örneğin en önemli ölçüte 100 puan atanabilir. Sıralamada daha az öneme sahip ölçütlere orantılı olarak daha düşük puanlar verilir.

Bu işlem, en az öneme sahip ölçüte puan verilmeye kadar devam eder. Buna göre en az önemi olan ölçüte verilen puan oran hesaplamaları için temel alınır.

Yöntemde her bir ölçüte verilmiş olan puanlar en az önemi olan ölçütün puanına bölünür. Diğer bir deyişle oran w_j/w^* 'ye eşittir. Burada w^* en düşük puan ve w_j ise j . ölçütün puanıdır. Bu oran, bir ölçütün en düşük öneme sahip ölçüte göre bağlı tercih edilirliliğini gösterir. Yöntem tüm ölçütler için ağırlıklar atanıncaya kadar bir sonraki en önemli ölçüt için tekrarlanır. Sonuçta ağırlıklar her bir ağırlığın toplama bölünmesiyle toplamaları 1 olacak şekilde normalleştirilir. Oran kestirimi yönteminde sayıların 0'a bölümü tanımsız olduğundan puanlamada sıfır değeri ihmal edilir. Puanlama yöntemi ölçütlerin önemini hem sıralı hem de birbirine göre büyüklükleriyle göstermesi yönünden üstündür (Öztürk ve Batuk, 2007).

Tercih önceliği analizi yöntemi doğrudan doğruya önceliklerin belirlenmesine dayanır. Karar verici alternatif çiftleri arasında tercih yapar. Bu yaklaşımda karar verici bir defada 2 ölçüte göre 2 alternatifin (örneğin A ve B) karşılaştırmasını yapar ve hangi alternatifin tercih edileceğine karar verir. Karar verici A alternatifinin B'ye ya da B alternatifinin A'ya tercih edilip edilmeyeceğini ya da iki alternatif arasında tercih yapılamayacağını belirler. Böyle yargılar yapılırken çeşitli ölçütlere ne kadar ağırlıkların atanacağı sonucuna ulaşılabilir. Yöntemde karar verici tercih önceliğini herhangi iki ölçüt arasında diğer ölçütlere bağlı olmaksızın yapar. Tercih önceliği analizi ölçütler arasında tercih yapılmasına dayalıdır. Karar verici C1 ölçütünün bir birimi C2 ölçütünün ne kadarlık birimine eşittir? ya da C2'nin bir birimini elde etmek için C1'den ne kadarlık birim karşılık verilmeli? gibi sorulara cevap vermek zorundadır. Ölçüt çiftleri için bu tür sorular cevaplandırılarak bütün ölçütlerin ağırlıkları bulunabilir. Örneğin C1, C2 ve C3 gibi 3 ölçütlü bir problemde, bir birim C1 ölçütü kaç birim C2 ölçütüne eşittir sorusunun cevabının 2 olduğu varsayılırsa $C1/C2=2$ olacaktır. Benzer şekilde bir birim C2 ölçütü kaç birim C3 ölçütüne eşittir sorusunun cevabının 1,5 olduğu düşünülürse $C2/C3=3/2$ olacaktır (Keeney, 1982).

Sıralama yöntemleri oldukça basittir. Yine de bu yöntemin pratik kullanımı, sıralanacak ölçütlerin sayısı ile sınırlıdır. Genelde fazla sayıda ölçüt kullanıldığında bu yöntemler çok uygun değildir. Sıralama yöntemlerinin kuramsal yapı bakımından eksik olduğu, yaklaşık ağırlık belirlemede kullanılabileceği araştırmacılarca

belirtilmiştir. Çok sayıda ölçüte göre karar verme problemlerinde ölçüt ağırlıklarının belirlenmesinde hangi yöntemin kullanılacağı karar vericinin önceliklerine bağlıdır.

Karar verici kullanım kolaylığı, doğruluk, anlaşılabilirliği, kuramsal yapısı, bilgisayar yazılımlarının elde edilebilirliği ve yöntemin ÇKKV'ye entegre edilip edilemeyeceğini değerlendirerek yöneme karar verir. Örneğin ağırlıkların elde edilmesinde kullanım kolaylığı ve hızlı çözüm isteniyorsa sıralama ya da puanlama yöntemlerinden biri kullanılabilir. Diğer yandan, eğer doğruluk ve kuramsal yapı ana düşünce ise, ikili karşılaştırma ya da tercih önceliği analizi uygun olur. İkili karşılaştırma ve tercih önceliği analizi kullanılarak ağırlıkların elde edilmesi için bazı yazılımlar mevcuttur. Ayrıca bu yöntemler hesaplama programlarıyla da gerçekleştirilebilir. Sonuç olarak, ölçüt ağırlıklarının bulunması yöntemleri birçok CBS sistemine entegre edilebilir. Deneysel uygulamalar ÇKKV'de ikili karşılaştırma yönteminin en etkili yöntemlerden biri olduğunu belirtmektedir. Deneylere bağlı olarak, Lai ve Haoying (1995) ikili karşılaştırma yönteminin etkililik yönünden tercih önceliği yönteminden çok az farklı olduğunu göstermiş ve ikili karşılaştırma yönteminin zaman yönünden tercih önceliği yaklaşımından daha iyi olduğunu tespit etmiştir (Öztürk ve Batuk, 2007).

4.2 Performans Değerlendirmesi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Ölçüt ağırlıklarının belirlenmesinde araştırmacılar tarafından en çok kullanılan yöntem AHP (Analytic Hierarchy Process) yöntemidir. Yöntem tek başına kullanılabildiği gibi TOPSIS, ELECTRE, COPRAS, PROMETHEE gibi farklı çok ölçütlü değerlendirme metodları ile entegre edilerek de kullanılır. Örneğin, literatürde AHP ve TOPSIS yöntemlerinin farklı sektörlerde birlikte kullanıldığı birçok çalışma bulunmaktadır: Tsaur ve diğ. (2002) havaalanlarında hizmet kalitesinin değerlendirilmesi için, Madumjar ve diğ. (2005) ve Yurdakul ve Tansel (2005) üretim şirketleri için bir performans ölçüm modeli geliştirilmesi için, Shyjith ve diğ. (2008) tekstil endüstrisinde en iyi bakım teknolojisini seçilmesi için, Lin ve diğ. (2008) ise müşteri odaklı ürün tasarım sürecinde değerlendirme için bu iki yöntemi birlikte kullanmışlardır. Ayrıca, Wang ve diğ. (2009), tedarikçi seçimi probleminde bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemlerini birlikte kullanmıştır.

Bununla birlikte çok ölçütlü değerlendirme yöntemleri bina teknolojisi uygulamalarında tek başına ya da diğer yöntemlerle birlikte kullanılmaktadır. Örneğin, Balali ve diğ. (2014) bina taşıyıcı sistem seçiminde AHP ve PROMETHEE yöntemlerini, Zavadskas ve Kutut (2013) tarihi binaların korunmasında alternatif seçimi için AHP ve ARAS yöntemlerini, Bitarafan ve diğ. (2012) yıkılan alanların yeniden inşa edilmesi sürecinde çelik yapılarda inşa metodların seçiminde AHP ve COPRAS yöntemlerini, Taylan ve diğ. (2014) inşaat projelerinin seçimi ve risk değerlendirmesinde AHP ve TOPSIS yöntemlerini, Mohamed ve Shouman ve diğ. (2007) arazi seçimi konusunda AHP ve TOPSIS yöntemlerini, Sarvari ve diğ. (2011) deprem nedeniyle oluşan risk değerlendirmesinde AHP ve TOPSIS yöntemlerini, Ginevicius ve Podvezko (2008) duvar izolasyonunda alternatif çözümlerin değerlendirilmesinde SAW, TOPSIS ve COPRAS yöntemlerini kullanmışlardır.

AHP yönteminin diğer yöntemlerle birlikte kullanılması ile yapılan değerlendirme sonucunda ölçütlerin önem sıralaması belirlenmektedir. Bu çalışmada AHP yöntemi TOPSIS ve COPRAS metodları ile birlikte kullanılarak ve deneysel veriler yardımıyla performans değerlendirmesi yapılmıştır.

4.3 Deneysel Sonuçların AHP Yöntemine Göre Değerlendirilmesi

AHP yöntemi 1970'li yılların ortasında Pensilvanya Üniversitesi'nden Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen ölçme ve karar verme için kullanılan bir matematiksel teoridir (Saaty ve Niemira, 2006). AHP literatürde yaygın olarak çalışılmıştır ve son 20 yıldır karar vericiler tarafından kolay anlaşılabilir olması nedeniyle çok ölçütlü karar verme ile ilgili neredeyse tüm uygulamalarda kullanılmaktadır (Ho, 2008). Yöntem, ikili karşılaştırma yöntemi olarak da bilinmektedir.

Bu yöntemde oran matrislerini oluşturmak için ikili karşılaştırmalar yapılır. Yöntemde ikili karşılaştırmalar girdi veri olarak alınır ve çıktı veri olarak bağlı ağırlıklar oluşturur. Ağırlıklar oran matrisinin maksimum özdeğeriyle (eigenvalue) özvektörün (eigenvector) normalleştirilmesiyle belirlenir. İkili karşılaştırma terimi iki faktörün ya da ölçütün birbirleriyle karşılaştırılması anlamına gelir ve karar vericinin yargılarına dayanır. İkili karşılaştırmalar karar ölçütlerinin ve alternatiflerin öncelik dağılımlarının kurulması için tasarlanmıştır. Bu karşılaştırmalar matrisler şeklinde düzenlenir. İkili karşılaştırma yargılarının oluşturulmasında başka bir ifade

ile karar verici tarafından A ölçütünün B ölçütüne göre ne kadar önemli olduğuna karar verilmesi için hazırlanan tercih ölçeğinden faydalanılmaktadır. Bu ölçeğin etkinliği çeşitli alanlardaki uygulamalar ve başka ölçeklerle yapılan kuramsal karşılaştırmalar sonucunda saptanmıştır.

Yöntemin üstünlüğü bir seferde sadece iki ölçütün düşünülmesidir. n adet ölçüt için yöntem, $n(n-1)/2$ adet karşılaştırmadan oluşur. Örneğin 10 değerlendirme ölçütlü bir karar problemi 45 adet ikili karşılaştırma yapmayı gerektirir. İkili karşılaştırma yöntemine ilişkin çeşitli eleştiriler bulunmaktadır. 1~9 ölçeği ile yapılan ikili karşılaştırmalar bazı problemlerde karar vericiyi tutarsızlığa da götürebilmektedir. Örneğin, Ölçüt A Ölçüt B'den 5 kat ve Ölçüt B de Ölçüt C'den 5 kat daha önemli olarak kabul edilirse, Ölçüt A'nın Ölçüt C'den 25 kat daha önemli olduğu hükmüne varılabilir ki bu durum olanaklı değildir. Yöntem zaman alıcıdır. Bunun için gerekli hesaplamaları yapan bilgisayar programları da bulunmaktadır (Öztürk ve Batuk, 2007).

Sonuç kararın kalitesi bakımından önemli bir konu, ikili karşılaştırma sürecinde karar verici tarafından belirlenen yargıların tutarlılığıdır. Tutarlı olmak rasyonel düşüncünün bir önkoşulu olarak kabul edilir. Ancak uygulamada tam anlamıyla tutarlı olmak neredeyse olanaksızdır. İkili karşılaştırma yargılarının tutarlılığını ölçmek için Saaty tarafından önerilen bir tutarlılık oranı (consistency ratio) kullanılmaktadır. Literatürde alternatif tutarlılık ölçüm çalışmaları da görülmektedir. İkili karşılaştırma matrisi için tutarlılık oranı hesaplanır. Bu oran için Saaty tarafından önerilen üst limit 0,10'dur. Yargılar için hesaplanan tutarlılık oranı 0,10'un altında ise yargıların yeterli bir tutarlılık sergilediği ve değerlendirmenin devam edebileceği kabul edilmektedir. Eğer tutarlılık oranı 0,10'un üstünde ise yargılar tutarsız kabul edilmektedir. Bu durumda yargıların kalitesinin iyileştirilmesi gerekir. Tutarlılık oranı yargıların yeniden gözden geçirilmesiyle düşürülebilir. Ancak bu işlemde başarısız olunursa problemin daha doğru bir biçimde tekrar kurulması ve sürecin en baştan ele alınması gerekir.

Bu çalışma kapsamında deney işlemleri gerçekleştirilen numuneler için performans değerlendirmesi ilk olarak AHP yöntemi ile yapılacaktır. AHP yöntemi içerisinde ölçüt ağırlıklarını hesaplamak için bir takım adımlar yer almaktadır. Bu adımlar birçok değerlendirme yönteminde bulunmamakta ve bu yöntemler karar vericileri

kendi tercihlerine bırakarak ölçüt ağırlıklarını belirlemesini istemektedir. AHP yöntemi çok ölçütlü performans değerlendirme yöntemleri içerisinde özellikle ölçüt ağırlıklarının belirlenmesi için bir takım adımlar içermesi dolayısıyla diğer yöntemlerle birlikte kullanılarak nihai sonuca ulaşmayı sağlamaktadır.

Çalışmada da AHP yöntemi hem tek başına ayrı bir yöntem olarak ele alınacak hem de diğer yöntemlerle birlikte kullanılarak ölçüt ağırlıklarının belirlenmesi aşamasında diğer yöntemlere altlık olacaktır. Çalışma kapsamında deney işlemleri gerçekleştirilen cephe numunelerinin performans değerlendirmesi AHP yöntemine dayanarak 6 adımda tamamlanmıştır.

1. Adım: Problemin tanımı ve aranılan bilgi tipinin belirlenmesi.

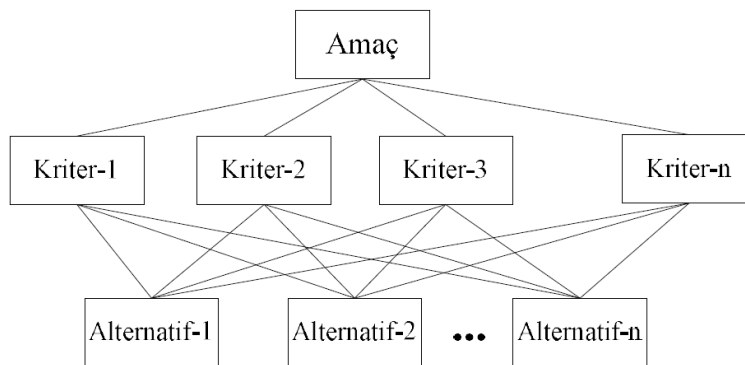
Problemin tanımı: Panel giydirme cephelerde iklimsel koşulların göz ardı edilerek cephe performans deneylerinin yapılması.

Aranılan bilgi tipi: Panel giydirme cephe deneyleri esnasında genel kabul görmüş ve günümüzde yaygın olarak uygulanan deney prosedürüne ek olarak yorma prosedürü uygulanması durumunda sonucun ne şekilde değiştiğinin araştırılması.

2. Adım: Hiyerarşik yapının oluşturulması:

Bu adımda, karar amacı ile tepeden başlayarak karar hiyerarşisi oluşturulur. Orta seviyede ölçütler ve en düşük seviyede ise alternatifler bulunur. AHP yönteminin hiyerarşik yapısı Çizelge 4.1’de verilmiştir (Supçiller ve Çapraz, 2011).

Çizelge 4.1 : AHP hiyerarşik yapısı.

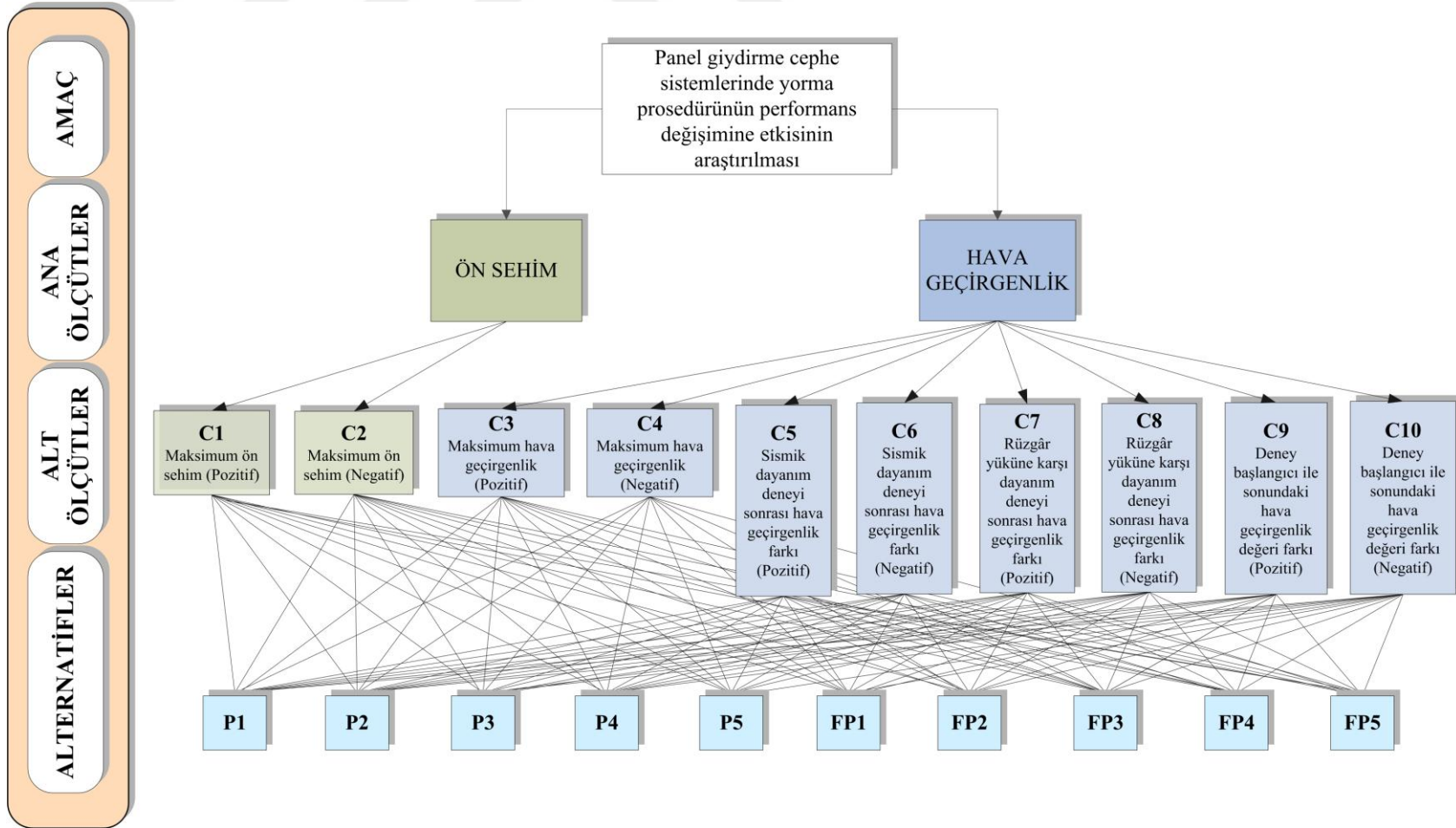


Hiyerarşik yapı oluşturulmadan önce AHP yönteminin bu çalışmaya uygulanmasındaki amaç belirlenmiştir. Bu yöntem, panel giydirme cephe sistemlerinde yorma prosedürünün performans değişimine etkisini belirlemek için uygulanmıştır. Hiyerarşik yapı belirlenirken çalışma kapsamında elde edilen

deneysel sonuçlar dikkate alınmıştır. Deneysel çalışmalar esnasında rüzgâr yüküne dayanım ve hava geçirgenlik deneyleri sonucunda sayısal değerler elde edilmiş olmasından dolayı performans değerlendirmesinde önceki bölümde belirtildiği gibi ana ölçüt olarak iki ayrı ölçüt belirlenmiştir. Bunlardan ilki rüzgâr yüküne dayanım deneyleri sonucunda elde edilen “*ön sehim*” ana ölçütü, diğeri ise hava geçirgenlik deneyleri sonucunda elde edilen “*hava geçirgenlik*” ana ölçütüdür.

AHP yöntemine göre ana ölçütlerin dışında alt ölçütlerin de belirlenmesi gerekmektedir. Alt ölçütler de yine deneysel çalışmalardan elde edilen sayısal sonuçlara dayanarak belirlenmiştir. Hiyerarşik yapı içerisinde yer alan alternatifler çalışma kapsamında deneysel işlemleri gerçekleştirilen P1, P2, P3, P4, P5, FP1, FP2, FP3, FP4 ve FP5 numuneleri olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2). AHP yönteminde kullanılan sembol ve bağıntılar Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Hiyerarşik yapı.



Çizelge 4.3 : AHP yöntemi bağıntı bilgileri.

Sembol	Açıklama	Bağıntı
A	Karşılaştırma matrisi	[A]
a_{ij}	Matris elemanı	j. satır, i. sütun elemanını ifade eder
W	Özvektör (Üstünlük vektörü) (Görelî önem vektörü)	$W=[W_i]_{n \times 1} = \frac{\sum_j^n b_{ij}}{n}$
D	Karşılaştırma matrisi ile üstünlük vektörünün çarpımı	$D=[a_{ij}]_{n \times n} \times [W_i]_{n \times 1} = [d_i]_{n \times 1}$
E_i	Her bir matris elemanının üstünlük vektörüne bölümü	$E_i = \frac{d_i}{W_i}$
$\lambda_{\max}$	Matrisin en büyük özvektörü	$\lambda_{\max} = E_i = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{W_i}}{n}$
CI	Tutarlılık göstergesi	$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)}$
RI	Rassallık indeksi (standart düzeltme değeri)	Rassallık indeksi tablosundan seçilir.
CR	Özvektör tutarlılığı (Tutarlılık oranı)	$CR = \frac{CI}{RI}$
DW	Karar matrisi	Üstünlük sütun vektörlerinin bir araya getirilmesiyle oluşan (mxn) boyutundaki matris
R	Sonuç vektörü	$R=[DW] \times [W]$

3. Adım: İkili karşılaştırma matrisleri ve üstünlüklerin belirlenmesi:

Bu adımda amaç, ölçütler ve alt ölçütler belirlendikten sonra ölçütlerin ve alt ölçütlerin kendi aralarında önem derecelerinin belirlenmesi için (4.4)'de gösterilen (nxn) ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Karar verici ölçüt matrisi ya da alternatif matrisi için ölçütleri ya da alternatifleri ikili olarak karşılaştırır. (4.4)'de yer alan her bir ölçütün, amaca katkısı açısından göreceli önemleri ve her bir hedefin de ölçütler yönünden üstünlükleri, uygulayıcıların yargılarına göre, ikili karşılaştırma yolu ile belirlenir. Burada üstünlüklerin belirlenmesi için Saaty tarafından geliştirilen ve Çizelge 4.4’de verilen önem ölçeği kullanılmalıdır (Saaty, 1990).

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{21} & a_{31} & \dots & a_{n1} \\ 1/a_{21} & 1 & a_{32} & \dots & a_{n2} \\ 1/a_{31} & 1/a_{32} & 1 & \dots & a_{n3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & 1/a_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (4.4)$$

Çizelge 4.4 : AHP yöntemi önem ölçeği.

Sayısal değer	Tanım	Açıklama
1	Eşit önem	Her 2 öge de objektif olarak eşit görülüyorsa
3	1. öge 2.'ye göre biraz daha önemli	Deneyim ya da düşüncelerle bir öge diğerine göre daha fazla tercih ediliyor.
5	1. öge 2.'ye göre fazla önemli	Deneyim ya da düşüncelerle bir öge diğerine göre daha fazla tercih ediliyor.
7	1. öge 2.'ye göre çok fazla önemli	Öğelerden biri daha çok tercih ediliyor ve pratikte kanıtlanabiliyor.
9	1. öge 2.'ye göre aşırı derecede önemli	Öğelerden biri daha çok tercih ediliyor ve en yüksek olasılıkla kanıtlanabiliyor.
2, 4, 6, 8	Ara değerler	Uzlaşma gerektiği durumda.

4. Adım: Özvektörün (görelî önem vektörünün) belirlenmesi:

Alternatifler için alt ölçütlere bağlı olarak ve alt ölçütlerin kendi aralarında yapılan ikili karşılaştırmaların ardından üstünlük vektörlerinin (özvektör) belirlenmesi gerekmektedir. Özvektör değeri (4.27) yardımıyla hesaplanmaktadır. Burada W_i değeri i. satırda bulunan ölçütün özvektörünü, n değeri ilgili matristeki toplam ölçüt sayısını ve b_{ij} değeri herbir satır ve sütun elemanının değerini ifade etmektedir

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n} \quad (4.5)$$

Bu çalışmada, her bir ana ölçüte bağlı olan alt ölçütler kendi aralarında ve her bir alternatif alt ölçütlere bağlı olarak üstünlükleri deneysel sonuçlara dayanarak ikili karşılaştırma yolu ile belirlenerek matris formları oluşturulacaktır. Alt ölçütlerin ve alternatiflerin birbirlerine göre üstünlüklerinin belirlenebilmesi için Saaty tarafından geliştirilen ve Çizelge 4.4'de verilen önem ölçeği kullanılmıştır. Önem ölçeğinde verilen değerler ile puanlama yapılabilmesi için öncelikle deneysel çalışmalarda elde edilen sayısal sonuçların analiz edilmesi gerekmektedir. Çizelge 4.5'de 0., 90., 270., 390. ve 450. günlerde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen maksimum ön sehim, maksimum hava geçirgenlik değerleri, sismik dayanım deneyi sonrası hava geçirgenlik değerleri, rüzgâr yüküne dayanım deneyi sonrası hava geçirgenlik değerleri ve deney başlangıcı ile deney sonundaki hava geçirgenlik değeri arasındaki farklar verilmiştir. Bu veriler yardımıyla performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Çizelge 4.5 : Deneysel veriler.

Deney no	Deney kodu	Deney kodu	Maks. ön sehim değeri (mm)	Maks. hava geçirgenlik değeri (m^3/m^2h)	Sismik dayanım deneyi sonrası hava geçirgenlik farkı (m^3/m^2h)	Rüzgâr yüküne dayanım deneyi sonrası hava geçirgenlik farkı (m^3/m^2h)	Deney başlangıcı ve sonundaki hava geç. değeri arasındaki fark değeri (m^3/m^2h)
1	P1	P1/1P	10,34	0,68	0,11	0,06	0,05
		P1/1N	11,27	0,52	0,11	0,12	0,01
2	P2	P2/1P	10,97	0,88	0,13	0,02	0,15
		P2/1N	12,00	0,56	0,05	0,02	0,03
3	P3	P3/1P	10,09	1,07	0,00	0,06	0,07
		P3/1N	16,60	0,80	0,06	0,07	0,01
4	P4	P4/1P	7,86	0,99	0,24	0,06	0,30
		P4/1N	9,29	0,74	0,06	0,08	0,14
5	P5	P5/1P	7,57	1,03	0,01	0,02	0,02
		P5/1N	9,77	0,80	0,02	0,01	0,04
1	FP1	FP1/1P	10,84	1,04	0,04	0,11	0,15
		FP1/1N	8,77	1,27	0,09	0,02	0,07
2	FP2	FP2/1P	12,06	1,59	0,08	0,59	0,67
		FP2/1N	12,62	1,56	0,17	0,15	0,32
3	FP3	FP3/1P	13,47	2,79	0,07	0,41	0,48
		FP3/1N	17,78	2,23	0,17	0,02	0,19
4	FP4	FP4/1P	8,13	3,06	0,55	0,07	0,61
		FP4/1N	9,82	2,40	0,08	0,09	0,17
5	FP5	FP5/1P	8,02	2,67	0,06	0,04	0,10
		FP5/1N	10,25	2,36	0,02	0,06	0,08

Çalışmada ikili karşılaştırma öncelikle alt ölçütlere bağlı olarak alternatifler arasında yapılmıştır. Bu karşılaştırmayı yapabilmek için her bir alt ölçüt için mutlak yükleme farkları hesaplanmıştır. (Çizelge 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 ve 4.12). Elde edilen mutlak yükleme farkları içerisinde her bir alt ölçüt için minimum ve maksimum mutlak fark değerleri kullanılarak Saaty önem ölçeğinde 1 ile 9 arasında yer alan puan değerleri için puan aralığı oluşturulmuştur (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.6 : Alternatifler için mutlak yükleme farkları (C1 ve C2 ölçütlerine bağlı).

	C1 ölçütüne bağlı										C2 ölçütüne bağlı									
	P1	P2	P3	P4	P5	FP1	FP2	FP3	FP4	FP5	P1	P2	P3	P4	P5	FP1	FP2	FP3	FP4	FP5
P1		0,63	0,25	2,48	2,77	0,50	1,72	3,13	2,21	2,32		0,73	5,33	1,98	1,50	2,50	1,35	6,51	1,45	1,02
P2			0,89	3,11	3,40	0,13	1,09	2,50	2,84	2,95			4,60	2,71	2,23	3,23	0,62	5,78	2,18	1,75
P3				2,23	2,52	0,75	1,98	3,38	1,96	2,07				7,31	6,83	7,83	3,99	1,18	6,78	6,35
P4					0,29	2,98	4,20	5,61	0,27	0,16					0,48	0,52	3,33	8,49	0,53	0,96
P5						3,27	4,49	5,90	0,56	0,45						1,00	2,85	8,01	0,05	0,48
FP1							1,22	2,63	2,71	2,82							3,85	9,01	1,05	1,48
FP2								1,41	3,93	4,04								5,17	2,80	2,37
FP3									5,34	5,45									7,96	7,53
FP4										0,11										0,43
FP5																				

Çizelge 4.7 : Alternatifler için mutlak yükleme farkları (C3 ve C4 ölçütlerine bağlı).

