DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİNALARDA AHŞAP-BETON KOMPOZİT DÖŞEMELERİN YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Berna YÜREKLİ

Aralık, 2015
İZMİR

BİNALARDA AHŞAP-BETON KOMPOZİT DÖŞEMELERİN YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi Programı

Berna YÜREKLİ

Aralık, 2015
İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

BERNA YÜREKLİ tarafından **YRD.DOÇ.DR. FAHRİYE HİLAL HALICIOĞLU** yönetiminde hazırlanan **"BİNALARDA AHŞAP-BETON KOMPOZİT DÖŞEMELERİN YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ"** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd.Doç.Dr. Fahriye Hilal HALICIOĞLU

Yönetici

Prof.Dr. Halit YAZICI

Jüri Üyesi

Yrd.Doç.Dr. İlker KAHRAMAN

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca her konuda gösterdiği ilgi ve destek için değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Fahriye Hilal HALICIOĞLU'na,

Eleştiri ve değerli katkılarından dolayı değerli jüri üyeleri Prof.Dr. Halit YAZICI'ya ve Yrd.Doç.Dr. İlker KAHRAMAN'a,

Yalnızca tez çalışmalarım sırasında değil her zaman yanımda olan, her türlü desteği esirgemeyen, sevgi ve motivasyon kaynağım canım aileme; annem Nurcan YÜREKLİ, babam Bekir YÜREKLİ, abim Berkan YÜREKLİ, ablam Duygu YÜREKLİ, yeğenlerim Bartu ve Ela YÜREKLİ'ye,

Hayatımda her zaman olan, beni hiçbir konuda yalnız bırakmayan tüm dostlarıma ve arkadaşlarıma,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Berna YÜREKLİ

BİNALARDA AHŞAP-BETON KOMPOZİT DÖŞEMELERİN YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZ

Ahşap-beton kompozit sistem ahşap ve betonun mekanik olarak bağlantı elemanlarıyla bağlanması ile oluşturulmuş bir sistemdir. Ahşap çekmeye çalışırken beton basınca çalışarak birbirini dengeleyen bu sistem, tek başlarına yapıda kullanılmalarına oranla kompozit halde daha verimli olmaktadırlar. Bağlantıyı sağlayan elemanlar ise bu sistemin en can alıcı noktalarıdır. Farklı bağlantı elemanlarıyla kompozitin davranışı değişim göstermektedir. Ahşap döşemelerin yenilenmesinde ortaya çıkan bu sistem daha sonradan yeni yapılan yapılarda da yer edinmiştir. Farklı alanlarda kullanımı mevcut olan bu sistem en çok döşeme olarak kullanımıyla bilinir. Ahşap-beton kompozit döşeme ahşap döşeme ve betonarme döşemeye göre birçok açıdan daha avantajlıdır. Avantajları ve dezavantajları bulunan bu sistemin gün geçtikçe yaygınlaşmakta fakat her ülkede kullanılmamakta olduğu dikkat çekicidir.

Anahtar kelimeler: Ahşap, beton, kompozit, döşeme, bağlantı elemanı

EXAMINATION OF STRUCTURAL FEATURES OF TIMBER-CONCRETE COMPOSITE FLOORS IN BUILDINGS

ABSTRACT

Timber-concrete composite is a system formed by connecting the timber and the mechanical fastener of the concrete. While timber work trying to tensile, the concrete work trying to pressure and balance the each other. Compared to the use of composite structures alone are more efficient state. The elements that connect the most crucial point of this system is. The behavior of the composite varies with different fasteners. Renovation of the wooden flooring in this emerging system also has a place later in the newly constructed building. Available for use in different fields with the use of this system known as the floor. Timber-concrete composite floor by wooden flooring and concrete slab is advantageous in many ways. Advantages and disadvantages of this system which is spreading day by day but it is noteworthy that it is being used in every country.

