

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FOTOVOLTAİK ÇATI SİSTEMLERİNİN TASARIMI İÇİN BİR MODEL
ÖNERİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ayşe MUTLU

Anabilim Dalı : Mimarlık

**Programı : Çevre Kontrolü ve Yapı
Teknolojisi**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Nil TÜRKERİ

Haziran 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FOTOVOLTAİK ÇATI SİSTEMLERİNİN TASARIMI İÇİN BİR MODEL
ÖNERİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşe MUTLU

(502081502)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 09 Haziran 2010

Tez Danışmanı : Doç. Dr. A. Nil TÜRKERİ (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Y. Doç. Dr. İkbal ÇETİNER (İTÜ)
Y. Doç. Dr. Zafer AKDEMİR (YTÜ)

HAZİRAN 2010

ÖNSÖZ

Yorucu ve zahmetli tez çalışmam süresi boyunca benden yardımlarını ve desteğini esirgemeyen değerli danışmanım sayın Nil TÜRKERİ' ne teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm eğitim ve öğretim sürem boyunca, beni eğitime sevk eden, maddi ve manevi desteğini hiç esirgemeyen babam Mehmet MUTLU' ya sonsuz teşekkür ederim.

Mayıs 2010

Ayşe Mutlu
(Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Sorun	1
1.2 Amaç	4
1.3 Kapsam	4
1.4 Yöntem	4
2. FOTOVOLTAİK	5
2.1 Güneş Enerjisi ve Binalarda Kullanımı.....	5
2.2 Fotovoltaik Kullanımının Tarihsel Gelişimi	6
2.3 Binalarda Fotovoltaik Kullanım Olanakları.....	8
2.3.1 Cepelerde Fotovoltaik Kullanım Olanakları	10
2.3.2 Çatı Sistemlerinde Fotovoltaik Kullanım Olanakları.....	13
2.4 Binalarda Fotovoltaik Kullanımını Etkileyen Tasarım Parametreleri.....	17
2.5 Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı ve Çeşitleri.....	25
2.5.1 Kristal Silisyum Hücreler.....	26
2.5.1.1 Tekkristal Silisyum Hücreler	26
2.5.1.2 Çokkristal Silisyum Hücreler	27
2.5.2 İnce Film Hücreler	28
2.5.2.1 Amorf Silisyum Hücreler	28
2.5.2.2 Bakır İndiyum Diselenid Hücreler	28
2.5.2.3 Kadmiyum Tellürid Hücreler	29
2.6 Fotovoltaik Modüller ve Bileşenleri	29
2.6.1 Hücre Bağlantıları	32
2.6.2 Hücre Kapsülleme.....	32
2.7 Fotovoltaik Sistemler	35
2.7.1 Tekil Sistemler	35
2.7.2 Şebeke Bağlı Sistemler	36
3. ÇATI SİSTEMİ.....	39
3.1 Formlarına Göre Çatı Sistemleri	45
3.1.1 Düz çatı	45
3.1.2 Eğik çatı	46
3.1.3 Eğri çatı	46
3.2 Çatı Sistemi Bileşenleri	46
3.2.1 Çatı taşıyıcı sistemi	48

3.2.1.1 Çatı taşıyıcı sistem çeşitleri	49
3.2.1.2 Çatı taşıyıcı sistem bileşenleri	53
3.2.2 Çatı kaplaması	67
3.2.2.1 Kil esaslı kiremit çatı kaplamaları	70
3.2.2.2 Çimento esaslı çatı kaplamaları	73
3.2.2.3 Metal esaslı çatı kaplamaları	77
3.2.2.4 Bitüm esaslı çatı kaplamaları	85
3.2.2.5 Plastik (polimer) esaslı çatı kaplamaları	88
3.2.2.6 Diğer çatı kaplamaları	89
3.2.3 Isı yalıtımı	91
3.2.3.1 Doğada var olan malzemelerden üretilen ısı yalıtımları	92
3.2.3.2 Doğada varolmayan ve sentetik olarak üretilen ısı yalıtımları	97
3.2.4 Su yalıtımı	101
3.2.4.1 Serilerek uygulanan su yalıtımı örtüleri	101
3.2.4.2 Sürülerek uygulanan su yalıtımı malzemeleri	106
3.2.5 Buhar kesici ve dengeleyici malzemeler	108
4. FOTOVOLTAİK ÇATI SİSTEMİ TASARIMI İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ	110
4.1 Mimari Tasarım	110
4.2 Yapısal Tasarım	112
4.2.1 Teras çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistemin yapısal tasarımı	113
4.2.2 Teras çatı sistemi ile bütünleştirilen fotovoltaik sistemin yapısal tasarımı	119
4.2.3 Eğik çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistemin yapısal tasarımı	120
4.2.4 Eğik çatı sistemi ile bütünleştirilen fotovoltaik sistemin yapısal tasarımı	126
5. MODELİN UYGULANMASI	133
5.1 Teras Çatı Sistemi Üzerine Eklenen Fotovoltaik Sistem Tasarımı	133
5.1.1 Teras çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistemin mimari tasarım süreci	134
5.1.2 Teras çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistemin yapısal tasarım süreci	134
5.2 Teras Çatı Sistemi ile Bütünleştirilen Fotovoltaik Sistem Tasarımı	141
5.2.1 Teras çatı sistemi ile bütünleştirilen fotovoltaik sistemin mimari tasarım süreci	141
5.2.2 Teras çatı sistemi ile bütünleştirilen fotovoltaik sistemin yapısal tasarım süreci	142
5.3 Eğik Çatı Sistemi Üzerine Eklenen Fotovoltaik Sistem Tasarımı	142
5.3.1 Eğik çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistemin mimari tasarım süreci	143
5.3.2 Eğik çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistemin yapısal tasarım süreci	143
5.4 Eğik Çatı Sistemi ile Bütünleştirilen Fotovoltaik Sistem Tasarımı	149
5.4.1 Eğik çatı sistemi ile bütünleştirilen fotovoltaik sistemin mimari tasarım süreci	149
5.4.2 Eğik çatı sistemi ile bütünleştirilen fotovoltaik sistemin yapısal tasarım süreci	149
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	155
KAYNAKLAR	159
EKLER	169

KISALTMALAR

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Türkiye’de binalarda uygulanmış fotovoltaik sistemler.....	2
Çizelge 2.1 : Farklı eğimlerde ve yönlerde yerleşmiş fotovoltaik sistemlerin enerji üretimlerinin karşılaştırılması (MWh/y)	18
Çizelge 2.2 : Standart test koşullarında ortalama hücre ve modül verimlilikleri	26
Çizelge 2.3 : Modül tasarımını etkileyen değişkenler ve tasarım seçenekleri.....	31
Çizelge 2.4 : Fotovoltaik sistemlerinin enerji dönüşümüne göre sınıflandırılması ...	35
Çizelge 3.1 : Çatı sistemi tasarım süreci girdileri.....	43
Çizelge 3.2 : Formlarına göre çatı tipleri.....	45
Çizelge 3.3 : Kaplama malzemelerinin yansıtıcılık oranları	68
Çizelge 3.4 : Kiremitlerin ve tespit çitalarının özellikleri	71
Çizelge 3.5 : Metal malzemelerin ısıl genleşme katsayıları	78
Çizelge 3.6 : Isı yalıtımı malzemelerin özellikleri.....	92
Çizelge 3.7 : Polimer su yalıtımı örtüleri.....	105
Çizelge 3.8 : Çatılarda kullanılan bitümün farklı iklim bölgelerine göre penetrasyon değerleri	106

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Teras çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistemlerin ülkemizdeki uygulamaları.....	3
Şekil 2.1 : Almanya’da gerçekleştirilen ilk yapı elemanları ile bütünleştirilmiş fotovoltaik çatı ve cephe uygulamaları:a,b [12]; Hollanda’da bulunan Nieuwland yerleşkesi:c,d [17].....	8
Şekil 2.2 : Muğla Üniversitesi’nde gerçekleştirilen fotovoltaik entegre edilmiş çatı ve cephe uygulamaları [18].....	9
Şekil 2.3 : Fotovoltaik kullanılabilen yapı elemanları.....	10
Şekil 2.4 : Silikon ve kapaklı cam cephe; çift cam ve ısı yalıtımsız doğramalı tespit detayları [24].	11
Şekil 2.5 : Cephede birleşim yerlerinden ve arka yüzeyden noktasal tespit [29].....	11
Şekil 2.6 : Delft’te cephe ve güneş kırıcı fotovoltaik uygulaması.....	12
Şekil 2.7 : Hollanda’nın Nieuw Sloten yerleşkesinde bulunan fotovoltaik kaplanmış çatı sistemi detayları.	13
Şekil 2.8 : Fotovoltaik metal çatı kaplama levhası, fotovoltaik kiremit.....	14
Şekil 2.9 : Diyarbakır güneş evi [26] ve İTÜ Ekrem Elginkan Lisesi çatılarının üzerine ek olarak tespit edilen fotovoltaik sistemler.....	14
Şekil 2.10 : Den Haag’da teras çatı üzerine fotovoltaik panellerin yatay yerleştirildiği bir uygulama.	15
Şekil 2.11 : Nieuwland yerleşkesinde saçaklarda yarı geçirgen fotovoltaik bileşenlerin kullanımı.....	16
Şekil 2.12 : Fotovoltaik kullanımını desteklemek için planlama aşamasında alınabilecek önlemler [9].....	16
Şekil 2.13 : Havalandırılmalı ve ısı güneş kolektörlü modül uygulamaları [20].....	20
Şekil 2.14 : Gölgeleme nedeniyle elektrik akımının azalması [23].....	21
Şekil 2.15 : a) Güneş ışını çarpmadan önce yarıiletken, b) Güneş ışını çarptıktan sonra yarıiletken [28].	25
Şekil 2.16 : a) Hücre, b) Modül, c) Dizi [32].	26
Şekil 2.17 : Kare, yarı kare ve daire şeklindeki tekkristal silisyum hücreler [29].....	27
Şekil 2.18 : (a) Yansıma önleyici tabakasız çokkristal silisyum hücre, (b) Yansıma önleyici tabakalı çokkristal silisyum hücre, (c) Yansıma önleyici tabakalı ve elektrik yolları eklenmiş çokkristal silisyum hücre [29].	27
Şekil 2.19 : Kristal silisyum (sağdaki) ve ince film(soldaki) hücre türleri arasında kalınlık, malzeme kullanım miktarı ve harcanan enerji karşılaştırması [29].....	28
Şekil 2.20 : (a) Amorf Silisyum, (b) Bakır İndiyum Diselenid, (c) Kadmiyum Tellürid hücre yapıları [29].	29
Şekil 2.21 : Farklı hücre formları ve dizilimleri [20].	30
Şekil 2.22 : Kristal silisyum hücrelerin elektrik bağlantıları [29].	32
Şekil 2.23 : İnce film hücrelerin elektrik bağlantıları [29].	32

Şekil 2.24 : Cam-cam modül(EVA); Cam-film modül(EVA); Metal-film modül(EVA); Film-film modül(EVA) [29].	33
Şekil 2.25 : Teflon modül [29].	33
Şekil 2.26 : Cam-cam modül(dökme reçine) [29].	34
Şekil 2.27 : Cam-cam modül (amorfl silisyum veya kadmiyum tellürid hücreler EVA ile) [29].	34
Şekil 2.28 : Cam-cam modül (Bakır İndiyum Diselenid Hücreler EVA ile) [29].	34
Şekil 2.29 : Cam-cam modül (ince film hücreler reçine ile) [29].	35
Şekil 2.30 : Tekil sistem [20].	36
Şekil 2.31 : Şebekeye bağlı sistem [20].	37
Şekil 3.1 : Bina yaşam döngüsü [34].	41
Şekil 3.2 : Kirişli taşıyıcı sistemlerde kullanılan yüzeysel ve çubuk taşıyıcı elemanlar ve bu sistemlerle kurulabilen çatı formları.	50
Şekil 3.3 : Oturtma çatı örneği [42].	51
Şekil 3.4 : Asma çatı örneği [42].	52
Şekil 3.5 : Karma çatı örnekleri [42].	52
Şekil 3.6 : Yüzeysel taşıyıcı sistemlerle kurulabilen çatı formları.	53
Şekil 3.7 : Çubuk taşıyıcı elemanlar [44].	54
Şekil 3.8 : Çubuk taşıyıcı elemanlar ve geçtikleri açıklık mesafeleri.	54
Şekil 3.9 : Farklı lamine ahşap kiriş kesitleri [46].	55
Şekil 3.10 : Ahşap kutu kirişler [48].	55
Şekil 3.11 : Çelik I kirişler [49].	55
Şekil 3.12 : Çelik kirişlerde boşlukların açılması [50].	55
Şekil 3.13 : Dolu gövdeli bileşik kirişler [51].	56
Şekil 3.14 : Farklı ahşap düz kafes kirişler [46].	56
Şekil 3.15 : Düzlem kafes kiriş çeşitleri [52].	56
Şekil 3.16 : Üçgen kafes kiriş çeşitleri [53].	56
Şekil 3.17 : Farklı lamine ahşap kemer formları [48].	57
Şekil 3.18 : Tonozsal uzay kafes örnekleri [42].	58
Şekil 3.19 : Kubbesel uzay kafes örnekleri, plan ve kesitleri [42].	58
Şekil 3.20 : Çelik trapezoidal levha üzerine beton döşeme [56].	59
Şekil 3.21 : Gazbeton döşeme panellerinin eğimli çatıda uygulanması [57].	60
Şekil 3.22 : Gazbeton döşeme panellerinin düz çatıda uygulanması [57].	60
Şekil 3.23 : Yüzeysel taşıyıcı elemanlar.	61
Şekil 3.24 : İki yüzlü, tek yüzlü ve T-başlıklı, tek yüzlü germeli ahşap paneller [48].	61
Şekil 3.25 : Betonarme önyapım döşeme örnekleri [41].	62
Şekil 3.26 : Mantar döşeme-kolon birleşimleri.	62
Şekil 3.27 : Nervürlü döşeme.	63
Şekil 3.28 : Kaset döşeme planları [41].	63
Şekil 3.29 : Katlanmış plak formları [53].	63
Şekil 3.30 : Kabuk formları: tek eğrilikli, çift eğrilikli.	64
Şekil 3.31 : Paralel kablolu asma-germe örtü sistemleri [42].	64
Şekil 3.32 : Işınsal kablolu asma-germe sistemi [42].	65
Şekil 3.33 : Kablo ağı asma-germe sistemleri [42].	65
Şekil 3.34 : Çadır asma-germe örtü sistemi [42].	65
Şekil 3.35 : Yüksek noktaları doğrudan desteklenen çadır asma-germe örtü sistemleri [42].	66

Şekil 3.36 : Yüksek noktaları dolaylı destekleyen çadır asma-germe örtü sistemleri [42].....	66
Şekil 3.37 : Tek çeperli şişirme örtü sistemleri [42].....	66
Şekil 3.38 : Çift çeperli şişirme örtü sistemleri [42].....	67
Şekil 3.39 : Çatı kaplama malzemelerinin kullanılabilceği yüzde olarak eğimler [50, 23].	69
Şekil 3.40 : Çatı kaplamalarının formları ve malzemeleri.....	70
Şekil 3.41 : Kiremit tespiti elemanları: kanca, bakır tel.	72
Şekil 3.42 : Farklı renkte beton kiremitler.	73
Şekil 3.43 : Lifli çimento levha boyutları ve biçimleri.....	74
Şekil 3.44 : Oluklu levhaların tespiti.	74
Şekil 3.45 : Oluklu çimento levhanın ahşap taşıyıcı üzerine uygulaması: Tirfon, lastik randela ve başlık [61].	75
Şekil 3.46 : Oluklu çimento levhanın çelik taşıyıcı üzerine uygulamaları: Kanca, lastik randela ve başlık [61].	75
Şekil 3.47 : Oluklu çimento levhanın önyapımlı beton aşıklara uygulamaları: ahşap takozla, kanca ile doğrudan [61].	76
Şekil 3.48 : Oluklu çimento levhanın beton çatı plaklarına ahşap kadron yardımı ile tirfon vidası ile tespiti [61].	76
Şekil 3.49 : Çift kat oluklu levha uygulaması [61].	76
Şekil 3.50 : Kendini taşıyan metal kaplamaların profil kesitleri [62]	77
Şekil 3.51 : Alından tespit edilen metal kiremit çatı kaplamaları [61].	79
Şekil 3.52 : Üstten tespit edilen metal kiremit çatı kaplamaları [64].	79
Şekil 3.53 : Sandviç panel tespiti [66].....	80
Şekil 3.54 : Değişik sandviç panel tespitleri [65, 66].....	80
Şekil 3.55 : Uygulanan farklı kenet ve levha tipleri [69].	81
Şekil 3.56 : Metal levhaların kenetli birleşimleri [70].....	81
Şekil 3.57 : Beton yüzeye çita gömülerek kenetlerin tespiti [42].....	82
Şekil 3.58 : Metal levhaların kenetli ve çitalı birleşimleri [70].	82
Şekil 3.59 : Trapez levhaların vida ile tespiti [340].....	83
Şekil 3.60 : Kırılma kuyruğu şeklinde nervürlü metal tespit elemanlarıyla tespit edilen alüminyum çatı kaplaması [40, 68].	84
Şekil 3.61 : Oluklu levhaların, ahşap, beton ve hafif beton taşıyıcılara tespit elemanları [71].	86
Şekil 3.62 : Shingle çatı kaplamasının çatı eğimine göre tespit yöntemleri [72]	87
Şekil 3.63 : Trapez kesitli ve dalgalı polikarbonat levhalar [71, 72].....	88
Şekil 3.64 : Polikarbonat levhaların farklı tespit şekilleri [73, 74].	89
Şekil 3.65 : Farklı CTP levha kesitleri.	89
Şekil 3.66 : Cam çatı profilleri.	90
Şekil 3.67 : Doğal taş karo (arduvaz) çatı kaplamasının farklı tespitleri [77].	90
Şekil 3.68 : Şilte formunda cam yünü; rulo seramik yünü; levha formunda taşıyıcı.	93
Şekil 3.69 : Cam yünü ısı yalıtımın çatıda uygulamaları [81].	94
Şekil 3.70 : Taşıyıcı levhaların dübel ile tespiti; tespit pimi ve geniş pullu dübel [82].	95
Şekil 3.71 : Ahşap rende talaşı ve çimentodan üretilen levha [93].	96
Şekil 3.72 : Selülozik ısı yalıtım malzemesinin püskürtülerek uygulanması [95]. ..	97
Şekil 3.73 : Baskı çitası yardımıyla tespit [84].	98
Şekil 3.74 : Polistren ısı yalıtım levhalarının birleştirme detayı [85].	98

Şekil 3.75 : Eğimli çatıda mertek hizasında ısı yalıtımında polistren levha uygulamaları: mertekler arasına, altına veya üzerine [85].	99
Şekil 3.76 : Poliüretan ısı yalıtımın uygulanması [92].	101
Şekil 3.77 : Bitümlü örtülerin şalümo alevi ile çatıya tespiti.	103
Şekil 3.78 : Polimer esaslı su yalıtımı örtüleri / mekanik tespit [102].	106
Şekil 3.79 : Sürülerek ve püskürtülerek uygulanan poliüretan su yalıtımı.	107
Şekil 3.80 : Çimento esaslı sürülerek uygulanan su yalıtımları.	108
Şekil 4.1 : Fotovoltaik çatının mimari tasarım süreci	112
Şekil 4.2 : Teras çatı sistemi üzerine yerleştirilen eğimli modüllerin gölge mesafeleri	114
Şekil 4.3 : Teras çatı sistemleri üzerine eklenen fotovoltaik sistemin yapısal tasarım modeli	115
Şekil 4.4 : Ağırlıkla sabitleme seçenekleri: beton bloklar, beton eğim ayağı	116
Şekil 4.5 : Modülün doğrudan metal eğim ayağı profili içine takılması, modülün kenetler ile tespit rayına tespiti	117
Şekil 4.6 : Ağırlıkla sabitleme seçenekleri: çakıl veya toprak.	118
Şekil 4.7 : Askı civatası ile çatı yüzeyinden çatı taşıyıcısına mekanik tespit, dik kenet metal kaplı çatıda kenet ile çatı kaplamasına tespit.	120
Şekil 4.8 : Farklı malzemelerde ve formlarda eğim ayakları.	120
Şekil 4.9 : Teras çatı sistemi ile bütünleştirilmiş fotovoltaik sistemin yapısal tasarım modeli	121
Şekil 4.10 : Teras çatı sistemi ile bütünleştirilmiş fotovoltaik çatı kaplama örtüsü olarak, fotovoltaik metal kaplama ürünleri	121
Şekil 4.11 : Teras çatı sistemi ile bütünleştirilen fotovoltaik sistemin yapısal tasarım modeli	122
Şekil 4.12 : Çeşitli çatı kancaları	123
Şekil 4.13 : Isı yalıtımının taşıyıcı sistem üzerinde olduğu durumlarda taşıyıcı sisteme ulaşmak için üretilmiş mesafe elemanı.	123
Şekil 4.14 : Montaj kiremiti	123
Şekil 4.15 : Trapez profilleri	124
Şekil 4.16 : Askı civatası ile sandviç panel ve oluklu levha kaplı çatı sistemlerine tespit	124
Şekil 4.17 : Tespit raylarının askı civatası ile bağlantısını sağlayan: Z kanca, başlık veya ikili başlık.	125
Şekil 4.18 : Yuvarlak başlı ve dik kenet metal kaplamalarda kullanılan bağlantı kenetleri	125
Şekil 4.19 : Modüllerin dikey ve yatay, tek kat ve çift kat ray üzerine yerleşimleri	125
Şekil 4.20 : Çeşitli ray profillerinde ayrılan boşlukların işlevleri: 1: çatı bağlantısı ile birleşim, 2: modül bağlantısı, 3: ray uzatma birleşimi, 4: kablo kanalı	126
Şekil 4.21 : Ray profilleri içine ve altına yerleştirilen uzatma profilleri	126
Şekil 4.22 : Çerçevesiz ve çerçevesiz modüllerin ray içine yerleştirilmesi	127
Şekil 4.23 : Modül tespitinde kullanılan noktasal tespitler: merkez kenetler ve bitiş kenetleri	127
Şekil 4.24 : Teras çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistemin yapısal tasarım modeli	129
Şekil 4.25 : Eğimli çatı sistemleri ile bütünleştirilen modüller: standart modüller ve özel modüller.	130

Şekil 4.26 : Eğimli çatı sistemleri ile bütünleştirilen fotovoltaik dizilerin kenar birleşim ve bitiş detayları	130
Şekil 4.27 : Modül tespitinde kanca, kenet, conta ve ray kullanımı	132
Şekil 5.1 : Teras çatıya beton blok kullanılarak tespit edilmiş fotovoltaik sistem	135
Şekil 5.2 : Teras çatıya beton eğim ayağı kullanılarak tespit edilmiş fotovoltaik sistem	136
Şekil 5.3 : Teras çatıya çakıl kullanılarak tespit edilmiş fotovoltaik sistem	137
Şekil 5.4 : Teras çatıya toprak kullanılarak tespit edilmiş fotovoltaik sistem	138
Şekil 5.5 : Oluklu çimento kaplı teras çatıya mekanik tespit ile bağlanmış fotovoltaik sistem	139
Şekil 5.6 : Tek kat metal kaplı teras çatıya kenet ile tespit edilmiş fotovoltaik sistem	140
Şekil 5.7 : Teras çatı sistemi ile bütünleştirilmiş serilerek uygulanan ince film modüller, ince film kaplanmış metal çatı kaplamaları	142
Şekil 5.8 : Kiremit kaplı eğik çatı sistemi üzerine çatı kancası ile eklenen sistem	144
Şekil 5.9 : Kiremit kaplı eğik çatı sistemi üzerine tespit kiremiti ile eklenen sistem	145
Şekil 5.10 : Sandviç panel kaplı eğik çatı sistemi üzerine tespit trapez profili ile tespit edilen sistem	146
Şekil 5.11 : Oluklu çimento levha kaplı eğik çatı sistemi üzerine askı civatası ile eklenen sistem	147
Şekil 5.12 : Tek kat metal levha kaplı eğik çatı sistemi üzerine kenet ile eklenen sistem	148
Şekil 5.13 : Eğik çatı sistemi ile bütünleştirilmiş fotovoltaik sistem	150
Şekil 5.14 : Eğik çatı sistemi ile bütünleştirilmiş fotovoltaik sistem	151
Şekil 5.15 : Eğik çatı sistemi ile bütünleştirilmiş fotovoltaik sistem	152
Şekil 5.16 : Eğik çatı sistemi ile bütünleştirilmiş fotovoltaik sistem	153
Şekil 5.17 : Eğik çatı sistemi ile bütünleştirilmiş fotovoltaik sistem	154
Şekil A.1 : Fotovoltaik Çatı Sistemi Tasarımı İçin Model Önerisi	169

FOTOVOLTAİK ÇATI SİSTEMLERİNİN TASARIMI İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ

ÖZET

Türkiye’de sera gazı salınımının azaltılması, enerji üretiminde dışarıya bağımlılığın sınırlandırılması ve artan enerji taleplerinin karşılanabilmesi enerji politikalarının gündemini oluşturmaktadır. Bu gündemin bir sonucu olarak binalarda yenilenebilir kaynaklarla enerji üretimi enerji politikalarında yerini almıştır. Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik, binalarda kullanılabilir. Çatılar, konumları ve eğim açıları düşünüldüğünde fotovoltaik uygulamaları için en verimli yapı yüzeyleridir. Çatılarda kurulan fotovoltaik sistemler sayesinde ek bir altyapıya veya kurulum alanına ihtiyaç duyulmaz; üretim ve tüketici arasındaki mesafeyi kısaltarak elektrik iletimi ve dağıtım sırasında meydana gelen elektrik kayıplarının azalması sağlanır; bunlara ek olarak fotovoltaik geleneksel çatı kaplama malzemeleri yerine kullanıldığında yapı malzemelerinden tasarruf sağlayarak binanın ekolojik ayak izini de azaltmış olur. Dünyada fotovoltaik çatı uygulamalarına çok sık rastlanmasına rağmen Türkiye’de fotovoltaik çatı uygulamaları nadirdir. Bunun ana nedeni fotovoltaik modüllerin maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Ancak günümüzde fotovoltaik maliyetinin Avrupa ülkelerinde ki gibi ulaşılabilir seviyelere çekilerek, uygulamaların arttırılacağı ön görülmektedir. Bu noktada açığa çıkan sorun ise ülkemizde uygulama konusundaki deneyimsizlik ve fotovoltaik çatı sistemi alternatiflerinin bilinmemesidir. Ayrıca fotovoltaik çatı uygulamaları ile ilgili herhangi bir yönetmelik ve standard da bulunmamaktadır. Bu durumda niteliksiz ve yapı ile bütünleşmeyen uygulamaların gerçekleşmesi kaçınılmazdır. Bu çalışmanın amacı mevcut binaların çatı sistemlerinin fotovoltaik çatı sistemi olarak yenilenmesinde ve yeni yapılacak binalarda fotovoltaik çatı sistemi tasarımında mimarlara, çatı sistem ve çatı kaplama malzemesi üreticilerine ve yüklenicilere tüm alternatifleri bir arada değerlendirebilmelerine imkan verecek bir model önerisi geliştirmek ve modeli uygulayarak fotovoltaik çatı sistem alternatiflerini ortaya koymak ve bunları değerlendirmektir. Sonuç olarak İstanbul ve Mersin illeri için tasarım alternatifleri malzeme kullanımı, görsel etki, işçilik, uygulama kolaylığı, uygulama hızı, uygulamada alet gerekliliği, uygulamada taşıma kolaylığı, havalandırma değeri, sökme kolaylığı, kir tutmama özelliği gibi tasarım girdileri ile değerlendirilmiş; böylelikle alternatifler ortaya konulurken alternatifler arasından uygun tercih yapılabilmesi için tasarımcıya yol gösterilmiştir.

A PROPOSED MODEL FOR PHOTOVOLTAIC ROOF SYSTEM DESIGN

SUMMARY

Electricity is the most responsible energy sector from green house gas emissions in Turkey. As well, Turkey has to import nearly more than half of the energy requirement from abroad to meet her needs. In addition, the growth of Turkey's industry is giving rise to a substantial increase in energy demand. As a result producing energy in buildings from renewable energy sources gained importance in Turkey. Hereby energy policies about the use of renewable energy sources have began to establish. Photovoltaic (PV) can be installed on buildings and cover all or a part of buildings' energy consumption without depletion of finite fossil fuel resources and emission of greenhouse gases. Roofs are frequently the most attractive opportunity for PV installations because of their substantial solar access. PV roof systems do not require any extra land area and infrastructure installations for electric generation. Additionally, losses of electricity during the transmission and distribution are reduced due to short distance between generator and electricity consumer. In order to save on building materials and reduce ecological footprint of buildings, PV can be used instead of conventional roof coverings. Although Turkey has one of the most solar electricity generation potential in Europe, there are only a few PV applications in buildings due to financial barriers. However recent improvements at the government level regarding energy policies indicate that PV installations will be more affordable in near future. In this case, lack of experience in PV applications may result in improper constructional designs of PV roof systems. The aim of this paper is to present a model proposed for the design of PV roof systems and based on the model, case studies in which PV roof system alternatives are designed for the buildings in Istanbul and Mersin. In order to direct architects, constructors, and roof covering material producers to select correct design alternative, alternatives are evaluated according to some design inputs: Material consumption, visual impacts, ease of installations, speed of installations, ventilation rates.

1. GİRİŞ

1.1 Sorun

Türkiye’de elektrik üretiminin %70’i termal enerjiden sağlanmaktadır ve termal enerjinin %85’i fosil kaynaklardan üretilmektedir [1]. Dünya Enerji Konseyi Türkiye Ulusal Komitesinin hazırladığı 2005-2006 Türkiye Enerji Raporu’nda enerji sektörleri arasında sera gazı salınımlarında en büyük paya sahip olan sektör elektrik sektörü olarak açıklanmaktadır [2]. Bununla beraber Türkiye’de enerji tüketiminin büyük bir bölümü binalarda gerçekleşmektedir. Binalarda tüketilen enerji kaynakları arasında doğalgazdan sonraki en büyük pay elektrik enerjisine aittir [3]. Türkiye’de sera gazı salınımlarının belgelenmesi 2003’te Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’nin imzalanması ile başlasa da; sera gazı salınımlarının kontrol altına alınması ve azaltılması ancak 2009’da imzalanan Kyoto Protokolü’yle gündeme geldi. Bunlara ek olarak Türkiye enerji tüketiminin %70’ini ithal etmektedir ve büyüyen sanayi ile enerji talebi gün geçtikçe artmaktadır. Sonuç olarak; sera gazı salınımlarının azaltılması, enerji üretiminde dışarıya bağımlılığın sınırlandırılması ve artan enerji talebinin karşılanabilmesi gereğince; binaların enerji tüketimlerinin bir bölümünü veya tümünü kendi bünyelerinde bulundurdukları, yenilenebilir kaynakları kullanarak enerji üreten sistemlerden karşılamaları gündemdedir. 2005’te yayınlanan Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun’la yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik enerjisine tarife garantisi (5,5 euro cents/kWh) getirilerek, yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektriğin şebekeye bağlanması yasallaştırıldı. 2007’de yürürlüğe giren Enerji Verimliliği Kanunu’nda ise yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimine enerji verimliliği kapsamında değinildi. Son olarak 2008’de yenilenebilir enerji kaynaklarının binalarda kullanımı Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği’nde yer aldı.

Fotovoltaik sistemler, buldukları binaların enerji ihtiyacının tümünü veya bir bölümünü, sınırlı fosil kaynakları tüketmeden yenilenebilir güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürerek karşılayabilen sistemlerdir. Diğer yenilenebilir kaynaklardan

enerji üreten sistemler gibi, fotovoltaik sistemler de elektrik üretirken sera gazı salınımına veya herhangi bir atığın ortaya çıkmasına neden olmaz. Bununla birlikte binalarda kurulan fotovoltaik sistemler, ek bir altyapı veya kurulum alanına da ihtiyaç duymaz. Binalarda kurulan sistemlerin bir diğer avantajı ise, üretim ve tüketici arasındaki mesafeyi kısaltarak elektrik iletimi ve dağıtım sırasında meydana gelen elektrik kayıplarını azaltmaktır. Yapı malzemelerinden tasarruf sağlayarak binanın ekolojik ayak izini azaltmak için, fotovoltaik geleneksel yapı malzemeleri yerine kullanılabilir. Fotovoltaik uygulaması için en verimli bina yüzeyi, güneşe sürekli ve engelsiz maruz kalması nedeniyle, çatıdır. Türkiye, Avrupa ülkeleri arasında güneş enerjisi potansiyeli en yüksek olan ülkelerden biridir [4]. Buna rağmen Türkiye’de fotovoltaik çatı sistemi uygulamaları sınırlıdır. Çizelge 1.1’den de takip edilebileceği gibi genellikle binaların kullanımı sırasında, teras çatı üzerine yerleştirilen fotovoltaik sistem uygulamaları yapılmaktadır. Şekil 1.1a’da 2001 yılında Muğla Üniversitesi ana kütüphane binasının çatısına; Şekil 1.1b’de 2005 yılında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü binasının çatısına [5]; Şekil 1.1c’de İstanbul Teknik Üniversitesi Ekrem Elginkan Lisesinin çatısına; Şekil 4.2d’de Marmaris’te 2007 yılında bir alışveriş mağazasının çatısına ve Şekil 1.1e’de 2008 yılında Sakarya’da bir fabrikanın çatısına [6]; Şekil 1.1f’de 2009’da Nevşehir Hüseyin Avni İncekara Lisesi’nin yurt binasının çatısına [7] kurulan sistemler gösterilmektedir. Bu uygulamalarda fotovoltaik bileşenler çatı sistemine entegre edilemedikleri için kaplama malzemesinden tasarruf sağlanmamıştır. Binaların ilk tasarım süreçlerinden itibaren fotovoltaik sistemlerin kullanılması kararı verilir; bina ve fotovoltaik sistem bu karara göre planlanırsa sistemden maksimum verim alınabilir; ayrıca bina ile uyumlu, iyi bütünleşmiş bir sistem tasarlanabilir.

Çizelge 1.1 : Türkiye’de binalarda uygulanmış fotovoltaik sistemler.

Bulunduğu bina	Yapım yılı	Kapasite	Uygulama tipi	Binada uygulama yeri
Muğla Üniversitesi Ana Kütüphanesi	2001	10 kWp	İyileştirme	Teras çatı üzerine
Muğla Üniversitesi Kafeteryası	2003	35000 kWh	İyileştirme	Eğik çatı üzerine (bütünleştirilmiş)
Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü	2005	11,1 kWp	İyileştirme	Teras çatı üzerine
Alışveriş binası (Kipa), Marmaris	2007	30 MWh	İyileştirme	Teras çatı üzerine
Diyarbakır Güneş Evi	2007	3,88 kW	Yeni bina	Eğik çatı üzerine

Fabrika binası (Toyota), Sakarya	2008	30 MWh	İyileştirme	Teras çatı üzerine
Muğla Üniversitesi Rektörlük binası	2008	49000 kWh	İyileştirme	Cephe üzerine (bütünleştirilmiş)
H. Avni İncekara Lisesi yurt binası	2009	13,5 kW	Yeni bina	Eğik çatı üzerine (bütünleştirilmiş), Teras çatı üzerine
Ekrem Elginkan Lisesi			İyileştirme	Teras çatı üzerine



Şekil 1.1 : Teras çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistemlerin ülkemizdeki uygulamaları.

Türkiye’de fotovoltaik çatı uygulamalarının sınırlı sayıda olmasının ana nedeni, fotovoltaik maliyetinin yüksek olmasıdır. Uygulamaların teşvik edilmesi için devletin veya yerel yönetimlerin herhangi bir destek programı mevcut değildir. 2009’da Kyoto Protokolü’nün imzalanması ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı gündeme gelmiştir. Ayrıca daha önce de bahsedilen 5,5 euro cents/kWh olan tarife garantisinin artırılması günümüzde kanun teklifleri ile görüşülmektedir. Bu gelişmeler düşünüldüğünde, fotovoltaik kullanım maliyetinin Türkiye’de de Avrupa ülkelerindeki gibi ulaşılabilir seviyelere çekilerek, kullanımının artacağı ön görülebilir. Bu noktada açığa çıkabilecek sorun ise, ülkemizde fotovoltaik çatı sistemleri ile ilgili uygulama konusundaki deneyimsizlik ve fotovoltaik çatı sistemi alternatiflerinin bilinmemesidir. Fotovoltaik çatı uygulamaları ile ilgili tasarımcıya yol gösterebilecek herhangi bir yönetmelik veya standard da bulunmamaktadır. Bu durumda da niteliksiz ve yapı ile bütünleşmeyen uygulamaların gerçekleşmesi kaçınılmazdır.

1.2 Amaç

Yukarıda değinilen soruna çözüm getirebilmek için bu çalışmanın amacı, mevcut binaların çatı sistemlerinin fotovoltaik çatı sistemi olarak yenilenmesinde ve yeni yapılacak binalarda fotovoltaik çatı sistemi tasarımında; mimarlara, çatı sistem ve çatı kaplama malzemesi üreticilerine ve yüklenicilere yol gösterebilecek bir model önerisi geliştirmektir.

1.3 Kapsam

Bu çalışmada eğik ve düz çatı sistemlerinde kullanılan fotovoltaik sistemler ele alınmıştır. Fotovoltaik sistem altında kalan çatı sistemi katmanlarının fotovoltaik sistem tasarımı üzerindeki etkilerine değinilmiş, ancak bu alt katmanlaşmanın tasarımı çalışma kapsamı dışında tutulmuştur. Çatı ışıklığı, cam çatı veya geçirgen çatı yüzeyi uygulamaları ile açısı değışebilen hareketli fotovoltaik sistemler çalışma kapsamı dışında tutulmuştur. Ayrıca fotovoltaik sistem tasarımında elektrik projesi hazırlanması aşamaları (sistem boyutlandırılması, elektrik yükü hesapları); ve yapı sisteminin bir parçası olamayan genellikle bina içerisinde veya çevresinde konumlandırılan sistem elemanlarının boyutlandırılması ve tasarımı (çevirici, akü vb.) kapsam dışında tutulmuştur.

1.4 Yöntem

Çalışmada veri toplama yöntemi kullanılmıştır. Uygulanmış fotovoltaik çatı sistemi örneklerinden bazıları yerinde incelenmiş ve tasarımcıları ile görüşülmüştür. Teknoloji transferi yolu ile ülkemize fotovoltaik sistem ithal eden ulusal firmalar ve fotovoltaik çatı sistemi üreten uluslararası firmalar ile görüşülmüş, sistemleri hakkında bilgi edinilmiştir. Konu ile ilgili literatür taraması yapılmıştır.

2. FOTOVOLTAİK

2.1 Güneş Enerjisi ve Binalarda Kullanımı

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışınım enerjisidir, ve güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden kaynaklanır [8]. Güneşin yer düzlemine göre bir yıl içindeki hareketinin bilinmesi güneş enerjisinden yararlanmada verimin artırılabilmesi için önemlidir. Güneş ışınım şiddeti dünya atmosferinin dış katmanı üzerinde $1,367 \text{ watt/m}^2$ 'dir. Emilme ve yayılma sonucunda bu enerjinin en fazla $1,060 \text{ watt/m}^2$ 'lik bir kısmı kullanılabilir [9]. Güneşten yeryüzüne gelen ışınım, dolaysız (direkt) ve dolaylı (yaygın) olarak iki bileşene ayrılabilir. Direkt ışınım, doğrudan güneşten gelen ışınımdır. Yaygın ışınım ise, tüm gök küreden gelen, belirli bir doğrultusu ve yönü bulunmayan ışınımdır. Güneş ışınımının bir kısmı, atmosfer içine girdikten sonra yeryüzüne ulaşmaya kadar, miktarı geçtiği hava kütesine bağlı olarak, atmosferi oluşturan bileşenlerden ozon ve su buharı tarafından, belirli dalga boylarında seçilmeli olarak yutulur. Ayrıca, hava içerisindeki toz ve su buharı molekülleri tarafından da saçılır. Işınımın bu saçılan ve yutulan kısmı yaygın ışınımı oluşturur [10].

Güneşten yer yüzüne gelen ışınım şiddeti, gün içinde geliş açısına bağlı olarak değişir. Bu şiddet, öğle vaktinde o gün içerisindeki en yüksek değerine ulaşır. Bunun sebebi, güneş ışınlarının atmosfer içinde izlediği yolun öğle vaktinde en az olmasıdır. Dünya ve güneş arasındaki uzaklık ise, 3 Ocak'da en az ve 4 Temmuz'da en fazladır. Bunun doğal bir sonucu olarak da dünya atmosferine güneşten gelen enerji Ocak ayında en yüksek değerini alarak 1412 W/m^2 değerine ulaşır ve Temmuz'da ayda da en düşük değerini alarak 1322 W/m^2 değerine iner [10].

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya

göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir [8].

Güneş enerjisinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme gösterirken maliyeti azalmış; çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir.

Bugün kent planlama ve mimarlık alanında güneş enerjisinden yararlanma çalışmaları sürdürülmektedir. Güneş enerjisinin binalarda kullanımını aktif ve pasif kullanım diye iki sınıfa ayırılır.

Güneş enerjisinin kullanıldığı pasif sistemlerin prensibi, herhangi bir teknolojiden yararlanmadan, bilinçle planlanmış önlemler yoluyla güneş enerjisinden bina bünyesinde kullanılacak enerji potansiyelinin yaratılmasıdır [11]. Binalarda kullanılan bazı pasif sistem elemanları şöyle sıralanabilir: pencereler, şed çatı, çatı ışıklıkları, ısı depolayan duvarlar (beton, briket, tuğla), su dolu kaplar (sulu depolayıcı), masif depolayıcı duvarlar (trombe duvar), sulu çatı depolayıcısı (havuz çatı), güneş odaları, termosifon toplayıcı (sürekli akım halkası) [11].

Güneş enerjisinin kullanıldığı aktif sistemler, amaca göre üretilmiş toplaçlar aracılığıyla yutulan güneş ışınımını, istenen biçimdeki enerjiye dönüştürüp bunun yapıda kullanımına olanak veren mekanik veya elektronik elemanların bütününden oluşan sistemlerdir. Bu sistemler aracılığı ile güneş ışınımı ısı ve elektrik enerjisine dönüşebilmektedir. Güneş ışınımını enerjiye dönüştüren bu sistemler ürettikleri enerjilere göre; ısı enerjisi üreten güneş enerjili ısıtma sistemleri ve elektrik enerjisi üreten fotovoltaik sistemler olarak ikiye ayrılır. Tez kapsamı dahilinde fotovoltaik sistemlerin kullanım olanakları ve bileşenleri ele alınacaktır.

2.2 Fotovoltaik Kullanımının Tarihsel Gelişimi

Işığın elektrik enerjisine dönüşmesine izin veren fiziksel olay, fotovoltaik etkisi (ışıl gerilim etkisi), 1839'da Fransız fizikçi Alexandre Edmond Becquerel tarafından keşfedildi [12]. 1876'da ise William Grylls Adams ve Richard Evans Day selenyum

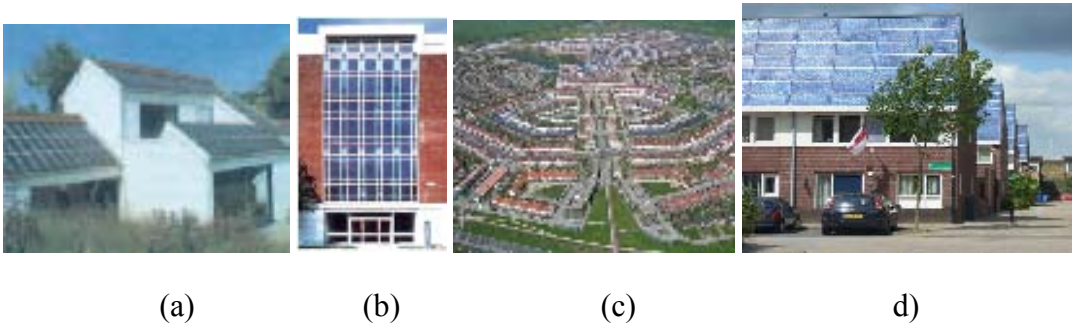
elementinin ışığa maruz bırakıldığında elektrik akımı oluşturduğunu keşfettiler. Selenyum elementi ile elektrikli bir aleti çalıştırabilecek kadar güneş ışınını dönüştürülemez de katı bir malzemenin, hareketli parçaları olmaksızın veya ısı enerjisini kullanmadan, ışığı elektriğe dönüştürebileceği kanıtlandı. 1953'te ise ilk silikon fotovoltaik hücre Amerikan şirketi Bell Silikon'un laboratuvarlarında üretildi. İlk kullanım talebi radyo ve oyuncak üreticileri ile sınırlı kalsa da; daha sonraları silikon hücreler -ilk kez 1958'de Vanguard 1 uydusu olmak üzere- uzaya gönderilen uydularda kullanıldılar [13]. O yıllarda fotovoltaiklerin uydularda kullanılması çok gerekli görülmesine karşın pahalı olmaları nedeniyle dünya üzerinde kullanımları düşünülmemiştir. 1973 petrol krizi ile birlikte fotovoltaiklerin yeryüzü uygulamaları gündeme geldi. Elektrik endüstrisi fotovoltaik ile ilgilenmeye başladı ve fotovoltaik araştırmaları yapan bilimsel enstitüler kurulmaya başlandı. 80'lerde petrol krizinin etkilerinin azalması ve geleneksel enerji üreten sistemlerin daha ekonomik olmaları nedeniyle fotovoltaiklere olan ilgi azalmıştı [12]. Zamanla hücrelerin verimlilikleri arttırıldı. Çeşitli kuruluşlar ve devletlerin destekleri ile fotovoltaik kullanımı teşvik edildi. 1983'te Almanya'nın ilk fotovoltaik enerji santrali Pellworm adasında kuruldu. 1986'da Çernobil Nükleer Santrali'nde yaşanan kaza ile yenilenebilir enerji kaynakları, olumlu çevresel etkileri açısından yeniden gündeme geldi [12]. 1986'da ARCO Solar firması ilk ince film fotovoltaik hücreyi piyasaya sundu [14]. 90'larda büyük çaplı şirketler fotovoltaik üreticisi olmaya başladılar. Fotovoltaik sistemler, özellikle elektrik şebekesinin olmadığı, yerleşim yerlerinden uzak yerlerde ekonomik yönden uygun olarak kullanılmaktadırlar. Bu nedenle ve istenen güçte kurulabilmeleri nedeniyle genellikle sinyalizasyon, kırsal elektrik ihtiyacının karşılanması vb. gibi uygulamaları yaygındır. Bunun dışında fotovoltaik kullanımını daha ekonomik hale getiren binalarda fotovoltaik kullanımı gündemdedir. Bu uygulamalarda fazladan bir araziye, iletim hattına, yapı temeline ve taşıyıcı sisteme gerek duyulmadığından sistem maliyeti azalmaktadır [13]. Yapı sektöründeki firmalar, özellikle cam endüstrisi, fotovoltaiklerin binalarla bütünleştirilmesini desteklemektedir. Çatı endüstrisindeki firmalar ise çatı sistemlerinde kullanılacak özel fotovoltaik bileşenler ve sistemler geliştirmektedir [12]. Binalarda kullanılacak fotovoltaik bileşenler çeşitlendirildikçe kullanım olanakları ve dolayısıyla sistemleri de çeşitlenmektedir.

Ülkemizde ise çoğunluğu Orman Bakanlığı Orman Gözetleme Kuleleri, Türk Telekom, deniz fenerleri ve otoyol aydınlatmasında , Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Muğla Üniversitesi, Ege Üniversitesi gibi kamu kuruluşlarında olmak üzere küçük güçlerin karşılanması ve araştırma amaçlı kullanılan fotovoltaik kurulu gücü 1 MW' a ulaşmıştır [8].

2.3 Binalarda Fotovoltaik Kullanım Olanakları

Binalarda fotovoltaik kullanımı ülkeden ülkeye değişiklikler göstermiştir. Danimarka, Hollanda ve İngiltere gibi sosyal toplu konut projelerinin yaygın olduğu ülkelerde konut projelerinde fotovoltaik kullanımı görülürken; müstakil konutların yaygın olduğu ülkelerde fotovoltaik uygulamalarıyla daha çok ticaret ve endüstri binalarında karşılanmaktadır [15].

Özellikle Almanya'da güneş ışınımının düşük olması ve arazi değerlerinin gün geçtikçe yükselmesi nedeniyle bina yüzeylerindeki potansiyel alanların değerlendirilmesi amacıyla binalarda fotovoltaik kullanımı desteklenmiştir. Yapı elemanları ile bütünleştirilmiş ilk fotovoltaik uygulamaları Almanya'da gerçekleştirilmiştir, Şekil 2.1. İlk fotovoltaik çatı sistemi uygulaması 1985'te Saarbrücken'de Şekil 2.1a'da görünen güneş evinde [12]; ilk cephe uygulaması ise 1992'de Aachen'da Şekil 2.1b'de görünen kamu tesisinin yalıtımlı cam (çift cam) cephesinde gerçekleştirilmiştir [16].



Şekil 2.1 : Almanya'da gerçekleştirilen ilk yapı elemanları ile bütünleştirilmiş fotovoltaik çatı ve cephe uygulamaları:a,b [12]; Hollanda'da bulunan Nieuwland yerleşkesi:c,d [17].

Bu ilk örneklerden sonra binalarda fotovoltaik uygulamaları Avrupa'da, Japonya'da ve ABD'de devletlerin ve çeşitli kuruluşların teşvikleri ile gerçekleştirilmiştir. Dünyanın ilk kentsel fotovoltaik projesi olan Nieuwland yerleşkesi (Şekil 2.1c ve d) 1999'da Hollanda'da, yerel elektrik şebekesinin katkılarıyla gerçekleştirilmiştir. Bu

yerleşkede, 500 üzerinde konutta ve birkaç farklı işlevli binada fotovoltaik entegre edilmiş çatı sistemleri kullanılmıştır [17].

Türkiye’de ise güneş enerji potansiyelinin yüksek olmasına rağmen, sınırlı sayıda uygulama mevcuttur. Yaygın olarak fotovoltaiklerin binaların kullanımı sırasında teras çatı sistemlerinin üzerine yerleştirildikleri uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaik entegre edilmiş bir çatı ve bir de cephe sistemi uygulaması, Muğla Üniversitesi Kampüsü’nde kafeterya binası çatısı ve rektörlük binası cephesinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.2). Son olarak 2009’da Nevşehir’de H. Avni Incekara Lisesi yurt binası çatısında çatı kaplama malzemesi kullanılmaksızın, su yalıtımı levhası üzerine tespit edilen bir fotovoltaik çatı sistemi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Genel olarak Türkiye’de fotovoltaik binaların kullanımları sırasında binalara eklenmektedir. Yapı elemanlarıyla bütünleştirilmedikleri için binalarda fotovoltaik sistem uygulamalarında kaplama malzemesinden tasarruf sağlanamamakta ve görsel olarak bina ile bütünleşmemiş uygulamalara rastlanmaktadır. Binalarda fotovoltaik kullanımının binaların ilk tasarım süreçlerinden itibaren düşünülmesi uygulamaları daha nitelikli hale getirecektir.



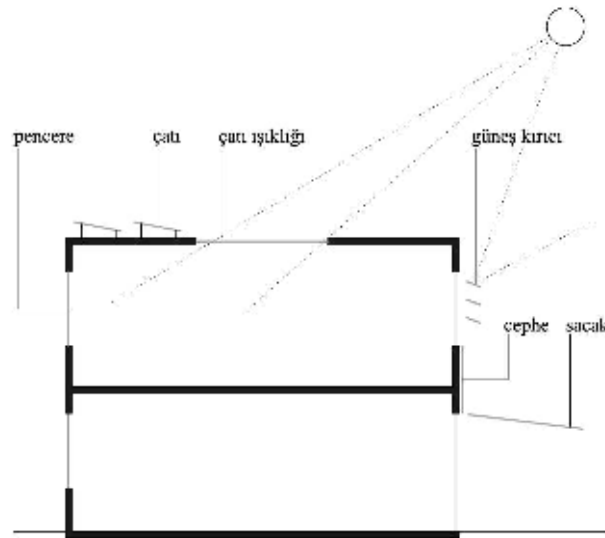
Şekil 2.2 : Muğla Üniversitesi’nde gerçekleştirilen fotovoltaik entegre edilmiş çatı ve cephe uygulamaları [18].

Binalarda fotovoltaik kullanımının avantajları şöyle sıralanabilir:

- söz konusu binanın elektrik ihtiyacının tümünü veya bir bölümünü karşılar[19],
- fazladan bir araziye gerek duyulmaz [19],
- fazladan iletim hattına, yapı temeline ve taşıyıcı sisteme gerek duyulmaz[19],
- elektrik enerjisinin iletimi ve dağıtımı sırasında meydana gelen enerji kayıpları azalır [19],
- elektrik şebekesinin yükünü azaltır [19],

- elektrik faturalarında azalmaya neden olur [19],
- yapı malzemeleri yerine kullanıldığında, malzeme tüketimi ve binanın toplam maliyeti azalır [19],
- görsel anlamda yenilikçi bir görüntü sunar [19],
- bina sahiplerinin çevreye olan duyarlılıklarını gösterir [15],
- kırsal kesimlerde elektrik enerjisine ulaşılabilirliği artırır [20],
- inşaat sektöründe yeni iş alanları sunar [20].

Fotovoltaik güneş ışınlarına maruz kalan yapı yüzeylerinde kullanılabilir. Şekil 2.3.'te gösterildiği gibi, yarı saydam olması istenen pencereler, çatı ışıklıklarında; çatı ve cephe sistemlerinde, güneş kırıcı elemanlarda ve otoparkların, girişlerin üzerini örtecek saçaklarda kullanım olanakları vardır.



Şekil 2.3 : Fotovoltaik kullanılabilen yapı elemanları.

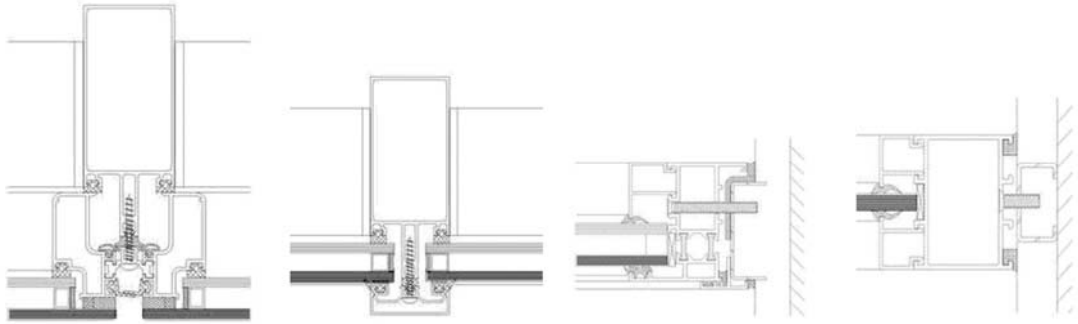
2.3.1 Cephelerde Fotovoltaik Kullanım Olanakları

Fotovoltaik bileşenler mevcut binaların cephelerine kolaylıkla tespit edilebilirler. Penceresiz sağır duvarlar, fotovoltaik uygulamaları için uygun yerlerdir. Cephe üzerine yapılan bu uygulamalarda fotovoltaik bileşenlerden su geçirimsizliği gibi performans gereksinmelerini karşılaması beklenmeyebilir.

Cephede kaplama malzemesi yerine fotovoltaik kullanıldığı uygulamalarda ise cephe sistemi bileşenlerinden beklenen performans gereksinmeleri fotovoltaik bileşenlerden de beklenir. Bu uygulamalarda fotovoltaik elektrik üretmekle kalmaz,

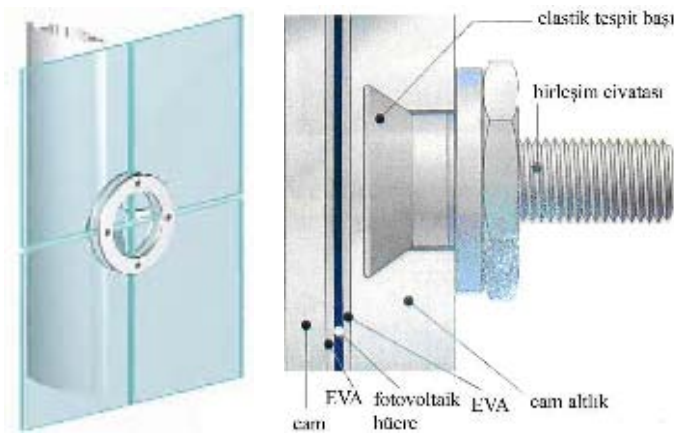
sistemin detay tasarımına bağılı olarak su geçirimsizliğı, havalandırma, ısı yalıtımı, ses yalıtımı gibi işlevleri de yerine getirir.

Fotovoltaik, cephelere diğere cephe kaplama levhalarının tespit yöntemleri ile tespit edilebilir. Örneğın paneller standart cam cephe profilleri ile tespit edilebilirler. Bu tespitlerde silikon cam cephelerdeki, kapaklı cam cephelerdeki ve geleneksel pencere doğramalarındaki tespit profilleri kullanılabilir (Şekil 2.4). Tespit yöntemi yanı sıra, fotovoltaik bileşenlerden çıkan kabloların çeviriciye kadar iletiminin de planlanması ve bunun için özel kanalların tasarlanması gereklidir. Kapaklı cam cephelerde ve doğramalı uygulamalarda fotovoltaik üzerine gelen kapak veya doğramanın derinliğı az tutularak fotovoltaik yüzey üzerine düşebilecek gölgelere engel olunmalıdır [19]. Bu uygulamalarda yarı geçirgen fotovoltaik bileşen tercih edilirse bileşen görsel ilişki kurma, doğal aydınlatma gibi işlevleri de yerine getirmiş olur. Fotovoltaik çift cam mantığı ile uygulandığında ise ısı yalıtımı işlevini de yerine getirebilir.



Şekil 2.4 : Silikon ve kapaklı cam cephe; çift cam ve ısı yalıtımsız doğramalı tespit detayları [24].

Bileşen cepheye noktasal tespitlerle de tutturulabilir. Bu uygulamalarda tespit ya bileşenlerin birleşim yerlerinden ya da arka yüzeyinden gerçekleştirilir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 : Cephede birleşim yerlerinden ve arka yüzeyden noktasal tespit [29].

Cephe kaplama malzemesi olarak fotovoltaik pahalı bulunabilir, ancak doğal taş ve cam gibi pahalı kaplama malzemeleri ile aralarında büyük fiyat farkları yoktur [9]. Bunun yanı sıra maliyet hesapları yapılırken elektrik üretimleri sayesinde getirdikleri maddi kazanç da düşünölmelidir.

Muğla Üniversitesi'nin rektörlük binasının cephesi 2008'de yenilenerek fotovoltaik kaplanmıştır, (Şekil 2.2). 17 Mayıs 2008 de şebekeye bağlanan bu sistemin yılda 45000kWh elektrik enerjisi üretmesi beklenmektedir. Ön cephede 30.15kWp nominal güç kapasitesinde, 140 Wp gücünde 210 modülden oluşan, toplam 395m² yüzey alanına sahip bir sistem kurulmuştur. Batıya dönük merdiven kulesinin sağır cephesinde toplam 65m²'lik alana,64Wp gücünde 76 adet modülden oluşan; doğuya bakan kulesinde ise toplam 71 m²'lik alana,64Wp gücünde 84 adet modülden oluşan sistem kurulmuştur. Türkiye'deki en büyük binaya entegre şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem uygulamasıdır. Amorf silisyum ince film modüllerle kurulmuş bu sistem 40kWp kurulu güce sahiptir.

Fotovoltaik verimliliğinin maksimize edilmesi için tasarlanan eğimli cephe sistemleri karmaşık detaylar gerektirir ve yapı maliyeti artar. Bu durumda fotovoltaik bileşenlerin cephe üzerine ek olarak, saçak veya güneş kırıcı işlevlerinde tespit edilmesi de düşünölebilir [19].

Şekil 2.6'da Delft'te (Hollanda) 9 katlı bir apartman binasında Van Schagen Architekten tarafından 2003 yılında gerçekleştirilen cephe ve güneş kırıcı fotovoltaik uygulamaları görölmektedir. Bu sistemin ürettiği enerji ile binanın asansör, aydınlatma gibi genel elektrik ihtiyaçları karşılanmaktadır.



Şekil 2.6 : Delft'te cephe ve güneş kırıcı fotovoltaik uygulaması.

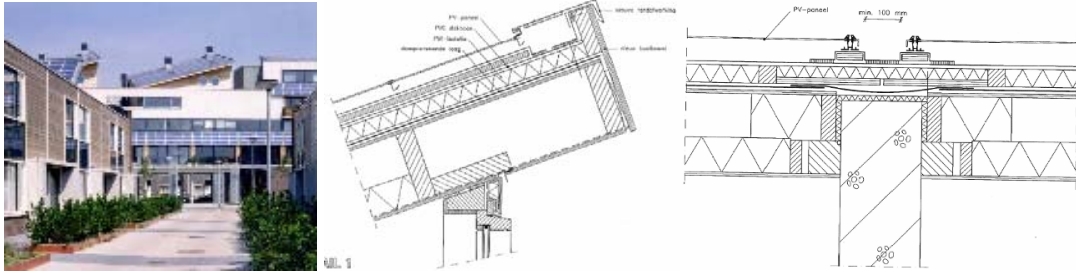
2.3.2 Çatı Sistemlerinde Fotovoltaik Kullanım Olanakları

Çatı uygulamalarının cazip olmasının nedenleri şöyle sıralanabilir:

- fotovoltaik üzerine gölge düşme ihtimali daha azdır,
- çatı eğimi fotovoltaik sistemin maksimum enerji üretmesi düşünülerek kararlaştırılabilir [21].

Çatı uygulamalarında fotovoltaik bileşenler çatı kaplaması olarak veya kaplama üzerine ek olarak kullanılabilirler. Kaplama yerine kullanıldığı uygulamalarda başka bir kaplama malzemesine gerek duyulmadığından, malzeme ve bütçe tasarrufu sağlanır. Çatı kaplaması olarak fotovoltaik kullanılmasında çatı firmalarının geliştirdiği çeşitli sistemler mevcuttur. Kimi sistemlerde standart paneller kullanılırken, kimi sistemlerde çatı kaplaması formunda üretilen fotovoltaik bileşenler kullanılmaktadır.

1996'da yerleşke ölçeğinde gerçekleştirilmiş ilk fotovoltaik çatı uygulaması, Duinker & van der Torre Architecten tarafından Hollanda'nın Nieuw Sloten yerleşkesinde bulunan sekiz binanın çatısında gerçekleştirilmiştir. Çeşitli eğimlerdeki; doğuya, güneye ve batıya bakan çatılar fotovoltaik kaplanmıştır, Şekil 2.7. Fotovoltaik uygulanan toplam çatı yüzeyi 2358 m²; toplam güç ise 214 kWp dir [25].



Şekil 2.7 : Hollanda'nın Nieuw Sloten yerleşkesinde bulunan fotovoltaik kaplanmış çatı sistemi detayları.

Türkiye'de fotovoltaik kaplanmış ilk çatı uygulaması, Muğla Üniversitesinin kafeterya binasının güneye bakan çatı yüzeyinde, çatının yenilenmesi ile 2003'te gerçekleştirilmiştir. Bu proje 214 adet çokkristal silisyum fotovoltaik modülden oluşmakta (120 Wp) ve modüller 18° eğimli çatı yüzeyinde 215 m² alana yerleştirilmiştir (Şekil 2.2).