	C3 ölçütüne bağlı										C4 ölçütüne bağlı									
	P1	P2	P3	P4	P5	FP1	FP2	FP3	FP4	FP5	P1	P2	P3	P4	P5	FP1	FP2	FP3	FP4	FP5
P1		0,20	0,39	0,31	0,35	0,36	0,91	2,11	2,38	1,99		0,04	0,28	0,22	0,28	0,75	1,04	1,71	1,88	1,84
P2			0,19	0,11	0,15	0,16	0,71	1,91	2,18	1,79			0,24	0,18	0,24	0,71	1,00	1,67	1,84	1,80
P3				0,08	0,04	0,03	0,52	1,72	1,99	1,60				0,06	0,00	0,47	0,76	1,43	1,60	1,56
P4					0,04	0,05	0,60	1,80	2,07	1,68					0,06	0,53	0,82	1,49	1,66	1,62
P5						0,01	0,56	1,76	2,03	1,64						0,47	0,76	1,43	1,60	1,56
FP1							0,55	1,75	2,02	1,63							0,29	0,96	1,13	1,09
FP2								1,20	1,47	1,08								0,67	0,84	0,80
FP3									0,27	0,12									0,17	0,13
FP4										0,39										0,04
FP5																				

Çizelge 4.8 : Alternatifler için mutlak yükleme farkları (C5 ve C6 ölçütlerine bağlı).

	C5 ölçütüne bağlı										C6 ölçütüne bağlı									
	P1	P2	P3	P4	P5	FP1	FP2	FP3	FP4	FP5	P1	P2	P3	P4	P5	FP1	FP2	FP3	FP4	FP5
P1		0,02	0,11	0,13	0,10	0,07	0,03	0,04	0,44	0,05		0,06	0,05	0,05	0,09	0,02	0,06	0,06	0,03	0,09
P2			0,13	0,11	0,12	0,09	0,05	0,06	0,42	0,07			0,01	0,01	0,03	0,04	0,12	0,12	0,03	0,03
P3				0,23	0,00	0,04	0,08	0,06	0,54	0,05				0,00	0,04	0,03	0,11	0,11	0,02	0,04
P4					0,23	0,20	0,16	0,17	0,31	0,18					0,03	0,03	0,11	0,11	0,02	0,03
P5						0,03	0,07	0,06	0,54	0,05						0,07	0,15	0,15	0,06	0,00
FP1							0,04	0,03	0,51	0,02							0,08	0,08	0,01	0,07
FP2								0,01	0,47	0,02								0,00	0,09	0,15
FP3									0,48	0,01									0,09	0,05
FP4										0,49										0,05
FP5																				

Çizelge 4.9 : Alternatifler için mutlak yükleme farkları (C7 ve C8 ölçütlerine bağlı).

	C7 ölçütüne bağlı										C8 ölçütüne bağlı									
	P1	P2	P3	P4	P5	FP1	FP2	FP3	FP4	FP5	P1	P2	P3	P4	P5	FP1	FP2	FP3	FP4	FP5
P1		0,04	0,00	0,00	0,04	0,05	0,53	0,35	0,01	0,02		0,10	0,05	0,04	0,11	0,10	0,03	0,10	0,03	0,06
P2			0,04	0,04	0,00	0,09	0,57	0,39	0,05	0,02			0,05	0,06	0,01	0,00	0,13	0,00	0,07	0,04
P3				0,01	0,05	0,05	0,53	0,35	0,00	0,02				0,02	0,05	0,05	0,08	0,05	0,02	0,01
P4					0,04	0,05	0,53	0,35	0,01	0,02					0,07	0,06	0,07	0,07	0,00	0,03
P5						0,09	0,57	0,40	0,05	0,02						0,01	0,14	0,00	0,07	0,04
FP1							0,48	0,30	0,04	0,07							0,13	0,00	0,07	0,04
FP2								0,18	0,52	0,55								0,13	0,06	0,09
FP3									0,33	0,37									0,07	0,04
FP4										0,02										0,03
FP5																				

Çizelge 4.10 : Alternatifler için mutlak yükleme farkları (C9 ve C10 ölçütlerine bağlı).

	C9 ölçütüne bağlı										C10 ölçütüne bağlı									
	P1	P2	P3	P4	P5	FP1	FP2	FP3	FP4	FP5	P1	P2	P3	P4	P5	FP1	FP2	FP3	FP4	FP5
P1		0,10	0,02	0,25	0,03	0,10	0,62	0,43	0,56	0,05		0,02	0,00	0,13	0,03	0,06	0,31	0,18	0,16	0,07
P2			0,08	0,15	0,13	0,00	0,52	0,33	0,46	0,05			0,02	0,11	0,01	0,04	0,29	0,16	0,14	0,05
P3				0,23	0,04	0,08	0,60	0,41	0,54	0,03				0,13	0,03	0,06	0,31	0,18	0,16	0,07
P4					0,27	0,15	0,37	0,18	0,31	0,20					0,10	0,07	0,18	0,05	0,03	0,06
P5						0,13	0,65	0,46	0,59	0,08						0,03	0,28	0,15	0,13	0,04
FP1							0,52	0,33	0,46	0,05							0,25	0,12	0,10	0,01
FP2								0,19	0,06	0,57								0,13	0,15	0,24
FP3									0,13	0,38									0,02	0,10
FP4										0,51										0,09
FP5																				

Çizelge 4.11 : Alternatifler için puan aralığı değerleri.

	Bağlı olduğu ölçüt										Puan
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	
	0,11	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Değer aralığı	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	1
	0,75	1,05	0,27	0,21	0,06	0,02	0,06	0,02	0,07	0,04	
	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	2
	1,40	2,04	0,54	0,42	0,12	0,03	0,13	0,03	0,14	0,07	
	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	3
	2,04	3,04	0,80	0,63	0,18	0,05	0,19	0,05	0,22	0,10	
	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	4
	2,68	4,03	1,06	0,84	0,24	0,07	0,25	0,06	0,29	0,14	
	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	5
	3,32	5,03	1,33	1,05	0,30	0,08	0,32	0,08	0,36	0,17	
	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	6
	3,97	6,02	1,59	1,25	0,36	0,10	0,38	0,09	0,43	0,21	
	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	7
	4,61	7,02	1,85	1,46	0,42	0,11	0,45	0,11	0,50	0,24	
	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	8
	5,25	8,01	2,12	1,67	0,48	0,13	0,51	0,12	0,57	0,28	
	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	9
	5,90	9,01	2,38	1,88	0,54	0,15	0,57	0,14	0,65	0,31	

Çizelge 4.11’de alternatifler için her bir alt ölçüte bağlı olarak belirlenen puan aralıkları yardımıyla (Çizelge 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 ve 4.12) kullanılarak Saaty önem ölçeceğine göre puanlama yapılmıştır (Çizelge 4.12). Puanlamanın ardından herbir alternatif için ölçütlere bağlı ikili karşılaştırma matrisleri ve özvektör değerleri (4.27) bağıntısı yardımıyla hesaplanmıştır (Çizelge 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 ve 4.16) .

Çizelge 4.12 : Alternatifler için karşılaştırma matrisleri (C1 ve C2 ölçütlerine bağlı).

	C1 ölçütüne bağlı											C2 ölçütüne bağlı											
	P1	P2	P3	P4	P5	FP1	FP2	FP3	FP4	FP5	Wi	P1	P2	P3	P4	P5	FP1	FP2	FP3	FP4	FP5	Wi	
P1	1,00	1,00	1,00	4,00	5,00	1,00	0,33	0,20	4,00	4,00	0,09	1,00	1,00	0,17	2,00	2,00	3,00	2,00	0,14	2,00	1,00	0,07	
P2	1,00	1,00	2,00	5,00	6,00	1,00	0,50	0,25	5,00	5,00	0,11	1,00	1,00	0,20	3,00	3,00	4,00	1,00	0,17	3,00	2,00	0,08	
P3	1,00	0,50	1,00	4,00	4,00	0,50	0,33	0,17	3,00	4,00	0,07	6,00	5,00	1,00	8,00	7,00	8,00	4,00	0,50	7,00	7,00	0,26	
P4	0,25	0,20	0,25	1,00	1,00	0,20	0,14	0,11	1,00	1,00	0,02	0,50	0,33	0,13	1,00	1,00	1,00	0,25	0,11	1,00	1,00	0,03	
P5	0,20	0,17	0,25	1,00	1,00	0,20	0,14	0,11	1,00	1,00	0,02	0,50	0,33	0,14	1,00	1,00	1,00	0,33	0,11	1,00	1,00	0,03	
FP1	1,00	1,00	2,00	5,00	5,00	1,00	0,50	0,25	5,00	5,00	0,11	0,33	0,25	0,13	1,00	1,00	1,00	0,25	0,11	0,50	0,50	0,03	
FP2	3,00	2,00	3,00	7,00	7,00	2,00	1,00	0,33	6,00	7,00	0,18	0,50	1,00	0,25	4,00	3,00	4,00	1,00	0,17	3,00	3,00	0,09	
FP3	5,00	4,00	6,00	9,00	9,00	4,00	3,00	1,00	9,00	9,00	0,33	7,00	6,00	2,00	9,00	9,00	9,00	6,00	1,00	8,00	8,00	0,35	
FP4	0,25	0,20	0,33	1,00	1,00	0,20	0,17	0,11	1,00	1,00	0,03	0,50	0,33	0,14	1,00	1,00	2,00	0,33	0,13	1,00	1,00	0,04	
FP5	0,25	0,20	0,25	1,00	1,00	0,20	0,14	0,11	1,00	1,00	0,02	1,00	0,50	0,14	1,00	1,00	2,00	0,33	0,13	1,00	1,00	0,04	

Çizelge 4.13 : Alternatifler için karşılaştırma matrisleri (C3 ve C4 ölçütlerine bağlı).

	C3 ölçütüne bağlı											C4 ölçütüne bağlı										
	P1	P2	P3	P4	P5	FP1	FP2	FP3	FP4	FP5	Wi	P1	P2	P3	P4	P5	FP1	FP2	FP3	FP4	FP5	Wi
P1	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,25	0,13	0,11	0,13	0,02	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,25	0,20	0,11	0,11	0,11	0,02
P2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,33	0,13	0,11	0,14	0,03	1,00	1,00	0,50	1,00	0,50	0,25	0,20	0,11	0,11	0,11	0,02
P3	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,14	0,13	0,14	0,03	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,33	0,25	0,14	0,13	0,13	0,03
P4	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,33	0,14	0,13	0,14	0,03	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,33	0,25	0,13	0,13	0,13	0,03
P5	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,33	0,14	0,13	0,14	0,03	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,33	0,25	0,14	0,13	0,13	0,03
FP1	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,33	0,14	0,13	0,14	0,03	4,00	4,00	3,00	3,00	3,00	1,00	0,50	0,20	0,17	0,17	0,07
FP2	4,00	3,00	2,00	3,00	3,00	3,00	1,00	0,20	0,17	0,20	0,07	5,00	5,00	4,00	4,00	4,00	2,00	1,00	0,25	0,20	0,25	0,09
FP3	8,00	8,00	7,00	7,00	7,00	7,00	5,00	1,00	0,50	1,00	0,22	9,00	9,00	7,00	8,00	7,00	5,00	4,00	1,00	1,00	1,00	0,23
FP4	9,00	9,00	8,00	8,00	8,00	8,00	6,00	2,00	1,00	2,00	0,30	9,00	9,00	8,00	8,00	8,00	6,00	5,00	1,00	1,00	1,00	0,25
FP5	8,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	5,00	1,00	0,50	1,00	0,22	9,00	9,00	8,00	8,00	8,00	6,00	4,00	1,00	1,00	1,00	0,24

Çizelge 4.14 : Alternatifler için karşılaştırma matrisleri (C5 ve C6 ölçütlerine bağlı).

	C5 ölçütüne bağlı											C6 ölçütüne bağlı										
	P1	P2	P3	P4	P5	FP1	FP2	FP3	FP4	FP5	Wi	P1	P2	P3	P4	P5	FP1	FP2	FP3	FP4	FP5	Wi
P1	1,00	1,00	2,00	0,33	2,00	2,00	1,00	1,00	0,13	1,00	0,06	1,00	4,00	4,00	4,00	6,00	2,00	0,25	4,00	3,00	6,00	0,18
P2	1,00	1,00	3,00	0,50	3,00	2,00	1,00	2,00	0,13	2,00	0,08	0,25	1,00	1,00	1,00	3,00	0,33	0,13	0,33	0,33	3,00	0,04
P3	0,50	0,33	1,00	0,25	1,00	1,00	0,50	0,50	0,11	1,00	0,03	0,25	1,00	1,00	1,00	3,00	0,33	0,13	0,13	0,50	3,00	0,04
P4	3,00	2,00	4,00	1,00	4,00	4,00	3,00	3,00	0,17	4,00	0,15	0,25	1,00	1,00	1,00	3,00	0,33	0,13	0,13	0,50	3,00	0,04
P5	0,50	0,33	1,00	0,25	1,00	1,00	0,50	0,50	0,11	1,00	0,03	0,17	0,33	0,33	0,33	1,00	0,20	0,11	0,11	0,25	1,00	0,02
FP1	0,50	0,50	1,00	0,25	1,00	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	0,04	0,50	3,00	3,00	3,00	5,00	1,00	0,17	0,17	1,00	5,00	0,08
FP2	1,00	1,00	2,00	0,33	2,00	1,00	1,00	1,00	0,13	1,00	0,06	4,00	8,00	8,00	8,00	9,00	6,00	1,00	1,00	6,00	9,00	0,30
FP3	1,00	0,50	2,00	0,33	2,00	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	0,05	0,25	3,00	8,00	8,00	9,00	6,00	1,00	1,00	6,00	4,00	0,21
FP4	8,00	8,00	9,00	6,00	9,00	9,00	8,00	9,00	1,00	9,00	0,45	0,33	3,00	2,00	2,00	4,00	1,00	0,17	0,17	1,00	4,00	0,07
FP5	1,00	0,50	1,00	0,25	1,00	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	0,04	0,17	0,33	0,33	0,33	1,00	0,20	0,11	0,25	0,25	1,00	0,02

Çizelge 4.15 : Alternatifler için karşılaştırma matrisleri (C7 ve C8 ölçütlerine bağlı).

	C7 ölçütüne bağlı											C8 ölçütüne bağlı										
	P1	P2	P3	P4	P5	FP1	FP2	FP3	FP4	FP5	Wi	P1	P2	P3	P4	P5	FP1	FP2	FP3	FP4	FP5	Wi
P1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,11	0,17	1,00	5,00	0,05	1,00	7,00	4,00	3,00	8,00	7,00	0,33	7,00	3,00	5,00	0,21
P2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,11	0,14	1,00	0,20	0,04	0,14	1,00	0,25	0,20	1,00	1,00	0,11	1,00	0,20	0,33	0,02
P3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,11	0,17	1,00	5,00	0,05	0,25	4,00	1,00	0,50	4,00	4,00	0,17	4,00	0,50	1,00	0,07
P4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,11	0,17	1,00	1,00	0,04	0,33	5,00	2,00	1,00	5,00	5,00	0,20	5,00	1,00	3,00	0,11
P5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,11	0,14	1,00	1,00	0,04	0,13	1,00	0,25	0,20	1,00	1,00	0,11	1,00	0,20	0,33	0,02
FP1	1,00	2,00	1,00	1,00	2,00	1,00	0,13	0,20	1,00	2,00	0,05	0,14	1,00	0,25	0,20	1,00	1,00	0,11	1,00	0,20	0,33	0,02
FP2	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	8,00	1,00	3,00	9,00	9,00	0,40	3,00	9,00	6,00	5,00	9,00	9,00	1,00	9,00	5,00	7,00	0,34
FP3	6,00	7,00	6,00	6,00	7,00	5,00	0,33	1,00	6,00	6,00	0,24	0,14	1,00	0,25	0,20	1,00	1,00	0,11	1,00	0,20	0,33	0,02
FP4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,11	0,17	1,00	1,00	0,04	0,33	5,00	2,00	1,00	5,00	5,00	0,20	5,00	1,00	3,00	0,11
FP5	0,20	5,00	0,20	1,00	1,00	0,50	0,11	0,17	1,00	1,00	0,05	0,20	3,00	1,00	0,33	3,00	3,00	0,14	3,00	0,33	1,00	0,06

Çizelge 4.16 : Alternatifler için karşılaştırma matrisleri (C9 ve C10 ölçütlerine bağlı).

	C9 ölçütüne bağlı											C10 ölçütüne bağlı										
	P1	P2	P3	P4	P5	FP1	FP2	FP3	FP4	FP5	Wi	P1	P2	P3	P4	P5	FP1	FP2	FP3	FP4	FP5	Wi
P1	1,00	0,50	1,00	0,25	1,00	0,50	0,11	0,14	0,13	1,00	0,03	1,00	1,00	1,00	0,25	1,00	0,50	0,11	0,17	0,20	0,33	0,03
P2	2,00	1,00	2,00	0,33	2,00	1,00	0,13	0,20	0,14	1,00	0,04	1,00	1,00	1,00	0,25	1,00	0,50	0,11	0,20	0,20	0,50	0,03
P3	1,00	0,50	1,00	0,25	1,00	0,50	0,11	0,17	0,13	1,00	0,03	1,00	1,00	1,00	0,25	1,00	0,50	0,11	0,17	0,20	0,33	0,03
P4	4,00	3,00	4,00	1,00	4,00	3,00	0,17	0,33	0,20	3,00	0,09	4,00	4,00	4,00	1,00	4,00	3,00	0,17	0,50	1,00	2,00	0,11
P5	1,00	0,50	1,00	0,25	1,00	0,50	0,11	0,14	0,11	0,50	0,02	1,00	1,00	1,00	0,25	1,00	1,00	0,11	0,20	0,25	0,50	0,03
FP1	2,00	1,00	2,00	0,33	2,00	1,00	0,13	0,20	0,14	1,00	0,04	2,00	2,00	2,00	0,33	1,00	1,00	0,13	0,25	0,25	1,00	0,05
FP2	9,00	8,00	9,00	6,00	9,00	8,00	1,00	3,00	1,00	9,00	0,30	9,00	9,00	9,00	6,00	9,00	8,00	1,00	4,00	5,00	8,00	0,39
FP3	7,00	5,00	6,00	3,00	7,00	5,00	0,33	1,00	0,50	6,00	0,17	6,00	5,00	6,00	2,00	5,00	4,00	0,25	1,00	1,00	4,00	0,16
FP4	8,00	7,00	8,00	5,00	9,00	7,00	1,00	2,00	1,00	8,00	0,26	5,00	5,00	5,00	1,00	4,00	4,00	0,20	1,00	1,00	3,00	0,13
FP5	1,00	1,00	1,00	0,33	2,00	1,00	0,11	0,17	0,13	1,00	0,03	3,00	2,00	3,00	0,50	2,00	1,00	0,13	0,25	0,33	1,00	0,06

Alternatifler için ikili karşılaştırma yaparak puan değerlerinin belirlenmesinin ardından alt ölçütler için de ikili karşılaştırmaların yapılması gerekmektedir. Bu karşılaştırmayı yapabilmek için çalışmada elde edilen deneysel veriler pozitif ve negatif yüklemeler için ayrı ayrı düzenlenmiştir (Çizelge 4.17). Bu işlemin ardından ortalama değerler yardımıyla puanlama yapılmıştır.

Çizelge 4.17 : Düzenlenmiş deneysel veriler.

Numune	Deney Kodu	Yükleme tipi	ÖN SEHİM		HAVA GEÇİRGENLİK							
				Maks. ön sehim değeri (mm)		Maks. hava geçirgenlik değeri (m³/m²h)		Sismik dayanım deneyi sonrası hava geçirgenlik farkı (m³/m²h)		Rüzgâr yüküne dayanım deneyi sonrası hava geçirgenlik farkı (m³/m²h)		Deney başlangıcı ve sonundaki hava geç. Değeri arasındaki fark değeri (m³/m²h)
P	P1/1P	Pozitif	C1 alt ölçütü değerleri	10,34	C3 alt ölçütü değerleri	0,68	C5 alt ölçütü değerleri	0,11	C7 alt ölçütü değerleri	0,06	C9 alt ölçütü değerleri	0,05
	P2/1P			10,97		0,88		0,13		0,02		0,15
	P3/1P			10,09		1,07		0,00		0,06		0,07
	P4/1P			7,86		0,99		0,24		0,06		0,30
	P5/1P			7,57		1,03		0,01		0,02		0,02
FP	FP1/1P		C2 alt ölçütü değerleri	10,84	C4 alt ölçütü değerleri	1,04	C6 alt ölçütü değerleri	0,04	C8 alt ölçütü değerleri	0,11	C10 alt ölçütü değerleri	0,15
	FP2/1P			12,06		1,59		0,08		0,59		0,67
	FP3/1P			13,47		2,79		0,07		0,41		0,48
	FP4/1P			8,13		3,06		0,55		0,07		0,61
	FP5/1P			8,02		2,67		0,06		0,04		0,10
P	P1/1N	Negatif	C2 alt ölçütü değerleri	11,27	C4 alt ölçütü değerleri	0,52	C6 alt ölçütü değerleri	0,11	C8 alt ölçütü değerleri	0,12	C10 alt ölçütü değerleri	0,01
	P2/1N			12,00		0,56		0,05		0,02		0,03
	P3/1N			16,60		0,80		0,06		0,07		0,01
	P4/1N			9,29		0,74		0,06		0,08		0,14
	P5/1N			9,77		0,80		0,02		0,01		0,04
FP	FP1/1N		C2 alt ölçütü değerleri	8,77	C4 alt ölçütü değerleri	1,27	C6 alt ölçütü değerleri	0,09	C8 alt ölçütü değerleri	0,02	C10 alt ölçütü değerleri	0,07
	FP2/1N			12,62		1,56		0,17		0,15		0,32
	FP3/1N			17,78		2,23		0,17		0,02		0,19
	FP4/1N			9,82		2,40		0,08		0,09		0,17
	FP5/1N			10,25		2,36		0,02		0,06		0,08

Ön sehim ana ölçütüne bağlı alt ölçütlerin (C1 ve C2) kendi aralarında, hava geçirgenlik ana ölçütüne bağlı alt ölçütlerin (C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9 ve C10) kendi aralarında değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu değerlendirmenin yapılabilmesi için Çizelge 4.17’de yer alan değerlerin ortalaması alınmıştır (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18 : Değer ortalamaları.

ÖN SEHİM		HAVA GEÇİRGENLİK							
C1 alt ölçütü için	Maks. ön sehim değeri ortalaması (mm)	C3 alt ölçütü için	Maks. hava geçirgenlik değeri ortalaması (m ³ /m ² h)	C5 alt ölçütü için	Sismik dayanım deneyi sonrası hava geçirgenlik farkı (m ³ /m ² h)	C7 alt ölçütü için	Rüzgâr yüküne dayanım deneyi sonrası hava geçirgenlik farkı (m ³ /m ² h)	C9 alt ölçütü için	Deney başlangıcı ve sonundaki hava geç. Değeri arasındaki fark değeri (m ³ /m ² h)
	9,93		1,58		0,13		0,14		0,26
C2 alt ölçütü için	11,82	C4 alt ölçütü için	1,32	C6 alt ölçütü için	0,08	C8 alt ölçütü için	0,06	C10 alt ölçütü için	0,10

C1 alt ölçütü için ortalama değer 9,93, C2 alt ölçütü için ortalama değer 11,82 olarak verildiği için Saaty önem ölçeğine göre C2 alt ölçütü değerinin C1'e göre az miktarda yüksek olması nedeniyle C2 ölçütü için puan değeri 3, C1 ölçütü için puan değeri 1/3 olarak alınmıştır (Çizelge 4.19).

Çizelge 4.19 : Ön sehim ana ölçütüne bağlı alt ölçütler için karşılaştırma matrisi.

Alt Ölçütler	C1	C2	W_i
C1	1	0,33	0,250
C2	3	1	0,750

Hava geçirgenlik ana ölçütüne bağı alt ölçütler için karşılaştırma yaparken Çizelge 4.18’de yer alan minimum ve maksimum ortalama değerler için Saaty ölçeğine göre 1 il 9 arasında değer aralıkları oluşturulmuştur (Çizelge 4.20).

Çizelge 4.20 : Hava geçirgenlik alt ölçütleri için puan aralıkları.

Değer aralığı	0,06	0,23	0,40	0,57	0,74	0,90	1,07	1,24	1,41	1,58
Puan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Değer aralıklarının oluşturulmasının ardından Çizelge 4.18’de yer alan ölçüt ortalama değerleri ve Çizelge 4.20’de yer alan puan aralıklarından yararlanarak hava geçirgenlik ana ölçütüne bağı alt ölçütler için Saaty ölçeğine göre puan değerleri elde edilmiştir (Çizelge 4.21). Puanlamanın ardından herbir alt ölçüt için özvektör değerleri (4.27) bağıntısı yardımıyla hesaplanmıştır (Çizelge 4.21).

Çizelge 4.21 : Hava geçirgenlik ana ölçütüne bağı alt ölçütler için karşılaştırma matrisi.

Alt Ölçütler	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	W _i
C3	1,00	2,00	9,00	9,00	9,00	9,00	8,00	9,00	0,412
C4	0,50	1,00	8,00	8,00	8,00	8,00	7,00	8,00	0,317
C5	0,11	0,13	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,040
C6	0,11	0,13	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,040
C7	0,11	0,13	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,040
C8	0,11	0,13	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,040
C9	0,13	0,14	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	2,00	0,071
C10	0,11	0,13	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,040

Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.21’den yararlanarak [A] karar matrisleri, ön sehim alt ölçütlerine bağı olarak,

$$[A]=\begin{bmatrix} 1,00 & 0,33 \\ 3,00 & 1,00 \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Hava geçirgenlik alt ölçütlerine bağı olarak,

$$[A]=\begin{bmatrix} 1,00 & 2,00 & 9,00 & 9,00 & 9,00 & 9,00 & 8,00 & 9,00 \\ 0,50 & 1,00 & 8,00 & 8,00 & 8,00 & 8,00 & 7,00 & 8,00 \\ 0,11 & 0,13 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 0,50 & 1,00 \\ 0,11 & 0,13 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 0,50 & 1,00 \\ 0,11 & 0,13 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 0,50 & 1,00 \\ 0,11 & 0,13 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 0,50 & 1,00 \\ 0,13 & 0,14 & 2,00 & 2,00 & 2,00 & 2,00 & 1,00 & 2,00 \\ 0,11 & 0,13 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 0,50 & 1,00 \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

olarak elde edilir. [W] üstünlük matrisi,

$$W=\begin{bmatrix} 0,250 \\ 0,750 \\ 0,412 \\ 0,317 \\ 0,040 \\ 0,040 \\ 0,040 \\ 0,040 \\ 0,071 \\ 0,040 \end{bmatrix} \text{ ya da normalleştirilerek } W=\begin{bmatrix} 0,125 \\ 0,375 \\ 0,206 \\ 0,159 \\ 0,020 \\ 0,020 \\ 0,020 \\ 0,020 \\ 0,035 \\ 0,020 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

olarak elde edilir. Bu durumda ölçüt ağırlıkları (üstünlük vektörleri) Çizelge 4.22'deki gibi elde edilir.

Çizelge 4.22 : Üstünlük matrisi (ağırlık değerleri) [W].

Alt Ölçüt	W _i	
Maksimum ön sehim (pozitif)	0,250	0,125
Maksimum ön sehim (negatif)	0,750	0,375
Maksimum hava geçirgenlik (pozitif)	0,412	0,206
Maksimum hava geçirgenlik (negatif)	0,317	0,159
Sismik yükleme sonrası hava geçirgenlik (pozitif)	0,040	0,020
Sismik yükleme sonrası hava geçirgenlik (negatif)	0,040	0,020
Rüzgâr yüküne dayanım deneyi sonrası hava geçirgenlik farkı (pozitif)	0,040	0,020
Rüzgâr yüküne dayanım deneyi sonrası hava geçirgenlik farkı (negatif)	0,040	0,020
Deney başlangıcı ve sonundaki hava geç. değeri arasındaki fark değeri (pozitif)	0,071	0,035
Deney başlangıcı ve sonundaki hava geç. değeri arasındaki fark değeri (negatif)	0,040	0,020
Toplam	2,000	1,000

5.Adım: Özvektörün Tutarlılığının (CR) Hesaplanması:

Bu adımda, her ikili karşılaştırma matrisi için tutarlılık oranı (CR) hesaplanır ve bu oran için üst limitin 0,10 olması istenir. Oranın 0.10'un üstünde olması karar vericinin yargılarında tutarsızlık olduğunu ifade etmektedir. Bu durumda yargıların iyileştirilmesi gerekmektedir. CR değerine ulaşmak için öncelikle A matrisinin en büyük özvektörünü ($\lambda_{\max}$) hesaplamak gerekmektedir (4.8).

$i=1,2,3,\dots,n$ ve $j=1,2,3,\dots,n$ olmak üzere,

$$D=[a_{ij}]_{n \times n} \times [W_i]_{n \times 1}=[d_i]_{n \times 1} \quad (4.9)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{W_i}}{n} \quad (4.10)$$

yazılabilir. Tutarlılık oranının hesaplanmasında gereksinim duyulan bir başka değer ise rassallık indeksi (RI)'dir. Sabit sayılardan meydana gelen ve n değerine göre belirlenen RI değerlerinin yer aldığı veriler Çizelge 4.23'de verilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda CR değerinin hesaplanması (4.9) numaralı eşitlikte verilmiştir.

$$CR = \frac{\lambda - n}{(n-1) RI} \quad (4.11)$$

Çizelge 4.23 : Rassallık indeksi verileri.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Çalışma kapsamında AHP yönteminin 3. adımında elde edilen ikili karşılaştırmaları kullanılarak CR değerlerinin hesabı yapılmıştır. Bu değerlerin hesabı her bir matrisi için ayrı ayrı yapılmıştır. CR değerlerine ulaşmak için öncelikle [D] matrisi, E_i değerleri ve en büyük özvektör değeri ($\lambda_{\max}$) hesaplanmıştır. Bu hesaplamaların ardından (CR) değerini elde edebilmek için (CI) değerinin hesaplanması yapılmıştır. AHP yöntemine göre Çizelge 4.23'te verilen rassallık indeksi değerleri (RI) yardımıyla da (CR) değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.24, 4.25, 4.26, 4.27, 4.28, 4.29 ve 4.30).

Ön sehim alt ölçütleri için n: ölçüt sayısı =2 olduğu için (RI) değeri 0, hava geçirgenlik alt ölçütleri için n: ölçüt sayısı =8 olduğu için (RI) değeri 1,41 olarak alınmıştır.

Çizelge 4.24 : Özvektör tutarlılığı (CR) değerleri (ön sehim alt ölçütü için).