Keywords: Timber, concrete, composite, floor, shear connector

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU ii
TEŞEKKÜR iii
ÖZ iv
ABSTRACT v
ŞEKİLLER LİSTESİ ix
TABLOLAR LİSTESİ xiv

BÖLÜM BİR-GİRİŞ 1

1.1 Problemin Tanımı 2
1.2 Araştırmanın Hedefi ve Amaçları 3
1.3 Araştırmanın Kapsamı 4
1.4 Araştırmanın Yöntemi 4
1.5 Çalışmanın Yapısı 4

BÖLÜM İKİ-AHŞAP-BETON KOMPOZİT SİSTEMLER 6

2.1 Ahşap-Beton Kompozit Sistem Tanımı 6
2.2 Ahşap-Beton Kompozit Sistemin Tarihsel Gelişimi 6
2.2.1 İlk Ahşap-Beton Kompozit Bağlantı Elemanları 8
2.2.2 Eski Ahşap Yapıların ve Ahşap Köprülerin Güçlendirilmesi 10
2.3 Ahşap-Beton Kompozit Sistemin Kompozit Davranışı 11
2.4 Ahşap-Beton Kompozit Sistemin Teorik Modelleri 14
2.4.1 Eurocode 5 "γ Yöntemine" Göre Tasarım Modeli 15
2.4.2 Kısa ve Uzun Vadeli Doğrulamalar 15
2.5 Ahşap-Beton Kompozit Sistem Çeşitleri 16
2.5.1 Ahşap-Beton Kompozit Sistemin Üretimine Göre Çeşitleri 16
2.5.1.1 HBV Sistem 16
2.5.1.2 M Kesit Sistem 17
2.5.1.3 SEPA 2000 Sistem 19

2.5.2 Ahşap-Beton Kompozit Sistemin Kullanım Bakımından Çeşitleri 20
2.5.2.1 Ahşap-Beton Kompozit Döşeme 20
2.5.2.2 Ahşap-Beton Kompozit Duvar 21
2.5.2.3 Ahşap-Beton Kompozit Çatı 23
2.5.2.4 Ahşap-Beton Kompozit Modül Ev 26
2.6 Ahşap-Beton Kompozit Sistemde Ahşap-Beton Bağlantı Elemanları 28
2.6.1 Epoksi Yapıştırılmış Kesintisiz Bağlantı Elemanları 29
2.6.2 Yapıştırılmış Bağlantı Elemanları 31
2.6.3 Dikey, Eğimli Çivili, Vidalı, Civatalı ve Yatay Bağlantı Elemanları 32
2.6.4 Delikli Metal Plaka Bağlantı Elemanları 37
2.6.5 Dübelli ve Dübelsiz Çentik Tipi Bağlantı Elemanları 40
2.6.6 Mekanik Kesintisiz Bağlantı Elemanları 47
2.7 Ahşap-Beton Kompozit Sistemin Kullanım Alanları 48
2.7.1 Binalarda Kullanımı 49
2.7.1.1 Binaların yenilenmesinde Kullanımı 49
2.7.1.2 Yeni Yapılan Binalarda Kullanımı 51
2.7.2 Köprülerde Kullanımı 51
2.7.2.1 Plak Döşeme Köprü 52
2.7.2.2 Kirişli Döşeme Köprü 54
2.8 Ahşap-Beton Kompozit Sistemin Avantajları ve Dezavantajları 55

BÖLÜM ÜÇ-AHŞAP-BETON KOMPOZİT DÖŞEMELER 57

3.1 Ahşap-Beton Kompozit Döşeme Çeşitleri 57
3.1.1 Yapısal Ahşap-Beton Kompozit Döşemeler 57
3.1.1.1 Kirişli Ahşap-Beton Kompozit Döşeme 57
3.1.1.2 Kaburga Ahşap-Beton Kompozit Döşeme 59
3.1.1.3 Plak Ahşap-Beton Kompozit Döşeme 60
3.1.2 Özelleşmiş Ahşap-Beton Kompozit Döşemeler 62
3.1.2.1 Akustik Ahşap-Beton Kompozit Döşeme 62
3.1.2.2 Boşluklu Kutu Ahşap-Beton Kompozit Döşeme 63
3.1.2.3 Kutu Ahşap-Beton Kompozit Döşeme 64

3.2 Ahşap-Beton Kompozit Döşemenin Mekanik Özellikleri 66
3.3 Ahşap-Beton Kompozit Döşemenin Bağlantı Detayları 67
3.3.1 Modüllerin Bağlantı Detayları 68
3.3.2 Binanın Ana Taşıyıcı Sistemiyle Bağlantı Detayları 73
3.3.2.1 Yığma Yapıda Bağlantı Detayları 74
3.3.2.2 Betonarme Karkas Yapıda Bağlantı Detayları 78
3.4 Ahşap-Beton Kompozit Döşeme Örnekleri 82
3.4.1 Köprülerden Örnekler..... 82
3.4.2 Yeni Yapılan Binalardan Örnekler..... 85