Şekil 2.8a'da görünen uygulamada, ince film hücrelerin metal çatı kaplama levhaları üzerine lamine edildikleri paneller kullanılmaktadır. Panellerin büyüklüğü ve

hafifliği nedeniyle uygulama hızlıdır. Ancak bu büyüklükte panellerin taşınabilmesi için vinç gerekmiştir. Şekil 2.8b’de görülen uygulamada ise düz kiremit formunda üretilmiş fotovoltaik bileşenler kullanılmıştır. Kiremit, shingle gibi geleneksel çatı kaplamalarına benzetilerek üretilmiş bu özel bileşenler geleneksel çatı sistemlerinde daha sık fotovoltaik kullanılmasına imkan verecektir [19].



(a)

(b)

Şekil 2.8 : Fotovoltaik metal çatı kaplama levhası, fotovoltaik kiremit.

Bir diğer çatı uygulaması, fotovoltaik bileşenlerin çatı kaplaması üzerine tespitidir. Daha çok, mevcut yapılarda kaplamanın sökülmemesi tercih edildiğinde bu sistemler uygulanır. Tespit sistemleri, fotovoltaik bileşenlerin üzerine yerleştirileceği çatı kaplamasının cinsine göre değişiklik gösterir. 2007’de Diyarbakır güneş evinde kiremit kaplı bir çatı üzerine fotovoltaik panel tespiti yapılmıştır (Şekil 2.9a). Türkiye’de düz çatıların üzerine kurulan fotovoltaik sistem uygulamaları daha yaygındır. İTÜ Ekrem Elginkan Lisesi’nin güneye bakan teras çatısında yeşil çatı üzerine plastik hazneli (Şekil 2.9c) ve beton ağırlıklı (Şekil 2.9b) olmak üzere iki farklı teras çatı uygulaması, okul laboratuvarlarının enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulmuştur.



(a)

(b)

(c)

Şekil 2.9 : Diyarbakır güneş evi [26] ve İTÜ Ekrem Elginkan Lisesi çatılarının üzerine ek olarak tespit edilen fotovoltaik sistemler.

Şekil 2.10'da görünen uygulama, teras çatı üzerine fotovoltaik panellerin yatay yerleştirilmesine bir örnektir. Bu sistem, 2003 yılında bir Amerikan firmasının teras çatı fotovoltaik uygulamaları için çekme polistren ısı yalıtımı levhası üzerine yapıştırarak ürettiği ürünü test etmek amacı ile Den Haag'da (Hollanda) bir minyatür parkının teras çatısında kurulmuştur. Sistem yüzeyinin zamanla kir tuttuğu ve paneller altında su ve toz biriktiği için çatı üzerinde bitkilenmeye neden olduğu görülmüştür. Teras çatılarının üzerine bu şekilde yatay yerleşen sistemlerin periyodik temizliğe ihtiyacı vardır. Bu nedenle ve yatay yerleşim dolayısıyla sistem veriminin düşmesi nedeniyle fazla tercih edilmeyen uygulamalardır.



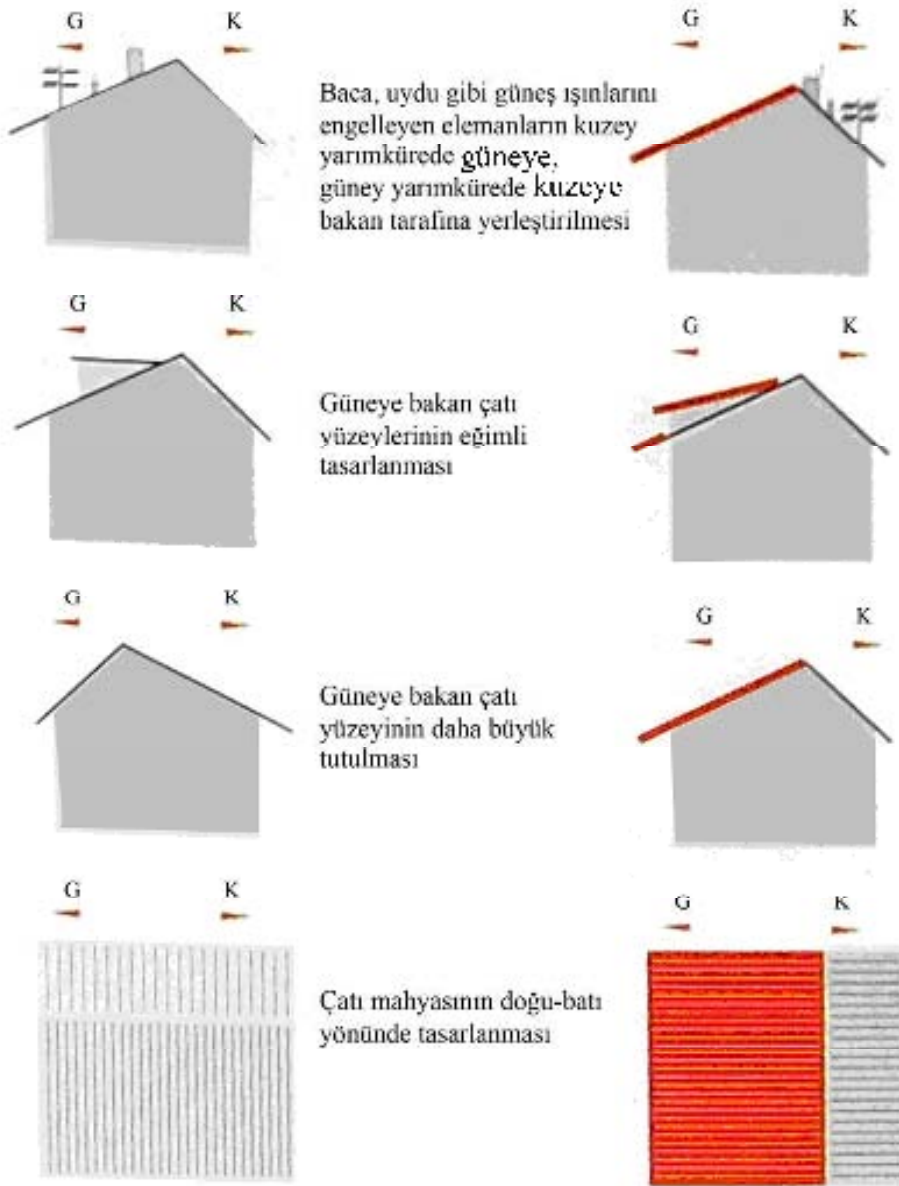
Şekil 2.10 : Den Haag'da teras çatı üzerine fotovoltaik panellerin yatay yerleştirildiği bir uygulama.

Çatı ışıklığı ve atrium uygulamalarında yarı geçirgen fotovoltaik kullanılabilir. Bu uygulamalarda fotovoltaik ışığın bir kısmını geçirdiği için aşırı sıcaklık artışı, kamaşma gibi problemlere de engel olur. Şekil 2.11'de 1999'da Hollanda'da kurulan dünyanın ilk kentsel fotovoltaik projesi olan Nieuwland yerleşkesinde (Şekil 2.1) bina sıraları arasında çatı hizasında görsel olarak sürekliliğin sağlandığı saçaklarda yarı geçirgen fotovoltaik bileşenlerin kullanıldığı görülmektedir.

Metal, plastik ve tekstil arka tabakalı fotovoltaik bileşenler, eğrisel çatı uygulamalarına imkan vermektedir [19]. Çatı sistemlerinde fotovoltaik kullanımı planlama aşamasında verilen Şekil 2.12'de gösterilen kararlarla desteklenebilir; fotovoltaik sistemin verimi ve kapasitesi artırılabilir.



Şekil 2.11 : Nieuwland yerleşkesinde saçaklarda yarı geçirgen fotovoltaiik bileşenlerin kullanımı.



Şekil 2.12 : Fotovoltaiik kullanımını desteklemek için planlama aşamasında alınabilecek önlemler [9].



















2.4 Binalarda Fotovoltaik Kullanımını Etkileyen Tasarım Parametreleri

Binalarda kullanılan fotovoltaik geleneksel duvar ve çatı kaplama malzemelerinin yerlerini alacak şekilde tasarlandığında, geleneksel kaplama malzemelerinden beklenen performans gereksinimleri fotovoltaikten de beklenir [21]. Binalarda kullanılan fotovoltaik sistemlerin tasarımını etkileyen bu sistemlere özgü dikkat edilmesi gereken tasarım parametreleri ise şöyle sıralanabilir:

- **Bina tipolojisi:** Ofis yapılarında enerji gereksinimi sabah 9 akşam 5 arasında yüksektir, böylelikle enerjiye ihtiyaç duyulan saatler ile fotovoltaik sistemin elektrik ürettiği saatler genellikle örtüşür. Sonuç olarak ofis binalarında fotovoltaik kullanım potansiyeli oldukça yüksektir. Enerji tüketimi binaların tipine ve her birinin kendine özgü özelliklerine göre farklılaşmaktadır. Öyleyse binaya özel enerji tüketimi araştırmasının gerçekleştirilmesi tasarımcıların dikkatle üzerinde durması gereken bir aşamadır [21]. Ayrıca çatı yüzeyi geniş olarak inşa edilmiş ticaret, sanayi, eğitim, spor tesisi, ulaşım ve tarım yapıları da fotovoltaik kullanımı açısından değerlendirilmesi gereken önemli yapılardır. Yüksek katlı yapılarda ise gölgeye maruz kalmayan geniş cephe yüzeylerinin değerlendirilmesi söz konusu olur.
- **Konum:** Konum hem iklim hem de topografya elemanlarının etkileri açısından önemlidir. Binanın bulunduğu enlem güneş ışınım şiddetini dolayısıyla sistemin üretimini etkiler. Yerel rüzgar rejimleri özellikle yaz aylarında fotovoltaik bileşenlerin sıcaklığının azaltılabilmesi açısından önem taşır. Kışın kar yağışının fazla olduğu bir yerde sistem üzerine kar birikmemesi sağlanacak şekilde bir tasarım gerçekleştirilmelidir. Arazinin topografyası da yine üzerine çalışılması gereken bir durumdur. Topografyadaki bir yükselti (dağ vb.) sistemin güneş almasına engel olabilir [21].

- **Yönlenme ve eğim:** Fotovoltaik bileşenin yönünün ve eğim açısının elektrik üretimine önemli ölçüde etkisi vardır. Maksimum enerji üretebilmek için güneş ışınlarının bileşene dik gelmesi ve bileşenin kuzey yarım kürede güneye; güney yarım kürede kuzeye bakması gereklidir. Londra’da gölgesiz ortamda farklı eğimlerde ve yönlerde yerleşmiş fotovoltaik sistemlerin enerji üretimlerinin karşılaştırılması Çizelge 2.1’de görülmektedir. Bu çizelgeye göre güneye yönlenmiş 30° eğimli yerleşmiş sistemler en fazla; güneydoğuya yönlenmiş ve 90° eğimle yani dik yerleşmiş sistemler en az enerjiyi üretmiştir.

Çizelge 2.1 : Farklı eğimlerde ve yönlerde yerleşmiş fotovoltaik sistemlerin enerji üretimlerinin karşılaştırılması (MWh/y) [21].

Eğim	İnce Film Hücreler			Tekkristal silisyum hücreler		
	45° güneyin doğusuna	güneye	15° güneyin batısına	45° güneyin doğusuna	güneye	15° güneyin batısına
1. Düşük duvar						
	200	215	219	350	375	372
2. 30° eğim						
	296	309	308	518	541	538
3. 15° eğim						
	286	308	301	500	530	526

Binanın elektrik gereksinimi bir mevsimde diğerine göre veya örneğin öğleden sonra saatlerinde, sabah saatlerine göre değişiyor ise; fotovoltaik bileşenin yönelimi ve eğim açısı hedeflenen mevsim veya saatlerde enerji miktarını en fazla kılacak şekilde seçilebilir [21]. Optimum sistem eğimi yapının konumunun ve sistemin kullanım periodunun girilebildiği PV-DesignPro (Mausolar Software), PV SOL (Valentin EnergieSoftware), PV F-chart (F-Chart Software) ve PVSYST (University of Geneva) gibi bilgisayar yazılımları aracılığıyla bulunabilmektedir. Bu yazılımlar söz konusu bölgenin aylık veya saatlik ölçülmüş iklim verilerine dayanarak sistem eğimi ve yönü değişkenlerine göre üretilebilecek elektrik enerjisini hesaplamaktadır. Bu

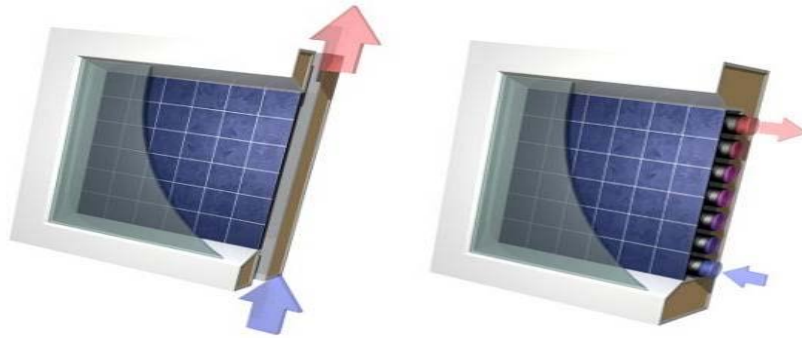
hesaplar yapılmadan optimum verim açısı tayin edilmek isteniyorsa, açının kış koşulları için enlemden 25° fazla olması, yaz koşulları için enlemden 25° az olması ve yıllık konumda enlemin 0,9 katı kadar olması tavsiye edilir [22].

Sistemin daha fazla enerji üretmesi için güneş ışınlarını izleyen tek ve iki akslı hareketli sistemler de kullanılabilir. Bu sistemler daha çok saçaklarda, güneş kırıcılarında ve düz çatı üzerine kurulan sistemlerde kullanılırlar [20]. Bu sistemler hareketli oldukları için bozulma riskleri daha fazladır ve daha pahalıdırlar.

Bulutlar genel ışınım şiddetinin azalmasına neden oldukları gibi gelen ışınların yönlerini de etkilerler. Bu nedenle bulutlu hava durumlarının etkin olduğu bölgelerde fotovoltaik bileşenlerin yataya yakın yerleşimleri enerji üretimi açısından sistemin daha verimli çalışmasına neden olabilmektedir [20].

- **Sistem boyutlandırılması:** Sistem kapasitesinin belirlenmesinde sistem için ayrılmış bütçe, binanın enerji ihtiyacı ve sistem kurulumu için kullanılacak alanın büyüklüğü etkilidir. Bu konu ile ilgili fizibilite çalışmaları yapılmalıdır.

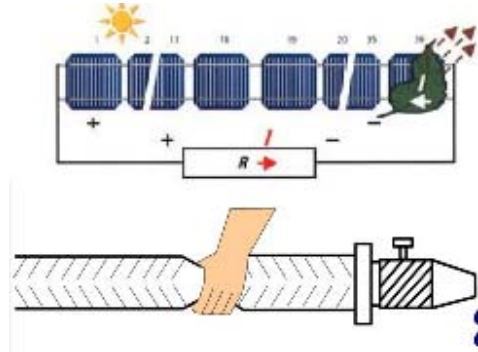
- **Sistemin ısı etkileri:** Fotovoltaik yüzeyine gelen ışınların bir kısmını elektrik enerjisine dönüştürür; geri kalan ışınların bir kısmı ısı enerjisine dönüşürken, bir kısmı geri yansır. Fotovoltaik bileşenin sıcaklığının artması veriminin düşmesine neden olur [9]. 25°C üzerinde hücre sıcaklığındaki her 1°C artış enerji üretimini %0,4-0,5 kadar azaltır [21]. Ayrıca yüksek sıcaklıklara ulaşan sistemlerde kullanılacak bileşenlerin (kablo, vb.) bu sıcaklık şartlarında kullanılıp kullanılmadığının da kontrol edilmesi gereklidir; bu kontrol daha çok sistem üreticilerinin sorumluluğu altındadır [21]. Bu gibi durumlar için sistemin arkasında havalandırma boşluğu bırakılması tercih edilmektedir [9]. Havalandırma boşluğu ile fotovoltaik bileşenin aşırı yüksek ısısının bina iç hava sıcaklığını etkilememesi sağlanır. Ayrıca havalandırma tabakası sayesinde fotovoltaik bileşen yüzeylerinde, özellikle gece saatlerinde, bileşen ve çevre sıcaklık farklılıkları nedeniyle oluşabilecek yoğuşmanın da önüne geçilmiş olunur [9]. Bir diğer uygulama da fotovoltaik bileşenin arkasındaki boşluğa ısı güneş kolektörlerinin mekanizmasında bulunan hava veya su ile ısı transferini sağlayan boruların yerleştirilmesi ve ortaya çıkan ısının binada ortam ısıtma veya su ısıtma enerjisi olarak değerlendirilmesidir, Şekil 2.13 [9].



Şekil 2.13 : Havalandırmalı ve ısı güneş kolektörlü modül uygulamaları [20].

Fotovoltaik bileşenlerin yüksek sıcaklıklara ulaşmasıyla genişleme ve sıcaklığının düşmesi ile de büzülme hareketleri meydana gelebilir, bu da birleşim yerlerinde sızıntılara ve komşu yapı malzemelerinde gerilmelere ve yırtıklara neden olabilir. Tasarım yapılırken bu genişleme hareketleri hesaba katılmalı ve esneme yapabilecek detaylar düşünülmelidir. Özellikle bitümlü örtü ile kaplı çatılarda havalandırma tabakası bırakılması tavsiye edilir. Fotovoltaik bileşenler arada boşluk olmadan bitümlü örtü üzerine yerleştirilirse yüksek sıcaklıkta fotovoltaik bileşen ısındığında bitümün yumuşaması ile fotovoltaik bileşenler bitümlü örtüyü ezip, yapısının bozulmasına neden olabilir [20].

- **Gölgelenme:** Fotovoltaik bileşen bünyesinde hücreler seri olarak birbirine bağlanırlar, bir hücrenin üzeri örtüldüyse veya üzerine gölge düştüyse bu hücre daha az akım üretir ve iletilen toplam elektrik akımı azalır [20], Şekil 2.14. Yerleşimin yoğun olduğu bölgelerde çevre yapıların, çevresinde ağaçlar olan bir arazide ağaçların düşürdükleri gölgeler dikkate alınmalı ve sistem gölgede kalmayacak bir şekilde konumlandırılmalıdır. Ayrıca bina bünyesinde bulunan elemanların da (baca, anten vb.) gölgeleri düşünülmelidir.



Şekil 2.14 : Gölgelenme nedeniyle elektrik akımının azalması [23].

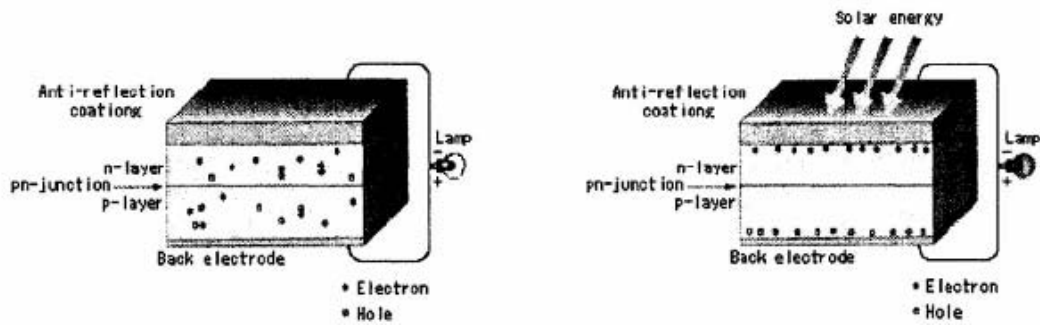
- **Sistemin üzerinde kir, toz, kar birikmesi:** Bu parametre de yine sistemin gölgede kalmaması, güneş ışınlarını alabilmesi açısından önemlidir. Yoğun kar yağışı alan bölge veya ülkelerde gerçekleştirilecek fotovoltaik uygulamalarında sistem eğim açısı, enerji üretimi açısından optimum eğim açısından fazla olsa da, en az 45° olarak ayarlanmalıdır [20]. Tespit sistemlerinin çıkıntıları fotovoltaik bileşen üzerinde yaprak veya herhangi bir maddenin birikmesine meydan vermemelidir, çıkıntısız tasarımlar idealdir [19]. Bu tasarım parametresi düşünülürken sistemin kurulacağı bölgenin iklim koşulları dikkate alınır. Örneğin hava, nemli bölgelerde daha az, kuru iklimlerde ise daha fazla toz bulundurur. Sistemin yağmur suyu ile kendi kendine temizlenmesi büyük bir avantajdır, aksi takdirde sistem yüzeyinin belirli aralıklarla temizlenmesi gereklidir.
- **Estetik görünüş:** Binalarda kullanılan fotovoltaik sistemler estetik açıdan elektrik üretimi veya yapı elemanı performansı gibi kesin kriterlerle değerlendirilemez. Estetik değerlendirme göz ardı edilerek, estetik açıdan niteliksiz uygulamalar yapılabilmektedir. Bu nedenle Uluslararası Enerji Ajansının, Fotovoltaik Enerji Sistemleri Programı'nın 7. çalışma grubu (IEA PVPS Task 7) bu yeni malzemenin estetik açılarından değerlendirilebilmesi için 7 kriter belirlemiştir:
 - Bütünleşmişlik: Sistemin bina bütününe uygun, bir parçası gibi görünmesi anlamına gelir. Sistem çok baskın bir şekilde kendini belli etmemelidir,
 - Mimari olarak çekicilik: Sistem tasarımı geliştirmeli ve binayı çekici göstermelidir,
 - Renk ve malzeme kompozisyonu: Sistemin diğer kullanılan malzemelerle tutarlı bir görüntüsü olmalıdır,
 - Bölümlenmeler, dizilim ve kompozisyon: Sistemin ve modüllerin boyutları bina ve diğer malzeme boyutlarıyla örtüşmelidir,
 - Bina bağlamına uyum: Sistem binanın genel görüntüsü ile tutarlı olmalıdır. Örneğin tarihi bir binada kiremit formundaki bileşenler tercih edilebilecek iken; yüksek katlı yeni bir yapıda ileri teknolojili bir bileşen tercih edilebilir.
 - İyi tasarlanma: Detayların inceliği, zarafeti sağlanmalıdır,

- Yenilikçi tasarım: sistemler pek çok farklı şekilde kullanılmaktadır, ama hala yeni kullanım alternatifleri yaratılabilir. Bu kriter bunun unutulmaması için eklenmiştir [15].
- **Yönetmelik ve standartlar:** Fotovoltaik sistemin kurulacağı bölgeye özel yönetmelikler incelenerek; renk, malzeme, bina formu gibi konularda getirilmiş kısıtlamalar göz önünde bulundurularak yönetmeliklere uygun bileşen seçimi ve sistem tasarımı yapılmalıdır. Bazı ülkelerde binaya entegre edilmiş fotovoltaik sistemlerle ilgili maddeler imar yönetmeliklerine eklenmiştir, örneğin: New York City Building Code, California Structural and Seismic Code, Uniform Building Code (USA), Dutch Building Code [20]. Türkiye’de henüz binalarda fotovoltaik kullanımına ilişkin bir yönetmelik veya standard mevcut değildir.
- **Teknik/elektrik tasarımı:** Elektrik bağlantıları elektrik mühendisi veya teknikerinin sorumluluğu altındadır. Bu konuda yapı tasarımı açısından düşünülmesi gerekenler, kabloların bina içine girişi ve bağlantı kutusunun yeridir [9]. Bağlantı kutusu kabloların birbirlerine bağlandığı kutudur. Kabloların binaya girişinde su sızdırmazlığı ve ısı köprüsü oluşmaması sağlanmalıdır. Bu giriş için mevcut havalandırma kanalları veya bu işlev için üretilmiş kanallar kullanılabilir. Doğru akımı alternatif akıma dönüştüren çevirici ise genellikle bina içerisinde herhangi bir yere yerleştirilebilir, kabloların binaya girişine yakın bir yere yerleştirilirse daha az kablo kullanılmış olunur. Yıldırım çarpmasına karşı sistem topraklanmalıdır. Binanın ve fotovoltaik sistemin yıldırım korumasının ortak olması idealdir. Tek başlarına korunan fotovoltaik sistemler yeterli koruma garantisini vermezler [9].
- **Uygulama kolaylığı:** Fotovoltaik sistemin kurulumunun kolaylığı hem maliyet verimliliği hem de kurulum hızı açısından önemlidir. Tasarım yapılırken kurulum süreci de düşünülmelidir. Kurulum için ek bir iskeleye ihtiyaç duyulmaması, az alet kullanılması, modüllerin kısa mesafelerde ve sayı olarak az aktarılması gibi planlamalar uygulama esnasında kolaylık sağlar [19]. Elektrik bağlantılarının iyi planlanması da kurulum kolaylığı açısından önemlidir.

- **Sistemin dayanıklılığı:** Fotovoltaik bileşenler diğer yapı malzemeleri düşünüldüğünde uzun ömürlüdürler. Standart bir cam-film panelin ömrü 20 yılın üzerindedir [21]. Fotovoltaik sistemde kullanılan diğer malzemelerin özelliklerinin ve detay tasarımlarının da dayanıklılıkta etkisi büyüktür.
- **Hırsızlık, vandalizm:** Fotovoltaik sistemler hırsızlar için de kıymetlidirler. Olağandışı ve değerli görünmeleri vandalların dikkatini kolaylıkla çekmesine sebep olmaktadır. Fotovoltaik sistemlerin genellikle giriş katlarından daha yükseğe yerleştirilmeleri tavsiye edilmektedir. Alan planlaması potansiyel yıkım yada çalınma risklerin azaltılmasını veya önlenmesini sağlayabilir [20].
- **Onarım kolaylığı:** Tasarım aşamasında fotovoltaik sistemin tüm yaşam süreçleri düşünülmelidir. Herhangi bir onarım durumunda fotovoltaik bileşenlerin birbirlerinden bağımsız olarak sistemden sökülebilmeleri önemli bir avantajdır. Ayrıca yine bir onarım durumu için kabloların ve diğer sistem bileşenlerinin erişilebilir olması da düşünülmelidir.
- **Doğal çevreye etkileri:** Fotovoltaik bileşenlerin neden olduğu ekolojik kirlenme üretim ve uygulanma aşamalarında meydana gelir, elektrik üretimleri sırasında herhangi bir kirliliğe neden olmazlar. Kullanım ömürleri sonunda ise geri dönüştürülmeleri mümkün olmakla birlikte pratikte uygulanmamaktadır. Ekolojik değerlendirmenin önemli bir kriteri, enerji geri ödeme periyodudur. Bu, enerji üretimiyle kazanılan enerjiyle bileşenlerin üretiminde kaybedilen enerjinin örtüştüğü periyottur [9]. Çevre üzerindeki etkilerinin değerlendirildiği bir diğer çalışma da yaşam süreci değerlendirmesidir (LCA). Bu çalışmalarda kristal silisyum ya da amorf silisyum üretimi ile ilgili olarak çevre için herhangi bir tehlike rastlanmamıştır. Bazı yeni malzemeler içinse; özellikle de Kadmiyumtelürid gibi, çeşitli tereddütlerden bahsedilmektedir. Ancak bu malzemelerin üreticileri halihazırda hem üretim hem geri-kazanım hem de yok edilme konularında çeşitli araştırma ve geliştirme çalışmaları yürütmekte ve çevresel etkilerin minimize edilmesi için çalışmaktadırlar. Örneğin kadmiyumtellürid'in üretim aşamalarının çeşitli revizyonlara tabi tutularak zararlı kadmiyum salınımının engellenmesi mümkündür [21].

2.5 Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı ve Çeşitleri

Fotovoltaik hücreler yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yarıiletken maddelerin fotovoltaik hücre olarak kullanılabilmesi için N ve P tipi katkıları gereklidir. Katkı, saf yarıiletken eriyik içerisinde istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır. En yaygın fotovoltaik hücre maddesi olarak kullanılan silisyumdan N tipi silisyum elde etmek için silisyum eriyiğine periyodik cetvelin 5. grubundan bir element, örneğin fosfor eklenir. P tipi silisyum elde etmek için ise, eriyiğe 3. gruptan bir element (alüminyum, indiyum, bor gibi) eklenir. N tipi silisyum yapısındaki fazla elektronu kristal yapıya verir, N tipi silisyum “verici” olarak adlandırılırken; P tipi silisyumun yapısında bir elektron eksiktir, bu eksikliğe hol denir ve P tipi silisyum “alıcı” olarak adlandırılır. P ve N tipi katkılandırılmış malzemeler bir araya getirildiğinde yarıiletken eklemler oluşturulur. Eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-hol çiftleri oluşturulur, ardından bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirlerinden ayrılırlar. Birbirlerinden ayrılan elektron-hol çiftleri, fotovoltaik hücrenin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluşturur. Bu süreç yeniden bir fotonun hücre yüzeyine çarpmasıyla aynı şekilde devam eder, Şekil 2.15 [27].



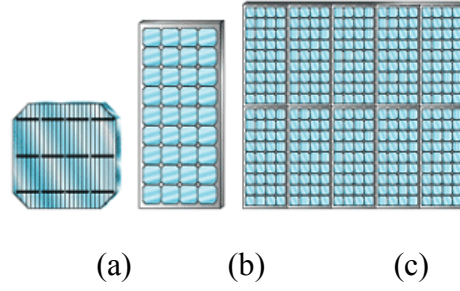
(a) Önce

(b) Sonra

Şekil 2.15 : a) Güneş ışını çarpmadan önce yarıiletken, b) Güneş ışını çarptıktan sonra yarıiletken [28].

Yarıiletken özellik gösteren birçok madde arasında fotovoltaik hücre yapmak için en elverişli olanlar, silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir [27]. Bu yarıiletkenlerle üretilen fotovoltaik hücreler farklı verimlere, görünümlere ve maliyetlere sahiptirler. Verim oranları, hücre üzerine düşen güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülebilir oranlarıdır.

Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen fotovoltaik hücrelerin alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır. Güç çıkışını arttırmak amacıyla çok sayıda hücre birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya modül adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç Watt'tan megaWatt'lara kadar fotovoltaik diziler oluşturulur, Şekil 2.16 [27].



Şekil 2.16 : a) Hücre, b) Modül, c) Dizi [32].

Fotovoltaik modüller 1000W/m² ve 25°C standart test koşullarında test edilirler. %15 verimli bir tekkristal silisyum modülün 1m²'lik yüzeyinin ürettiği enerji 150Wp ölçülür. Bir sistemin maksimum üretebileceği enerji, test koşullarında ölçülen enerjisinden daha düşüktür. Bunun nedeni 1000W/m² güneşli günlerde ulaşılabilecek bir ışınım şiddetidir [21]. Hücre çeşidine bağlı olarak maruz kalınan güneş ışınımının %4-28'i elektrik enerjisine dönüştürülür, Çizelge 2.2 [9]. Günümüzde kullanılan iki çeşit fotovoltaik hücre vardır: kristal silisyum ve ince film hücreler.

Çizelge 2.2 : Standart test koşullarında ortalama hücre ve modül verimlilikleri [21].

Hücre tipi	Ortalama hücre verimliliği %	Ortalama modül verimliliği %
Tekkristal Silisyum	13-17	12-15
Çokkristal Silisyum	12-15	11-14
Amorf Silisyum	5	4,5-4,9

2.5.1 Kristal Silisyum Hücreler

Genel olarak üretilen güneş pillerinin %95 kadarı silikondan yapılır. Silikon yeryüzünde oksijenden sonra, en fazla bulunan elementtir. Bu nedenle neredeyse sınırsız elde edilebilirliği vardır [29]. Silikon, iki farklı şekilde işlenerek tekkristal silisyum ya da çokkristal silisyum hücreler haline getirilir.

2.5.1.1 Tekkristal Silisyum Hücreler

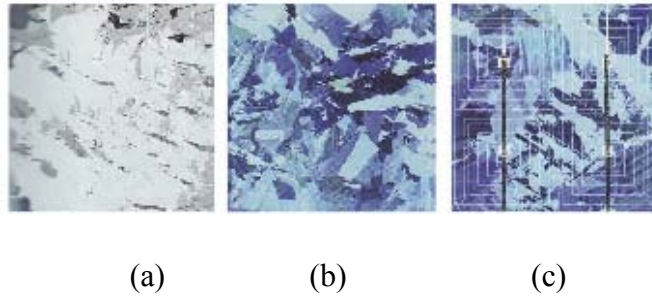
Önce büyütülüp daha sonra 200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlenen tekkristal silisyum bloklardan üretilen fotovoltaik hücrelerden laboratuvar şartlarında %24, ticari modüllerde ise %15'in üzerinde verim elde edilmektedir [30]. Bu hücre türü daire, kare ve yarı-kare formunda; 100x100mm, 125x125mm ve yarıçapı 100,125 veya 150 mm boyutlarında ve 0,3mm kalınlığında üretilmektedir. Homojen görünümlü; koyu maviden siyaha (yansımaya önleyici tabakalı) ve gri (yansımaya önleyici tabakasız) renklerindeirler, Şekil 2.17 [29].



Şekil 2.17 : Kare, yarı kare ve daire şeklindeki tekkristal silisyum hücreler [29].

2.5.1.2 Çokkristal Silisyum Hücreler

Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen çokkristal silisyum fotovoltaik hücreler daha ucuza üretilmekte, ancak verim de daha düşük olmaktadır. Verim, laboratuvar şartlarında %18, ticari modüllerde ise %14 civarındadır [30]. Kare şeklinde; 100x100mm, 125x125mm ve 150x150 mm boyutlarında; 0,3 mm kalınlığında üretilmektedirler. Homojen olmayan bazı yerlerinde kristallerin görülebildiği yüzeye sahiptirler. Renkler ise mavi (yansımaya önleyici tabakalı) ile gümüş gri (yansımaya önleyici tabakasız) arasında değişir, Şekil 2.18 [29].



Şekil 2.18 : (a) Yansımaya önleyici tabakasız çokkristal silisyum hücre, (b) Yansımaya önleyici tabakalı çokkristal silisyum hücre, (c) Yansımaya önleyici tabakalı ve elektrik yolları eklenmiş çokkristal silisyum hücre [29].

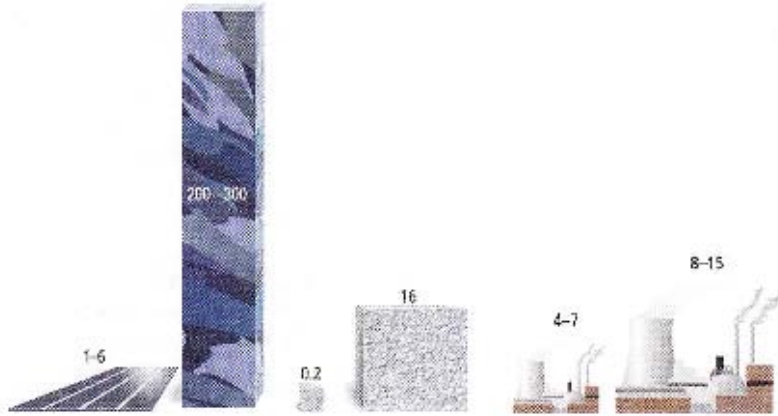
Silisyumun farklı üretim teknikleri ile işlenmesi sonucu çokkristal silisyum hücrenin daha nadir üretilen diğer türleri de power silikon hücreleri (saydam özellik gösterir), efg silikon hücreleri, string-ribbon silikon hücreleri, tekkristal dendritic-web silikon hücreleri, apex silikon hücreleridir [29].

2.5.2 İnce Film Hücreler

Bu tip hücrelerde yarıiletkenler ince katmanlar halinde destek yüzeye (genellikle cam) uygulanırlar. İnce film hücre üretimi kristal silisyum hücrelerin üretiminden daha zahmetsiz ve hızlıdır. Ayrıca daha az malzeme ve enerji ihtiyacı duyulmaktadır, Şekil 2.19 [29].

İnce film hücreler destek yüzeyin boyutlarına göre istenilen boyutlarda üretilebilir ancak elektrik üretimi için aktif olan alanı en geniş dikdörtgen alanıdır. Dikdörtgen formun dışında kalan bölümleri elektrik üretmez [29].

Kristal silisyum hücrelerden farklı olarak hücreler yekpare halinde olur ve hücreler arası bağlantı modül üzerindeki ince oluklarla sağlanır bu oluklar hücrelere şeffaflık kazandırabilir. Yarı geçirgenlik hücreler arası boşluk artırılarak artırılabilir.



Şekil 2.19 : Kristal silisyum (sağdaki) ve ince film(soldaki) hücre türleri arasında kalınlık, malzeme kullanım miktarı ve harcanan enerji karşılaştırması [29].

2.5.2.1 Amorf Silisyum Hücreler

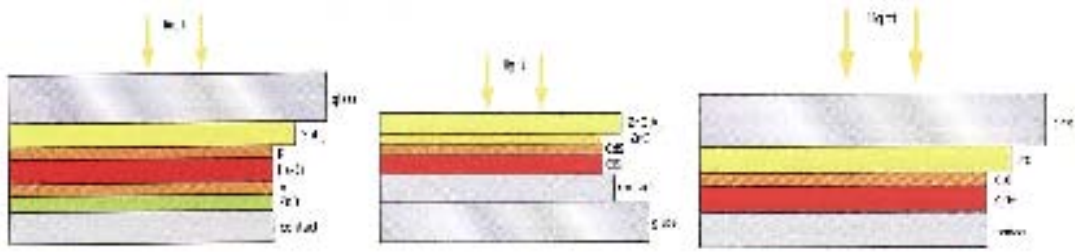
Kristal yapı özelliği göstermeyen bu silisyum hücrelerden elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5-8 mertebesinde dir. Belirli bir formu yoktur, her formda üretilebilirler. Maksimum 0,79x2,44 m boyutlarında üretilmektedirler; özel üretimde ise maksimum 2m x 3 m² boyutlarında üretilebilir [29]. Homojen bir görüntüsü vardır; kırmızı-kahverengi ile siyah arasında renklerde üretilmektedirler. Amorf silisyum güneş pilleri binalara entegre yarısaydam cam yüzeylerde, metal, plastik ya da seramik plakalar üzerinde ince film halinde, yapı dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabilirler [31].

2.5.2.2 Bakır İndiyum Diselenid Hücreler

Bu çokkristal hücrede verim laboratuvar şartlarında %17,7 ve ticari modüllerde ise %7,5-9,5 mertebesinde [31]. Maksimum boyutları 1,20 mm x 0,60 m²'dir. Homojen bir görüntüsü vardır; siyah renkte üretilmektedirler [29].

2.5.2.3 Kadmiyum Tellürid Hücreler

Çok kristal yapıda bir malzeme olan kadmiyum tellürid (CdTe) ile fotovoltaik hücre maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise %6-9 civarında verim elde edilmektedir [31]. Homojen bir görüntüsü vardır; parlak koyu yeşil ile siyah renkte üretilmektedirler [29]. Şekil 2.20'de ince film hücrelerin hücre yapıları gösterilmektedir.



(a)(b) (c)

Şekil 2.20 : (a) Amorf Silisyum, (b) Bakır İndiyum Diselenid, (c) Kadmiyum Tellürid hücre yapıları [29].

2.6 Fotovoltaik Modüller ve Bileşenleri

Fotovoltaik modüller arka yüzeyi oluşturan tabaka ve ön yüzeyi oluşturan şeffaf kaplamanın arasına hücrelerin yerleştirilmesi ile oluşturulurlar. Bazı modüller cam ön yüzü korumak amacıyla çerçevelenirler [21]. Modül çerçeveleri modül üzerinde gölgelere, kir birikmesine yada yağmur suyu sızıntılarına sebebiyet vermeyecek şekilde özel olarak tasarlanmalıdır [20]. Arka tabakanın opak olma zorunluluğu yoktur. Fotovoltaik hücreler iki cam arasına yerleştirildiklerinde saydam modül elde edilir [21]. Modül içindeki hücrelerin yerleşimleri, aralıkları değiştirilerek daha geçirgen ya da daha az geçirgen modüller üretilebilir. Hücrelerle kaplı olan modül alanının, hücreler arasındaki boş alanlara oranı, hücrelerin şekline ve yerleşimine dayanmaktadır, Şekil 2.21. Bu oran üretilen gücün miktarını ve modüllerin operasyon sıcaklığını etkilemektedir [20]. İnce film modüller, adı üzerinde daha

inedirler. Arka tabakanın plastik veya metal kullanımı ile esnek ince film modüller üretilmektedir [21].



Şekil 2.21 : Farklı hücre formları ve dizilimleri [20].

Kristal silisyum modüller farklı boyutlarda üretilmektedir. Genellikle $0,2 \text{ m}^2$ ile $1,5 \text{ m}^2$ alana sahip dikdörtgen modüller mevcuttur. $0,5 \text{ m}$ eninde $1,2 \text{ m}$ yüksekliğinde çerçeveli kristal silisyum modülün ağırlığı $7,5 \text{ kg.}$ 'dır; çerçevesiz bir film-film kristal silisyum modülün ağırlığı ise $4,5 \text{ kg.}$ 'dır [21].

İnce film modüller ise $1-1,2 \text{ m}$ genişliğinde $1,5-1,7 \text{ m}$ uzunluğunda üretilmektedir. Daha küçük boyutlu ince film modüller fotovoltaik shingle kaplamalarında kullanılmaktadır [21].

Tekkristal silisyum modüller, mavi ile siyah renklerde üretilmektedir. Daha farklı renklerde de üretilebilmelerine rağmen, renk değişimi modül verimliliğini etkilediği için tercih edilmemektedir. Örneğin magenta veya altın renkli modüllerde ışık yansıtıcılığının artması sebebiyle verimlilik %20 oranında azalır [21]. Çokkristal silisyum modüller de farklı renklerde üretilebilmelerine rağmen üretilen modüller mavi renktedirler. Çokkristal silisyum modüllerin elmas gibi kırıklı ve parıltılı bir görüntüsü vardır. İnce film modüllerin görüntüsü ise koyu renkli (gri, kahverengi ve siyah) ve mattır [21].

Birçok üretici farklı uygulamalara uyumlu olabilecek standart modül boyutları sunmaktadırlar. Standart boyutlar, üretimde kolaylık sağlayarak birim maliyeti düşürdüğü gibi; uygulamada kolaylık ve çabukluk sağlarlar [20]. Ancak standart fotovoltaik modüller tasarımcılara modül görünüşlerini değiştirme fırsatı sağlamaz. Yaygın olmamakla birlikte, ısmarlama ile özel görünüşte modüller de üretilmektedir. Modülü oluşturan hücreler, hücre dizilimleri ve modül tabakaları değiştirilerek farklı renklerde, formlarda (eğri), şeffaflıkta modüller oluşturulabilir, Çizelge 2.3 [29]. Fotovoltaik modül üretilirken hücreler arası elektrik bağlantıları kurulur ve hücreler kapsülendir.

Çizelge 2.3 : Modül tasarımını etkileyen değişkenler ve tasarım seçenekleri.

Değişken	Etken		Seçenekler
Görsel Yapısı	Hücre tipi	Tekkristal Silisyum	Homojen
		Çokkristal Silisyum	Kristalize
		İnce Film	Homojen
	Elektrik bağlantıları		Farklı yollar izleyebilirler Farklı renklerde seçilebilirler
	Hücre dizilimi		Farklı grid dizilimleri tasarlanabilir.
	Hücre şekli (kristal silisyum hücreler için)		Kare, dikdörtgen, yarı-kare, daire
Renk	Hücre tipi	Kristal Silisyum	Mavi, siyah,gri; özel yansıma önleyici tabaka ile: magenta, altın, kahve, yeşil
		Amorf Silisyum	Kırmızımsı kahve-mavi, mavi mor
		Bakır İndiyum Diselenid	Koyu gri-mavi
		Kadmiyum Tellürid	Parlak koyu yeşil-siyah
	Hücre arka tabakası		Modülün güneş ışığını almayan arka yüzeyindeki tabaka renkli seçilebilir.
Saydamlık	Hücre dizilimi		Hücreler arası boşluklar genişletilerek, daraltılarak ya da kimi yerlerinde değişik yoğunluklarda hücre kullanılarak saydamlık değiştirilebilir.
	Hücre şekli (kristal silisyum hücreler için)		Kare, dikdörtgen, yarı-kare, daire
	Hücre arka tabakası		Modülün güneş ışığını almayan arka yüzeyindeki tabaka saydam seçilebilir.
Boyutlar	Cam boyutu		Farklı boyutlarda camlarla farklı boyutlarda modüller üretilebilir.
Form	Cam formu		Eğri, yamuk şeklinde, üçgen... (bu durumda en büyük dikdörtgen dışında kalan hücreler elektrik üretimine katılmazlar)
Ek işlevler	Cam cinsi		Yansıtıcı
			Güneş korumalı
			Ses izolasyonlu
			Güvenlik camı
			Çift cam
Malzeme	Modül tabakaları		Film
			Cam-film
			Metal-film
			Cam-Cam
			Akrilik plastik
			Makrolon
Birleşim	Modül kullanımı		Çerçevesiz modül
			Çerçevesiz modül

2.6.1 Hücre Bağlantıları

Tek bir kristal silisyum hücreden az enerji çıkışı alınabilmektedir. Bu nedenle güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda hücre birbirine paralel ya da seri bağlanır. Hücreler öncelikle seri bağlanırlar daha sonra bu hücre serileri birbirlerine paralel bağlanarak fotovoltaik modüller elde edilir, Şekil 2.22 [29].



Şekil 2.22 : Kristal silisyum hücrelerin elektrik bağlantıları [29].

İnce film hücrelerdeyse elektrik bağlantısı hücre üretimi esnasında hücre katmanları arasında açılan yivlerle sağlanmaktadır, Şekil 2.23. Bu üretim sırasında malzemeler 1 cm civarında şeritler halinde kesilerek yivler oluşturulur [29].



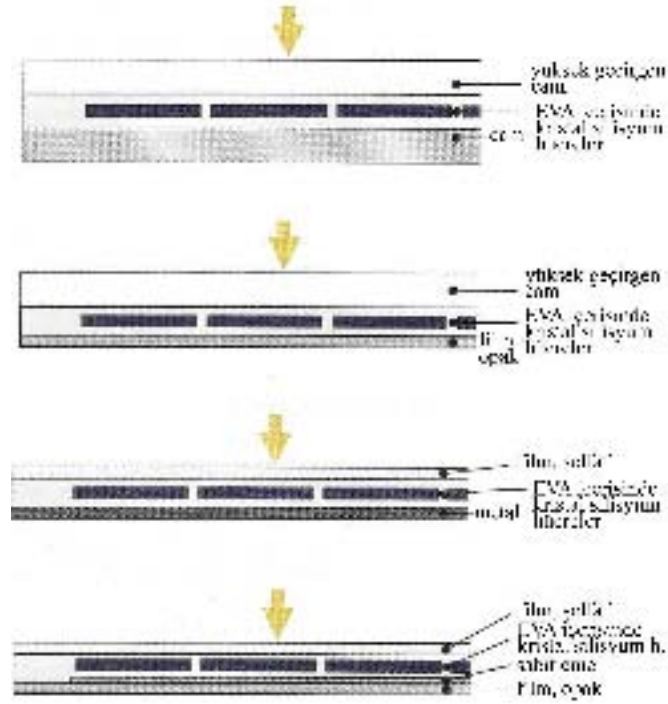
Şekil 2.23 : İnce film hücrelerin elektrik bağlantıları [29].

2.6.2 Hücre Kapsülleme

Modülleri oluşturan hücrelerin bir arada stabil bir şekilde durmaları; mekanik streslerden, hava koşullarından, nemden korumaları için kapsüllemeleri gereklidir. Kapsülleme işlemi hücrelerin kaplanacağı madde ile bir destek tabakasına bağlanmalarıdır. Destek tabakası çoğu zaman camdır. Hücre kapsülleme EVA (ethylene vinyl acetate), teflon ve reçine malzemeleriyle yapılmaktadır [29].

- **EVA ile kapsülleme:** Hücreler artan bir sıcaklıkta EVA ile kaplanır. Hücreler EVA'nın içinde kalır. EVA'nın güneş gören üst yüzeyinin UV korumasına ihtiyacı vardır. Çoğu zaman bu koruyucu katman camdan yapılır, yüksek şeffaflıkta beyaz cam (solar glass) kullanılmaktadır. Arka destek ise cam ya da opak film olabilir. EVA modüllerinin boyutları 2m x 3m'ye kadar olabilir. Standart modül üretiminde en fazla kullanılan kapsülleme

yöntemi EVA ile kapsülleme yöntemidir. Farklı katmanların kullanılmasıyla farklı tipte modüller üretilebilmektedir, Şekil 2.24 [29].



Şekil 2.24 : Cam-cam modül(EVA); Cam-film modül(EVA); Metal-film modül(EVA); Film-film modül(EVA) [29].

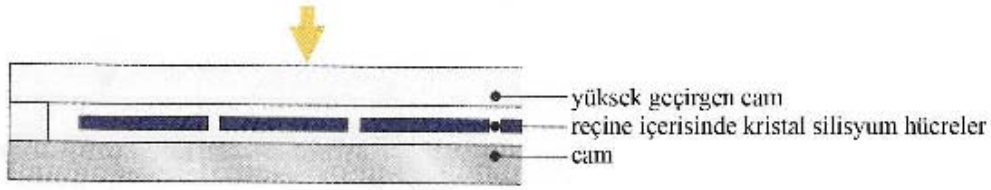
- **Teflon ile kapsülleme:** EVA' dan farklı olarak, teflonla kaplanmış hücreler sadece arka destek malzemesi üzerine yaslanır. Ayrıca başka bir koruyucu kaplamaya ihtiyaç duyulmaz, Şekil 2.25. Bunun nedeni teflon UV koruması sağlar, yüksek şeffaflıktadır; ayrıca kiri ve tozu uzaklaştırır. Arka destek olarak cam, metal, taş levha, beton veya seramik kullanılabilir. Teflon kapsülleme genellikle küçük modüllerde (fotovoltaik çatı kiremitleri) kullanılmaktadır [29].



Şekil 2.25 : Teflon modül [29].

- **Dökme Reçine ile Kapsülleme:** Reçine ile kapsüllemek için hücreler iki cam tabaka arasına yerleştirilir ve kalan boşluk reçine ile doldurulur, Şekil 2.26. Dökme reçine ile kapsüllenen modüllerin boyutları 2,50-m x 3,80-m. 'ye

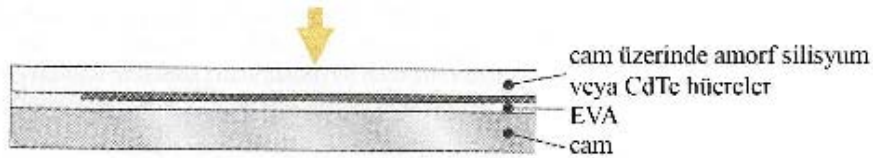
kadar olabilir. Reçine ile kapsüllenen modüller, reçinenin özelliği olan ses emiciliği özelliğini de taşırlar [29].



Şekil 2.26 : Cam-cam modül(dökme reçine) [29].

- **İnce Film Modüllerin Kapsüllemesi:** İnce film hücreler destek tabakası olarak bir cam tabakaya bağlı üretilirler. Ancak bu cam tabaka temperli cam olamaz. Bunun nedeni hücrenin üretimi sırasındaki sıcaklık temperli camın dayanıklılığını düşürür. Bu nedenle ince film modüller daha dayanıklı, kırılmaz bir hale getirilmek için ikinci bir güvenlik camı ile kapsüllenebilirler, Şekil 2.27 [29].

Amorf silisyum ve kadmiyum tellürid hücrelerde yarıiletken katmanlar destek tabakasının (cam) altında olduğundan, var olan destek tabakası (cam) hücreler için iklim şartlarından koruyan kaplama işlevi de görür. EVA ile kapsülleme işlemi sırasında hücrelerin alt yüzeyi başka bir cam tabaka ile örtülür [29].



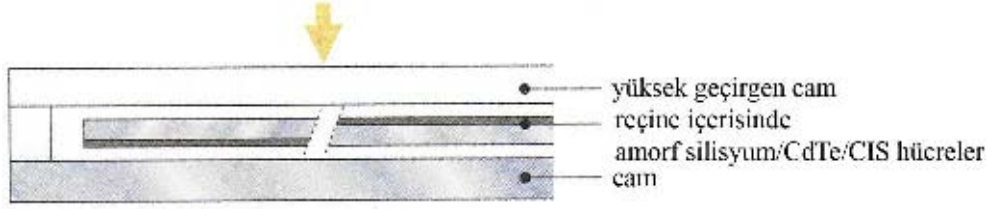
Şekil 2.27 : Cam-cam modül (amorf silisyum veya kadmiyum tellürid hücreler EVA ile) [29].

Bakır indiyum diselenid hücrelerde ise yarıiletken katmanlar destek yüzeyinin üzerinde bulunduğundan EVA ile kapsülleme işlemi sırasında güçlendirilmek istenen hücrelerin üzeri ışık geçirgenliği yüksek cam katmanla örtülür, Şekil 2.28 [29].



Şekil 2.28 : Cam-cam modül (Bakır İndiyum Diselenid Hücreler EVA ile) [29].

İnce film hücrelerin dökme reçine ile kapsüllemesi işleminde, kristal silisyum hücrelere uygulandığı gibi, hücreler iki cam tabaka arasına yerleştirilir, arada bırakılan boşluğa reçine dökülür, ancak bu modüller üç destek tabakası içerdiğinden kalın olmaktadır, Şekil 2.29 [29].

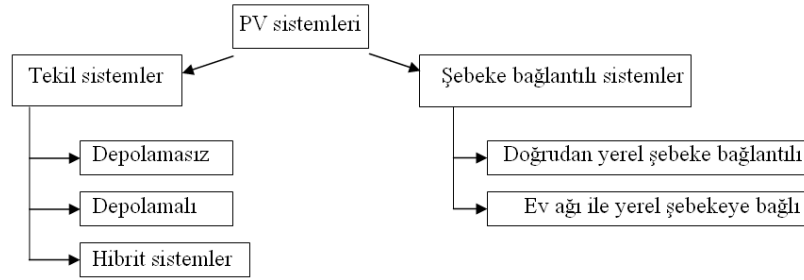


Şekil 2.29 : Cam-cam modül (ince film hücreler reçine ile) [29].

2.7 Fotovoltaik Sistemler

Güneş enerjisinin dönüşüm ve depolanma şekline göre fotovoltaik sistemler ikiye ayrılır. Bunlar, tekil sistemler ve şebeke bağlantılı sistemlerdir, Çizelge 2.4. Tekil sistemler enerjiyi depolayan ve depolamayan sistemler olarak sınıflandırılırken; şebeke bağlantılı sistemler sistemin yerel şebekeye bağlanma çeşidine göre doğrudan ve ev ağı ile yerel şebekeye bağlanan sistemler olmak üzere iki grupta toplanabilirler.

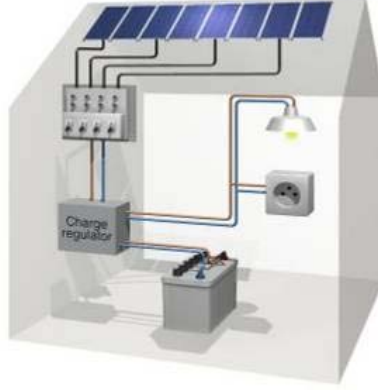
Çizelge 2.4 : Fotovoltaik sistemlerinin enerji dönüşümüne göre sınıflandırılması.



2.7.1 Tekil Sistemler

Tekil sistemler, elektrik şebekesinin ulaşmadığı kırsal yerleşkelerde enerji ihtiyacını karşılamak için kullanıldıkları gibi; hesap makineleri, saatler ve radyolar gibi tüketim ürünlerinde de kullanılır. Enerjinin üretiminden tüketilmesine kadar geçen sürede enerjinin depolanması gerekebilir, bu durumda sisteme yeniden doldurulabilir akü dahil olur. Akünün korunması ve uzun süreli kullanımı için de regülatör kullanılmalıdır. Sonuç olarak standart bir tekil sistemin bileşenleri, fotovoltaik modüller, regülatör ve aküdür, Şekil 2.30 [29].

Tekil sistemlerin bir türü de güneş enerjisi sisteminin rüzgar tribünü gibi farklı bir veya birkaç enerji üretici sistemle birlikte kullanıldığı hibrit sistemlerdir. Güneş pili sisteminin tek başına yetersiz kaldığı durumlarda ya da performans dalgalanmasından doğacak risklerin minimize edilmesi için başvurulabilecek bir sistemdir [31].

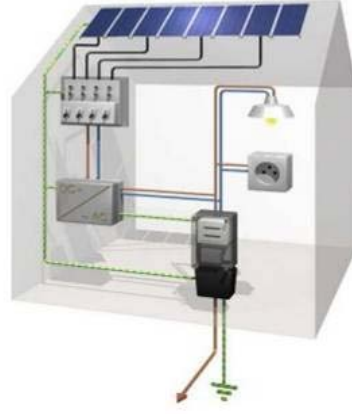


Şekil 2.30 : Tekil sistem [20].

2.7.2 Şebeke Bağlı Sistemler

Şebeke bağlantılı sistemler yerel elektrik şebekesine bir çevirici (inverter) aracılığıyla bağlantılıdır. Çevirici, fotovoltaik sistemin ürettiği düzenli akımı (DC) şehir şebekesinde bulunan alternatif akıma (AC) dönüştürür [33]. Bu sistemde herhangi bir depolama aracı kullanılmaz, Şekil 2.31. Fotovoltaik sistemin enerji üretimi yetersiz kaldığında şebekeden elektrik alınır; enerji fazla üretildiğinde ise fazla elektrik şebekeye aktarılır. Şebekeye geri kazandırılan enerji sayaçtan geçirilerek kullanım bedelinden düşülür [31].

Bu sistemlerde, göz önünde bulundurulması gereken bir güvenlik sorunu vardır. Bölge şebekesinde bir güç kaybı halinde, hatların tamirinin güvenli bir şekilde yapılabilmesi için, konuttaki panel sisteminin, tamir sırasında şebekeye güç vermeye kalkışmaması lazımdır. Konuttaki sistemin bağlı bulunduğu şebeke hattının ölü olduğunu belirleyip, panelin güç çıkışını kesen donanımın da bulundurulması, yani konut sisteminin 'adalanması' gereklidir [33].



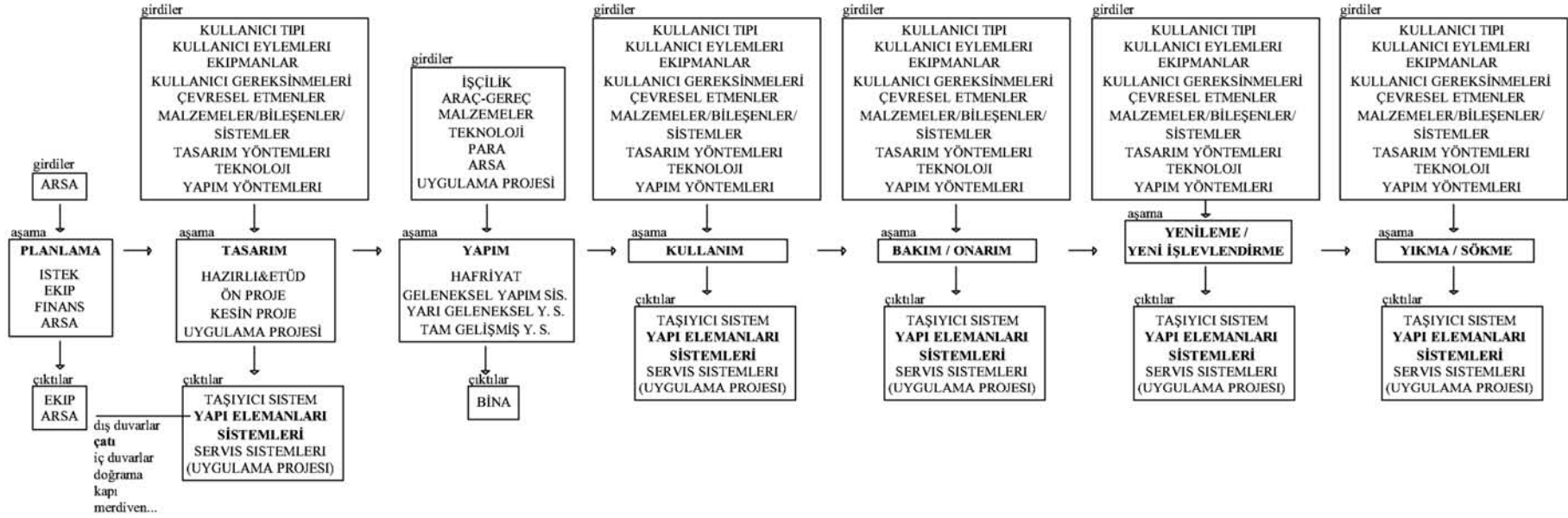
Şekil 2.31 : Şebekeye bağlı sistem [20].

3. ÇATI SİSTEMİ

Bina yaşam döngüsü planlama, tasarım, yapım, kullanım, bakım ve onarım, yenileme (yeni işlevlendirme) ve sökme süreçlerinden oluşur. Her süreç, süreci etkileyen girdiler, süreci oluşturan aşamalar ve sürecin sonucu olan çıktılardan meydana gelir [34]. Bina yaşam döngüsü süreçleri, girdileri ve çıktıları Şekil 3.1’de özetlenmiştir. Yapı elemanı sistemlerinin, tasarım süreci girdilerinden kullanıcı gereksinmelerinin karşılanması için, yine tasarım süreci girdisi olan çevresel etmenlerin etkisi altında belirli bir davranış (performans) göstermeleri beklenir. Bunlara performans gereksinmeleri adı verilir [34].

Kullanıcı gereksinmelerinin yapı elemanı sistemlerinin tasarımında çıkış noktası olarak seçilmesinin nedeni, kullanıcı ile yapı arasındaki bağlantıyı -işlevsel ilişkiyi- ve yapının kullanıcıya uyum veya uyumsuzluğunu göstermesidir [35]. İnsanın yaşantısını biyolojik, fizyolojik, psikolojik ve sosyolojik açıdan zarara uğramadan, konfor içinde ve yaptığı eylemler sırasındaki verimini arttıracak biçimde sürdürebilmesi için gerekli koşullar, gereksinmelerini oluşturur [36]. İnsan gereksinmelerinin yapı tarafından karşılanması gereken bölümü “kullanıcı gereksinmeleri” ile sınırlandırılır. Bu gereksinmelerin karşılanması, kullanıcı eylemlerinin en etkin biçimde yerine getirilebilmesinin yanında, kullanıcının yaşamını sağlıklı olarak sürdürme temel gereksinmesine yanıt verilmesini sağlar [37]. Kullanıcı gereksinmeleri kullanıcı özelliklerine bağlı olarak şöyle sıralanabilir;

- Biyolojik/fizyolojik gereksinmeler: Sıcaklık, nem oranı, hava hareket hızı, ses düzeyi ve aydınlık seviyesi değerlerinin kullanıcının konfor koşullarını sağlayan seviyelerde olması gibi [38],
- Sosyal/psikolojik gereksinmeler: Kullanıcının kendisini güvenli ve sağlıklı hissetmesiyle; mekanın, kullanıcının mahremiyetini, iletişim bağlarını ve estetik değerlerini sağlaması gibi [38],



Şekil 3.1 : Bina yaşam döngüsü [34].

- Eylemler ile ilgili gereksinimler [38],
- Fiziksel boyut ile ilgili gereksinimler [38].