D	E_i	$\lambda_{\max}$	CI	CR
0,500	2,000	2,000	0,000	0,000
1,500	2,000			

Çizelge 4.25 : Özvektör tutarlılığı (CR) değerleri (hava geçirgenlik alt ölçütü için).

D	E_i	$\lambda_{\max}$	CI	CR
3,410	8,275	8,082	0,012	0,003
2,616	8,241			
0,321	8,026			
0,321	8,026			
0,321	8,026			
0,321	8,026			
0,567	8,014			
0,321	8,026			

Çizelge 4.26 : CR değerleri (maksimum ön sehim alt ölçütüne bağlı alternatifler için).

Pozitif yükleme					Negatif yükleme				
D	E_i	$\lambda_{\max}$	CI	CR	D	E_i	$\lambda_{\max}$	CI	CR
0,929	10,220	10,238	0,026	0,019	0,721	10,717	10,364	0,040	0,029
1,149	10,233				0,815	10,235			
0,758	10,154				2,767	10,691			
0,246	10,103				0,315	10,215			
0,238	10,056				0,326	10,277			
1,125	10,250				0,260	10,152			
1,892	10,492				0,864	10,140			
3,546	10,607				3,710	10,697			
0,257	10,159				0,357	10,148			
0,246	10,103				0,404	10,366			

Çizelge 4.27 : CR değerleri (maksimum hava geçirgenlik alt ölçütüne bağlı alternatifler için).

Pozitif yükleme					Negatif yükleme				
D	E _i	$\lambda_{\max}$	CI	CR	D	E _i	$\lambda_{\max}$	CI	CR
0,226	10,107	10,219	0,024	0,017	0,199	10,132	10,318	0,035	0,025
0,303	10,174				0,213	10,120			
0,345	10,157				0,309	10,029			
0,333	10,049				0,284	10,120			
0,333	10,049				0,309	10,029			
0,333	10,049				0,670	10,208			
0,757	10,152				0,951	10,460			
2,313	10,483				2,427	10,620			
3,162	10,479				2,645	10,777			
2,283	10,492				2,554	10,685			

Çizelge 4.28 : CR değerleri (sismik dayanım deneyi sonrası hava geçirgenlik farkı alt ölçütüne bağlı alternatifler için).

Pozitif yükleme					Negatif yükleme				
D	E _i	$\lambda_{\max}$	CI	CR	D	E _i	$\lambda_{\max}$	CI	CR
0,621	10,188	10,242	0,027	0,019	2,189	12,344	11,005	0,112	0,079
0,812	10,155				0,439	10,647			
0,353	10,137				0,406	10,341			
1,512	10,299				0,406	10,341			
0,353	10,137				0,199	10,840			
0,421	10,217				0,878	10,596			
0,580	10,242				3,436	11,489			
0,534	10,135				2,464	11,531			
4,778	10,665				0,731	10,642			
0,452	10,246				0,228	11,284			

Çizelge 4.29 : CR değerleri (rüzgâr yüküne dayanım deneyi sonrası hava geçirgenlik farkı alt ölçütüne bağlı alternatifler için).

Pozitif yükleme					Negatif yükleme				
D	E _i	$\lambda_{\max}$	CI	CR	D	E _i	$\lambda_{\max}$	CI	CR
0,632	11,611	10,946	0,105	0,075	2,267	10,931	10,378	0,042	0,030
0,380	10,564				0,246	10,172			
0,632	11,611				0,737	10,060			
0,449	10,804				1,161	10,497			
0,417	10,808				0,242	10,151			
0,583	10,898				0,246	10,172			
4,346	10,937				3,785	11,007			
2,585	10,908				0,246	10,172			
0,449	10,804				1,161	10,497			
0,480	10,515				0,585	10,119			

Çizelge 4.30 : CR değerleri (deney başlangıcı ve sonundaki hava geçirgenlik değeri arasındaki fark değeri alt ölçütüne bağlı alternatifler için).

Pozitif yükleme					Negatif yükleme				
D	E _i	$\lambda_{\max}$	CI	CR	D	E _i	$\lambda_{\max}$	CI	CR
0,259	10,108	10,260	0,029	0,020	0,280	10,103	10,277	0,031	0,022
0,399	10,046				0,294	10,181			
0,263	10,135				0,280	10,103			
0,880	10,250				1,095	10,315			
0,239	10,113				0,324	10,250			
0,399	10,046				0,458	10,136			
3,181	10,680				4,174	10,813			
1,748	10,482				1,642	10,434			
2,765	10,545				1,373	10,367			
0,333	10,194				0,574	10,066			

Çizelge 4.24 incelendiğinde, ön sehim alt ölçütleri için $n=2$ olduğu için (RI) değerinin 0 alınması ve hesaplama işleminde (CI) değerinin de 0 çıkması nedeniyle, bağıntıda (CR) değeri (0/0), diğer bir deyişle matematiksel olarak tanımsız olmaktadır. AHP yönteminde (CI) ve (RI) değerinin 0 olması durumu “tamamen tutarlı durum” olarak kabul edilmektedir. (Zhanga ve diğ, 2013), (Xie ve Huang, 2012).

Çizelge 4.25, 4.26, 4.27, 4.28, 4.29 ve 4.30 incelendiğinde, tüm CR değerlerinin 0,1 sınır değerinden küçük olması durumu önceki adımda tanımlanan puanların tutarlı olduğunu göstermektedir.

6.Adım: Hiyerarşik Yapının Genel Sonucunun (R) Elde Edilmesi:

Bu aşamada hiyerarşik yapıdaki n tane ölçütün her birinin meydana getirdiği $m \times 1$ boyutundaki üstünlük sütun vektörleri bir araya getirilerek $m \times n$ boyutundaki DW karar matrisi oluşturulur (4.10). Elde edilen matrisin ölçütler arası W üstünlük vektörü ile çarpımı sonucunda R sonuç vektörüne ulaşılır (4.11), (Supçiller ve Çapraz, 2011).

$i=1,2,3,\dots,m$ ve $j=1,2,3,\dots,n$ olmak üzere;

$$DW=[W_{ij}]_{m \times n} \quad (4.12)$$

$$R=DW \times W \quad (4.13)$$

Çalışma kapsamında AHP yönteminin 2. adımında tanımlanan hiyerarşik yapıda yer alan 10 tane ölçütün her birinin meydana getirdiği ($m \times 1$) boyutundaki üstünlük sütun vektörleri (Çizelge 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 ve 4.16) bir araya getirilerek ($m \times n$) boyutundaki [DW] karar matrisi oluşturulmuştur (Çizelge 4.31).

Çizelge 4.31 : [DW] karar matrisi.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	(R)
P1	0,09	0,07	0,02	0,02	0,06	0,18	0,05	0,21	0,03	0,03	0,06
P2	0,11	0,08	0,03	0,02	0,08	0,04	0,04	0,02	0,04	0,03	0,06
P3	0,07	0,26	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07	0,03	0,03	0,12
P4	0,02	0,03	0,03	0,03	0,15	0,04	0,04	0,11	0,09	0,11	0,04
P5	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,04	0,02	0,02	0,03	0,03
FP1	0,11	0,03	0,03	0,07	0,04	0,08	0,05	0,02	0,04	0,05	0,05
FP2	0,18	0,09	0,07	0,09	0,06	0,30	0,40	0,34	0,30	0,39	0,12
FP3	0,33	0,35	0,22	0,23	0,05	0,21	0,24	0,02	0,17	0,16	0,27
FP4	0,03	0,04	0,30	0,25	0,45	0,07	0,04	0,11	0,26	0,13	0,14
FP5	0,02	0,04	0,22	0,24	0,04	0,02	0,05	0,06	0,03	0,06	0,11

Elde edilen karar matrisinin ([DW]) ölçütler arası üstünlük vektörü ([W]) ile çarpımı sonucunda R sonuç vektörüne ulaşılmıştır (Çizelge 4.31). AHP yöntemine göre elde edilen R sonuç vektöründe yer alan değerler alternatiflerin önem seviyesini göstermektedir. AHP yöntemi ile yapılan değerlendirmeye göre elde edilen bu sonuç değerler Bölüm 5’de detaylı olarak irdelenecektir.

4.4 Deneyisel Sonuçların COPRAS Yöntemine Göre Değerlendirilmesi

COPRAS (Complex Ppoportional Assesment) yöntemi önem ve fayda dereceleri açısından alternatifleri sıralama ve değerlendirme sürecini kapsamaktadır. Yöntem basit olması nedeniyle yapı faaliyetleri (Kaklauskas ve diğ, 2010; Kaklauskas ve diğ, 2007), malzeme seçimi (Chatterjee ve diğ, 2011; Chatterjee ve Chakraborty, 2012; Maity ve diğ, 2012) ve müteahhit seçimi (Kaklauskas, 2007) gibi pek çok alanda başarı ile uygulanmıştır. Yöntemin işleyişi aşağıda adım adım açıklanmaktadır. (Özdağoglu, 2013), (Chatterjee ve diğ, 2011: pp.852-853), (Kaklauskas ve diğ, 2007: pp.168-169).

1. Adım: Karar matrisinin oluşturulması:

COPRAS yönteminin ilk adımında yöntem adımlarında kullanılacak sembol bilgileri için Çizelge 4.32 oluşturulmuştur.

Çizelge 4.32 : COPRAS yöntemi sembol bilgileri.

Sembol	Açıklama
D	Karar matrisi
D'	Ağırlıklı normalize karar matrisi.
A _i	i. alternatif = 1,2,...m
C _j	j. değerlendirme ölçütü = 1,2,...n
W _j	j. değerlendirme ölçütünün önem düzeyi = 1,2,...n
X _{ij}	Normalize karar matrisi.

Bu adım x_{ij} değerleri ile oluşturulan [D] karar matrisinin oluşturulduğu adımdır (4.28). COPRAS yöntemi ile çalışma kapsamında performans değerlendirmesi yapabilmek için öncelikle değerlendirme ölçütlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

$$D = \begin{bmatrix} 1 & a_{21} & a_{31} & \dots & a_{n1} \\ 1/a_{21} & 1 & a_{32} & \dots & a_{n2} \\ 1/a_{31} & 1/a_{32} & 1 & \dots & a_{n3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & 1/a_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix}_{n \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2n} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & \dots & x_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

Değerlendirme ölçütleri için, AHP yönteminde belirlenen alt ölçüt ve alternatif adları kullanılmıştır. COPRAS yöntemi ile değerlendirme yapabilmek için her bir ölçüt ve alternatif için ayrı kodlama yapılmıştır (Çizelge 4.33).

Çizelge 4.33 : COPRAS yöntemi ölçüt ve alternatif kodları.

Ölçüt adı	Kod	Açıklama	Kod
Maksimum ön sehim (pozitif)	C1	1. deneysel uygulama (Numune P)	P1
Maksimum ön sehim (negatif)	C2	2. deneysel uygulama (Numune P)	P2
Maksimum hava geçirgenlik (pozitif)	C3	3. deneysel uygulama (Numune P)	P3
Maksimum hava geçirgenlik (negatif)	C4	4. deneysel uygulama (Numune P)	P4
Sismik dayanım deneyi sonrası hava geçirgenlik (pozitif)	C5	5. deneysel uygulama (Numune P)	P5
Sismik dayanım deneyi sonrası hava geçirgenlik (negatif)	C6	1. deneysel uygulama (Numune FP)	FP1
Rüzgâr yüküne dayanım deneyi sonrası hava geçirgenlik (pozitif)	C7	2. deneysel uygulama (Numune FP)	FP2
Rüzgâr yüküne dayanım deneyi sonrası hava geçirgenlik (negatif)	C8	3. deneysel uygulama (Numune FP)	FP3
Deney başlangıcı ve sonundaki hava geç. değeri arasındaki fark değeri (pozitif)	C9	4. deneysel uygulama (Numune FP)	FP4
Deney başlangıcı ve sonundaki hava geç. değeri arasındaki fark değeri (negatif)	C10	5. deneysel uygulama (Numune FP)	FP5

Ölçüt ve alternatif kodlarının belirlenmesinin ardından karar matrisinin oluşturulabilmesi için deneysel çalışmalar kapsamında 0., 90., 270., 390. ve 450. günlerde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen sayısal veriler kullanılmıştır (Çizelge 4.34).

Çizelge 4.34 : [D] karar matrisi.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
P1	10,34	11,27	0,68	0,52	0,11	0,11	0,06	0,12	0,05	0,01
P2	10,97	12,00	0,88	0,56	0,13	0,05	0,02	0,02	0,15	0,03
P3	10,09	16,60	1,07	0,80	0,00	0,06	0,06	0,07	0,07	0,01
P4	7,86	9,29	0,99	0,74	0,24	0,06	0,06	0,08	0,30	0,14
P5	7,57	9,77	1,03	0,80	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,04
FP1	10,84	8,77	1,04	1,27	0,04	0,09	0,11	0,02	0,15	0,07
FP2	12,06	12,62	1,59	1,56	0,08	0,17	0,59	0,15	0,67	0,32
FP3	13,47	17,78	2,79	2,23	0,07	0,17	0,41	0,02	0,48	0,19
FP4	8,13	9,82	3,06	2,40	0,55	0,08	0,07	0,09	0,61	0,17
FP5	8,02	10,25	2,67	2,36	0,06	0,02	0,04	0,06	0,10	0,08

2. Adım: Normalize karar matrisinin oluşturulması:

Bu adımda Çizelge 4.34 ile oluşturulan [D] karar matrisi, (4.30) bağıntısı yardımıyla normalize edilmiş karar matrisine ($[X_{ij}]$) dönüştürülmektedir. Çalışmada Çizelge 4.38’de verilen karar matrisi kullanılarak normalize karar matrisi (4.30) bağıntısı ile hesaplanmıştır (Çizelge 4.35).

$$X_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (4.15)$$

Çizelge 4.35 : $[X_{ij}]$ normalize karar matrisi.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
P1	0,10	0,10	0,04	0,04	0,09	0,13	0,04	0,19	0,02	0,01
P2	0,11	0,10	0,06	0,04	0,10	0,06	0,01	0,03	0,06	0,03
P3	0,10	0,14	0,07	0,06	0,00	0,07	0,04	0,11	0,03	0,01
P4	0,08	0,08	0,06	0,06	0,19	0,07	0,04	0,13	0,12	0,13
P5	0,08	0,08	0,07	0,06	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,04
FP1	0,11	0,07	0,07	0,10	0,03	0,11	0,08	0,03	0,06	0,07
FP2	0,12	0,11	0,10	0,12	0,06	0,21	0,41	0,23	0,26	0,30
FP3	0,14	0,15	0,18	0,17	0,05	0,21	0,28	0,03	0,18	0,18
FP4	0,08	0,08	0,19	0,18	0,43	0,10	0,05	0,14	0,23	0,16
FP5	0,08	0,09	0,17	0,18	0,05	0,02	0,03	0,09	0,04	0,08

3. Adım: Ağırlıklı normalize karar matrisinin oluşturulması:

COPRAS yöntemine göre bu adımda ölçüt ağırlıkları (W_j) ile normalize karar matrisi (X_{ij}), (4.31) bağıntısı yardımıyla çarpılarak ağırlıklı normalize karar matrisi (D') oluşturulur. (Çizelge 4.36). Ölçüt ağırlıkları olarak AHP yönteminin 4. adımında elde edilen ağırlık değerleri kullanılmıştır.

$$[D'] = d_{ij} = x_{ij} * w_j \quad (4.16)$$

Çizelge 4.36 : $[D']$ ağırlıklı normalize karar matrisi.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
P1	0,013	0,036	0,009	0,006	0,002	0,003	0,001	0,004	0,001	0,000
P2	0,014	0,038	0,011	0,007	0,002	0,001	0,000	0,001	0,002	0,001
P3	0,013	0,053	0,014	0,010	0,000	0,001	0,001	0,002	0,001	0,000
P4	0,010	0,029	0,013	0,009	0,004	0,001	0,001	0,002	0,004	0,003
P5	0,010	0,031	0,013	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
FP1	0,014	0,028	0,014	0,015	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001
FP2	0,015	0,040	0,021	0,019	0,001	0,004	0,008	0,005	0,009	0,006
FP3	0,017	0,056	0,036	0,027	0,001	0,004	0,006	0,001	0,007	0,004
FP4	0,010	0,031	0,040	0,029	0,009	0,002	0,001	0,003	0,008	0,003
FP5	0,010	0,033	0,035	0,028	0,001	0,000	0,001	0,002	0,001	0,002

4. Adım: *Faydalı ve faydasız ölçütlerin belirlenmesi*: Faydalı ölçütler, amaca ulaşmada daha yüksek değerlerin daha iyi durumu gösterdiği ölçütleri ifade etmekte iken, faydasız ölçütler amaca ulaşmada daha düşük değerlerin daha iyi durumu gösterdiği ölçütleri ifade etmektedir. Faydalı ölçütler değerlerin mümkün olduğunca yüksek olmasının tercih edildiği ölçütler, faydasız ölçütler ise değerlerin mümkün olduğunca küçük olmasının tercih edildiği ölçütler şeklinde ifade edilmektedir. Faydalı ölçütler ve faydasız ölçütler için ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisindeki değerlerin toplamı hesaplanır.

Faydalı ölçütler için Ağ. norm. edilmiş karar matrisindeki değerlerin toplamı : S_{i+}

Faydasız ölçütler için Ağ. norm. edilmiş karar matrisindeki değerlerin toplamı : S_{i-} olarak ifade edilmektedir.

COPRAS yöntemine göre bu değerler,

$$S_{i+} = \sum_{j=1}^k d_{ij} \quad , \quad j=1, 2, \dots, k \quad (4.17)$$

$$S_{i-} = \sum_{j=k+1}^n d_{ij} \quad , \quad j=k+1, k+2, \dots, n \quad (4.18)$$

yardımıyla hesaplanmaktadır.

Bu deneysel çalışma kapsamında faydalı ve faydasız ölçütler Çizelge 4.37'deki gibi belirlenmiştir.

Çizelge 4.37 : Faydalı ve faydasız ölçütler.

Faydalı ölçütler (sonuca katkısı daha fazla olan ölçütler)	C1, C2, C3, C4
Faydasız ölçütler (sonuca katkısı daha az olan ölçütler)	C5, C6, C7, C8, C9, C10

Çalışmada, faydalı ölçütler için her bir alternatif için ayrı ayrı olmak üzere Çizelge 4.36'da C1, C2, C3 ve C4 sütunlarında yer alan değerlerin toplamı alınarak S_{i+} değerlerine ulaşılmıştır. Benzer şekilde, faydasız ölçütler için C5, C6, C7, C8, C9 ve C10 sütunlarında yer alan değerlerin toplamı alınarak S_{i-} değerlerine ulaşılmıştır (Çizelge 4.38).

Çizelge 4.38 : Faydalı ve faydasız ölçüt değerleri.

S_{P1+}	S_{P2+}	S_{P3+}	S_{P4+}	S_{P5+}	S_{FP1+}	S_{FP2+}	S_{FP3+}	S_{FP4+}	S_{FP5+}
0,064	0,074	0,089	0,061	0,064	0,070	0,095	0,136	0,110	0,106

5. Adım: Göreceli önem değerinin belirlenmesi:

Yöntemin bu adımında her alternatif için Q_i olarak simgelenen göreceli önem değeri (4.34) bağıntısı kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$Q_i = S_{i+} + \frac{\sum_{i=1}^m S_{i-}}{S_{i-} * \sum_{i=1}^m \frac{1}{S_{i-}}} \quad (4.19)$$

(4.34) numaralı bağıntıda alternatifler için,

Q_{P1} : P1 numunesinin göreceli önem değerini göstermektedir.

Buradan hareketle çalışma kapsamında gerekli hesaplamalar yapılarak tüm alternatifler için göreceli önem değerleri hesaplanmış ve Çizelge 4.39'da verilmiştir.

Çizelge 4.39 : Göreceli önem değerleri.

Q_{P1}	Q_{P2}	Q_{P3}	Q_{P4}	Q_{P5}	Q_{FP1}	Q_{FP2}	Q_{FP3}	Q_{FP4}	Q_{FP5}
0,074	0,085	0,107	0,068	0,109	0,083	0,098	0,141	0,114	0,121

6. Adım: En yüksek göreceli önem değerinin belirlenmesi:

Yöntemin bu adımında en yüksek göreceli önem değeri ($Q_{\max}$) Çizelge 4.39'da yer alan değerler yardımıyla bulunmaktadır.

$$Q_{\max} = \max\{Q_i\} \quad \forall i = 1, 2, \dots, m \quad (4.20)$$

(4.35) bağıntısına göre Çizelge 4.39'daki değerler içerisinde $Q_{\max}=0,141$ olduğu görülmektedir.

7. Adım: Performans indeksinin belirlenmesi:

Bu adımda her bir alternatif için (P_i) olarak simgelenen performans indeksi (4.21) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$P_i = \frac{Q_i}{Q_{\max}} * 100\% \quad (4.21)$$

Bu çalışmada, (4.36) bağıntısı yardımıyla yapılan hesaplamalar sonucunda tüm alternatifler için performans indeksi değerleri hesaplanmış ve Çizelge 4.40'da verilmiştir.

Çizelge 4.40 : Performans indeksi değerleri (%).

P_{P1}	P_{P2}	P_{P3}	P_{P4}	P_{P5}	P_{FP1}	P_{FP2}	P_{FP3}	P_{FP4}	P_{FP5}
52,61	60,38	75,94	48,11	77,11	58,47	69,19	100,00	80,76	85,66

Çalışma kapsamında COPRAS yöntemine göre hesaplanan performans indeksi değerleri Bölüm 5'de detaylı olarak irdelenecektir.

4.5 Deneysel Sonuçların TOPSIS Yöntemine Göre Değerlendirilmesi

1. Adım: Karar matrisinin [A] oluşturulması:

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden biridir. Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen bu teknik 1992 yılında Chen ve Hwang tarafından yeniden revize edilmiştir (Chen ve Hwang, 1992). Yöntem pozitif ideal çözüme en kısa mesafe ve negatif ideal çözüme en uzak mesafedeki alternatifin seçilmesi prensibine dayanmaktadır (Hwang ve Yoon, 1981). Yöntemin işleyişi aşağıda adım adım açıklanmaktadır (Supçiller ve Çapraz, 2011).

TOPSIS yönteminin ilk adımı başlangıç matrisi olan karar matrisinin oluşturulduğu adımdır. Oluşturulan matrisin satırlarında üstünlükleri sıralanmak istenen alternatifler, sütunlarında ise karar vermede kullanılacak değerlendirme ölçütleri yer almaktadır (Çizelge 4.41).

Çizelge 4.41 : Karar matrisi örneği [A].

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

Burada, A_{ij} matrisinin satırlarında yer alan (m) değeri alternatif sayısını, sütunlarında yer alan (n) değeri ise ölçüt sayısını ifade etmektedir.

Çalışmada, A_{ij} matrisi için, AHP ve COPRAS yöntemlerinde belirlenen ölçüt ve alternatif kodları kullanılmıştır (Çizelge 4.33). Karar matrisini oluşturan elemanlar için de COPRAS yöntemine benzer olarak deneysel çalışmalar kapsamında 0., 90., 270., 390. ve 450. günlerde gerçekleştirilen deneysel veriler kullanılmıştır (Çizelge 4.34). Bu durumda karar matrisi Çizelge 4.42'deki gibi oluşturulmuştur.

Çizelge 4.42 : [D] karar matrisi.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
P1	10,34	11,27	0,68	0,52	0,11	0,11	0,06	0,12	0,05	0,01
P2	10,97	12,00	0,88	0,56	0,13	0,05	0,02	0,02	0,15	0,03
P3	10,09	16,60	1,07	0,80	0,00	0,06	0,06	0,07	0,07	0,01
P4	7,86	9,29	0,99	0,74	0,24	0,06	0,06	0,08	0,30	0,14
P5	7,57	9,77	1,03	0,80	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,04
FP1	10,84	8,77	1,04	1,27	0,04	0,09	0,11	0,02	0,15	0,07
FP2	12,06	12,62	1,59	1,56	0,08	0,17	0,59	0,15	0,67	0,32
FP3	13,47	17,78	2,79	2,23	0,07	0,17	0,41	0,02	0,48	0,19
FP4	8,13	9,82	3,06	2,40	0,55	0,08	0,07	0,09	0,61	0,17
FP5	8,02	10,25	2,67	2,36	0,06	0,02	0,04	0,06	0,10	0,08

2. Adım: Standart karar matrisinin [R] oluşturulması:

Standart karar matrisi, yöntemin 1. adımında belirlenen [A] karar matrisinin elemanlarından yararlanarak (4.22) bağıntısı yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n a_{kj}^2}}, \quad i=1, 2, \dots, m, \quad j=1, 2, \dots, n \quad (4.22)$$

Bu çalışmada gerekli hesaplamalar yapılarak, [R] standart karar matrisi elde edilmiştir (Çizelge 4.43).

Çizelge 4.43 : Standart karar matrisi [R].

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
P1	0,32	0,29	0,12	0,11	0,17	0,36	0,08	0,49	0,05	0,02
P2	0,34	0,31	0,15	0,12	0,20	0,16	0,03	0,08	0,14	0,07
P3	0,32	0,43	0,19	0,17	0,00	0,20	0,08	0,28	0,06	0,02
P4	0,25	0,24	0,17	0,16	0,38	0,18	0,08	0,32	0,27	0,31
P5	0,24	0,25	0,18	0,17	0,02	0,07	0,03	0,04	0,02	0,09
FP1	0,34	0,23	0,18	0,27	0,06	0,29	0,15	0,08	0,14	0,16
FP2	0,38	0,33	0,28	0,33	0,13	0,55	0,80	0,61	0,61	0,71
FP3	0,42	0,46	0,49	0,47	0,11	0,55	0,55	0,08	0,44	0,42
FP4	0,25	0,26	0,54	0,50	0,86	0,26	0,09	0,36	0,56	0,38
FP5	0,25	0,27	0,47	0,49	0,09	0,07	0,05	0,24	0,09	0,18

3. Adım: Ağırlıklı standart karar matrisinin [V] oluşturulması:

TOPSIS yöntemine göre bu adımda ölçüt ağırlıkları [W_i] matrisi ile standart karar matrisi [R]'nin her bir sütunundaki elemanlar ile çarpılarak ağırlıklı normalize karar matrisi [V] oluşturulmaktadır (Çizelge 4.44). Çalışmada ölçüt ağırlıkları olarak AHP yönteminin 4. adımında elde edilen ağırlık değerleri kullanılmıştır (Çizelge 4.22).

$$V = [R_{ij}] * [W_i] \quad (4.23)$$

Bu durumda, [V] matrisi Çizelge 4.44'deki gibi belirlenmiştir.

Çizelge 4.44 : Ağırlıklı standart karar matrisi [V].

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
P1	0,0404	0,1098	0,0246	0,0173	0,0035	0,0072	0,0016	0,0097	0,0016	0,0004
P2	0,0429	0,1169	0,0319	0,0186	0,0041	0,0033	0,0005	0,0016	0,0048	0,0013
P3	0,0394	0,1617	0,0390	0,0267	0,0000	0,0039	0,0016	0,0057	0,0023	0,0004
P4	0,0307	0,0905	0,0359	0,0246	0,0075	0,0036	0,0016	0,0065	0,0097	0,0062
P5	0,0296	0,0952	0,0373	0,0266	0,0003	0,0013	0,0005	0,0008	0,0006	0,0018
FP1	0,0424	0,0854	0,0377	0,0423	0,0013	0,0059	0,0030	0,0016	0,0048	0,0031
FP2	0,0471	0,1229	0,0576	0,0519	0,0025	0,0111	0,0159	0,0121	0,0216	0,0143
FP3	0,0526	0,1732	0,1011	0,0742	0,0022	0,0111	0,0111	0,0016	0,0155	0,0085
FP4	0,0318	0,0957	0,1109	0,0798	0,0173	0,0052	0,0019	0,0073	0,0197	0,0076
FP5	0,0313	0,0998	0,0968	0,0785	0,0019	0,0013	0,0011	0,0048	0,0032	0,0036

Not: Koyu renkle işaretlenmiş olan değerler ilgili ölçüte bağlı en yüksek ve en düşük sayısal değerlerdir.

4. Adım: *İdeal ve negatif ideal çözümlerin oluşturulması*: TOPSIS yöntemi, her bir değerlendirme faktörünün monoton artan ya da azalan bir eğilime sahip olduğunu varsayan bir yöntemdir. Yöntemde, “ideal çözüm setinin oluşturulabilmesi için [V] matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme ölçütlerinin (sütun değerlerinin) en büyüğü (ilgili değerlendirme ölçütü minimizasyon yönlü ise en küçüğü)” seçilir denilmektedir.

Yapılan çalışmada “İdeal çözüm seti” olarak deneysel uygulamalar sonucunda elde edilen sayısal değerlerin “en küçük” olduğu (Sınır değerlere daha uzak olan) değer seçilmesi uygun görülmüştür. Diğer bir deyişle çalışmadaki değerlendirme ölçütü minimizasyon yönlüdür. İdeal çözüm setinin bulunması (4.39) bağıntısı ile hesaplanmıştır.

$$A^* = \{(\max V_{ij} | j \in J), (\min V_{ij} | j \in J')\} \quad (4.24)$$

(4.39) bağıntısı ile hesaplanan “İdeal çözüm seti” $A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$ ile gösterilmektedir.

Negatif ideal çözüm seti ise [V] matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme ölçütlerinin (sütun değerlerinin) en büyükleri seçilerek oluşturulmuştur. Negatif ideal çözüm setinin bulunması (4.40) bağıntısı ile hesaplanmıştır.

$$A^- = \{(\min V_{ij} | j \in J), (\max V_{ij} | j \in J')\} \quad (4.25)$$

(4.25) bağıntısı ile hesaplanan “Negatif ideal çözüm seti” $A^- = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_n^-\}$ ile gösterilecektir.

Her iki bağıntıda da J : fayda (maksimizasyon), J' ise kayıp (minimizasyon) değerini göstermektedir. Gerek ideal gerekse negatif ideal çözüm seti, değerlendirme ölçütü sayısı kadar elemandan (6) oluşmaktadır.