BÖLÜM DÖRT-SONUÇLAR 92

KAYNAKLAR ..... .97

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Vihantasalmi köprüsü 7
Şekil 2.2 Vihantasalmi köprüsünün döşemesi..... 8
Şekil 2.3 Richart ve Williams tarafından test edilen kompozit kirişlerin detayları 9
Şekil 2.4 Ahşap-beton kompozit sistem kullanılarak Orta Çağ Avrupası döneminde inşa edilmiş bir taş binanın mevcut ahşap döşemenin güçlendirme örneği10
Şekil 2.5 (a)Ahşap kiriş ve beton plaka arasında rijit bağlantılı, (b) şekli değiştirilebilir bağlantılı, (c) sıfır bağlantılı kompozit yapılar için gerilme şemaları 12
Şekil 2.6 HBV sistem..... 17
Şekil 2.7 Yarı prefabrik ahşap-beton kompozit döşeme sistemi..... 17
Şekil 2.8 Yarı prefabrik "M" kesitli panel 18
Şekil 2.9 M kesit sistem..... 19
Şekil 2.10 SEPA 2000 sistem 19
Şekil 2.11 Ahşap-beton kompozit duvar katmanları..... 21
Şekil 2.12 Ahşap-beton kompozit duvar..... 22
Şekil 2.13 Ahşap-beton kompozit duvar..... 22
Şekil 2.14 Ahşap-beton kompozit duvar..... 23
Şekil 2.15 Ahşap-beton kompozit çatı katmanları 24
Şekil 2.16 Ahşap-beton kompozit çatı 24
Şekil 2.17 Ahşap-beton kompozit çatı 25
Şekil 2.18 Ahşap-beton kompozit çatı 25
Şekil 2.19 Ahşap-beton kompozit modül ev kesiti 26
Şekil 2.20 Ahşap-beton kompozit modül ev kesiti 27
Şekil 2.21 Ahşap-beton bağlantılar..... 28
Şekil 2.22 Piazza ve Ballerini tarafından test edilen örneklerin geometrisi 29
Şekil 2.23 Ahşaba yapıştırılan çelik sac..... 30
Şekil 2.24 Prefabrik ahşap-beton kompozit döşeme panelleri örneği..... 30
Şekil 2.25 Ahşaba yapıştırılan bükülmüş dübeller..... 31
Şekil 2.26 Ahşaba yapıştırılmış çelik dübelli beton bodur dübel..... 31
Şekil 2.27 Stadler VB vida 48-7,5 x 100 32

Şekil 2.28 Yatay yönde eğimli düzendeki Stadler VB vidaları 33
Şekil 2.29 Meierhofer tarafından açıklanan eğilme testlerindeki bağlayıcıların düzenleri..... 33
Şekil 2.30 Çapraz vidalı ahşap-beton bağlantı..... 34
Şekil 2.31 Ahşap döşemelerin güçlendirilmesi için vidalı bağlantı elemanları: doğrudan temas bağlantısı (a) ve döşeme tahtasıyla bağlantı (b) 36
Şekil 2.32 Düz çelik bağlayıcı 37
Şekil 2.33 Delikli metal plaka bağlantı elemanlarına sahip ahşap-beton bağlantı..... 38
Şekil 2.34 Çivi-plaka bağlayıcı tipi..... 38
Şekil 2.35 VTT yerinde ahşap-beton kompozit çok katlı ev döşeme sisteminin kesiti39
Şekil 2.36 VTT ahşap-prefabrik beton kompozit çok katlı ev döşeme sisteminin kesiti 39
Şekil 2.37 Kesme dişi-çukurlar..... 40
Şekil 2.38 Oluklu deliklere ve dübellere sahip ahşap-beton bağlantı 41
Şekil 2.39 Beton bodur dübeller 41
Şekil 2.40 LVL'de oluklu çentiklere sahip ahşap (LVL)-beton bağlantı..... 42
Şekil 2.41 Kesme dişi/bağlantı noktası bağlantı detayları 44
Şekil 2.42 Kuhlmann ve Michelfelder tarafından incelenen olukların geometrisi 44
Şekil 2.43 Deam ve diğer. tarafından test edilen çentikli bağlayıcıların özellikleri .. 45
Şekil 2.44 Deam ve diğer. tarafından test edilen mekanik bağlayıcıların özellikleri 46
Şekil 2.45 Yarı prefabrik "M" kesitli panel 47
Şekil 2.46 Vidalarla ahşaba sabitlenen bükülmüş ve delikli çelik sac..... 47
Şekil 2.47 İnce döşeme profili 48
Şekil 2.48 Döşeme yenilemesi şematik gösterimi..... 49
Şekil 2.49 Döşeme yenilemesinde bağlantı elemanı..... 50
Şekil 2.50 Döşeme yenilemesinde donatıların yerleştirilmesi 50
Şekil 2.51 Döşeme yenilemesi beton dökümü 51
Şekil 2.52 Plak döşeme köprü..... 52
Şekil 2.53 Plak döşeme köprünün üretim tesisinde yapımı 52
Şekil 2.54 Plak döşeme köprünün taşınması..... 53
Şekil 2.55 Plak döşeme köprü..... 53
Şekil 2.56 Kirişli döşeme köprü..... 54