Çatı sistemini etkileyen çevresel etmenler ise şöyle sıralanabilir:

- Doğal çevre etmenleri: Yükler ve kuvvetler (ölü yükler, hareketli yükler, dinamik yükler), iklim elemanları (sıcaklık -dış ortam kuru termometre sıcaklığı, düşey yağmur miktarı, dış ortam bağıl nem miktarı, güneş ışınımı, rüzgar hızı ve yönü), flora (çevresel şartlar ile uyumlu), fauna, zemin (toprak cinsleri), doğal kaynaklar (hammadde, malzeme vb.),
- Yapma çevre etmenleri: Bina tipolojisi, bina biçimi (plan biçimi, kat adedi), çatı tipi, biçimi, yerleşme yoğunluğu, vb.,
- Teknolojik çevre: yapı malzemeleri, yapı araç ve gereçleri, yapım teknikleri, vb.,
- Ekonomik çevre: bütçe, malzeme fiyatları, vb.,
- Sosyo-kültürel çevre: çatı kullanımı, vb.,
- Hukuksal çevre: ilgili yasa, yönetmelik, standard vb.

Çizelge 3.1’de, tanımlanmış kullanıcı gereksinmelerinin karşılanması için, doğal çevre etmenleri etkisi altında, çatı sistemlerinden beklenen performans gereksinimleri ve bu performans gereksinmelerini karşılayacak çatı sistem bileşenleri, malzemeleri ve önlemler tanımlanmıştır. İleriki bölümlerde çatı sisteminin tasarım süreci girdilerinden kullanıcı gereksinimleri ve doğal çevre etmenleri ele alınarak; çatı sisteminden beklenen performans gereksinmelerini karşılayan çatı sistemi bileşenlerine değinilecektir.

Çizelge 3.1 : Çatı sistemi tasarım süreci girdileri.

KULLANICI GEREKSİNİMLERİ	ETMENLER		PERFORMANS GEREKSİNİMLERİ	PERFORMANS ANALİZİ	MALZEME/ BİLEŞEN/ ÖNLEM	ÖZELLİKLERİ
<p>GÜVENLİ OLMA (Sosyal/psikolojik gereksinme)</p>	<p>YÜKLER</p>	<p>ÖLÜ YÜKLER: Yapı elemanlarının ağırlıkları, tesisat sisteminin ağırlıkları</p>	<p>BELİRLİ BİR AÇIKLIĞI GEÇERKEN ÜZERİNE GELEN YÜKLERİ DENGEDEN, STABİL VE DAYANIKLI BİR ŞEKİLDE BİNA TAŞIYICI SİSTEMİNE AKTARABİLME</p>	<p>DÖNME ÇÖKME DEFORMASYONLAR (BOYDA UZAMA, KISALMA, KESİTTE İNCELME, BURKULMA, EĞİLME VB.)</p>	<p>ÇATI TAŞIYICI SİSTEMİ</p>	<p>MALZEMELERİN VE SİSTEMİN MUKAVEMET(M) DEĞERLERİ: BASINÇ M. ÇEKME M. KESME(KAYMA)M. BURKULMA M.</p>
		<p>HAREKETLİ YÜKLER: Trafik yükü, malzeme hareketleri (ıslanmada, sıcaklık farklarında şişme ve büzümeye; donma), rüzgar yükü, kar yükü</p>				
		<p>DİNAMİK YÜKLER: ÇALIŞMAKTA OLAN BÜYÜK TİTREŞİMLİ MAKİNE, YAĞMUR YÜKÜ, RÜZGAR YÜKÜ, DARBE YÜKÜ, PATLAMALAR VE DEPREM YÜKLERİ</p>				
<p>ISIL KONFOR (SICAKLIK, BAĞIL) (Biyolojik/fizyolojik gereksinme)</p>	<p>SICAKLIK FARKLILIĞI</p>		<p>ISI AKIMINI KONTROL ETME</p>	<p>İSTENMEYEN ISI AKIMI- ENERJİ TÜKETİMİ- CO2 SALINIMI</p>	<p>ISI YALITIMI</p>	<p>ISI GEÇİRGENLİK KATSAYICI (W/MK)</p>

	GÜNEŞ IŞINLARI IR (kıızıl ötesi)	GÜNEŞ IŞINLARINI YANSITMA		KAPLAMA	YANSITMA ORANI (PÜRÜZLÜLÜK, RENK)
DAYANIKLILIK	GÜNEŞ IŞINLARI UV (mor ötesi)	GÜNEŞ IŞINLARINI YANSITMA	ORGANİK MALZEMELERİN BOZULMASI, KİMSAYAL AYRIŞMALARI	KAPLAMA	YANSITMA ORANI (PÜRÜZLÜLÜK, RENK)
HİJYEN/KURULUK (Biyolojik/fizyolojik gereksinme) ESTETİK (Sosyal/psikolojik gereksinme)	YAĞMUR	SUYU GEÇİRMEME	SIZDIRAN ÇATI	SU YALITIMI	BUHARI DİFÜZYON DİRENÇ FAKTÖRÜ
		SUYU TOPLAMA VE HIZLICA UZAKLAŞTIRMA		EĞİM	
	SU BUHARI	HAVALANDIRMA / SU BUHARINI GEÇİRMEME	YOĞUŞMA TERLEME	SU BUHARI KESİCİ	
				HAVALANDIRMA BOŞLUĞU	
MALZEME SICAKLIĞINDA DEĞİŞİMLER	ISIL HAREKETLERİ KONTROL ETME	ISIL HAREKETLER DOLAYISIYLA MALZEMELERDE ve BİRLEŞİM YERLERİNDE OLUŞAN ÇATLAMALARDAN SIZINTI	ESNEK (DERZLİ) VE SIZDIRMAZ BİRLEŞİMLER	GENLEŞME KATSAYILARI	
İŞİTSEL KONFOR (Biyolojik/fizyolojik gereksinme)	HAVA KAYNAKLI SESLER	SES GEÇİŞİNİ KONTROL ETME	GÜRÜLTÜ	SES YALITIMI	SES EMİCİLİK SES YANSITICILIK
				KÜTLE ARTTIRMA	
GÜVENLİ OLMA (Sosyal/psikolojik gereksinme)	GÜNEŞ IŞINLARI ELEKTRİK KAÇAĞI...	KOLAY ALEV ALMAMA YANGIN GEÇİRMEME	YANGIN	YANMAZ MALZEMELER	YANMA SINIFI

3.1 Formlarına Göre Çatı Sistemleri

Çatı formunun oluşmasında daha önce değinilmiş olan (Bölüm 3) doğal, yapma, teknolojik, ekonomik, sosyo-kültürel ve hukuksal çevre etmenleri etkili olur.

Eğim derecelerine göre çatılar şu şekilde sınıflandırılırlar:

- düz çatılar: eğimi %5'ten az olan çatılar,
- az eğimli çatılar: eğimi %5'ten %22'ye kadar olan çatılar,
- eğimli çatılar: eğimi %22'den %45'e kadar olan çatılar,
- çok eğimli çatılar: eğimi %45'ten fazla olan çatılar,
- değişken eğimli çatılar: kubbe, tonoz ve kabuk gibi yüzeylerin eğimleri 0-90° arasında değişen çatılar.

Çatılar formlarına göre ise düz, eğik ve eğri olmak üzere üç grupta sınıflandırılırlar, Çizelge 3.2.

Çizelge 3.2 : Formlarına göre çatı tipleri.

DÜZLEMSEL		EĞRİ				
DÜZ	EĞİK			EĞRİ		
	TEK YÜZEYLİ	İKİ YÜZEYLİ	ÇOK YÜZEYLİ	TEK EĞRİLİKLİ	ÇİFT EĞRİLİKLİ	
	TERAS ÇATI	EĞİK ÇATI	EĞİK ÇATI	EĞİK ÇATI	EĞİK ÇATI	

3.1.1 Düz çatı

Eğimi %5'ten az olan çatılara düz (teras) çatı denir. Düz çatılar derinliği fazla olan yapılarda dik eğimli çatılara kıyasla daha ucuza mal olurlar. Ayrıca düz çatılar, açık mekan olarak farklı amaçlarla kullanılabilirler.

3.1.2 Eğik çatı

Yatay düzlemler arasında %5'ten fazla açı bulunan eğik düzlemler çatılara eğik çatı denir. Çizelge 3.2'den de takip edilebileceği üzere eğik düzlemler farklı şekillerde bir araya getirilerek farklı formlarda eğik çatılar kurulabilir:

- Tek yüzeyle (sundurma) eğik çatılar,
- İki yüzeyle eğik çatılar: beşik, mansard, vadi çatılar,
- Çok yüzeyle eğik çatılar: kırma, kule (piramidal) çatılar. Beşik veya mansard çatılar, kırma veya kule formlarında çok yüzeyle olarak da tasarlanabilirler.
- Prizmatik çatılar: düzlem yüzeylerin birbirlerine paralel ara kesitler oluşturacak şekilde bir araya gelmeleri ile oluşturulurlar.

3.1.3 Eğri çatı

Yüzey eğimleri 0-90° arasında değişen çatılara eğri çatı denir. Çizelge 3.2'den de takip edilebileceği üzere eğri çatılar eğriliklerine göre tek ve çift eğrilikli çatılar olarak sınıflandırılabilirler.

- Tek eğrilikli eğri çatılar: bir yönde eğriliğin, diğer yönde ise doğruluğun olduğu eğrilikli çatı formlarıdır. Silindirik veya konisel formlardır.
- Çift eğrilikli eğri çatılar: eğrilikleri aynı yönde çift eğrilikli yüzeyler (kubbe); eğrilikleri aksi yönde çift eğrilikli (hiperbolik, hiperbolik paraboloid/eğer) yüzeyler; eğrilikleri aynı ve aksi yönde yüzeyler (konoid, torus) olmak üzere üç ayrı grupta incelenebilirler.

3.2 Çatı Sistemi Bileşenleri

Çizelge 3.1'de tanımlanmış çatı sistemi bileşenleri ve malzemeleri, kullanıcı gereksinimlerine, doğal çevre etmenlerine ve karşıladıkları performans gereksinimlerine bağlı olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Kullanıcının sosyal-psikolojik gereksinimlerinden olan güvenlik gereksinimi, çatı sisteminin doğal çevre etmenlerinden yükler ve kuvvetlerin etkisi altında belirli bir açıklığı herhangi bir dönme, çökme ve deformasyona uğramadan; yükleri stabil ve dayanıklı bir şekilde bina taşıyıcı sistemine

aktararak geçebilmesi ile karşılanır. Bu performans gereksinmesini sağlayan çatı sistemi bileşeni çatı taşıyıcı sistemidir.

- Kullanıcının biyolojik/fizyolojik gereksinmelerinden ısı konfor gereksinmesinin karşılanması için, doğal çevre etmenlerinden IR (kızıl ötesi) dalga boyundaki güneş ışınlarının etkisi altında, çatı sisteminden beklenen performans gereksinmesi, çatı üst yüzeylerine gelen IR dalga boyundaki güneş ışınlarını yansıtarak, istenmeyen ısı kazançlarına engel olmak, böylelikle ısıtma-soğutma sistemlerine getirilecek yükü azaltarak, enerji tüketimini dolayısıyla da CO2 salınımını azaltmaktır. Bu performans gereksinmesini sağlayan çatı sistemi bileşeni çatı kaplamasıdır.
- UV(mor ötesi) dalga boyundaki güneş ışınları etkisi altında ise çatı sisteminden beklenen performans gereksinmesi, bu ışınları yansıtarak organik malzemelerin bozulmasına ve kimyasal ayrışmalara engel olmasıdır. Bu performans gereksinmelerini karşılayan çatı sistemi bileşeni de çatı kaplamasıdır.
- Yine, kullanıcının biyolojik/fizyolojik gereksinmelerinden ısı konfor gereksinmesinin karşılanması için, doğal çevre etmenlerinden sıcaklık farkının etkisi altında, çatı sisteminden beklenen performans gereksinmesi, ısı akımını kontrol altına alarak istenmeyen ısı kazanç veya kayıplarına engel olmak, böylelikle ısıtma-soğutma sistemlerine getirilecek yükü azaltarak, enerji tüketimini dolayısıyla da CO2 salınımını azaltmaktır. Bu performans gereksinmesini karşılayan çatı sistemi bileşeni, ısı yalıtımıdır.
- Kullanıcının biyolojik/fizyolojik gereksinmelerinden hijyenin ve sosyal/psikolojik gereksinmelerinden estetiğin sağlanabilmesi için, doğal çevre etmenlerinden yağmurun etkisi altında, çatı sisteminden beklenen performans gereksinmesi, suyu içeri geçirmeyerek, toplaması ve hızlıca uzaklaştırmasıdır. Bu performans gereksinmesini karşılayan çatı sistemi bileşenleri, suyu içeri geçirmeyen su yalıtımı ve uzaklaştıran yağmur suyu indirme sistemi iken; uzaklaştırmada suyu toplayan ve hızlandıran tasarım önlemi çatı eğimidir.
- Yine, kullanıcının hijyen ve estetik gereksinmelerinin sağlanması için doğal çevre etmenlerinden su buharına karşı çatı sisteminden beklenen performans

gereksinmesi, su buharının çatı bünyesinde yoğunlaşmasına veya çatı yüzeyinde terlemesine engel olmasıdır. Bu performans gereksinmesini karşılayan çatı sistemi bileşeni, havalandırmasız çatılarda su buharı kesici veya dengeleyici örtüler iken; havalandırmalı çatı sistemlerinde tasarım önlemi olarak havalandırma boşluğudur.

- Kullanıcının biyolojik/fizyolojik gereksinmelerinden işitsel konforun sağlanabilmesi için çevresel etmenlerden sesin etkisi altında çatı sisteminden beklenen performans gereksinmesi, ses geçişini kontrol edebilmesidir. Bu performans gereksinmesini karşılayan çatı sistemi bileşeni ses yalıtımıdır. Buna ek olarak çatı sisteminin ağırlığı arttırarak da bu performans gereksinmesi karşılanabilir [34]. Genellikle ses geçişini kontrol altına alma performans gereksinmesini karşılaması için ek bir ses yalıtımı yerine ısı geçişini kontrol altına almak için kullanılan, ses emici ısı yalıtımı malzemeleri kullanılır. Ses yalıtımı malzemelerinden ayrıca bahsedilmeyecektir.

3.2.1 Çatı taşıyıcı sistemi

Kullanıcının sosyal-psikolojik gereksinmelerinden olan güvenlik gereksinmesi, kullanıcının fiziksel zarar ve tehditlerden korunduğu ortamlarda karşılanabilir. Çatı sistemi açısından kullanıcı güvenliğinin sağlanması da, çatı sisteminin doğal çevre etmenlerinden yükler ve kuvvetlerin etkisi altında belirli bir açıklığı geçerken herhangi bir dönme, çökme ve deformasyona uğramadan, yükleri stabil ve dayanıklı bir şekilde bina taşıyıcı sistemine aktarabilmesine bağlıdır. Çatı sistemine etki eden yükler “TS 498 Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri” standardında belirtilen yükler düşünülerek aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

- Sabit (ölü) yük: Yapı elemanları üzerinde kalıcı olarak bulunan ve yer değiştirmeyen yüklerdir. Yapı elemanlarının ağırlıkları ve sistem üstündeki tüm devamlı yüklerin ağırlığı sabit yükleri oluşturur [39].
- Hareketli yük: Yapıya sonradan yüklenen, uzun zaman dilimleri içerisinde ve yavaş olarak değişim gösteren yüklerdir. Trafik (insan) yükü, rüzgar yükü, kar yükü gibi [39].

- Sıcaklık farklarından ve oturmalarından kaynaklanan yükler: genleşme, büzülme, bina temellerinin düzgün olamayan oturmaları.
- Dinamik yük: Yapıya birdenbire etkileyen ve çok kısa süreler (saliseden küçük) içerisinde çok büyük değişimler gösteren kuvvetlerdir. Örnek olarak çalışmakta olan büyük titreşimli makine, yağmur yükü, rüzgar yükü, darbe yükü, patlamalar ve deprem yükleri sayılabilir [40].

Bu yükler etkisi altındaki elemanlarda gerilmeler meydana gelir, gerilme örnekleri oldukça karışık ise de herbiri en çok üç temel gerilme durumundan oluşur [40]:

- Çekme: Malzeme parçacıklarının birbirinden uzaklaşma eğiliminde buldukları durumdur ve malzemelerin boylarında uzama, kalınlıklarında azalma deformasyonlarına neden olur .
- Basınç: Malzeme parçacıklarının birbirlerine doğru itildiği gerilme durumudur. Basınç gerilmesi malzemede kısalma ve/veya burkulma deformasyonlarına yol açar .
- Kayma: Malzeme parçacıklarının birbirlerine kıyasla kayma eğiliminde oldukları gerilme durumudur. Kayma dikdörtgen biçimli bir elemanın şeklini bir paralel kenara dönüştürecek şekilde deformasyonlar oluşturur .

Bir elemanın değişik liflerinde meydana gelen çekme ve basınç gerilmelerinin kombinasyonuna da eğilme denir ve eğilme çatı sistemlerinin çoğunda temel bir rol oynar [40].

Bu gerilmelerin etkisi altında çatı sisteminin belli bir açıklığı güvenli bir şekilde geçebilmesi için stabil ve dayanıklı bir şekilde davranması beklenir. Stabilité temel koşulu, çatı sisteminin bir bütün olarak kabul edilemeyecek hareketleri yapmamasının (dönmemesi) veya bazı parçalarının hareket etmeyeceğinin (çökmemesi) garanti edilmesidir. Dayanıklılık ise sistemin bütününe ve her bir parçasının gerilmeleri, deforme olmadan, emniyetle karşılayabilmesidir. Çatı sisteminin belli bir açıklığı stabil ve dayanıklı bir şekilde geçebilmesini de çatı taşıyıcı sistemi sağlar. Çatı taşıyıcı sistemleri kirişli ve yüzeysel çatı taşıyıcı sistemleri olarak; bileşenleri ise çubuk ve yüzeysel taşıyıcı elemanlar olarak sınıflandırılarak ele alınacaktır.

3.2.1.1 Çatı taşıyıcı sistem çeşitleri

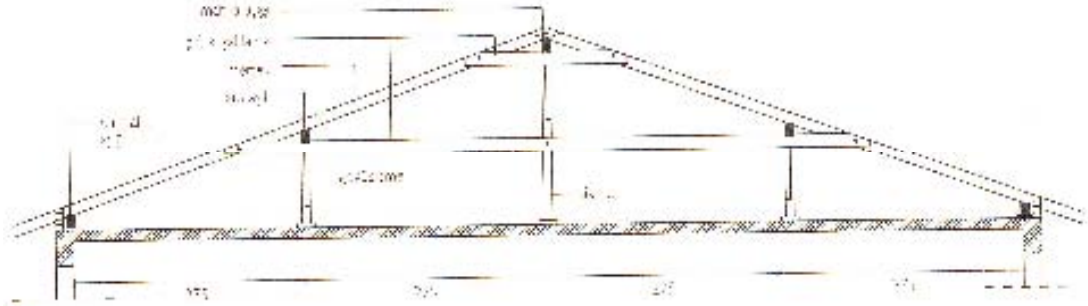
Çatı taşıyıcı sistemleri bileşenlerine göre kirişli (ızgara) ve yüzeysel çatı taşıyıcı sistemleri olarak sınıflandırılabilirler. Kirişli taşıyıcı sistem elemanları ve düzlem oluşturan yardımcı elemanlarla kurulan sistemlere, kirişli taşıyıcı sistemler denir. Kenarlarından bina taşıyıcı sisteminin kirişlerine basan kirişlerle veya bunlara ek olarak çok sayıda, genellikle birbirine paralel konumlu ara kirişlerle oluşturulurlar. Şekil 3.2’de kirişli taşıyıcı sistemleri oluştururken kullanılan taşıyıcı çubuk elemanlar ve düzlem oluşturan yardımcı yüzeysel elemanlar ile bu elemanlarla oluşturulabilecek çatı formları verilmiştir. Kirişli eğik çatı yüzeyini elde edebilmek için, çatının oturduğu bazı duvarlar yükseltilerek döşeme eğimli bir şekilde oturtulabilir. Yükseltilmiş duvarlara kalkan duvarı adı verilirken, döşeme taban/başlık kirişlerine aşık, döşeme kirişlerine mertek ve döşeme latalarına da kaplama tahtası adı verilir. Elemanların adı kirişli döşemedeki elemanlardan farklılaşsa da yük aktarım özellikleri, uygun veya minimum boyutları, konstrüktif çözümleri itibarıyla kirişli döşemelerden farklılık göstermez [41].

Ahşap eğik çatıların kirişli sistemde yapılmasında kullanılan geleneksel yöntemlere dayanan çatı taşıyıcı sistemleri vardır. Bunlar, oturtma, asma ve karma sistemler olarak sıralanabilir.

YÜZEYSEL ELEMANLAR	+	ÇUBUK ELEMANLAR (KİRİŞLER)	ÇATI FORMLARI		
			DÜZ	EĞİK	EĞRİ
		AHŞAP KIRIŞ			
AHŞAP DÖŞEME TAHTASI		AHŞAP LAMİNE KİRİŞLER			
AHŞAP PANEL		AHŞAP KUTU (SANDIK) KİRİŞ			
AHŞAP GERMELİ PANELLER		ÇELİK I PROFİL			
B.A. PLAK (YERİNDE DÖKÜM)		ÇELİK DOLU GÖVDELİ BİLEŞİK KİRİŞ			
B.A. PLAK (ÖNYAPIMLI)		BETONARME KİRİŞ			
ÇELİK TRAPEZODIAL LEVHA ÜZERİNE BETON DOLGU		ÜÇGEN KAFES KİRİŞ (ÇELİK / AHŞAP)			
GAZBETON PANEL		PARABOLİK KAFES KİRİŞ (ÇELİK / AHŞAP)			
ÇELİK TRAPEZODIAL LEVHA		DÜZ KAFES KİRİŞ (ÇELİK / AHŞAP)			
		KEMER (ÇELİK / LAM. AHŞAP / B.A.)			
		UZAY KAFES			

Şekil 3.2 : Kirişli taşıyıcı sistemlerde kullanılan yüzeysel ve çubuk taşıyıcı elemanlar ve bu sistemlerle kurulabilen çatı formları.

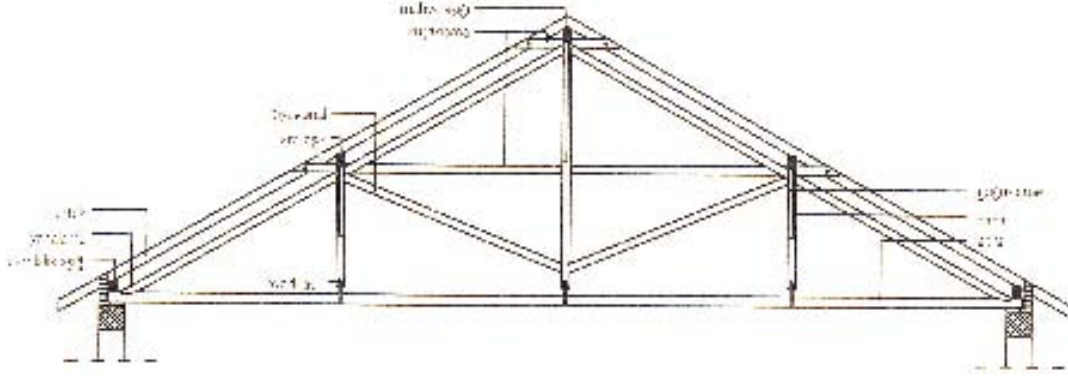
Bir bina boyunca her 3-4 metrede bir enine taşıyıcı duvar varsa, binanın çatı yükünü taşıyabilecek duvarları arasındaki açıklık 4m'den az ise veya bina üzerinde çatı yükünü taşımaya uygun bir döşeme varsa çatı makasları doğrudan bu duvar veya döşemelere oturtulur. Bu şekilde düzenlenen geleneksel çatı taşıyıcı sistemine oturtma çatı denir. Oturtma çatı bileşenleri, Şekil 3.3'te gösterildiği gibi, kaplama tahtası (düzlemi), mertek, aşık (mahya, damlalık, ara aşıklar), göğüsleme, kuşaklama, dikme, plak/ bağlama kirişi olarak sayılabilir. Bina taşıyıcı sistemindeki düşey taşıyıcı elemanlara kolon adı verilirken, bu çatı sistemindeki düşey elemanlara dikme adı verilir. Ayrıca, çatının tepe noktalarını birleştiren aşıklara mahya aşığı, çatı kenarlarında bulunan aşıklara damlalık aşığı ve gerek duyulursa mahya ve damlalık aşığı arasında yer alan ve dikmelere oturan aşıklara da ara aşık adı verilir. Aşıklara dik doğrultuda dikmeleri yatay olarak birbirine bağlayan destek elemanına kuşaklama; taşıyıcı sistemi aşık/mahya doğrultusunda destekleyen, altta dikmeye, üstte aşığa birleştirilen destek elemana ise göğüsleme adı verilir [41, 42].



Şekil 3.3 : Oturtma çatı örneği [42].

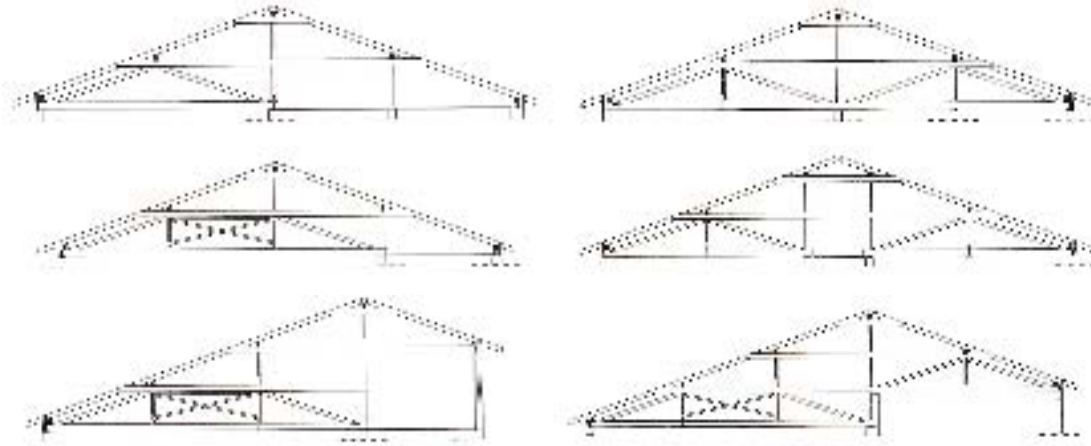
Deneysel kabullere göre oturtma çatılarda dikmelerin oturtulacağı mesnetler arasındaki açıklığın 4-4.50 m. 'yi aşması durumlarında oturtma çatı taşıyıcı sistemi ekonomik olma özelliğini kaybeder [42]. Bu durumlarda asma çatılar tercih edilir. Asma çatılar, çatı yüklerinin çatı kenarlarından yapı taşıyıcı sistemine aktarıldığı, altlarında düşey kolon/duvar veya yatay plak gibi yapı taşıyıcı elemanlarının bulunmadığı çatı tipleridir [41]. Şekil 3.4'ten de takip edilebileceği gibi, asma çatı sistemin bileşenleri kaplama tahtası (düzlemi), mertek, aşık, baba, yanlama, kuşaklama, diyagonal (üç babalı asma çatılarda), gergi olarak sayılabilir. Oturtma çatıların aksine asma çatılardaki düşey elemanlar çekmeye çalışırlar ve bunlara baba (askı) adı verilir. Aşıklardan babalara gelen düşey yükü kendi eğimi doğrultusunda basınç kuvveti olarak gergiye ileterek, gergide çekme gerilmesi meydana getiren elemana yanlama (makas kirişi/üst başlık); yanlamaları alt uçlarından birleştiren

elemenana gergi (bırakma kirişi) denir. Yanlamaların, babaların ve gerginin oluşturduğu taşıyıcı sisteme de makas adı verilir. Üç babalı çatılarda makasta, babalar arasında, yanlama doğrultusuna ters konumda bulunan diyagonal denilen destek elemanları da kullanılmaktadır. Kuşaklamalar da oturtma çatıda olduğu gibi dikey taşıyıcı elemanları (baba) birleştiren destek elemanı olarak kullanılabilirler.



Şekil 3.4 : Asma çatı örneği [42].

















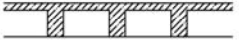


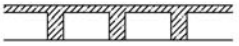








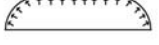

Çatının taşıyıcı konstrüksiyonunun bir bölümünün oturtma, diğer bir bölümünün asma çatı taşıyıcı niteliklerini taşıdığı çatı çözümlerine karma çatı adı verilir. Şekil 3.5’te karma çatı örnekleri verilmiştir.



Şekil 3.5 : Karma çatı örnekleri [42].

Kirişli çatı taşıyıcı sistemlerinden farklı olarak, ara çubuk taşıyıcı elemanlar olmaksızın, sadece yüzeysel taşıyıcı elemanlarla kurulan çatı taşıyıcı sistemlerine yüzeysel çatı taşıyıcı sistemleri denir. Betonarme, ahşap, çelik, seramik ve plastik malzemelerden oluşturulabilirler [42]. Şekil 3.6’da yüzeysel taşıyıcı sistem elemanları ve bu elemanlarla oluşturulabilecek çatı formları gösterilmektedir.

YÜZEYSEL TAŞIYICI ELEMANLAR → ÇATI FORMLARI

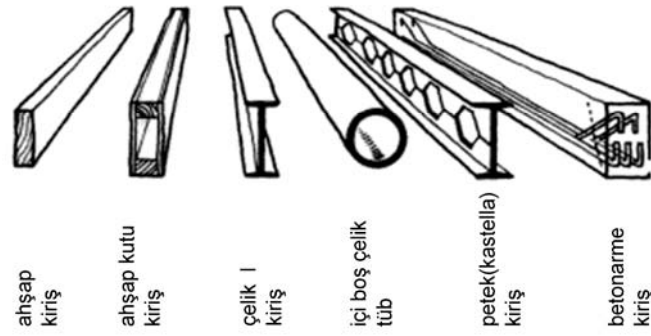
		DÜZ	EĞİK	EĞRİ
		AHŞAP GERMELİ PANELLER		
B.A. PLAK (YERİNDE DÖKÜM)				
B.A. PLAK (ÖNYAPIMLI)				
B.A. ÇİFT T - KİRİŞLİ DÖŞEME				
B.A. T - KİRİŞLİ DÖŞEME				
B.A. MANTAR DÖŞEME				
B.A. NERVÜRLÜ DÖŞEME				
B.A. KASET DÖŞEME				
KATLANMIŞ PLAK (KONTRPLAK/ B.A.)				
KABUK (B.A. , ÇELİK / AHŞAP KABURGALI)				
ÇELİK KABLO (ASMA / GERME)				
ŞİŞİRME SİSTEMLER				

Şekil 3.6 : Yüzeysel taşıyıcı sistemlerle kurulabilen çatı formları.

3.2.1.2 Çatı taşıyıcı sistem bileşenleri

Çatı taşıyıcı sistemi çubuk ve yüzeysel taşıyıcı elemanlar ile taşıyıcı nitelikte olmayan düzlem oluşturan yardımcı elemanlardan meydana gelir.

İki boyutu üçüncüye göre çok kısa konstrüksiyon biçimlerine çubuk taşıyıcı eleman denir, Şekil 3.7 [43]. Düzlem kafes kirişler, dolu gövdeli kirişler ve kemerler yükü tek doğrultuda mesnetlere ileten çubuk elemanlar iken, uzay kafes sistemler yükü çift doğrultuda mesnetlere ileten sistemlerdir. Şekil 3.8'de farklı çubuk taşıyıcı elemanlarla geçilebilecek açıklık mesafeleri ve kalınlıklarının geçtikleri açıklığa oranı verilmiştir.



Şekil 3.7 : Çubuk taşıyıcı elemanlar [44].

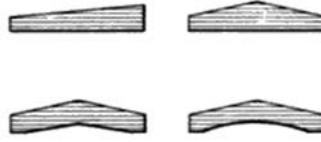
ÇUBUK TAŞIYICI ELEMANLAR		MUHTEMEL KALINLIK, metre	GEÇTİKLERİ AÇIKLIK, metre
			5 10 15 20 25 30 35 40 45 m
AHŞAP KIRIŞ		L/18- L/20	5-10
AHŞAP LAMINE KIRIŞLAR		L/18- L/20	10-25
AHŞAP KUTU (SANDIK) KIRIŞ		L/18- L/20	10-30
ÇELİK GENİŞ BAŞLIKLİ PROFİL		L/18- L/28	10-20
ÇELİK DOLU GÖVDELİ BİLEŞİK KIRIŞ		L/15- L/20	10-25
AHŞAP ÜÇGEN KAFES KIRIŞ		L/5- L/7	10-20
AHŞAP YAY KAFES KIRIŞI		L/7- L/10	20-45
ÇELİK HOV KAFES KIRIŞI		L/4- L/5	10-30
ÇELİK PARABOLİK KAFES KIRIŞ		L/6- L/10	20-35
AHŞAP BOŞLUKLU GÖVDELİ KIRIŞLAR		L/18- L/20	10-30
AHŞAP DÖZ KAFES KIRIŞ		L/10- L/15 L/6- L/10	10-35
ÇELİK BOŞLUKLU GÖVDELİ KIRIŞLAR		L/18- L/22	10-40
AHŞAP LAMINE KEMER		L/4- L/6 L/5- L/6	100 m
ÇELİK KEMER		L/3- L/5 L/5- L/6	280 m
B.A. ÖNGERMELİ KEMER		L/5- L/6	500 m
B.A. KIRIŞ (YERİNDE DÖKÜM)		basit destekli L/20 bir yönde sürekli destekli L/23 tüm yönlerde sürekli L/26 konsol L/10	10-20
UZAY KAFES (KOLON DESTEKLİ)		L/12- L/20 L/20- L/30	100 m
UZAY KAFES (DUVAR DESTEKLİ)		L/12- L/20 L/20- L/30	100 m

*L: geçtiği açıklığının uzunluğunu

Şekil 3.8 : Çubuk taşıyıcı elemanlar ve geçtikleri açıklık mesafeleri.

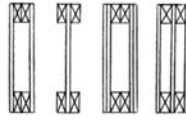
Ahşap dikdörtgen kesitli kirişler döşemelerde ve çatı sistemlerinde 50-60 cm. aralıklarla taşıyıcı eleman olarak kullanılmaktadır. Kiriş yükseklikleri 15-20 cm. 'den küçük yapılmamalıdır [45].

Lamine ahşap kirişler ise, değişik ölçülerdeki bağımsız ahşap tabakaların, özel bağlayıcılarla tutkalanıp birleştirilmesi ile oluşturulur [46].



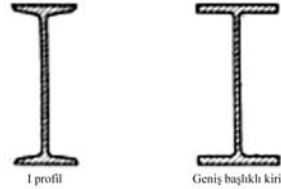
Şekil 3.9 : Farklı lamine ahşap kiriş kesitleri [46].

Ahşap kutu (sandık) kiriş, paralel iki başlık kirişinin aralarında boşluk oluşturularak iki yanından kontrplak bağlantılarla oluşturulur (Şekil 3.10), böylelikle kutu kirişler, dolu gövdeli ahşap kirişlere göre eşit mukavemete sahip oldukları durumlarda dahi daha hafiftirler [47].



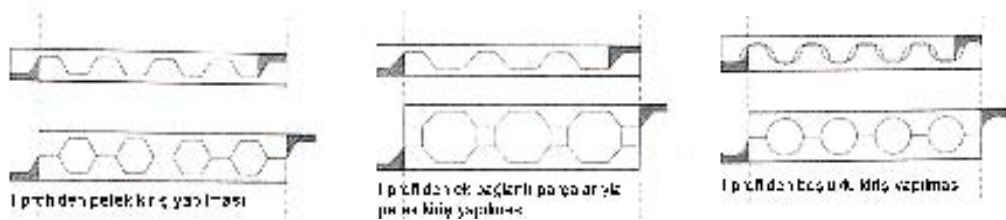
Şekil 3.10 : Ahşap kutu kirişler [48].

Çelik I kiriş, geniş başlıklı ve normal başlıklı olmak üzere iki çeşit üretilmektedir. Şekil 3.11’de gösterildiği üzere geniş başlıklı profiller, çelik I profillerden daha geniş başlıklara ve daha ince bağ plakalarına sahip çelik kirişlerdir; W harfi ile isimlendirilirler [49].



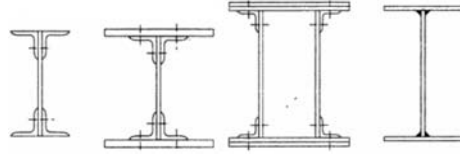
Şekil 3.11 : Çelik I kirişler [49].

Şekil 3.12’de gösterildiği üzere çelik I kirişlerde, bağ plakalarında kesme kuvvetinin az olduğu yerlerinde daire veya yuvarlatılmış köşeli boşluklar açılabilir. Boşluklar kirişin ağırlığını azalttığı gibi kablolar ve borular için de geçiş kanalları oluştururlar. Boşluk açılan I profiller kesme kuvvetinin yüksek olduğu yerlerde, bölgesel olarak güçlendirilebilirler [50].



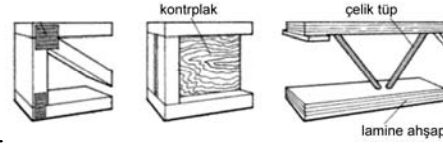
Şekil 3.12 : Çelik kirişlerde boşlukların açılması [50].

Çelik dolu gövdeli bileşik kirişler ise çelik plakaların birleştirilmesiyle kurulan kirişlerdir. Şekil 3.13'te gösterildiği üzere köşebentler kiriş başlıklarını bağlantı plakalarıyla bağlamak için kullanılır. Kaynakla oluşturulmuş bileşik kirişlerde bağ plakası, köşebentler olmaksızın başlıklara kaynaklanır. Geçilen açıklık 20 m.'den fazla olduğu veya döşeme fazla yüke maruz kaldığı zaman çelik bileşik kirişlerin kullanılmaları ekonomiktir [51].



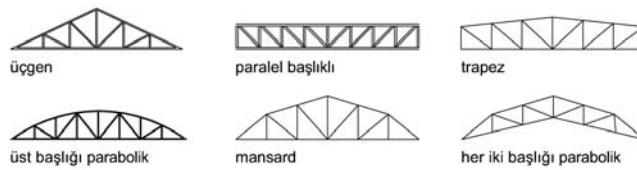
Şekil 3.13 : Dolu gövdeli bileşik kirişler [51].

Düzlem Kafes Kirişler, üst ve alt başlık çubukları ile bunların arasında düzenlenen örgü çubuklarından oluşur; Şekil 3.14' te gösterildiği üzere çelik veya ahşap malzemeden yapılabilirler [52].



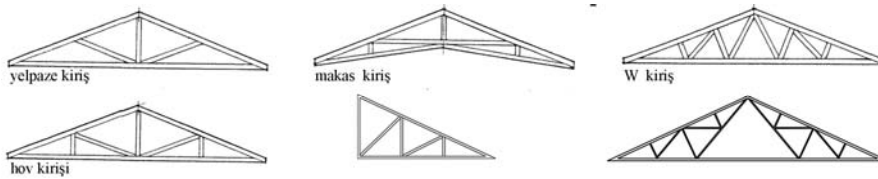
Şekil 3.14 : Farklı ahşap düz kafes kirişler [46].

Düzlem kafes kirişler Şekil 3.15' te gösterildiği üzere başlık şekillerine göre adlandırılırlar.



Şekil 3.15 : Düzlem kafes kiriş çeşitleri [52].

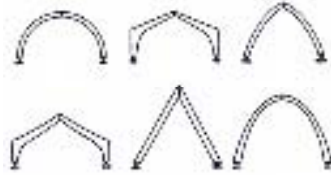
Şekil 3.16'da gösterildiği üzere örgü düzenleri değişse de taşıyıcı olabilmeleri için örgü düzenlerinin üçgenlerden oluşturulması gereklidir [52].



Şekil 3.16 : Üçgen kafes kiriş çeşitleri [53].

Kafes kirişli sistemlerde, asma ve oturtma çatılarda kullanılan merteklerin oturduğu aşıklara ihtiyaç duyulmaz. Makaslar saçaklarda bina taşıyıcı sistemine bağlanmalıdırlar. Ayrıca, kendilerine dik doğrultuda birbirleriyle de bağlanmalıdırlar [54]. Makas araları genellikle 3-6 m. arasında değişir [52]. Büyük açıklıklar geçildiği durumlarda üzerlerine oturdukları kolonların kafes gövdeli yapılmasıyla çerçeve olarak da tasarlanabilirler. Yapıyı rijitleştirmek için, kafes kirişleri bağlayan aşıklarla aynı düzlemde stabilite bağlantıları denilen çaprazlar yapılmaktadır.

Çubuk taşıyıcı sistemler sınıfındaki kemerler, basınca çalışan eğri eksenli elemanlardır. Şekil 3.17’de gösterildiği üzere kemerler sivri ve eğimli olabilirler. İtkiler mesnetlenme durumları da uygun değilse gergi çubuğu ile karşılanır. Kemerler kagir, ahşap, lamine ahşap, betonarme ve çelik olarak yapılabilmektedirler.



Şekil 3.17 : Farklı lamine ahşap kemer formları [48].

Betonarme kirişler önyapımlı veya yerinde döküm olabilirler. Yerinde döküm kirişler, oluşturulan kalıpların içerisine çelik donatıların yerleştirilmesi ve betonun yerinde dökülmesiyle oluşturulan çubuk taşıyıcı elemanlardır. Ön yapımlı betonarme kirişler ise üretildikleri tesislerden hazır bir şekilde inşaat alanına getirilirler. İnşaat alanında kolon- kiriş taşıyıcı sistemi üzerine veya taşıyıcı duvarlar üzerine, yan yana dizilerek çatı taşıyıcı sistemini meydana getirirler. Önyapımlı betonarme kirişler öngerilmeli olarak üretildiğinde, daha geniş açıklıklar daha az kiriş yükseklikleriyle geçilebilir.

Uzay kafes örtü sistemleri, basit basınç ve çekmeye çalışan doğrusal çubuk taşıyıcı elemanlarla sisteme gelen yükleri değişik doğrultularda yayarak bina taşıyıcı sistemine aktaran çatı strüktürleridir [42]. Uzay kafes örtü sistemleri üç öğeden oluşurlar: Çubuklar, düğüm noktası elemanları ve düzlem oluşturan örtü malzemeleri. Birim elemanı; altı çubuk ve dört düğüm noktasından oluşur. Çubuklar, çelik ve alüminyum alaşımlarından üretilen doğrusal konstrüksiyon elemanlarıdır. Boru, T, I, L ve U profiller şeklinde çubuklar kullanılır. Üst başlık basınca, alt başlık çekmeye çalışır. Dikme ve diyagonaller ise basınca ya da çekmeye çalışırlar. Destek

duvarlarına, kolonlara ya da tekil betonarme temellere ankre edilerek oturtulabilirler [42].

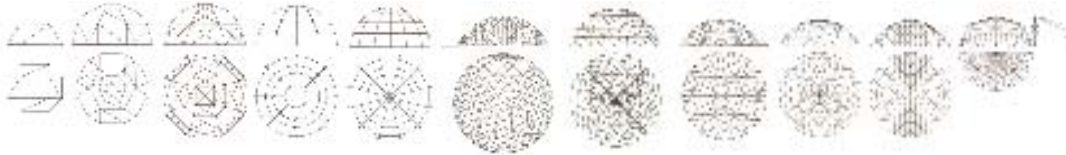
Verilebilen formlara göre üç tip uzay kafes sistem vardır:

- Düz yüzeysel: Farklı planlara sahip iki düz yüzeysel ızgaranın düğüm noktalarından birbirlerine belirli bir açıklık kalacak şekilde bağlanmaları ile oluşurlar. Sistem küp, dörtyüzlü, sekiz yüzlü, üçgen, dikdörtgen ile altıgen prizma ya da ana geometrik biçimlerin türevlerinden meydana getirilir [42].
- Tonozsal (tek eğrilikli): Birden fazla düzlem kafes kirişin tonoz oluşturacak şekilde yan yana getirilmesi ile meydana gelir, Şekil 3.18. Ancak, bu şekilde elde edilen tonozsal sistem stabil olmadığından, baş ve sonuna eklenen makaslar yardımıyla sistem stabil hale getirilir [42].



Şekil 3.18 : Tonozsal uzay kafes örnekleri [42].

- Kubbesel (çift eğrilikli): Yalnızca basınca çalışan hafif örtü sistemleridir. Bu sistemlerle üçgen, kare, çokgen ve dairesel alanların örtülmesi sağlanır, Şekil 3.19 [42].



Şekil 3.19 : Kubbesel uzay kafes örnekleri, plan ve kesitleri [42].

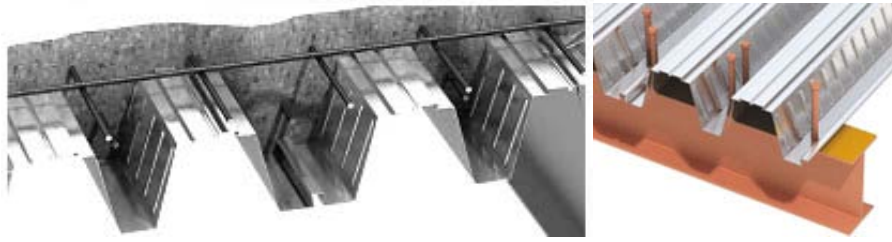
Çubuk taşıyıcı elemanlarla kurulan kirişli taşıyıcı sistemlerde düzlem oluşturmak için, tek başlarına taşıyıcı özellikleri olmayan düzlem oluşturan yardımcı elemanlar kullanılır. Ahşap döşeme tahtası, paneli; çelik trapezoidal levhalar ve gazbeton paneller bu yardımcı elemanlara birer örnektir. Bazı çatı kaplama panelleri ve levhaları, bu yardımcı düzlem elemanlarına ihtiyaç olmaksızın kirişli taşıyıcı sistemlerde kirişler üzerine yerleştirilmeye imkan verirler. Bu çatı kaplama malzemeleri sandviç paneller, lifli çimento levhalar, oluklu elyafli bitüm emdirilmiş

levhalar, polikarbonat levhalar, cam takviyeli plastik levhalar, akrilik cam esaslı levhalar ve cam çatı kaplamaları olarak sayılabilir.

Ahşap döşeme tahtası, genellikle bütün biçilmiş kereste levhalardan meydana gelir ve merteklerin veya kirişlerin üzerine oturtulur. Kalınlıkları geçtikleri açıklığa göre değişir, ama en az 25 mm olmalıdır. Genişlikleri ise 200 mm'yi geçmemelidir [55]. Tahtalar kenarlarından lamba-zıvanalı veya yarı lamba-zıvanalı olarak bir araya getirilerek bir arada çalışmalarını sağlanmalıdır. Düzlem oluşturan ahşap paneller ise kontrplak levhalar, yönlendirilmiş lifli levhalar (OSB) ve kompozit paneller (iki yüzeyinde ahşap kaplamalar olan OSB'den oluşan panel) olarak sayılabilir.

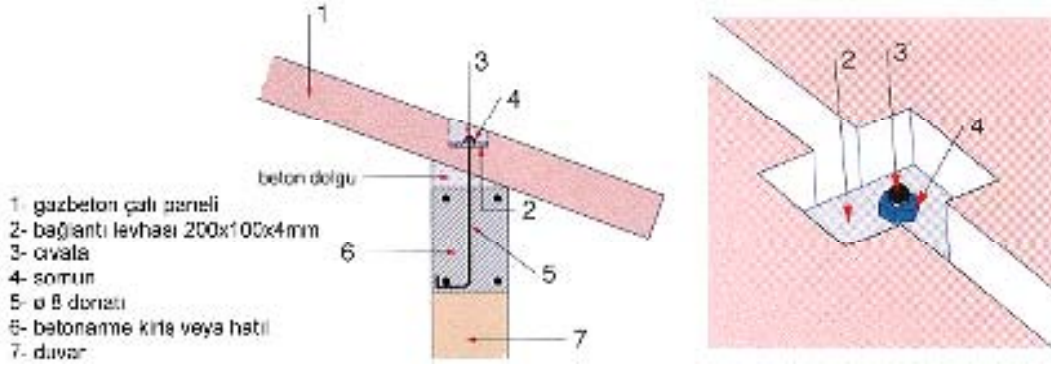
Çelik trapezoidal levhalar çelik levhaların istenilen formlara preslenmeleriyle oluşturulurlar. Dar, orta boyutta ve geniş nervürlü olmak üzere üç çeşidi vardır. Genellikle kalınlıkları 37 mm'dir, daha geniş açıklıklar geçebilmek için daha kalınları da vardır. Çelik trapez levhalar diğer taşıyıcı elemanlara genellikle dolgu kaynağı ile bağlanırlar, kaynak dışında toz bağlayıcılar veya mekanik bağlayıcılar da kullanılabilir [55].

Çelik trapezoidal levha üzerine dökülen beton döşeme, çelik taşıyıcı yapılar, trapezoidal levhalar üzerine, Şekil 3.20'de gösterildiği gibi, gerektiğinde donatı yerleştirilerek beton dökülmesiyle oluşturulan taşıyıcı sistem elemanıdır. Bu sistemlerde trapezoidal levha beton döşeme için kalıcı bir kalıp olarak kullanılmış olur [55].

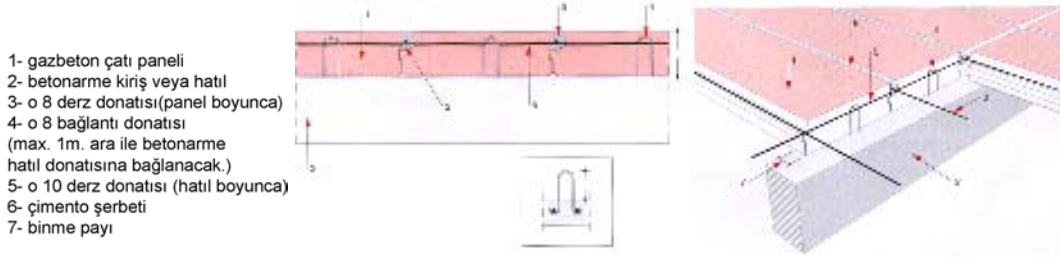


Şekil 3.20 : Çelik trapezoidal levha üzerine beton döşeme [56].

Donatılı gazbeton çatı panellerinin çeşitli çatı taşıyıcı sistemlerinde (çelik, betonarme vb.) uygulanma olanakları vardır. Gazbeton döşeme panellerinin kalınlıkları üstlerine gelen yüklere ve geçilen açıklıklara bağlı olarak değişir. Ama standart üretilen boyutları, minimum 6m. uzunluğunda, genişlikleri minimum 60cm.' dir, kalınlıkları ise 10cm. ile 30cm. arasında değişir. Şekil 3.21 ve 3.22'de gazbeton çatı panellerinin eğimli ve düz çatılarda uygulamaları gösterilmiştir.



Şekil 3.21 : Gazbeton döşeme panellerinin eğimli çatıda uygulanması [57].



Şekil 3.22 : Gazbeton döşeme panellerinin düz çatıda uygulanması [57].

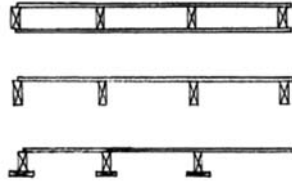
İki boyutu üçüncüye göre çok büyük olan konstrüksiyon biçimlerine yüzeysel taşıyıcı eleman denir. Yüzeysel taşıyıcı elemanlar kirişler olmaksızın veya kirişlerle birlikte çatı taşıyıcı sistemleri oluştururlar. Şekil 3.23'te farklı yüzeysel taşıyıcı elemanlarla geçilebilecek açıklık mesafeleri ve kalınlıklarının geçtikleri açıklığa oranı verilmiştir.

YÜZEYSEL TAŞIYICI ELEMANLAR		MUHTEMEL KALINLIK, metre	GEÇTİKLERİ AÇIKLIK, metre
AHŞAP DÖŞEME TAHTASI		L/25- L/35	5
AHŞAP GERMELİ PANELLER		L/24- L/30	5
AHŞAP KONTRPLAK KATLANMIŞ PLAK		L/7- L/12	10
ÇELİK TRAPEZODIAL LEVHA		L/30- L/50	10
B.A. PLAK (YERİNDE DÖKÜM)		basit destekli L/25 bir yönde sürekli destekli L/30 tüm yönlerde sürekli L/35 konsol L/12	5
B.A. PLAK (ÖNYAPIMLI)		L/25- L/40	10
B.A. DIŞLI DÖŞEME		L/20- L/25	10
B.A. ÇİFT T - KİRİŞLİ DÖŞEME		L/20- L/28	10
B.A. T - KİRİŞLİ DÖŞEME		L/20- L/28	15
B.A. MANTAR DÖŞEME (YERİNDE DÖKÜM)		L/30- L/40	5
B.A. MANTAR DÖŞEME (YERİNDE DÖKÜM)		L/30- L/40	10
B.A. NERVÜRLÜ DÖŞEME (YERİNDE DÖKÜM)		L/30- L/40	10
B.A. KASET DÖŞEME (YERİNDE DÖKÜM)		L/23- L/35	10
B.A. KATLANMIŞ PLAK		L/8- L/15	15-40 m
B.A. SİLİNDİR KABUK		L/8- L/15	15
B.A. KUBBE (YERİNDE DÖKÜM)		L/4- L/8	15
ÇELİK KABURGALI KUBBE (kabuk)		L/3- L/5	15
ÇELİK KABLO		L/5- L/11	15

*L: geçtiği açıklığının uzunluğunu

Şekil 3.23 : Yüzeysel taşıyıcı elemanlar.

Ahşap germeli paneller, ahşap kirişlere yapıştırılmış kontrplaklarla oluşturulurlar. Kirişler ve kontrplaklar bir bütün olarak çalışırlar. Germeli paneller taşıyıcı olarak verimlidirler ve hafiftirler. Farklı panel kesitleri Şekil 3.24'te gösterilmektedir [48].

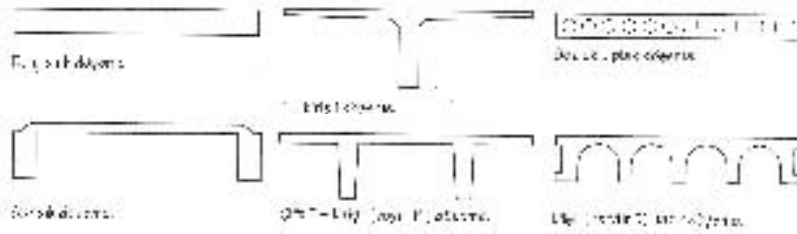


Şekil 3.24 : İki yüzlü, tek yüzlü ve T-başlıklı, tek yüzlü germeli ahşap paneller [48].

Yerinde döküm betonarme plak döşemeler, sökülebilen kontrplak veya çelik kalıplar içerisine çelik donatıların yerleştirilmesi ve betonun dökülmesiyle yapılırlar. Kalıplar betonarme döşeme yeterli mukavemete kavuştuğunda -28 gün gibi bir sürede sökülürler. “TS-500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları” standartına

göre kenarlardan biri, diğerinin iki katından küçük ise döşemenin iki doğrultuda yük aktardığı; iki katından büyük ise, bir doğrultuda çalıştığı kabul edilir. İki doğrultuda çalışan plak döşemeye dal döşeme, tek doğrultuda çalışan döşemeye ise hurdi döşeme isimleri verilir [45].

Önyapımlı betonarme plak döşemeler ise üretildikleri tesislerden hazır bir şekilde inşaat alanına getirilirler. İnşaat alanında kolon- kiriş taşıyıcı sistemi üzerine veya taşıyıcı duvarlar üzerine, yan yana dizilerek birbirlerine bağlanırlar ve döşeme düzlemini meydana getirirler. En çok kullanılan önyapımlı betonarme döşemeler, Şekil 3.25'te gösterildiği üzere, tek T kirişli, çift T-kirişli ve boşluklu plak döşemelerdir. Plaklar bir araya geldiklerinde çatı yüzeyi birleştirmeler nedeniyle engebeldir ve bu tip döşemelerde düz bir çatı yüzeyi elde etmek için plakların üzerine düzeltme şapı uygulanır [55].



Şekil 3.25 : Betonarme önyapım döşeme örnekleri [41].

Kirişsiz döşemeler diye de adlandırılan mantar döşemeler, bir plak ile bir kolonun başka bir eleman olmadan bir arada kullanılması ile uygulanmaktadır. Bu döşemelerde kolonun döşemeyi delmemesi (zımbalanmaması) için, döşemenin kesme kuvvetine karşı direncini arttırmak amacıyla, döşeme ile kolon başı arasına bir plak ya da Şekil 3.26'da gösterildiği gibi kesik piramit şeklinde geçiş elemanları uygulanmaktadır [41].



Şekil 3.26 : Mantar döşeme-kolon birleşimleri.

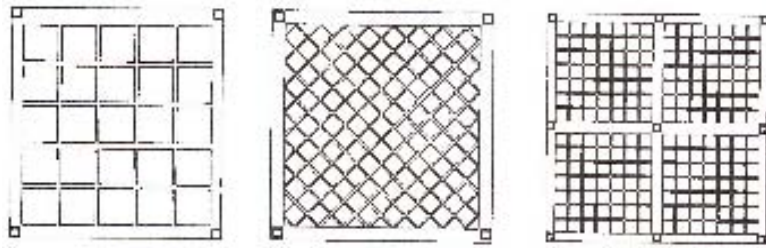
Nervürlü döşemeler, Şekil 3.27'de gösterildiği gibi, uzun doğrultudaki nervür kirişleri, yükleri kısa doğrultudaki ana taşıyıcı kirişlere iletirler. Nervür kirişlerinin

aks aralığı 0,50-1,00 m dolayındadır. Asmolen döşemelerde ise nervürlerin araları gazbeton, pişmiş toprak, beton briket ve köpük malzemeden meydana gelmiş asmolen bloklarla doldurulurlar [45]. Bu döşemeler önyapım olarak da uygulanabilmektedir.



Şekil 3.27 : Nervürlü döşeme.

Betonarme kaset döşeme ise Şekil 3.28’de planları gösterildiği üzere 60 ve 90°’lik açılarla birbiriyle kesişen iki ya da üç doğrultuda kirişten oluşan ve arada kalan gözlerin genelde boş bırakıldığı bir döşeme türüdür [45].



Şekil 3.28 : Kaset döşeme planları [41].

Plakların Şekil 3.29’da gösterildiği gibi katlanması ile betonarme plak döşeme ile rasyonel ve ekonomik olarak geçilemeyecek açıklıklar katlanmış plaklarla geçilebilir [42]. Katlanmış plak taşıyıcı elemanlar, betonarme, ahşap kontraplak, çelik veya alüminyum olabilirler. Yük altında açılmasını önlemek açısından, katlanma açısının 15°’den büyük, 165°’den küçük olması ve bu açının sabit kalması önemlidir [52].



Şekil 3.29 : Katlanmış plak formları [53].

Kabuklar, bütün direncini eğrisel biçiminden alırlar. Yüzey alanına göre çok ince, Şekil 3.30'da da gösterildiği gibi, tek ya da çift eğrilikli örtü konstrüksiyonlarıdır. Betonarme kabuk, çelik donatı ve kalıp işçiliğinde maliyeti arttıran bir sistem olmasına karşın, spor ve sergi salonları, cami ve kilise kubbeleri, hal binaları, uçak hangarları, oditoryumlar, konser salonları gibi büyük açıklık gerektiren yapıların örtülmesi için kullanılmaktadırlar [42]. Çelik kaburgalı taşıyıcı sistemler de birbirleriyle kesişen çelik kirişlerin direncini eğriliğinden alan eğik bir yüzey oluşturmasıyla oluşturulan çelik kabuklardır. Genel olarak fazla eğimli kabuğun, az eğimliye göre ve çift eğrilikli kabuğun tek eğrilikliye göre daha dirençli olduğu söylenebilir [43].



Şekil 3.30 : Kabuk formları: tek eğrilikli, çift eğrilikli.

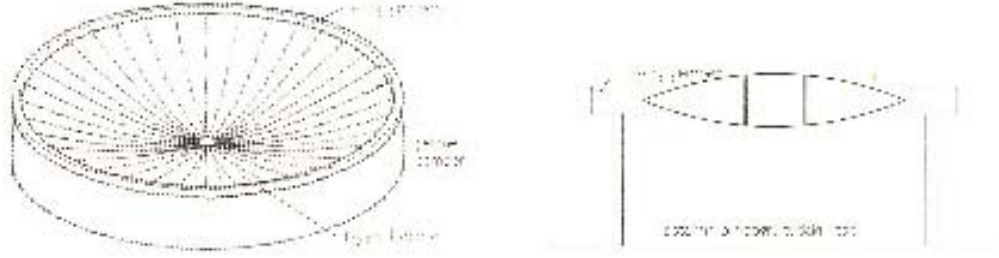
Çelik kablolu sistemler asma-germe örtü strüktürlerinde kullanılırlar. Yalnızca basınca çalışan rijit ve çekmeye çalışan esnek elemanlardan oluşturulan bir örtü strüktürüdür. Ana ilke, bir örtüyü ayakta tutabilecek ve basınç çubukları ile çekme çubuklarından oluşan bir örtü sistemi meydana getirmektir [42]. Bu sistemin bileşenleri; örtü (çelik kablolu veya membran), destek ve ankraj öğeleri ile kenar öğeleridir. Asma-germe örtü strüktürlerinin çeşitleri paralel kablolu, ışınsal, kablo ağı ve çadır sistemler olarak sıralanabilir.

Paralel kablolu sistemler, Şekil 3.31'de gösterildiği gibi çelik kabloların birbirlerine paralel sıralar halinde asılması ile kurulurlar. Bu sistemlerde germe kablosu kullanılmadan da rijit destek ögesi ya da rijit kenar ögesi kullanılarak sistem kurulabilir. Bu sistemde çelik kablolar serbestçe salındığı için iç hava basıncındaki değişimler sonucu örtü hareket edebilir, buna önlem olarak örtü ağırlığı arttırılabileceği gibi, üstten veya alttan germe kabloları kullanarak örtü stabil hale getirilebilir [42].



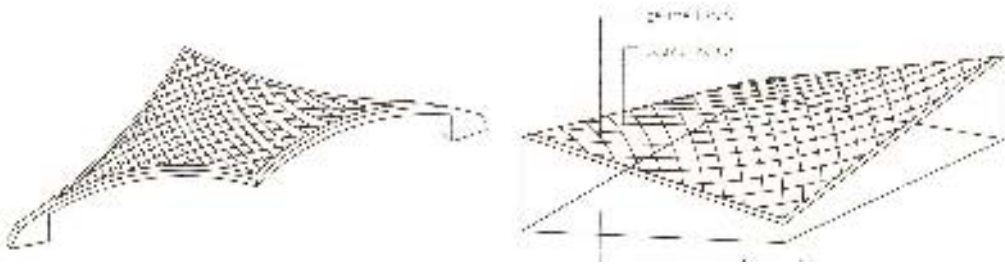
Şekil 3.31 : Paralel kablolu asma-germe örtü sistemleri [42].

Işınsal kablolu sistemler, biri dışta basınca çalışan çember, diğeri içte olan çekmeye çalışan iki çember arasına Şekil 3.32’de gösterildiği gibi, çelik kabloların gerilmesi ile oluştururlar. Sistemin bütünleştirileceği kolonlar, betonarme ya da çelik yapılabilirler [42].



Şekil 3.32 : Işınsal kablolu asma-germe sistemi [42].

Kablo ağılı sistemlerin stabilitesi ters yönde düzenlenen kablolar yardımıyla sağlanır. Oluşan yüzey, Şekil 3.33’te gösterildiği gibi, çift eğrilikli (hiperbolik paraboloid) bir yüzeydir [42].