Bu çalışma kapsamında TOPSIS yöntemiyle değerlendirme yapabilmek için çözüm setleri belirlenmiştir. Yöntemin 1. adımında oluşturulan karar matrisinin [A] elemanları belirlenirken deneysel çalışmalarda elde edilen sayısal değerler göz önüne alınarak ölçütler belirlenmiştir.

Normal koşullarda ve gerçekleştirilen deneysel çalışmada sınır değerlerin aşılmaması için belirlenen ölçütlerin sayısal olarak düşük değerde olması istenir. Diğer bir

deyişle diğerine göre daha yüksek sonuçlar veren değerler daha az tercih edilmelidir. Bu durumda çözüm setlerini oluştururken bu koşulun dikkate alınması gerekmektedir. Bu açıklamalar doğrultusunda Çizelge 4.44'deki veriler incelendiğinde alternatifler için diğerine göre daha düşük değerler veren ölçütler ile oluşturulacak set grubu "İdeal çözüm seti grubu" (A^*); yüksek değerler veren ölçütler ile oluşturulacak set grubu ise "Negatif ideal seti grubu" (A^-) olarak elde edilmiş olur (Çizelge 4.45).

Çizelge 4.45 : Çözüm setleri (A^* ve A^-).

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
A^*	0,0526	0,1732	0,1109	0,0798	0,0173	0,0111	0,0159	0,0121	0,0216	0,0143
A^-	0,0296	0,0854	0,0246	0,0173	0,0000	0,0013	0,0005	0,0008	0,0006	0,0004

5. Adım: Ayırım ölçülerinin hesaplanması:

TOPSIS yönteminde her bir alternatife ilişkin değerlendirme ölçütü değerinin ideal ve negatif ideal çözüm setinden sapmalarının bulunabilmesi için "*Euclidian Uzaklık Yaklaşımı*"ndan yararlanılmaktadır. Burada elde edilen alternatiflere ilişkin sapma değerleri ideal ayırım (S_i^*) ve negatif ideal ayırım (S_i^-) ölçüsü olarak adlandırılmaktadır. Bu ölçülerin hesaplanması (4.41) ve (4.42) bağıntıları ile yapılmaktadır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^*)^2} \quad (4.26)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (4.27)$$

Yapılan çalışmada alternatif sayısı 10 olduğu için S_i^* ve S_i^- değerlerinin her biri alternatif sayısı kadar olacaktır.

Bu hesaplamaların ardından ölçü değerleri elde edilmiş olur (Çizelge 4.46).

Çizelge 4.46 : Ayırım ölçü değerleri.

S_{P1}^*	S_{P2}^*	S_{P3}^*	S_{P4}^*	S_{P5}^*	S_{FP1}^*	S_{FP2}^*	S_{FP3}^*	S_{FP4}^*	S_{FP5}^*
0,1286	0,1195	0,0973	0,1288	0,1273	0,1247	0,0800	0,0236	0,0822	0,0842

$\bar{S}_{P1}$	$\bar{S}_{P2}$	$\bar{S}_{P3}$	$\bar{S}_{P4}$	$\bar{S}_{P5}$	$\bar{S}_{FP1}$	$\bar{S}_{FP2}$	$\bar{S}_{FP3}$	$\bar{S}_{FP4}$	$\bar{S}_{FP5}$
0,0289	0,0383	0,0790	0,0204	0,0186	0,0318	0,0714	0,1335	0,1106	0,0959

6. Adım: İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması:

Bu adımda her bir karar noktasının ideal çözüme göreli yakınlığının (C_i) hesaplanmasında ideal ve negatif ideal ayırım ölçülerinden yararlanılmıştır. Burada kullanılan ölçüt negatif ideal ayırım ölçüsünün toplam ayırım ölçüsü içindeki payıdır. İdeal çözüme göreli yakınlık değeri (4.43) bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$$C_i = \frac{\bar{S}_i}{\bar{S}_i + \bar{S}_i^*} \quad (4.28)$$

TOPSIS yöntemine göre (C_i) değeri ($0 \leq C_i \leq 1$) aralığında değer alır ve ($C_i=1$) ilgili karar noktasının ideal çözüme, ($C_i=0$) ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterir. Bu duruma göre, deneysel çalışma kapsamında değerlendirmesi yapılan alternatifler için C_i değerleri (4.43) bağıntısı yardımıyla hesaplanarak Çizelge 4.47 oluşturulmuştur.

Çizelge 4.47 : Göreli yakınlık değerleri.

C_{P1}	C_{P2}	C_{P3}	C_{P4}	C_{P5}	C_{FP1}	C_{FP2}	C_{FP3}	C_{FP4}	C_{FP5}
0,18	0,24	0,45	0,14	0,13	0,20	0,47	0,85	0,57	0,53

COPRAS yöntemi ile yapılan değerlendirmeye göre elde edilen bu sonuç değerler Bölüm 5’de detaylı olarak irdelenecektir.

5. GENEL DEĞERLENDİRME

Çok katlı binalarda yaygın olarak kullanılan bir panel cephe sisteminin performans deneylerini ve bu deneylerin sonuçlarının çok ölçütlü değerlendirme ölçütlerine göre sayısal değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmanın deneysel bölümünde kullanılan her iki numune de birbiri ile aynı özellikte olup her ikisine de 450 günlük deney sürecinde 5'er kez performans deneyleri uygulanmıştır. Aralarındaki tek fark P numunesine genel kabul görmüş ve mevcut deney merkezlerinde yaygın olarak uygulanan standart deney prosedürünün uygulanmış olması, buna karşın FP numunesine aynı deney prosedürüne ek olarak cephe sistemini yormayı amaçlayan ve numunenin uzun dönemdeki performansı için gerçeğe daha yakın sonuçlar elde etmeyi sağlayacağı düşünülen iki ayrı deney prosedürü daha uygulanmış olmasıdır. Bu deneyler, dinamik su sızdırmazlık deneyi (*Yüksek rüzgâr basıncı ile birlikte su püskürtme uygulaması*) ve ETAG 17 (*Kademeli hava basıncı artışı ile ani emme yükleri uygulaması*) olarak belirlenmiştir.

Deney işlemlerinin tamamlanmasının ardından farklı dönemlerde gerçekleştirilen performans deney sonuçlarını çok ölçütlü değerlendirme yöntemleri ile karşılaştırarak numuneler arasında performans karşılaştırması yapılmıştır. Çalışma kapsamında numunelerin performans deneyi sonuçlarının değerlendirmesi için kullanılan yöntemlerden AHP yöntemi yardımıyla hesaplanan ölçüt ağırlık değerleri (Çizelge 4.22) kullanılarak ölçütler arasında bir önem sıralaması yapılmış ve Çizelge 5.1 elde edilmiştir. Bu çizelgeye göre panel cephe sistemleri için yapılan deneysel çalışmalarda maksimum ön sehim (negatif) alt ölçütü ağırlığı en fazla olan ölçüt olarak belirlenmiştir. Bu durum cephe sisteminin performans değerlendirmesinde negatif basınç yüklemesinin (cephe dış yüzeyine uygulanan emme) cephe performansını en fazla etkileyen ölçüt olduğu anlamına gelmektedir.

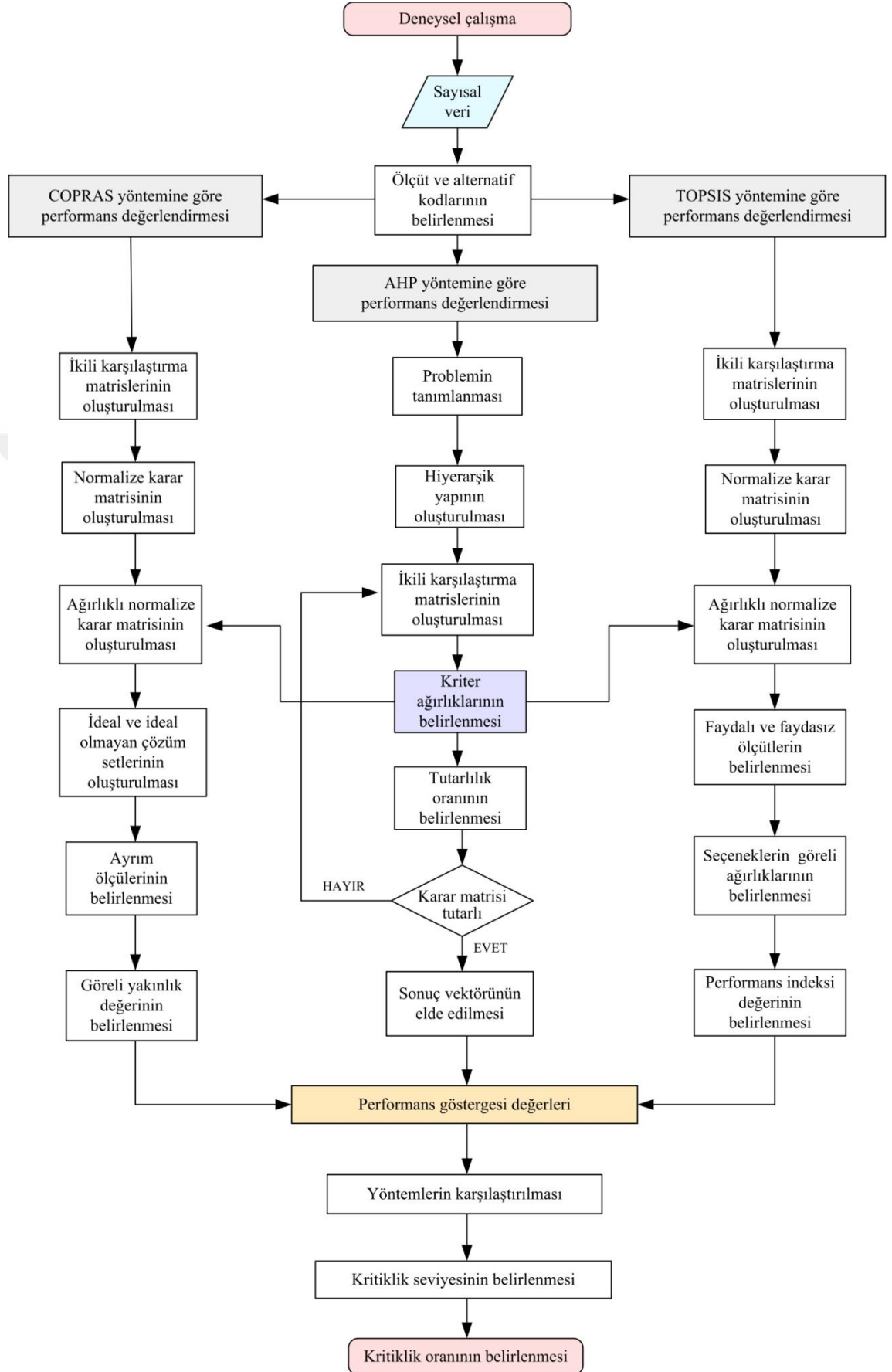
Çizelge 5.1 : Ölçüt önem sıralaması.

Önem sırası	Alt Ölçüt	Ağırlık değeri (W_i)
1	Maksimum ön sehim (negatif)	0,375
2	Maksimum hava geçirgenlik (pozitif)	0,206
3	Maksimum hava geçirgenlik (negatif)	0,159
4	Maksimum ön sehim (pozitif)	0,125
5	Deney başlangıcı ve sonundaki hava geç. değeri arasındaki fark değeri (pozitif)	0,035
6	Sismik dayanım deneyi sonrası hava geçirgenlik (pozitif)	0,020
7	Sismik dayanım deneyi sonrası hava geçirgenlik (negatif)	0,020
8	Rüzgâr yüküne dayanım deneyi sonrası hava geçirgenlik (pozitif)	0,020
9	Rüzgâr yüküne dayanım deneyi sonrası hava geçirgenlik (negatif)	0,020
10	Deney başlangıcı ve sonundaki hava geç. değeri arasındaki fark değeri (negatif)	0,020
Toplam		1,000

Seçilen değerlendirme yöntemleri ile performans değerlendirmesi yapılırken deneysel çalışma sonucunda elde edilen sayısal veriler kullanılmıştır. Bu değerlendirme sırasında alternatifler arasında puanlama yapılırken sayısal değeri yüksek olan alternatife daha yüksek puan verilmiştir. Bu nedenle puan değerinin yüksek olması, sayısal sonucun yüksek olması durumunu göstermekte ve dolayısıyla ilgili alternatifin sınır değerlere daha yakın sonuçlar vermesi anlamına gelmektedir. Sınır değerlere daha yakın olma durumu da söz konusu alternatifin diğer alternatife göre daha kritik sonuçlar verdiğini kanıtlamaktadır. Bu varsayım ile çalışma kapsamında tanımlanan “*kritiklik seviyesi*” değerlendirme metodları sonucunda elde edilen performans göstergesi değerlerinin (%) olarak hesaplanmış durumunu ifade etmektedir. Performans değerlendirme süreci Şekil 5.1 ile ifade edilmiştir.

Herbir değerlendirme yöntemi sonunda elde edilen performans göstergesi değerleri birbirinden farklı ölçeklerdedir. Bu nedenle değerler arasında sayısal bir karşılaştırma yapabilmek için bu değerler yüzde (%) olarak hesaplanarak aynı ölçeğe getirilmiştir (Çizelge 5.2). Burada 100 değeri en yüksek değer olmakla birlikte kritiklik seviyesi en yüksek değer olarak kabul edilmektedir. Diğer bir deyişle sınır değerlere en yakın olan alternatifi temsil etmektedir.

Çizelge 5.2 : Performans değerlendirme süreci.



Çizelge 5.3 : Numunelerin ilgili değerlendirme metodlarına göre kritiklik oranları (M).

Metod	AHP					COPRAS					TOPSIS				
Deney no	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Gün	0	90	270	390	450	0	90	270	390	450	0	90	270	390	450
K	0,06	0,06	0,12	0,04	0,03	52,61	60,38	75,94	48,11	77,11	0,18	0,24	0,45	0,14	0,13
L	0,05	0,12	0,27	0,14	0,11	58,47	69,19	100	80,76	85,66	0,20	0,47	0,85	0,57	0,53
Normalizasyon															
K (%)	22,22	22,22	44,44	14,81	11,11	52,61	60,38	75,94	48,11	77,11	21,18	28,24	52,94	16,47	15,29
L (%)	18,52	44,44	100,00	51,85	40,74	58,47	69,19	100	80,76	85,66	23,53	55,29	100,00	67,06	62,35
M	0,83	2,00	2,25	3,50	3,67	1,11	1,15	1,32	1,68	1,11	1,11	1,96	1,89	4,07	4,08

K: Numune P, performans göstergesi değeri

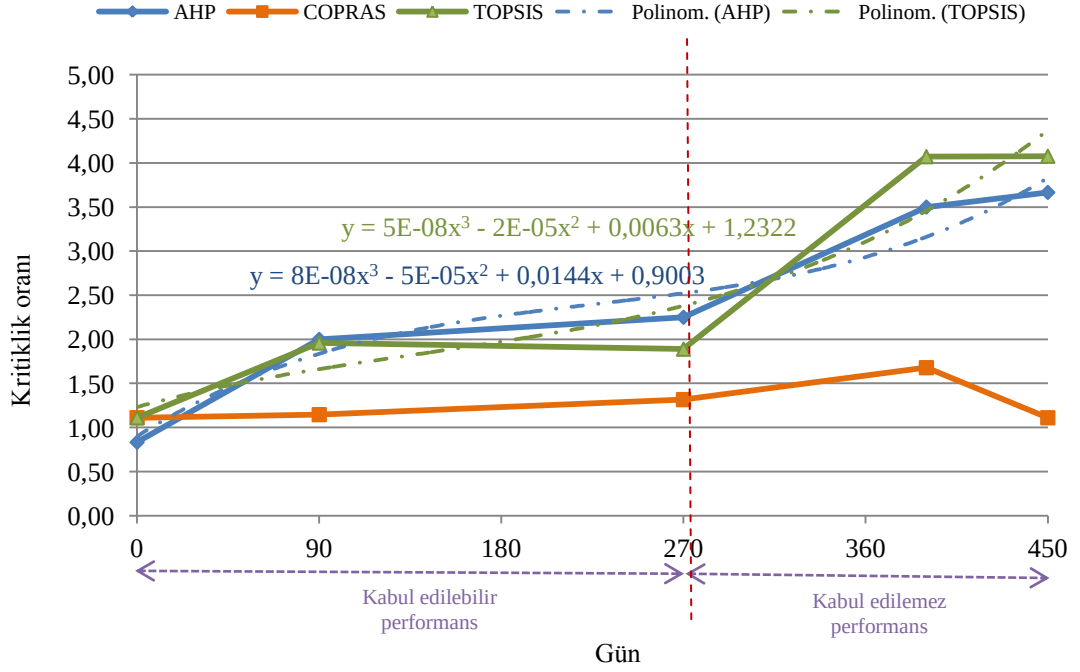
L: Numune FP, performans göstergesi değeri

K (%) : Numune P, kritiklik seviyesi

L (%) : Numune FP, kritiklik seviyesi

M: Kritiklik oranı. (L/K) oranıdır. Diğer bir deyişle Numune FP'nin performansının Numune P'nin performansına göre kaç katı daha kritik olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.2’yer alan M değeri (L/K) oranını, başka bir deyişle Numune FP’nin kritiklik seviyesinin Numune P’ye göre kaç katı daha fazla olduğunu göstermektedir. Elde edilen M değerleri incelendiğinde 0. günden 450. güne kadar beklendiği gibi genel olarak sürekli bir artış olduğu görülmektedir. Bu değerlere ilişkin grafiksel veri Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : FP numunesi’nin P numunesine göre kritiklik durumu (kritiklik oranı).

Şekil 5.2’de AHP, COPRAS ve TOPSIS yöntemleri ile elde edilen kritiklik oranı değerleri gösterilmiştir. Buna göre AHP ve TOPSIS yöntemlerinde elde edilen değerler birbirine oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Her 2 yöntem için de Microsoft Excel programı kullanılarak 0. ile 450. günler arasındaki kritiklik oranı değerleri kullanılarak ayrı ayrı eğilim çizgileri geçirilmiştir. Eğilim çizgileri için R^2 (eğilim çizgisi için tahmin edilen değerlerin gerçek verilere ne kadar yakın olduğunu gösteren 0~1 arasında bir sayı) değerinin 1’e en yakın değeri verdiği polinom türündeki eğri tipi seçilmiştir. Bu eğriye ilişkin bağıntılar 3. dereceden bir polinomdur (5.1) ve (5.2).

$$\text{AHP yöntemi için: } y = 8E-08x^3 - 5E-05x^2 + 0,0144x + 0,9003 \quad (5.1)$$

$$\text{TOPSIS yöntemi için: } y = 5E-08x^3 - 2E-05x^2 + 0,0063x + 1,2322 \quad (5.2)$$

Elde edilen eğilim çizgilerine ait formülasyonlar kullanılarak regresyon analizi ile 450 günlük deney süreci, 30'ar günlük süreçlere ayrılarak toplam 16 adet kritiklik oranı değeri elde edilmiştir (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.4 : Regresyon analizi kritiklik oranı değerleri.

Gün	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450
Kritiklik oranı (AHP)	0,90	1,29	1,60	1,85	2,05	2,21	2,34	2,46	2,58	2,72	2,88	3,08	3,34	3,66	4,06	4,55
Kritiklik oranı (TOPSIS)	1,23	1,40	1,55	1,67	1,79	1,90	2,01	2,14	2,28	2,46	2,67	2,93	3,24	3,61	4,05	4,57

Uygulamacı firmalardan alınan bilgiye göre, standart deney prosedürünün uygulandığı deneylerde her bir deneyin yaklaşık olarak 2 yıllık, standart deney prosedürüne ilave olarak yorma prosedürü de uygulanan deneylerde ise her bir deneyin minimum 5 yıllık performans kaybına neden olduğu belirtilmiştir. Yapılan deneylerde 270. güne karşı gelen 3. deney prosedüründe elde edilen sayısal sonuçlara dayandırılan performans değerlendirmesinin verdiği kritiklik oranları AHP yöntemine göre 2,72, TOPSIS yöntemine göre 2,46 olarak hesaplanmıştır. Yukarıda yapılan değerlendirmeye göre elde edilen kritiklik oranları cephe firmalarının öngördüğü 2,5 katı performans kaybı değeriyle yaklaşık olarak örtüşmektedir. 270. günden sonraki değerler performansın daha da düştüğünü göstermektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Panel giydirmce cepheleer pek çok üstünlükleri nedeniyle son yıllarda çok katlı binalarda en sık uygulanan cephe sistemlerinden biridir. Özellikle bina üst katlarında yer alan cephe panelleri farklı mevsimsel koşullar ve türbülans etkisiyle yüksek basınca maruz kalarak zarar görebilmektedir. Bu nedenle cepheye uygulanan standart deney prosedürü bazı durumlarda yetersiz kalabilmektedir. Bu eksikliği gidermek ve gerçek davranışı daha iyi gözlemek amacıyla deney prosedürüne cephe sistemini yormayı sağlayacak bir takım ek deneyler eklenmesinin doğru olacağı düşünülmüştür. Yapılan değerlendirmeler uygulanan yorma deneylerinin cephe numunesinin performansında önemli ölçüde azalmalara yol açtığı sonucunu vermiştir. Çalışma kapsamındaki numunelerin uygulanan deney protokolünde başarılı olmasına karşın yüksek basınç değerlerinde bazı limit değerlerin aşıldığı görülmüştür.

6.1 Deneysel Sonuçlar

Bu deneysel çalışma sonucunda aşağıda yer alan sonuçlar elde edilmiştir:

- a. Günümüzde kullanılan panel giydirmce cephe sistemleri her ne kadar teknolojik olarak gelişmiş olsa da bu deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar sürekli devam eden çevresel etkilerin cephenin yaşam döneminde performansının azalmasına neden olduğunu göstermektedir (Hava geçirgenlikte en çok yaklaşık %54, rüzgâr dayanımında en çok yaklaşık %19).
- b. Hava geçirgenlik deneylerinde numunelere uygulanan 50, 100, 150, 200, 250, 300, 450, 600 Pa'lık basınç yüklemeleri sonucunda ölçülen hava geçirgenlik değerleri tüm numuneler için 50 Pa'dan 600 Pa'a kadar sürekli artış göstermiştir.
- c. Rüzgâr yüküne dayanım deneylerinde numunelere uygulanan 600, 1200, 1800 ve 2400 Pa'lık basınç yüklemeleri sonucunda ölçülen ön sehim

değerleri tüm numuneler için 600 Pa'dan 2400 Pa'a kadar sürekli artış göstermiştir.

- d. Hava geçirgenlik deneyleri sonucunda TS EN 12152'ye göre sınır değer olarak verilen $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ değeri FP2, FP3, FP4 ve FP5 numunelerinde aşılmıştır. En yüksek aşma değeri $3,06 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ile FP4 numunesinde görülmüştür.
- e. Rüzgâr yüküne dayanım deneyleri sonucunda TS EN 13116'ya göre sınır değer olarak verilen 15 mm ön sehim değeri P3 ve FP3 numunelerinde aşılmıştır. En yüksek aşma değeri 17,78 mm ile FP numunesinde görülmüştür.
- f. Sismik dayanım deneylerinde numunelere kat yüksekliğinin %1'i kadar (34 mm) (+) ve (-) yönde toplam 68 mm yerdeğiştirme uygulanmış ve bu yerdeğiştirme sırasında ve sonrasında numunelerde herhangi bir deformasyon gözlemlenmemiştir.
- g. Su sızdırmazlık deneylerinde P numunesinde iç ortama su geçişi 270. günkü deneyler sırasında görülmesine karşın FP numunesinde ise su geçişi 90. günde gözlemlenmiştir.
- h. Hava geçirgenlik deneyleri için 0. günden 450. güne kadar P numunesinde herhangi bir sınır değer aşımı görülmemesine karşın FP numunesinde 270. günden 450. güne kadar sınır değerler aşılmıştır.
- i. Rüzgâr yüküne dayanım deneyleri için sınır değerlerin aşımı her iki numune için de 270. günkü deneylerde görülmüştür.
- j. Deneyler sırasında su geçişi A ve C panelleri arasındaki düşey birleşim noktasında olmuştur. 450. günkü deneylerin tamamlanmasının ardından numunelerin söküm işlemi gerçekleştirilmiş ve su geçişinin paneller arasındaki silikon malzemesinin zarar görmesinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Panel birleşimi için kullanılan silikon malzemesi derinliğinin yetersiz kalması ya da yorma etkisiyle deneyler sırasında yüksek basınç değerlerinde iç ortama su geçişi olmuştur.
- k. Deneysel veriler üzerinde yapılan analizler sonucunda yorma prosedürü ve dinamik su sızdırmazlık deneylerinin sonuç değerlerini önemli ölçüde arttırdığı gözlemlenmiştir.
- l. Deney prosedürünün uygulanması deneyim, zaman, yoğun çalışma ve yüksek maliyetler gerektirmektedir.

m. Cephe sistemindeki dolgu malzemesinin işlevini yitirmesi, kullanılan malzeme ve montaj sırasındaki işçilik faktörlerine bağlıdır.

Çalışma kapsamında numuneler için yaşam dönemi içerisinde problemlerin başlaması için öngörülen tahmini süre (yıpranma süresi) cephe üreticisi firma tarafından yaklaşık 10 yıl olarak verilmektedir. Başka bir deyişle 10 yıl sonra seçilen cephe sisteminde bir takım problemler oluşma olasılığının yüksek olduğu düşünülmektedir. Deneyleri gerçekleştirilen numuneler için ilk problem (sınır değerlerin aşılması) FP3 kodlu numuneye (FP numunesinin 270. günü deneyleri) ait hava geçirgenlik deneyinde görülmüş olup ilgili standartlara göre numune 270. günde başarısız olmuştur. Buna karşın P numunesine ilişkin hava geçirgenlik deneylerinde 0. günden 450. güne kadar herhangi bir sınır aşımı olmamıştır.

6.2 Çok Ölçütlü Değerlendirme Sonuçları

Deneysel çalışma sonuçlarına dayanarak yapılan çok ölçütlü değerlendirmede aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- a. Günümüzde yaygın olarak kullanılan standart deney prosedürü cephe numunesinin ilk üretim anındaki durumunu değerlendirme olanağı verse de cephenin yaşam dönemindeki performans değişimleri daha gerçekçi değerlendirme yöntemleri ile ele alınmalıdır.
- b. Kritiklik seviyesi olarak tanımlanan performans düşüş göstergesi 0. günden 450. güne kadar genel olarak bir artış göstermektedir. Bu artışın FP numunesinde P numunesine göre önemli ölçüde daha fazla olduğu görülmektedir.
- c. AHP yöntemi ile yapılan sayısal değerlendirmeye göre P ve FP numuneleri arasındaki kritiklik seviyesi 0. günden 450. güne kadar sürekli bir artış göstermektedir. Bu durum yorma deneyleri uygulanan FP numunesindeki performans kaybının P numunesine göre daha fazla olduğunu göstermektedir. FP numunesinin kritiklik seviyesi 90. günde P numunesine göre 2,0 katı daha fazla iken bu değer 450. günde 3,67 katına çıkmıştır. Diğer bir deyişle 450. gün sonunda FP numunesinin performansı P numunesine göre 3,67 katı daha kritik duruma gelmiştir.
- d. COPRAS yöntemi ile yapılan sayısal değerlendirmeye göre P ve FP numuneleri arasındaki kritiklik seviyesi 0. günden 270. güne kadar sürekli bir

artış göstermektedir. Bu durum yorma deneyleri uygulanan FP numunesindeki performans kaybının P numunesine göre daha fazla olduğunu göstermektedir. FP numunesinin kritiklik seviyesi 90. günde P numunesine göre 1,15 katı daha fazla iken bu değer 270. günde 1,68 katına çıkmıştır. Diğer bir deyişle 450. gün sonunda FP numunesinin performansı P numunesine göre 3,67 katı daha kritik duruma gelmiştir.

- e. TOPSIS yöntemi ile yapılan sayısal değerlendirmeye göre P ve FP numuneleri arasındaki kritiklik seviyesi 0. günden 450. güne kadar sürekli bir artış göstermektedir. Bu durum yorma deneyleri uygulanan FP numunesindeki performans kaybının P numunesine göre daha fazla olduğunu göstermektedir. FP numunesinin kritiklik seviyesi 90. günde P numunesine göre 1,96 katı daha fazla iken bu değer 450. günde 3,67 katına çıkmıştır. Diğer bir deyişle 450. gün sonunda FP numunesinin performansı P numunesine göre 4,08 katı daha kritik duruma gelmiştir.
- f. Değerlendirme çalışmasında kullanılan üç yöntemde elde edilen kritiklik seviyesi değerleri birbiri ile karşılaştırıldığında AHP yöntemi ile TOPSIS yöntemi sonuçlarının oldukça yakın değerler verdiği ve 0. günden 450. güne kadar görülen seviye artışının COPRAS yöntemine birbirine daha yakın değerler elde edildiği görülmektedir.
- g. AHP yönteminin çok ölçütlü değerlendirme yöntemleri arasında oldukça yaygın olarak kullanılan kapsamlı bir yöntem olması ve puanlama sisteminin kontrolünü sağlayan adımları içermesi (CR tutarlılık oranı hesabı) nedeniyle 0. günden 450. güne kadar görülen kritiklik seviyesi artışları kararlı olmuştur.
- h. TOPSIS yöntemi de aynı şekilde yaygın olarak kullanılan bir değerlendirme yöntemi olması, AHP yönteminde elde edilen ölçüt ağırlıklarını altlık olarak kullanarak sonuca gitmesi ve (4.22) bağıntısı ile hesaplanan normalizasyon tekniğini kullanması nedeniyle 0. günden 450. güne kadar görülen kritiklik seviyesi artışları kararlı ve AHP yöntemine benzer olmuştur (Şekil 5.2).
- i. TOPSIS yönteminde kullanılan normalizasyon tekniğinde her bir matris elemanı kendi sütununda bulunan matris elemanlarının kareleri toplamının kareköküne bölünmektedir. COPRAS yönteminde ise her bir matris elemanı kendi sütununda bulunan matris elemanlarının toplamına bölünmektedir. TOPSIS yönteminin COPRAS yöntemine göre daha kararlı sonuçlar

vermesinde normalizasyon tekniklerinin farklı olmasının etkili olduğu düşünülmektedir.