Şekil 2.57 Kirişli döşeme köprüde hazır betonla uygulama 54
Şekil 2.58 Kirişli döşeme köprü 55
Şekil 3.1 Kirişli ahşap-beton kompozit döşemede tabakalar 57
Şekil 3.2 Kirişli ahşap-beton kompozit döşeme alttan görünümü 58
Şekil 3.3 Kirişli ahşap-beton kompozit döşeme modülü 58
Şekil 3.4 Kaburga ahşap-beton kompozit döşeme tabakaları 59
Şekil 3.5 Kaburga ahşap-beton kompozit döşeme taşınması 59
Şekil 3.6 Kaburga ahşap-beton kompozit döşemenin üretim tesisinde üretimi 60
Şekil 3.7 Plak ahşap-beton kompozit döşemenin tabakaları 60
Şekil 3.8 Plak ahşap-beton kompozit döşeme görünümü 61
Şekil 3.9 Plak ahşap-beton kompozit döşeme modülü 61
Şekil 3.10 Akustik ahşap-beton kompozit döşeme tabakaları 62
Şekil 3.11 Akustik ahşap-beton kompozit döşeme modülü 62
Şekil 3.12 Akustik ahşap-beton kompozit döşeme 63
Şekil 3.13 Boşluklu kutu ahşap-beton kompozit döşeme tabakaları 63
Şekil 3.14 Boşluklu kutu ahşap-beton kompozit döşeme 64
Şekil 3.15 Kutu ahşap-beton kompozit döşeme tabakaları 64
Şekil 3.16 Kutu ahşap-beton kompozit döşeme modülleri 65
Şekil 3.17 Kutu ahşap-beton kompozit döşeme beton dökümü 65
Şekil 3.18 Kutu ahşap-beton kompozit döşemelerin depolanması 66
Şekil 3.19 Ahşap-beton kompozit bağlantı elemanlarının karşılaştırılması 67
Şekil 3.20 TxDOT yanal bağlantı 68
Şekil 3.21 CTC tarafından yapılan çift t profilden çift t profile bağlantı 69
Şekil 3.22 CTC tarafından yapılan çift t profilden çift t profile bağlantı 69
Şekil 3.23 Mekanik bağlayıcılı ön dökümlü, ön gerilmeli çift t profilli döşeme sistemi 70
Şekil 3.24 ACI komitesine göre ek yeri düzeneği 70
Şekil 3.25 ACI komitesine göre ek yeri düzeneği 70
Şekil 3.26 Üst üste bindirilmiş çubuklar ve yerinde döküm beton üst kaplamadan oluşan enlemesine bağlantı 71
Şekil 3.27 Plaka kenarının neredeyse dik olarak (5° - 10°) kesimi ve sızdırmazlık malzemesi ile doldurulması 71