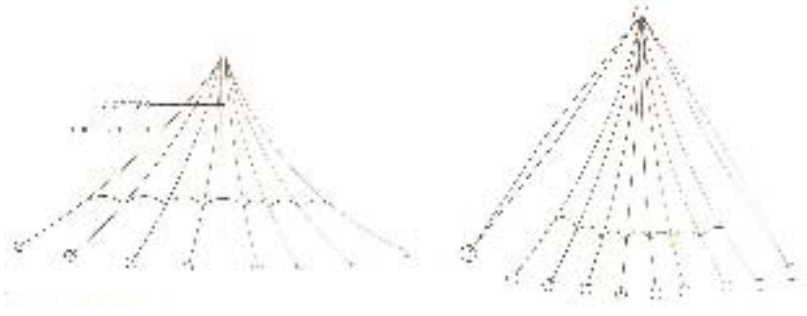
Şekil 3.33 : Kablo ağı asma-germe sistemleri [42].

Çadır sistemler, membranın, kablo ağı olmaksızın, doğrudan kenar kablolar arasına, Şekil 3.34’te örneği verildiği gibi, basınca çalışan destek öğeleri ve kablolar yardımıyla gerilmesi ile oluşturulur. Hiperbolik paraboloid yüzeyler oluşturulur [42].



Şekil 3.34 : Çadır asma-germe örtü sistemi [42].

Yüksek noktaları doğrudan desteklenen çadır sistemler, Şekil 3.35’te gösterildiği gibi, tepe noktalarından membran örtü destek öğelerine doğrudan asılarak ankraj noktalarına gerdirilen çadır sistemlerdir [42].



Şekil 3.35 : Yüksek noktaları doğrudan desteklenen çadır asma-germe örtü sistemleri [42].

Yüksek noktaları dolaylı desteklenen çadır sistemlerde ise, Şekil 3.36’da gösterildiği gibi, membran örtü dış desteklere (çadır dışında kalan) yüksek noktalarından kablo ile asılır [42].



Şekil 3.36 : Yüksek noktaları dolaylı destekleyen çadır asma-germe örtü sistemleri [42].

Şişirme sistem, gaz geçirmeyen ve gerilmeye elverişli bir membranın oluşturduğu kapalı hacim içine dış atmosferden daha yüksek sürekli bir hava basıncı verilmesiyle bir mekan oluşturulmasıdır [42]. Şişirme örtü sistemleri üç öğeden oluşur: Örtü (vinil kaplı naylon, fiberglas, poliester, neopren, naylon poliester, polivinil asetat veya teflon malzemelerinde), ek yerleri (kaynak veya dikiş) ve zemin bağlantısı.

Alçak basınçlı tek çeperli şişirme sistemlerde, Şekil 3.37’de gösterildiği gibi, zarın altındaki kısma verilen basınçlı hava ile zar yukarı kalkar ve altında bir mekan oluşturur [42].



Şekil 3.37 : Tek çeperli şişirme örtü sistemleri [42].

Alçak basınçlı çift çeperli şişirme sistemleri ise, Şekil 3.38’de gösterildiği gibi, iki zar arasında verilen basınçlı hava yardımı ile oluşturulurlar. Sistem zeminden yükseltilerek oluşturulursa, sönme durumlarındaki sakıncaları azalabilir [42].



Şekil 3.38 : Çift çeperli şişirme örtü sistemleri [42].

Yüksek basınçlı şişirme sistemlerinde, yüksek basınçla şişirilmiş tüpler kullanılmaktadır [42].

3.2.2 Çatı kaplaması

Çatı sisteminden beklenen kullanıcı gereksinimleri bölümünde bahsedilmiş olan, kullanıcının biyolojik/fizyolojik gereksinmelerinden biri de ısıl konfor gereksinmesidir. İç ortamdaki çevre koşullarının sağlığa olan etkilerini inceleyen ve çalışmaları ilgili standartların (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (*ASHRAE*), 1992, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Standard 55*) temelini oluşturan Danimarkalı bilim adamı Povl Ole Fanger tarafından ısıl konfor, insan beyninin ısıl çevre etkileri altında tatminkar olduğu koşullar olarak tanımlanmıştır [58].

Fanger' in ısıl konfor tanımlama modellerinin temelinde dört fiziksel değişken kullanılır, sıcaklık, rüzgar hızı, ortalama ışınma sıcaklığı ve bağıl nem. Bunların dışında iki tane de kullanıcıya bağlı değişken vardır, giysi yalıtımı ve aktivite seviyesi [59]. İnsan vücudu, insan metabolizmasının ürettiği ısı ve vücuttan kaybedilen ısı arasındaki dengeyi korumak için bazı fiziksel süreçler (terleme, titreme, kan akışını düzenleme vb.) işletir [59]. Yani, kullanıcının biyolojik ve fizyolojik gereksinmelerinden ısıl konforunun sağlanması için iç ortam sıcaklığının istenen değerde tutulması, bunun için de ortam ve yüzey sıcaklıklarının kontrol edilmeleri, istenmeyen ısı kayıplarına veya kazançlarına yol açmamaları gerekir.

Güneşten gelen enerjinin etkileri dalga boylarına göre farklılık gösterir. Güneş enerjisi UV (mor ötesi), görünür ve IR (kıızıl ötesi) ışınlar olmak üzere üç farklı dalga boyunda yer yüzüne ulaşır. Bunlardan IR dalga boyundaki ışınlar temas geçtikleri nesnelerin sıcaklıklarının artmasına neden olur. Çatı sistemi yapının diğer kabuk elemanları gibi, direk güneş ışınlarına maruz kalır; güneş ışınlarının bir kısmını yansıtırken bir kısmını soğurur ve bu yolla çatı sisteminin yüzey sıcaklığı artar. Sıcaklığı fazla olan çatı malzemelerinden ,sıcaklığı az olan malzemelere, oradan da

iç ortam atmosferi ve yüzeylerine ışınım ve kondüksiyon yollarıyla ısı geçişi meydana gelir. İstenmeyen bu ısı kazanımları, iç ortam ısıl konfor koşullarını bozacağı gibi, ısıl konforun sağlanması için kullanılan soğutma sistemlerinin yükünü arttırıp, bu sistemin CO₂ gazı salınımının artmasına neden olacaktır.

UV dalga boyundaki güneş ışınları ise, çarptıkları organik malzemelerin bozulmasına, kimyasal ayrışmalara neden olur.

Dolayısıyla güneş ışınlarına karşı çatı sisteminden beklenen performans gereksinmesi, çatı üst yüzeylerinin gelen güneş ışınlarını yansıtarak istenmeyen ısı kazançlarına ve organik malzemelerin bozulmasına engel olmasıdır. Bu performans gereksinmesini karşılayan çatı bileşeni, çatının en dış katmanı olan çatı kaplama katmanıdır. Çizelge 3.3’de bazı çatı kaplama malzemelerinin yansıtıcılık oranları verilmiştir. Bu çizelgeden de takip edebileceğimiz gibi çatı kaplama malzemelerinin pürüzlülük oranları kadar renkleri de yansıtıcılık değerlerini etkilemektedir.

Çizelge 3.3 : Kaplama malzemelerinin yansıtıcılık oranları [60].

Kaplama malzemesi	Yansıtıcılık %	Işıma oranı
Kırmızı kil kiremit	33	0,32-0,34
Kırmızı beton kiremit	18	0,91
Beyaz beton kiremit	73	0,90
Boyanmamış çimento kiremit	25	0,90
Beyaz çimento shingle	77	0,88
Boyanmamış alüminyum	71,3	0,04
Boyanmamış galvanize	60,9	0,25
Beyaz poliester kaplı metal kaplama	58,9	0,85
Ahşap shingle	22	0,90
Siyah polimer (EPDM)	6,2	0,86
Beyaz polimer (EPDM)	68,7	0,87
Düz asfalt	5,8	0,86
Siyah asfalt shingle	3,4	0,91
Beyaz asfalt shingle	26,1	0,91
Çakıl	38	0,28

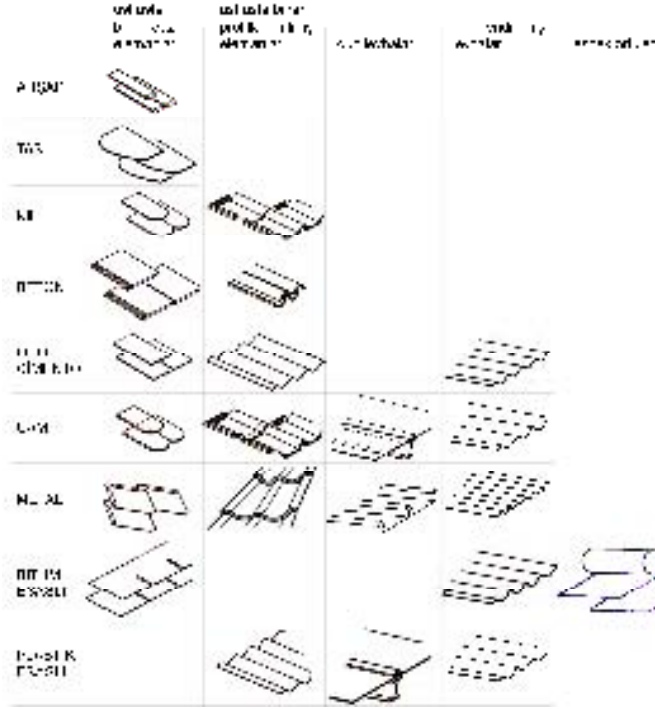
Çatı kaplama malzemesinin seçiminde, çatı formu ve eğimi, malzemelerin birbirlerine uygulanabilme durumları, coğrafi konum, binanın kullanım ömrü, estetik değerler ve bina maliyeti gibi faktörler göz önünde bulundurulur. Şekil 3.39’da bazı çatı kaplama malzemelerinin kullanılabilecekleri eğim aralıkları verilmiştir. Bu şekilden de anlaşılacağı gibi, kiremit formundaki çatı kaplamaları dışında kalan çatı kaplamaları geniş eğim aralıklarında kullanılabilmektedir.



Şekil 3.39 : Çatı kaplama malzemelerinin kullanılabilir olduğu yüzde olarak eğimler [52, 25].

Çatı kaplamaları, malzemelerine, formlarına veya uygulanma yöntemlerine göre sınıflandırılabilirler. Şekil 3.40'da görüldüğü gibi çatı kaplamaları formlarına ve uygulama türlerine göre:

- Üst üste binen (parça parça döşenen) düz elemanlar,
- Üst üste binen (parça parça döşenen) profillendirilmiş elemanlar,
- Düz levhalar,
- Profillendirilmiş levhalar,
- Esnek örtüler olarak sınıflandırılabilirler.



Şekil 3.40 : Çatı kaplamalarının formları ve malzemeleri.

Bu çalışmada Türkiye’de kullanılan çatı kaplamaları, Çatıcular Derneği (Çatıder)’in yapmış olduğu "Eğimli Çatılarda Nihai Çatı Kaplama Malzemeleri 2007 Yılı Sektör Büyüklüğü Araştırması" temel alınarak, malzemelerine göre:

- Kil esaslı,
- Çimento esaslı,
- Metal esaslı,
- Bitüm esaslı,
- Plastik esaslı,
- Diğer çatı kaplama malzemeleri (cam, doğal taş esaslı)

diye sınıflandırılarak anlatılacaktır.

3.2.2.1 Kil esaslı kiremit çatı kaplamaları

Ana maddesinin kil olması ve hemen hemen her yerde bulunması nedeniyle kiremitler çok yaygın bir kullanım coğrafyasına sahiptirler.

Kiremitler, yüksek ya da alçak bombeli yapılarda farklı profillerde üretilir. Kiremit formu ve çeşidini belirleyen başlıca etken, malzemenin kullanılacağı bölgedeki kar yükü ve buna bağlı olarak değişen çatı eğimidir. Türk Standardları Enstitüsü'nün TS



EN 1304 nolu “Çatı kiremitleri ve bağlantı parçaları - Kilden imal edilmiş - Tarifler ve özellikler” standardında, kil çatı kiremitleri ve bağlantı parçalarının sahip olması gerekli özellikler verilmektedir.




Türkiye’de kullanılan kiremit tipleri ve tespit yöntemleri şu şekilde özetlenebilir:

- Alaturka kiremitler, bir ters bir düz yan yana dizilerek serbestçe çatı örtüsünü oluştururlar. Saçak kiremitleri Şekil 3.41’de gösterilen tel veya kanca ile tutturulurlar.
- Oluklu kiremit, üst üste bindirilerek birbirlerine kenarlarındaki yivler ile bağlanırlar, tel veya kanca ile çatı taşıyıcısına tutturulurlar.
- Düz kiremit, altındaki çıtaya çivi ile çakılarak sabitlenir, bu çitalar doğrudan mertek üzerine oturabilecekleri gibi kiremit altı tahtasına da oturtulabilirler.
- Roman tipi kiremit, altlarındaki özel tel takma yerlerine takılan tel ile kiremit altındaki bir çiviye sarılarak sabitlenir. Her üç kiremitten biri çiviyle çıtaya tutturulmalıdır.
- Marsilya tipi kiremit de roman tipi gibi tel ile sabitlenirler. Tek kat olarak uygulanırlar, birbirlerine kenarlarındaki yivler ile bağlanırlar.

Çizelge 3.4’te kiremit tiplerine göre, uygun eğim açısı aralıkları, boyutları, m²’de kullanılan adetleri, ağırlıkları ve tespit için kullanılan çita aralıkları ve yükseklikleri verilmiştir.

Çizelge 3.4 : Kiremitlerin ve tespit çitalarının özellikleri [25, 42, 60].

	Kiremit tipi	Çatı eğim açısı %	Boyutları (cm)	1 m ² çatı yüzeyinde kullanılan adet	1 adetinin ağırlığı (kg)	1. çita aralığı	1. çita yüksekliği
						çita aralıkları	çita yüksekliği
	Marsilya kiremidini	25-65	23,5x41,5	15	2,5	30 cm	5 cm
						34 cm	2,5 cm
	Alaturka kiremit	20-30	18,7x42	25	2,8	Çitalar saçak hattına dik çakılır. çita aralığı Dar kiremit için: 16,2 cm Geniş kiremit için: 19 cm	

	Oluklu kiremit	25-40	24x41	16	2,4	30 cm	5 cm
						33,7 cm	2,5 cm
	Düz- Tek Kat	60-170		40	2-2,1		
	Düz- Çift Kat	40-170	18,5x38	44	2,1	23 cm	5 cm
	Roman	25-65	23,5x41	13	3	30 cm	5 cm
						34 cm	2,5 cm

Kil esaslı kiremit kaplı çatı tiplerinde mertek büyüklükleri, 5/10-6/12 cm arasında değişir. Mertek aralıkları 50 cm civarında uygulanır ve mertekler üzerine yerleştirilen kiremit altı tahtasının kalınlığı da 2,5 cm kadardır. Kiremit altı tahtasının üzerine genellikle bitümlü su geçirmez örtü veya özel oluklu ve yivli kiremit altı su yalıtım levhaları uygulanır [42]. Sonuç olarak, kiremit tespitinde çatının eğimine ve rüzgar şiddetine bağlı olarak şu yöntemlerden biri veya birkaçı uygulanır:

- Kiremitte açılmış özel delikten çivi ile çakılarak,
- Kiremit kancası ile çatıya bağlanarak,
- Kiremit altındaki özel tel takma yerlerinden bakır tel ile çatıya bağlanarak,
- Kiremitlerin üzerlerindeki yivlerle birbirlerine bağlanarak ve
- Kiremit tespiti için üretilmiş özel kiremit altı su yalıtım levhası üzerindeki yivlere oturtularak.

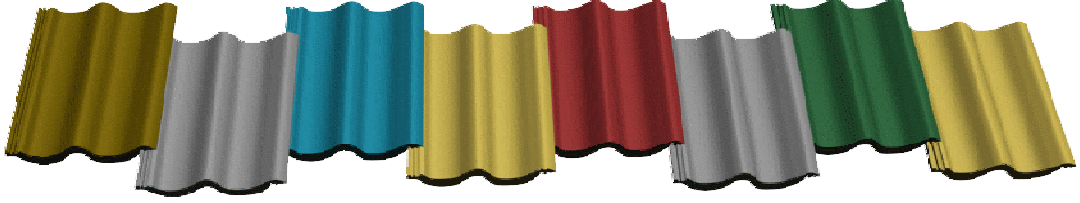


Şekil 3.41 : Kiremit tespiti elemanları: kanca, bakır tel.

Kiremit kaplamanın altında havalandırma tabakası gereklidir, bu havalandırma boşluğu ya mertekler veya kiremit altı tahtasının üzerine çakılan latalarla ya da çatı katı boşluğunun havalandırılmasıyla sağlanır. Havalandırılmayan kiremit kaplı çatılarda, kiremitlerin alt yüzeylerinde yoğunlaşma ve buna bağlı deformasyon olabilir.

3.2.2.2 Çimento esaslı çatı kaplamaları

Çimento esaslı çatı kaplamaları olarak çimento esaslı (beton) kiremitler ve elyafli çimento levhalar sayılabilir.

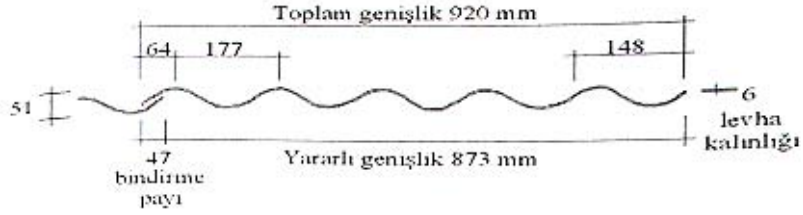


Şekil 3.42 : Farklı renkte beton kiremitler.

Beton kiremit yüksek dozajlı betonun kalıplar üzerine preslenmesi ve düşük ısıda prize tabi tutulması suretiyle imal edilen bir çatı kaplama malzemesidir. Beton kiremit doğal beton rengi de dahil olmak üzere Şekil 3.42’de gösterildiği üzere istenilen her renkte imal edilebilmektedir. Beton kiremitlerin, uygulamaları kil esaslı kiremitlerle aynıdır. Farkları ise, beton kiremitlerin maliyetinin kil esaslı kiremitlerin maliyetinin %25’ i kadar olmasıdır [60]. Türk Standardları Enstitüsü’nün TS EN 490 nolu “Beton çatı kiremitleri ve bağlantı parçaları - Çatı örtüsü ve duvar kaplaması için - Mamul özellikleri” standardında eğimli çatı örtüsü ile duvar kaplamaları ve astar tabakalarında kullanılacak beton çatı kiremitleri ve bağlantı parçalarının gerekleri verilmektedir.

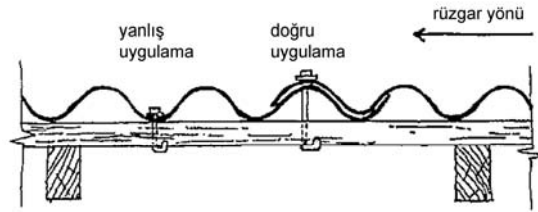
Elyafli çimento, iskeletini çok ince açılmış elyafın oluşturduğu, belirli ölçülerde çimento ve su katılarak elde edilen bir malzemedir [52]. Türk Standardları Enstitüsü’nün TS EN 492 nolu “Elyafli Çimento Düz Levhalar ve Özel Parçalar-Çatı Kaplaması İçin-Mamul Özellikleri ve Deney Metotları” standardında elyaf takviyeli çimento kullanılarak imal edilen düz levhaların (sleytlerin) ve bağlantı parçalarının sahip olması gerekli teknik özellikleri, kontrol ve deney metotları ve aynı zamanda kabul şartları verilmektedir.

Elyafli çimentonun daha çok oluklu levha formundaki türü kullanılmaktadır. Oluklu elyafli çimento levhaların boyutları Şekil 3.43’de gösterildiği gibi levha kalınlığı 6mm. , oluk kalınlığı 51 mm. ve levha genişliği 920 mm.’dir.



Şekil 3.43 : Lifli çimento levha boyutları ve biçimleri.

Oluklu elyaflı çimento çatı kaplamaları, Şekil 3.44’de gösterildiği gibi olukların tepe noktalarından ve hakim rüzgar yönünün aksi yönünde uygulanmalıdır. Levhalar, levhanın dalga doğrultusuna (ondülasyona) dik olarak levhanın altına yerleştirilen aşıklar üzerine oturtulur. Bu aşıklar ahşap, metal profil (I, U ve boru) ve prefabrike betonarme olabilirler [42].

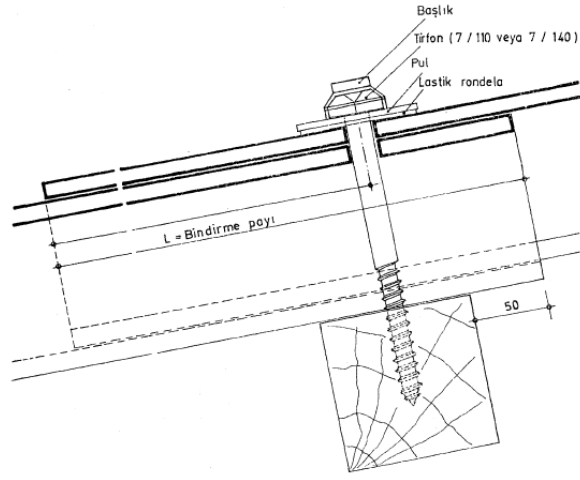


Şekil 3.44 : Oluklu levhaların tespiti.

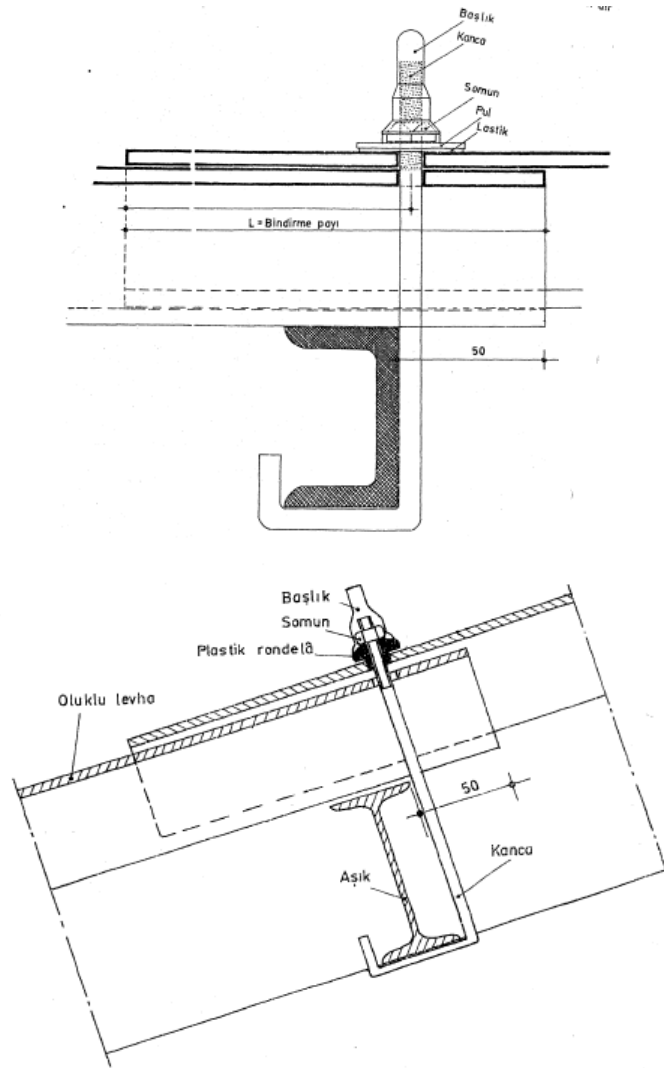
Betonarme plaklara ise araya yerleştirilen 40x60 ya da 50x50mm kesitli ahşap latalar vasıtasıyla yerleştirilirler, latalar eğime dik doğrultuda betonarme plağa dübel ile tespit edilirlerken, levhalar da bu latalara tirfon vidası ile vidalanırlar, Şekil 3.48. Oluklu levhaların tirfon ile tespiti, levhanın ikinci ve beşinci tepe noktalarından yapılır [42].

TS 4560 Asbest ve Çimentodan Yapılmış Oluklu Levhaların Çatı Kaplamasında Kullanılması Kuralları standardında lifli çimento levhaların tespiti farklı taşıyıcı sistemler ve birleşim elemanları için verilmiştir (Şekil 3.45-3.49).

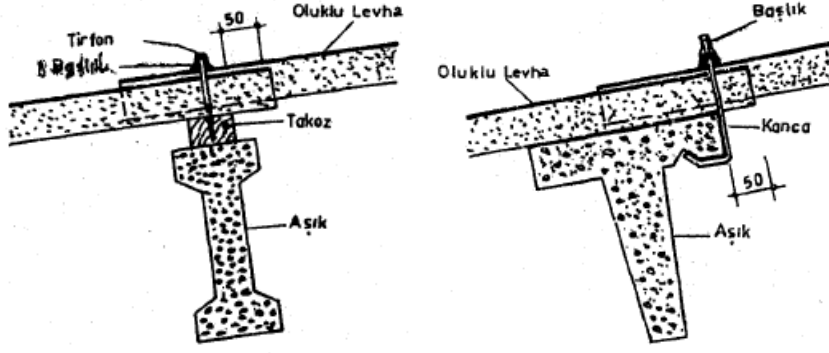
Kahverengi ve mavi asbestler, kanserojen etkileri nedeniyle kullanımları tüm dünyada yasaklanmıştır. Asbestli çimento levhalarda bulunan beyaz asbestin kontrollü olarak kullanılmasına ise Türkiye dahil diğer bazı ülkelerde izin verilmektedir [42].



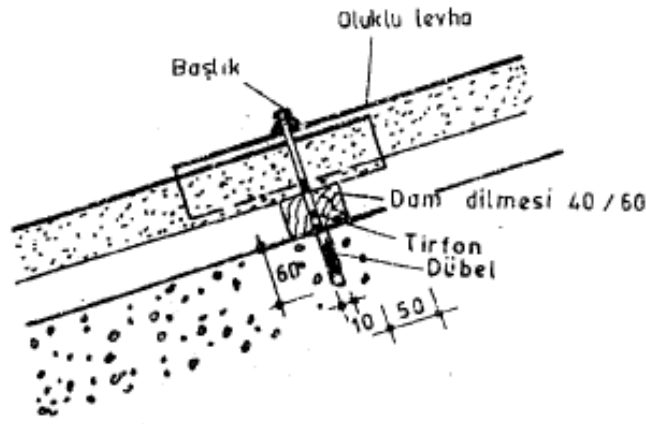
Şekil 3.45 : Oluklu çimento levhanın ahşap taşıyıcı üzerine uygulaması: Tirfon, lastik randela ve başlık [61].



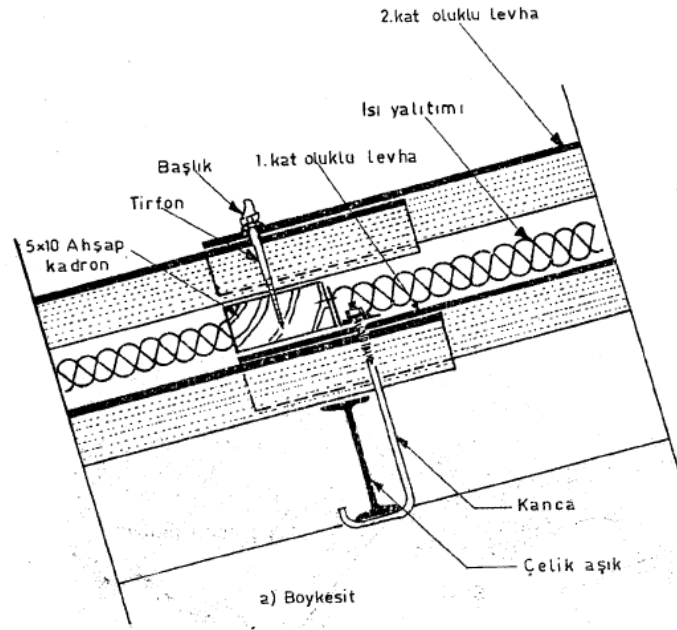
Şekil 3.46 : Oluklu çimento levhanın çelik taşıyıcı üzerine uygulamaları: Kanca, lastik randela ve başlık [61].



Şekil 3.47 : Oluklu çimento levhanın önyapımlı beton aşıklara uygulamaları: ahşap takozla, kanca ile doğrudan [61].



Şekil 3.48 : Oluklu çimento levhanın beton çatı plaklarına ahşap kadron yardımı ile tirfon vidası ile tespiti [61].



Şekil 3.49 : Çift kat oluklu levha uygulaması [61].

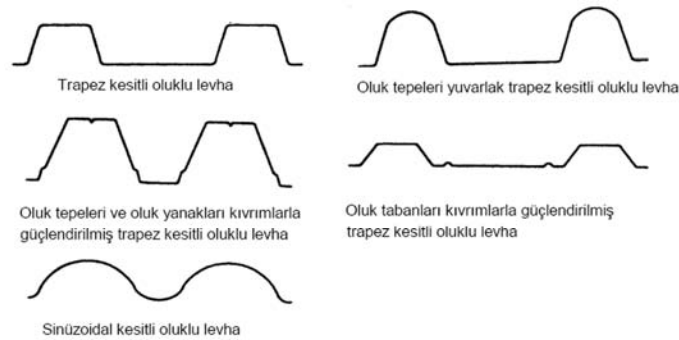
3.2.2.3 Metal esaslı çatı kaplamaları

Çatı kaplaması olarak kullanılan metaller kurşun, çinko, bakır, alüminyum ve galvanize saçtır. Metal esaslı çatı kaplamaları, taşıyıcılık durumu ve üretim biçimine göre:

- Kendini taşıyan metal çatı kaplamaları (Şekil 3.50),
- Çatıya tam oturan metal çatı kaplamaları olarak iki sınıfta incelenebilir.

Kendini taşıyan metal kaplamalar, metal levhaların profillendirilerek güçlendirilmiş kendi ağırlığının yanında kar, rüzgar, hareketli yükler gibi yükleri mesnetlere aktaran çatı kaplamalarıdır. Metal kiremitler, oluklu levhalar ve oluklu levhalarla üretilen sandviç paneller kendini taşıyan metal çatı kaplaması örnekleridir. Türk Standardları Enstitüsü'nün TS EN 14782 nolu “Çatılar, dış giydirme kaplamalar ve iç astarlar için kendinden destekli metal levha - Mamul özellikleri ve şartlar” standardında ve TS EN 508 serili “Çatı Kaplama Levhaları- Metal Kendini Taşıyan- Çelik, Alüminyum veya Paslanmaz Çelikten Mamul Özellikler” standardlarında kendini taşıyan metal çatı kaplama mamullerinin özellikleri verilmektedir.

Çatıya tam oturan metal çatı kaplamaları ise çinko, bakır ve alüminyum levhalarla oluşturulan kenetli ve çitallı çatı kaplamalarıdır. Yine Türk Standardları Enstitüsü'nün TS EN 14783 nolu “Levhalar ve şeritler- Metal- Tam oturan- Çatı, dış cephe kaplaması ve iç cephe astarı olarak kullanılan” standardında kendini taşımayan, çatıya tam oturan metal çatı kaplama mamullerinin özellikleri verilmektedir.



Şekil 3.50 : Kendini taşıyan metal kaplamaların profil kesitleri [62]

Özellikle metal çatı kaplamaların da dikkat edilmesi gereken durumlar korozyon ve ısıl hareketler olarak sıralanabilir.

Korozyon: Metal malzemenin kimyasal olarak veya elektroliz yoluyla zarar görmesidir. Önlem olarak, metal çatı kaplamaları, farklı metallerden yapılmış bağlantı elemanları veya taşıyıcı sistem elemanlarıyla direk temas etmemelidirler. Ayrıca kimyasal maddelerden uzak tutulmaları için, sıvalı yüzeylerden, beton yüzeylerden, ahşap lif levhalardan aralarına konulan bir katmanla ayrılmalıdırlar [63].

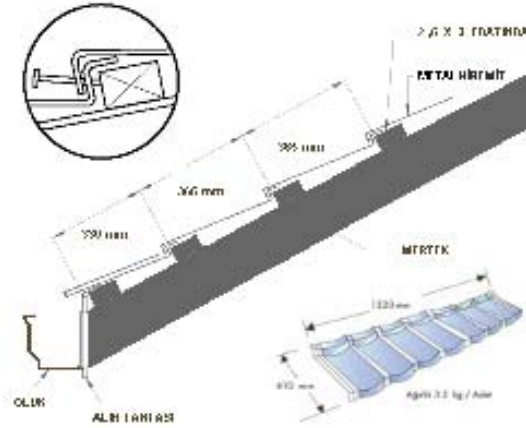
Isıl hareketler: Metal çatı kaplamalarının ısı genleşme katsayıları yüksektir. Çizelge 3.5'te metal malzemelerin ısı genleşme katsayıları verilmiştir. Metal çatı kaplamalarının, ısı genleşme katsayısı düşük malzemelerle birlikte kullanılması durumunda, aralarına sürtünme etkilerini engelleyici ayırıcı tabaka olarak polimer bant konulabilir. Ayrıca bir yanı serbest bir bağlantı uygulanarak ve derzler bırakılarak çalışmasına izin verilmelidir.

Çizelge 3.5 : Metal malzemelerin ısı genleşme katsayıları [52].

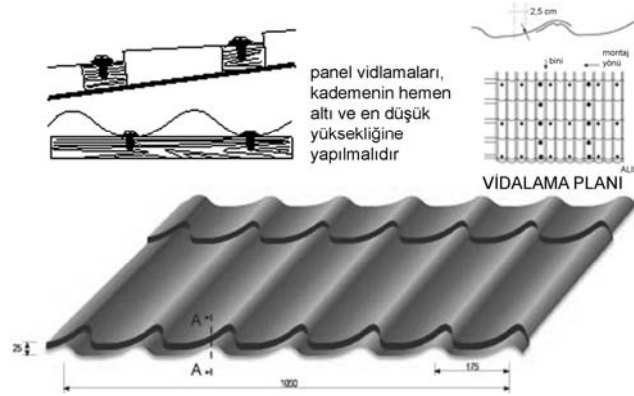
100 °C Sıcaklıkta 1m Malzemede Oluşan Isıl Genleşme Miktarı (mm)	
Alüminyum	2,4
Kurşun	2,7
Bakır	1,6
Galvanizli Çelik	1,2
Çinko	2,9
Çinko-Titan	2,3

Kiremit şekilli metal oluklu levhalar, 4-7 adet yan yana getirilmiş ve kiremit şeklinde preslenmiş, ana maddesi galvanize çelik, alüminyum veya galvanize saç olan bir çatı kaplamasıdır. Galvanize çelik üzerine korozyonu önlemek amacıyla çinko fosfat kaplanır, daha sonra her iki yüzü saf akrilik ile, malzemenin üst yüzü ise püskürtme doğal taş ile kaplanarak fırınlanır [42]. Malzeme mertekler veya kaplama altı tahtası üzerine 330-370 mm. eksen aralığı ile yerleştirilen ahşap veya metal kadronlara çeşidine göre Şekil 3.51 ve 3.52'de gösterildiği gibi panel kiremidin alt kısmının altından veya panel üstünden çivilenerek tespit edilir. Tespit işlemi bitirildikten sonra çivi başları özel yapıştırıcı ve kumla kaplanır. Bini mesafesi 65 mm olmalıdır. Biniler hakim rüzgar yönünü tersine yapılmalıdır [42].

Metal kiremitler, genellikle binalarda yer kazanmak amacıyla çatıların dikleştirilmesi gerektiğinde tercih edilir. Türk Standardları Enstitüsü'nün TS EN 508-1 nolu “Çatı Kaplama Levhaları- Metal- Kendini Taşıyan- Çelik, Alüminyum veya Paslanmaz Çelikten Mamul Özellikler- Bölüm 1: Çelik” standardında ilâve organik kaplaması olan veya olmayan metalik kaplı çelik levhadan yapılmış, parça parça döşenen, kendini taşıyan çatı kaplama mamullerinin özellikleri verilmektedir. Bu standard kiremit şekilli oluklu levhaları da kapsamaktadır.

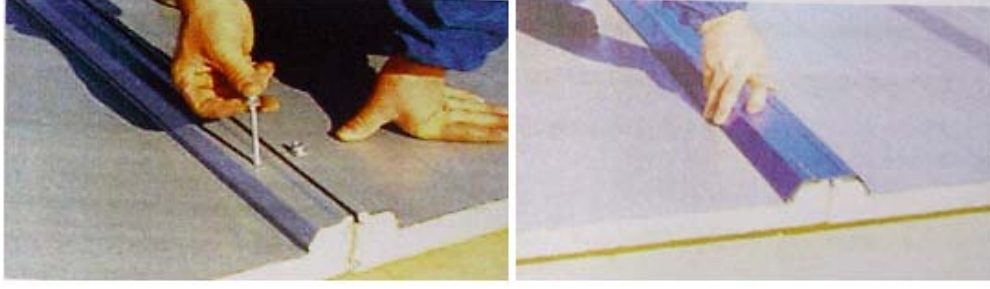


Şekil 3.51 : Alından tespit edilen metal kiremit çatı kaplamaları [61].

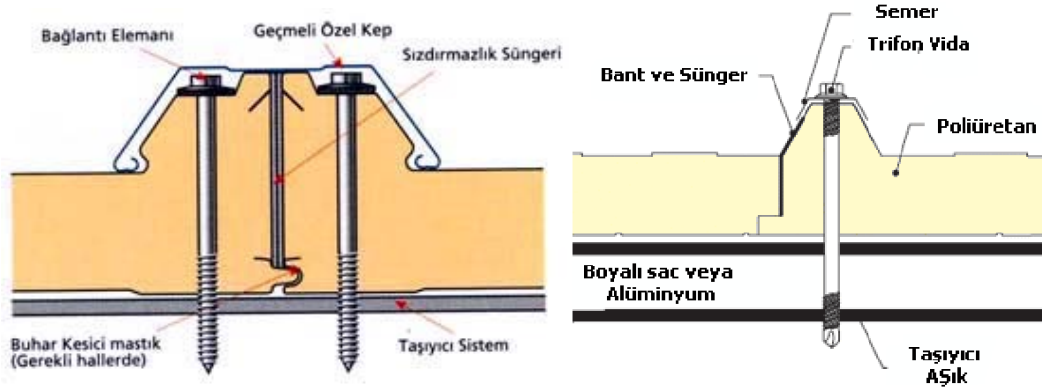


Şekil 3.52 : Üstten tespit edilen metal kiremit çatı kaplamaları [64].

Metal sandviç panellerin genellikle üst yüzleri alüminyum trapezoidal, alt yüzleri ise, nervürlü levha olarak alüminyum ya da saçtan olabilir, panellerin orta kısımları ise sert poliüretan köpük, polistren köpük veya taşıyıcı dolgu olarak üretilmektedir. Sandviç paneller Şekil 3.53'te uygulaması, 3.54'te ise detay alternatifleri görüldüğü üzere ek yerlerinden vidalanarak taşıyıcı sisteme tespit edilir ve vidalanan ek yerleri sızıntı yapmaması için kep ile kapatılır [65].



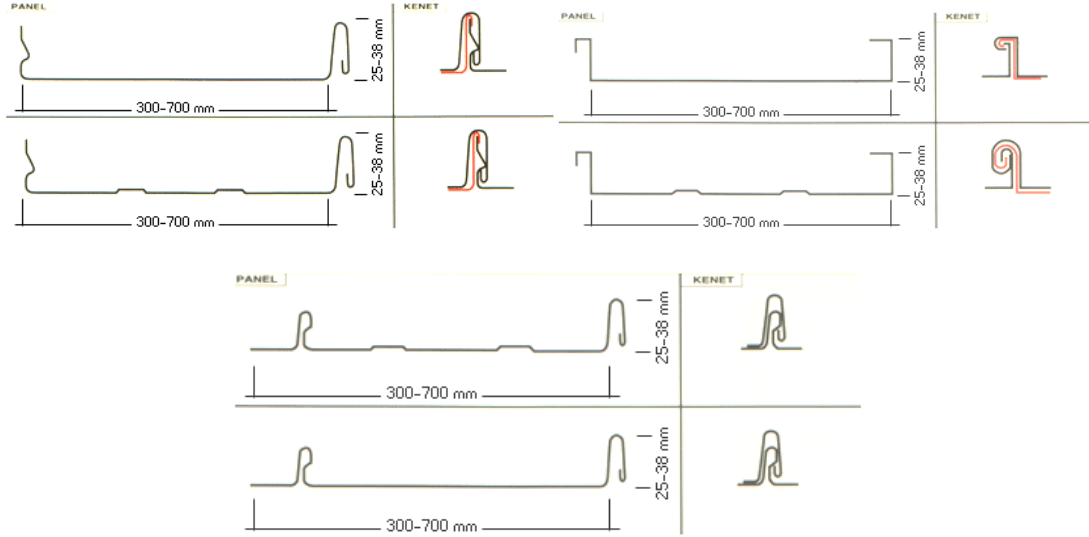
Şekil 3.53 : Sandviç panel tespiti [66]



Şekil 3.54 : Değişik sandviç panel tespitleri [67, 68]

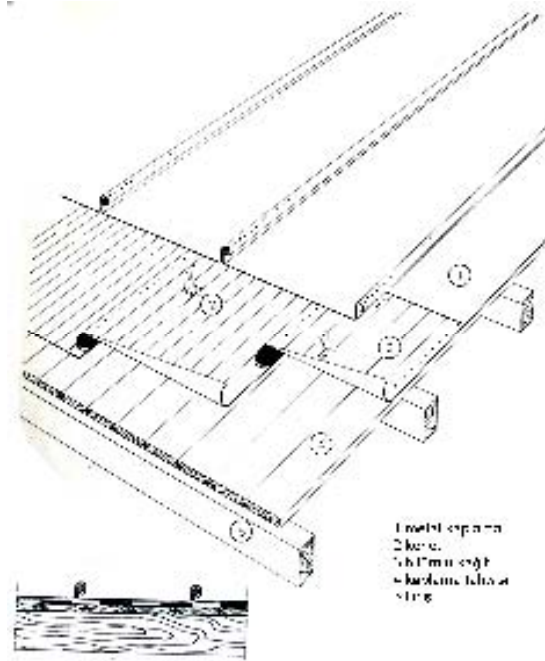
Tek kat metal çatı kaplamaları, eğimleri az olan veya diğer örtü malzemeleri ile gerçekleştirilmesi zor formları olan çatılar için kolaylık sağlarlar. Çatı örtüsü olarak kullanılan metal levhalar, galvanize sac, çinko, bakır, kurşun ve alüminyum malzemelerinden üretilirler.

Metal levha çatı kaplamalarının detaylandırılmasında, genleşme durumları için yeterli derzlerin bırakılmasına, derzlerde geçirimsizliğin sağlanmasına, eğimli yüzeylerde levhaların kaymamasına ve rüzgarın emme etkisi ile levhaların yerinden kurtulmamasına dikkat edilmelidir [63]. Metal levhalar buhar geçirmediği için, levha üzerinde yoğuşma meydana gelme riski de vardır. Sıcak çatılarda, ısı yalıtımı ve buhar dengeleyici katmanlarla; soğuk çatılarda ise havalandırma ile yoğuşmaya karşı önlem alınabilmektedir. Metal çatı kaplamaları önemli ölçüde genişebileceğinden levhalar lehimlenerek değil, Şekil 3.55’de gösterildiği gibi, serbest çalışmalarına imkan verecek şekilde kenetli sistemlerle tespit edilmektedirler.



Şekil 3.55 : Uygulanan farklı kenet ve levha tipleri [69].

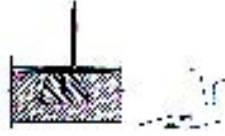
Kenetli tespitte metal levhalar çift kuyruklu kenetler ile eklenir ve gizli klipslerle çatı alt yapısına Şekil 3.56’de gösterildiği gibi sabitlenirler. Akıntıya paralel eklerin kenetleri çift kuyruklu olurken saçaklara paralel eklerin kenetleri daha basit olabilir [63].



Şekil 3.56 : Metal levhaların kenetli birleşimleri [70].

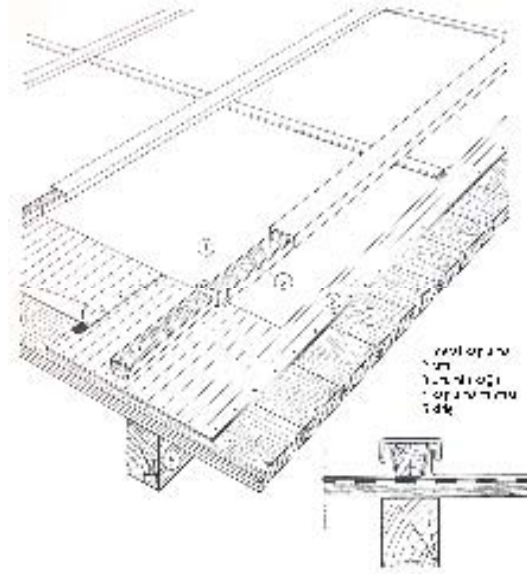
Doğrudan beton yüzeylere uygulanabilmesi için, Şekil 3.57’de gösterildiği gibi kenetlerin tespit edileceği konik çıtalar bitümlenerek beton içine bırakılırlar. Beton yeterli düzeyde kurduktan sonra üzerine bitümlü karton serilerek, metal kaplama uygulanabilir. Farklı bir yöntem ise betonarme döşeme üzerine eğim doğrultusunda

latalar yerleştirip, üzerine tahta kaplama yapılarak üzerine metal kaplama yapılabilir. Bu sistemde boşluğa ısı yalıtımı yerleştirilebilir [42].



Şekil 3.57 : Beton yüzeye çıta gömülerek kenetlerin tespiti [42].

Çıtalı tespitite çıtalar, Şekil 3.58’de gösterildiği gibi çatı kaplama tahtası üzerine serilen bitümlü karton üzerine saçaklara dik olarak çakılır. Çıtaların altına yerleşen kenetler 40 cm ara ile çıtalarla birlikte çakılırlar. Çıtalar arasına yerleştirilen kaplama levhalarının çıtaya yanaşan kenarları 30-35 mm yukarı bükülür. Çıtaların üzerine yerleştirilen metal şerit, çıta kenetleri kullanılarak sabitlenir ve kep gibi işlev görür. Çıtalar arasına gelen ve birbirinden ayrı olarak örtülen levhalar serbest hareket edebildikleri gibi çıtaları örten şerit halindeki örtü de kendi içinde serbest çalışır. Çıtalar trapez kesitli olmalıdır ki, çıtalar arasına oturan kaplama levhaları rahatça genişleme olanağı bulabilsin. Çıtalı örtülerde %15 eğim en uygundur [63].



Şekil 3.58 : Metal levhaların kenetli ve çıtalı birleşimleri [70].

Metal kaplamalar daima lamba-zıvana tahta kaplama üzerine yapılmalıdır. Aksi durumda tahtaların çalışması sonucunda metal kaplama zarar görebilir. Ayrıca lamba zıvana birleşim ile çivi başları gizlenebilir, böylelikle çivi başlarının metal çatı kaplamasında neden olabileceği korozyon ve delinmeler de önlenmiş olunur [63]. Metal çatı kaplamaları, ahşap üzerine, korozyondan korunmak için, direk olarak

uygulanmamalıdır, ağacın içinde bulunan kimyasallar korozyona neden olur. Aralarına ayırıcı bir tabaka (bitümlü karton, polietilen folyo) konmalıdır. Bitümlü karton saçağa paralel ve 10 cm bindirmelerle, üst kenarından galvanize çivilerle çivilenerek serilir.

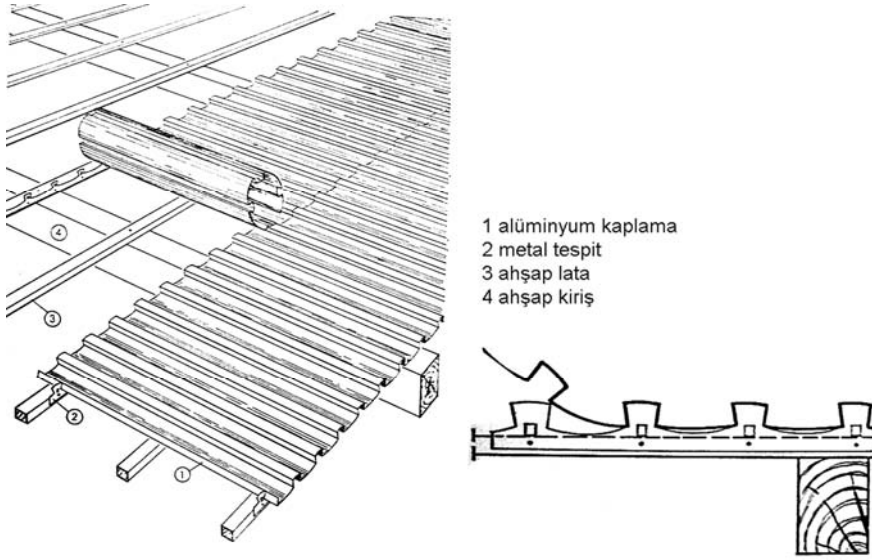
Alüminyumun, levha halinde çatı kaplama malzemesi olarak kullanılan üç farklı tipi vardır:

- Düz kaplama levhası: Alüminyum çatı kaplama levhaların kalınlıkları 0,2-3 mm.' dir [63]. Alüminyum levhaların çatı kaplaması olarak uygulanması kenetli ve çıtalı sistemlerle yapılır.
- Oluklu levha: Kendini taşıyan alüminyum trapez kaplamaların kalınlıkları 0,60-0,80 mm. 'dir. Levha boylarının 8 m.' yi geçtiği yerlerde saçağa paralel dilatasyon yapılması gerekir. Alüminyum trapez levhaların tespiti Şekil 3.59'da gösterildiği gibi vida ile levhanın tepe noktasından yapılır. Eğime paralel birleşimlerinde 35-45 cm.' de bir; eğime dik bindirmelerde ise en az 15 cm.'de bir tespit yapılmalıdır [63]. Vidalar, taşıyıcıya dik ve EPDM contalı pullarla monte edilmelidir. Trapezlerin boyuna binilerinde, en az 20 cm bindirme yapılmalı ve bu bölgelerde her hadveden taşıyıcıya tespit edilmelidir. Biniler arasına polietilen bant konulmalıdır [65].



Şekil 3.59 : Trapez levhaların vida ile tespiti.

- Alüminyum çatı kaplamalarının bir diğer çeşidi de genişliği 58 cm, boyu 30-40 m olan, şekillendirilmiş çatı kaplamasıdır. Bu çatı örtüsü, Şekil 3.60'da gösterildiği gibi eğime paralel olarak 50 cm aralıklarla, eğim doğrultusundaki ahşap kirişlere oturtulan latalardaki kırlangıç kuyruğu şeklinde nervürlü metal tespit elemanlarına geçirilerek sabitlenir. Bu kaplamada eğime dik yönde ek ve bindirme yapmak gerekmemektedir. Eksiz alüminyum çatılarda ortalama minimum eğim 3°' dir. Boyuna ek yapmak gerekirse, minimum eğim 5° olmalıdır [42, 60].



Şekil 3.60 : Kıvrangıç kuyruğu şeklinde nervürlü metal tespit elemanlarıyla tespit edilen alüminyum çatı kaplaması [42, 70].

Alüminyumun yapıda kullanılmış sıvalar ile temasından kaçınılmalıdır. Çünkü rutubet etkisi altında çimento alkalileri alüminyumu tahrip eder. Ayrıca, boyasız demir ve bakır alaşımlı metaller de alüminyum ile temas ettirilmemelidir. Bütün bağlayıcı kenet, çivi ve vidaların alüminyum olmasında fayda vardır. Türk Standardları Enstitüsü'nün TS EN 507 nolu “Çatı Kaplama-Levhaları-Metal Tam Oturan-Alüminyum Levhadan-Özellikler” standardında kendini taşımayan, çatıya oturan alüminyum çatı kaplama mamullerinin özellikleri verilmektedir.

Bakır çatı kaplama levhaları 1,0x2,0m. boyutlarında 0,66-1,30mm kalınlıklarda üretilmektedirler. Bakır hava ile temas ettiğinde üzerinde mavi yeşil renkli bir tabaka (bakır oksit- patina) oluşur, bu sayede hava neminden etkilenmez, üzerinde biriken maddelerden zarar görmez. Bakır, ısı farkları karşısında diğer metallere nazaran az genişler. Bakır levhalar ahşap çatı döşemesi üzerine uygulanırken döşeme üzerine bir kat bitümlü karton serilmelidir [65]. Ayrıca bakır kaplamalarda kullanılacak kenetler ve vidalar pirinç, bronz veya bakır olmalıdır. Bakır eleksol olmayan alüminyum, çinko, galvanize çelik gibi malzemelerle temas etmemelidir [63]. Bakır örtüler de kenetli veya çıtalı sistemlerle uygulanırlar. Türk Standardları Enstitüsü'nün TS EN 504 nolu “Çatı Kaplama Levhaları- Metal- Tümüyle Oturan-Bakır Levhadan- Özellikler” standardında kendini taşımayan, çatıya oturan bakır çatı kaplama mamullerinin; TS EN 506 nolu “Çatı Kaplama Levhaları- Metal- Kendini Taşıyan- Bakır veya Çinkodan Mamul- Özellikler” standardında ise kendini taşıyan bakır çatı kaplama mamullerinin özellikleri verilmektedir.

Kurşun çatı kaplamaları günümüzde daha çok tarihi yapılarda restorasyon amacıyla kullanılırlar. Kurşun oksitlenmeye karşı dirençlidir, diğer metallerden etkilenmez, elektrolit olarak hemen hemen nötr bir metaldir [63]. Buna karşın, kurşun çatı kaplaması, ahşap üzerine direkt olarak uygulanmamalıdır, aralarına ayırıcı bir tabaka (bitümlü keçe veya karton) konmalıdır. Özellikle meşe ağacında bulunan tanik asit kurşuna zarar verir [52]. Kolay şekil alır, ancak ağır ve yumuşak olması nedeniyle eğimli yüzeylerde aşağı doğru akabilir. Genleşme katsayısı yüksektir, ayrıca erime sıcaklığı düşük yani yangına dayanımı azdır [42]. Kurşun çatı kaplamaları da önemli ölçüde genleşebileceğinden levhalar lehimlenerek değil kenetler yapılarak birbirine eklenirler. Kurşun dışındaki metallerde en az %8-10'luk çatı eğimi gerekli iken kurşun daha az eğimli çatılarda da uygulanabilir. Kurşun çatı kaplamaları, 100x 150 cm boyutlarında levhalar olarak üretilmektedirler, 0,5 mm. kalınlığındaki kurşun kaplama olarak kullanılır.

Çinko levhalar, çeşitli profillerde üretilirler (stor, trapez, düz, oluklu). Stor profiller max. 3 m. boyunda, düz ve oluklu levhalar ise istenilen uzunlukta üretilirler; genişlikleri, 810-860-875-100-1200 mm.'dir [52]. Profil verilmiş levhaların vida ile tespiti Şekil 3.59' da gösterilmiştir. Çatıya tam oturan çinko levhalar ise, çitalı veya kenetli sistemlerle uygulanırlar. Kenetli tespitite, çinko levhalar, 0,8 mm. kalınlıkta çinkodan veya 0,6 mm. galvanize saçtan hazırlanmış sabit kenet ve genleşme kenetleri ile çatı kaplama tahtası üzerine kaplanırlar. Türk Standardları Enstitüsü'nün TS EN 501 nolu "Çatı Kaplama Levhaları-Metal-Çatıya Tam Oturan-Çinko Levhadan Mamul-Özellikler" standardında çinko- bakır, titanyum alaşımından ilave kaplamalı veya kaplamasız olarak yapılmış eğimli çatı kaplaması olarak kullanılan çatı kaplama mamullerinin özellikleri verilmektedir.

Saç çatı kaplamalarının en yaygın olanı dalgalı (ondüle) galvanize çatı örtüleridir. Levha boyutları 87,5x200 cm, kalınlığı 0,3-1,25mm'dir. Bu kaplamada çizilme nedeniyle korozyon meydana gelir, bu nedenle daha çok geçici yapıların çatılarında uygulanmaktadırlar. Dalga tepe noktalarından galvanize çiviyle ve çivinin altına kurşun bir pul yerleştirilerek tespit edilirler. Çivilemeler Şekil 3.44'te gösterildiği gibi levhaların akıntı yönündeki ondüle bindirmeler üzerinden yapılır [63].

3.2.2.4 Bitüm esaslı çatı kaplamaları

Üzeri doğal taş kaplı rulo, oluklu organik elyafli bitüm emdirilmiş levhalar ve shingle bitüm esaslı çatı kaplama malzemeleridir.

Üzeri doğal taş kaplı rulo bitümlü membranların üst yüzeyleri güneş ışınlarını yansıtması için doğal taş veya mineral kaplanarak üretilmektedir. Genişlikleri 1,0m, boyları ise 10,0m, kalınlıkları ise 2,0-3,0-3,7-4,0 ve 4,7 mm.' dir. Plastomerik (A.P.P. Katkılı) ya da elastomerik (S.B.S.Katkılı) olarak üretilen mineral kaplamalı bitümlü membranlarda camtülü (fiberglass) ya da polyester keçe taşıyıcılar kullanılmaktadır. Sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerde kaplama malzemesi olarak APP katkı, düşük olduğu bölgelerde SBS katkı bitümlü membranlar tercih edilmelidir. Membranı doğrudan betonarme plak üzerine yapıştırma, yüzeyin pürüzlü oluşu nedeniyle iyi sonuç vermeyeceğinden çok bitüm gerektirir; bu nedenle tercih edilmemelidir. Membran, şap harcı tamamen priz yapıp kurduktan sonra, uygun bir astar ya da polimerik bitüm pastası sürüldükten sonra şalümo alevi ya da sıcak bitüm ile yapıştırılabilir.

Oluklu organik elyafli bitüm emdirilmiş levhalar, bitkisel ve mineral liflerin bitümle dalgalı olarak şekillendirilmesinden oluşturulan oluklu bitümlü çatı kaplama levhasıdır [42]. Levhaların genişlikleri 95 cm; boyu ise 200 cm'dir. Kalınlıkları 3mm, dalga yükseklikleri 3,2 cm ve dalga genişlikleri 8,9 cm olup, bir levhada 10 adet dalga bulunur. Oluklu levha kaplamalı çatıların alınlarında rüzgara karşı önlem alınmalıdır ve levhalar hakim rüzgara ters yönde kaplanmalıdırlar. Şekil 3.61'de gösterildiği üzere levhalar uygun çivi kullanılarak oluk tepelerinden tespit edilmelidirler. Enine bindirmelerde bir oluk bindirme yapılmalıdır, buradaki çiviler her iki levhaya birden tespit edilmelidir. Boyuna bindirmelerde ise her oluğa bir çivi çakılarak iki levha birden tespit edilmelidir.

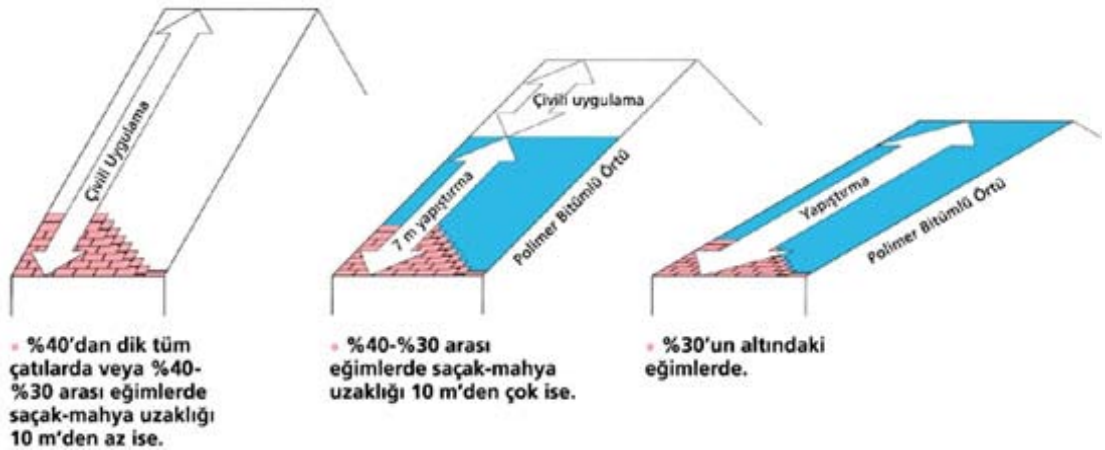


Şekil 3.61 : Oluklu levhaların, ahşap, beton ve hafif beton taşıyıcılara tespit elemanları [71].

Bitüm esaslı shingle, emprenye edilmiş cam tülü taşıyıcılı okside bitüm veya modifiye (ataktikpolipropilen, stirenbutadienstiren katkılı) bitüm gövdeli çatı kaplama malzemesidir. Okside veya modifiye bitümlü gövde üzerine renkli granül mineral kaplama ya da bakır folyo yapıştırılması suretiyle iki değişik türü vardır. Sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerde kaplama malzemesi olarak APP katkılı bir bitümden üretilmiş, düşük olduğu bölgelerde SBS katkılı bir bitümden üretilmiş shingle malzemeler tercih edilmelidir [65]. Kontraplak, beton plaka, ahşap, OSB ya da su yalıtımı membranı üzerine monte edilebilirler. Bitümlü shingle kaplama iki şekilde yapılmaktadır:

- Su yalıtımına şalümo alevi ile ısıtılıp yapıştırarak: çatı eğimi %5-%30 arasında olması koşuluyla su yalıtımı membranına şalümo alevi ile ısıtılıp alt kısmı bir önceki levhanın üzerine gelecek biçimde binili olarak yapıştırılmak suretiyle uygulanırlar.
- Geniş başlı galvanize çivi ile çakılarak: su yalıtımı örtüsü dışındaki yüzeylere tespiti, her shingle levhası için dört adet geniş başlı galvanize çivi ile yapılır. Çivi ile uygulanmasında gereken en düşük eğim %30'dur.

Şekil 3.62'de shingle çatı kaplaması tespitinde çatı eğimine göre tercih edilmesi gereken yöntemler gösterilmektedir. Buna göre, %40'dan dik çatılarda veya eğimi %40-%30 arasında ve saçak mahya mesafesi 10 m.' den az olan çatılarda shingle kaplama çivili uygulanır; %40-%30 arası eğimli çatılarda saçak mahya mesafesi 10m.'den çok ise saçaktan itibaren ilk 7m.'de yapıştırma, geri kalanında çivili uygulama yapılabilir; %30'un altında eğime sahip çatılarda ise sadece yapıştırma yöntemi uygulanmalıdır.



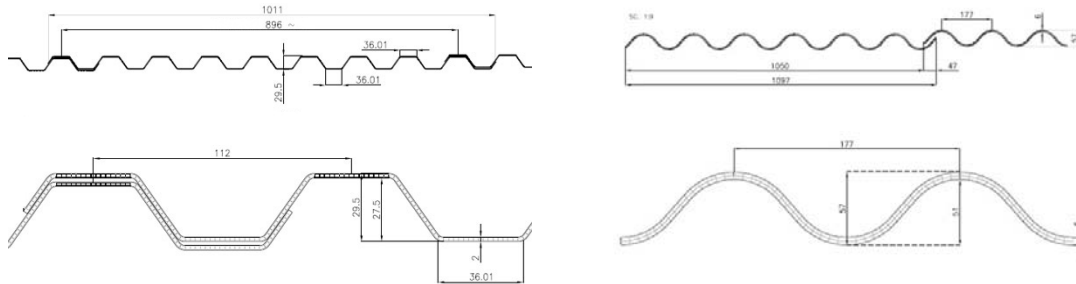
Şekil 3.62 : Shingle çatı kaplamasının çatı eğimine göre tespit yöntemleri [72]

Türk Standardları Enstitüsü'nün TS EN 544 nolu “Bitümlü levhalar (shingle) - Mineral ve/veya sentetik takviyeli - Mamul özellikleri ve deney metotları” standardında eğimli çatılarda örtü malzemesi olarak ve/veya duvar kaplaması olarak kullanılmak üzere tasarlanmış parçalar hâlindeki bitümlü levha mamullerinin özellikleri verilmektedir.