- j. Kritiklik seviyesi için bir alt ve üst limit olmamakla birlikte farklı dönemlerde elde edilen sayısal sonuçlara dayanarak dönemler arası bir değerlendirme yapma olanağı oluşmaktadır.

Sayısal değerlendirme aşamasında, AHP, COPRAS ve TOPSIS metodları ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen performans indeksi değerleri ile Çizelge 5.2 oluşturulmuştur. Burada numunelerin 0., 90., 270., 390. ve 450. günlerdeki kritiklik düzeyleri hesaplanmıştır. Değerlendirme yöntemleri ile numuneler arasında kuramsal bir karşılaştırma yaparak oransal bir veri elde etme olanağı ortaya çıkmıştır. Bölüm 5’de regresyon analizi yapılarak birbirine yakın sonuçlar veren AHP yöntemi ve TOPSIS yöntemi ile elde edilen değerlerin ortalamaları alınarak kritiklik oranı 30’ar günlük süreçlere ayrılmış ve toplam 13 adet kritiklik oranı değeri elde edilmiştir. Bu sayede deneysel çalışma yapılmayan günler için de kritiklik oranı değerleri hesaplanabilmiştir.

Yapılan bu değerlendirmeler kapsamında cephe sisteminin uygulanacağı yapıya ilişkin iklimsel koşulların göz ardı edilmesinin uygun olmadığı anlaşılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan deney prosedürüne bağlı kalınarak denenen bir panel giydirme cephe sisteminde deney sonuçlarının uygun çıkması, diğer bir deyişle ilgili standartlarda öngörülen sınır değerleri aşmaması, bu cephe sisteminin yaşam dönemi boyunca zarar görmeyeceği anlamına gelmemektedir. Beklenmeyen koşullara etkisinde kalan ve uygulama öncesinde bu koşullar göz ardı edilerek deney işlemleri gerçekleştirilen bir cephe sisteminin beklenenden daha az bir yaşam ömrüne sahip olmasının karşılaşılabilecek önemli bir problem olduğu bu tez çalışmasından elde edilen en önemli sonuçtur.

6.3 Öneriler

Bu çalışma, tek tip bir panel cephe sisteminin deneysel işlemlerini ve çok ölçütlü performans değerlendirmesi aşamalarını içermektedir. Sistemde dört ayrı panel tek kat yüksekliğinde bir araya getirilerek gerçek boyutlarda deneyler gerçekleştirilmiştir. Aynı özellikteki bir numune için daha fazla panel ya da 2-3 kat yüksekliğinde numunelerle deneylerin yapılması durumunda sistem performansında

ne kadar değişiklik olacağı olası sonraki bir çalışmada incelenebilir. Bununla birlikte, çalışmada numuneler üzerinde hava, su, rüzgâr , deprem ve yorma etkileri incelenmiş olup deney olanaklarının yetersiz kalması nedeniyle numunelere etki eden ısıl yükler göz ardı edilmiştir. Bu alışma esas alınarak ısıl deneyleri de içeren çok ltl performans değerlendirmesi çalışmalarının yapılmasının uygun olacağı söylenebilir. Ayrıca, deney işlemleri gerçekleştirilen numuneler için her deney sonrasında numuneler deney düzeneğinden indirilmiştir ve bir sonraki deney zamanında yeniden düzeneğe takılmıştır. Bu konuda çalışma yapmayı düşünen araştırmacıların sabit bir deney düzeneği üzerinde yada mevcut bir bina cephesi üzerinde deney işlemlerini gerçekleştirmelerinin daha uygun olacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte her deney işlemi farklı zamanlarda gerçekleştirildiği için deneyler esnasında ortamda farklı ısı, nem ve basınç değerleri ölçülmüştür. Bu durumun da deney sonuçlarını etkileyebilecek bir etken olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- AAMA** (2005). *Standard Test Method for Water Penetration of Windows, Curtain Walls and Doors Using Dynamic Pressure* (AAMA 501.1), American Architectural Manufacturers Association, USA.
- AAMA** (2009). *Recommended Static Testing Method for Evaluating Curtain Wall and Storefront Systems Subjected to Seismic and Wind Included Interstory Drift* (AAMA 501.4), American Architectural Manufacturers Association, USA.
- Ambrose, J.** (1993). *Building Structures, 2nd Edition*, University of Southern California, USA.
- ASTM** (2010). *Standard Test Method for Structural Performance of Exterior Windows, Doors, Skylights and Curtain Walls by Uniform Static Air Pressure Difference* (ASTM E330). USA.
- AS/NZS** (2009). *Testing of Building Façades, Australian/New Zealand Standard* (AS/NZS 4284). Australia.
- Aygün, M. ve İlhan, Y.** (2005). Sürekli ve noktasal bağlantılı cam giydirmce cephe sistemlerinin incelenmesi, 2. *Ulusal Çatı ve Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu*, (s.147-155). İstanbul.
- Balali, V., Zahraie, B. & Roozbahani, A.** (2014). A comparison of AHP and PROMETHEE family decision making methods for selection of building structural system, *American Journal of Civil Engineering and Architecture*, Vol. 2, No:5, (pp.149-1159).
- Beasley, K.J. & Patterson, D.S.** (2000). *Building Facades, Forensic Structural Engineering Handbook*, Chapter 15, (pp.4). New York.
- Bitarafan, M., Zolfani, S.L. & Zavadkas, E.K.** (2012). Evaluating the construction methods of cold-formed steel structures in reconstructing the areas damaged in natural crises, using the methods AHP and COPRAS-G, *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 12 (3), (pp.360-367).
- Candemir, K.U.** (2002). Kaplamalar ve giydirmce cephe sistemleri, *Ege Mimarlık*, Sayı:44, (s. 8-11). İ.Y.T.E, İzmir.
- Chan, S.L. & Yu, J.** (2005). *Testing for facade and glass systems*, Department of Civil and Structural Engineering Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong.

- Chatterjee, P., Athawale, V. & Chakraborty, S.** (2011), Materials selection using complex proportional assessment and evaluation of mixed data methods, *Materials and Design* 32, (pp.851-860). India.
- Chatterjee, P. & Chakraborty, S.** (2012), Material Selection using preferential ranking methods, *Materials and Design* 35, (pp. 384-393). India.
- Chen, S.J. & Hwang, C.L.** (1992). *Fuzzy multiple attribute decision making methods and applications*, Springer-Verlag, Berlin.
- CWCT** (2001). *Curtain Wall Installation Handbook*, Centre for Window and Cladding Technology, UK.
- CWCT** (2006a). *Test Methods for Curtain Walling*, Centre for Window and Cladding Technology, UK.
- CWCT** (2006b). *Standard for Curtain Walling*, Centre for Window and Cladding Technology, UK.
- Çetiner, İ.** (2002). *Çift kabuk cam cephelerin enerji ve ekonomik etkinliğinin değerlendirilmesinde kullanılabilecek bir yaklaşım.* (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Direk, Y.Ş.** (2003). *Giydirme Cephe Tasarım Sürecinde Karar Vermek için Bir Yöntem Önerisi.* (Doktora tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Donaldson, B.** (2009). *Exterior Wall Systems, Glass and Concrete Technology, Design and Construcion*, Philadelphia.
- ETAG** (2006). *Standard for Systemised Building Envelopes (ETAG 17)*, Centre for Window and Cladding Technology, UK.
- Eşsiz, Ö.** (2004). *Teknolojinin Cam Cephe Panellerine Getirdiği Yenilikler*, MSÜ Mimarlık Fakültesi, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, İstanbul.
- Friblick, F., Tommelein, I.D., Mueller, E. & Falk, J.H.** (2009). Development of an integrated facade system to improve the high-rise building process, *Proceedings of the 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC 17)*, Taipei, Taiwan, (pp.359-370).
- Galli, U.** (2010). *Seismic Behaviour of Curtian Wall Facades*, Polytechnic University of Milan, Italy.
- Ginevicius, R. & Podvezko, V.** (2008). A feasibility study of multicriteria methods' application to quantitative evaluation of social phenomena., *Vol. 9(2)*, (pp.81-87).

- Güzel, N.** (2006). *Saydam giydirmce cepheler*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İzmir.
- Güzel, N. ve Sönmez, A.** (2002). *Giydirmce cephelerin performans özellikleri*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İzmir.
- Herzog, T. & Krippner, R.** (2005). *Facade Construction Manual*, (pp.27-33). Munich, Germany.
- Ho, W.** (2008), Integrated Analytic hierarchy process and its applications-a literature review, *European Journal of Operational Research*, Vol. 186, (pp.211–228).
- Hwang, C.L. & Yoon, K.** (1981). *Multiple attribute decision making in: lecture notes in economics and mathematical systems* 186, Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- İlter, E., Tavil, A., Celik, C. O. & Seyhan, M.** (2014). M., Full-scale performance testing of unitized façade systems, ICBEST, Aachen, Germany.
- İlter, E., Tavil, A. & Celik, C.** (2015a). Full-scale performance testing and evaluation of unitized façade systems, ICAE, San Sebastián, Spain.
- İlter, E., Tavil, A. & Celik, C.** (2015b). Full-scale performance testing and evaluation of unitized curtain walls, *Journal of Facade Design and Engineering* 3, (pp.39-47).
- İrtem, E. ve Tığ, G.** (2006). Giydirmce cephe taşıyıcı sistem profilleri için optimum (ekonomik) kesit boyutlarının geliştirilmesi, 3. *Ulusal Çatı & Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu*, İstanbul.
- Kaklauskas, A., Zavadskas, E.K., Naimaviciene, J., Krutinis, M., Plakys, V., & Venskus, D.** (2010). Model for a complex analysis of intelligent built environment, *Automation In Construction*, Vol. 19, (pp.326-340). Lithuania.
- Kaklauskas, A., Zavadskas, E.K. & Trinkunas, V.** (2007). A multiple criteria decision support on-line system for construction, *Engineering Applications Of Artificial Intelligence*, Vol. 20, (pp.163-175). Lithuania.
- 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.
- Kazmierczak, K.** (2010). Review of curtain walls, focusing on design problems and solutions, *Building Enclosure Science&Technology, Design and Rehabilitation*, Session EE4-1, Plantation, USA.

- Kawneer** (1999). *Principles of Curtain Walling*, Kawneer White Paper, United Kingdom.
- Keeney, R.L.** (1982). Decision analysis: an overview, *Operations Research*, Vol. 30, No. 5, (pp.803-838).
- Klein, T.** (2013). *Integral façade construction, architecture and the building environment*, Delft University of Technology, Faculty of Architecture, Aachen, Germany.
- Knaack, U. & Klein, T.** (2007). *Façades, Principle of Construction*, (pp.36-44). Berlin, Germany.
- Lai, S.K. & Haoying, H.** (1995). *Planning in complex spatial and temporal systems: a simulation framework*, Department of Real Estate and Building Environment, National Taipei University, Taiwan.
- Lin, M.C., Wang, C. C., Chen, M.S. & Chang, C.** (2008). Using AHP and TOPSIS approaches in customer-driven product design process, *Computers in Industry, Journal Computers in Industry*, Vol. 59, Issue 1, (pp.17-31). Amsterdam.
- Madumjar, A., Sarkar, B. & Madumjar, P.K.** (2005). Determination of quality value of cotton fibre using hybrid AHP-TOPSIS method of multi-criteria decision-making, 96(5), (pp. 303-309). India.
- Maity, S. R., Chatterjee, P. & Chakraborty, S.** (2012). “Cutting tool material selection using grey complex proportional assessment method”, *Materials and Design*, Vol. 36, (pp. 372-378). India.
- Makepeace, C.** (2004). *Glass and Metal Curtain Wall Systems*, Best Practice Guide Building Technology, Canada Mortgage and Housing Corporation, Canada.
- Makwana, R.R.** (2013). Design consideration of facade wall system, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, ISSN: 2278-0181, Vol. 4.
- Malczewski, J.** (1999). *GIS and multicriteria decision making*, John Wiley & Sons, Ontario, Canada.
- Özdağoğlu, A.** (2013). Çok ölçütlü karar verme modellerinde normalizasyon tekniklerinin sonuçlara etkisi: COPRAS Örneği, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İİBF Dergisi, 8(2), (s.229-252).
- Özkan, E.** (1976). *Yapım sistemlerinin seçimi için bir yöntem*. (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Öztürk, D. ve Batuk, F.** (2007). Çok sayıda ölçüt ile karar vermede kriter ağırlıkları, *Journal of Engineering and Natural Sciences*, Vol .25, (s.1).

- Patterson, M., R.** (2008). *Structural glass facades: a unique building technology*, Thesis Presented to the Faculty of the School of Architecture University of Southern California, USA.
- Quirouette, R. & Arch, B.** (2005). *Glass and aluminium curtain wall systems*, Ontario Association of Architects, Canada.
- Saaty, T.L.** (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process, *European Journal of Operational Research*, Vol. 48, (pp.9-26). Holland.
- Saaty, T.L.** (2008). Decision making with the analytic hierarchy process, *Int. J. Services Sciences*, Vol. 1, No. 1. (pp.83-97). Pittsburgh.
- Saaty, T.L. & Niemira, M.P.** (2006). A framework for making a better decision, *Research Reviews*, Vol. 13, No.1.
- Sakhnovsky, A.A.** (1991). Full-scale performance testing of curtain walls, ASTM STP 1034, (pp.47-58). Philadelphia.
- Sarvari, H., Amini, J. & Poor, M.L.** (2011). Assessment of risk caused by earthquake in region 1 of tehran using the combination of RADIUS, TOPSIS and AHP models, *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, Vol. 1, (pp.39-48). Iran.
- Shouman, M.,A., Mahmoud, A.E. & Hasan, E.S.** (2007). Decision making assessment for site selection using the AHP and TOPSIS methods.
- Shyjith, K., Ilangkumaran, M. & Kumanan, S.** (2008). Multi-criteria decision making approach to evaluate optimum maintenance strategy in textile industry, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 14(4), (pp.375-386). India.
- Sie, W.W.** (2007). *Analysis and design of curtain wall systems for high-rise buildings*, ENG4111&4112 Research Project, University of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying, Australia.
- Smith, D.W. & Beers, E.P.** (1998). Evaluation of water resistance testing problems for installed facade systems, water leakage through building facades, ASTM STP 1314, (pp.236-243). Orlando.
- Supçiller, A. ve Çapraz, A.** (2011). AHP-TOPSIS yöntemine dayalı tedarikçi seçimi uygulaması, *Ekonometri ve İstatistik (12. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması, İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı)*, Sayı:13 .
- Tanno, S.** (1997). *Structural silicone glazing design, application and maintenance*, Buro Happold Facade Engineering, (pp.41-43). London.

- Taylan, O., Bafail, A.O., Abdulaal, R. & Kabli, M.R.** (2014). Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methodologies, *Applied Soft Computing*, Vol. 17, (pp.105-116).
- Tekin, Ç.** (2006a). Giydirmce cephe sistemlerinde test metodları, 4. *Ulusal Çatı ve Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu*, İstanbul.
- Tekin, Ç.** (2006b). Giydirmce cephe tasarımındaki kriterler, 4. *Ulusal Çatı ve Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu*, İstanbul.
- Ting, R.,** (1997). Evaluation of curtain wall design against water infiltration efforts on going to improve performance, *International Conference on Building Envelope Systems&Technology* (ICBEST).
- Tommelein, I. D. & Beeche, G.** (2001). De-coupling cladding installation from other high-rise building trades: a case study, *Proceedings 9th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Singapore.
- Tsaur, S.H., Chang, T.Y. & Yen, C.H.** (2002). The evaluation of airline service quality by fuzzy MCDM, *Tourism Management*, Vol. 23, (pp.107-115). Taiwan.
- TS** (1997). *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri* (TS 498), *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN** (2004). *Giydirmce Cepheler - Rüzgâr Yüküne Dayanım - Performans Şartları* (TS EN 13116), *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN** (2005). *Giydirmce Cepheler - Mamul Standardı* (TS EN 13830), *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN** (2009). *Giydirmce Cepheler - Terimler ve Tarifleri* (TS EN 13119), *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN** (2004). *Giydirmce Cepheler- Hava Geçirgenliği - Performans Gerekleri ve Sınıflandırma* (TS EN 12152), *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN** (2006). *Giydirmce Cepheler – Hava Geçirgenliği – Deney Metodu* (TS EN 12153), *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- TS ENV** (2005). *Giydirmce Cepheler - Su Sızdırmazlık – Dinamik Hava Basıncı ve Su Püskürtme Etkisi Altında Lâboratuvar Deneyi* (TS ENV 13050), *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN** (2004). *Giydirmce Cepheler - Su Sızdırmazlık - Performans Şartları ve Sınıflandırma* (TS EN 12154), *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.

- TS EN (2005).** *Giydirme Cepheler - Su Sızdırmazlık – Statik Basınç Altında Lâboratuvar Deneyi* (TS EN 12155), *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN (2000).** *Perde Duvarları – Rüzgâr Yüklerine Dayanım, Deney Metodu* (TS EN 12179), *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- Url-1**<http://images.travelpod.com/tw_slides/ta00/bb8/96c/reliance-building-chicago.jpg/>, erişim tarihi 12.10.2014.
- Url-2**<https://c1.staticflickr.com/5/4121/4817446604_39e3480c83_b.jpg/>, erişim tarihi 12.10.2014.
- Url-3**<https://c1.staticflickr.com/5/4121/4817446604_39e3480c83_b.jpg/>, erişim tarihi 12.10.2014.
- Url-4**<<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=892696&page=101>, erişim tarihi 13.03.2016.
- Url-5**<http://www.celikmermer.com/proje/DSC_0725_renamed_19397.jpg/>, erişim tarihi 15.02.2016.
- Url-6**<<http://www.emlakciyasor.com/images/ilanresim/Dalga%20Kule.jpg/>>, erişim tarihi 22.02.2016.
- Url-7**<<https://tr.foursquare.com/v/dap-yap%C4%B1-dalga-kule--vazo-kule/51ef68c4498e7090ea1e50bb?openPhotoId=565d7d65498e01c3042532b3> , erişim tarihi 22.02.2016.
- Wang, J. W., Cheng, C. H. & Kun-Cheng, H. (2009).** Fuzzy hierarchical TOPSIS for supplier selection, applied soft computing, *Journal Applied Soft Computing Archive*, Vol. 9, Issue 1, (pp. 377-386). Amsterdam.
- Wymond, B. & Arumugam, M. (2000).** *Structural design of glass*, Meinhardt Façade Technology, Sydney, Australia.
- Xie, A. & Huang, X. (2012).** *Advances in Electrical Engineering and Automation*, Vol. 139, (pp.44). China.
- Yang, L. (2003).** *Facade design and procurement; glass and metal facades*, University of Bath, UK.
- Yang, J. & Peng, H. (2001).** Decision support to the application of intelligent building technologies, *Renewable Energy*, Vol. 22, Australia.
- Yurdakul, M. & Tansel, Y. (2005).** Development of a performance measurement model for manufacturing companies using the AHP and TOPSIS approaches, *International Journal of Production Research*, Vol. 43(21), (pp.4609-4641).
- Zavadskas, E. K. & Kutut, V., (2013).** Assessment of priority options for preservation of historic city centre buildings using MCDM (ARAS), *Procedia Engineering, 11th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques (MBMST)*, Lithuania.

Zhanga, H., Gaob, D. & Liub, W. (2013). Risk assessment of relief well based on analytic hierarchy process, *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering (EJDE)*, China.



EKLER

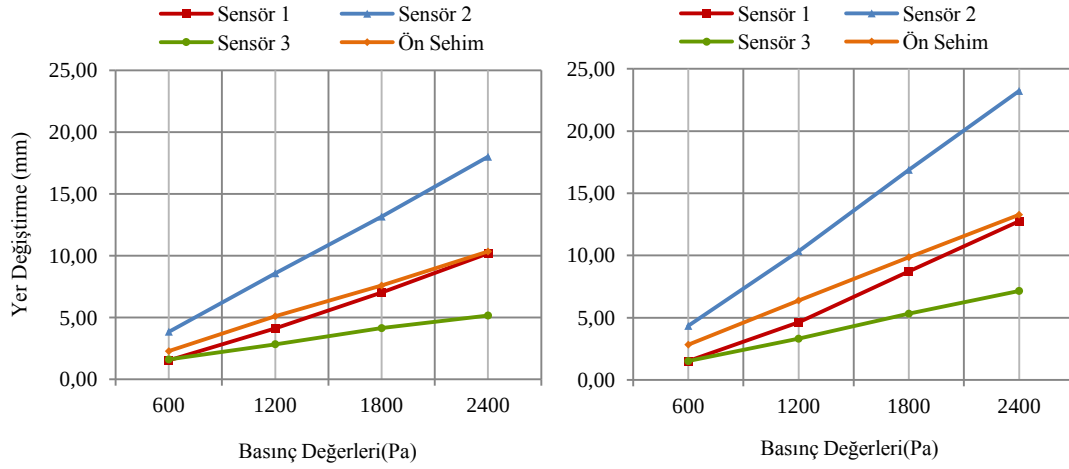
EK A: Deney sonuçlarına ilişkin sonuç ve tablolar

EK B: Panel üretim çizimleri ve deney düzeneği

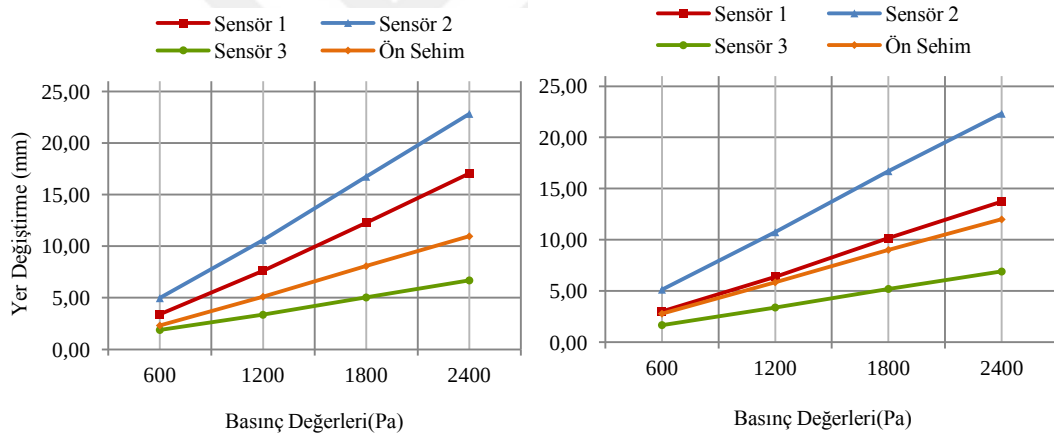
EK C: Deneysel terimler



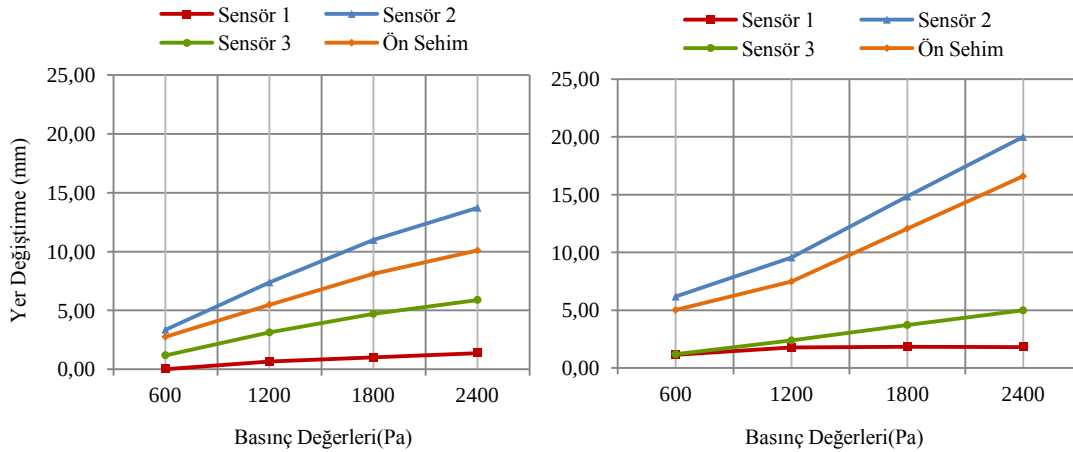
EK A : Deney sonuçlarına ilişkin sonuç ve tablolar



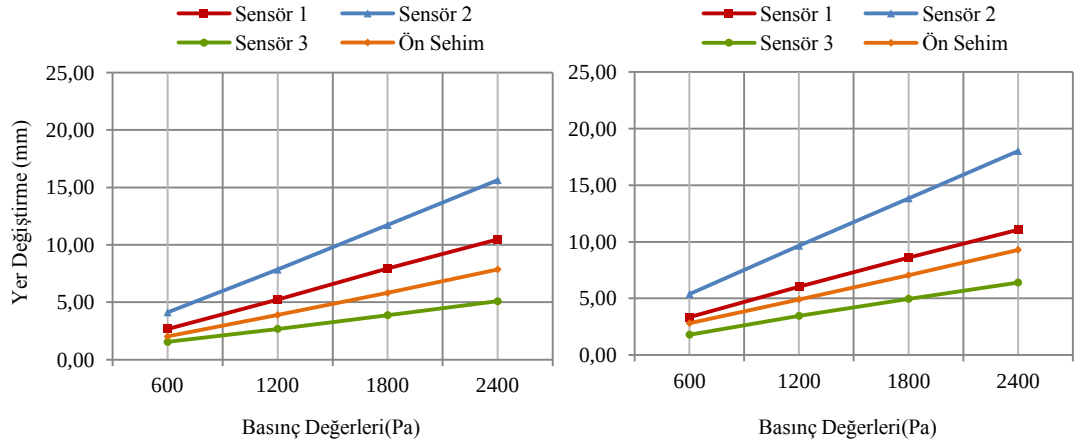
Şekil A.1 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme grafiği (P1).



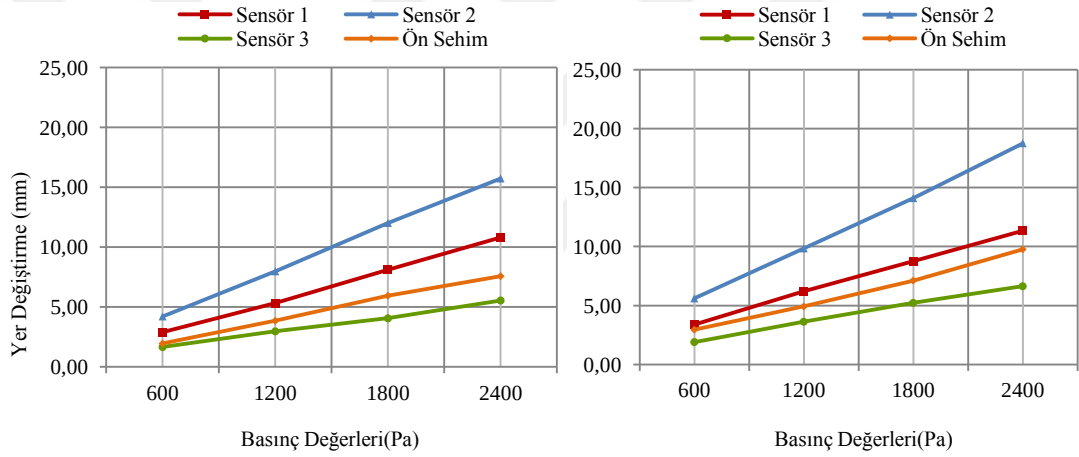
Şekil A.2 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme grafiği (P2).



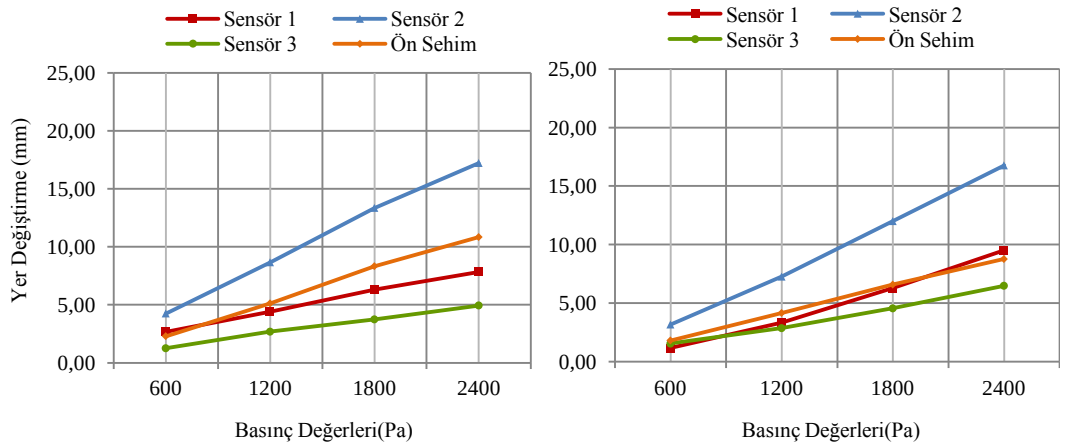
Şekil A.3 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme grafiği (P3).



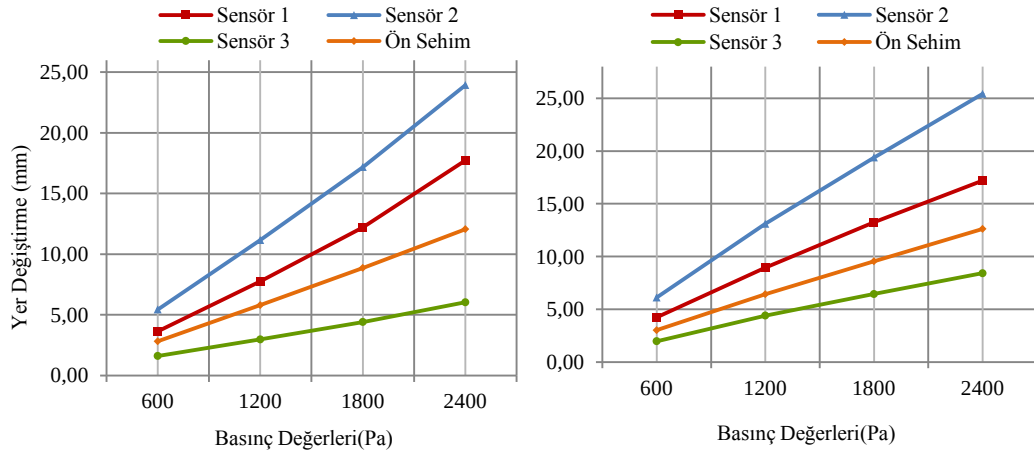
Şekil A.4 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme grafiği (P4).