Şekil 3.28 Plaka kenarına gömülü çelik levhalar arasına yerleştirilmiş parça ve sızdırmazlık malzemesi ile son dolum 72
Şekil 3.29 Harçla yapılmış panelden panele bağlantı 72
Şekil 3.30 30 cm eninde üst kaplama betonunun dökümü ile gerçekleştirilen enine ek yeri 73
Şekil 3.31 Wood Beton tarafından gerçekleştirilen enine ek yerinin kesiti 73
Şekil 3.32 Yığma yapıda bağlantı- plan 74
Şekil 3.33 Yığma yapıda bağlantı- 1 Detayı 75
Şekil 3.34 Yığma yapıda bağlantı- 1 Detayı 76
Şekil 3.35 Yığma yapıda bağlantı -2 Detayı 77
Şekil 3.36 Yığma yapıda bağlantı- 3 Detayı 77
Şekil 3.37 Betonarme karkas yapıda bağlantı-plan 78
Şekil 3.38 Betonarme kirişin ahşap kirişle aynı seviyede olduğu bağlantı 79
Şekil 3.39 Betonarme kirişin ahşap kirişin alt seviyesinde olduğu bağlantı 80
Şekil 3.40 Betonarme kirişin ahşap kirişin üst seviyesinde olduğu bağlantı 81
Şekil 3.41 Betonarme kirişin ahşap kirişin üst seviyesinde olduğu bağlantı 82
Şekil 3.42 Maria River Köprüsü tabakaları 83
Şekil 3.43 Maria River Köprüsü en kesiti 83
Şekil 3.44 Maria River Köprüsü alttan görünüm 84
Şekil 3.45 Winschoten Köprüsü 84
Şekil 3.46 Winschoten Köprüsü projesi 85
Şekil 3.47 Winschoten Köprüsü kesiti 85
Şekil 3.48 Ofis binası döşemesi kesiti 86
Şekil 3.49 Ofis binası döşemesi boyutları 86
Şekil 3.50 Ofis binası döşemesi bağlantı elemanları 86
Şekil 3.51 Ofis binası döşemesi etriye döşenmesi 87
Şekil 3.52 Ofis binası döşemesi beton dökümü 87
Şekil 3.53 Modül ev planları 88
Şekil 3.54 Modül ev kesitleri 88
Şekil 3.55 Modül ev görünüşleri 89
Şekil 3.56 Modül ev görünüşü 89
Şekil 3.57 Modül ev sistem kesiti 89

Şekil 3.58 İlkokulun duvarlarının dıştan görünümü 90
Şekil 3.59 İlkokul için ahşap-beton kompozit döşeme kesiti..... 90
Şekil 3.60 İlkokul için ahşap-beton kompozit döşeme yapımı 91

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 Yerinde dökme ve prefabrik (eleman) VTT ahşap-beton döşeme sistemleri için 600 mm aralıklı maksimum izin verilebilir açıklık 40

Tablo 3.1 Farklı bağlantı elemanı tipleri için nihai yük ve kayma modülü 66

BÖLÜM BİR
GİRİŞ

Ahşap-beton kompozit sistem eski ahşap binaların yenilenmesinde ve yeni yapılarda (binalar ve köprülerde) kullanılan bir yapım tekniğidir. Bu sistem ahşap kirişin beton tabaka ile direkt bağlantısıyla ya da kiriş ile beton tabaka arasında ahşap kalıbın bırakılmasıyla oluşmaktadır. Bu mekanik bağlantı; çiviler, vidalar ve ahşaba gömülü veya ahşapta çentikli ya da her ikisinin de olduğu metal plakalar ile sağlanmaktadır. Bu sistemde ahşap kirişler çekme kuvvetine maruz kalırken beton da basınç kuvveti altındadır.

Ahşap-beton kompozit sistem hem yığma yapılarda hem de karkas yapılarda kullanılabilen bir sistemdir. Yapıda döşeme levhaları, çatı ve duvar gibi yapı elemanlarının inşasında kullanılan bu kompozit sistemde ahşap bir gövde ile beton tabaka ve bunun yanında, ahşap ve beton arasına yerleştirilmiş bir izolasyon tabakası vardır.

Ahşap-beton kompozit sistem diğer sistemlere göre birçok avantaj sağlamaktadır. Örneğin; ahşap-beton kompozit sistem geleneksel ahşap döşemelere göre daha rijit, daha güçlü, daha iyi deprem ve yangın dayanımı ve daha iyi bir akustik sağlamaktadır. Betonarme döşemeye göre ise ağırlığın azalması sebebiyle temele inen yükün azalması depreme dayanımı arttırırken ahşabın estetik görünümü sayesinde mimari açıdan ahşap-beton kompozit döşemeyi daha avantajlı hale getirir.

Ahşap ve betonun bir arada kullanılmasıyla sadece ahşap ya da sadece betonarme yapıya göre taşıyıcılık ve kullanım açılarından avantajı artarken, yeni yapılarda kullanılmasının yanında eski yapıların güçlendirilmesinde de kullanılabilmesi ahşap-beton kompozit sistemin tercih edilmesini arttırmaktadır.