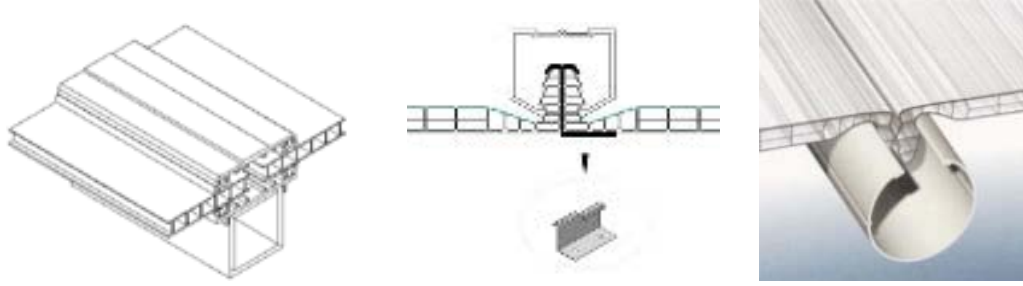
3.2.2.5 Plastik (polimer) esaslı çatı kaplamaları

Polimer malzemelerden üretilen çatı kaplamaları, dalgalı ve düz levhalardan oluşmaktadırlar. Polikarbonat levha (PC), cam takviyeli levha (CTP poliester), akrilik cam esaslı kaplama (PMMA), polietilen esaslı kaplama (PE) yaygın şekilde üretilen polimer esaslı kaplamalardır. Renksiz saydam üretilebildikleri gibi, renkli saydam ya da opak olarak da üretilmektedirler. Dalgalı polimer çatı kaplamalarının tespiti, diğer dalgalı kaplamalarda olduğu gibi, levha boyuna uygun şekilde yerleştirilmiş aşıklara belirli tepe noktalarında paslanmaz tirfon ya da kancalar kullanılarak yapılır [42]. Türk Standardları Enstitüsü'nün TSE K 34 nolu “Plastik çatı kiremitleri ve bağlantı parçaları” standardında kiremit formundaki plastik çatı kaplama mamullerinin özellikleri verilmektedir.

Polikarbonat çatı kaplamaları, ışık geçirgenliği sağlayabilen şeffaf malzemelerdir; çatı eğiminin minimum 5° olduğu yerlerde kullanılabilirler. Polikarbonat levhalar, Şekil 3.63 ve 3.64’ görüldüğü üzere oluklu veya düz şekilli olarak üretilmektedirler. Polikarbonat çatı kaplama levhaları, Şekil 3.64’te gösterildiği üzere alüminyum çerçeve sistemlerle çatı taşıyıcısına tespit edilirler [52].



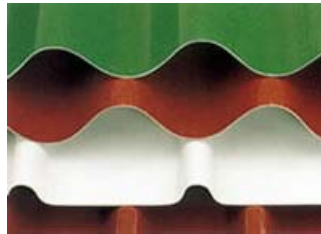
Şekil 3.63 : Trapez kesitli ve dalgalı polikarbonat levhalar [73, 74].



Şekil 3.64 : Polikarbonat levhaların farklı tespit şekilleri [75, 76].

Türk Standardları Enstitüsü'nün TS EN 1013-4 nolu “Plastik Profil Levhalar-Işığ Geçiren-Tek Katlı Çatı Kaplamaları İçin-Bölüm 4: Polikarbonat (PC) Levhaların Özellikleri, Deney Yöntemleri ve Performansı” standardında ekstrüzyonla ve/veya şekil verilerek istenilen profilde imal edilen ışık geçirgen polikarbonat profilli levhaların malzeme özellikleri, deney metotları ve performansı verilmektedir.

Poliester (CTP: cam takviyeli plastik) çatı kaplamaları, poliester reçinesi ve cam elyafından meydana gelir; kalıba dökülerek yapıldıklarından, farklı çatı formlarında kullanılabilirler. Dalgalı levha, katlanmış plak, çift eğrilikli yüzey parçaları gibi farklı uygulamaları mevcuttur [42]. Levha olarak ise Şekil 3.65’de gösterildiği üzere düz, dalgalı ve trapez kesitli çeşitleri üretilmektedir. CTP levhalar, şeffaf veya opak olabilmektedirler.

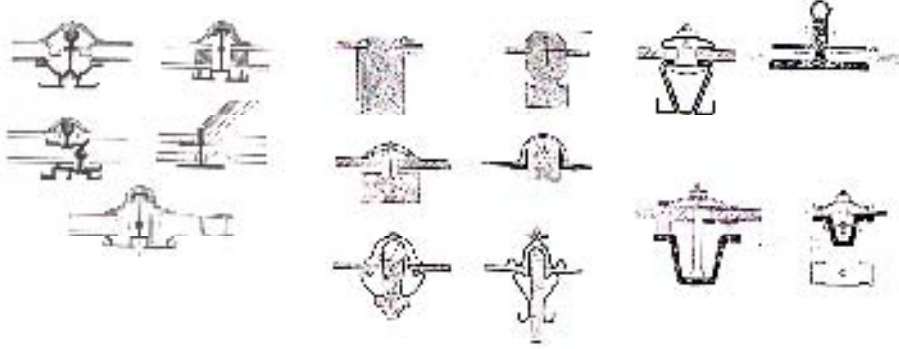


Şekil 3.65 : Farklı CTP levha kesitleri.

3.2.2.6 Diğer çatı kaplamaları

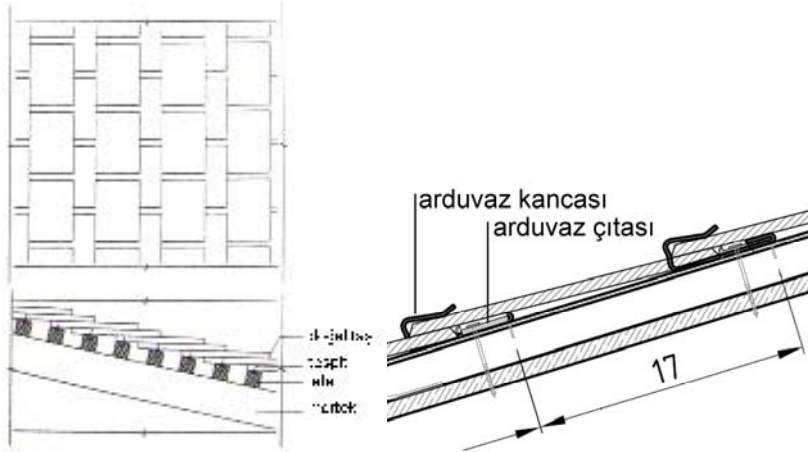
Çatı kaplaması olarak kullanılan cam türleri temperlenmiş cam (öngerilmeli cam), telli cam, cam kiremit, dalgalı (ondüle) cam ve trapezoidal camlardır. Düz levha camların çatı kaplaması olarak kullanılmasında kullanılan en eski yöntem, bir T profiline her iki tarafından cam oturtmak ve macunlamaktır. Bu sistemin en önemli sakıncası, macunun kısa sürede kuruyarak dökülmesidir, bu kesitin sızdırmazlığını kaybetmesine neden olur. Dolayısıyla daha dayanıklı bir macunun dış iklim etkenlerinden korunarak kullanılması sağlanmalıdır. Bunu sağlamak için I kesitli bir

alüminyum profil tercih edilebilir [42]. Farklı cam profilleri Şekil 3.66'da gösterilmektedir.



Şekil 3.66 : Cam çatı profilleri.

Doğal taş çatı kaplamaları kare ve kareye yakın eşkenar dörtgen şeklinde elde edildikten sonra, çatı yüzeyini oluşturan mertekler üzerine eğime dik şekilde belirli aralıklarla çakılan latalar üzerine galvanize ya da bakır çivilerle tespit edilir. Doğal taşın daha iyi bir uygulama şekli, mertekler üzerine 2 cm kalınlıkta bir tahta kaplandıktan ve tahta üzerine su geçirmez bir membran serildikten sonra birbiri üzerine bindirilerek çivilenmesidir, Şekil 3.67 [42]. 16/23 cm ya da 40/50 cm boyutlarında doğal taş çatı kaplamaları bulunmaktadır.



Şekil 3.67 : Doğal taş karo (arduvaz) çatı kaplamasının farklı tespitleri [77].

Türk Standardları Enstitüsü'nün TS EN 12326-1 nolu “Kayraktaşı ve diğer taş mamuller - Sürekli olmayan çatı örtüsü ve kaplama için - Bölüm 1: Mamul özellikleri” standardında sürekli olmayan çatı örtüsü ve dış cephe kaplamalarında (bağlı kaplama hariç) kullanılan, kayraktaşı ve diğer taş mamullerin özellikleri verilmektedir.

3.2.3 Isı yalıtımı

Güneş ışınlarının çatı yüzeyine düşmesi ve çatı yüzey sıcaklığını arttırması etkisi dışında, atmosferde hareket eden ve yüzeylere çarparak yansıyan güneş ışınları da atmosferdeki gazların (havanın) sıcaklığının artmasına neden olur. Atmosferin sıcaklık değeri, mevsim ve gece-gündüz değişimlerinde farklılık gösterir. Atmosfer ile yapıların kabukları arasında sıcaklık farklılığından dolayı ısı akımı meydana gelmektedir. Buna karşılık, kullanıcının biyolojik/fizyolojik gereksinmelerinden ısı konforun bileşenlerinden sıcaklık değişkeninin istenen sınırlarda tutulması için atmosfer ve yapı kabuğu arasındaki ısı geçişleri kontrol altında tutulmalı, istenmeyen miktarda ısı geçişleri önlenmelidir.

Atmosfer ve iç ortam sıcaklık farklılıklarına karşı çatı sisteminden beklenen performans gereksinmesi, istenmeyen ısı geçişlerine izin vermemesidir. Yapıda kullanılan her malzeme, belli bir düzeyde ısı yalıtımı sağlasa da, özellikle ısı yalıtımı amacıyla kullanılacak olan malzemelerde, kalınlığın azaltılabilmesi için ısı iletkenlik katsayısının belli bir değerden daha aşağı olması zorunludur. Farklı sıcaklıktaki iki ortam arasındaki ısı transferini azaltmak için yapılan işleme ısı yalıtımı denir. Isı yalıtım malzemelerinin en temel özelliği (λ) ısı iletim katsayısıdır. Isı iletim katsayısı bir malzemenin birbirine paralel iki yüzeyinin sıcaklıkları arasındaki fark 1°C olduğunda, yüzeyin, birim alanından (1m²) ve bu alana dik yöndeki birim kalınlıktan (1m.), 1 saatte geçen ısı miktarıdır. Bu özellik malzemenin ısı yalıtım özelliğini belirler. Isı iletim katsayısı yükseldikçe malzemenin ısı yalıtım özelliği azalır. ISO ve CEN Standartına göre ısı iletim katsayısı 0,065 W/mK değerinden küçük olan malzemeler ısı yalıtım malzemesi olarak tanımlanır. Diğer malzemeler yapı malzemesi olarak kabul edilir.

Isı yalıtımı sağlamak amacıyla kullanılan malzemelerin temel özelliği, bünyelerinde bulunan hava boşlukları sayesinde ısı iletkenliklerinin az olmasıdır. Hava boşluklarının çokluğu, yalıtkanlık değerini arttırsa da basınç dayanımını azaltmaktadır. Ayrıca, ısı yalıtımı malzemeleri, kapalı ya da açık boşluklu hava/gaz içeren malzemeler olmaları, buhar akımı yönünden malzemenin kullanımını etkileyen çok önemli yapısal bir özelliktir. Kapalı gözenekli yalıtkanlar bünyeleri bir süreklilik gösterdiği için hiçbir tür gaz ve buharı geçirmezken; açık gözenekliler, bir süreklilik söz konusu olmadığından her türlü gaz ve buharın geçişine açıktır. Dolayısıyla, yapıda kullanılacak ısı yalıtımı malzemelerinin uygun özelliklere sahip

olanının seçilerek kullanılması gereklidir. Çizelge 3.6'da bazı ısı yalıtım malzemelerinin fiziksel özellikleri verilmiştir.

Isı yalıtım malzemelerine doğada varoluşları ve kökenlerine göre, doğada varolan malzemelerden üretilen ve doğada var olmayan, sentetik olarak üretilen ısı yalıtım malzemeleri olmak üzere sınıflandırılarak değinilecektir [45].

Çizelge 3.6 : Isı yalıtım malzemelerin özellikleri [78].

Isı Yalıtım malzemeleri	Isı İletkenlik Grubu (W/mK)	Buhar Difüzyon Direnç Faktörü (μ)	En Yüksek Kullanım Sıcaklığı (°C)	Yoğunluk (kg/m ³)	Mekanik dayanım (ton/m ²)	Su emme (hacimce %)	Yanıcılık Sınıfı
CAM YÜNÜ	0,035-0,05	1	250	14-100	1,5-6,5	3-10	A- yanmaz
TAŞ YÜNÜ	0,035-0,05	1	750	30-200	1,5-6,5	2,5-10	A- yanmaz
CAM KÖPÜĞÜ	0,052	10000	-260-430	100-200	48-880	Su emmez	DIN 4102 A1-yanmaz
SERAMİK YÜNÜ		542	1500	128			A- yanmaz
ÇEKME POLİSTREN (XPS)	0,03-0,04	80-250	75	25-45	10-50	0-0,5	B1- zor alevlenici
GENLEŞTİRİLMİŞ POLİSTREN (EPS)	0,03-0,04	20-100	75	15-30	5-15	0-5	B1- zor alevlenici B2- normal alevlenici
FENOLİK SERT KÖPÜK	0,04	10-50	-180-120	30-35	10-15		B1- zor alevlenici B2- normal alevlenici
POLİÜRETAN	0,02-0,04	30-100	110	30-40	10-40	3-5	B1- zor alevlenici B2- normal alevlenici
AHŞAP RENDE LEVHA	0,09-0,15	2-5	110	360-570	20	10	BS476-Class 1
DOĞAL MANTAR	0,04-0,055	10-35	-180-100	80-500			BS476-Class 3
SELÜLOZİK YALITIM	0,036			15-150			DIN 4102 A2-yanmaz
GENLEŞMİŞ PERLİT	0,06-0,16			100-400		3	A2-B1-B2

3.2.3.1 Doğada var olan malzemelerden üretilen ısı yalıtımları

Cam yünü, taş yünü ve seramik yünü gibi mineral yün ısı yalıtım ürünleri, bitkisel esaslı ahşap rende levha, genişletilmiş mantar levhası ve selülozik ısı yalıtım

ürünleri ve bir doğal taş olan perlitten elde edilen genişletilmiş perlit ısı yalıtım ürünleri doğada var olan malzemelerden üretilen ısı yalıtım ürünleridir.

Mineral yün, erimiş kaya, cüruf veya camdan üretilmiş, yün görünümünde yalıtım mamulüdür [79]. Bu malzemeler, ısı yalıtım malzemesi olabilmeleri için işlem görmüş doğada bulunan malzemelerdir. Çizelge 3.6'da da görüldüğü gibi ısı yalıtım malzemeleri içinde yangın dayanımı en yüksek olanlardır. Üç farklı formda uygulanmaktadırlar, Şekil 3.68:

- Şilte: Genellikle, 1 m ile 3 m arasındaki bir uzunlukta olan, düz veya katlanmış (rulo) olarak temin edilen, dikdörtgen şeklinde mamul.
- Rulo: Bir silindir oluşturacak şekilde üst üste sarılarak piyasaya arz edilen mamul.
- Plaka, levha: Kalınlığı, diğer boyutlarından önemli ölçüde daha küçük ve kesit boyunca aynı dikdörtgen şeklini koruyan, rijit veya yarı-rijit yalıtım mamulleridir. Plâkalar levhalardan daha incedir; kenarları pahlı olarak piyasaya arz edilebilirler.

Türk Standardları Enstitüsü'nün TS 901-1 EN 13162 nolu "Isı yalıtım mamulleri - Binalarda kullanılan - Fabrika yapımı mineral yün (MW) mamuller – Özellikler" standardında binalarda ısı yalıtımında kullanılan kaplamalı veya kaplamasız fabrika yapımı mineral yün mamullerin özelliklerini verilmektedir.



Şekil 3.68 : Şilte formunda cam yünü; rulo seramik yünü; levha formunda taşyünü.

Cam yünü, silis kumunun yüksek sıcaklıklarda eritilerek elyaf haline getirilmesi ile elde edilen şilte, keçe, kumaş halinde ısı yalıtım malzemesidir. Cam yünü, çıplak olarak veya alüminyum folyo, rabitz teli, mukavva, kraft kağıdı ve polietilen gibi başka malzemelere yapıştırılarak veya dikilerek levha, rulo şeklinde piyasaya sevk edilir [80]. Cam yünü rulo üzerine rabitz teli kaplanması sayesinde silindirik, oval ve

düz olmayan yüzeylerde kullanım sağlar. Şekil 3.69'da gösterildiği gibi, cam yünü ısı yalıtımının farklı uygulamaları mevcuttur:

- Cam yünü çatı şiltesi, kullanılmayan çatı aralarında döşemeye serilmek sureti ile uygulanır. Alüminyum folyo kaplı şilteler, folyolu yüzü sıcak tarafta kalacak şekilde serilmelidir. Şiltelerin üzeri örtülmemelidir.
- İki yüzü folyo kaplı mertek arası cam yünü şiltesi, kenarlarındaki 5 cm. tespit payları sayesinde mertek alınlarına zımbalanma veya çivilenme yoluyla tespit edilir.
- Tavan uygulamalarında ise, camyünü şilteler ısı yalıtımı dübelleriyle tavana sabitlenir. Dübel, geniş başlıklı plastik, veya plastik kaplamalı çividen oluşan mekanik tespit aracıdır.

Türk Standartları Enstitüsü'nün TS EN 13167 nolu "Isı Yalıtım Ürünleri- Binalarda Kullanılan- Fabrika Yapımı Cam Yünü Ürünleri- Özellikler" standardında yapılarda ısı yalıtımında kullanılan fabrika yapımı astarlı veya astarsız gözenekli cam yünü malzemelerle ilgili özellikleri verilmektedir.

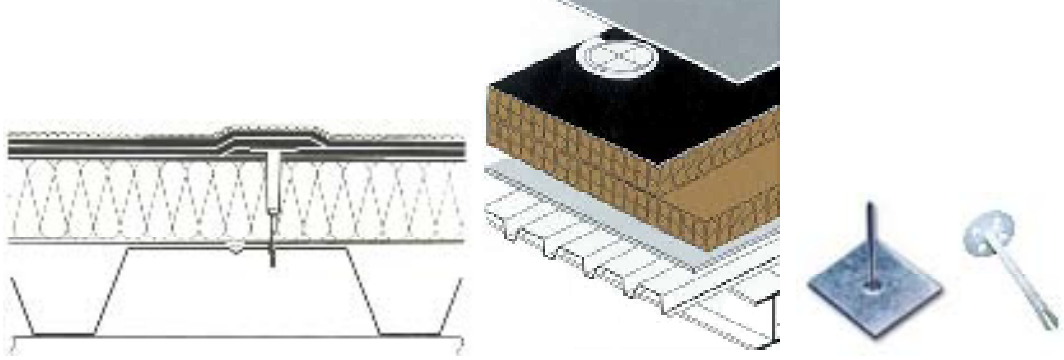


Şekil 3.69 : Cam yünü ısı yalıtımın çatıda uygulamaları [81].

Taş yünü, bazalt veya diabez taşının yüksek sıcaklıklarda eritilerek elyaf haline getirilmesi ile elde edilen bir ısı yalıtım malzemesidir. Çıplak, bir veya çift yüzü alüminyum folyo, kraft kağıdı veya saç kaplı levha veya şilte halinde üretilmektedir. Taşyünü rulo üzerine rabitz teli kaplanması sayesinde silindirik, oval ve düz olmayan yüzeylerde kullanım sağlar [80]. Taş yünü levhalar:

- Yalıtım yapılacak yüzeye, Şekil 3.70'de gösterildiği gibi, tespit pimleri veya geniş pullu dübel sayesinde tutturularak,

- Serbestçe serilerek (yükler etkisi altında kaymayacağı veya uçmayacağı durumlarda, üzerinde yürünen teras çatılar gibi) veya
- Uygun bir yapıştırıcı veya bitüm ile yapıştırılarak kullanılır.

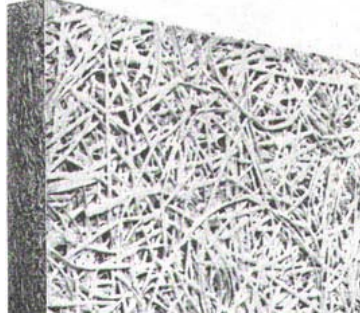


Şekil 3.70 : Taşyünü levhaların dübel ile tespiti; tespit pimi ve geniş pullu dübel [82].

Seramik yünü ürünler çok yüksek sıcaklıklarda ve ani ısı değişimlerin (termal şok – ani ısınma ve soğuma) yaşandığı ortamlarda kullanılan lifli bir malzemedir. Isıl yalıtımlık kabiliyeti ve fiziksel özellikleri su, su buharı ve yağ gibi etmenlerden etkilenmemektedir. Su iticiliği yüksektir, makul oranlar dahilinde su emmez. Kesinlikle yanmaz, bu sayede kullanıldığı alanda yangın yalıtımı da sağlamış olur. Taşyünün kullanılmadığı 1200-1400°C sıcaklıklar için kullanılır. Rulo, levha ve dökme şeklinde bulunur. Beyaz renklidir. Yoğunluğu 100-150 kg/m³ arasında değişir [83].

Bitkisel esaslı ısı yalıtımları, ahşap rende levha, genişleştirilmiş mantar levhası ve selülozik ısı yalıtımıdır. Ahşap rende levhalar ahşap rende talaşının -mineral bağlayıcıların bağlama özelliğine zararlı etki yapan maddelerin etkisiz duruma getirilmesi için yapılan işlemde sonra -magnezit, alçı ve çimento gibi mineral-bağlayıcı maddelere bulanarak veya tozlandırılarak basınç altında biçimlendirilmesiyle elde edilir, Şekil 3.71. Ahşap rende levhalar çivilerle tespit edilir. Çivilemede 20 mm. çaplı metal pul kullanılmalıdır. Çivi ve pulun korozyona karşı korumalı olması gereklidir [80]. Türk Standardları Enstitüsü'nün TS EN 13168 nolu “Isı Yalıtım Mamulleri-Binalarda Kullanılan-Fabrika Yapımı Rende Yongası (WW) Mamulleri-Özellikler” standardında ahşap rende levha ısı yalıtımı malzemelerinin taşıması gereken özellikleri verilmektedir. Yine Türk Standardları Enstitüsü'nün TS EN 13171 nolu “Isı Yalıtım Mamulleri-Binalarda Kullanılan-

Fabrika Yapımı Odun Lifli (WF) Mamuller-Özellikler” standardında odun lifli ısı yalıtımı malzemelerinin taşıması gereken özellikleri verilmektedir.



Şekil 3.71 : Ahşap rende talaşı ve çimentodan üretilen levha [93].

Mantar, mantar ham maddesi sağlamak amacıyla, mantar meşesi ağacının (*Quercus suber L.*) gövde ve dallarından periyodik olarak soyularak elde edilebilen koruyucu tabakadır. Tanelenmiş mantar (granüle mantar), ham veya işlenmiş mantarın ezilmesi ve/veya öğütülmesiyle elde edilir [94]. Genleştirilmiş mantar levhası (mantar levha), yalnızca mantar hücre duvarlarının basınç altında ısıtılmasıyla elde edilen doğal yapıştırıcı ile yayılmış ve yapıştırılmış olan tanelenmiş mantardan yapılan dikdörtgen şeklinde ve enine kesitinde kalınlığı homojen dağılmış olan ve esas olarak kalınlığı diğer boyutlarından daha küçük olan sert veya yarı sert yalıtım ürünüdür. Üzerinde gezilebilen çatılarda mantar, şap ile korunmalıdır. Mantar plaklar çok incedirler. Uygulaması sıcak veya soğuk bitüm ile yapıştırılarak yapılır. Kalın mantar tabakası kullanılacak ise plakların iki kat halinde şaşırtmalı yerleştirilmeleriyle ısı köprülerine engel olunmuş olunur [80]. Türk Standardları Enstitüsü'nün TS 304 EN 13170 nolu “Isı Yalıtım Mamülleri- Binalar İçin- Fabrika Yapımı Genleştirilmiş Meşe Mantarı Levhaları (ICB)-Özellikler” standardında genleştirilmiş mantar levha ısı yalıtımı malzemelerinin taşıması gereken özellikleri verilmektedir.

Selülozik ısı yalıtımı, selüloz esaslı malzemelerden elde edilen içerisinde bor tuzları barındıran, ısı, ses ve yangın yalıtım malzemesidir. Doğrudan selülozdan üretilebildiği gibi geri dönüştürülmüş kağıt kullanılarak da üretilebilmektedir. Şekil 3.72’de görüldüğü gibi püskürtülerek uygulandıkları için her türlü yüzeylere rahatça uygulanabilme özelliğine sahiptir. Isı iletkenlik katsayısı 0,036 W/MK’dır. Yoğunluğu, 15-150 kg/m³ arasında değişebilmektedir. İçerdiği borun kaynama noktasının yüksek olması itibarıyla yangın yalıtımı maksadıyla kullanımı da gündemdedir. DIN 4102 normlarına göre “Yanmaz Malzemeler” olan A2 sınıfındadır [95].



Şekil 3.72 : Selülozik ısı yalıtımı malzemesinin püskürtülerek uygulanması [95].

Genleştirilmiş perlit, gözenekli bir yapı oluşturmak üzere, doğal oluşmuş volkanik kayaç malzemelerin ısı uygulanarak genleştirilmesiyle imâl edilen taneli hafif yalıtım malzemesidir [96]. Genleştirilmiş perlit, eğim betonu yapımında, dolgu ve yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır [80]. Genleştirilmiş perlit levha ise genleştirilmiş perlit, donatı lifleri ve bir bağlayıcı malzemeden imal edilen rijit yalıtım levhasıdır. Tek levha veya uygun bir yapıştırıcı vasıtasıyla birleştirilmiş (çok tabakalı) iki veya daha fazla levha halinde teslim edilebilir. Levhalar profilli kenara da sahip olabilir [96]. Türk Standardları Enstitüsü'nün TS EN 13169 nolu “Isı yalıtım malzemeleri – Binalar için – Genleştirilmiş perlitten fabrikada imâl edilmiş mamuller (epb) – Özellikler” standardında genleştirilmiş perlit ısı yalıtımı mamullerinin taşıması gereken özellikleri verilmektedir. Yine Türk Standardları Enstitüsü'nün TS 3649 nolu “Perlitli Isı Yalıtımı Beton-Yapım-Uygulama Kuralları ve Deney Metodları” standardında perlit katkılı beton uygulamaları hakkında kurallar verilmektedir.

3.2.3.2 Doğada varolmayan ve sentetik olarak üretilen ısı yalıtımları

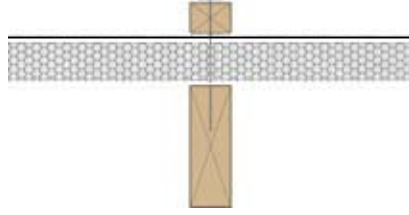
Bu gruba giren yapay ısı tutucu malzemeler çeşitli polimerlerden oluşur. En yaygın şekilde üretilen ve kullanılanlar; polistren (XPS, EPS), poliüretan (PUR), polivinilklorür (PVC), polietilen (PE) ve fenolformaldehit (PF) gibi değişik kökenli polimer malzemelerin köpük yapıda olanlarıdır. Bunların bazıları açık, bazıları kapalı yapıda olup farklı yoğunluklarda üretilebilirler [45].

Levha halinde polimer esaslı köpük ısı yalıtımlarının tespiti şu yöntemlerle yapılabilir:

- **Yapıştırma:** Levhaların yapıştırılmasında genellikle sıcak bitüm veya plastik yapıştırıcı kullanılmaktadır. Isıtılmış bitüm uygulamalarında, sıcak bitüm levhanın yapıştırılacak yüzüne sürülerek veya levhanın yapıştırılacağı yüzeye

sürülerek yapıştırılır; her iki durumda da plakaların yapıştırılacağı yüzeyin astarlanmış olması gereklidir [80].

- Mekanik tespit: Levhalar herhangi bir yere çivi, geniş pullu izolasyon dübeli, izolasyon pimi, vida veya baskı çitası (Şekil 3.73) ile de tespit edilebilir. Bu uygulamalarda, çivi veya vida başlarına rondeler konulmalıdır [80].
- Serme: Düz çatılarda ise serbestçe serilerek uygulanabilirler.



Şekil 3.73 : Baskı çitası yardımıyla tespit [84].

Şekil 3.74’te gösterildiği gibi, polimer köpük ısı yalıtımı levhaları, çatıda ısı köprüsü oluşturmaması için kenarları birbirlerine sıkıca kenetlenir ve şaşırtmalı olarak yerleştirilirler.



Şekil 3.74 : Polistren ısı yalıtımı levhalarının birleştirme detayı [85].

Polistren köpük levhaların doğrudan metal döşeme üzerinde kullanılması, yangın riski dolayısıyla önerilmez. Aralarına genellikle alçı panel bir ayırıcı tabaka yerleştirilir. Polistren köpük levhalar yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmadıklarından, güneşe maruz bırakılan bitümlü kaplamaların altında da kullanılmamalıdır veya aralarına ayırıcı bir tabaka (perlit veya ahşap yonga levha gibi) yerleştirilmelidir. Ayırıcı tabaka yükün polistren levhada dengeli dağılmasını sağlayarak, noktasal yükler durumunda oluşabilecek hasarlara da engel olur [55].

Düz çatılarda polistren ısı yalıtım levhalarının üzerine, şaloma alevi veya sıcak asfalt ile su yalıtımı uygulaması yapılmamalıdır. Bunun yerine, uygulayıcının sistem için garanti vermesi halinde, uluslararası standartlara uygun özelliklere sahip modifiye edilmiş akrilik-su bazlı likit (sıvı) membranlar ile su yalıtımı uygulanabilir. Bu

uygulamada, birinci kat kuruduktan sonra standartına uygun özelliklerde cam tülü serilerek ikinci katın uygulaması gerçekleştirilebilir. Levhaların üzerine kendinden yapışan membranlar kullanılarak da su yalıtımı uygulanabilir. Yapıştırma levhalarla etkileşmeyen bir solventle de gerçekleştirilebilir.

Düz çatıda polistren ısı yalıtımıyla, sıcak uygulanan ısı yalıtımlarının bir başka uygulama yöntemi de levhaları arada boşluk kalmayacak şekilde serip, birleşim noktalarını bantlarla kapatıp, üzerlerine eğim betonu dökülerek; eğim betonunun üzerine sıcak su yalıtımı uygulamaktır. Levhalar kapalı gözenekli oldukları için üzerlerine direkt olarak şap dökülebilir. Levhaların arasına harç sızmasını önlemek amacıyla levha birleşim yerlerinin bantla kapatılması uygun olur [86].

Şekil 3.75'te eğimli çatıda mertekler arasına, altına veya üzerine ısı yalıtımında polistren levha uygulamaları gösterilmiştir.



Şekil 3.75 : Eğimli çatıda mertek hizasında ısı yalıtımında polistren levha uygulamaları: mertekler arasına, altına veya üzerine [85].

Çekme polistren köpük (XPS), polistiren veya polistrenin kopolimerlerinin birinden, genişletilerek ve ekstrude edilerek imal edilen, zırlı veya zırhsız, kapalı hücre yapısında olan sert gözenekli plâstik yalıtım malzemesidir [87]. Çekme polistren dikdörtgen şeklinde ve dikdörtgen kesitli, rijit (sert) veya yarı-rijit ısı yalıtım levhası olarak yapılarda kullanılmaktadır. Kapalı gözenekli olması nedeniyle bünyesine su almayan bir ısı yalıtım malzemesidir. Çekme polistren ısı yalıtım levhaları suyu bünyelerine almamaları ve yüksek basınç dayanım özellikleriyle ters teras çatı uygulamalarında kullanılabilir. Türk Standardları Enstitüsü'nün TS 11989 EN 13164 nolu “Isı Yalıtım Mamulleri-Binalar İçin-Fabrikasyon Olarak Ekstrüzyonla

İmal Edilen Polistiren Köpük (XPS)- Özellikler” standardında çekme polistren ısı yalıtımı malzemelerinin taşıması gereken özellikleri verilmektedir.

Genleştirilmiş polistren (EPS), polistren hammaddesinin geniştirilerek blok haline ve kesilme suretiyle levhalar haline getirilmesi ile üretilen bir ısı yalıtım malzemesidir. Ayrıca levha şeklinde kalıp içinde geniştirilerek de üretilebilir. Türk Standardları Enstitüsü'nün TS 7316 EN 13163 nolu “Isı Yalıtım Mamulleri- Binalar İçin- Fabrikasyon Olarak İmal Edilen- Genleştirilmiş Polistiren Köpük- Özellikler” standardında geniştirilmiş polistren ısı yalıtımı malzemelerinin taşıması gereken özellikleri verilmektedir.

Fenolik sert köpük formaldehit bakalitine yardımcı maddeler katılarak elde edilir. Basınca az dayanıklıdır. Bünyesine hacminin yaklaşık % 10’u kadar su alır. Yüksek şebeke yapısı nedeniyle PVC’ler gibi kırılğan değildirler. Köpükleri oluşturan hücrelerin birbiriyle bağlantısı yoktur. Fenolik köpükler yüksek derecede alev dayanımının gerektiği ortamlarda kullanılmaktadır. Türk Standardları Enstitüsü'nün TS EN 13166 nolu “Isı Yalıtım Mamülleri - Binalar İçin - fabrikasyon olarak imal edilen fenolik köpük (PF) – Özellikler” standardında fenolik köpük ısı yalıtımı malzemelerinin taşıması gereken özellikleri verilmektedir [88, 89].

Poliyeten, çok çeşitli ürünlerde kullanılan bir termoplastiktir. Özellikleri tiplere göre değişiklik gösterse de; dış ortam koşulları ve neme karşı iyi direnç, esneklik, zayıf mekaniksel kuvvet ve üstün kimyasal direnç genel özellikleri olarak sayılabilir. Yapılarda, duvar arası, havalandırma kanalları, kiremit altı, şap altı, asma tavan altı uygulamalarında ısı, nem ve ses izolasyonunu sağlamak amacıyla kullanılır. Güneşin mor ötesi ışınlarına karşı hassas olduğu için, kullanım alanlarına göre kendinden yapışkanlı, folyolu olan poliyeten levhalar da üretilmektedir. Kendinden yapışkanlı poliyeten köpük tespitinde kolaylık sağlar [90].

Poliüretan sert köpük, sandviç panel içlerinde kullanılır, püskürtme yöntemiyle uygulanır [80]. Uygulama yapılacak çatı tozdan, nemden ve kirden arındırılarak uygulamaya hazır hale getirilir. Şekil 3.76’da görüldüğü üzere sıvı olarak püskürtülen köpük birkaç saniye içinde kendi hacminin 40 katı kadar genişterek sertleşir. Uygulama sonrası tek parça ek yeri olmayan bir izolasyon (ısı-su) elde edilir. Poliüretan güneşin UV ışınlarından etkilenir. Atmosfere açık uygulamalarda poliüretan korunmalıdır. Türk Standardları Enstitüsü'nün TS 10981 nolu “Plastikler-

Sert Köpük Plastikler-Binaların Isı Yalıtımı İçin Püskürtmeyle Uygulanan Poliüretan Köpük” standardında poliüretan köpük ısı yalıtımı malzemelerinin taşıması gereken özellikleri verilmektedir [91].



Şekil 3.76 : Poliüretan ısı yalıtımın uygulanması [92].

3.2.4 Su yalıtımı

Havadaki su buharı, atmosferde değişken oranlarda bulunur ve uygun şartlar oluştuğunda yağmur, dolu veya kar halinde yeryüzüne iner. Yapıların dış kabukları bu yağışlara maruz kalırlar. Duvarlar düşey konumda oldukları için çatılara oranla daha az yağış etkisine maruz kalırlar. Doğal çevre etmenlerinden yağmurun etkisi altında kullanıcının biyolojik/fizyolojik gereksinmelerinden hijyenin ve sosyal/psikolojik gereksinmelerinden estetiğin sağlanabilmesi için çatı sisteminden beklenen performans gereksinmesi, suyu içeri geçirmeyerek, toplaması ve hızlıca uzaklaştırmasıdır. Bu performans gereksinmesini karşılayan çatı bileşenleri, suyu içeri geçirmeyen su yalıtımı, uzaklaştıran yağmur suyu indirme sistemi ve uzaklaştırmada suyu toplayan ve hızlandıran çatı eğimidir. Bu bölümde çatı sisteminin su yalıtımı için kullanılan bileşenleri, uygulama türlerine göre serilerek uygulanan ve sürülerek uygulanan su yalıtımı malzemeleri diye sınıflandırılarak anlatılacaktır.

3.2.4.1 Serilerek uygulanan su yalıtımı örtüleri

Serilerek uygulanan su yalıtımı ürünleri, örtü olarak üretilmektedirler. Bunlar, malzemelerine göre:

- bitüm esaslı su yalıtım örtüleri,
- modifiye bitümlü su yalıtım örtüleri,

- polimer esaslı su yalıtım örtüleri diye sınıflandırılabilirler.

Bitüm, termoplastik bir malzeme olması nedeniyle yüksek sıcaklıklarda yumuşar ve mekanik nitelikleri zayıflar. 2-3 mm kalınlıktan daha ince bitüm kullanılmak istendiğinde yardımcı bir taşıyıcı malzeme ile kullanılması gerekmektedir, bu nedenle bitümlü su yalıtım örtüleri üretilmektedir [45]. Donatı olarak camyünü, polyester lifleri ve dokumaları kullanılmaktadır. Türk Standardları Enstitüsü'nün TS EN 13707 nolu "Su yalıtımı için esnek levhalar - Çatılarda su yalıtımında kullanılan takviyeli bitümlü levhalar - Tanımlamalar ve özellikler" standardında çatıların su yalıtımı amacıyla kullanılan takviyeli bitümlü levhaların tanımlamaları ve özellikleri verilmektedir. Takviyeli bitümlü levha, bu standardta, rulo şeklinde kullanıma hazır olarak temin edilen, içerisinde veya dışında bir ya da birden fazla taşıyıcı içeren, fabrika yapımı bitümlü levha olarak tanımlanmıştır. Polyester keçe taşıyıcılı membranlar taşıyıcı olarak 150gr/m², 170gr/m², 180gr/m² veya 250gr/m² ağırlıklı spunbond yani eritilip birleştirilen dokusuz keçe kullanılarak üretilen su yalıtım membranlarıdır. Camtülü taşıyıcılı membranlar, taşıyıcı olarak 50gr/m², 60gr/m², 80gr/m² ağırlıklı camtülü kullanılarak üretilen su yalıtım membranlarıdır. Islak hacimlerde, balkonlarda, metal boruları korozyona karşı korumada ve iki katlı detaylarda birinci kat su yalıtım örtüsü olarak kullanılır [97].

Çatı eğiminin %5'e eşit veya daha az olması halinde, en az iki katlı su yalıtımı uygulanmalıdır. Çatı eğiminin %5'den büyük ve yapının don bölgeleri dışında olması halinde, tek katlı 4 mm kalınlığında polyester keçe taşıyıcılı su yalıtımı uygulanabilir [98].

Bitümlü örtülerin uygulanma işlem sırası şu şekildedir:

- yüzeyin düzgün ve kuru olması sağlanır,
- bitüm emülsiyon astar sürülür,
- kuruyan astar tabakası üzerine örtüler 10 cm bindirilerek serilir. Çatılarda örtüler, eğimin en düşük olduğu noktalardan (su iniş noktaları, dere ağızlarından) eğime dik olarak serilmelidirler [98],
- Şekill 3.77'de gösterildiği gibi, örtüler şalümo alevi kullanılarak, örtülen yüzeye veya birbirlerine yapıştırılır,
- üst üste gelen örtüler şaşırıtmalı yerleştirilerek ek yerleri üst üste getirilmez,

- ek yerleri sıcak mala ile işleminden geçirilerek sabitlenir [99].



Şekil 3.77 : Bitümlü örtülerin şalümo alevi ile çatıya tespiti.

Modifiye bitüm, plastomerik veya elastomerik polimerler ilave edilerek özellikleri değiştirilen bitümdür [100]. Modifiye bitümlü membranlar, bir yüzü arduaz veya alüminyum lamine kaplı, güneşin ultraviyole ışınlarına ve ağır hava koşullarına dayanıklı son kat çatı kaplama malzemesi olarak da üretilebilmektedirler [97]. Modifiye bitümlü örtüler, APP katkılı ve SBS katkılı olmak üzere iki çeşittir. Türk Standardları Enstitüsü'nün TS 11758-1 nolu “Polimer Bitümlü Örtüler - Su Yalıtımı İçin - Eritme Kaynağıyla Birleştirilerek Kullanılan - Bölüm 1: Özellikler” ve TS 11758-2 nolu “Polimer bitümlü örtüler -Su yalıtımı için -eritme kaynağıyla birleştirilerek kullanılan Bölüm 2: uygulama kuralları” standartlarında çatıların su yalıtımı amacıyla kullanılan modifiye bitümlü levhaların tanımlamaları, özellikleri ve uygulama esasları verilmektedir.

Ataktik Poli Propilen (APP) polipropilen üretiminde yan ürün olarak çıkan bir çeşit polimerdir [100]. APP modifiye bitümlü örtü, plastomerik bitümlü örtüdür. Plastomerik bitümlü örtü, poliolefin veya poliolefin kopolimer bileşiklerinin ilâve edilmesi ile modifiye edilen petrol bitümü ve/veya yükseltgenmiş bitümden yapılmaktadır, elastomerik bitümlü membranlara göre daha yüksek sıcaklık dayanımları vardır. Tüm su yalıtım detaylarında, ılıman iklim koşullarında kullanılırlar [97]. Plastomerik bitümlü membranlar şalümo alevi ile ısıtılarak uygulanmaktadırlar [98].

Stiren Butadien Stiren (SBS) kauçuk özellikli bir çeşit polimerdir [100]. SBS modifiye bitümlü örtü, elastomerik bitümlü örtüdür. Elastomerik bitümlü membranlar, termoplâstik kauçukların ilâve edilmesi ile modifiye edilen petrol

bitümü ve/veya yükseltgenmiş bitümden yapılmaktadır; yüksek elastikiyetleri ile plastomerik bitümlü membranlardan ayrılırlar. SBS düşük sıcaklıklarda bile malzemeye sürekli bir elastikiyet sağlamaktadır. Tüm su yalıtım detaylarında, soğuk iklim koşullarında ve elastikiyetin yüksek olması istenen hareketli yapılarda kullanılırlar [97]. Elastomerik bitümlü membranlar şalümo veya sıcak asfalt ile uygulanabilirler [98].

Bitümün özel kulelerde ısıtılarak ve içinden hava geçirilerek özelliklerinin değiştirilmesi sonucu elde edilen bitüme, okside bitüm denir [100]. Penetrasyonun düşük ve dayanıklılığın yüksek olması gereken yerlerde okside bitüm kullanılır. Okside bitümlü örtüler, cam yünü ve cam dokuma donatılıları kullanılarak örtü haline getirilirler [99]. Okside bitümlü örtüler genellikle kiremit altı su yalıtımı olarak kullanılmaktadırlar ve yüzeylere sıcak asfalt yardımıyla yapıştırılırlar [97].

Polimer (plastik) esaslı örtüler, toz veya granül haldeki termoplastik polimerlerin plastifiye edilerek uygun ısıda, kalınlık ayarlı merdanelerde, taşıyıcılı veya taşıyıcısız olarak kalınlık verilmesiyle elde edilir [101]. Polimer esaslı örtüleri, bitüm esaslı örtülerden ayıran temel özellikleri, tek kat olarak uygulanabilmeleri; daha geniş parçalar halinde üretilip, uygulanabilmeleri ve bir çok çeşidinin UV ışınına, ozona ve havayla yıpranmaya dayanıklı olmalarıdır. Sayısız polimerler ve katkı maddeleri ile binlerce formülasyon gerçekleştirmek olasıdır. Buna karşı, uygulamada sadece formülasyonların birkaçı kullanılmakta ve bunlar kendilerini oluşturan polimer türleri ile isim almaktadırlar. En çok kullanılan polimer türleri butil lastiği, poliizobütilen (PIB), klorlu polietilen (CPE), kloro-sülfonath polietilen (CSPE), etilen-propilen lastiği (EPDM), düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), polivinilchlorür (PVC) ve termoplastik olefindir (TPO).

Yapılarına ve uygulanabilme yöntemlerine göre ise polimerler iki sınıfta incelenebilirler: termoset ve termoplastik polimerler.

Termoset polimerler, bir defa ısı ve basınç altında şekillendikten sonra tekrar şekillenmeyen polimer yapılardır. Bu nedenle, termoset polimer örtüler, kaynaklanarak bir araya getirilemezler, birleşimlerinde uygun yapıştırıcılar veya bantlar kullanılır. En yaygın kullanılan termoset membran, EPDM (etilen propilen dimonomer)'dir [55].

Termoplastik polimerler, ısıtılarak eritilebilen ve soğutularak tekrar katı hale getirilebilen malzemelerdir. Bu özellikleri sayesinde kaynak yöntemi ile birleştirilebilirler. Öte yandan termoset polimerler kadar esnek değildirler. En yaygın kullanılan termoplastik polimer örtü, PVC (polivinil klorür)'dir [55].

Polimer su yalıtımı örtüleri Çizelge 3.7'de termoplastik ve termoset olarak sınıflandırılarak verilmiştir.

Çizelge 3.7 : Polimer su yalıtımı örtüleri [55]

Termoplastik polimerler (kaynakla birleştirilebilir)	Termoset polimerler (kaynakla birleştirilemeyenler)
PVC (Polivinilklorür) CPE (Klorlu polietilen) CSPE (Kloro-sülfonath polietilen) TPO (Termoplastik olefin)	EPDM(Etilen-propilen lastiği)

Polimer esaslı örtüler aşağıdaki yöntemlerle tespit edilirler.

- El fön makinesi: Değiştirilebilen çeşitli ağızlarda, sıcaklık ayarlı hava üfleyen bu cihazla örtüler bini yerlerinden el silindiri baskısı yardımıyla kaynak yapılır. Kaynak genişliği ≥ 3 cm. ; bini ≥ 10 cm. olmalıdır.
- Tetrahidrouran (THF) solvent veya sıcak bitüm: Solvent veya bitümün sürülmesi ile örtülerin yapıştırılması prensibine dayalıdır.
- Robot kaynak makinesi: Sıcak hava üfleyerek kaynak yapan cihazlardır. Kendi kendine otomatik olarak örtü ek yeri boyunca yürüyen makinelerle yapılan uygulamadır. Hava basınç testi için çift kaynak yapan modelleri mevcuttur.
- Mekanik tespitler: Üzerinde ayrıca bir koruyucu eleman yer almayan ya da yüzeye yapıştırılmayan plastik örtülerle su yalıtımı yapılan teras çatılarda rüzgarın vakum etkisine karşı örtülerin taşıyıcı zemine mekanik olarak tespit edilmesi zorunludur. Bu mekanik tespitler , Şekil 3.78'de verilen detaydaki gibi, pul ve vidadan oluşan raptetler ile noktasal olarak veya özel laması ve vidası ile şeritsel olarak uygulanır.
- Ağırlık altına serbest serim: Örtüler birleştirilir (yapıştırma/ bantlama), çatıya sadece çatı kenarlarından tespit edilirler ve genellikle rüzgarın kaldırma

etkisine karşı, koruyucu bir tekstil serilerek üzerleri çakıl ile kaplanır. Çakıl yerine karo kaplama da uygulanabilir [55, 101].



Şekil 3.78 : Polimer esaslı su yalıtımı örtüleri / mekanik tespit [102].

Türk Standardları Enstitüsü'nün TS EN 13956 nolu “Esnek levhalar - Su yalıtımı için - Çatılarda su yalıtımı için kullanılan plastik ve lastik levhalar - Tarifler ve özellikler” standardında çatıların su yalıtımı amacıyla kullanılan polimer esaslı örtülerin tanımlamaları, özellikleri ve uygulama esasları verilmektedir.

3.2.4.2 Sürülerek uygulanan su yalıtımı malzemeleri

Sürülerek uygulanan bitüm esaslı, poliüretan, çimento ve akrilik esaslı su yalıtım malzemeleri mevcuttur. Bitüm, ham petrolün doğal çökmesiyle veya rafinerilerde damıtılması yolu ile elde edilen rengi koyu kahverengi ile siyah arası değişen katı, yarı katı veya sıvı hallerde bulunabilen bir maddedir. Genelde penetrasyon değerine göre sınıflandırılır [100]. Sert bitümler bu değer küçük olduğundan düşük penetrasyonlu bitüm; yumuşak bitümler ise bu değer büyük olduğundan yüksek penetrasyonlu bitüm diye adlandırılır. Çizelge 3.8’de farklı iklim bölgelerine göre çatılarda uygulanabilecek bitüm su yalıtımlarının penetrasyon değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.8 : Çatılarda kullanılan bitümün farklı iklim bölgelerine göre penetrasyon değerleri [45].

Bölge	Penetrasyon
Sıcak Bölgeler -Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu	10-20
Ilıman bölgeler - Karadeniz, Marmara ve Ege	10-20 veya 10-20 ile 20-30 penetrasyonlu bitümlerin 1/1 karışımı
Soğuk bölgeler - Orta Anadolu ve Doğu Anadolu	20-30

Poliüretan ise iki bileşenli polimer esaslı, bileşenleri birbirine karıştırıldığında sıvı faz özelliğini bir süre daha devam ettiren ve sonra sertleşen yalıtım malzemesidir [99]. Poliüretan esaslı su yalıtım malzemesi, Şekil 3.79'da görüldüğü üzere, fırça ve rulo ile sürülerek veya püskürtülerek uygulanabilmektedir. UV ışınlarına dayanıklı ve dayanıksız olan, tek veya çift bileşenli tipleri vardır [103].



Şekil 3.79 : Sürülerek ve püskürtülerek uygulanan poliüretan su yalıtımı.

Çimento esaslı sürülerek uygulanan su yalıtımları en az bir bileşeni çimento içeren, su ile karıştırılarak ve sürülerek uygulanan malzemelerdir (Şekil 3.80). Tek bileşenli tipleri toz haldedir ve uygulamadan önce su ile karıştırılarak sürülebilir kıvama getirilirler. İki bileşenli olan tipleri ise , ayrı paketler halinde sıvı ve toz bileşenden oluşur. Üretici tavsiyesine göre gerekiyorsa su ile de karıştırılabilir [103]. Çimento esaslı malzemeler uygulama şekline göre de ayrılabilirler :

- Kristalize olan çimento esaslı malzemeler, betonun içindeki kimyasallar ile reaksiyona girerek kristal üretirler. Bu kristaller betonun yapısına nüfuz ederek betondaki kapiler boşlukları tıkayarak su yalıtımı sağlar. Kristalize olarak betona işlemenin yanı sıra yüzeyde esnek ve dayanıklı bir katman oluşturarak iki aşamalı koruma sağlarlar. Hem negatif (içten) hem de pozitif (dış) taraftan uygulanabilirler. Tek veya iki bileşenli tipleri mevcuttur [103].
- Kristalize olmayan çimento esaslı malzemeler, beton, şap ve benzeri yüzeylere kuvvetle yapışırlar, yüksek çatlak köprüleme özelliğine sahiptirler. Sadece pozitif taraftan uygulanırlar. Negatif taraftan kullanıma uygun değildirler. Rijit, yarı elastik ve tam elastik tipleri vardır [103].

Her yapıda görülebilen genleşme, oturma ve beton yapılarıdaki rötne nedeniyle, yapıda zamanla çatlaklar olması beklenmelidir; bunlar kılcal da olsa betonun su

geçirimsizliğini sıfıra indirirler. Bu nedenle, önemli yapılarda ve kuşkulu durumlarda rijit yalıtımlar esnek yalıtımlarla desteklenmelidirler [99].



Şekil 3.80 : Çimento esaslı sürülerek uygulanan su yalıtımları.

Akrilik esaslı sürülerek uygulanan su yalıtımları, akrilik kopolimer esaslı malzemelerdir. Beton yüzeye sürülerek veya püskürtülerek uygulanırlar. Su ile seyreltilerek kullanılırlar. Birinci kat astar olmak üzere en az üç kat , gerektiğinde de taşıyıcı takviyesiyle uygulama yapılır. UV ışınımına dayanıklı olan ve olmayan tipleri vardır. Çok çatlaklı yüzeylerde taşıyıcı takviyesiyle uygulanması önerilir. Akrilik malzemeler kürünü tamamladıktan sonra daima elastik kalırlar [103].

3.2.5 Buhar kesici ve dengeleyici malzemeler

Bir yapı elemanının iki yüzü arasında, sıcaklıkların ve bağıl nemin farklı olması dolayısıyla farklı kısmi buhar basınçları meydana gelir. Bu basınç farkı nedeniyle havadaki buhar molekülleri ısı akımı ile aynı yönde hareket ederek yapı elemanı gözeneklerinden geçer ve dış ortama ulaşmaya çalışır. Su buharı bu geçişi sırasında yapı elemanı içerisinde, doyma sıcaklığında veya daha düşük sıcaklıkta bir yüzeye temas ederse, bir kısmı yoğunlaşarak su hâline geçer ve yapı elemanı içerisinde veya yüzeyinde birikerek yapıya zarar verir. Yapı elemanı yüzeyindeki yoğunlaşma kendisini siyah lekeler, küf, mantar vb. organizma oluşumu ile göstererek, insan sağlığı ve ortamın konfor şartlarını olumsuz etkiler ve yapı malzemesinde hasarların oluşmasına neden olur. Yapı elemanı bünyesinde meydana gelen yoğunlaşma ise; özellikle yapıların taşıyıcı kısımlarındaki donatıların paslanarak işlev ve dayanımlarının zamanla azalması neticesinde yapı ömrü ve deprem dayanımının olumsuz yönde etkilenmesine neden olmaktadır. Ayrıca yoğunlaşma; yapı elemanlarının çürümesi, bütünlüklerinin bozulması ve ısı kayıplarının artmasına da neden olur [104].

Kullanıcının hijyen ve estetik gereksinmelerinin sağlanması için doğal çevre etmenlerinden su buharına karşı çatı sisteminden beklenen performans gereksinmesi; su buharının yoğuşmasına engel olma, sistemi havalandırma veya su buharının geçişine engel olmaktır. Bu performans gereksinmesi, nefes alan yani havalandırılmalı bir çatı sistemi tasarımı ile karşılanabildiği gibi çatı sisteminde su buharı kesici membranlar kullanılarak da karşılanabilir.

Buhar kesici olarak en çok kullanılan malzemeler, su yalıtımı bileşeni olarak da kullanılan bitümlü ve plastik örtülerdir (Bölüm 3.2.4 Su Yalıtımı). Özellikle bitümlü örtüler buhar geçirimsizliğini artırmak için alüminyum ve bakır folyolarla takviye edilirler.

4. FOTOVOLTAİK ÇATI SİSTEMİ TASARIMI İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ

Model, mimari ve yapısal tasarım süreçlerinden oluşmaktadır. Mimari tasarım süreci fotovoltaik dizi tasarımı ve fotovoltaik çatı sistem tipinin belirlenmesi aşamalarından oluşmaktadır. Yapısal tasarım süreci ise seçilen fotovoltaik çatı sistemine göre değişiklikler gösterse de genel olarak çatı bağlantısı tasarımı, tespit ray sistemi tasarımı, modül tespiti tasarımı ve modül birleşimi tasarımı aşamalarından oluşmaktadır. Her aşamada adımlar vardır ve bu adımları etkileyen girdiler verilmektedir. Böylelikle girdiler her adımda tasarımcıyı projesi için uygun seçeneği seçmesi için yönlendirirken, tüm alternatifler aynı anda değerlendirilebilmektedir. Modeli EK A.1’de verilmiştir.

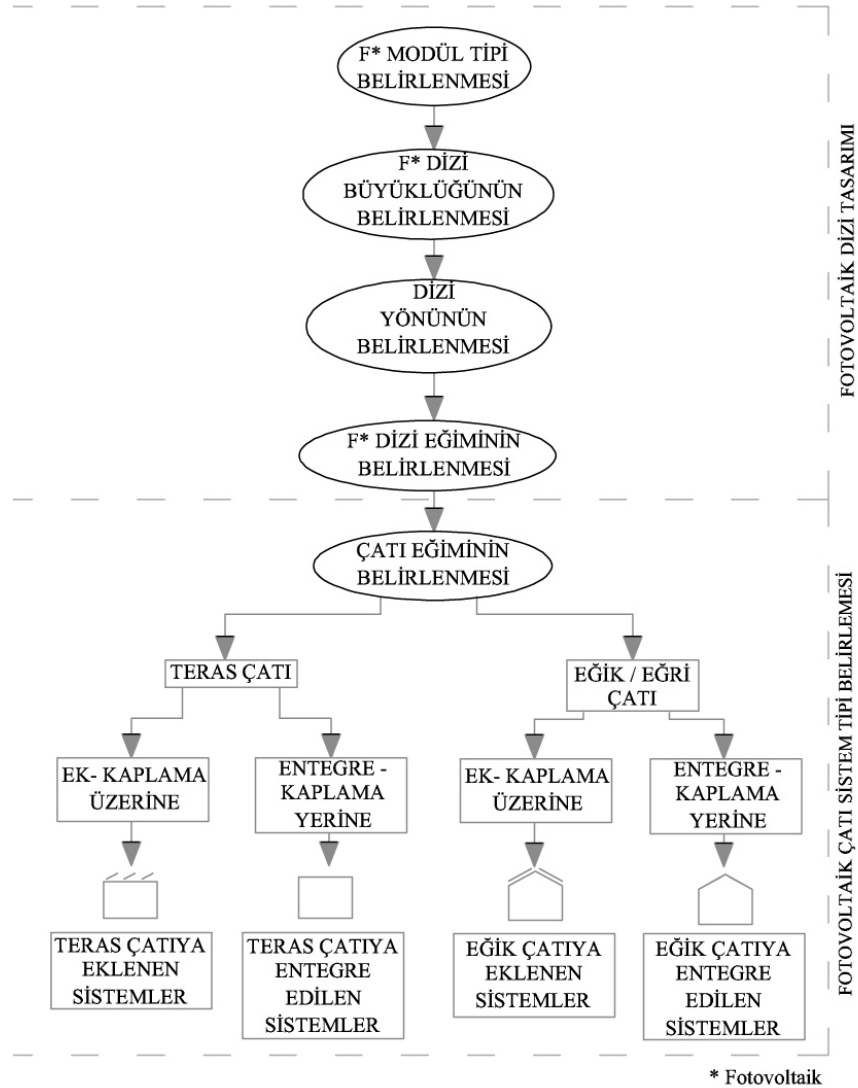
4.1 Mimari Tasarım

Mimari tasarım sürecinin ilk aşaması fotovoltaik dizi tasarımıdır, Şekil 4.1. Bu aşamada çatı sisteminden bağımsız olarak fotovoltaik dizide kullanılacak modül tipi, dizinin büyüklüğü, yönü ve eğimi belirlenir. İlk adım, fotovoltaik modül tipi seçimidir. Modül tipi seçilirken Bölüm 2.5’te anlatılan hücre çeşitleri ve Bölüm 2.6’da anlatılan modül çeşitleri ele alınır. Sonuç olarak fotovoltaik modül, ihtiyacı karşılayacak boyutlarda, çıkış gücünde (Watt), görünümde (rengi vs.) ve malzemelerde (cam-cam, cam-film, metal-film, film, teflon) seçilir. Bu adımda temin etme kolaylığı ve fiyat da etkilidir.

İkinci adım ise fotovoltaik dizi büyüklüğünün belirlenmesidir. Bu kararın alınmasında, bir önceki modül tipi tercihinin yanı sıra toplam enerji ihtiyacı, mevcut alan, düşünülen fotovoltaik sistem kapasitesi (kWp) ve sistem için ayrılan bütçe etkili olmaktadır. Fotovoltaik dizi büyüklüğü, mimari projeye boyutsal olarak bir girdi sağlarken, elektrik projesinde üretilecek elektrik enerjisi açısından da tanımlanır. Elektrik projesini hazırlayan ekip, elektrik yük hesaplarından ve sistem büyüklüğünün belirlenmesinden sorumludur.

Fotovoltaik dizi tasarımının üçüncü adımı, dizi yönünün belirlenmesidir. Bölüm 2.3.1 “Fotovoltaiklerin binalarda kullanımını etkileyen tasarım parametreleri” bölümünde daha detaylı değinildiği gibi dizinin yönüne, yapının güneşe göre konumuna bakılarak karar verilir. Genel bir bilgi olarak, maksimum elektrik üretebilmek için fotovoltaik yüzeyin kuzey yarım kürede güneye; güney yarım kürede kuzeye bakması gereklidir.

Fotovoltaik dizi tasarımı aşamasının son adımı ise, fotovoltaik dizi eğiminin belirlenmesidir. Bu kararı, Bölüm 2.3.1’de daha detaylı değinildiği gibi, yapının güneşe göre konumu ve sistemin kullanım periyodu (yaz, kış, öğle saatleri vb.) etkilemektedir. Genel bir bilgi olarak, maksimum enerji üretebilmek için güneş ışınlarının panele dik geldiği açı en verimli eğim açısıdır.



Şekil 4.1 : Fotovoltaik çatının mimari tasarım süreci.

Mimari tasarım sürecinin ikinci aşaması fotovoltaik çatı sistem tipi belirlenmesidir, Şekil 4.1. Bu aşamada çatı formuna ve fotovoltaik bileşenin çatı kaplamasına ek veya entegre olmasına karar verilir. Sonuç olarak dört çeşit fotovoltaik çatı sistemi tanımlanmıştır; teras çatı sistemi üzerine eklenen sistemler, teras çatı sistemi ile bütünleştirilen sistemler, eğik çatı sistemi üzerine eklenen sistemler ve eğik çatı sistemi ile bütünleştirilen sistemler.

Çatı formu tasarımını etkileyen tasarım girdileri Bölüm 3.1’de detaylı anlatılmıştır. Özetle bu tasarım girdileri doğal çevre etmenleri (yükler ve kuvvetler, iklim elemanları, doğal kaynaklar), yapma çevre etmenleri (bina tipolojisi, bina biçimi, komşu yapıların çatı formları), teknolojik çevre etmenleri (yapı malzemeleri, yapı araç ve gereçleri, yapım teknikleri), ekonomik çevre etmenleri (bütçe, malzeme fiyatları), sosyo-kültürel çevre etmenleri (çatı kullanımı) ve hukuksal çevre etmenleri (ilgili yasa, yönetmelik, standard vb.) olarak sayılabilir.

Sistemin ek veya entegre olması kararında ise fotovoltaik dizisinin eğimi, çatı eğimi, yapının mevcut veya yeni bir yapı olması, malzeme tüketimi ve beklenen görsel etki dikkate alınır. Örneğin mevcut yapı uygulamalarında çatı kaplama malzemesinin korunması için fotovoltaik sistemin çatı sistemi üzerine eklenen bir sistem olması tercih edilebilecek iken; yeni yapılacak bir yapıda fazladan kaplama malzemesi kullanılmaması için çatıya entegre fotovoltaik sistemler tercih edilebilir. Aynı şekilde dizi eğimi ve çatı eğiminin aynı olması da entegre sistemlerin tercih edilmesi için bir nedendir.