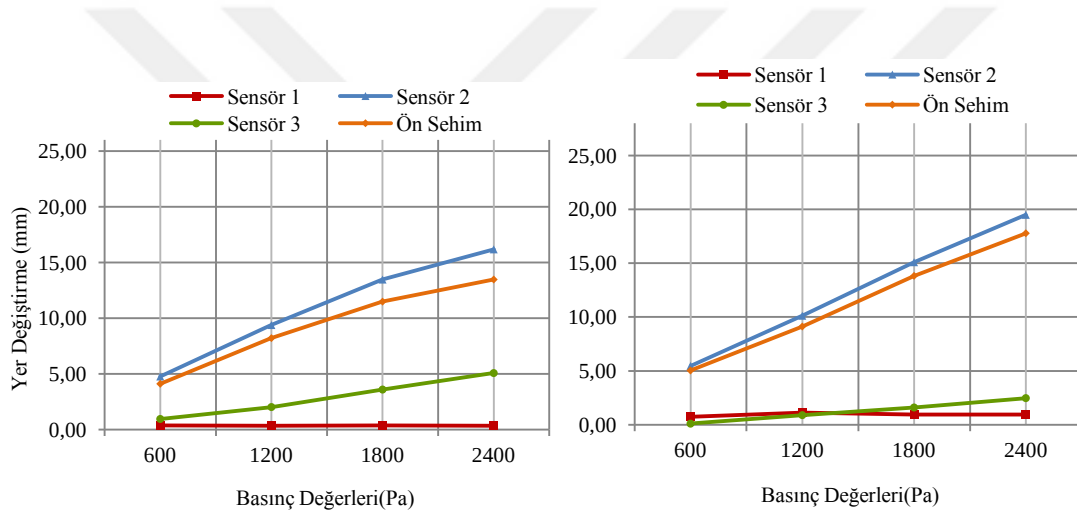
Şekil A.5 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme grafiği (P5).



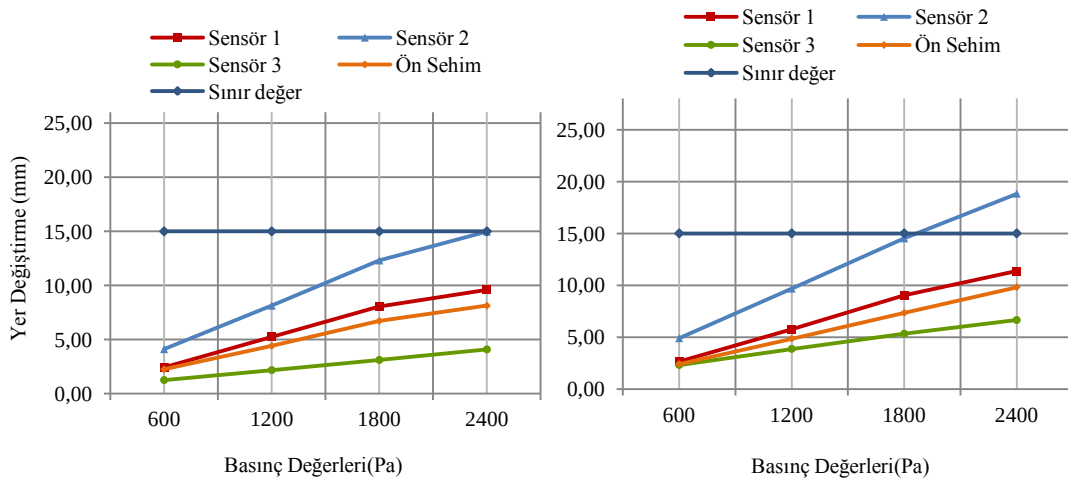
Şekil A.6 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme grafiği (FP1).



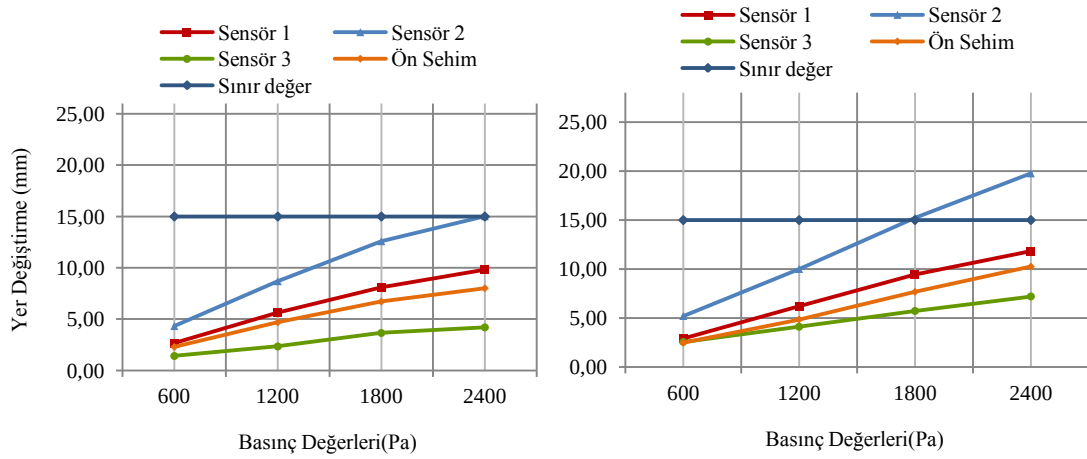
Şekil A.7 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme grafiği (FP2).



Şekil A.8 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme grafiği (FP3).



Şekil A.9 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme grafiği (FP4).



Şekil A.10 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme grafiği (FP5).

Çizelge A.1 : Hava geçirgenlik değerleri (P1).

Deney Basıncı (Pa)	Süre (Sn)	Hava geçirgenlik değeri (m³/h.m²)						Sınır değeri
		Pozitif yükleme			Negatif yükleme			
		1. hava geç. deneyi	2. hava geç. deneyi	3. hava geç. deneyi	1. hava geç. deneyi	2. hava geç. deneyi	3. hava geç. deneyi	
50	10	0,08	0,04	*0,18	0,01	*0,24	0,09	1,50
100	10	0,17	0,14	*0,22	0,08	0,09	*0,10	1,50
150	10	0,24	0,23	*0,28	*0,17	0,11	0,11	1,50
200	10	*0,32	0,23	0,28	0,19	0,16	*0,19	1,50
250	10	0,36	0,29	*0,38	0,24	0,19	*0,25	1,50
300	10	0,30	0,37	*0,41	0,30	0,22	*0,30	1,50
450	10	0,50	0,47	*0,53	0,39	0,30	*0,39	1,50
600	10	0,63	0,57	**0,68	**0,52	0,40	0,51	1,50
*Deney basıncı değerine göre elde edilen maksimum hava geçirgenlik değerleri								
**600 Pa basınç yüklemesinde elde edilen maksimum hava geçirgenlik değerleri								

Çizelge A.2 : Hava geçirgenlik değerleri (P2).

Hava geçirgenlik değeri (m³/h.m²)								
Deney Basıncı (Pa)	Süre (Sn)	Pozitif yükleme			Negatif yükleme			Sınır değeri
		1. hava geç. deneyi	2. hava geç. deneyi	3. hava geç. deneyi	1. hava geç. deneyi	2. hava geç. deneyi	3. hava geç. deneyi	
50	10	*0,14	0,08	0,11	*0,03	0,00	0,00	1,50
100	10	*0,23	0,20	0,19	0,12	0,15	*0,17	1,50
150	10	0,22	0,23	*0,25	0,13	0,12	*0,16	1,50
200	10	0,29	0,29	*0,30	0,18	0,20	*0,20	1,50
250	10	0,38	0,31	*0,50	0,20	*0,26	0,24	1,50
300	10	0,44	0,39	0,46	0,31	0,24	*0,31	1,50
450	10	0,67	0,44	*0,80	*0,43	0,34	0,39	1,50
600	10	0,73	0,75	**0,88	0,53	0,51	**0,56	1,50
*Deney basıncı değerine göre elde edilen maksimum hava geçirgenlik değerleri								
**600 Pa basınç yüklemesinde elde edilen maksimum hava geçirgenlik değerleri								

Çizelge A.3 : Hava geçirgenlik değerleri (P3).

Deney Basıncı (Pa)	Süre (Sn)	Hava geçirgenlik değeri (m³/h.m²)						Sınır değer
		Pozitif yükleme			Negatif yükleme			
		1. hava geç. deneyi	2. hava geç. deneyi	3. hava geç. deneyi	1. hava geç. deneyi	2. hava geç. deneyi	3. hava geç. deneyi	
50	10	*0,27	0,19	0,10	0,17	0,07	*0,17	1,50
100	10	*0,38	0,26	0,27	0,22	0,19	*0,27	1,50
150	10	*0,41	0,38	0,36	0,31	0,32	*0,37	1,50
200	10	*0,53	0,44	0,42	0,33	0,27	*0,35	1,50
250	10	0,50	*0,58	0,51	*0,39	0,38	0,37	1,50
300	10	*0,62	0,57	0,56	*0,48	0,43	0,42	1,50
450	10	*0,89	0,84	0,75	*0,59	0,59	0,56	1,50
600	10	*1,07	1,01	1,01	*0,80	0,74	0,79	1,50
*Deney basıncı değerine göre elde edilen maksimum hava geçirgenlik değerleri								
**600 Pa basınç yüklemesinde elde edilen maksimum hava geçirgenlik değerleri								

Çizelge A.4 : Hava geçirgenlik değerleri (P4).

Hava geçirgenlik değeri (m³/h.m²)								
Deney Basıncı (Pa)	Süre (Sn)	Pozitif yükleme			Negatif yükleme			Sınır değeri
		1. hava geç. deneyi	2. hava geç. deneyi	3. hava geç. deneyi	1. hava geç. deneyi	2. hava geç. deneyi	3. hava geç. deneyi	
50	10	0,15	*0,24	0,19	0,04	0,13	*0,13	1,50
100	10	0,25	0,28	*0,28	0,16	*0,25	0,24	1,50
150	10	0,25	0,37	*0,41	0,15	*0,27	0,26	1,50
200	10	0,41	0,46	*0,51	0,30	0,29	*0,32	1,50
250	10	0,43	0,47	*0,54	0,27	0,38	*0,39	1,50
300	10	0,48	0,57	*0,63	0,30	*0,49	0,40	1,50
450	10	0,74	0,67	*0,75	0,38	*0,64	0,53	1,50
600	10	0,69	0,75	**0,99	0,60	0,68	**0,74	1,50
*Deney basıncı değerine göre elde edilen maksimum hava geçirgenlik değerleri								
**600 Pa basınç yüklemesinde elde edilen maksimum hava geçirgenlik değerleri								

Çizelge A.5 : Hava geçirgenlik değerleri (P5).

Deney Basıncı (Pa)	Süre (Sn)	Hava geçirgenlik değeri (m³/h.m²)						Sınır değeri
		Pozitif yükleme			Negatif yükleme			
		1. hava geç. deneyi	2. hava geç. deneyi	3. hava geç. deneyi	1. hava geç. deneyi	2. hava geç. deneyi	3. hava geç. deneyi	
50	10	0,15	0,21	*0,21	0,15	0,16	*0,17	1,50
100	10	0,30	0,31	*0,32	0,25	0,26	*0,28	1,50
150	10	0,42	0,43	*0,44	0,27	0,28	*0,30	1,50
200	10	0,51	0,53	*0,54	0,35	0,37	*0,39	1,50
250	10	0,56	0,59	*0,61	0,42	0,43	*0,45	1,50
300	10	0,65	0,68	*0,70	0,42	0,44	*0,46	1,50
450	10	0,77	0,80	*0,83	0,55	0,56	*0,59	1,50
600	10	1,01	1,02	*1,03	0,76	0,77	*0,80	1,50

*Deney basıncı değerine göre elde edilen maksimum hava geçirgenlik değerleri
**600 Pa basınç yüklemesinde elde edilen maksimum hava geçirgenlik değerleri

Çizelge A.6 : Hava geçirgenlik değerleri (FP1).

Hava geçirgenlik değeri (m³/h.m²)								
Deney Basıncı (Pa)	Süre (Sn)	Pozitif yükleme			Negatif yükleme			Sınır değeri
		1. hava geç. deneyi	2. hava geç. deneyi	3. hava geç. deneyi	1. hava geç. deneyi	2. hava geç. deneyi	3. hava geç. deneyi	
50	10	0,20	0,18	*0,21	0,13	0,17	*0,19	1,50
100	10	0,32	0,32	*0,33	0,29	*0,32	0,29	1,50
150	10	*0,44	0,41	0,43	*0,45	0,39	0,44	1,50
200	10	0,52	*0,61	0,53	0,54	0,57	*0,62	1,50
250	10	0,55	0,59	*0,59	0,65	*0,67	0,62	1,50
300	10	0,62	0,63	*0,66	0,74	*0,75	0,73	1,50
450	10	0,79	0,79	*0,79	0,95	*1,04	0,97	1,50
600	10	0,89	1,00	**1,04	1,20	1,18	**1,27	1,50
*Deney basıncı değerine göre elde edilen maksimum hava geçirgenlik değerleri								
**600 Pa basınç yüklemesinde elde edilen maksimum hava geçirgenlik değerleri								

Çizelge A.7 : Hava geçirgenlik değerleri (FP2).

Hava geçirgenlik değeri (m³/h.m²)								
Deney Basıncı (Pa)	Süre (Sn)	Pozitif yükleme			Negatif yükleme			Sınır değeri
		1. hava geç. deneyi	2. hava geç. deneyi	3. hava geç. deneyi	1. hava geç. deneyi	2. hava geç. deneyi	3. hava geç. deneyi	
50	10	0,23	0,25	*0,26	0,17	0,20	*0,33	1,50
100	10	0,34	0,42	*0,44	0,29	0,44	*0,53	1,50
150	10	0,45	*0,54	0,53	0,42	0,62	*0,69	1,50
200	10	0,49	*0,68	0,60	0,56	0,72	*0,77	1,50
250	10	0,56	*0,80	0,68	0,69	0,80	*0,88	1,50
300	10	0,67	*0,86	0,79	0,71	0,90	*1,04	1,50
450	10	0,79	*1,24	1,02	1,01	1,16	*1,34	1,50
600	10	0,92	1,51	**1,59	1,24	1,39	**1,56	1,50
*Deney basıncı değerine göre elde edilen maksimum hava geçirgenlik değerleri								
**600 Pa basınç yüklemesinde elde edilen maksimum hava geçirgenlik değerleri								

Çizelge A.8 : Hava geçirgenlik değerleri (FP3).

Deney Basıncı (Pa)	Süre (Sn)	Hava geçirgenlik değeri (m³/h.m²)						Sınır değeri
		Pozitif yükleme			Negatif yükleme			
		1. hava geç. deneyi	2. hava geç. deneyi	3. hava geç. deneyi	1. hava geç. deneyi	2. hava geç. deneyi	3. hava geç. deneyi	
50	10	0,47	*0,53	0,48	0,42	*0,57	0,52	1,50
100	10	0,71	*0,80	0,78	0,70	0,78	*0,81	1,50
150	10	0,93	*1,04	0,95	0,83	*1,02	0,90	1,50
200	10	1,11	*1,25	1,21	1,07	*1,22	1,12	1,50
250	10	1,27	*1,43	1,42	1,27	*1,39	1,25	1,50
300	10	1,45	*1,60	1,55	1,39	*1,55	1,34	1,50
450	10	1,88	*2,18	2,08	1,75	*1,99	1,86	1,50
600	10	2,31	2,72	*2,79	2,04	2,06	*2,23	1,50

*Deney basıncı değerine göre elde edilen maksimum hava geçirgenlik değerleri

**600 Pa basınç yüklemesinde elde edilen maksimum hava geçirgenlik değerleri

Çizelge A.9 : Hava geçirgenlik değerleri (FP4).

Deney Basıncı (Pa)	Süre (Sn)	Hava geçirgenlik değeri (m³/h.m²)						Sınır değer
		Pozitif yükleme			Negatif yükleme			
		1. hava geç. deneyi	2. hava geç. deneyi	3. hava geç. deneyi	1. hava geç. deneyi	2. hava geç. deneyi	3. hava geç. deneyi	
50	10	0,55	0,59	*0,66	0,52	0,58	*0,68	1,50
100	10	0,83	0,87	*1,01	0,82	0,88	*1,04	1,50
150	10	1,04	1,16	*1,24	1,03	1,13	*1,23	1,50
200	10	1,26	1,23	*1,42	1,22	1,34	*1,45	1,50
250	10	1,37	1,47	*1,66	1,36	1,50	*1,64	1,50
300	10	1,57	1,63	*1,88	1,54	1,61	*1,78	1,50
450	10	2,02	2,11	*2,45	1,90	2,04	*2,20	1,50
600	10	2,45	2,51	**3,06	2,23	2,32	**2,40	1,50
*Deney basıncı değerine göre elde edilen maksimum hava geçirgenlik değerleri								
**600 Pa basınç yüklemesinde elde edilen maksimum hava geçirgenlik değerleri								

Çizelge A.10 : Hava geçirgenlik değerleri (FP5).

Hava geçirgenlik değeri (m³/h.m²)								
Deney Basıncı (Pa)	Süre (Sn)	Pozitif yükleme			Negatif yükleme			Sınır değeri
		1. hava geç. deneyi	2. hava geç. deneyi	3. hava geç. deneyi	1. hava geç. deneyi	2. hava geç. deneyi	3. hava geç. deneyi	
50	10	0,59	0,63	*0,65	0,55	0,57	*0,62	1,50
100	10	0,86	0,93	*0,94	0,87	0,93	*0,93	1,50
150	10	1,10	1,22	*1,25	1,16	1,19	*1,20	1,50
200	10	1,36	1,44	*1,48	1,31	1,37	*1,38	1,50
250	10	1,41	1,47	*1,48	1,41	1,47	*1,48	1,50
300	10	1,69	1,76	*1,79	1,64	1,69	*1,74	1,50
450	10	2,19	2,28	*2,32	1,99	2,08	*2,12	1,50
600	10	2,57	2,61	**2,67	2,28	2,34	**2,36	1,50
*Deney basıncı değerine göre elde edilen maksimum hava geçirgenlik değerleri								
**600 Pa basınç yüklemesinde elde edilen maksimum hava geçirgenlik değerleri								

Çizelge A.11 : Maksimum hava geçirgenlik değerleri (m³/h.m²).

Numune Kodu	Yükleme	Zaman (gün)				
		0	90	270	390	450
P	Pozitif	0,68	0,88	1,01	0,99	1,03
	Negatif	0,52	0,56	0,80	0,74	0,80
FP	Pozitif	1,04	1,59	2,79	3,06	2,67
	Negatif	1,27	1,56	2,23	2,40	2,36
Sınır Değeri		1,50	1,50	1,50	1,50	1,50

Çizelge A.12 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme değerleri (P1)

Pozitif- Negatif Basınç (Pa)	Süre (sn)	DENEY KODU: P1/4P				DENEY KODU: P1/4N				
		Yerdeğiştirme (mm)			Ön Sehim (mm)	Yerdeğiştirme (mm)			Ön Sehim (mm)	Sınır Değer (mm)
		Sensör 1	Sensör 2	Sensör 3		Sensör 1	Sensör 2	Sensör 3		
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
600	10	1,54	3,85	1,61	2,28	1,51	4,34	1,51	2,83	15,00
1200	10	4,12	8,58	2,84	5,10	4,63	10,35	3,31	6,38	15,00
1800	10	7,02	13,16	4,14	7,58	8,73	16,88	5,32	9,86	15,00
2400	10	10,17	18,00	5,16	10,34	12,75	23,22	7,15	13,27	15,00
0	10	1,05	0,97	0,29	0,30	2,05	2,12	0,67	0,76	15,00

Çizelge A.13 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme değerleri (P2).

Pozitif- Negatif Basınç (Pa)	Süre (sn)	DENEY KODU: P2/4P				DENEY KODU: P2/4N				
		Yerdeğiştirme (mm)			Ön Sehim (mm)	Yerdeğiştirme (mm)			Ön Sehim (mm)	Sınır Değer (mm)
		Sensör 1	Sensör 2	Sensör 3		Sensör 1	Sensör 2	Sensör 3		
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
600	10	3,41	4,97	1,89	2,32	3,01	5,14	1,68	2,80	15,00
1200	10	7,62	10,60	3,36	5,11	6,40	10,75	3,40	5,85	15,00
1800	10	12,29	16,74	5,04	8,08	10,16	16,71	5,21	9,03	15,00
2400	10	17,04	22,83	6,69	10,97	13,73	22,32	6,91	12,00	15,00
0	10	2,25	1,95	0,55	0,55	1,22	1,53	0,47	0,69	15,00

Çizelge A.14 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme değerleri (P3).

Pozitif- Negatif Basınç (Pa)	Süre (sn)	DENEY KODU: P3/4P				DENEY KODU: P3/4N				
		Yerdeğiştirme (mm)			Ön Sehim (mm)	Yerdeğiştirme (mm)			Ön Sehim (mm)	Sınır Değer (mm)
		Sensör 1	Sensör 2	Sensör 3		Sensör 1	Sensör 2	Sensör 3		
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
600	10	0,02	3,36	1,19	2,76	1,14	6,18	1,19	5,02	15,00
1200	10	0,66	7,38	3,13	5,49	1,78	9,57	2,38	7,49	15,00
1800	10	1,02	10,98	4,71	8,12	1,84	14,85	3,72	12,07	15,00
2400	10	1,38	13,72	5,89	10,09	1,81	20,00	4,99	16,60	15,00
0	10	0,04	1,06	0,08	1,00	0,15	1,18	0,32	0,95	15,00

Çizelge A.15 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme değerleri (P4).

Pozitif-Negatif Basınç (Pa)	Süre (sn)	DENEY KODU: P4/4P				DENEY KODU: P4/4N				
		Yerdeğiştirme (mm)			Ön Sehim (mm)	Yerdeğiştirme (mm)			Ön Sehim (mm)	Sınır Değer (mm)
		Sensör 1	Sensör 2	Sensör 3		Sensör 1	Sensör 2	Sensör 3		
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
600	10	2,67	4,12	1,54	2,02	3,34	5,38	1,80	2,81	15,00
1200	10	5,23	7,84	2,68	3,89	6,02	9,65	3,46	4,91	15,00
1800	10	7,95	11,72	3,87	5,81	8,61	13,84	4,96	7,06	15,00
2400	10	10,46	15,63	5,08	7,86	11,06	18,02	6,40	9,29	15,00
0	10	0,99	0,65	0,16	0,08	1,19	1,32	0,37	0,54	15,00

Çizelge A.16 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme değerleri (P5).

Pozitif-Negatif Basınç (Pa)	Süre (sn)	DENEY KODU: P5/4P				DENEY KODU: P5/4N				
		Yerdeğiştirme (mm)			Ön Sehim (mm)	Yerdeğiştirme (mm)			Ön Sehim (mm)	Sınır Değer (mm)
		Sensör 1	Sensör 2	Sensör 3		Sensör 1	Sensör 2	Sensör 3		
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
600	10	2,88	4,21	1,65	1,95	3,40	5,61	1,91	2,96	15,00
1200	10	5,31	7,98	2,96	3,85	6,22	9,85	3,63	4,93	15,00
1800	10	8,11	12,02	4,05	5,94	8,75	14,11	5,23	7,12	15,00
2400	10	10,80	15,74	5,54	7,57	11,34	18,76	6,64	9,77	15,00
0	10	0,85	0,71	0,18	0,20	1,21	1,34	0,44	0,52	15,00

Çizelge A.17 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme değerleri (FP1).

Pozitif-Negatif Basınç (Pa)	Süre (sn)	DENEY KODU: FP1/4P				DENEY KODU: FP1/4N				
		Yerdeğiştirme (mm)			Ön Sehim (mm)	Yerdeğiştirme (mm)			Ön Sehim (mm)	Sınır Değer (mm)
		Sensör 1	Sensör 2	Sensör 3		Sensör 1	Sensör 2	Sensör 3		
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
600	10	2,67	4,25	1,25	2,29	1,17	3,18	1,55	1,82	15,00
1200	10	4,40	8,66	2,68	5,12	3,34	7,27	2,87	4,17	15,00
1800	10	6,31	13,35	3,74	8,33	6,28	12,01	4,56	6,59	15,00
2400	10	7,83	17,22	4,94	10,84	9,51	16,77	6,49	8,77	15,00
0	10	2,08	2,01	0,31	0,82	0,50	0,38	0,80	0,27	15,00

Çizelge A.18 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme değerleri (FP2).

Pozitif-Negatif Basınç (Pa)	Süre (sn)	DENEY KODU: FP2/4P				DENEY KODU: FP2/4N				
		Yerdeğiştirme (mm)			Ön Sehim (mm)	Yerdeğiştirme (mm)			Ön Sehim (mm)	Sınır Değer (mm)
		Sensör 1	Sensör 2	Sensör 3		Sensör 1	Sensör 2	Sensör 3		
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
600	10	3,64	5,44	1,61	2,82	4,23	6,11	1,97	3,01	15,00
1200	10	7,76	11,16	2,97	5,80	8,95	13,10	4,40	6,43	15,00
1800	10	12,22	17,18	4,41	8,87	13,25	19,39	6,44	9,55	15,00
2400	10	17,73	23,94	6,03	12,06	17,20	25,42	8,41	12,62	15,00
0	10	2,25	2,07	0,21	0,84	1,43	1,36	0,75	0,27	15,00

Çizelge A.19 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme değerleri (FP3).

Pozitif-Negatif Basınç (Pa)	Süre (sn)	DENEY KODU: FP3/4P				DENEY KODU: FP3/4N				
		Yerdeğiştirme (mm)			Ön Sehim (mm)	Yerdeğiştirme (mm)			Ön Sehim (mm)	Sınır Değer (mm)
		Sensör 1	Sensör 2	Sensör 3		Sensör 1	Sensör 2	Sensör 3		
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
600	10	0,36	4,76	0,95	4,11	0,75	5,46	0,10	5,04	15,00
1200	10	0,33	9,38	2,02	8,21	1,11	10,12	0,89	9,12	15,00
1800	10	0,37	13,46	3,59	11,48	0,94	15,09	1,60	13,82	15,00
2400	10	0,34	16,17	5,07	13,47	0,95	19,49	2,47	17,78	15,00
0	10	0,02	0,64	0,18	0,54	0,06	0,87	1,01	0,34	15,00

Çizelge A.20 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme değerleri (FP4).

Pozitif-Negatif Basınç (Pa)	Süre (sn)	DENEY KODU: FP4/4P				DENEY KODU: FP4/4N				
		Yerdeğiştirme (mm)			Ön Sehim (mm)	Yerdeğiştirme (mm)			Ön Sehim (mm)	Sınır Değer (mm)
		Sensör 1	Sensör 2	Sensör 3		Sensör 1	Sensör 2	Sensör 3		
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
600	10	2,45	4,11	1,26	2,26	2,66	4,90	2,32	2,41	15,00
1200	10	5,24	8,13	2,18	4,42	5,78	9,68	3,87	4,86	15,00
1800	10	8,05	12,31	3,12	6,73	9,03	14,52	5,33	7,34	15,00
2400	10	9,59	14,97	4,09	8,13	11,37	18,83	6,65	9,82	15,00
0	10	0,58	0,58	0,16	0,21	0,83	0,78	0,42	0,16	15,00

Çizelge A.21 : Pozitif ve negatif yükleme için yerdeğiştirme değerleri (FP5).

Pozitif- Negatif Basınç (Pa)	Süre (sn)	DENEY KODU: FP5/4P				DENEY KODU: FP5/4N				
		Yerdeğiştirme (mm)			Ön Sehim (mm)	Yerdeğiştirme (mm)			Ön Sehim (mm)	Sınır Değer (mm)
		Sensör 1	Sensör 2	Sensör 3		Sensör 1	Sensör 2	Sensör 3		
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1200	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
600	10	2,66	4,34	1,42	2,30	2,91	5,21	2,56	2,48	15,00
1200	10	5,65	8,70	2,35	4,70	6,21	10,01	4,11	4,85	15,00
1800	10	8,11	12,60	3,66	6,72	9,44	15,25	5,72	7,67	15,00
2400	10	9,81	15,03	4,21	8,02	11,84	19,77	7,20	10,25	15,00
0	10	0,61	0,62	0,18	0,23	0,87	0,85	0,50	0,17	15,00

Çizelge A.22 : Sismik yükleme öncesi ve sonrası hava geçirgenlik değerleri (P1),(m³/h.m²).

Deney Basıncı (Pa)	Sismik yükleme öncesi		Sismik yükleme sonrası		600 Pa'daki Pozitif yükleme farkı	600 Pa'daki Negatif yükleme farkı
	FP1/5P	FP1/5N	FP1/8P	FP1/8N		
50	0,04	0,24	0,18	0,09	0,110	0,110
100	0,14	0,09	0,22	0,10		
150	0,23	0,11	0,28	0,11		
200	0,23	0,16	0,28	0,19		
250	0,29	0,19	0,38	0,25		
300	0,37	0,22	0,41	0,30		
450	0,47	0,30	0,53	0,39		
600	0,57	0,40	0,68	0,51		

Çizelge A.23 : Sismik yükleme öncesi ve sonrası hava geçirgenlik değerleri (P2),(m³/h.m²).

Deney Basıncı (Pa)	Sismik yükleme öncesi		Sismik yükleme sonrası		600 Pa'daki Pozitif yükleme farkı	600 Pa'daki Negatif yükleme farkı
	FP1/5P	FP1/5N	FP1/8P	FP1/8N		
50	0,08	0,00	0,11	0,00	0,130	0,050
100	0,20	0,15	0,19	0,17		
150	0,23	0,12	0,25	0,16		
200	0,29	0,20	0,30	0,20		
250	0,31	0,26	0,50	0,24		
300	0,39	0,24	0,46	0,31		
450	0,44	0,34	0,80	0,39		
600	0,75	0,51	0,88	0,56		

Çizelge A.24 : Sismik yükleme öncesi ve sonrası hava geçirgenlik değerleri (P3),(m³/h.m²).