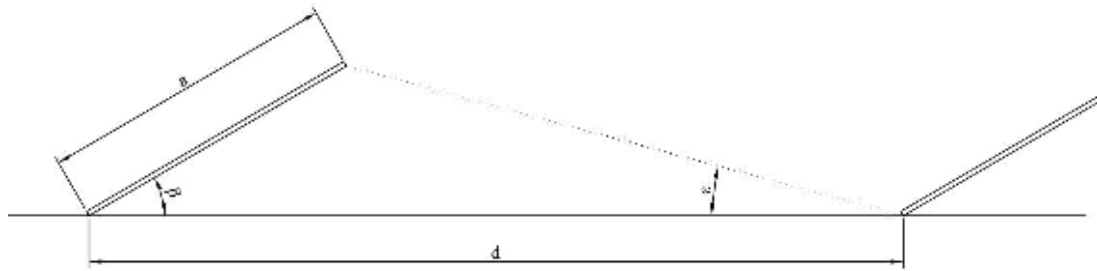
4.2 Yapısal Tasarım

Yapısal tasarım süreci genel olarak çatı bağlantı, modül taşıyıcı sistemi (tespit rayı veya eğim ayağı), modül tespit ve modül birleşim tasarımı aşamalarından oluşur. Ancak bu aşamalar, fotovoltaik çatı sistemi tiplerine bağlı olarak değişiklikler gösterir. Yapısal tasarım süreci fotovoltaik çatı sistemi tipine bağlı olarak dört ayrı bölümden oluşur: teras çatı sistemi üzerine eklenen sistemin yapısal tasarım süreci, teras çatı sistemi ile bütünleştirilen sistemin yapısal tasarım süreci, eğik çatı sistemi üzerine eklenen sistemin yapısal tasarım süreci ve eğik çatı sistemi ile bütünleştirilen sistemin yapısal tasarım süreci.

4.2.1 Teras çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistemin yapısal tasarımı

Teras çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistemde, sistemin istenilen açıda ve yönde yerleştirilmesi mümkündür. Sistemden maksimum verim alınabilmesi için modüller eğimli yerleştirilir; modüllerin eğimli durmasını sağlayan yapıya “eğim ayağı” denilecektir. Eğimli çatılarda gerçekleştirilen uygulamalardaki gibi çatı eğimi ve yönlenmesi fotovoltaik sistem tasarımını kısıtlamaz.

Teras çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistemde modüllerin birbirleri üzerine gölge düşürmemeleri için modüller arası mesafe, Şekil 4.2’de gösterilen “d” kadar olmalıdır. “d” mesafesi modül genişliğine (a) göre hesaplanır (4.1). ε ise, coğrafi enlem (Φ) ve $23,5^\circ$ olan eliptik açıya (δ) göre hesaplanır. Bu hesaplamanın açılımı, modülün gölge açısı ε ’nin kış gündönümünde öğle vaktinde güneşin azimut açısına eşit olmasıdır. Şekil 4.2’de açılar ve mesafeler verilmiştir [105].

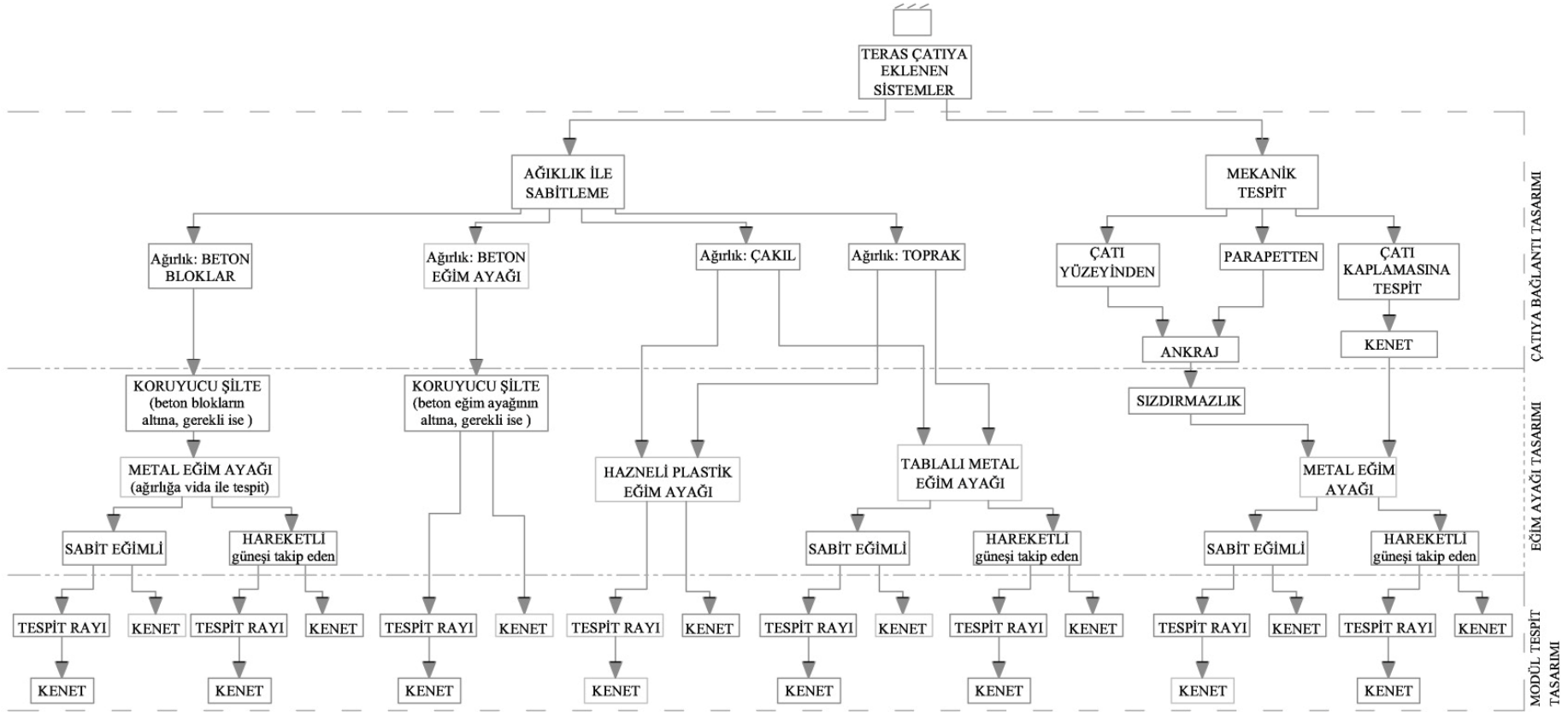


Şekil 4.2 : Teras çatı sistemi üzerine yerleştirilen eğimli modüllerin gölge mesafeleri.

$$d / a = \cos\beta + \sin \beta / \tan \varepsilon \quad (4.1)$$
$$\varepsilon = 90^\circ - \delta - \Phi.$$

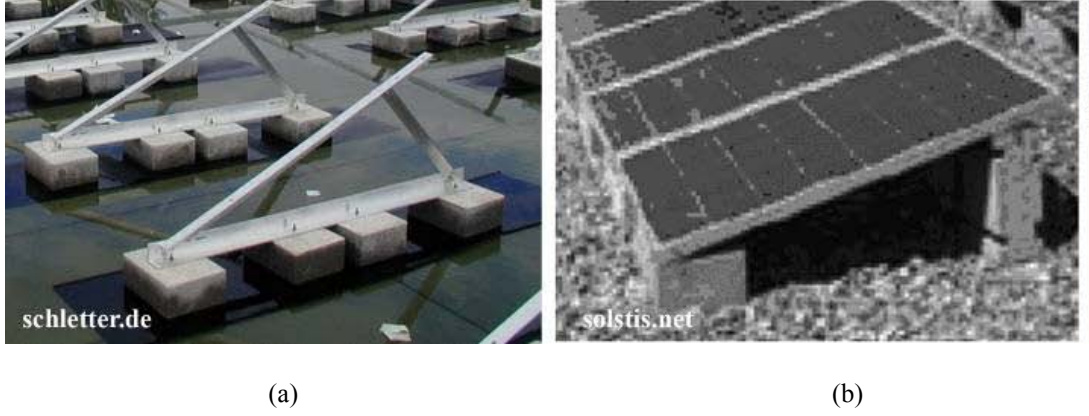
Teras çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistemin yapısal tasarım süreci çatı bağlantı, eğim ayağı ve modül tespiti tasarımı aşamalarından oluşur. Şekil 4.3’ten de takip edilebileceği gibi çatı bağlantı tasarımı aşaması, sistemin bir ağırlıkla mı veya bir mekanik tespit ile mi sabitleneceği kararının verilmesi ile başlar.

Ağırlık ile sabitleme çatı taşıyıcı sisteminin ek yükleri karşılayabileceği, çatı yüzeyinin mekanik tespit için delinmesinin tercih edilmediği ve çatı sisteminin halihazırda sabitleme için kullanılabilecek ağırlık malzemelerine (çakıl veya toprak kaplı çatı sistemleri gibi) sahip olduğu durumlarda tercih edilir. Ağırlık ile sabitlemede ağırlık miktarına sistemin kurulacağı bölgedeki rüzgar şiddeti, bina



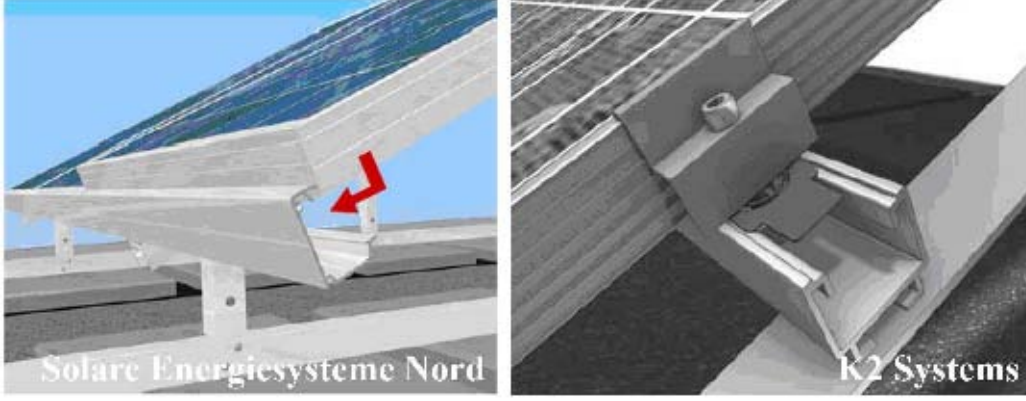
Şekil 4.3 : Teras çatı sistemleri üzerine eklenen fotovoltaik sistemin yapısal tasarım modeli.

yüksekliği ve çatı yüzeyindeki sürtünme kuvvetleri düşünülerek karar verilir. Ağırlık ile sabitleme tercih edilirse, bir sonraki adımda ağırlık cinsi tercih edilir, bunlar beton bloklar, beton eğim ayağı, çakıl veya topraktır, Şekil 4.4.



Şekil 4.4 : Ağırlıkla sabitleme seçenekleri: beton bloklar, beton eğim ayağı [106, 107].

Teras çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistem uygulamasında ağırlık ile sabitleme için beton blokların kullanıldığı durumda çatı sistemi katmanlarının (özellikle kaplama ve ısı yalıtımı katmanlarının) blokların ağırlığı ile ezilmeyeceği temin edilmelidir . Bitümlü örtülerle kaplanmış teras çatılarda ise sıcak havalarda bitümün yumuşaması ile beton bloklar bitümlü örtüyü ezip, formunu bozabilir, yırtıklara neden olabilir. Tasarım yapılırken bu gibi durumlar düşünülmelidir. Beton blokların çatı kaplamasını delmemesi için blokların kenarları yuvarlatılabilir veya altlarına koruyucu bir şilte serilebilir. Beton bloklara metal eğim ayağı vida ile tespit edilir, Şekil 4.4a. Metal eğim ayakları, eğim açıları sabit ve eğim açıları değişken seçilebilirler. Eğim açısı değişen sistemler daha fazla verim alınabilmesi için güneş ışınlarının geliş açısına göre açı değiştirirler. Ancak hareketli sistemler hem daha maliyetlidirler hem de daha fazla bozulma riski taşırlar. Hareketli sistemler çalışma kapsamı dışında tutulmuştur. Son aşama modül tespit tasarımıdır. Bu aşamada modüller ya doğrudan kenetler ile eğim ayaklarına tespit edilirler, ya da eğim ayaklarının modül tespit edileceği kenarlarına tespit edilen raylara kenetler ile bağlanırlar, Şekil 4.5. Bu kararı etkileyen tercih edilen eğim ayağının modül tespiti için uygun profilde olup olmamasıdır.



Şekil 4.5 : Modülün doğrudan metal eğim ayağı profili içine takılması, modülün kenetler ile tespit rayına tespiti [116, 117].

Ağırlık ile sabitlemede seçilebilecek bir diğer alternatif de beton eğim ayağıdır, Şekil 4.4b. Bu uygulamalarda da çatı kaplamasının delinmemesi için ağırlığın kenarları yuvarlatılabilir veya altına koruyucu bir şilte serilebilir. Bu ağırlığın beton bloklardan farkı, modüllere eğim verebilecek formda üretilmesidir, böylelikle eğim ayağına ihtiyaç duyulmaz. Modül tespit tasarımı aşamasında modüller ya doğrudan kenetler ile beton eğim ayağına tespit edilirler, ya da beton eğim ayağının modül tespit edileceği kenarlarına tespit edilen raylara kenetler ile bağlanırlar, Şekil 4.5.

Diğer bir ağırlık ile sabitleme seçeneği çakıldır. Genellikle halihazırda çakıl ile örtülmüş çatılarda tercih edilirler. Bu uygulamanın avantajı çatı sisteminin ağırlık malzemesini üzerinde bulundurmasıdır; diğer bir anlatımla çatı sistemine ağırlıkla sabitleme nedeniyle ek bir yük getirilmez. Çakıl plastik hazneli veya tablalı metal eğim ayakları ile kullanılır. Eğim ayağı, ağırlığı eğim ayağının haznesinin içine veya tablasının üzerine yerleştirilmesi ile sabitlenir, Şekil 4.6a, Şekil 4.6b. Plastik hazneli eğim ayağı kullanımı tercih edilirse, bir sonraki aşamada modül tespiti ya doğrudan kenetler ile plastik eğim ayağına ya da plastik eğim ayağının modül tespit edileceği kenarlarına tespit edilen raylara kenetler ile yapılır. Tablalı metal eğim ayağı tercih edilirse bir sonraki adımda sistemin sabit eğimli mi, yoksa hareketli mi olacağı kararı verilir. Sabit eğimli eğim ayağı tercih edilirse modül tespiti ya doğrudan kenetler ile metal eğim ayağına ya da metal eğim ayağının modül tespit edileceği kenarlarına tespit edilen raylara kenetler ile yapılır. Hareketli sistemlerde de modül tespit tasarımı aşamasında modülün doğrudan eğim ayağına mı yoksa eğim ayağına tespit edilen raya mı tespit edileceği kararı verilir.

Ağırlık ile sabitlemede toprak genellikle bitkilendirilmiş çatı sistemlerinde tercih edilir. Bu uygulamalar da çatı sisteminin halihazırda ağırlık malzemesini üzerinde bulundurması yani çatı sistemine ağırlıkla sabitleme nedeniyle ek bir yük getirilmemesi açısından avantajlıdır. Toprak ile sabitlemede de hazneli veya tablalı eğim ayakları ile kullanılır. Eğim ayağı, ağırlığı eğim ayağının haznesinin içine veya tablasının üzerine yerleştirilmesi ile sabitlenir, Şekil 4.6a, Şekil 4.6b. Plastik hazneli eğim ayağı kullanımı tercih edilirse, bir sonraki aşamada modül tespiti ya doğrudan kenetler ile plastik eğim ayağına ya da plastik eğim ayağının modül tespit edileceği kenarlarına tespit edilen raylara kenetler ile yapılır. Tablalı metal eğim ayağı tercih edilirse bir sonraki adımda sistemin sabit eğimli mi, yoksa hareketli mi olacağı kararı verilir. Sabit eğimli eğim ayağı tercih edilirse modül tespiti ya doğrudan kenetler ile metal eğim ayağına ya da metal eğim ayağının modül tespit edileceği kenarlarına tespit edilen raylara kenetler ile yapılır. Hareketli sistemlerde de modül tespit tasarımı aşamasında modülün doğrudan eğim ayağına mı yoksa eğim ayağına tespit edilen raya mı tespit edileceği kararı verilir.



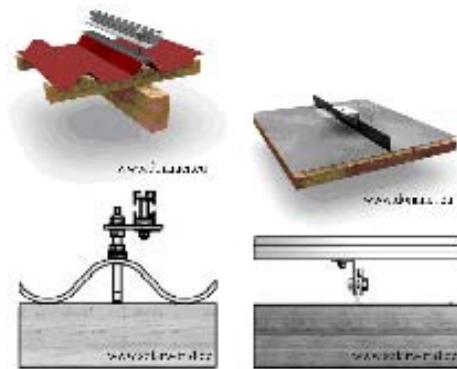
(a) (b)
Şekil 4.6 : Ağırlıkla sabitleme seçenekleri: çakıl veya toprak [108, 109].

Mekanik tespit, çatı taşıyıcı sisteminin ağırlık ile sabitleme için yeterli olmadığı, çatı sistemi üzerine ağırlık taşınmanın çok zahmetli olduğu (yüksek yapılar gibi) ve çatı sisteminin ağırlık altında deforme olabileceği sistemlerde tercih edilir. Mekanik tespit dikkat edilmesi gereken en az tespit noktası ile, yani çatı sistemini en az noktadan delerek, çatı bağlantısının sağlanmasıdır. Böylelikle sızıntı riski ve ısı geçişi azalır. Mekanik tespit tercih edilirse bir sonraki adım tespit yerinin belirlenmesidir; çatı yüzeyinden çatı taşıyıcı sistemine, parapetten bina taşıyıcı

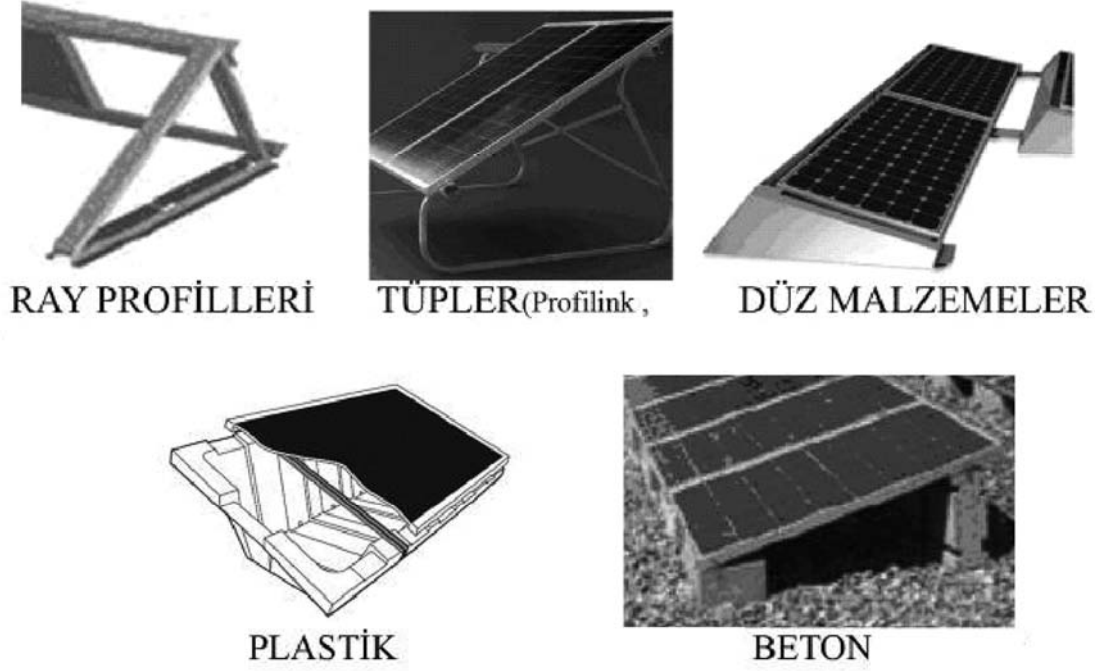
sistemine veya çatı kaplamasına tespit tercih edilebilir. Çatı yüzeyinden veya parapetten yapılan tespitlerde çatı sistemi delineceğinden sızdırmazlık önlemi alınmalıdır. Çatı bağlantısının mekanik tespit ile sağlandığı uygulamalarda metal eğim ayakları çatı bağlantısının sağlandığı civata veya kenete tespit edilir. Metal eğim ayakları, eğim açıları sabit ve eğim açıları değişken seçilebilirler. Son aşama modül tespit tasarımıdır. Bu aşamada modüller ya doğrudan kenetler ile eğim ayağına tespit edilirler, ya da eğim ayağının modül tespit edileceği kenarlarına tespit edilen raylara kenetler ile bağlanırlar. Bu kararı etkileyen tercih edilen eğim ayağının modül tespiti için uygun profilde olup olmamasıdır.

Çatı kaplamasına yapılan mekanik tespitlerde kaplama formuna uygun kenetler kullanılır. Kenetler ile çatı kaplamasına tespit kenetli metal çatı sistemlerinde uygulanır. Çatı kaplamasına yapılan mekanik tespitlerde metal eğim ayağı uygun birleşim elemanı ile çatı bağlantısını sağlayan mekanik tespite tespit edilir. Metal eğim ayakları, daha öncede değinildiği gibi eğim açıları sabit ve eğim açıları değişken seçilebilirler. Modül tespiti tasarımı aşamasında modüller ya doğrudan kenetler ile eğim ayağına tespit edilirler, ya da eğim ayağının modül tespit edileceği kenarlarına tespit edilen raylara kenetler ile bağlanırlar. Bu kararı etkileyen tercih edilen eğim ayağının modül tespiti için uygun profilde olup olmamasıdır.

Askı civatası ile çatı yüzeyinden yapılan mekanik tespit ve dik kenet metal kaplı çatıda kenet ile çatı kaplamasına yapılan tespit örnekleri Şekil 4.7’de verilmiştir. Eğim ayakları birkaç ray profilinden, tek parça plakalardan veya tüplerden; metal veya plastik malzemelerde üretilmektedir, Şekil 4.8. Eğim ayakları çatı bağlantılarına tespit edilmelerinin dışında kendi aralarında da birbirlerine bağlanabilirler, bu sayede yüklerin daha iyi dağıtılması sağlanır.



Şekil 4.7 : Askı civatası ile çatı yüzeyinden çatı taşıyıcısına mekanik tespit, dik kenet metal kaplı çatıda kenet ile çatı kaplamasına tespit [110, 111].

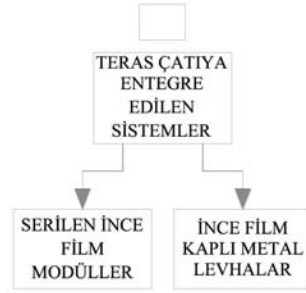


Şekil 4.8 : Farklı malzemelerde ve formlarda eğim ayakları [107, 112, 113, 114, 115].

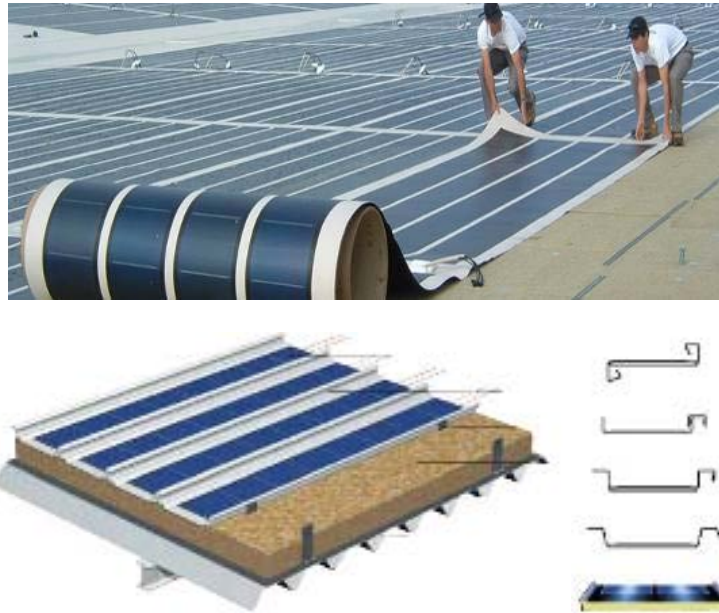
4.2.2 Teras çatı sistemi ile bütünleştirilen fotovoltaik sistemin yapısal tasarımı

Teras çatı sistemleri ile bütünleştirilmiş fotovoltaik sistemler düz veya düze yakın yerleştirildikleri için, eğimli sistemlere göre verimleri daha düşüktür, ayrıca belirli aralıklarla yüzeylerinde biriken toz ve kirin temizlenmesi gereklidir. Teras çatı sistemleri ile bütünleştirilmiş fotovoltaik sistem tasarım modeli, Şekil 4.9'dan da takip edilebileceği gibi bir adımdan oluşur. Teras çatı sistemleri ile bütünleştirilen fotovoltaik sistemler, ince film fotovoltaik modüllerin çatı kaplama örtüsü olarak kullanıldığı sistemlerdir. İnce film modüller TPO (ThermoPlastic Olefin) veya EPDM (Ethylene Propylene Diene Terpolymer) gibi polimer esaslı çatı kaplama örtülerinin, modifiye bitümlü örtülerin ve metal çatı kaplama levhalarının üzerine yapıştırılarak uygulanabilirler, Şekil 4.10. Bu fotovoltaik çatı sistemleri kaplama malzemelerinin geleneksel uygulama yöntemleri kullanılarak kurulur. Modüllerin altında havalandırma boşluğunun olmaması, modül sıcaklığının yüksek olmasına ve dolayısıyla modülün veriminin düşmesine neden olur. Avantajları, modüllerin kırılğan malzemeden üretilmedikleri için dayanıklı, hafif, esnek olabilmesi ve uygulamada herhangi bir ek tespit sistemine ihtiyaç duyulmamasıdır. Bu filmler esnek olmaları nedeniyle eğri formdaki çatılara da çok kolay uygulanırlar.

Fabrikalar, spor salonları gibi binaların geniş çatı yüzeylerinde tercih edilen bir uygulamadır.



Şekil 4.9 : Teras çatı sistemi ile bütünleştirilmiş fotovoltaik sistemin yapısal tasarım modeli.

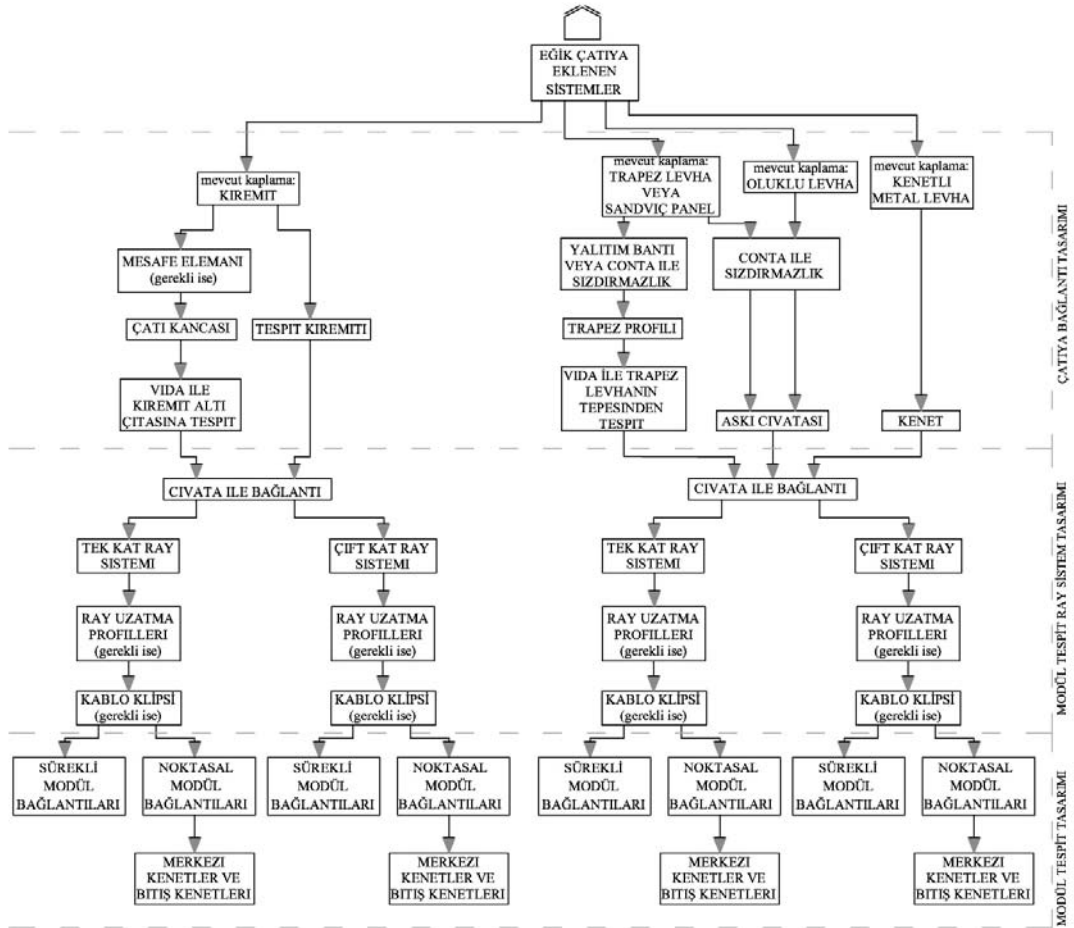


Şekil 4.10 : Teras çatı sistemi ile bütünleştirilmiş fotovoltaik çatı kaplama örtüsü olarak, fotovoltaik metal kaplama ürünleri [118, 119, 120].

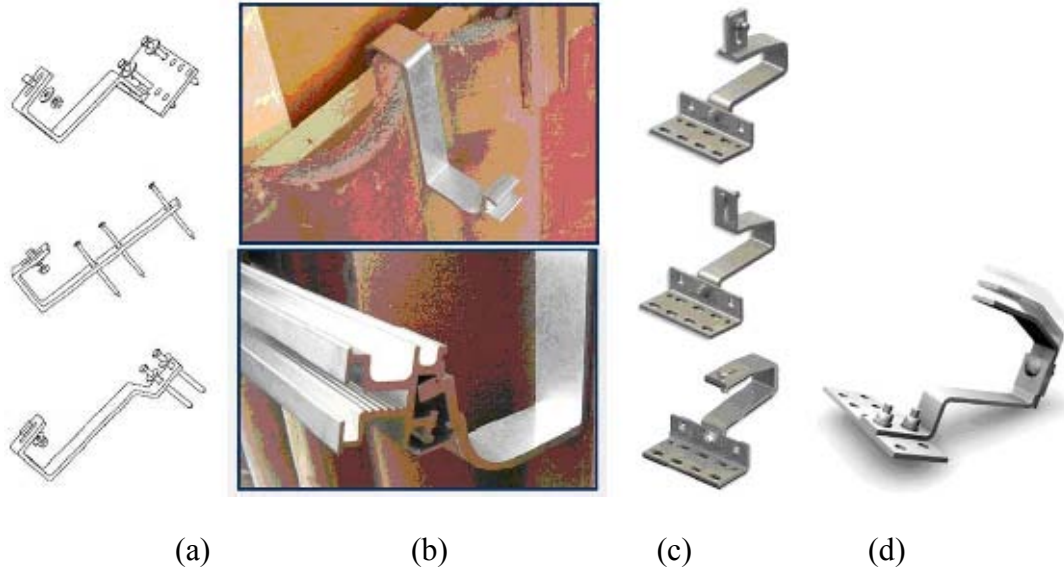
4.2.3 Eğik çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistemin yapısal tasarımı

Eğik çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistemin yapısal tasarım süreci, Şekil 4.11'den de takip edilebileceği gibi üç aşamadan oluşur, bunlar çatı bağlantı tasarımı, modül tespit ray sistem tasarımı ve modül tespit tasarımı aşamalarıdır. İlk aşama olan çatı bağlantı tasarımında verilen ilk karar fotovoltaik sistemin yerleştirileceği çatının kaplama cinsidir. Mevcut kaplama kiremit ise, çatı bağlantısı için çatı kancası veya tespit kiremidi kullanılabilir. Farklı tipte kiremitler için üretilmiş farklı kancalar mevcuttur. Şekil 4.12a'da roman, düz ve marsilya kiremitleri için üretilmiş farklı çatı kancaları gösterilmiştir. Ayrıca ray ve kanca birleşiminde mekanik tespit

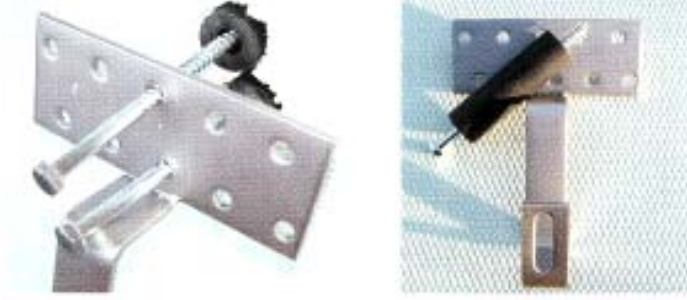
elemanlarına gerek duymayan geçmeli kancalar (Şekil 4.12b), yine ray bağlantısının düzenine göre tek veya çift kat ray kullanımına uyum sağlayan C veya L şeklinde kancalar (Şekil 4.12c), çatı yüzeyindeki eğim farklılaşmalarına uyum sağlayabilen yüksekliği ayarlanabilir kancalar (Şekil 4.12d) mevcuttur. Kanca kiremit üzerine oturmamalı, arada boşluk kalmalıdır. Bu nedenle, kanca yeterli yükseklik sağlayamaz ise ahşap parça ile desteklenebilir. Kiremit ve kancanın çakıştığı yerde taşlama makinesi kullanılarak kiremidin çakışan kısmının kesilmesi gerekebilir. Isı yalıtımının taşıyıcı sistem üzerinde olduğu durumlarda çatı kancasının taşıyıcı sisteme ulaşması için Şekil 4.13’de gösterildiği gibi özel mesafe elemanları kullanılır.



Şekil 4.11 : Eğik çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistemin yapısal tasarım modeli.



Şekil 4.12 : Çeşitli çatı kancaları [121, 122, 123, 124].



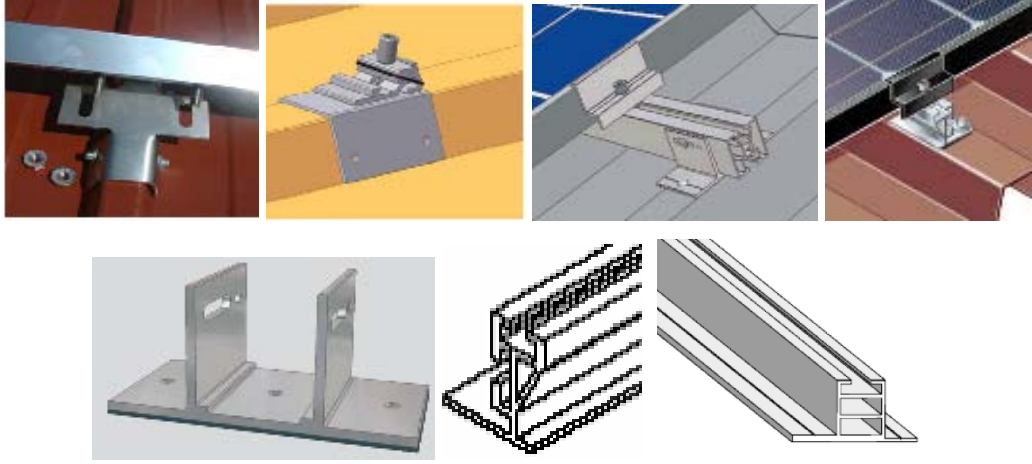
Şekil 4.13 : Isı yalıtımının taşıyıcı sistem üzerinde olduğu durumlarda taşıyıcı sisteme ulaşmak için üretilmiş mesafe elemanı.

Çatı kancaları dışında, kiremit çatı kaplaması üzerine kurulacak dizilerin bağlantısında, Şekil 4.14’te bir örneği verilmiş olan, kiremit formunda, üzerinde fotovoltaik modüllerin bağlantısının yapılabileceği aparatı bulunduran bağlantı kiremitleri de kullanılabilir. Bu bağlantı yükleri çatı kaplamasına aktarırken, çatı kancası ile yapılan bağlantıda yükler kaplama altındaki çatı sistemi katmanlarına aktarılır.



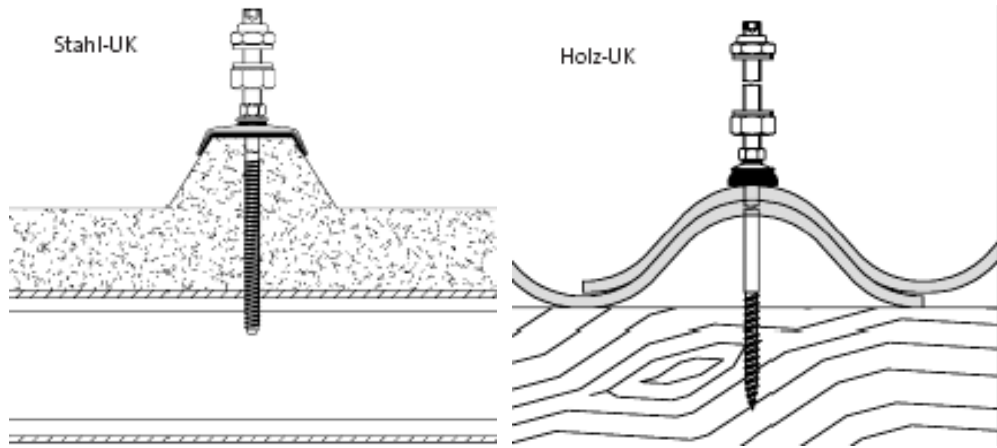
Şekil 4.14 : Montaj kiremiti [125].

Trapez levha ve sandviç panel kaplı çatılarda çatı bağlantısı kaplamaya trapez levha için üretilmiş trapez profilleri veya askı civatası kullanılarak yapılır. Trapez profilleri trapez kaplamaya vidalanarak tespit edilirler. Profiller vidalanmadan önce iki tarafı yapışan bantlarla trapez kaplamaya yapıştırılarak veya kaplama ile arasına EPDM conta yerleştirilerek sızdırmazlık sağlanır. Şekil 4.15’te bazı trapez profilleri gösterilmiştir.

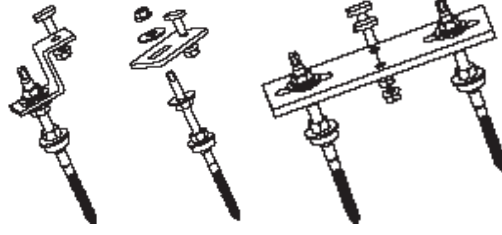


Şekil 4.15 : Trapez profilleri [121, 124, 126, 127, 128].

Askı civataları ile çatı bağlantısı trapez levha, sandviç panel ve oluklu beton levha kaplı çatılarda uygulanabilir. Sızıntı riskini azaltmak için EPDM conta kullanılır ve tespit, levhaların tepe noktalarından yapılır, Şekil 4.16. Tespit raylarının askı civatasına bağlantısında Z kanca, başlık veya ikili başlık kullanılabilir, Şekil 4.17.

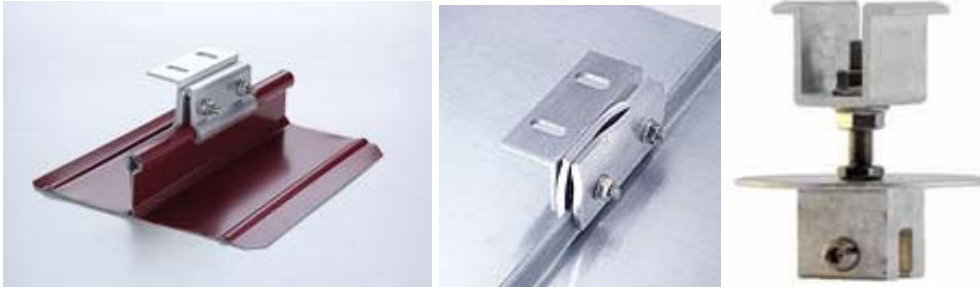


Şekil 4.16 : Askı civatası ile sandviç panel ve oluklu levha kaplı çatı sistemlerine tespit [121].



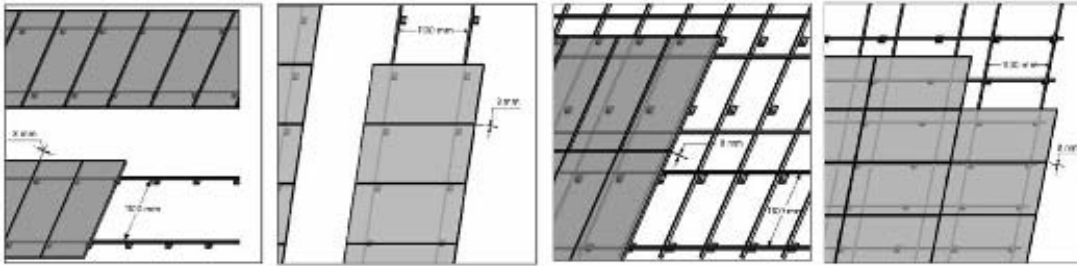
Şekil 4.17 : Tespit raylarının askı civatası ile bağlantısını sağlayan: Z kanca, başlık veya ikili başlık [121].

Kenetli metal kaplı çatılarda fotovoltaik dizi kaplamaya kenetler yardımı ile tespit edilir. Şekil 4.18’de gösterildiği üzere yuvarlak başlı ve dik kenet kaplamalara uygun kenetler piyasada mevcuttur.



Şekil 4.18 : Yuvarlak başlı ve dik kenet metal kaplamalarda kullanılan bağlantı kenetleri, [129, 130].

Çatı bağlantı tasarımından sonra modül tespit ray sistem tasarımı aşamasına geçilir. Bu aşamada iki ray sistemi alternatifi vardır: tek kat ve çift kat ray yerleşimi. Ray sistemi çatıdaki bağlantı noktalarının konumlarına, çatı yüzey eğiminin düzensizliğine, modüllerin grup halinde monte edilmesine veya kullanılan tespit sistemine bağlı olarak tek kat veya düşey ve yatay olmak üzere çift kat dönebilir, Şekil 4.19.

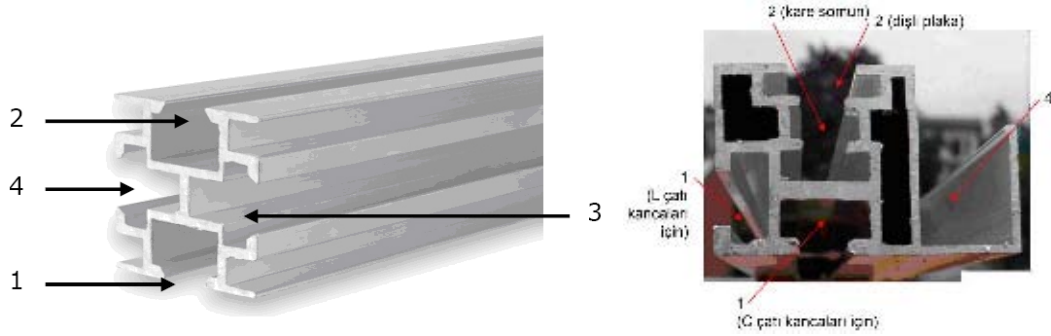


Şekil 4.19 : Modüllerin dikey ve yatay; tek kat ve çift kat ray üzerine yerleşimleri [121].

Bazı büyük ölçekli dizi kurulumlarında modüller yerde ray üzerine tespit edilerek, çatı üzerindeki raylara grup halinde tespit edilebilirler. Grup montajında kurulum

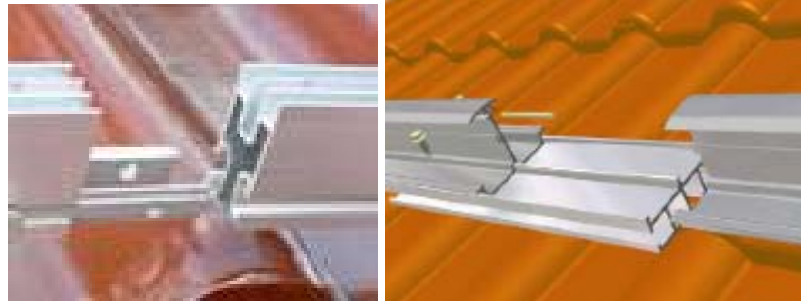
daha hızlı olmasına rağmen, grup halinde monte edilen modüllerin çatı sistemi üzerine taşınmasında vinç veya kaldıraca ihtiyaç duyulur.

Çok farklı ray profilleri mevcuttur. Ray profillerinin tasarımı geçtikleri açıklıklara, çatı bağlantıları ve modüllerle olan bağlantı çeşitlerine ve ray kanallarının kullanım çeşitlerine (Şekil 4.20) göre değişmektedir.



Şekil 4.20 : Çeşitli ray profillerinde ayrılan boşlukların işlevleri: 1: çatı bağlantısı ile birleşim, 2: modül bağlantısı, 3: ray uzatma birleşimi, 4: kablo kanalı [131, 132].

Rayların istenen mesafede devam etmesi için raylar arası bağlantı bileşenleri (Şekil 4.21); kabloları düzenli bir şekilde iletmeleri için kablo kanalları veya klipsleri gibi ek bileşenler de kullanılabilir.



Şekil 4.21 : Ray profilleri içine ve altına yerleştirilen uzatma profilleri [133, 134].

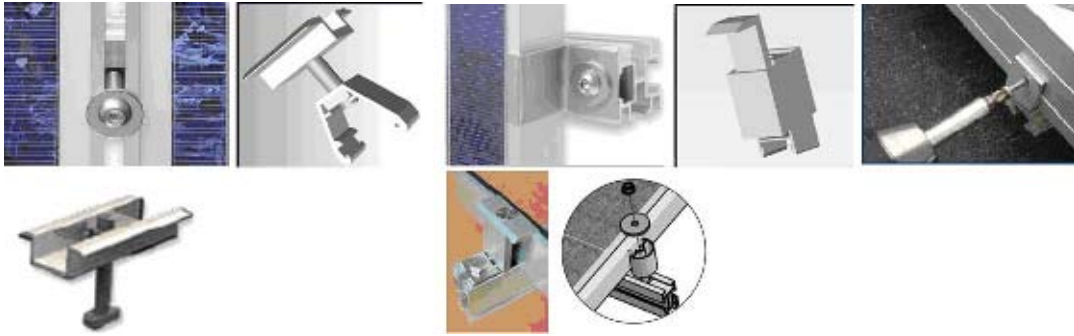
Modül tespit ray sistem tasarımı aşamasından sonra modül tespit tasarımı aşamasına geçilir. Bu aşamada sürekli ve noktasal olmak üzere iki tespit alternatifi söz konusudur. Sürekli modül bağlantısı modüllerin ray sistemleri içerisine yerleştirilmeleri veya sürekli lastik contalarla raylara tespit edilmeleri ile sağlanır. Modüllerin ray profilleri içine yerleştirildiği uygulamalar için, çerçeveli ve çerçevesiz modüller için ayrı profiller mevcuttur, Şekil 4.22. Sürekli modül bağlantısı uygulamasında modüller tek tek hizalanmazlar veya sabitlenmezler; bu da uygulamada kolaylık ve sürat sağlar. Ancak daha fazla ray profili kullanımı, malzeme tüketimini ve maliyeti artırır. Ayrıca modüller birbirlerinden bağımsız

olarak takılıp çıkarılmadıkları için onarım durumlarında zorluk yaşanabilir; ve modül birleşimleri kapalı olduğu için modül altı havalandırma, noktasal tespit yapılmış sistemlere göre daha zayıftır.



Şekil 4.22 : Çerçevesiz ve çerçevesiz modüllerin ray içine yerleştirilmesi [135].

Noktasal modül bağlantılarında modüller arasında çift taraflı merkez kenetler; dizi sonundaki modüllerde ise tek taraflı bitiş kenetleri kullanılır, Şekil 4.23. Modüller tek tek hizalanır ve tespit edilirler. Onarım durumlarında modüller birbirlerinden bağımsız sökülüp, takılabilirler.



Şekil 4.23 : Modül tespitinde kullanılan noktasal tespitler: merkez kenetler ve bitiş kenetleri [121, 122, 124, 131, 133, 136, 137].

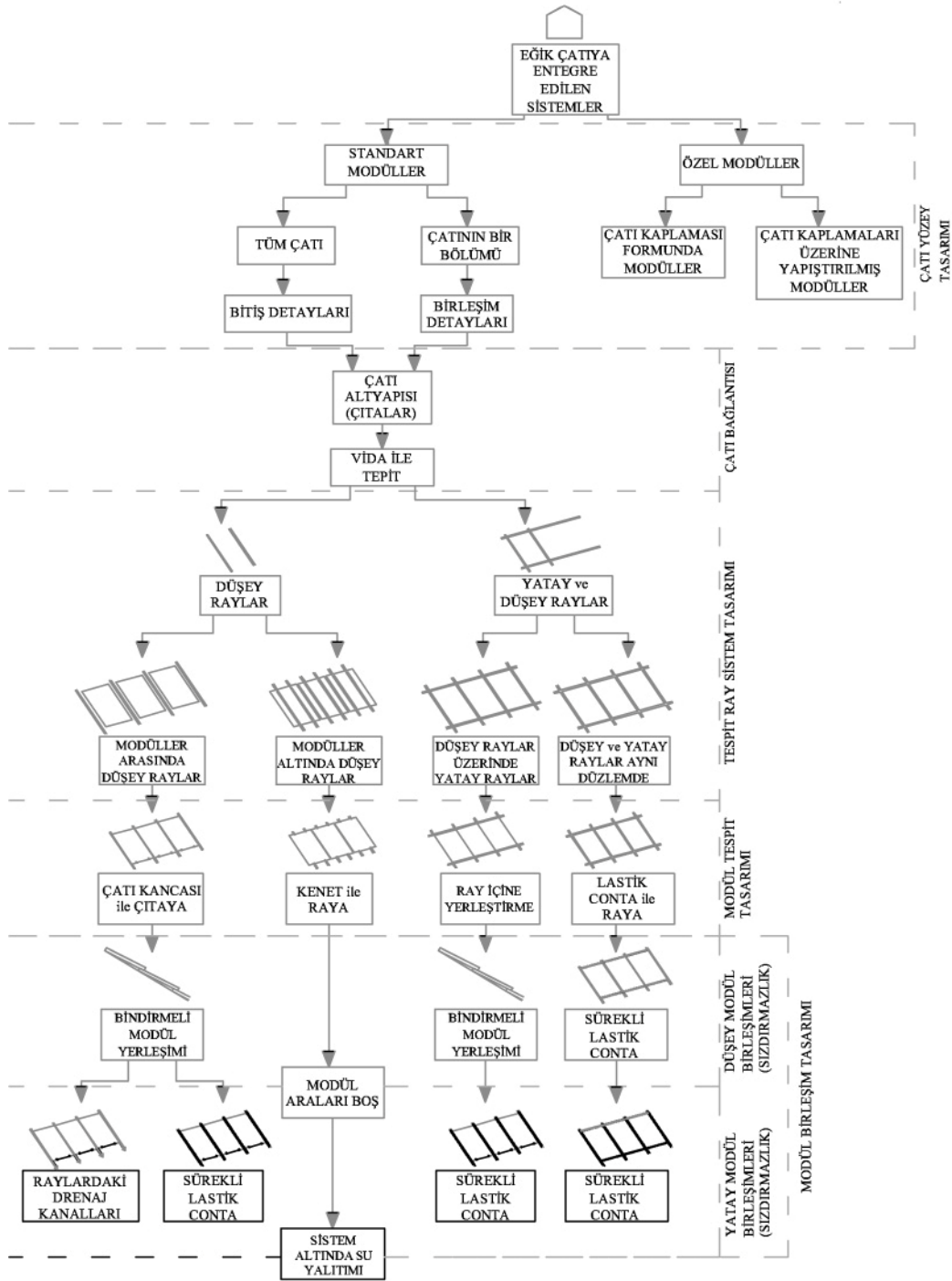
4.2.4 Eğik çatı sistemi ile bütünleştirilen fotovoltaik sistemin yapısal tasarımı

Eğik çatıya entegre edilen sistemin yapısal tasarımı çatı yüzey tasarımı, çatı bağlantı tasarımı, tespit ray sistem tasarımı, modül tespit tasarımı ve modül birleşim tasarımı aşamalarından meydana gelmektedir, Şekil 4.24.

Eğik çatıya entegre edilen sistemin yapısal tasarımının ilk aşaması çatı yüzey tasarımıdır. Bu aşamada çatılarda kullanılacak olan fotovoltaik modüllerinin çeşidine ve çatı alanının ne kadarının fotovoltaik modüller ile kaplanacağına dair karar verilir. Çatı sistemlerinde kullanılan modüller standart modüller ve özel modüller olarak sınıflandırılabilir, Şekil 4.25. Standart modüller çatı dışında diğer kurulumlarda da kullanılan modüllerdir. Özel modüller ise çatı kaplaması formunda üretilmiş veya

çatı kaplaması üzerine yapıştırılmış olmak üzere iki çeşittir. Özel modüllerin standart modüllerden farkı daha küçük olmaları ve görsel olarak geleneksel çatı kaplamalarına benzemeleridir. Özel modüller küçük oldukları için uygulama sırasında daha kolay taşınabilmektedirler. Ancak birim uygulama alanı düşünüldüğünde standart modüllere göre daha fazla modül döşenmesi gerektiğinden; özel modüllerin uygulanmasında işçilik daha fazladır ve uygulamaları daha fazla zaman alır. Ayrıca modül başına kablolama yapıldığı düşünülürse özel modüllerle yapılan uygulamalarda birim alan başına kablo tüketimi, standart modül uygulamalarına göre daha fazla olmaktadır. Özel modüllerin eğimli çatılarda çatı kaplaması olarak kullanıldıkları uygulamalarda formunu aldıkları veya üzerine yapıştırıldıkları çatı kaplamasının uygulanma yöntemi kullanılır. Standart modüllerin ise çatı kaplaması yerine kullanımlarında farklı uygulama çözümleri mevcuttur. Standart modüllerin çeşitleri Bölüm 2.6'da anlatılmıştır. Farklı yapıdaki ve malzemelerdeki modüller için sistem detaylarının farklılık göstereceği dikkate alınmalıdır. Örneğin entegre sistemler için çerçevesiz modül kullanımı malzeme tüketimini ve modül birleşim detaylarının karmaşıklığını azaltır. Bunun nedeni, çerçeveli modüllerin çerçevelerinin modül camını korumak amacıyla yapılması, su sızdırmazlık özelliğini taşımamasıdır. Çerçeveli modüllerin kullanılması tercih edildiğinde modül birleşimlerinde çerçeveyi de içine alan bir sızdırmazlık önlemi alınmalı veya modül birleşimlerinde açık sistem (sızdırmazlığın fotovoltaik sistem altındaki su yalıtımı levhası ile sağlandığı sistem) uygulaması tercih edilmelidir.

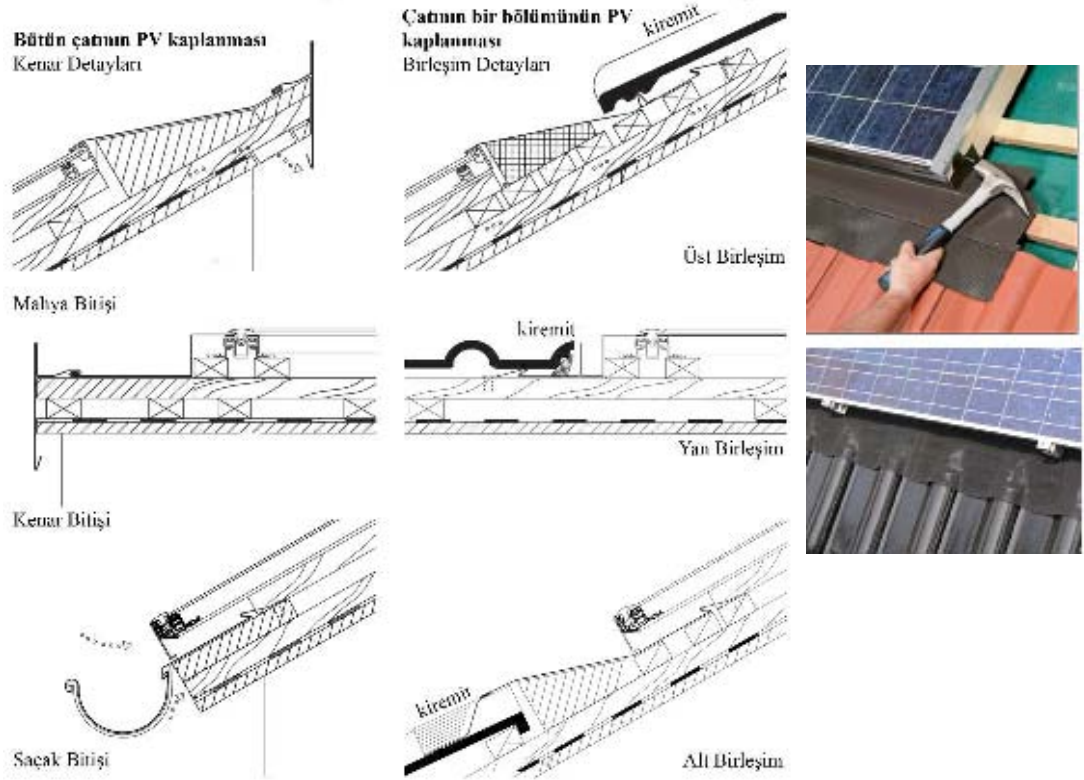
Çatının tümünün veya bir bölümünün fotovoltaik kaplanması kararı, fotovoltaik dizisinin ve çatı alanının büyüklüğüne bağlı olarak alınır. Bu karar fotovoltaik sisteminin kenar detaylarını etkilemektedir. Eğer fotovoltaik sistem çatının kenarına gelecek veya tümünü kaplayacak ise bitiş detaylarının, sistem çatının bir bölümünü kaplayacak yani başka bir kaplama malzemesi ile birleşecek ise birleşim detaylarının çözülmesi gerekmektedir, Şekil 4.26. İki durumda da sızdırmazlık sağlanmalı yani suyun çatı sisteminin içerisine girişine izin vermeyen detaylar düşünülmelidir. Sızdırmazlık için bu kenar detaylarında genellikle sisteme özel üretilen metal etekler (birleşim plakaları) ve yalıtım bantları kullanılmaktadır.



Şekil 4.24 : Eğik çatı sistemi ile bütünleştirilen fotovoltaik sistemin yapısal tasarım modeli.



Şekil 4.25 : Eğimli çatı sistemleri ile bütünleştirilen modüller: standart modüller ve özel modüller [138, 139, 140, 141].



Şekil 4.26 : Eğimli çatı sistemleri ile bütünleştirilen fotovoltaik dizilerin kenar birleşim ve bitiş detayları [142,143].

Bir sonraki aşama çatı bağlantı tasarımıdır. Entegre sistemlerde fotovoltaik sistem genellikle doğrudan çatı taşıyıcı sistemine tespit edilmez; kiremit çatı uygulamasındaki kiremit altı çıtalara gibi bir altyapı üzerine tespit edilerek; modüllerin ana taşıyıcıdan bağımsız mesafelerle yerleşebilmesi ve sistemin arkasında bir boşluk oluşturarak modüllerin arka yüzlerinin havalandırılması sağlanır. Modüllerin arka yüzlerinin havalandırılması, bu yüzeylerde yoğuşmanın olmaması ve modül sıcaklığının aşırı artmamasını sağlar. Bu alt yapının tasarımını seçilen modülün boyutları, geçilecek açıklıklar ve havalandırma ihtiyacı etkiler.

Sonraki aşamalar sırasıyla tespit ray sistem, modül tespit ve modül birleşim (sızdırmazlık) tasarımı adımlarından oluşmaktadır. Tespit rayı sisteminin yerleşiminde ilk olarak iki alternatif söz konusudur; düşey ray kullanımı veya düşey ve yatay rayların beraber kullanımı, Şekil 4.24. Bu adımda verilecek karar üzerinde modül boyutları ve geçilecek açıklıklar etkilidir.

Düşey ray kullanılmasına karar verilirse, iki alternatifle devam edilebilir; bunlar düşey rayların modüllerin aralarında veya modül altında kullanımınıdır. Raylar modül arasına yerleştirilirse modül tespiti panel kancaları ile çatı altyapısına yapılır, Şekil 4.27. Yatay modül birleşimlerinde sızdırmazlık düşey rayın oluşturduğu drenaj kanalları veya raya geçirilen lastik conta ile sağlanırken; düşeyde ise kancalarla tespitten dolayı modüllerin bindirmeli yerleşimleri ile sağlanır. Bu sistemlerin avantajları az ray kullanılması ve -tercih ediliyor ise- bindirmeli çatı görünümüdür. Düşey rayların modüllerin altına yerleştirildiği sistemlerde ise modüller raylara noktasal kenetler ile tespit edilirler, Şekil 4.27. Bu sistemlerde modül birleşimleri açıktır; bu nedenle mutlaka su yalıtımı kullanılması gerekmektedir. Avantajları ise açık birleşimler sayesinde modüller altında havalandırmanın kolaylıkla sağlanması ve noktasal kenetlerle tespit nedeniyle bir onarım veya söküm durumunda modüllerin birbirlerinden bağımsız sökülebilmeye imkanındır. Ancak noktasal tespitte her modül tek tek hizalanıp tespit edildiğinden işçilik artmaktadır.



Şekil 4.27 : Modül tespitinde kanca, kenet, conta ve ray kullanımı [111, 134, 136, 144].

Düşey ve yatay rayların birlikte kullanıldığı sistemlerde iki ray yerleşim alternatifi söz konusudur; yatay rayların düşey rayların üzerinde kullanılması veya düşey ve yatay rayların aynı düzlemde kullanılması, Şekil 4.24. Yatay raylar düşey rayların

üzerinde kullanılırsa modüller yatay rayların içerisine yerleştirilirler, Şekil 4.27. Bu sistemde de modüller düşeyde birbirleri üzerine bindirmeli yerleşirler. Bindirmeli yerleşim sayesinde düşey modül birleşimlerinde sızdırmazlık sağlanırken, yatayda modüller arası sürekli lastik conta ile kapatılarak sızdırmazlık sağlanır. Düşey ve yatay rayların aynı düzlemde kullanıldığı sistemlerde ise modüller raylara sürekli lastik contalar ile tespit edilirler, Şekil 4.27. Bu sayede sızdırmazlık da sağlanır. Bu sistemde düz bir çatı yüzeyi elde edilir, ancak herhangi bir onarım durumunda bir modülün çıkarılması için tüm lastik contanın çıkartılması gerekli olacaktır.

5. MODELİN UYGULANMASI

Bu bölümde teras çatılar ve eğik çatılar için; ek ve bütünleştirilmiş fotovoltaik çatı sistemleri, model adımları takip edilerek ve her adımda verilen kararları etkileyen tasarım girdilerine değinilerek tasarlanacaktır. Fotovoltaik sistemlerin farklı çatı sistemlerinde uygulamalarının gösterilmesi amacıyla, 2008’de yayınlanmış “Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği”nin “Ek 4: Isı Yalıtım Detayları” bölümünde ve 2003’de yayınlanmış “TS 11758-2: Polimer Bitümlü Örtüler - Su Yalıtımı İçin - Eritme Kaynağıyla Birleştirilerek Kullanılan - Bölüm 2: Uygulama Kuralları” standartının, “Ek A: Detaylar” bölümünde verilen örnek çatı sistemleri kullanılmıştır.