Deney Basıncı (Pa)	Sismik yükleme öncesi		Sismik yükleme sonrası		600 Pa'daki Pozitif yükleme farkı	600 Pa'daki Negatif yükleme farkı
	FP1/5P	FP1/5N	FP1/8P	FP1/8N		
50	0,19	0,07	0,10	0,07	0,080	0,000
100	0,26	0,19	0,27	0,19		
150	0,38	0,32	0,36	0,32		
200	0,44	0,27	0,42	0,27		
250	0,58	0,38	0,51	0,38		
300	0,57	0,43	0,56	0,43		
450	0,84	0,59	0,75	0,59		
600	1,01	0,74	1,09	0,74		

Çizelge A.25 : Sismik yükleme öncesi ve sonrası hava geçirgenlik değerleri (P4),(m³/h.m²).

Deney Basıncı (Pa)	Sismik yükleme öncesi		Sismik yükleme sonrası		600 Pa'daki Pozitif yükleme farkı	600 Pa'daki Negatif yükleme farkı
	FP1/5P	FP1/5N	FP1/8P	FP1/8N		
50	0,24	0,13	0,19	0,13	0,239	0,055
100	0,28	0,25	0,28	0,24		
150	0,37	0,27	0,41	0,26		
200	0,46	0,29	0,51	0,32		
250	0,47	0,38	0,54	0,39		
300	0,57	0,49	0,63	0,40		
450	0,67	0,64	0,75	0,53		
600	0,75	0,68	0,99	0,74		

Çizelge A.26 : Sismik yükleme öncesi ve sonrası hava geçirgenlik değerleri (P5),(m³/h.m²).

Deney Basıncı (Pa)	Sismik yükleme öncesi		Sismik yükleme sonrası		600 Pa'daki Pozitif yükleme farkı	600 Pa'daki Negatif yükleme farkı
	FP1/5P	FP1/5N	FP1/8P	FP1/8N		
50	0,21	0,16	0,21	0,17	0,007	0,023
100	0,31	0,26	0,32	0,28		
150	0,43	0,28	0,44	0,30		
200	0,53	0,37	0,54	0,39		
250	0,59	0,43	0,61	0,45		
300	0,68	0,44	0,70	0,46		
450	0,80	0,56	0,83	0,59		
600	1,02	0,77	1,03	0,80		

Çizelge A.27 : Sismik yükleme öncesi ve sonrası hava geçirgenlik değerleri (FP2),(m³/h.m²).

Deney Basıncı (Pa)	Sismik yükleme öncesi		Sismik yükleme sonrası		600 Pa'daki Pozitif yükleme farkı	600 Pa'daki Negatif yükleme farkı
	FP1/5P	FP1/5N	FP1/8P	FP1/8N		
50	0,25	0,20	0,26	0,33	0,080	0,170
100	0,42	0,44	0,44	0,53		
150	0,54	0,62	0,53	0,69		
200	0,68	0,72	0,60	0,77		
250	0,80	0,80	0,68	0,88		
300	0,86	0,90	0,79	1,04		
450	1,24	1,16	1,02	1,34		
600	1,51	1,63	1,59	1,56		

Çizelge A.28 : Sismik yükleme öncesi ve sonrası hava geçirgenlik değerleri (FP3),(m³/h.m²).

Deney Basıncı (Pa)	Sismik yükleme öncesi		Sismik yükleme sonrası		600 Pa'daki Pozitif yükleme farkı	600 Pa'daki Negatif yükleme farkı
	FP1/5P	FP1/5N	FP1/8P	FP1/8N		
50	0,53	0,57	0,48	0,52	0,066	0,170
100	0,80	0,78	0,78	0,81		
150	1,04	1,02	0,95	0,90		
200	1,25	1,22	1,21	1,12		
250	1,43	1,39	1,42	1,25		
300	1,60	1,55	1,55	1,34		
450	2,18	1,99	2,08	1,86		
600	2,72	2,06	2,79	2,23		

Çizelge A.29 : Sismik yükleme öncesi ve sonrası hava geçirgenlik değerleri (FP4),(m³/h.m²).

Deney Basıncı (Pa)	Sismik yükleme öncesi		Sismik yükleme sonrası		600 Pa'daki Pozitif yükleme farkı	600 Pa'daki Negatif yükleme farkı
	FP1/5P	FP1/5N	FP1/8P	FP1/8N		
50	0,59	0,58	0,66	0,68	0,546	0,079
100	0,87	0,88	1,01	1,04		
150	1,16	1,13	1,24	1,23		
200	1,23	1,34	1,42	1,45		
250	1,47	1,50	1,66	1,64		
300	1,63	1,61	1,88	1,78		
450	2,11	2,04	2,45	2,20		
600	2,51	2,32	3,06	2,40		

Çizelge A.30 : Sismik yükleme öncesi ve sonrası hava geçirgenlik değerleri (FP5),(m³/h.m²).

Deney Basıncı (Pa)	Sismik yükleme öncesi		Sismik yükleme sonrası		600 Pa'daki Pozitif yükleme farkı	600 Pa'daki Negatif yükleme farkı
	FP1/5P	FP1/5N	FP1/8P	FP1/8N		
50	0,63	0,57	0,65	0,62	0,059	0,024
100	0,93	0,93	0,94	0,93		
150	1,22	1,19	1,25	1,20		
200	1,44	1,37	1,48	1,38		
250	1,47	1,47	1,48	1,48		
300	1,76	1,69	1,79	1,74		
450	2,28	2,08	2,32	2,12		
600	2,61	2,34	2,67	2,36		

Çizelge A.31 : P1 numunesi deney sonuçları.

	Deney Adı	Standard	Sınır Değerler	Yükleme	Sonuçlar	Sınıf
Deney 1.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da < 1,5 m³/h.m²	Pozitif	0,89 m³/h.m²	A4
			600 Pa'da < 0,5 m³/h.m	Pozitif	0,26 m³/h.m	
			600 Pa'da < 1,5 m³/h.m²	Negatif	1,20 m³/h.m²	
			600 Pa'da < 0,5 m³/h.m	Negatif	0,35 m³/h.m	
Deney 2.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R7
Deney 3.	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (tasarım yükü)	TS EN 13116	Maks. sehîm değeri 15 mm'den az olmalıdır.	Pozitif	10,84 mm	OK
				Negatif	8,77 mm	OK
			En yüksek basınç değerinde herhangi bir hasar olmamalıdır.	Pozitif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
				Negatif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 4.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da < 1,5 m³/h.m²	Pozitif	1,00 m³/h.m²	A4
			600 Pa'da < 0,5 m³/h.m	Pozitif	0,29 m³/h.m	
			600 Pa'da < 1,5 m³/h.m²	Negatif	1,18 m³/h.m²	
			600 Pa'da < 0,5 m³/h.m	Negatif	0,34 m³/h.m	
Deney 5.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R7
Deney 6.	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	AAMA 501.4	Kiriş Deplasman hareketi sonrasında herhangi bir hasar olmamalıdır.	Çift yön	±34 mm deplasman hareketi sonucu herhangi bir hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 7.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da < 1,5 m³/h.m²	Pozitif	1,04 m³/h.m²	A4
			600 Pa'da < 0,5 m³/h.m	Pozitif	0,30 m³/h.m	
			600 Pa'da < 1,5 m³/h.m²	Negatif	1,27 m³/h.m²	
			600 Pa'da < 0,5 m³/h.m	Negatif	0,37 m³/h.m	
Deney 8.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R7
Deney 9.	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (tasarım yükünün 1.5 katı)	TS EN 13116	En yüksek basınç değerinde herhangi bir hasar olmamalıdır.	Pozitif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
				Negatif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 10.	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	AAMA 501.4	Kiriş Deplasman hareketi sonrasında herhangi bir hasar olmamalıdır.	Çift yön	±34 mm deplasman hareketi sonucu herhangi bir hasar gözlenmemiştir.	OK

Çizelge A.32 : P2 numunesi deney sonuçları.

	Deney Adı	Standard	Sınır Değerler	Yükleme	Sonuçlar	Sınıf
Deney 1.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da $< 1,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	Pozitif	$0,73 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	A4
			600 Pa'da $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}$	Pozitif	$0,21 \text{ m}^3/\text{h.m}$	
			600 Pa'da $< 1,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	Negatif	$0,53 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	
			600 Pa'da $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}$	Negatif	$0,15 \text{ m}^3/\text{h.m}$	
Deney 2.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R7
Deney 3.	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (tasarım yükü)	TS EN 13116	Maks. sehîm değeri 15 mm'den az olmalıdır.	Pozitif	10,97 mm	OK
				Negatif	12,00 mm	OK
			En yüksek basınç değeriinde herhangi bir hasar olmamalıdır.	Pozitif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
				Negatif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 4.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da $< 1,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	Pozitif	$0,75 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	A4
			600 Pa'da $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}$	Pozitif	$0,22 \text{ m}^3/\text{h.m}$	
			600 Pa'da $< 1,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	Negatif	$0,51 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	
			600 Pa'da $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}$	Negatif	$0,16 \text{ m}^3/\text{h.m}$	
Deney 5.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R7
Deney 6.	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	AAMA 501.4	Kiriş Deplasman hareketi sonrasında herhangi bir hasar olmamalıdır.	Çift yön	$\pm 34 \text{ mm}$ deplasman hareketi sonucu herhangi bir hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 7.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da $< 1,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	Pozitif	$0,88 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	A4
			600 Pa'da $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}$	Pozitif	$0,25 \text{ m}^3/\text{h.m}$	
			600 Pa'da $< 1,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	Negatif	$0,56 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	
			600 Pa'da $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}$	Negatif	$0,15 \text{ m}^3/\text{h.m}$	
Deney 8.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R7
Deney 9.	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (tasarım yükünün 1.5 katı)	TS EN 13116	En yüksek basınç değeriinde herhangi bir hasar olmamalıdır.	Pozitif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
				Negatif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 10.	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	AAMA 501.4	Kiriş Deplasman hareketi sonrasında herhangi bir hasar olmamalıdır.	Çift yön	$\pm 34 \text{ mm}$ deplasman hareketi sonucu herhangi bir hasar gözlenmemiştir.	OK

Çizelge A.33 : P3 numunesi deney sonuçları.

	Deney Adı	Standard	Sınır Değerler	Yükleme	Sonuçlar	Sınıf
Deney 1.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da < 1,5 m³/h.m²	Pozitif	1,07 m³/h.m²	A4
			600 Pa'da < 0,5 m³/h.m	Pozitif	0,31 m³/h.m	
			600 Pa'da < 1,5 m³/h.m²	Negatif	0,53 m³/h.m²	
			600 Pa'da < 0,5 m³/h.m	Negatif	0,15 m³/h.m	
Deney 2.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R7
Deney 3.	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (tasarım yükü)	TS EN 13116	Maks. sehîm değeri 15 mm'den az olmalıdır.	Pozitif	10,09 mm	OK
				Negatif	16,60 mm	X
			En yüksek basınç değerinde herhangi bir hasar olmamalıdır.	Pozitif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
				Negatif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 4.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da < 1,5 m³/h.m²	Pozitif	1,01 m³/h.m²	A4
			600 Pa'da < 0,5 m³/h.m	Pozitif	0,32 m³/h.m	
			600 Pa'da < 1,5 m³/h.m²	Negatif	0,74 m³/h.m²	
			600 Pa'da < 0,5 m³/h.m	Negatif	0,21 m³/h.m	
Deney 5.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R7
Deney 6.	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	AAMA 501.4	Kiriş Deplasman hareketi sonrasında herhangi bir hasar olmamalıdır.	Çift yön	±34 mm deplasman hareketi sonucu herhangi bir hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 7.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da < 1,5 m³/h.m²	Pozitif	1,01 m³/h.m²	A4
			600 Pa'da < 0,5 m³/h.m	Pozitif	0,29 m³/h.m	
			600 Pa'da < 1,5 m³/h.m²	Negatif	0,79 m³/h.m²	
			600 Pa'da < 0,5 m³/h.m	Negatif	0,21 m³/h.m	
Deney 8.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R7
Deney 9.	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (tasarım yükünün 1.5 katı)	TS EN 13116	En yüksek basınç değerinde herhangi bir hasar olmamalıdır.	Pozitif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
				Negatif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 10.	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	AAMA 501.4	Kiriş Deplasman hareketi sonrasında herhangi bir hasar olmamalıdır.	Çift yön	±34 mm deplasman hareketi sonucu herhangi bir hasar gözlenmemiştir.	OK

Çizelge A.34 : P4 numunesi deney sonuçları.

	Deney Adı	Standard	Sınır Değerler	Yükleme	Sonuçlar	Sınıf
Deney 1.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da $< 1,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	Pozitif	$0,69 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	4
			600 Pa'da $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}$	Pozitif	$0,20 \text{ m}^3/\text{h.m}$	
			600 Pa'da $< 1,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	Negatif	$0,60 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	
			600 Pa'da $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}$	Negatif	$0,17 \text{ m}^3/\text{h.m}$	
Deney 2.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R5
Deney 3.	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (tasarım yükü)	TS EN 13116	Maks. sehîm değeri 15 mm'den az olmalıdır.	Pozitif	7,86 mm	OK
				Negatif	9,29 mm	OK
			En yüksek basınç değeriinde herhangi bir hasar olmamalıdır.	Pozitif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
				Negatif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 4.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da $< 1,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	Pozitif	$0,75 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	A4
			600 Pa'da $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}$	Pozitif	$0,22 \text{ m}^3/\text{h.m}$	
			600 Pa'da $< 1,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	Negatif	$0,68 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	
			600 Pa'da $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}$	Negatif	$0,20 \text{ m}^3/\text{h.m}$	
Deney 5.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmiştir.	R5
Deney 6.	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	AAMA 501.4	Kiriş Deplasman hareketi sonrasında herhangi bir hasar olmamalıdır.	Çift yön	$\pm 34 \text{ mm}$ deplasman hareketi sonucu herhangi bir hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 7.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da $< 1,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	Pozitif	$0,99 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	A4
			600 Pa'da $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}$	Pozitif	$0,28 \text{ m}^3/\text{h.m}$	
			600 Pa'da $< 1,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	Negatif	$0,74 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	
			600 Pa'da $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}$	Negatif	$0,21 \text{ m}^3/\text{h.m}$	
Deney 8.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmiştir.	R5
Deney 9.	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (tasarım yükünün 1.5 katı)	TS EN 13116	En yüksek basınç değeriinde herhangi bir hasar olmamalıdır.	Pozitif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
				Negatif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 10.	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	AAMA 501.4	Kiriş Deplasman hareketi sonrasında herhangi bir hasar olmamalıdır.	Çift yön	$\pm 34 \text{ mm}$ deplasman hareketi sonucu herhangi bir hasar gözlenmemiştir.	OK

Çizelge A.35 : P5 numunesi deney sonuçları.

	Deney Adı	Standard	Sınır Değerler	Yükleme	Sonuçlar	Sınıf
Deney 1.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da < 1,5 m³/h.m²	Pozitif	1,01 m³/h.m²	A4
			600 Pa'da < 0,5 m³/h.m	Pozitif	0,29 m³/h.m	
			600 Pa'da < 1,5 m³/h.m²	Negatif	0,76 m³/h.m²	
			600 Pa'da < 0,5 m³/h.m	Negatif	0,22 m³/h.m	
Deney 2.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmiştir.	R5
Deney 3.	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (tasarım yükü)	TS EN 13116	Maks. sehîm değeri 15 mm'den az olmalıdır.	Pozitif	7,57 mm	OK
				Negatif	9,77 mm	OK
			En yüksek basınç değerinde herhangi bir hasar olmamalıdır.	Pozitif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
				Negatif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 4.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da < 1,5 m³/h.m²	Pozitif	1,02 m³/h.m²	A4
			600 Pa'da < 0,5 m³/h.m	Pozitif	0,30 m³/h.m	
			600 Pa'da < 1,5 m³/h.m²	Negatif	0,77 m³/h.m²	
			600 Pa'da < 0,5 m³/h.m	Negatif	0,22 m³/h.m	
Deney 5.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmiştir.	R5
Deney 6.	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	AAMA 501.4	Kiriş Deplasman hareketi sonrasında herhangi bir hasar olmamalıdır.	Çift yön	±34 mm deplasman hareketi sonucu herhangi bir hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 7.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da < 1,5 m³/h.m²	Pozitif	1,03 m³/h.m²	A4
			600 Pa'da < 0,5 m³/h.m	Pozitif	0,30 m³/h.m	
			600 Pa'da < 1,5 m³/h.m²	Negatif	0,80 m³/h.m²	
			600 Pa'da < 0,5 m³/h.m	Negatif	0,23 m³/h.m	
Deney 8.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R5
Deney 9.	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (tasarım yükünün 1.5 katı)	TS EN 13116	En yüksek basınç değerinde herhangi bir hasar olmamalıdır.	Pozitif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
				Negatif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 10.	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	AAMA 501.4	Kiriş Deplasman hareketi sonrasında herhangi bir hasar olmamalıdır.	Çift yön	±34 mm deplasman hareketi sonucu herhangi bir hasar gözlenmemiştir.	OK

Çizelge A.36 : FP1 numunesi deney sonuçları.

	Deney Adı	Standard	Sınır Değerler	Yükleme	Sonuçlar	Sınıf
Deney 1.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da < 1,5 m ³ /h.m ²	Pozitif	0,89 m ³ /h.m ²	A4
			600 Pa'da < 0,5 m ³ /h.m	Pozitif	0,26 m ³ /h.m	
			600 Pa'da < 1,5 m ³ /h.m ²	Negatif	1,20m ³ /h.m ²	
			600 Pa'da < 0,5 m ³ /h.m	Negatif	0,35 m ³ /h.m	
Deney 2.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R7
Deney 3.	Su sızdırmazlık deneyi (dinamik)	AAMA 501.1	-	Pozitif	-	-
Deney 4.	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (tasarım yükü)	TS EN 13116	Maks. sehîm değeri 15 mm'den az olmalıdır.	Pozitif	10,84 mm	OK
				Negatif	8,77 mm	OK
			En yüksek basınç değerinde herhangi bir hasar olmamalıdır.	Pozitif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
				Negatif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 5.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da < 1,5 m ³ /h.m ²	Pozitif	1,00 m ³ /h.m ²	A4
			600 Pa'da < 0,5 m ³ /h.m	Pozitif	0,29 m ³ /h.m	
			600 Pa'da < 1,5 m ³ /h.m ²	Negatif	1,18 m ³ /h.m ²	
			600 Pa'da < 0,5 m ³ /h.m	Negatif	0,34 m ³ /h.m	
Deney 6.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R7
Deney 7.	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	AAMA 501.4	Kiriş Deplasman hareketi sonrasında herhangi bir hasar olmamalıdır.	Çift yön	±34 mm deplasman hareketi sonucu herhangi bir hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 8.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da < 1,5 m ³ /h.m ²	Pozitif	1,04 m ³ /h.m ²	A4
			600 Pa'da < 0,5 m ³ /h.m	Pozitif	0,30 m ³ /h.m	
			600 Pa'da < 1,5 m ³ /h.m ²	Negatif	1,27 m ³ /h.m ²	
			600 Pa'da < 0,5 m ³ /h.m	Negatif	0,37 m ³ /h.m	
Deney 9.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R7
Deney 10.	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (tasarım yükünün 1.5 katı)	TS EN 13116	En yüksek basınç değerinde herhangi bir hasar olmamalıdır.	Pozitif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
				Negatif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 11.	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	AAMA 501.4	Kiriş Deplasman hareketi sonrasında herhangi bir hasar olmamalıdır.	Çift yön	±34 mm deplasman hareketi sonucu herhangi bir hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 12.	Yorma deneyi (ETAG 17)	ETAG 17	Deney periyodu sonunda numunede herhangi bir hasar olmamalıdır.	Negatif	Hasar gözlenmemiştir.	OK

Çizelge A.37 : FP2 numunesi deney sonuçları.

	Deney Adı	Standard	Sınır Değerler	Yükleme	Sonuçlar	Sınıf
Deney 1.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da < 1,5 m³/h.m²	Pozitif	0,92 m³/h.m²	A4
			600 Pa'da < 0,5 m³/h.m	Pozitif	0,27 m³/h.m	
			600 Pa'da < 1,5 m³/h.m²	Negatif	1,24 m³/h.m²	
			600 Pa'da < 0,5 m³/h.m	Negatif	0,36 m³/h.m	
Deney 2.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R5
Deney 3.	Su sızdırmazlık deneyi (dinamik)	AAMA 501.1	-	Pozitif	-	-
Deney 4.	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (tasarım yükü)	TS EN 13116	Maks. sehîm değeri 15 mm'den az olmalıdır.	Pozitif	12,06 mm	OK
				Negatif	12,62 mm	OK
			En yüksek basınç değerinde herhangi bir hasar olmamalıdır.	Pozitif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
				Negatif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 5.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da < 1,5 m³/h.m²	Pozitif	1,51 m³/h.m²	A3
			600 Pa'da < 0,5 m³/h.m	Pozitif	0,43 m³/h.m	
			600 Pa'da < 1,5 m³/h.m²	Negatif	1,39 m³/h.m²	
			600 Pa'da < 0,5 m³/h.m	Negatif	0,40 m³/h.m	
Deney 6.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R5
Deney 7.	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	AAMA 501.4	Kiriş Deplasman hareketi sonrasında herhangi bir hasar olmamalıdır.	Çift yön	±34 mm deplasman hareketi sonucu herhangi bir hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 8.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da < 1,5 m³/h.m²	Pozitif	1,59 m³/h.m²	A3
			600 Pa'da < 0,5 m³/h.m	Pozitif	0,46 m³/h.m	
			600 Pa'da < 1,5 m³/h.m²	Negatif	1,56 m³/h.m²	
			600 Pa'da < 0,5 m³/h.m	Negatif	0,45 m³/h.m	
Deney 9.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R5
Deney 10.	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (tasarım yükünün 1.5 katı)	TS EN 13116	En yüksek basınç değerinde herhangi bir hasar olmamalıdır.	Pozitif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
				Negatif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 11.	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	AAMA 501.4	Kiriş Deplasman hareketi sonrasında herhangi bir hasar olmamalıdır.	Çift yön	±34 mm deplasman hareketi sonucu herhangi bir hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 12.	Yorma deneyi (ETAG 17)	ETAG 17	Deney periyodu sonunda numunede herhangi bir hasar olmamalıdır.	Negatif	Hasar gözlenmemiştir.	OK

Çizelge A.38 : FP3 numunesi deney sonuçları.

	Deney Adı	Standard	Sınır Değerler	Yükleme	Sonuçlar	Sınıf
Deney 1.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da $< 1,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	Pozitif	$2,31 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	A2
			600 Pa'da $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}$	Pozitif	$0,67 \text{ m}^3/\text{h.m}$	
			600 Pa'da $< 1,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	Negatif	$2,04 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	
			600 Pa'da $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}$	Negatif	$0,59 \text{ m}^3/\text{h.m}$	
Deney 2.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R5
Deney 3.	Su sızdırmazlık deneyi (dinamik)	AAMA 501.1	-	Pozitif	-	-
Deney 4.	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (tasarım yükü)	TS EN 13116	Maks. sehîm değeri 15 mm'den az olmalıdır.	Pozitif	13,47 mm	OK
				Negatif	17,78 mm	OK
			En yüksek basınç değeriinde herhangi bir hasar olmamalıdır.	Pozitif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
				Negatif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 5.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da $< 1,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	Pozitif	$2,72 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	A1
			600 Pa'da $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}$	Pozitif	$0,79 \text{ m}^3/\text{h.m}$	
			600 Pa'da $< 1,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	Negatif	$2,06 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	
			600 Pa'da $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}$	Negatif	$0,64 \text{ m}^3/\text{h.m}$	
Deney 6.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R5
Deney 7.	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	AAMA 501.4	Kiriş Deplasman hareketi sonrasında herhangi bir hasar olmamalıdır.	Çift yön	$\pm 34 \text{ mm}$ deplasman hareketi sonucu herhangi bir hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 8.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da $< 1,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	Pozitif	$2,79 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	A1
			600 Pa'da $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}$	Pozitif	$0,81 \text{ m}^3/\text{h.m}$	
			600 Pa'da $< 1,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	Negatif	$2,23 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	
			600 Pa'da $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}$	Negatif	$0,59 \text{ m}^3/\text{h.m}$	
Deney 9.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R5
Deney 10.	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (tasarım yükünün 1.5 katı)	TS EN 13116	En yüksek basınç değeriinde herhangi bir hasar olmamalıdır.	Pozitif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
				Negatif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 11.	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	AAMA 501.4	Kiriş Deplasman hareketi sonrasında herhangi bir hasar olmamalıdır.	Çift yön	$\pm 34 \text{ mm}$ deplasman hareketi sonucu herhangi bir hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 12.	Yorma deneyi (ETAG 17)	ETAG 17	Deney periyodu sonunda numunede herhangi bir hasar olmamalıdır.	Negatif	Hasar gözlenmemiştir.	OK

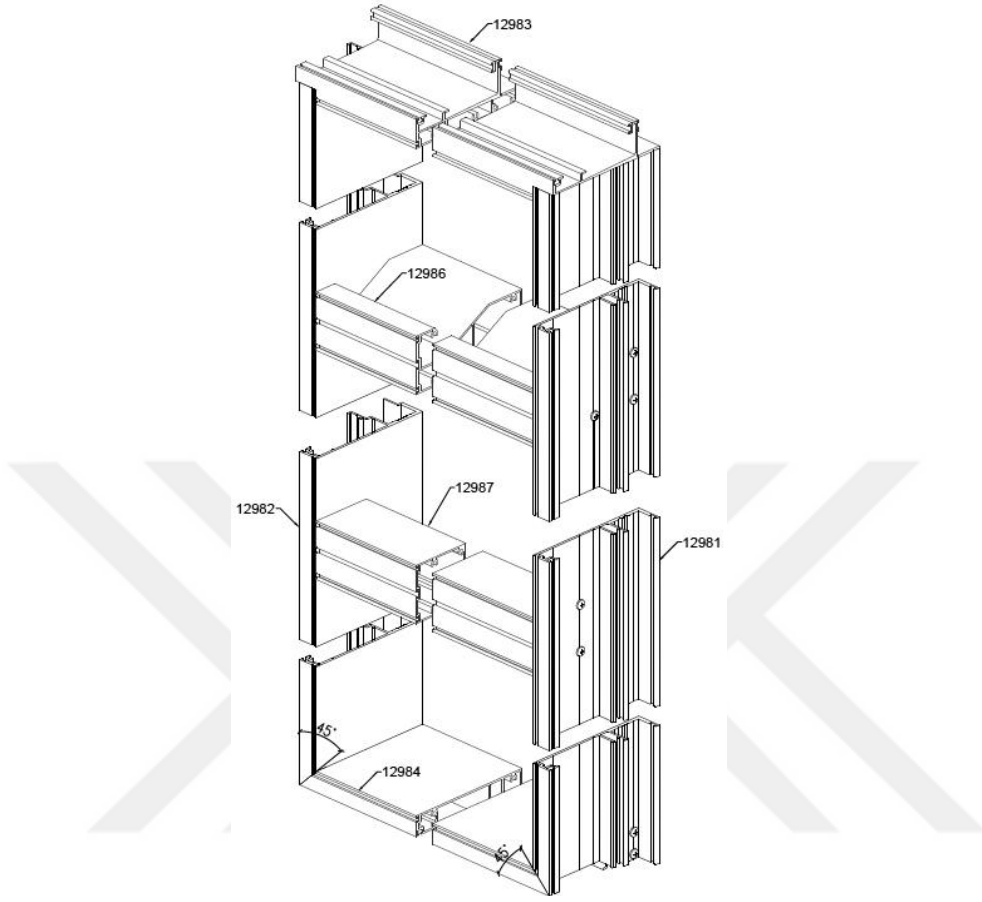
Çizelge A.39 : FP4 numunesi deney sonuçları.

	Deney Adı	Standard	Sınır Değerler	Yükleme	Sonuçlar	Sınıf
Deney 1.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da $< 1,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	Pozitif	$2,45 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	A1
			600 Pa'da $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}$	Pozitif	$0,71 \text{ m}^3/\text{h.m}$	
			600 Pa'da $< 1,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	Negatif	$2,23 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	
			600 Pa'da $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}$	Negatif	$0,64 \text{ m}^3/\text{h.m}$	
Deney 2.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R4
Deney 3.	Su sızdırmazlık deneyi (dinamik)	AAMA 501.1	-	Pozitif	-	-
Deney 4.	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (tasarım yükü)	TS EN 13116	Maks. sehîm değeri 15 mm'den az olmalıdır.	Pozitif	8,13mm	OK
				Negatif	9,82 mm	OK
			En yüksek basınç değerinde herhangi bir hasar olmamalıdır.	Pozitif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
				Negatif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 5.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da $< 1,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	Pozitif	$2,51 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	A1
			600 Pa'da $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}$	Pozitif	$0,73 \text{ m}^3/\text{h.m}$	
			600 Pa'da $< 1,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	Negatif	$2,32 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	
			600 Pa'da $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}$	Negatif	$0,67 \text{ m}^3/\text{h.m}$	
Deney 6.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R4
Deney 7.	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	AAMA 501.4	Kiriş Deplasman hareketi sonrasında herhangi bir hasar olmamalıdır.	Çift yön	$\pm 34 \text{ mm}$ deplasman hareketi sonucu herhangi bir hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 8.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da $< 1,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	Pozitif	$3,06 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	A1
			600 Pa'da $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}$	Pozitif	$0,88 \text{ m}^3/\text{h.m}$	
			600 Pa'da $< 1,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	Negatif	$2,40 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	
			600 Pa'da $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}$	Negatif	$0,69 \text{ m}^3/\text{h.m}$	
Deney 9.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R4
Deney 10.	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (tasarım yükünün 1.5 katı)	TS EN 13116	En yüksek basınç değerinde herhangi bir hasar olmamalıdır.	Pozitif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
				Negatif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 11.	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	AAMA 501.4	Kiriş Deplasman hareketi sonrasında herhangi bir hasar olmamalıdır.	Çift yön	$\pm 34 \text{ mm}$ deplasman hareketi sonucu herhangi bir hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 12.	Yorma deneyi (ETAG 17)	ETAG 17	Deney periyodu sonunda numunede herhangi bir hasar olmamalıdır.	Negatif	Hasar gözlenmemiştir.	OK

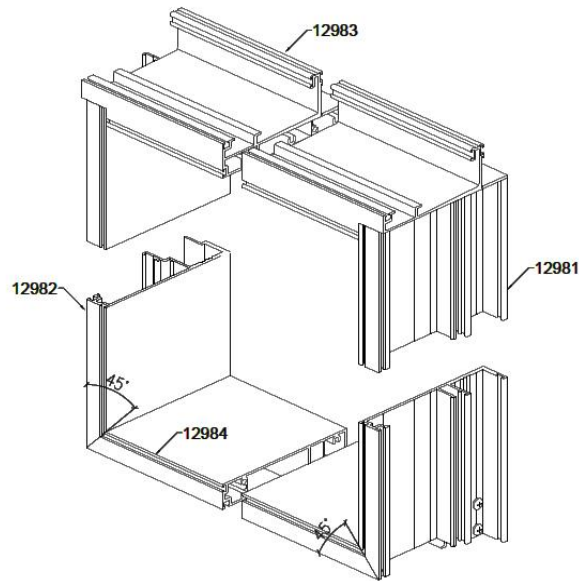
Çizelge A.40 : FP5 numunesi deney sonuçları.

	Deney Adı	Standard	Sınır Değerler	Yükleme	Sonuçlar	Sınıf
Deney 1.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da < 1,5 m ³ /h.m ²	Pozitif	2,57 m ³ /h.m ²	A1
			600 Pa'da < 0,5 m ³ /h.m	Pozitif	0,74 m ³ /h.m	
			600 Pa'da < 1,5 m ³ /h.m ²	Negatif	2,28 m ³ /h.m ²	
			600 Pa'da < 0,5 m ³ /h.m	Negatif	0,66 m ³ /h.m	
Deney 2.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R4
Deney 3.	Su sızdırmazlık deneyi (dinamik)	AAMA 501.1	-	Pozitif	-	-
Deney 4.	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (tasarım yükü)	TS EN 13116	Maks. sehîm değeri 15 mm'den az olmalıdır.	Pozitif	8,02 mm	OK
				Negatif	10,25 mm	OK
			En yüksek basınç değerinde herhangi bir hasar olmamalıdır.	Pozitif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
				Negatif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 5.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da < 1,5 m ³ /h.m ²	Pozitif	2,61 m ³ /h.m ²	A1
			600 Pa'da < 0,5 m ³ /h.m	Pozitif	0,75 m ³ /h.m	
			600 Pa'da < 1,5 m ³ /h.m ²	Negatif	2,34 m ³ /h.m ²	
			600 Pa'da < 0,5 m ³ /h.m	Negatif	0,67 m ³ /h.m	
Deney 6.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R4
Deney 7.	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	AAMA 501.4	Kiriş Deplasman hareketi sonrasında herhangi bir hasar olmamalıdır.	Çift yön	±34 mm deplasman hareketi sonucu herhangi bir hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 8.	Hava geçirgenlik deneyi	TS EN 12152	600 Pa'da < 1,5 m ³ /h.m ²	Pozitif	2,67 m ³ /h.m ²	A1
			600 Pa'da < 0,5 m ³ /h.m	Pozitif	0,77 m ³ /h.m	
			600 Pa'da < 1,5 m ³ /h.m ²	Negatif	2,36 m ³ /h.m ²	
			600 Pa'da < 0,5 m ³ /h.m	Negatif	0,68 m ³ /h.m	
Deney 9.	Su sızdırmazlık deneyi (statik)	TS EN 12154	600 Pa'da herhangi bir su sızıntısı olmamalıdır.	Pozitif	Su sızıntısı gözlenmemiştir.	R4
Deney 10.	Rüzgâr yüküne karşı dayanım deneyi (tasarım yükünün 1.5 katı)	TS EN 13116	En yüksek basınç değerinde herhangi bir hasar olmamalıdır.	Pozitif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
				Negatif	Hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 11.	Sismik dayanım deneyi (tasarım)	AAMA 501.4	Kiriş Deplasman hareketi sonrasında herhangi bir hasar olmamalıdır.	Çift yön	±34 mm deplasman hareketi sonucu herhangi bir hasar gözlenmemiştir.	OK
Deney 12.	Yorma deneyi (ETAG 17)	ETAG 17	Deney periyodu sonunda numunede herhangi bir hasar olmamalıdır.	Negatif	Hasar gözlenmemiştir.	OK

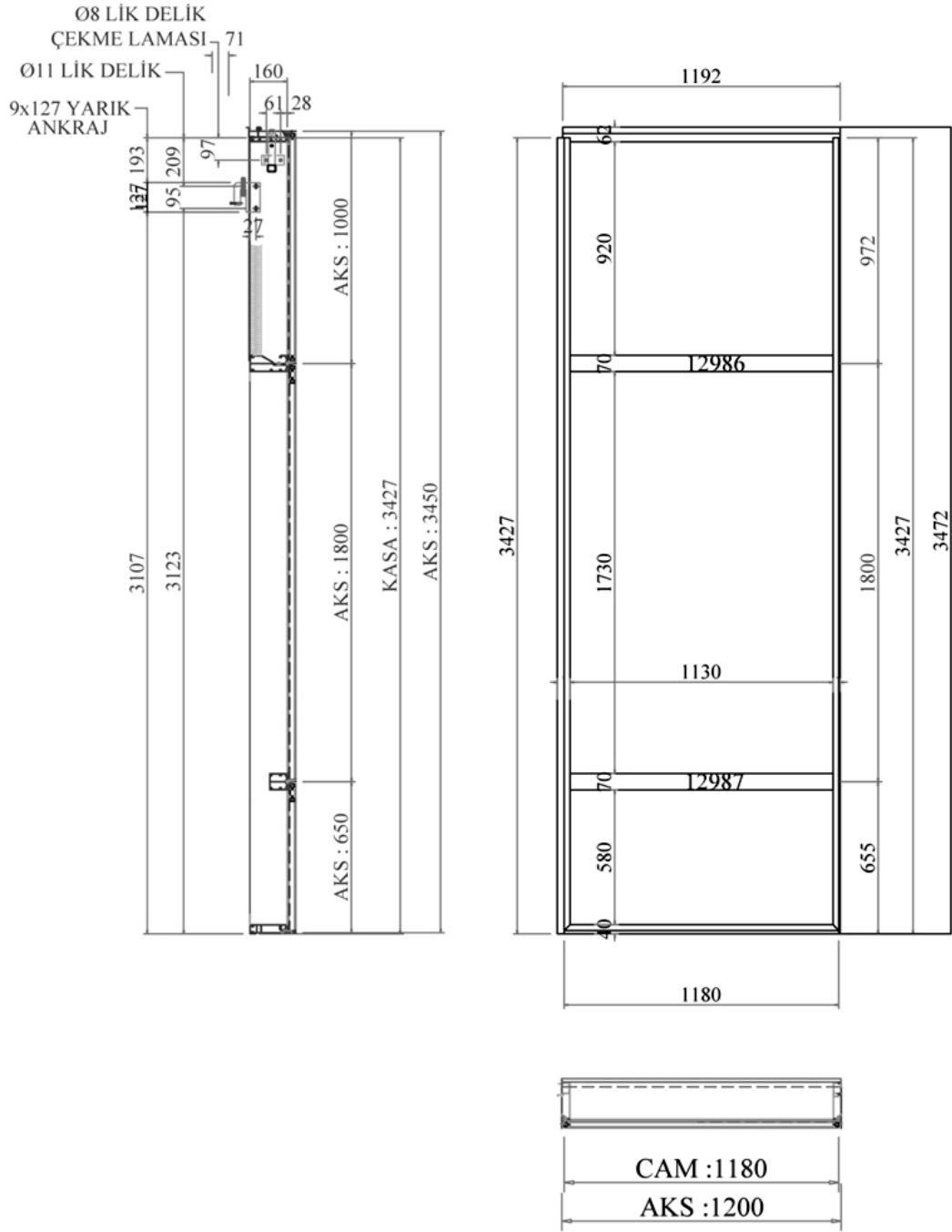
EK B : Panel üretim çizimleri ve deney düzeneği



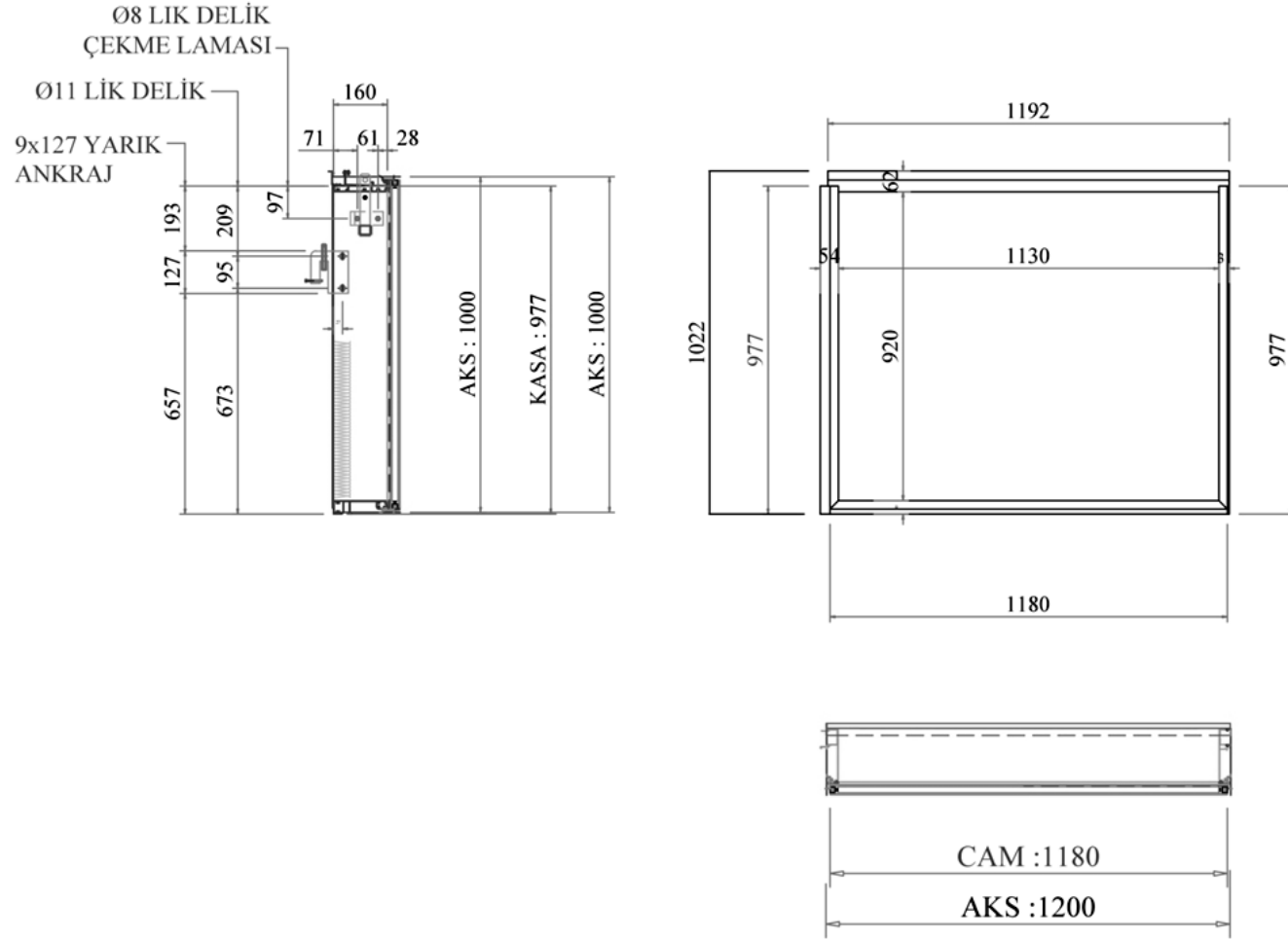
Şekil B.1 : Profil kodları (P002N kodlu panel).



Şekil B.2 : Profil kodları (P001N kodlu panel).



Şekil B.3 : Panel detayı (P002N kodlu panel).



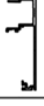
Şekil B.4 : Panel detayı (P001N kodlu panel).

	PROFİL KODU	BOY	ADET	İŞLEM
	12981 SAĞ KASA	3427	2	1 B AÇI
	12982 SOL KASA	3427	2	1 B AÇI
	12983 ÜST KASA	1192	2	2 B KERTME
	12984 ALT KASA	1210	2	2 B ÖZEL 45
	12986 B.TRANZOM	1130	2	DÜZ
	12987 K.TRANZOM	1130	2	DÜZ
	13040 ÜST Y.KPK	1198	2	DÜZ

----- DİK BAĞLANTI MESAFESİ [Üstten Alta] ----- 972-1800-655 (3427) ----- ANKRAJ DELİK MESAFESİ [Üstten Alta] ----- 209-95-3123 (3427)
--

PANEL KODU	P002N
ADET	2
RENK	NAT-E6
PANEL AĞIRLIĞI	164kg (~)

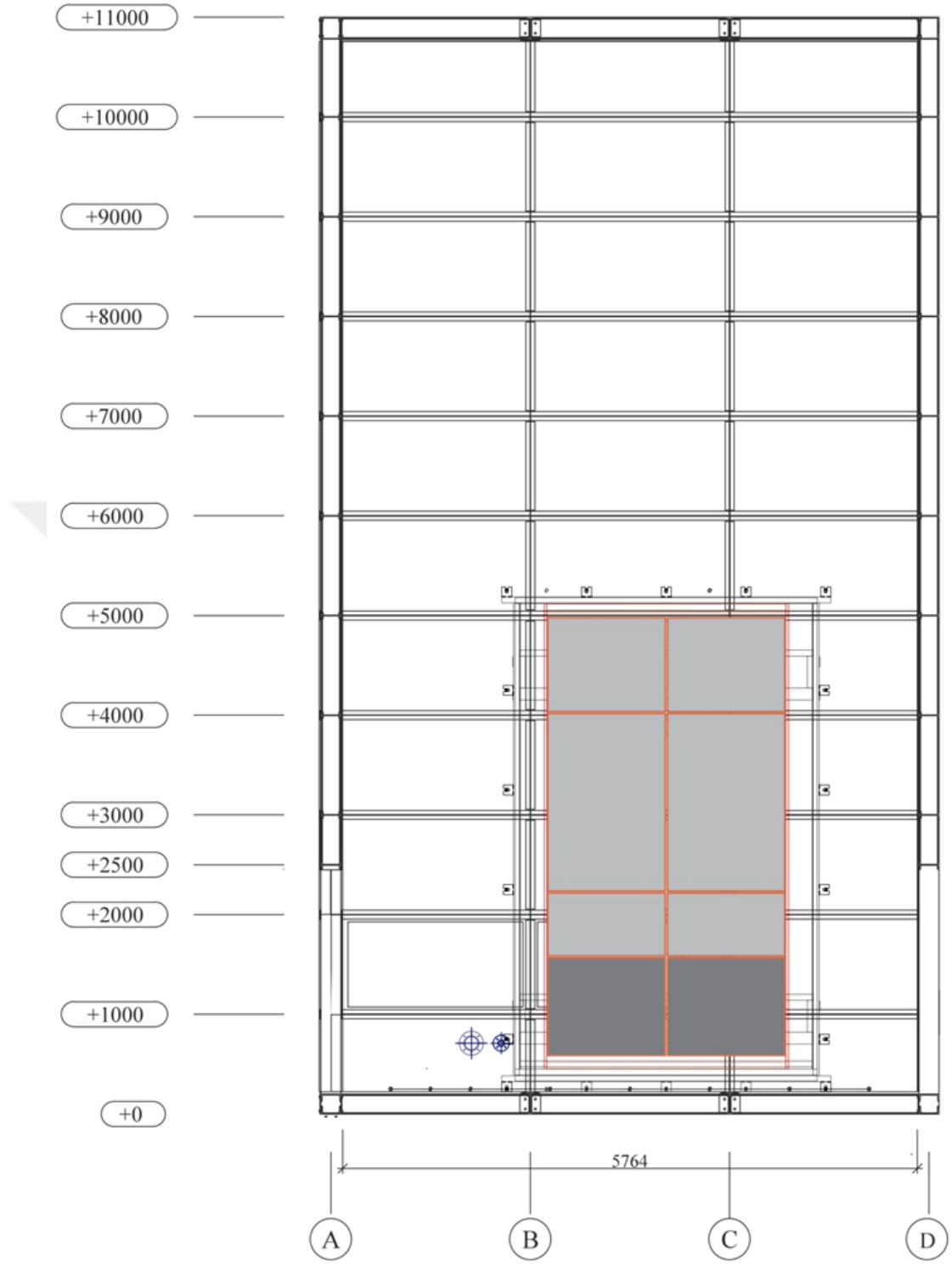
Şekil B.5 : Panel üretimi kesim tablosu (P002N kodlu panel).

PROFİL KODU	BOY	ADET	İŞLEM
 12981 SAĞ KASA	977	2	1 B AÇI
 12982 SOL KASA	977	2	1 B AÇI
 12983 ÜST KASA	1192	2	2 B KERTME
 12984 ALT KASA	1210	2	2 B ÖZEL 45
 13040 ÜST Y.KPK	1198	2	DÜZ

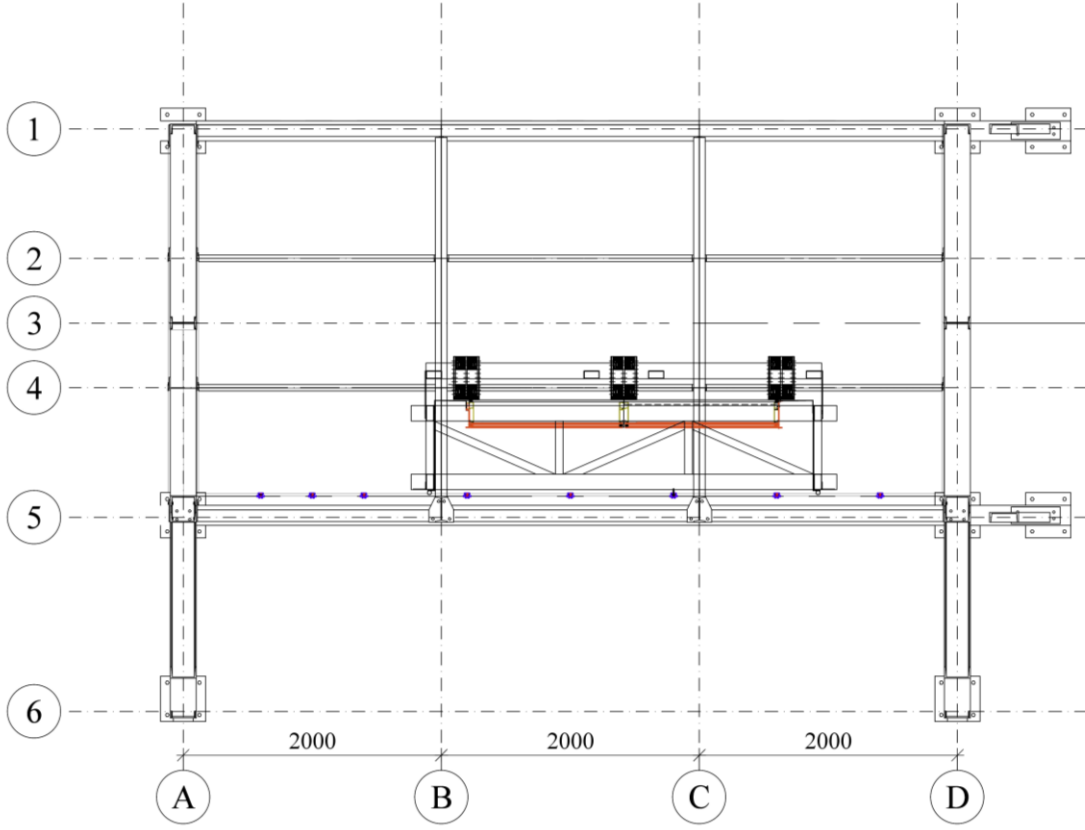
DİK BAĞLANTI MESAFESİ [Üstten Alta]
----- 972-1800-655 (3427)
ANKRAJ DELİK MESAFESİ [Üstten Alta]
----- 209-95-673 (977)

PANEL KODU	P001N
ADET	2
RENK	NAT-E6
PANEL AĞIRLIĞI	164kg (~)

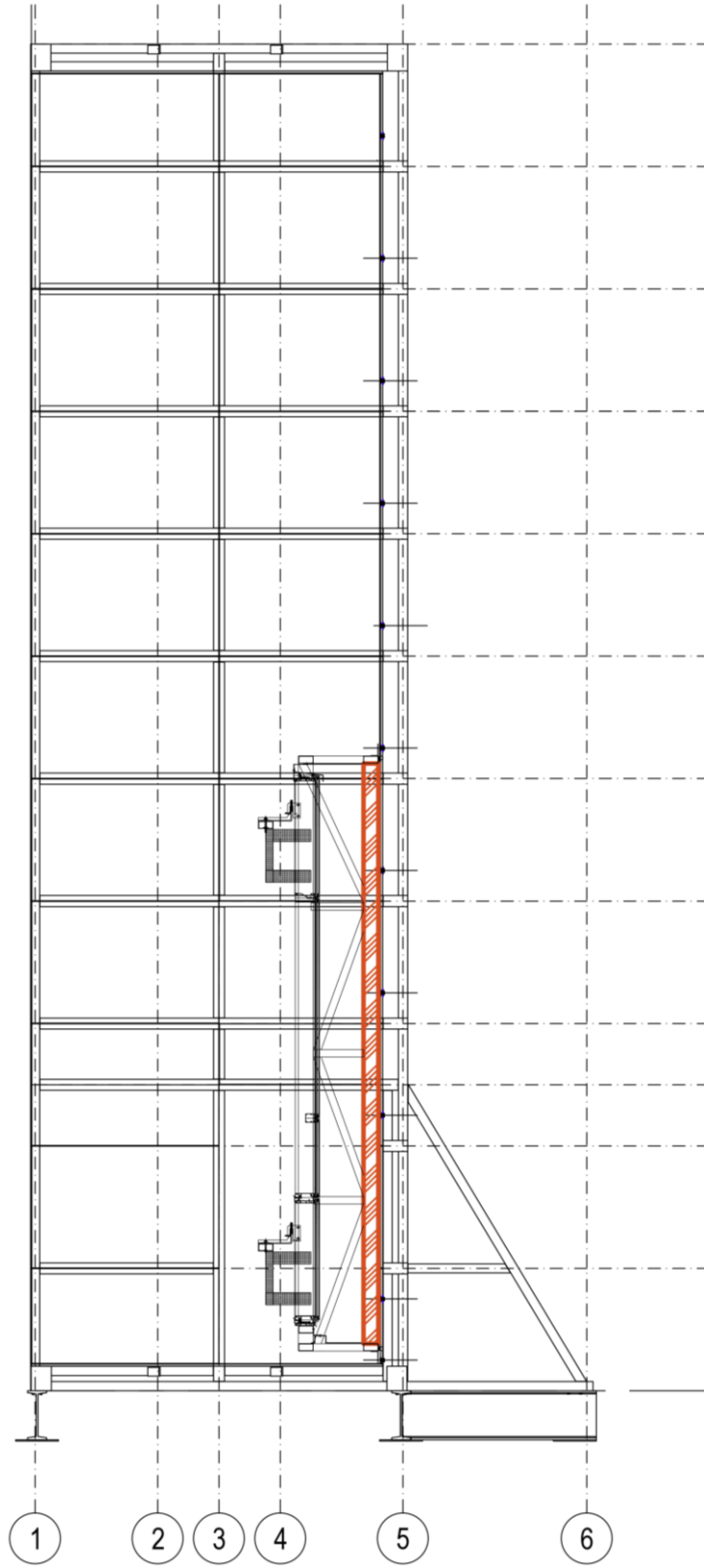
Şekil B.6 : Panel üretimi kesim tablosu (P001N kodlu panel).



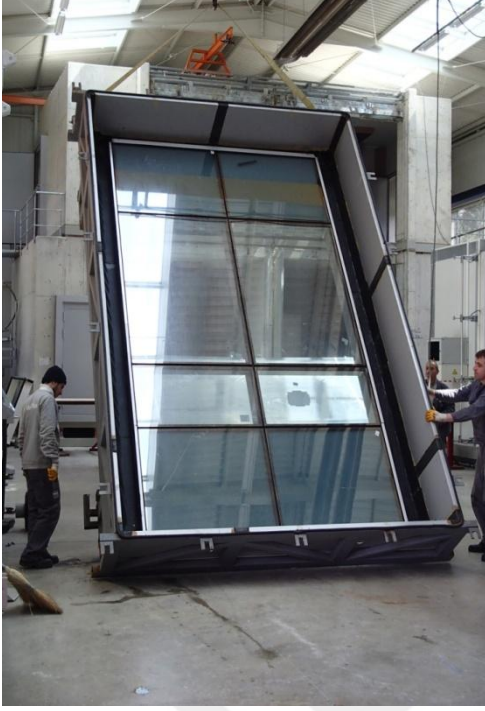
Şekil B.7 : Deney düzeneği yerleşimi ön görünüşü.



Şekil B.8 : Deney düzeneği yerleşimi plan görünüşü.



Şekil B.9 : Deney düzeneği yerleşimi kesit görünüşü.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil B.10 : (a) Numune transfer işlemi, (b), (c) Panel söküm işlemi, (d), (e) Panel birleşim noktasında oluşan hasar durumu.

EK-C: Deneysel Terimler

Deney basıncı: Deney numunesinin iki yüzü arasındaki basınç farkı, Pascal (Pa) cinsinden ifade edilir.

Pozitif basınç: Dış yüzeyin iç yüzeyden daha yüksek basınca maruz kaldığı durumdaki basınç.

Negatif basınç: İç yüzeyin dış yüzeyden daha yüksek basınca maruz kaldığı durumdaki basınç.

Tasarım rüzgâr yükü: Eurocode ENV 1991-2-4'de belirtilen işlemler takip edilerek hesaplanmış ve bu deney esnasında deney numunesi üzerine pozitif ve negatif deney basıncı olarak tesir eden yük.

Artırılmış yük (güvenli yük): Tasarım rüzgâr yükünün 1,5 katı alınarak Pascal cinsinden ifade edilen yük.

Cephede yerdeğiştirme: Eleman üzerindeki bir noktanın elemana dik olacak şekilde ölçülen yerdeğiştirmesi.

Cephede sehim: Bir elemanın cephede maksimum yerdeğiştirmesinden, elemanın her iki ucunun cephede yerdeğiştirmesinin toplamalarının yarısının çıkarılmasıyla bulunur.

Kalıcı Artık Deformasyon (Şekil değiştirme): Uygulanan basıncın kaldırılmasıyla geri dönmeyen (mevcudiyetini devam ettiren) deformasyondur. Birimi Pascal'dır.

Önyüz Deplasmanı: Ölçme yapılan cephe üzerindeki bir noktanın cephe düzlemine göre dik doğrultuda yaptığı deplasmandır. Birimi milimetre'dir. (mm)

Önyüz Sehimi: Yapı ya da cephe elemanları üzerindeki bir noktanın en büyük önyüz deplasmanıdır. A ve B kenarlarında deplasman oluşması durumunda sehim, bu kenarların en son pozisyonu $A'B'$ 'ye göre ölçülür.

Nisbi Önyüz Sehimi: Önyüz sehimi, elemanın ilk boyutuna oranıdır. Şekil 3.1'de verilen AB elemanı için nispi önyüz sehimi f/AB dir.

Hava geçirgenliği: Hava basıncına maruz kaldığı zaman giydirme cephe içerisinden hava geçişi.

Sabit ek yerleri: Giydirme cepheler açılabilir parçaları arasındakiler hariç bütün ek yerleri. Bir pencere, numune içerisinde yer aldığı zaman, sabit ek yeri hesabı için bir panel olarak değerlendirilmelidir.

Sabit ek yeri uzunluğu: Ana hava bariyerinin konumunu göz önünde bulundurarak numune içerisindeki bütün sabit ve açılabilir panellerin (pencereler) çevrelerinin toplamı.

Açılabilir ek yeri uzunluğu: Deney numunesi içerisindeki bütün hareketli çerçevelerin çevrelerinin toplamı.

Toplam alan: Bütün sabit ve açılabilir panellere paralel olarak ölçülen, deney odası içerisinde mahfaza altına alınmış numunenin bütün yüzeylerinin alanlarının toplamıdır. Toplam alan, metre kare cinsinden gösterilir (m²).

Su sızdırmazlık: Giydirme cephenin su sızıntısına direnç gösterme özelliği.

Su sızıntısı: Giydirme cephenin aşağıda verilen kısımlarının sürekli olarak ya da belirli aralıklarla tekrar etmek suretiyle ıslanmasına yol açacak su işlemesi:

Deney numunesinin iç yüzü: Giydirme cephenin dışarıya su tahliyesini sağlayan sisteminin parçası olarak ıslanması tasarlanmamış kısımları.

Su sızdırmazlık sınırı: Numunenin, belirlenen süre boyunca su sızdırmazlığını koruduğu en yüksek deney basıncı.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Emir İLTER
Doğum Tarihi ve Yeri : İstanbul, 24.06.1982
E-posta : emirilter@yahoo.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2004, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği.
- **Yükseklisans** : 2007, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Yapı Mühendisliği.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **İlter, E.,** Tavil, A., Celik, C. O., Seyhan, M., Full-Scale Performance Testing of Unitized Façade Systems, *International Conference on Building Envelope Systems and Technologies (ICBEST)*, June 09-12, 2014 Aachen, Germany.
- **İlter, E.,** Tavil, A., Celik, C., (2015). Full Scale Performance Testing and Evaluation of Unitized Façade Systems, *International Congress on Architectural Envelopes (ICAE)*, May 27-29, San Sebastián, Spain.
- **İlter, E.,** Tavil, A., Celik, C., 2015. Full-Scale Performance Testing and Evaluation of Unitized Curtain Walls, *Journal of Facade Design and Engineering* 3, 39-47.