5.1 Teras Çatı Sistemi Üzerine Eklenen Fotovoltaik Sistem Tasarımı

Ülkemizde geçmişten gelen güçlü bir bina birikimi mevcuttur [145]. Mevcut binaların çatılarının enerji üreten çatılar olarak yenilenmesi, enerji üretimine büyük katkı sağlayacaktır. Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir [146]. Bu bölgelerde iklim sıcak ve kuraktır. Türkiye'nin güneyinde kurak iklim nedeniyle genellikle teras çatılar uygulanmaktadır. Teras çatıya sahip mevcut bina potansiyeli ve güneş enerjisi potansiyeli düşünülerek, teras çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistemler, Türkiye'nin güneyinde bulunan Mersin ili için tasarlanacaktır.

Mevcut teras çatı sistemi katmanları, 2003’de yayınlanmış “TS 11758-2: Polimer Bitümlü Örtüler - Su Yalıtımı İçin - Eritme Kaynağıyla Birleştirilerek Kullanılan - Bölüm 2: Uygulama Kuralları” standartının, “Ek A: Detaylar” bölümünde verilen örnek çatı sistemleri kullanılarak belirlenmiştir. Çatı taşıyıcı sistemi betonarme döşemedir. Betonarme döşeme üzerinde 30-mm kalınlığında eğim betonu yer alır. Eğim betonu üzerine uygulanan astardan sonra, 2-mm kalınlığında modifiye bitümlü örtü buhar kesici katman olarak yer alır. Buhar kesici katman üzerine 50mm kalınlığında çekme polistren levha ısı yalıtımı katmanı olarak bulunur. Isı yalıtımı katmanı üzerine polimer bitümlü su yalıtımı örtüsü yer alır. Çatı kaplaması beş alternatif çatı sistemi oluşturacak şekilde çeşitlendirilmiştir. Bunlar mineral kaplı

polimer bitümlü örtü, çakıl, toprak (yeşil çatı), oluklu çimento levha ve metal levha kaplı teras çatı sistemleridir.

5.1.1 Teras çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistemin mimari tasarım süreci

Mimari tasarım sürecinin fotovoltaik dizi tasarımı aşaması modül tipinin belirlenmesi adımı ile başlar. Talep edilen toplam enerji, bütçe, modül malzemeleri ve tedarik edilme kolaylığı düşünülerek 170 Watt gücünde, tekkristal silisyum (%13-15 hücre verimliliğine sahip) hücrelerden oluşturulmuş, cam-film, çerçevesiz, 1.575 x 826 x 46mm boyutlarında bir modül tercih edilmiştir. İkinci adımda dizi büyüklüğü; enerji ihtiyacı, sistem için ayrılabilir alan (25 m²) ve bütçe düşünülerek 19 modül olarak belirlenmiştir.

Üçüncü adımda dizinin yönü, güneş ışınımını en fazla gören yön olduğu için, güney olarak belirlenmiştir. Dizinin eğimi ise Mersin ilinde tüm yıl boyunca en fazla verimi alabilmek için, PVSYST simülasyon programı ile, 29°-30° olarak bulunmuştur.

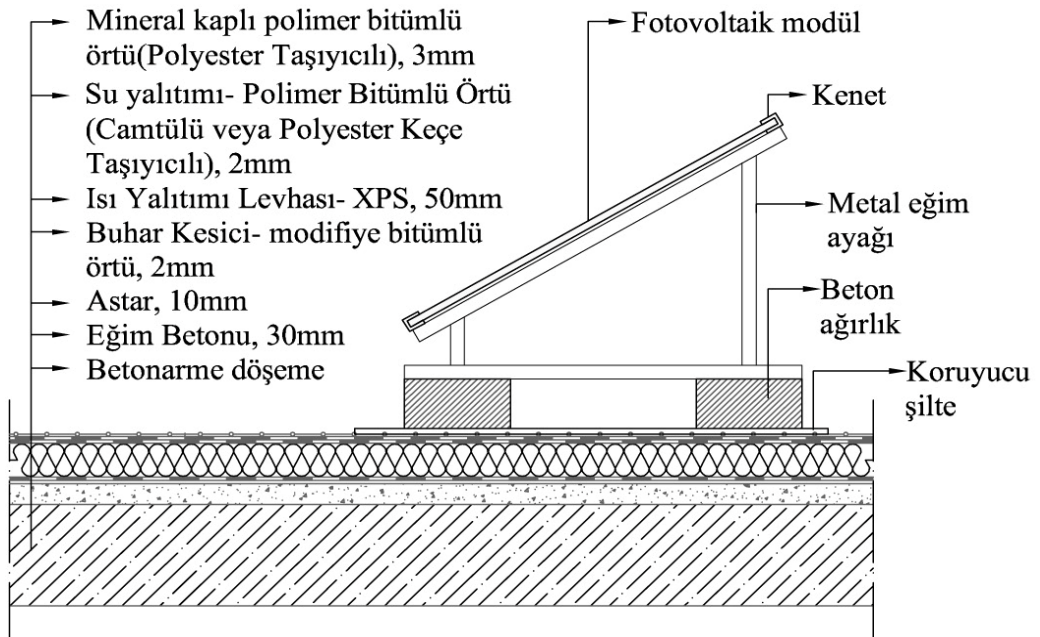
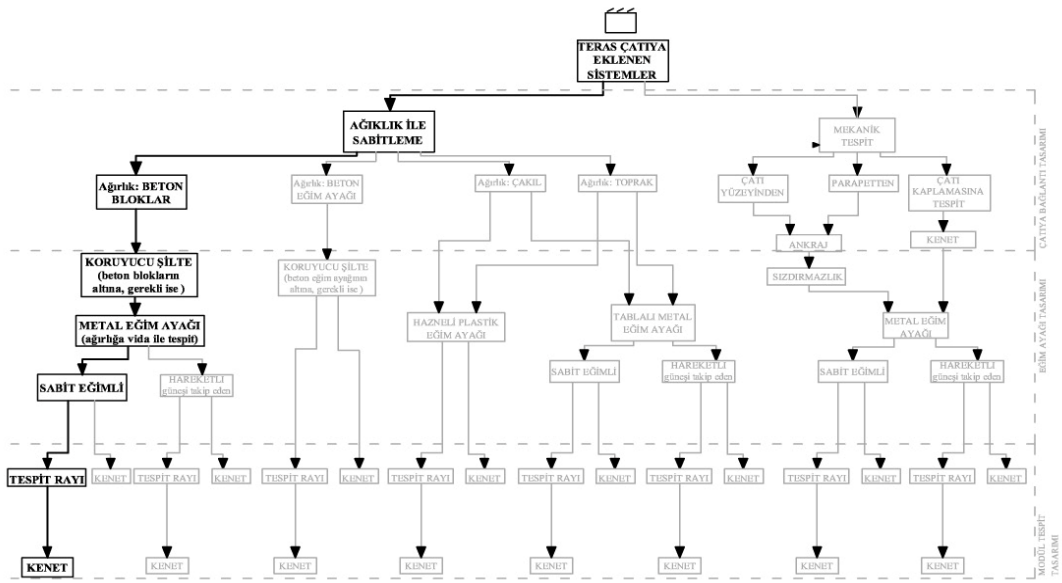
Mimari tasarım sürecinin fotovoltaik çatı tipinin belirlenmesi aşamasının ilk adımında çatı eğimi; uygulama mevcut bir teras çatıya yapılacağı için %5'ten az; yani çatı formu teras çatı olarak belirlenmiştir. Diziden maksimum verimi elde etmek amaçlanarak dizinin optimum eğim açısında (29°-30°) teras çatı sistemi üzerine ek olarak yerleştirilmesine karar verilmiştir. Sonuç olarak, mimari tasarım süreci teras çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistemin seçimi ile sonuçlanmıştır.

5.1.2 Teras çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistemin yapısal tasarım süreci

Yapısal tasarım sürecinde farklı adımlar takip edilerek alternatif tasarımlar karşılıklı olarak değerlendirilecek ve birbirlerinden üstünlükleri veya tercih edilme nedenlerine değinilecektir. Şekil 5.1, 5.2, 5.3 ve 5.4'teki tasarımlarda çatı bağlantısı tasarımı aşamasında ağırlık ile sabitleme yöntemi tercih edilmiş, böylelikle çatı sisteminin mekanik tespit nedeniyle delinmesi önlenmiş ve sızıntı riski azaltılmıştır.

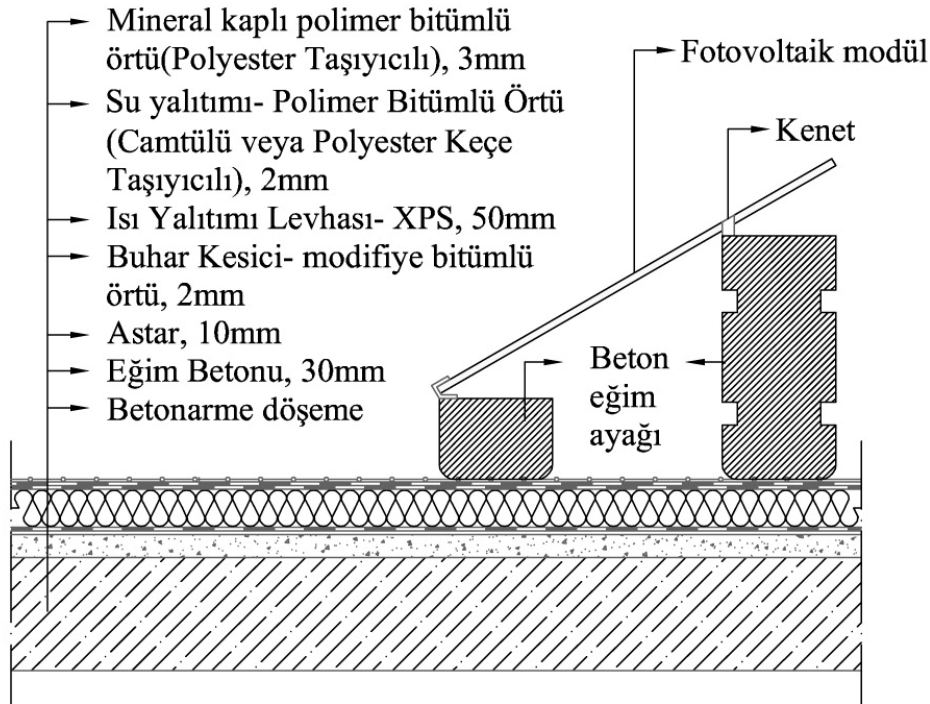
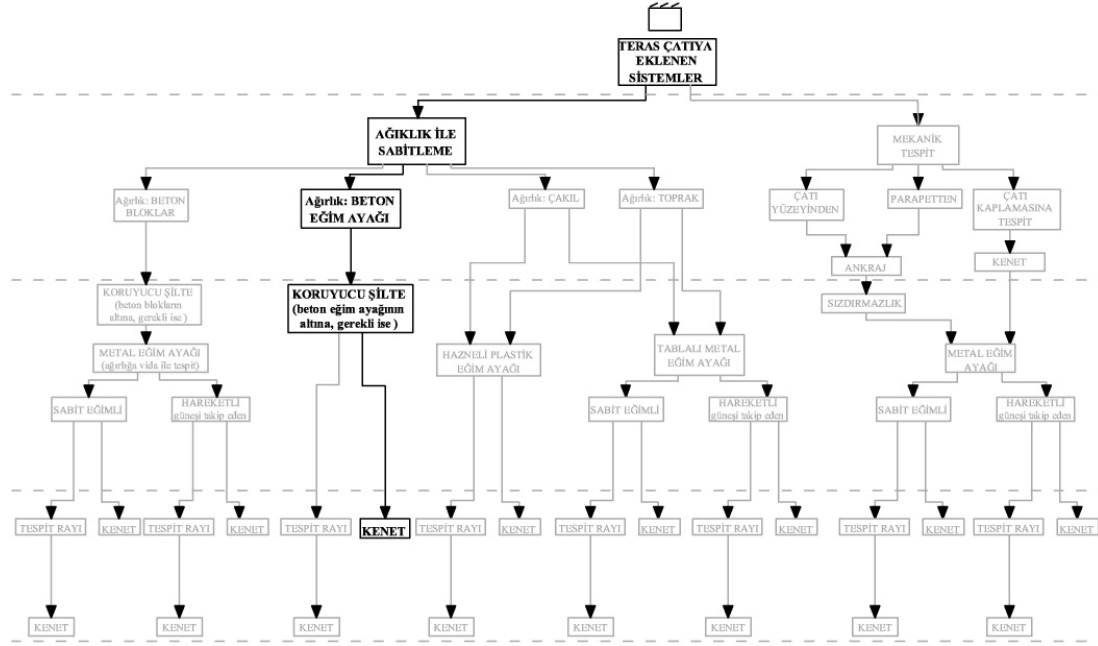
Şekil 5.1'deki sistemde ağırlık olarak beton blok kullanılmıştır. Çatı kaplaması mineral kaplı polimer bitümlü örtü olduğu için, sıcak havalarda beton blokların sivri kenarlarının sıcaklık artışı nedeniyle yumuşayan bitümlü örtü içerisine girmesini ve kaplamayı zedelemesini önlemek amacıyla beton blok altına koruyucu şilte

serilmiştir. Eğim ayağı tasarımı aşamasında günümüzde kullanılan tek alternatif beton bloklara vida ile tespit edilen metal eğim ayağı kullanımıdır. Bu aşamada ikinci adımda sabit eğimli sistem tercih edilmiştir. Hareketli sistemler güneşi takip eden mekanizmalara sahip oldukları için maliyetleri daha yüksek ve bozulma riskleri daha fazladır. Modül tespiti tasarımı aşamasında ise modülün metal eğim ayağına ek bir tespit rayı olmadan kenetler ile tespit edilmesine karar verilmiştir. Tespit rayı modülün kenetler ile tespitine imkan veren metal bir profildir. Metal eğim ayağı tespit rayı gibi birleşime imkan verecek profilde tasarlanırsa ek bir tespit rayına ihtiyaç duyulmaz.



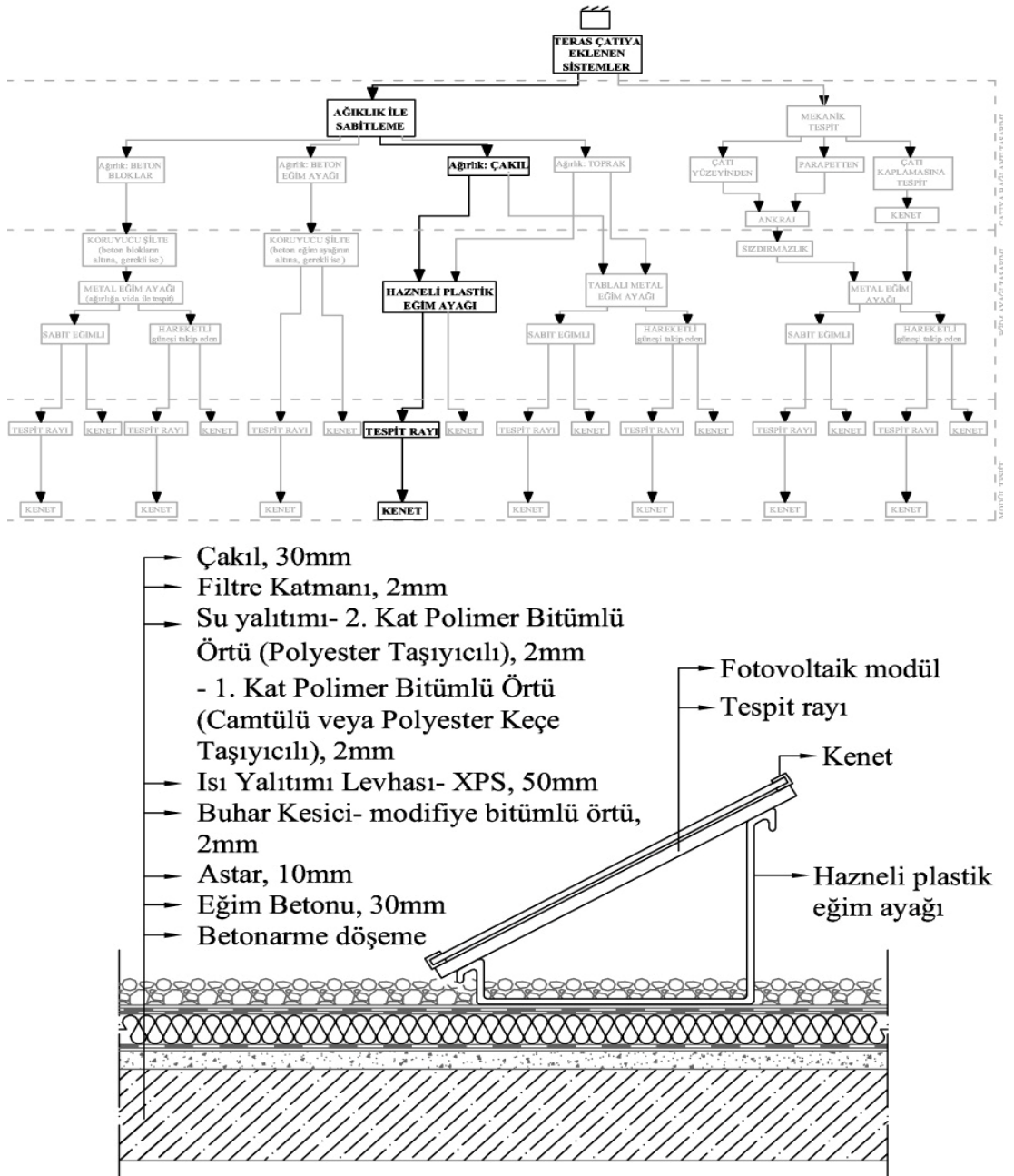
Şekil 5.1 : Teras çatıya beton blok kullanılarak tespit edilmiş fotovoltaiik sistem.

Şekil 5.2'deki sistemde tespit ağırlığı olarak beton eğim ayağı kullanımı tercih edilmiş, böylelikle eğim ayağı ihtiyacı da ağırlık ile sağlanmıştır. Şekil 5.2'de görüldüğü gibi beton eğim ayağının çatı kaplamasına temas eden kenarları yuvarlatılarak çatı kaplamasına zarar verme riski azaltılmıştır. Modül tespiti de kenetler ile beton eğim ayağına yapılmıştır.



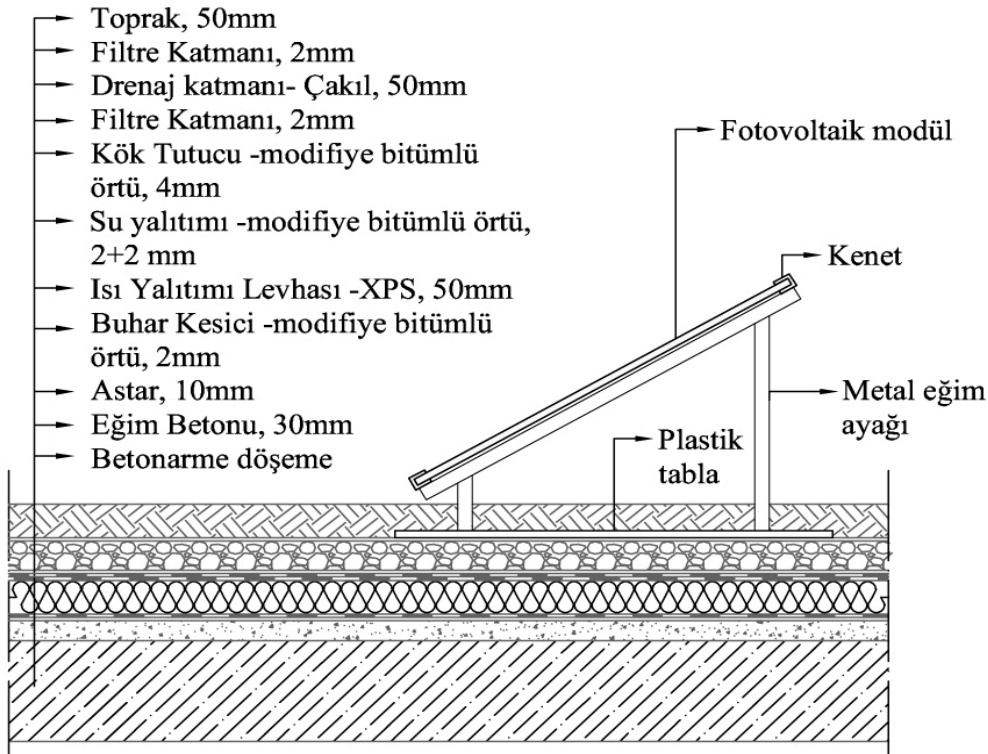
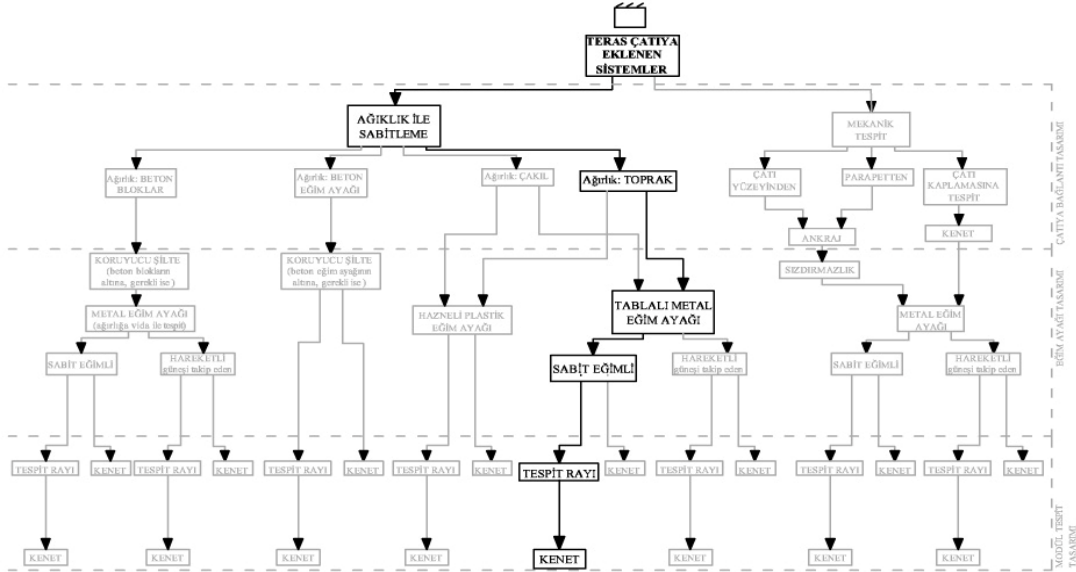
Şekil 5.2 : Teras çatıya beton eğim ayağı kullanılarak tespit edilmiş fotovoltaik sistem.

Şekil 5.3'teki sistemde tespit ağırlığı olarak çakıl kullanılmıştır. Çakıl kaplı çatılarda çakılın ağırlık olarak kullanılması ile, ağırlığın halihazırda çatı üzerinde bulunması sayesinde fotovoltaik sistemin çatı sistemi üzerine taşınması sırasında kolaylık sağlanır. Ayrıca binaya ağırlık ile tespit amacıyla ek bir yük getirilmez. Eğim ayağı tasarımı aşamasında hazneli plastik eğim ayağı tercih edilerek, çakıllar plastik eğim ayağının haznesine doldurulmuştur. Bu eğim ayağı yerine tablalı metal eğim ayağı da tercih edilebilir. Plastik eğim ayağına modülün tespit edilebilmesi için bir tespit rayı vidalanmış ve bu tespit rayı üzerine modül kenetleri ile tespit edilmiştir.



Şekil 5.3 : Teras çatıya çakıl kullanılarak tespit edilmiş fotovoltaik sistem.

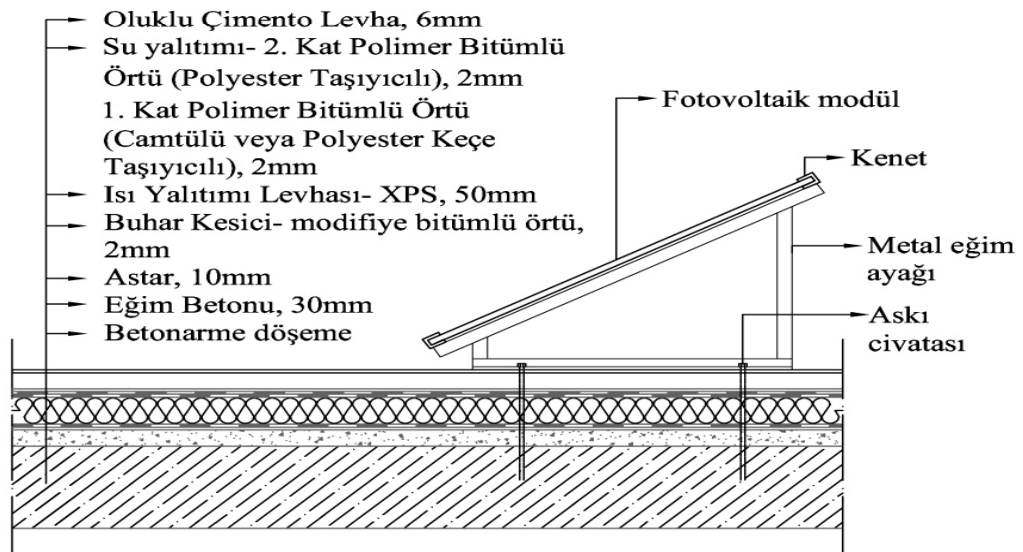
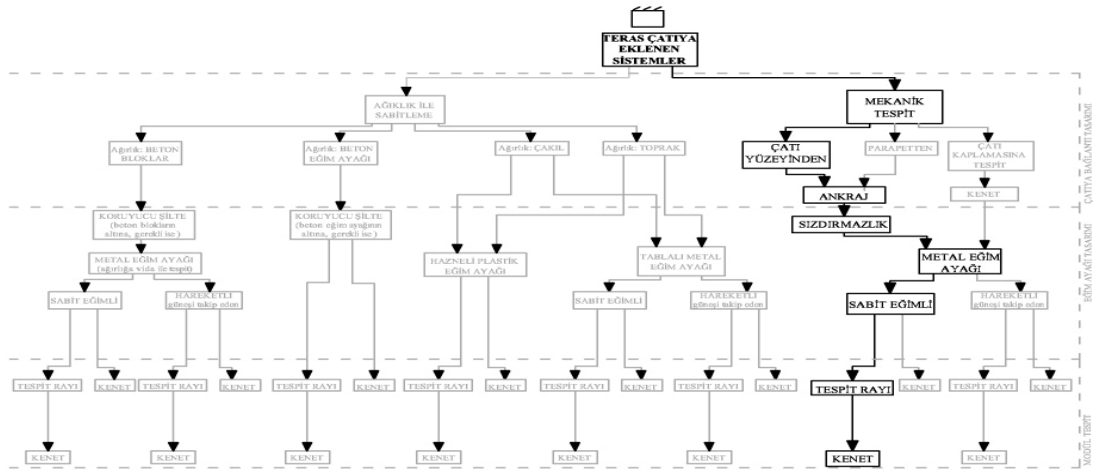
Şekil 5.4'teki uygulamada fotovoltaik sistemin teras çatı sistemi üzerine tespit edilmesi için bitkilendirilmiş çatı sisteminin toprak katmanının ağırlık olarak kullanılması tercih edilmiştir. Eğim ayağı olarak tablalı metal eğim ayağı kullanılmıştır. Aynı uygulama hazneli plastik eğim ayağı ile de gerçekleştirilebilir. Modül tespitinde, metal eğim ayağının kenetlerin tespiti için uygun bir profile sahip olması sayesinde, ek bir tespit rayına ihtiyaç duyulmamış, sadece kenetler kullanılmıştır.



Şekil 5.4 : Teras çatıya toprak kullanılarak tespit edilmiş fotovoltaik sistem.

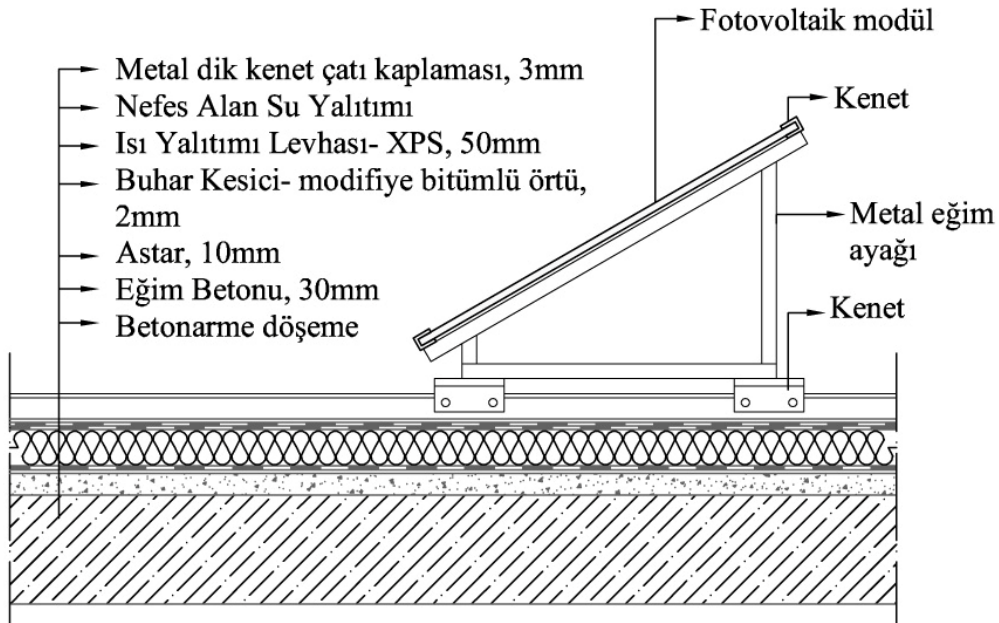
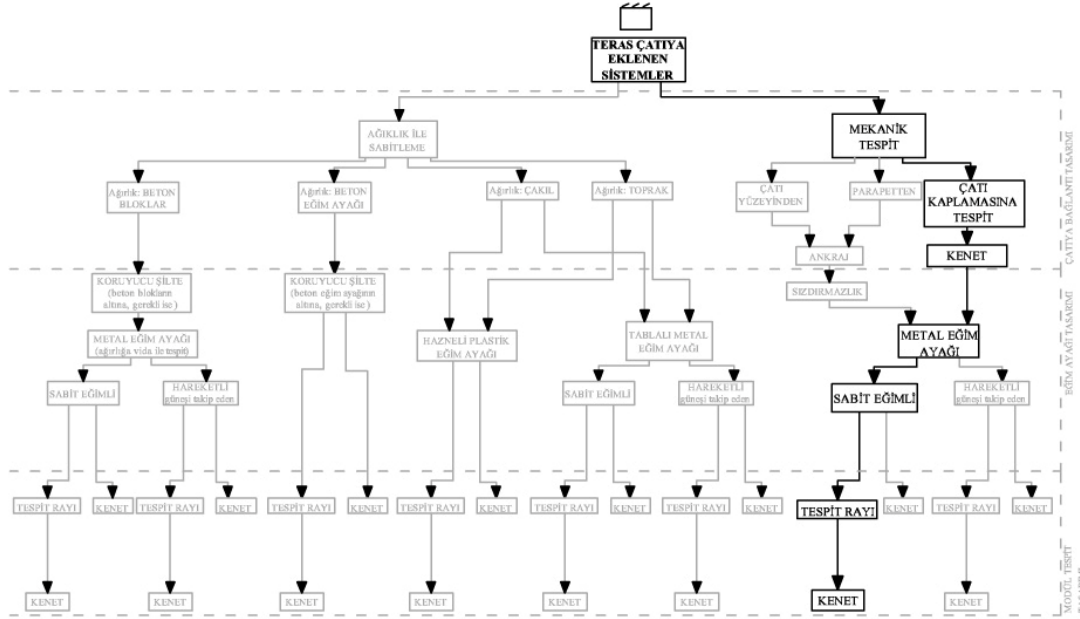
Şekil 5.5 ve 5.6'daki tasarımlarda ise mekanik tespit ile çatı bağlantısı kurulmuştur. Böylelikle binaya ağırlıkla tespit sisteminde olduğu kadar ek bir yük getirilmemiş, ancak çatı yüzeyi sistemin çatı sistemine tespit edilebilmesi için delinmiştir. Sızıntı riskine karşı deliklerin yalıtımının sağlanması öngörülmüştür.

Şekil 5.5'teki sistemde çatı bağlantısı olarak çatı yüzeyinden askı civatası ile mekanik tespit yapılmıştır. Civata somunu ile çatı yüzeyi arasına pul ve altına yerleştirilen conta ile sızıntılara karşı önlem alınır. Eğim ayağı olarak metal eğim ayağı kullanılmış ve modüller metal eğim ayağına kenetler ile sabitlenmiştir. Bu gibi mekanik tespit ile sabitlenen sistemlerde her eğim ayağının çatı sistemine tespit edilmesi yerine, eğim ayaklarının bir tespit profiline sabitlenmeleri ve bu tespit profilinin belirli noktalardan çatı sistemine sabitlenmesi tercih edilir. Böylelikle daha az noktadan çatı sistemi delinmiş olur ve sızıntı riski azaltılır.



Şekil 5.5 : Oluklu çimento kaplı teras çatıya mekanik tespit ile bağlanmış fotovoltaik sistem.

Şekil 5.6'daki sistemde çatı bağlantısı kenetler ile çatı kaplamasına mekanik tespit ile sağlanmıştır. Çatı kaplaması tek kat metal levha olduğu için ağırlıkla sabitleme, kaplamanın ezilme riski düşünülürse uygun olmamaktadır. Tek kat metal kaplı çatılarda fotovoltaik sistemler metal plakaların kenet bölgelerinden kenetlerle çatı kaplamasına sabitlenirler. Eğim ayağı olarak metal eğim ayağı kullanılmış ve modüller metal eğim ayağına kenetler ile sabitlenmiştir.



Şekil 5.6 : Tek kat metal kaplı teras çatıya kenet ile tespit edilmiş fotovoltaik sistem.

5.2 Teras Çatı Sistemi ile Bütünleştirilen Fotovoltaik Sistem Tasarımı

Teras çatı sistemi için bir diğer öneri fotovoltaik diziden maksimum verimi elde etmekten çok kurulum kolaylığının ve sistemin ekonomikliğinin ön planda olması ve modüllerin çatı ile aynı eğimde, çatı sistemiyle bütünleştirilerek yerleştirilmesidir. Bu hedeflerle tasarlanan teras çatı sistemi ile bütünleştirilen fotovoltaik sistemler, modülleri taşıyan ve eğim veren herhangi bir alt yapıya ihtiyaç duymadıkları için daha ekonomiktirler ve kurulumları daha kolaydır. Teras çatı sistemi ile bütünleştirilen fotovoltaik sistemler, teras çatı uygulama potansiyeli ve güneş enerjisi potansiyeli düşünülerek, yine Mersin ili için tasarlanacaktır.

5.2.1 Teras çatı sistemi ile bütünleştirilen fotovoltaik sistemin mimari tasarım süreci

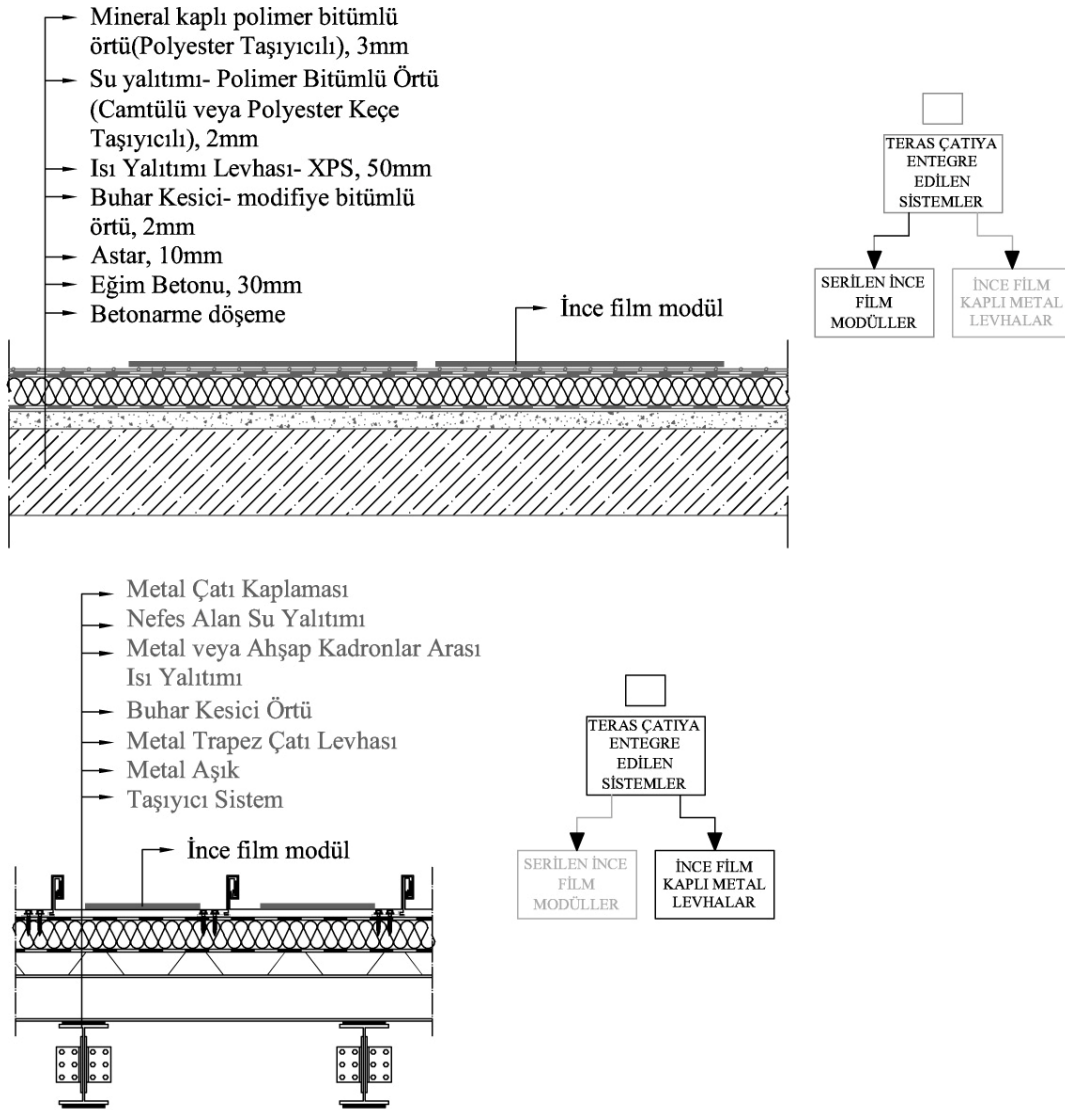
Mimari tasarım sürecinin fotovoltaik dizi tasarımı aşaması modül tipinin belirlenmesi adımı ile başlar. Talep edilen toplam enerji, bütçe, modül malzemeleri ve tedarik edilme kolaylığı düşünülerek 68 Watt gücünde, amorf silisyum -%5-8 verimliliğe sahip- hücrelerden oluşturulmuş, ince film, 2849 x 394 x 4 mm boyutlarında bir modül tercih edilmiştir. İkinci adımda dizi büyüklüğü; enerji ihtiyacı, sistem için ayrılacak alan (25m²) ve bütçe düşünülerek 20 modül olarak tayin edilmiştir.

Üçüncü adımda dizinin yönü, güneş ışınımını en fazla gören yön olduğu için, güney olarak belirlenmiştir. Dizinin eğiminin belirlenmesi adımı; Mersin ilinde tüm yıl boyunca en fazla verimi alabilmek için optimum eğim 29°-30° olarak hesaplanmış olmasına rağmen; modüllerin çatı yüzeyiyle aynı eğimde yani düze yakın yerleştirilmesi kararı verilmiştir.

Mimari tasarım sürecinin fotovoltaik çatı tipinin belirlenmesi aşamasının ilk adımı çatı eğimi, daha önceden de bahsedildiği üzere iklim koşulları, çevre yapılar ve çatı kullanımı düşünülerek, %5'ten az; yani çatı formu teras çatı olarak belirlenmiştir. Sistem kurulumunun hızlı, kolay olması ve sistemin daha ekonomik olması amaçlanarak dizinin teras çatı sistemi ile bütünleştirilerek kurulmasına karar verilmiştir. Sonuç olarak, mimari tasarım süreci, teras çatı sistemi ile bütünleştirilmiş fotovoltaik çatı sisteminin seçimi ile sonuçlanmış olur.

5.2.2 Teras çatı sistemi ile bütünleştirilen fotovoltaik sistemin yapısal tasarım süreci

Teras çatı sistemi ile bütünleştirilen fotovoltaik sistemin yapısal tasarımı iki alternatiften oluşmaktadır; bunlar serilerek uygulanan ince film modüller ve ince film kaplanmış metal çatı kaplamalarıdır, Şekil 5.7. Bu sistemler serilerek uygulanan çatı örtüleri veya metal levha çatı kaplamaları ile aynı yöntemler ile uygulanırlar.



Şekil 5.7 : Teras çatı sistemi ile bütünleştirilmiş serilerek uygulanan ince film modüller, ince film kaplanmış metal çatı kaplamaları.

5.3 Eğik Çatı Sistemi Üzerine Eklenen Fotovoltaik Sistem Tasarımı

Daha önceden değinildiği gibi, Türkiye’de geçmişten gelen güçlü bir bina birikimi mevcuttur. Mevcut binaların çatıları fotovoltaik çatı uygulamaları için önemli bir

potansiyel oluşturmaktadır. Bina sayısı en fazla olan il İstanbul ilidir [145]. İstanbul ilinde, yağışlı iklimi nedeniyle eğik çatı sistemi uygulamalarına sık rastlanmaktadır. Eğik çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistemler İstanbul ili için tasarlanacaktır.

Mevcut eğik çatı sistemi katmanlaşmasının belirlenmesinde, 2008'de yayınlanmış "Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği"nin "Ek 4: Isı Yalıtım Detayları" bölümünde verilen örnek çatı sistemlerinden faydalanılmıştır. Fotovoltaik sistemler kiremit, sandviç panel, oluklu çimento levha ve tek kat metal levha kaplı mevcut çatı sistemleri üzerine eklenmiştir.

5.3.1 Eğik çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistemin mimari tasarım süreci

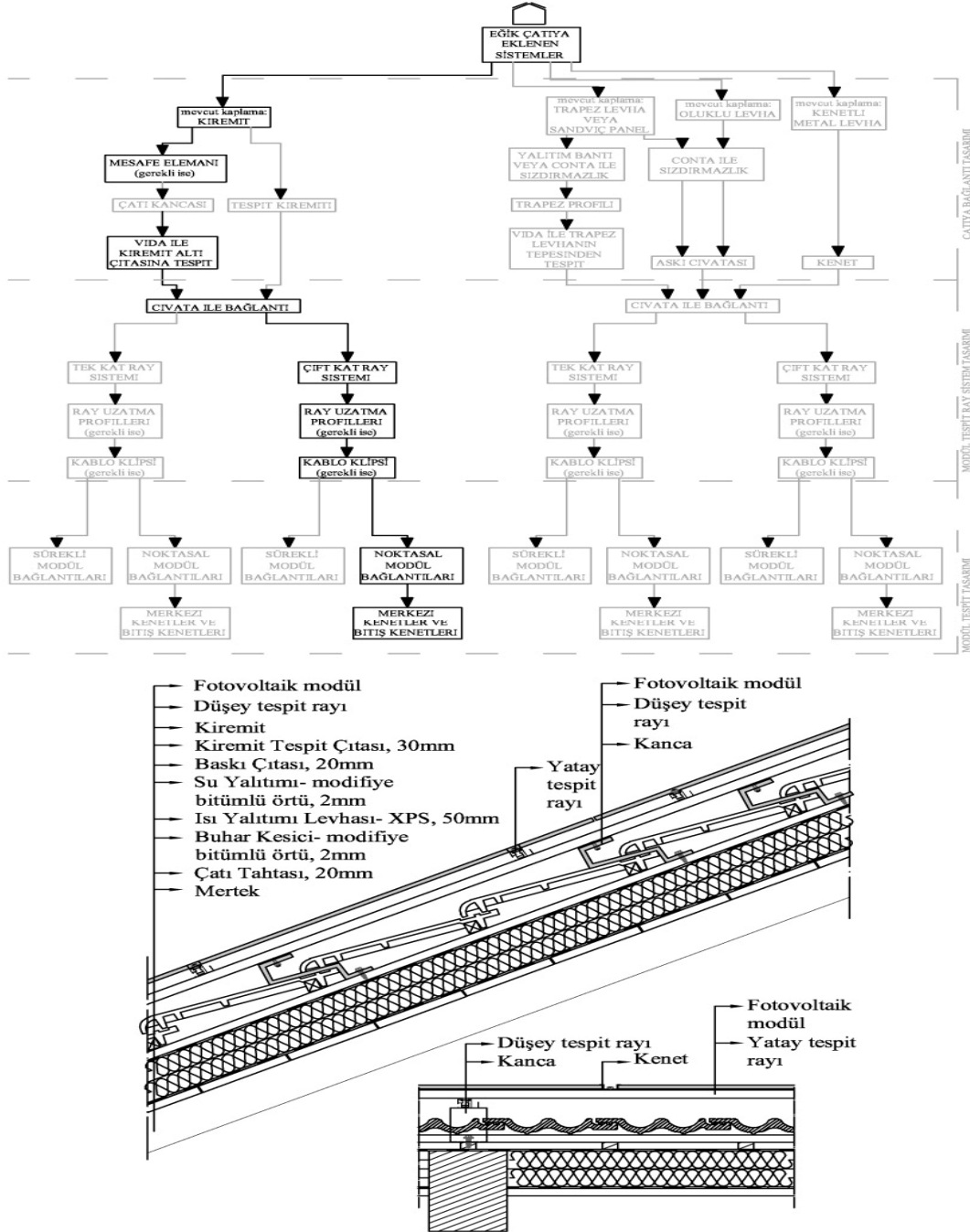
Mimari tasarım sürecinin fotovoltaik dizi tasarımı aşaması modül tipinin belirlenmesi adımıdır; talep edilen toplam enerji, bütçe, modül malzemeleri ve tedarik edilme kolaylığı düşünülerek 170 Watt gücünde, tekkristal silisyum (%13-15 hücre verimliliğine sahip) hücrelerden oluşturulmuş, cam-film, çerçeveli, 1.575 x 826 x 46-mm boyutlarında bir modül tercih edilmiştir. İkinci adımda dizi büyüklüğü; enerji ihtiyacı, sistem için ayrılabilir alan (25 m²) ve bütçe düşünülerek 19 modül olarak tayin edilmiştir. Üçüncü adımda dizi eğimi, İstanbul ilinde tüm yıl boyunca en fazla verimi alabilmek amaçlanarak, PVSYST simülasyon programı ile, 26°-30° olarak bulunmuştur.

Mimari tasarım sürecinin fotovoltaik çatı tipinin belirlenmesi aşamasının ilk adımıdır çatı formu mevcut çatının formu düşünülerek, eğik çatı olarak belirlenmiştir. Dizin eğik çatı sistemi üzerine ek olarak yerleştirilmesine, sistemin mevcut bir yapıya kurulacağı ve mevcut kaplamanın korunması talebi düşünülerek, karar verilmiştir. Sonuç olarak, mimari tasarım süreci eğik çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistemin seçimi ile sonuçlanmıştır.

5.3.2 Eğik çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistemin yapısal tasarım süreci

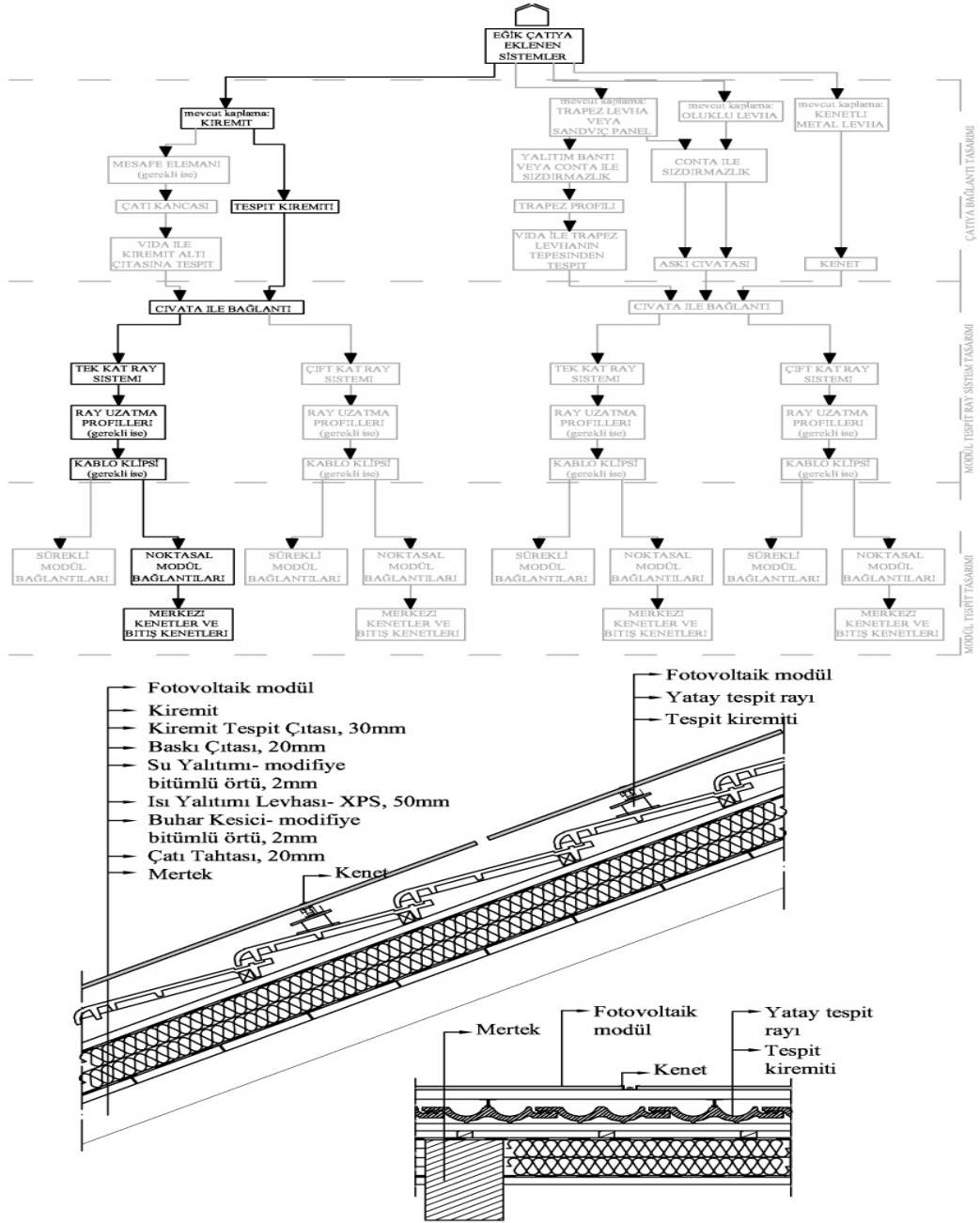
Yapısal tasarım sürecinde farklı adımlar takip edilerek alternatif tasarımların birbirlerinden üstünlükleri veya tercih edilme nedenlerine değinilecektir. Şekil 5.8 ve 5.9'da kiremit kaplı eğik çatı sistemleri üzerine eklenen sistemler görülmektedir.

Şekil 5.8'deki sistemde çatı bağlantısı olarak kanca tercih edilmiştir. Kanca vida ile baskı çitasına tespit edilmiştir. Ray sistemi de kancanın kiremitlerin üzerine çıkan kısmından civata ile tespit edilmiştir. Çatıdaki bağlantı noktalarının konumları, çatı yüzey eğiminin düzensizliği düşünülerek çift kat ray sisteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Modül tespiti ise noktasal modül bağlantısı şeklinde kenetlerle yapılmış; böylelikle bir onarım durumunda modüllerin birbirlerinden bağımsız sökülüp takılabilmeleri sağlanmıştır.



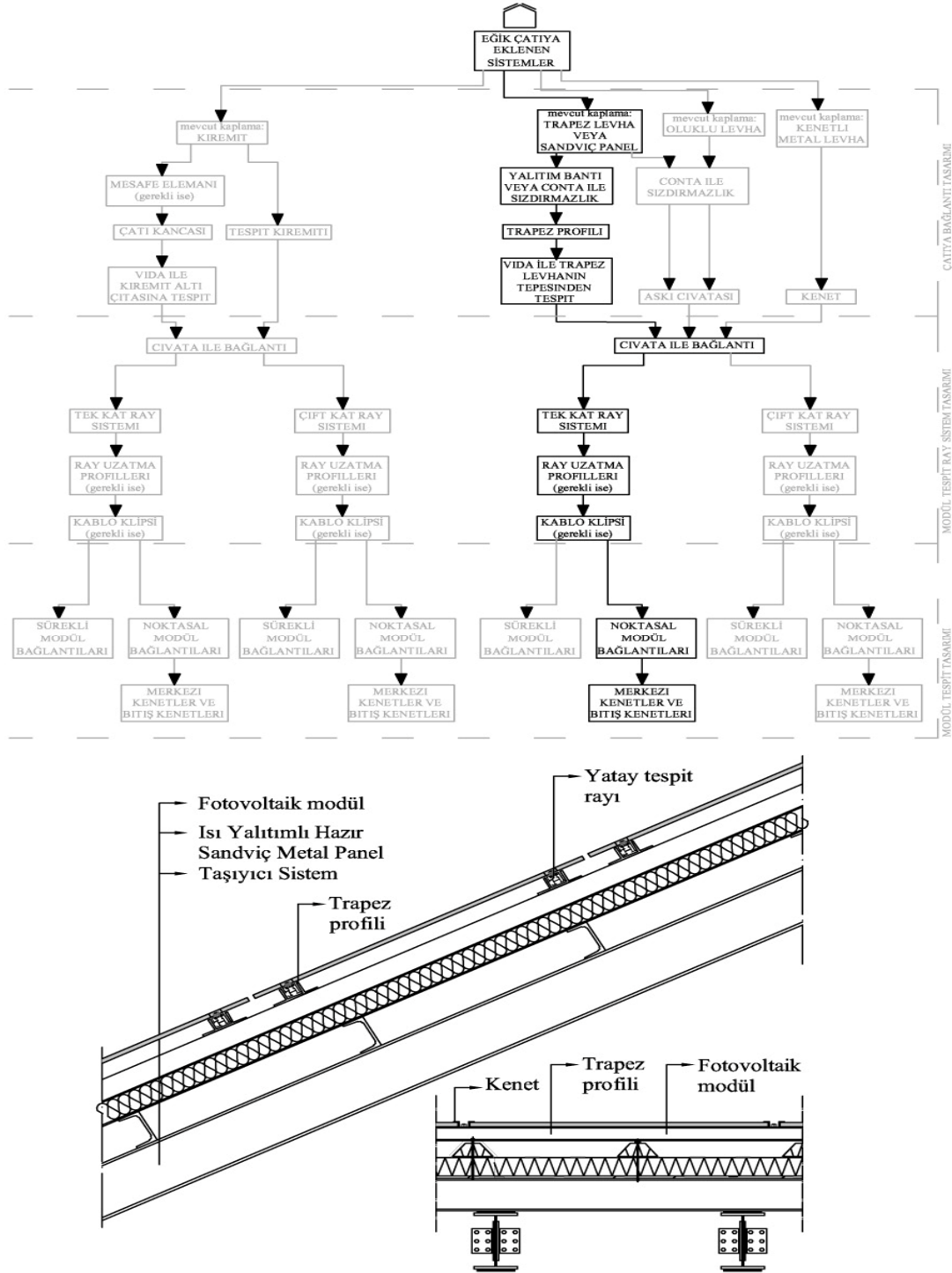
Şekil 5.8 : Kiremit kaplı eğik çatı sistemi üzerine çatı kancası ile eklenen sistem.

Şekil 5.9'daki sistemde çatı bağlantısı olarak tespit kiremidi kullanılmıştır. Modül tespiti için uygun açıklıkların tek kat ray sistemi ile sağlanabilmesi; çatı kaplamasına tespit yapıldığı için sistem ağırlığının en azda tutulması ve az malzeme tüketilmesi amaçlanarak tek kat ray sistemi kullanılması tercih edilmiştir. Yatay raylar kullanılmıştır. Tek kat tespit rayı tespit kiremidine tespit edilmiş ve modül, tespit rayına kenetler ile sabitlenmiştir. Bu sistemin bir dezavantajı sistemin doğrudan çatı taşıyıcı sistemine değil çatı kaplamasına sabitlenmiş olmasıdır, ancak kurulum kanca ile yapılan uygulamadan daha kolay ve hızlıdır.



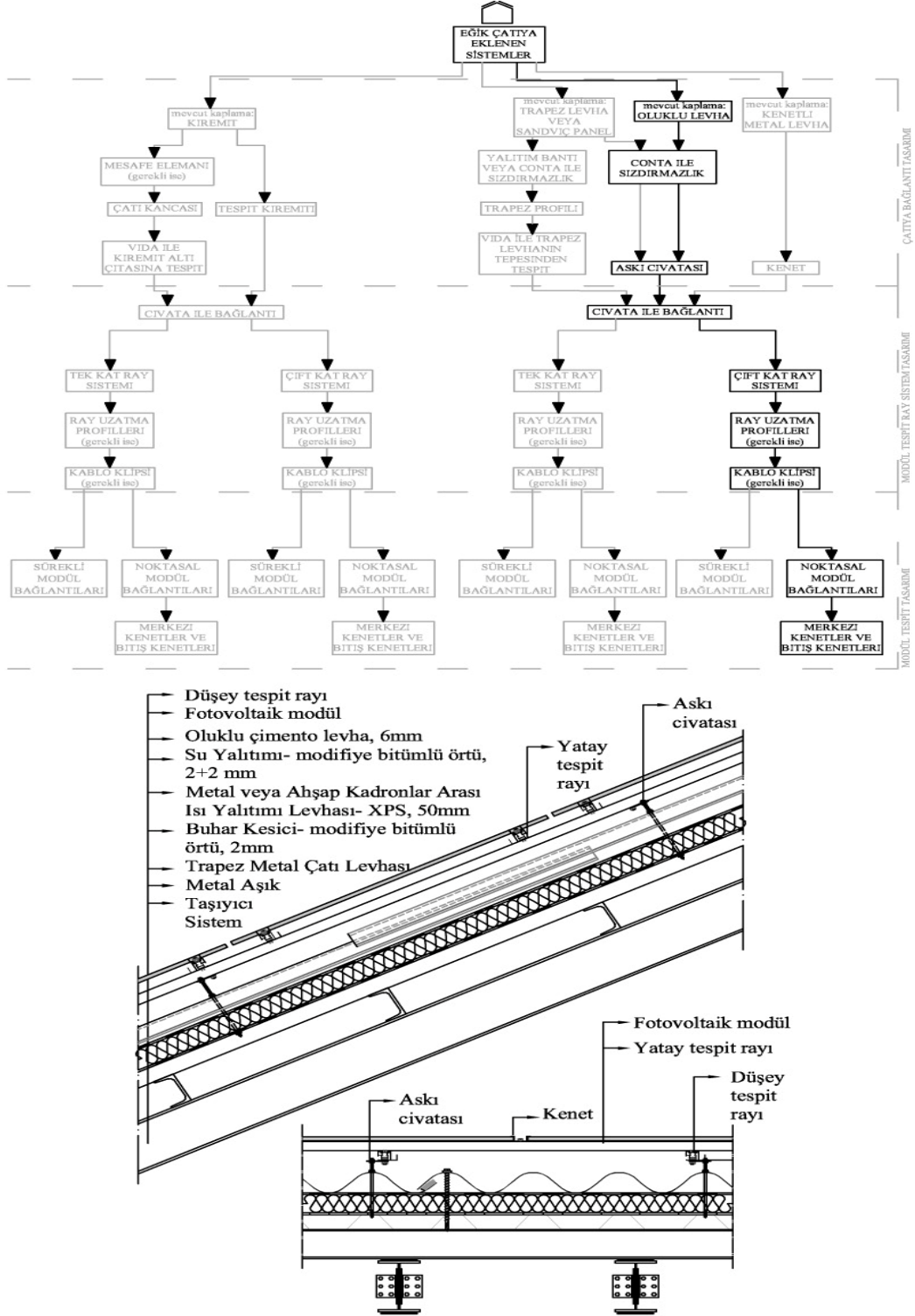
Şekil 5.9 : Kiremit kaplı eğik çatı sistemi üzerine tespit kiremidi ile eklenen sistem.

Şekil 5.10'daki fotovoltaik sistem, sandviç panel kaplı çatı sistemine trapez profili kullanılarak bağlanmıştır. Trapez profili vida ve profilin altına yerleştirilen iki yüzeyi yapışkan yalıtım bandı ile sandviç panelin tepe noktalarına sabitlenmiştir. Tek kat ray sistemi ise trapez profili içerisine yerleştirilerek sabitlenmiştir. Modül tespiti de noktasal olarak kenetler ile sağlanmıştır.



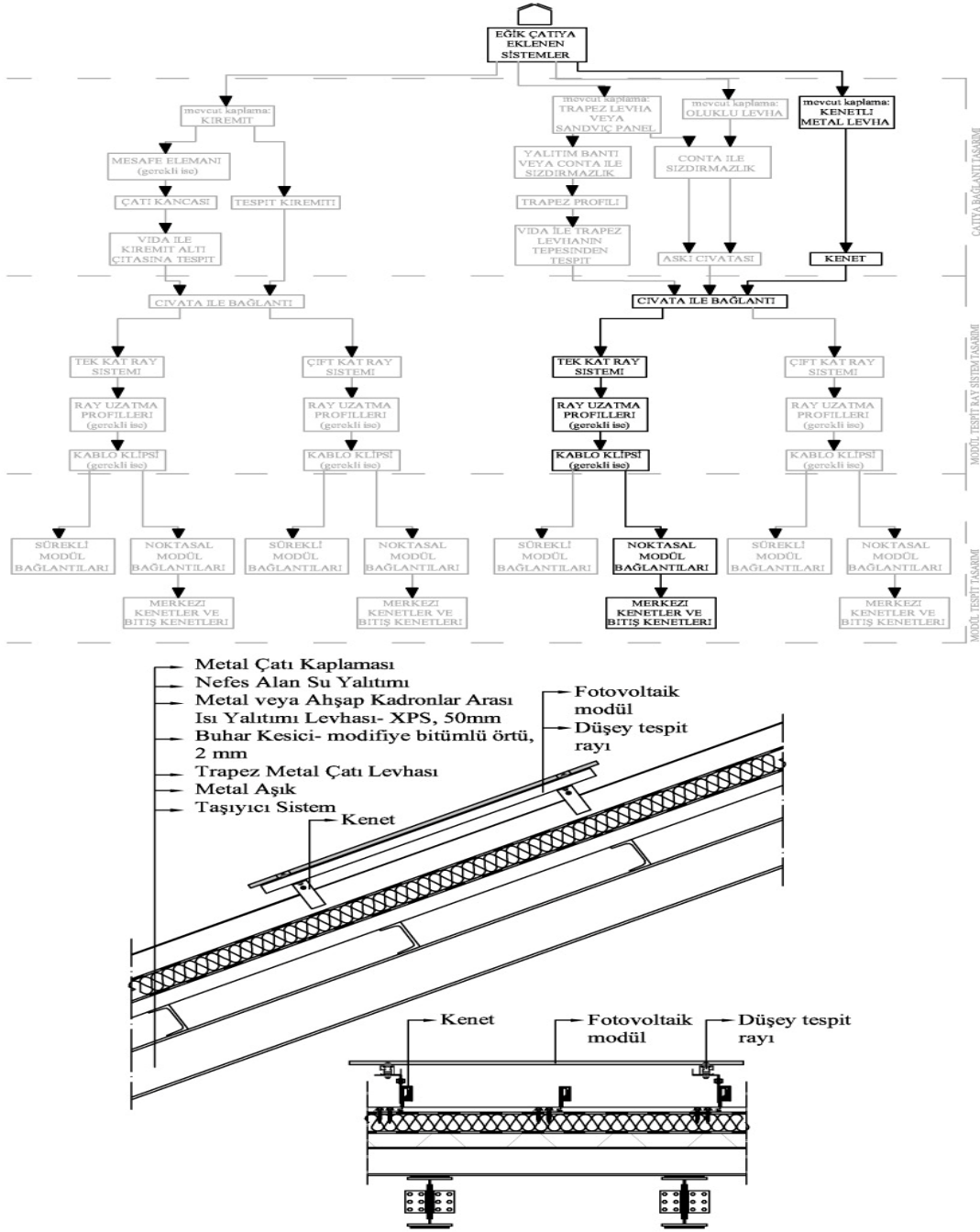
Şekil 5.10 : Sandviç panel kaplı eğik çatı sistemi üzerine tespit trapez profili ile tespit edilen sistem.

Şekil 5.11'deki sistemde çatı bağlantısı oluklu çimento levhayı delerek çatı taşıyıcı sistemine ulaşan askı civatası ile yapılmıştır. Çatı yüzeyinde en az sayıda delik açılması için iki kat ray sistemi kullanılmıştır. Modüller ray sistemine kenetlerle sabitlenmiştir.



Şekil 5.11 : Oluklu çimento levha kaplı eğik çatı sistemi üzerine askı civatası ile eklenen sistem.

Şekil 5.12'deki sistemde çatı bağlantısı dik kenet metal çatı sistemine kenetler ile yapılmıştır. Modül tespiti için uygun açıklıkların tek kat ray sistemi ile sağlanabilmesi; çatı kaplamasına tespit yapıldığı için sistem ağırlığının en azda tutulması ve az malzeme tüketilmesi amaçlanarak tek kat ray sistemi kullanılması tercih edilmiştir. Yatay raylar kullanılmıştır. Tek kat tespit rayı kenete tespit edilmiş ve modül, tespit rayına kenetler ile sabitlenmiştir.



Şekil 5.12 : Tek kat metal levha kaplı eğik çatı sistemi üzerine kenet ile eklenen sistem.

5.4 Eğik Çatı Sistemi ile Bütünleştirilen Fotovoltaik Sistem Tasarımı

Eğik çatı sistemi için bir diğer senaryo, sistemin yeni yapılacak bir binada uygulanması ve ek kaplama malzemesinin kullanılmasının veya kurulumunun istenmemesi; dolayısıyla modüllerin çatı ile aynı eğimde, çatı sistemiyle bütünleştirilerek yerleştirilmesidir. Eğik çatı sistemi ile bütünleştirilen fotovoltaik sistem uygulamaları İstanbul ilinde yeni kurulacak bir bina için tasarlanacaktır.

5.4.1 Eğik çatı sistemi ile bütünleştirilen fotovoltaik sistemin mimari tasarım süreci

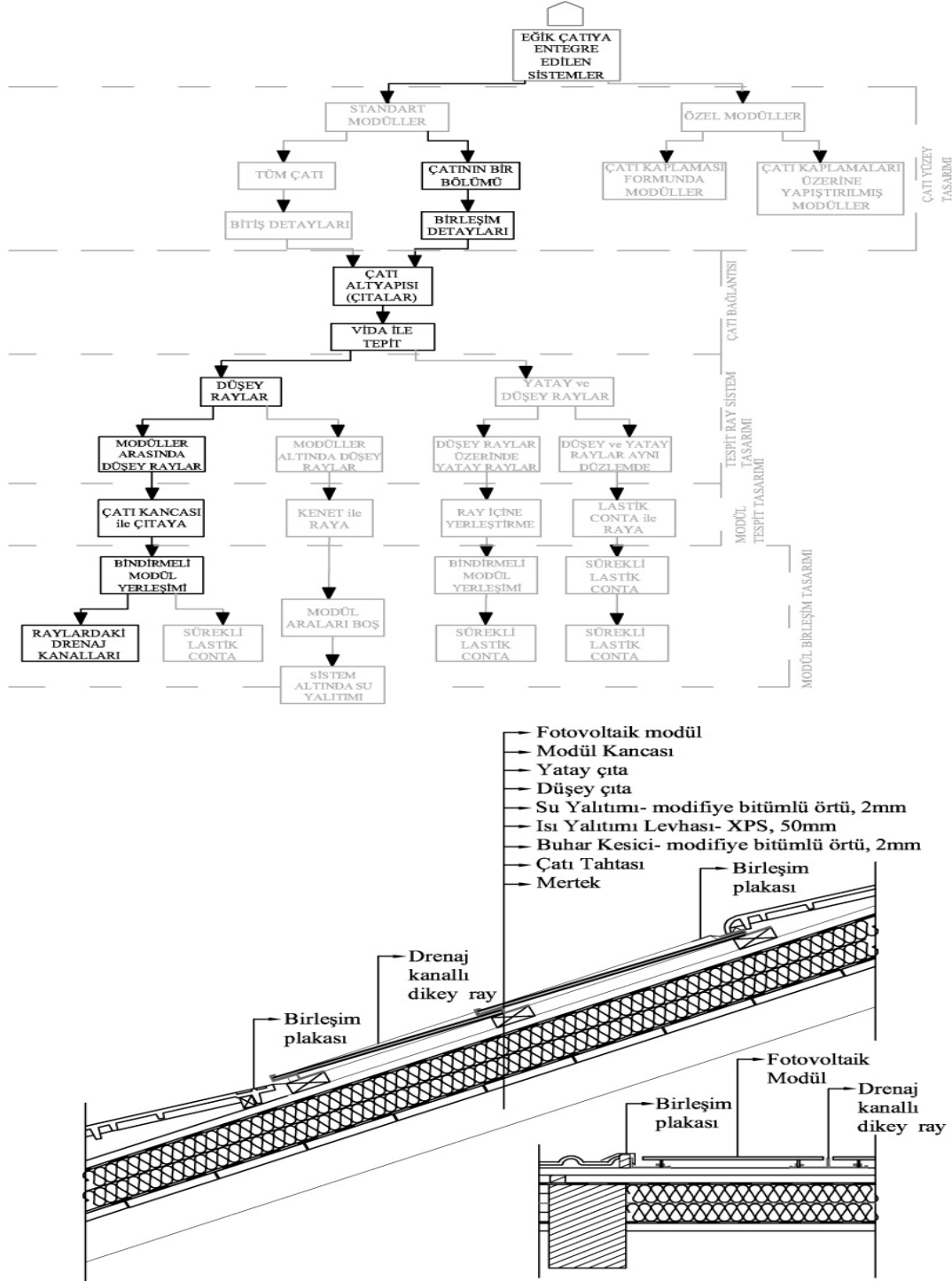
Mimari tasarım sürecinin fotovoltaik dizi tasarımı aşaması modül tipinin belirlenmesi adımında; talep edilen toplam enerji, bütçe, modül malzemeleri ve tedarik edilme kolaylığı düşünülerek 170 Watt gücünde, tekkristal silisyum (%13-15 hücre verimliliğine sahip) hücrelerden oluşturulmuş, cam-film, çerçevesiz, 1.575 x 826 x 46-mm boyutlarında bir modül tercih edilmiştir. İkinci adımda dizi büyüklüğü; enerji ihtiyacı, sistem için ayrılabilir alan (25 m²) ve bütçe düşünülerek 19 modül olarak tayin edilmiştir. Üçüncü adımda dizi eğimi, İstanbul ilinde tüm yıl boyunca en fazla verimi alabilmek amaçlanarak, PVSYST simülasyon programı ile, 26°-30° olarak bulunmuştur.

Mimari tasarım sürecinin fotovoltaik çatı tipinin belirlenmesi aşamasının ilk adımında çatı formu iklim koşulları, çevre yapılar ve çatı kullanımı düşünülerek, daha önceden de bahsedildiği üzere, eğik çatı olarak belirlenmiştir. Çatı eğiminin imar yönetmeliğine göre hesaplanan optimum dizi eğiminden (26-30°) az olması gerektiği için, olabildiğince çok verim alabilmek amaçlanarak, çatının ve dizinin imar yönetmeliğindeki maksimum eğimde %45 (~24°) yapılmasına karar verilmiştir. Sonuç olarak, mimari tasarım süreci eğik çatı sistemi ile bütünleştirilen fotovoltaik çatı sisteminin seçimi ile sonuçlanmıştır.

5.4.2 Eğik çatı sistemi ile bütünleştirilen fotovoltaik sistemin yapısal tasarım süreci

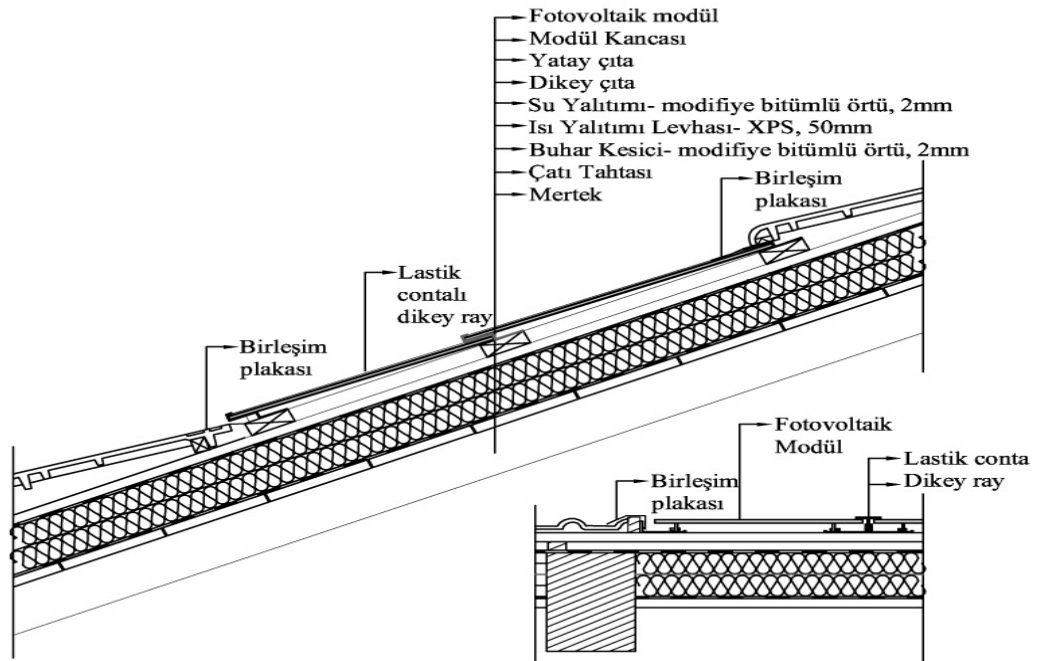
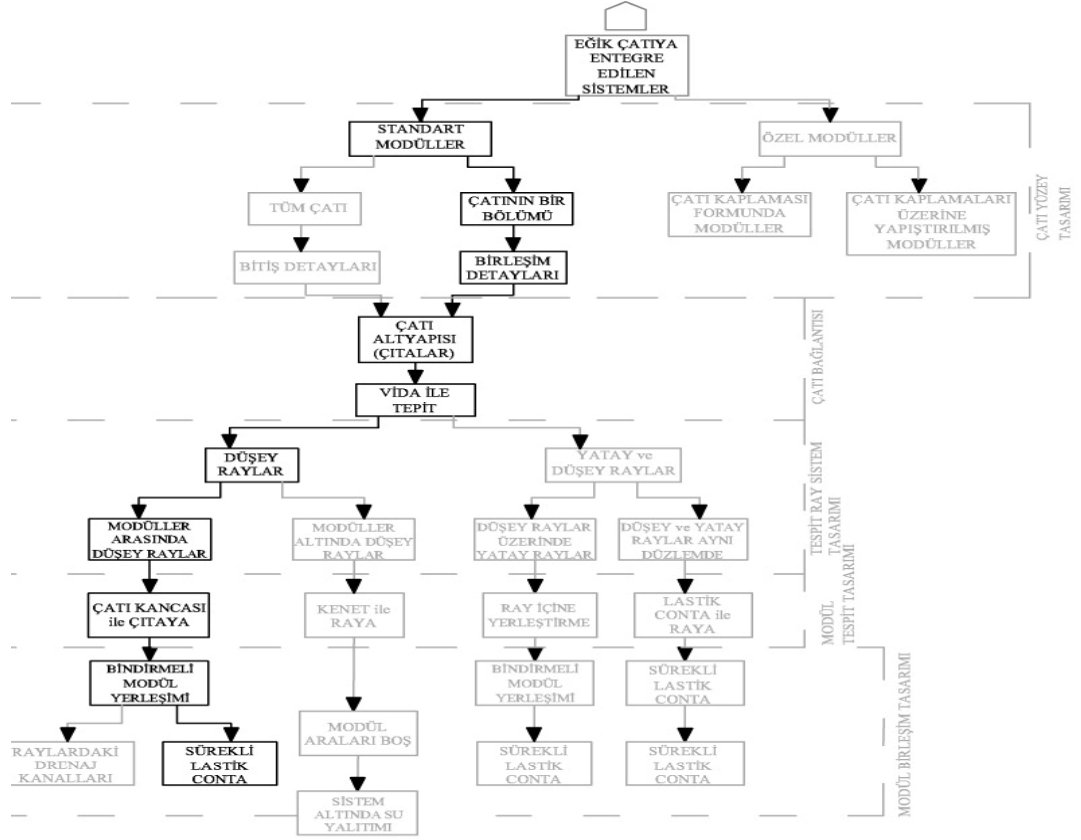
Yapısal tasarım sürecinde ray sistemi, modül tespiti ve modül birleşimi tasarımı aşamaları olası alternatifleriyle takip edilerek alternatiflerin birbirlerinden üstünlükleri veya tercih edilme nedenlerine değinilecektir.

Şekil 5.13'teki sistemde düşey raylar modüllerin arasında kullanılmıştır. Modül tespiti panel kancaları ile çatı altyapısına yani çıtalara yapılmıştır. Modüller birbirileri üzerine bindirme yaptığı için düşey modül birleşimlerinde bu bindirme ile sızdırmazlık sağlanırken; yatay modül birleşimlerinde düşey raylarda bulunan drenaj kanalları ile suyun uzaklaştırılması sağlanmaktadır.



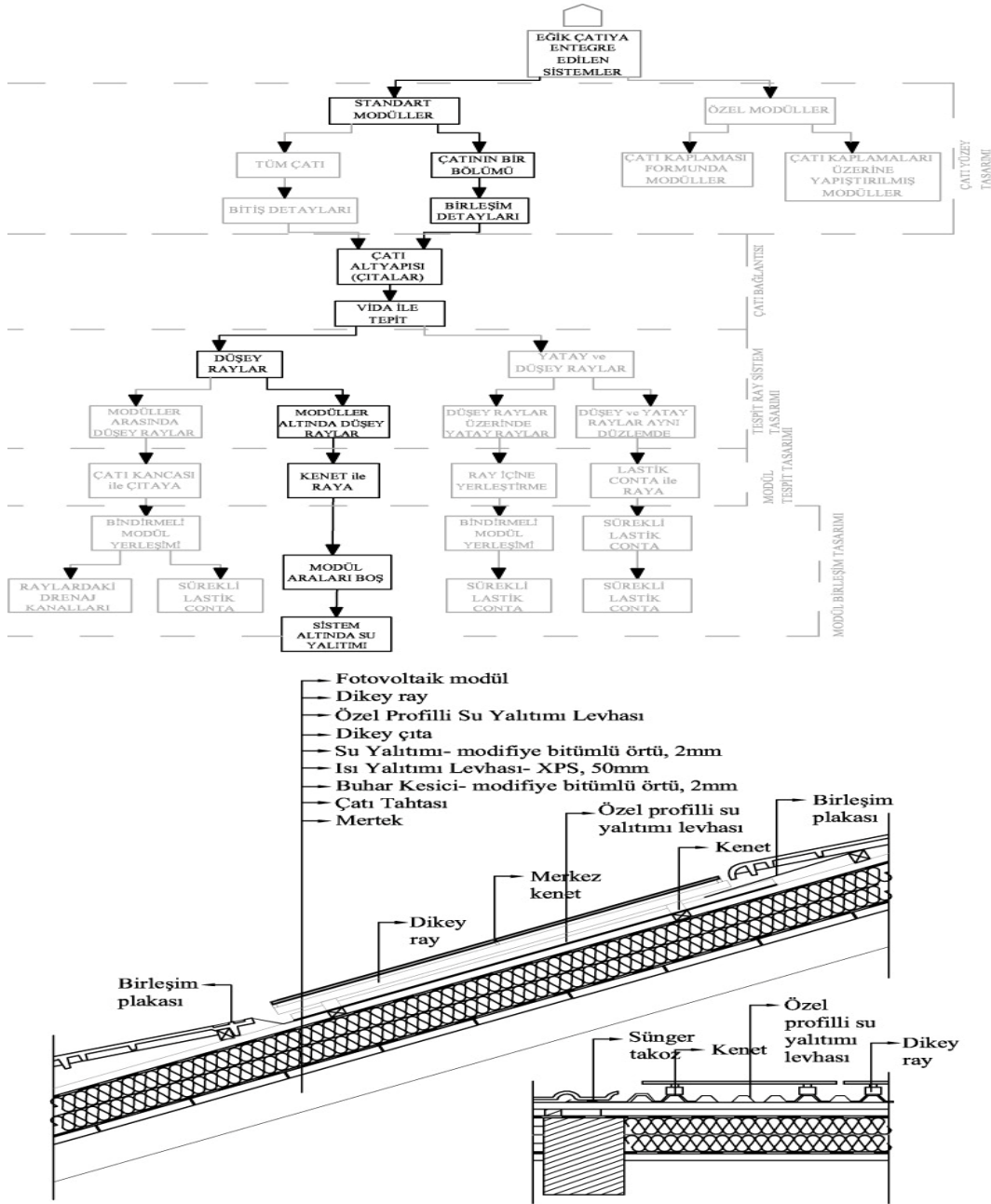
Şekil 5.13 : Eğik çatı sistemi ile bütünleştirilmiş fotovoltaik sistem.

Şekil 5.14'teki sistemin 5.13'teki sistemden farkı yatay modül birleşiminde drenaj kanalları yerine, düşey raya geçirilen lastik contalar ile sızdırmazlığın sağlanmasıdır. Bu tasarımlarda modüllerin bindirmeli yerleşimi çatı görüntüsünü etkilemesinin yanı sıra modül yüzeyinin kendi kendine temizlenmesine de yardımcı olmaktadır.



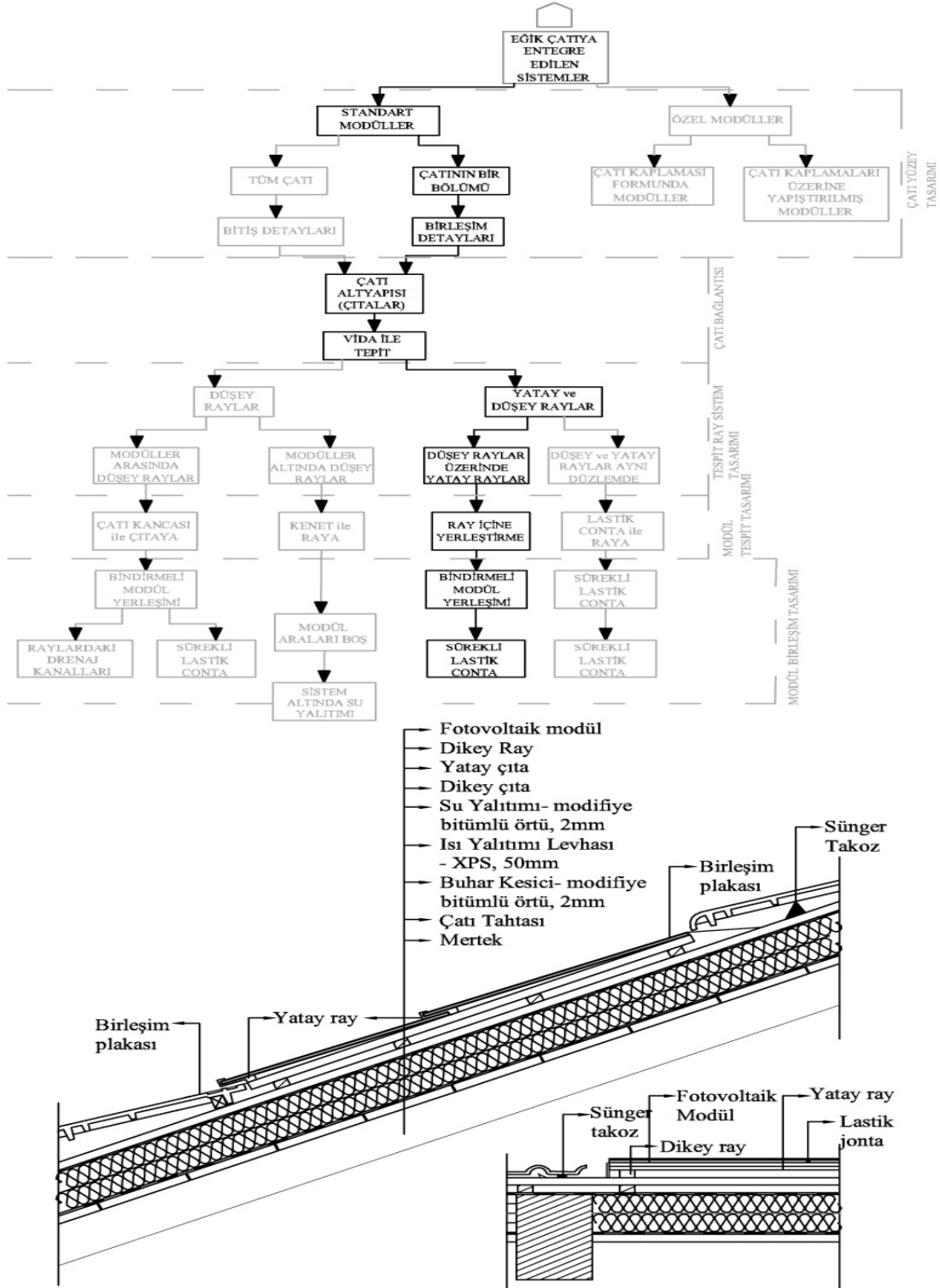
Şekil 5.14 : Eğik çatı sistemi ile bütünleştirilmiş fotovoltaik sistem.

Şekil 5.15'teki sistemde yine dikey raylar kullanılmış ancak raylar modüllerin altına yerleştirilmişlerdir. Modül tespiti bu raylara noktasal kenetler ile yapılmıştır. Böylelikle modül birleşimleri boş bırakılmıştır. Bu alternatifte modüllerin arkasının havalandırmasının daha rahat sağlanması ve düz bir çatı yüzeyi elde edilmesinin yanı sıra sızdırmazlık fotovoltaik düzleminde sağlanmadığından sistemin altında mutlaka bir su yalıtımına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca noktasal kenet ile tespitte modüller tek tek hizalanmak zorunda olunmasına rağmen onarım durumunda modüller birbirlerinden bağımsız sökülebilmektedir.



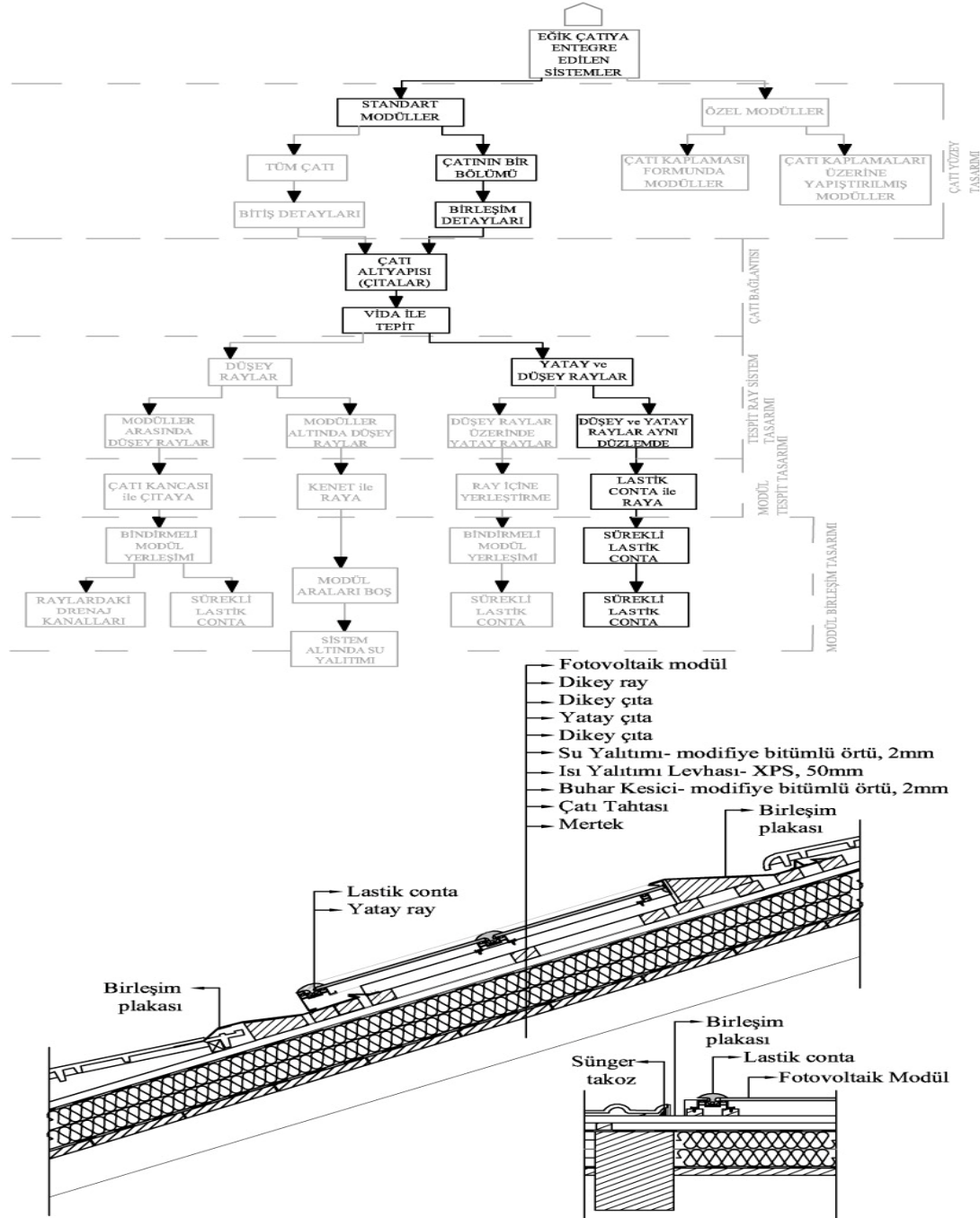
Şekil 5.15 : Eğik çatı sistemi ile bütünleştirilmiş fotovoltaik sistem.

Şekil 5.16'daki sistemde yatay ve dikey raylar kullanılmış; yatay raylar dikey rayların üzerine yerleştirilmiştir. Modüller yatay rayların içerisine geçirilerek tespit edilmişlerdir. Modül birleşimlerinde yatay ve dikey raylara geçirilen lastik contalar kullanılmıştır. Bu tasarım seçeneğinde de çatı yüzü bindirmeli bir görüntüye sahiptir.



Şekil 5.16 : Eğik çatı sistemi ile bütünleştirilmiş fotovoltaik sistem.

Şekil 5.17'deki sistemde ise yatay ve düşey raylar aynı düzlemde kullanılmıştır. Modüller lastik contalar ile raylara tespit edilirken; sızdırmazlık da bu contalar ile sağlanmaktadır. Böylelikle düz ve kapalı bir çatı yüzeyi elde edilir. Daha önce de bahsedildiği üzere lastik conta kullanımının dezavantajı onarım durumlarında bir modülü sökebilmek için tüm lastik contanın çıkarılmak zorunda olunmasıdır. Ayrıca Şekil 5.16 ve 17'deki sistemlerde her iki yönde de ray kullanılması nedeniyle malzeme tüketimi fazladır.



Şekil 5.17 : Eğik çatı sistemi ile bütünleştirilmiş fotovoltaik sistem.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye’de sera gazı salınımının azaltılması, enerji üretiminde dışarıya bağımlılığın sınırlandırılması ve artan enerji talebinin karşılanabilmesi gereğince; binaların enerji tüketimlerinin bir bölümünü veya tümünü kendi bünyelerinde bulundurdukları, yenilenebilir kaynaklardan enerji üreten sistemlerle karşılaşmaları gündemdedir. Yenilenebilir güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik, binalarda kullanılabilir. Binalarda kurulan fotovoltaik sistemler ek bir altyapı veya kurulum alanına da ihtiyaç duymaz, üretim ve tüketici arasındaki mesafeyi kısaltarak elektrik iletimi ve dağıtım sırasında meydana gelen elektrik kayıplarının azalmasını sağlar; bunlara ek olarak fotovoltaik geleneksel yapı malzemeleri yerine kullanıldığında yapı malzemelerinden tasarruf sağlayarak binanın ekolojik ayak izini de azaltmış olur. Çatı, güneşe sürekli ve engelsiz maruz kalabilmesi nedeniyle fotovoltaik uygulaması için en verimli bina yüzeyidir. Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli yüksek olmasına rağmen, fotovoltaik çatı sistemi uygulamaları sınırlıdır. Bunun ana nedeni, fotovoltaik modüllerin maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Ancak enerji politikalarındaki gelişmeler düşünüldüğünde, fotovoltaik kullanım maliyetinin Türkiye’de de Avrupa ülkelerinde ki gibi ulaşılabilir seviyelere çekilerek, kullanımının artacağı ön görülmektedir. Bu noktada açığa çıkabilecek sorun, ülkemizde fotovoltaik çatı sistemleri ile ilgili uygulama konusundaki deneyimsizliğin ve fotovoltaik çatı sistemi alternatiflerinin bilinmemesinin yol açabileceği niteliksiz ve yapı ile bütünleşmeyen uygulamalardır. Bu çalışmada mevcut binaların çatı sistemlerinin fotovoltaik çatı sistemi olarak yenilenmesinde ve yeni yapılacak binalarda fotovoltaik çatı sistemi tasarımında mimarlara, çatı sistem ve çatı kaplama malzemesi üreticilerine ve yüklenicilere yol gösterecek bir model önerisi geliştirilmiştir.

2. Bölüm’de fotovoltaik tanıtılmıştır. Binalarda güneş enerjisi kullanımından başlayarak, cephe ve çatı sistemleri diye sınıflandırarak, fotovoltaiklerin binalarda kullanım olanaklarına değinilmiştir. Fotovoltaiklerin binalarda kullanımını etkileyen tasarım parametreleri ve bu parametrelerin tasarım üzerindeki etkileri tanımlanmıştır.

Fotovoltaik hücre, modül ve sistem çeşitleri yapılarına ve tasarımı etkileyen özelliklerine değinilerek tanıtılmıştır.

3. Bölüm'de çatı sistemi, çatı sistem tasarımını etkileyen etmenlerden bahsedilerek ele alınmıştır. İlk olarak formlarına göre çatı sistemlerinden ve çatı formu tasarımını etkileyen etmenlerden bahsedilmiştir. Daha sonra çatı sistemi bileşenlerine, çatı sisteminde karşıladıkları performans gereksinmelerine göre sınıflandırılarak değinilmiştir. Çatı sistemi bileşenlerinin uygulama yöntemleri ve yapıları tanıtılmıştır.

4. Bölüm'de fotovoltaik çatı sistemi tasarımı için geliştirilen model önerisi tanıtılmıştır. Model mimari ve yapısal tasarım süreçlerinden meydana gelmektedir. Mimari tasarım süreci iki aşamadan oluşur, bunlar fotovoltaik dizi tasarım ve fotovoltaik çatı sistem tipi belirlenmesi aşamalarıdır. Bu süreç sonunda seçilen fotovoltaik çatı sistemi tipine göre yapısal tasarım süreci takip edilir. Dört tip fotovoltaik çatı sistemi tanımlanmıştır, bunlar teras çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistem, teras çatı sistemi ile bütünleştirilen fotovoltaik sistem, eğik çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistem ve eğik çatı sistemi ile bütünleştirilen fotovoltaik sistemdir. Yapısal tasarım süreci genel olarak çatı bağlantı, modül taşıyıcı sistemi (tespit rayı veya eğim ayağı), modül tespit ve modül birleşim tasarımı aşamalarından oluşur.

5. Bölüm'de ek ve bütünleştirilmiş fotovoltaik çatı sistemleri model adımları takip edilerek ve her adımda verilen kararları etkileyen tasarım girdilerine değinilerek İstanbul ve Mersin illeri için tasarlanmıştır. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan güney bölgesinde bulunan Mersin ilindeki yaygın teras çatı uygulamaları düşünülerek teras çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistem uygulamaları Mersin ilinde bulunan mevcut bir bina için gerçekleştirilmiştir. Teras çatı sistemi ile bütünleştirilen fotovoltaik sistem uygulamaları da yine Mersin ilinde yeni kurulacak bir bina için gerçekleştirilmiştir. Eğik çatı sistemi üzerine eklenen fotovoltaik sistem uygulamaları ise mevcut bina sayısı en fazla olan İstanbul ilindeki mevcut bir bina için gerçekleştirilmiştir. Eğik çatı sistemi ile bütünleştirilen fotovoltaik sistem uygulamaları İstanbul ilinde yeni kurulacak bir bina için tasarlanmıştır. Tasarım alternatifleri malzeme kullanımı, görsel etki, işçilik, uygulama kolaylığı, uygulama hızı, uygulamada alet gerekliliği, uygulamada taşıma kolaylığı, havalandırma değeri, sökme kolaylığı, kir tutmama özelliği gibi pek çok

tasarım girdisi ile değerlendirilmiştir. Böylelikle alternatifler ortaya konulurken alternatifler arasından uygun tercih yapılabilmesi için tasarımcıya yol gösterilmiştir.

Sonuç olarak fotovoltaik sistemler yapıların ilk tasarım aşamalarından itibaren projelerle bütünleştirilerek, bu sistemler için en verimli yönlenme ve yüzey eğimleri düşünülerek tasarımlar gerçekleştirilmelidir. Bu gelişmeler sağlandığında mimarların fotovoltaiklerin yapılarda kullanım alternatifleri konusunda özellikle yapısal tasarımıyla ilgili bilgilenmeleri ve bina ile uyumlu, iyi bütünleşmiş sistemler tasarlayabilmeleri gereklidir. Çalışmada sunulan model günümüzde kullanılan tespit sistemleri incelenerek oluşturulduğu için modeldeki alternatifler ve tasarım girdilerinden faydalanılarak gelecekte yeni sistemler tasarlanabilir. Fotovoltaik teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak model güncellenebilir.

Türkiye’de enerji ihtiyacındaki artış, sera gazı salınımı ve yüksek güneş enerjisi potansiyeli düşünüldüğünde binalarda enerji verimliliği yalnızca enerjinin korunumu açısından değil enerji üretimi açısından da ele alınmalıdır. Bina dış yüzeyleri sadece kabuk olarak değil aynı zamanda enerji üreten jeneratörler olarak değerlendirilmelidir. Fotovoltaik ile enerji üretimi geleneksel enerji üretimlerine göre pahalı olsa da unutulmamalıdır ki binalarda fotovoltaik sistemlerin entegre olarak kullanılması ile işçilik ve malzemedeki tasarruf edilecek ve maliyetler düşecektir. Bu nedenle binalara entegre fotovoltaik uygulamaları teşvik edilmelidir.

Bütünleştirilmiş sistemler yapı malzemesinden tasarruf sağlanmasının yanı sıra sistemin parçalarının (kablolar vs.) hava etkilerinden korunması açısından da avantajlıdır. Fotovoltaik modüllerin diğer yapı malzemeleri ile karşılaştırıldığında oldukça uzun ömürlü (25-30 yıl) oldukları görülmektedir. Türkiye’de fotovoltaik uygulamaları için yeterli finansal destek sağlanamamaktadır. Yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretimine verilen tarife garantisinin (5,5 euro cent/kWh) arttırılması gereklidir. Bu gelişmeler çevresel katkıları dışında enerjisinin %70’ini ithal etmek durumunda olan Türkiye için oldukça önemlidir. İlk olarak devlet binaları (yönetim binaları, okullar, müzeler), ulaşım yapıları (tren istasyonları), toplu konutlar gibi çatı yüzeyleri geniş olan yapılara ve yerleşkelere odaklanılmalı ve güneş enerjisi kullanım olanakları araştırılmalıdır. İmar yönetmeliklerinde verilen sınır çatı sistemi eğimleri güneş enerjisi kullanımı da düşünülerek yeniden ele alınmalı ve güneş enerjisini binalarda kullanılabilir enerjiye dönüştüren çatı sistemleri hayata geçirilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Oğulata, R.T.**, 2002: Sectoral energy consumption in Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 6, Issue 5, pp 471-480.
- [2] **Dünya Enerji Konseyi Türkiye Ulusal Komitesi**, 2007: 2005-2006 Türkiye Enerji Raporu. Ankara, ISSN: 1301-6318.
- [3] **TMMOB Makina Mühendisleri Odası**, 2008: Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği Oda Raporu.
- [4] **Šuri, Huld, Dunlop, Ossenbrink**, 2007: Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. Solar Energy, Volume 81, Issue 10, pp 1295-1305.
- [5] **Ulusal Fotovoltaik Teknoloji Platformu**
http://www.trpvplatform.org/pv_sistemler.html (10.02.2010)
- [6] **Yenilenebilir Enerji Teknolojileri Dergisi**
<http://www.yenienerji.info/?pid=16881> (10.02.2010)
- [7] http://www.yapi.com.tr/Sektorden/ondulineden-enerji-ureten-yesil-cati_73160.html (10.02.2010)
- [8] **Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü**
<http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunes.html> (10.01.2010)
- [9] **Humm, O., Toggweiler, P.**, 1993: Photovoltaics in Architecture: the Integration of Photovoltaic Cells in Building Envelopoes. Birkhauser Verlag Ag, Basel.
- [10] **Batman, M. A.**, 1996. Elektrik üretimi için güneş pillerinin kullanımında verimi arttırıcı yeni bir yöntem, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11] **Michael Wachberger, Hedy Wachberger ; çev. Lale Gerçek, Selahaddin Akın**, 1988: Güneş ile inşa etmek : pasif güneş enerjisi kullanımı. Maya, Ankara.

- [12] **Stark, T., Lutz, H.-P., Schneider, H. and Schneider, S., 2005:** Architektonische Integration von Photovoltaik-Anlagen. http://www.wm.badenwuerttemberg.de/fm/1106/Architektonische%20Integration%20PV_Anlagen.pdf (29.12.2009)
- [13] **Perlin, J., 1999:** From Space to Earth: The Story of Solar Electricity. Aatec publications, Michigan, USA.
- [14] **US department of Energy** http://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf Solar Timeline, (29.12.2009)
- [15] **Luque, A., Hegedus, S., 2003:** Handbook of photovoltaic science and engineering. Bölüm yazarı: **Tjerk h. Reijenga** Bölüm: PV in architecture. Hoboken, NJ : Wiley.
- [16] **Benemann, Chehab, Schaar-Gabriel, 2001:** Building-integrated PV modules. Solar Energy Materials and Solar Cells, Volume 67, Issues 1-4, March 2001, pp 345-354.
- [17] **Pvdatabase:** Netherlands: Nieuwland 1 MW PV project. <http://www.pvdatabase.org/pdf/Nieuwland.pdf> (29.12.2009)
- [18] **Muğla Üniversitesi Temiz Enerji Kaynakları AR&GE Merkezi** <http://mutek.mu.edu.tr/uygulama.html> (29.12.2009)
- [19] **Sick, F., Erge, T., 1996:** Photovoltaics in buildings: a design handbook for architects and engineers. James & James (Science Publishers) Ltd, London.
- [20] **International Energy Agency (IEA) Photovoltaic Power Systems Programme (PVPS), Task 7:** Photovoltaic power systems in the built environment (CD-ROM).
- [21] **Thomas, R., 2000:** Photovoltaics and architecture : an introduction for architects and engineers. Spon Press, New York.
- [22] **Deriş, N., 1978:** Düz Yüzeyle Sabit Kolektör Eğim Açısı ve Mimariye Etkisi. Güneş Enerjisi ve Çevre Dizaynı Ulusal Sempozyumu, 12-14 Eylül 1978, İTÜ, Mimrlık Fakültesi, İstanbul
- [23] **The Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2008:** <http://www.demosite.ch> (29.12.2009)
- [24] **Doğuş Cephe Sistemleri Sanayi ve Ticaret Ltd Şti.** <http://www.doguscephe.com/index.php#> (29.12.2009)

- [25] **Schoen, T. J. N.**, 2001: Building-integrated PV installations in Netherlands: Examples and Operational Experiences. Solar Energy Vol. 70, No. 6, pp. 467–477.
- [26] **Diyarbakır güneş evi**: <http://www.gunesevi.org/newsviewer.aspx?id=7> (29.12.2009)
- [27] **Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü**:
<http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/pvilke.html> (29.12.2009)
- [28] **Alzoubi, H. H.**,2005: Optimizing lighting, thermal performance, and energy production of building facades by using automated blinds and PV cells, Doktora Tezi, University of Michigan, USA.
- [29] **The German Solar Energy Society**, 2005. Planning and Installing Photovoltaic Systems: A Guide For Insallers, Architects and Engineers, UK and USA. s. 1-5.
- [30] **Fore Enerji**: http://www.foreenerji.com/pdf/info_articles06.pdf (29.12.2009)
- [31] **MORAL UĞUR, E.**, 2006. Güneş Pillerinin Yapı Kabuk Elemanları İle Bütünleştirilmelerine Yönelik Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [32] **U.S. Department of Energy Energy Efficiency & Renewable Energy**:
http://www1.eere.energy.gov/solar/m/pv_systems.html (28.02.1010)
- [33] **TÜBİTAK Bilim Teknik Dergisi**:
http://www.biltek.tubitak.gov.tr/gelisim/elektronik/dosyalar/diger/foto_voltaik.pdf (29.12.2009)
- [34] **Türkeri, A.N.**, 2006. Uygulama Projesi Ders Notları, İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul (Basılmamış Kaynak).
- [35] **Özkan, E.**, 1976, Yapım sistemlerinin seçimi için bir yöntem. İTÜ, İstanbul, Türkiye.
- [36] **İnceoğlu, N.**, 1978. Bina Programlama Yöntem ve Teknikleri, Ders Notları, İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- [37] **Sarp, A.**, 2007. Sağlıklı Yapının Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım Önerisi, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [38] **Çoşkun, K.**, 2006 . Çatı Sistemleri İle İlgili Performans Gereksinimleri, 3. Ulusal Çatı & Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, Ekim 17-18.
- [39] **TS 498**, 18.11.1997, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- [40] **Salvadori, M., Heller, R.**, 1963. Structures in Architecture. Prentice Hall, New Jersey, A.B.D.
- [41] **Türkçü, H.Ç.**, 2004. Yapım, İlkeler, Malzemeler, Yöntemler, Çözümler. Birsen Yayınları, İstanbul, Türkiye.
- [42] **Toydemir, N., Ülger, B.**, 2004. Çatılar. Yapı Yayın, İstanbul, Türkiye.
- [43] **Joedicke, J.**, 1963. Shell Architecture. Karl Kramer Verlag, Stuttgart, Germany.
- [44] **Reid, E.**, 2000. Understanding Buildings: A Multidisciplinary Approach. The MIT Press, İngiltere.
- [45] **Toydemir, N., Gürdal, G., Tanaçan, L.**, 2000. Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme. Literatür Yayıncılık, İstanbul, Türkiye.
- [46] **Butler, R.B.**, 2002. Architectural Engineering Design. McGraw-Hill, New York, A.B.D.
- [47] **Reid, E.**, 1984. Understanding buildings: a multidisciplinary approach. MIT Press, Cambridge, A.B.D.
- [48] **Stalnaker, J.**, 1996. Structural Design in Wood. Springer.
- [49] **Ambrose, J.E.**, 1993. Building Structures. Wiley, A.B.D.
- [50] **Reichel, A.**, 2007. Building with steel : details, principles, examples. Edition Detail, Münih, Almanya.
- [51] **Negli, L.S.**, 1997. Design of Steel Structure. Mcgraw-Hill Education, A.B.D.
- [52] **Çatak, N.**, 1997. Büyük Açıklıklı Yapılarda Çatı Örtü Malzemeleri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [53] **Ching, F., Adams, C.**, 2001. Building Construction Illustrated. Wiley, A.B.D.
- [54] **Emmitt, S.**, 2005. Barry's introduction to construction of buildings. Blackwell Publication, Oxford, A:B.D.
- [55] **Patterson, S., Mehta, M.**, 2001. Roofing Design And Practice. Prentice-Hall, New Jersey, A.B.D.

- [56] **Mobile Stud Welding Limited** <http://www.mswukltd.co.uk/multideck146.htm>
(31.05.2009)
- [57] **AKG Gazbeton** <http://www.akg-gazbeton.com/default.asp?mid=240&L=TR>
(31.05.2009)
- [58] **Godish, T.**, 1995. Sick Buildings: Definition, Diagnosis and Mitigation. CRC-Press, Florida, A.B.D.
- [59] **Charles, K., E.**, 2003. Fanger's Thermal Comfort and Draught Models. Institute for Research in Construction, National Research Council of Canada, Kanada.
- [60] **Hardy, S.**, 1998. Time-Saver Details for Roof Design. McGraw-Hill.
- [61] **TS 4560**, 1985. Asbest ve Çimentodan Yapılmış Oluklu Levhaların Çatı Kaplamasında Kullanılması Kuralları, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- [62] **TS EN 508**, 1/Şubat 2002. Çatı kaplama levhaları - Metal - Kendini taşıyan - Çelik, alüminyum veya paslanmaz çelikten mamul - Özellikler - Bölüm 1: Çelik, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- [63] **Binan, M.**, 1990. Ahşap Çatılar. Doğan Ofset, İstanbul.
- [64] **Kiremetal metal kiremit sistemleri**
<http://www.kiremet.com/UygulamaKlavuzu.html> (31.05.2009)
- [65] **Okutan, A., E.**, 2007. Çatı Kaplama Malzemesi Seçim Kriterlerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [66] **Vege İnşaat**
http://www.vegeinsaat.com.tr/?title=montaj_asamalar_&menuid=29
(31.05.2009)
- [67] **Nural Metal** <http://www.nuralmetal.com.tr/urunyan.htm> (31.05.2009)
- [68] **Nuh Form A.Ş.**
http://www.nuhform.com.tr/App_Themes/0/document/aksesuar_detaylari.pdf (31.05.2009)
- [69] **Aka Yapı Malzemeleri Ve İnşaat Ltd. Şti.**,
<http://www.akayapi.com/Assets/main.html> (31.05.2009)
- [70] **Henn, W.**, 1912. Das flache dach. G.D.W. Callwey, Münih.

- [71] **Onduline Avrasya A.Ş.** http://www.onduline.com.tr/Urunler/sistemONDULINE/Teknik_Cizimler.aspx (31.05.2009)
- [72] **Onduline Avrasya A.Ş.** http://www.onduline.com.tr/Urunler/sistemBARDOLINE/Uygulama_Esaslar.aspx (31.05.2009)
- [73] **Zet Yapı** http://www.zetyapi.com.tr/urunler_polikarbonatlevhalar5.php (31.05.2009)
- [74] **Zet Yapı** http://www.zetyapi.com.tr/urunler_polikarbonatlevhalar11.php (31.05.2009)
- [75] **Zet Yapı** http://www.zetyapi.com.tr/urunler_polikarbonatlevhalar8.php (31.05.2009)
- [76] **Zet Yapı** http://www.zetyapi.com.tr/urunler_polikarbonatlevhalar14.php (31.05.2009)
- [77] **Onduline Avrasya A.Ş.**
<http://www.onduline.com.tr/Urunler/Arduvaz/TeknikCizimler.aspx> (31.05.2009)
- [78] **Arkitera Mimarlık Merkezi**
<http://www.arkitera.com/v1/malzemedosyasi/isiyalitim/genelozellik/catiyalitim.htm> (31.05.2009)
- [79] **TS 901-1 EN 13162**, Nisan 2005. Isı Yalıtım Mamulleri - Binalarda Kullanılan - Fabrika Yapımı Mineral Yün (Mw) Mamuller – Özellikler, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- [80] **Özer, M.**, 1974. Yapıların Isı, Su ve Buhar Yalıtımları. İstanbul.
- [81] **İzocam A.Ş.** <http://www.izocam.com.tr/izocam/Urunler/Cam-Yunu.aspx> (31.05.2009)
- [82] **İzocam A.Ş.**
<http://www.izocam.com.tr/izocam/CMSPages/GetFile.aspx?nodeguid=731958e5-3350-4e83-916c-1bca30cf34e4> (31.05.2009)
- [83] **Santim İzolasyon** <http://www.santim.com.tr/seramik.aspx> (31.05.2009)
- [84] **Mardav Yalıtım Ve İnşaat Malzemeleri San. Ve Tic. A.Ş.**
http://www.mardav.com/isiyalitim_kirma1.asp (31.05.2009)
- [85] **Polistren Üreticileri Derneği**,
<http://www.pud.org.tr/DC/Dokumanlar/f252022821714fdb81b0d20f62c53914.pps> (31.05.2009)

- [86] **Polistren Üreticileri Derneği**, EPS Uygulama Şartnamesi, Isı yalıtımı uygulama kuralları–Binalarda–Genleştirilmiş polistiren köpük (EPS) ile.
- [87] **TS 11989 EN 13164**, Nisan 2003. Isı Yalıtım Mamulleri - Binalar İçin - Fabrikasyon Olarak Ekstrüzyonla İmal Edilen Polistiren Köpük (Xps)- Özellikler, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
<http://www.pud.org.tr/content/Dokumantasyon.aspx> (28.04.2009)
- [88] **İzoterm İzolasyon Poliüretan İnşaat Ve Makina San. Ve Tic. Ltd. Şti.**
<http://www.izotermtd.com/yalitim.asp> (31.05.2009)
- [89] **Cam Elyaf Sanayii A.Ş 2005**
http://www.camelyaf.com.tr/turkce/soru_cevap/ce_takviye_11.php
(31.05.2009)
- [90] **İzocam A.Ş.** <http://www.izocam.com.tr/izocam/Urunler/Polietilen-Kopuk.aspx>
(31.05.2009)
- [91] **İzokim Kimya İnşaat Makine San. Tic. Ltd. Şti.**
<http://www.izokim.com/cati.html> (31.05.2009)
- [92] **GEN-İZ GROUP LTD. ŞTİ.**
<http://www.poliuretan.com.tr/Icerik/IcerikDetay.aspx?IcerikID=18>
(31.05.2009)
- [93] **ACARLA SAN. VE TİC. KOLL. ŞTİ.** <http://www.acarla.com.tr/urunler.html>
(31.05.2009)
- [94] **TS 304 EN 13170**, Nisan 2003. Isı Yalıtım Mamülleri – Binalar İçin – Fabrika Yapımı Genleştirilmiş Meşe Mantarı Levhaları (Icb) – Özellikler, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- [95] **Cellubor ısı-ses-yangın yalıtımı** <http://www.cellubor.com.tr/tr/selulozik.html>
(31.05.2009)
- [96] **TS EN 13169**, Ocak 2004. Isı Yalıtım Malzemeleri – Binalar İçin – Genleştirilmiş Perlitten Fabrikada İmal Edilmiş Mamuller (Epb) – Özellikler, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- [97] **Kılıçoğlu Ltd.** <http://www.kilicoglutd.com.tr/index.php?link=urun&no=191>
(14.05.2009)
- [98] **İZODER - Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği**, Polimer Bitümlü Membranlarla

Temel ve Teras Su Yalıtım Uygulamaları

http://izoder.org.tr/suyalitimi/uygulama_dosyalari/Polimer_Bitümlü_Membranlarla_Temel_ve_Teras_Su_Yalıtım_Uygulamaları.pdf
(14.05.2009)

[99] **Dağ, F., E.**, 2001. Suyun yapıdaki etkileri ve yapıların suya karşı yalıtımı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[100] **BİTÜDER Bitümlü Su Yalıtımı Üreticileri Derneği**

<http://www.bituder.org/terimler.htm> (14.05.2009)

[101] **İZODER - Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği**, Sentetik Örtülerle Su Yalıtımı,

http://izoder.org.tr/suyalitimi/uygulama_dosyalari/Sentetik%20ortulerle%20su%20yalitimi.pdf (14.05.2009)

[102] **TS EN 13956**, Aralık 2008. Esnek levhalar - Su yalıtımı için - Çatılarda su yalıtımı için kullanılan plastik ve lastik levhalar - Tarifler ve Özellikler, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

[103] **İZODER- Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği**, Sürme Tip Malzemelerle Su Yalıtımı,

http://izoder.org.tr/suyalitimi/uygulama_dosyalari/Yuzey%20Hazirligi.pdf (14.05.2009)

[104] **TS 825**, 22 Mayıs 2008. Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

[105] **A. Goetzberger, V.U. Hoffmann**, 2005: Photovoltaic solar energy generation, Berlin ; New York : Springer.

[106] **Schletter GmbH** www.schletter.de (10.02.2010)

[107] **Solstis Energie solaire photovoltaïque**: Pegaz product. www.solstis.net (10.02.2010)

[108] **Wilhelm Mierendorf, photon.pictures.com**

http://pvindustry.com/News/news_2005-01_eu%20feat%20michelin_big.htm (10.02.2010)

[109] **AluStand**, www.solarmarkt.com (10.02.2010)

[110] **Donauer Solartechnik Vertriebs GmbH** www.donauer.eu (10.02.2010)

[111] **Solarworld A.G.** www.solarworld.de (10.02.2010)

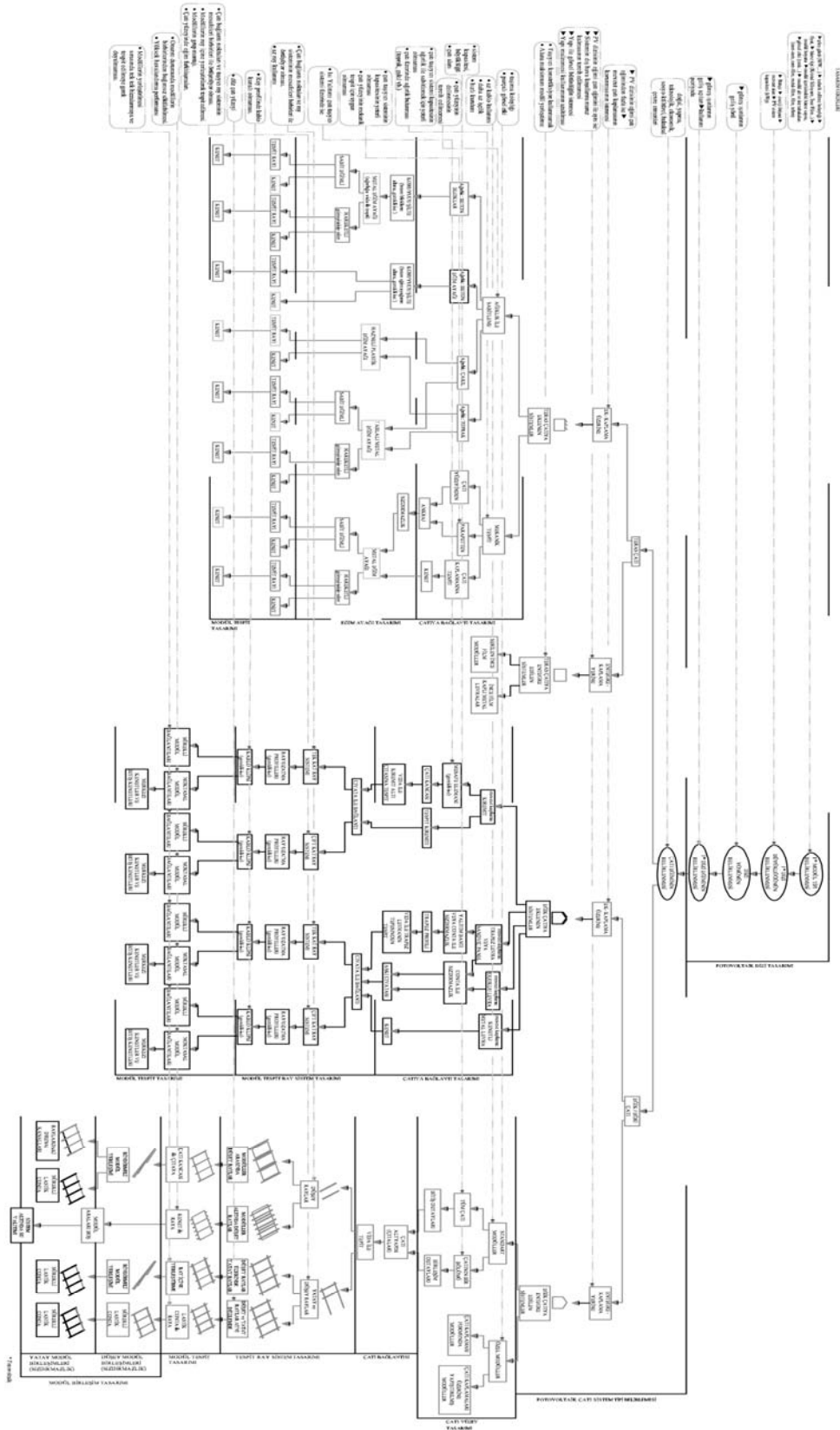
[112] **Flatfix**, www.click-fit.nl (10.02.2010)

- [113] **Profilink**, www.solar-fabrik.de (10.02.2010)
- [114] **T10**, www.sunpowercorp.com (10.02.2010)
- [115] **Console**, www.solarworld.de (10.02.2010)
- [116] **Solare Energiesysteme Nord SOL-50 Flachdachmontagesystem**,
<http://www.sen.eu/cms/mindex.php?id=7529c0bc29d284e41e5f2a74d2eb57d7> (10.02.2010)
- [117] **K2 Systems, Krannich Solar**, <http://www.k2-systems.de/> (10.02.2010)
- [118] **Solar Integrated Technologies Corporation**
<http://www.solarintegrated.com/77.0.html?&L=pfqkarfz> (10.02.2010)
- [119] **Kalzip Inc.** <http://www.kalzip.com/solar/int/home/default.aspx?lang=tr>
(10.02.2010)
- [120] **Hoesch Contecna Systembau GmbH** <http://www.thyssen-solartec.com/pvsystem.html> (10.02.2010)
- [121] **SolarWorld AG- Sun Fix** www.solarworld.de (10.02.2010)
- [122] **Click Fit** www.click-fit.nl (10.02.2010)
- [123] **Energiebau Solarstromsysteme GmbH** www.energiebau.de (10.02.2010)
- [124] **Donauer Solartechnik Vertriebs GmbH** www.donauer.eu (10.02.2010)
- [125] **Solarstocc AG- QUICKSTOCC®**
www.netsolar.be/uploads/file/pdf/ConstoccII_englisch.pdf
(10.02.2010)
- [126] **Schletter GmbH- Fix 2000** www.schletter.de (10.02.2010)
- [127] **Schletter GmbH- KlickTop** www.schletter.de (10.02.2010)
- [128] **IBC SOLAR AG- TopFix100** www.abc-solar.de (10.02.2010)
- [129] **Schneefangsysteme REES GmbH & Co. KG.**
<http://www.rees-oberstdorf.de/en/products/solar-holders.html>
(10.02.2010)
- [130] **Conergy**
http://www.conergy.us/desktopdefault.aspx/tabid-163/822_read-8828/
(10.02.2010)
- [131] **Alfasolar-A2** <http://www.alfasolar.de/montagesysteme.html?&L=1>
(10.02.2010)

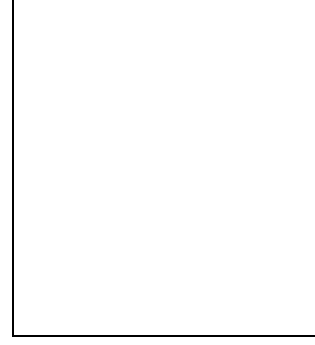
- [132] **Beck Solartechnik GmbH** www.beck-solar.de (10.02.2010)
- [133] **Creotecc- Klemens-frames**
www.creotecc.de/html/seiten/output_adb_file.php?id=388
(10.02.2010)
- [134] **Solare Energiesysteme Nord Vertriebs GmbH- SOL-50** www.sen.eu
(10.02.2010)
- [135] **Creotecc – CreoFix** www.creotecc.de (10.02.2010)
- [136] **Ubbink Econergy Solar** www.ubbinksolar.com (10.02.2010)
- [137] **Energiebau Solarstromsysteme GmbH- Lorenz Solo** www.energiebau.de
(10.02.2010)
- [138] **IBC Solar, InterSole** www.ibc-solar.de (10.02.2010)
- [139] **QUICKSOL DACHSCHIEFER-Photovoltaik-Modul INTEGRAL PLAN, Eternit** www.eternit.ch (10.02.2010)
- [140] **QUICK STEP® - Solar PV, Rheinzink** (10.02.2010)
- [141] **SUNSLATES® tile , Atlantis Energy** www.rheinzink.com (10.02.2010)
- [142] **Energiedach, Solar World** www.solarworld.de (10.02.2010)
- [143] **InDaX-V-170, Schott Solar** www.schottsolar.com (10.02.2010)
- [144] **SOLRIF® XL, Schweizer** www.schweizer-metallbau.ch (10.02.2010)
- [145] **Konut Müsteşarlığı Apk Daire Başkanlığı**, Nisan 2003: 2000 Yılı Bina Stokunun Yaş İtibariyledeğerlendirilmesi. (10.02.2010)
www.konut.gov.tr/html/raporveekleri/binastoku_rapor_bitis_yili.doc
- [146] **Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü**, Türkiye'de Güneş Enerjisi
<http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/tgunes.html> (10.02.2010)

EKLER

EK A.1 : Fotovoltaik Çatı Sistemi Tasarımı İçin Model Önerisi



ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Ayşe Mutlu

Doğum Yeri ve Tarihi: Tekirdağ, 19.08.1984

Adres: asemutlu@gmail.com

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi- Mimarlık Bölümü

Yayın Listesi:

- **Mutlu A.**, Türkeri N., 2010: Fotovoltaik Modüllerin Çatı Sistemleri ile Bütünleştirilmeleri ve İstanbul Örneği. 5. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, 15-16 Nisan 2010, Dokuz Eylül Üniversitesi - Mimarlık Fakültesi, Tınaztepe- İzmir, Türkiye.
- **Mutlu A.**, Türkeri N., 2010: Proposed Model for Design of Photovoltaic Mounted Steep Roof Systems and Case Study: Istanbul, Turkey. *2nd International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, SEB'10*, 6-7 Mayıs 2010, Brighton, İngiltere.
- **Mutlu A.**, Türkeri N., 2010: Proposed Model for Constructional Design of Photovoltaic Integrated Steep Roof Systems and Case Study: Istanbul, Turkey. *The 2010 CIB World Congress*, 10-13 Mayıs 2010, Salford, İngiltere.
- **Mutlu A.**, Türkeri N., 2010: Photovoltaic attached low-slope roof systems. *International Conference on Building Envelope Systems and Technologies (ICBEST) 2010*, 27-30 Haziran 2010, Vancouver, Kanada. (basılmak üzere kabul edildi)