Birçok ülkede tercih edilen ahşap-beton kompozit sistem ülkemizde henüz uygulama alanı bulamamıştır. Ahşap-beton kompozit sistem Avrupa'da eski ahşap

döşemelerin yenilenmesinde, Amerika'da az katlı konutlarda, Yeni Zelanda'da çok katlı konutlarda kullanılmaktadır (Yeoh, 2010).

1.1 Problemin Tanımı

Günümüzde ahşap-beton kompozit sistemde gelişmeler devam etmekte ve bu sistem birçok gelişmiş ülke tarafından kullanılmaktadır. Ahşap-beton kompozit döşemelerin kullanımının yoğun olduğu ülkeler; ABD, Avusturalya, Yeni Zelanda, Brezilya, Kuzey Avrupa ve Orta Avrupa ülkeleridir. Bu ülkelerde kullanılma sebeplerine bakacak olursak:

- ABD'de ahşap-beton kompozit döşemeler, temelde ekonomik sebepler için deneysel döşemelerin yapılması ile ilgili Washington Üniversitesi'nin 1930'larda bir araştırma programı ile teşvik edilmiştir. 1930-1950 yılları süresince ahşap-beton kompozit döşemeler ABD'de kullanılmıştır.

- Avustralya'da ahşap-beton kompozit döşemeler 1950'lerden bu yana kullanılmakta olup bu kompozit döşemeler Amerika Birleşik Devletleri Ordusu tarafından getirilmiş ve teşvik edilmiştir. Avustralya ve Yeni Zelanda'daki orman otoriteleri tarafından, yerel yuvarlak odun türleri ile ahşap-beton kompozit döşeme yapımını geliştirmek için düzenlenen araştırma programları ile geliştirilmiştir. Avustralya'da ve Yeni Zelanda'da bu döşemelerinin başarılı olması; ekonomik sebepler, yapılaşmada ahşabın geleneksel kullanımı ve kamu otoritelerinin desteği sonucunda ortaya çıkmış gibi görünmektedir (Rodrigues ve diğer.,2013).

- Brezilya'da ahşap-beton kompozit köprü 1974 yılında São Paulo'da yapılmıştır ve bunu 2000 yılına kadar yapılan birkaç köprü izlemiştir. Bu deneyimin başarısından teşvik alarak São Paulo Üniversitesi son on yıl içinde "São Paulo Eyaleti Gelişen Ahşap Köprü Programı" isimli bir araştırma programı başlatmıştır. Bu programın ana amacı, diğer yapısal malzemeler ile kıyaslandığında avantajlı olabilecek olan rekabetçi maliyet ve dayanıklılığa sahip köprüler tasarlamaktı. Son on yıl süresince komşu yollar için sekiz yeni ahşap-beton kompozit köprü yapılmıştır ve bu

köprülerin tamamı Sao Paulo Üniversitesi Ahşap ve Ahşap Yapılar Laboratuvarı tarafından tasarlanmıştır.

- Kuzey Avrupa'da ahşap-beton kompozit döşeme yapımı 2000'li yıllarda başlamıştır ve kamu otoriteleri tarafından desteklenen üniversite araştırmaları ile geliştirilmiştir. İskandinav Avrupa ülkelerinde çelik ve beton döşemeler yerine daha çok ahşap döşemeler yapılmasını amaçlayan bir örnek çalışma "İskandinav Ahşap Köprü Projesi"dir. Bu program bu ülkelerde çok sayıda ahşap köprü yapılması için bir temel teşkil etmiştir. Ancak ahşap-beton kompozit sistemi sadece Finlandiya'da uygulanmıştır.

- Orta Avrupa'da ahşap-beton kompozit döşemelerin uygulanması 1990'larda gerçekleşmiştir. İsviçre bu yapısal çözümün kullanımında öncü olmuştur ancak diğer Avusturya, Fransa, Almanya ve Lüksemburg gibi diğer Orta Avrupa ülkeleri ahşap-beton kompozit sistem döşemeleri sahiplenmişlerdir. İskandinav Avrupası'nda olanların aksine, Orta Avrupa'da kompozit sistemin tercih edilmesi belirgin bir şekilde hiçbir araştırma projesi sonucu olmamıştır. Döşeme yapımında ahşabın benimsenmesinin ana sebebi çevresel koruma için giderek artan farkındalıktır.

Gün geçtikçe yaygınlaşan ahşap-beton kompozit sistemin ülkemizde henüz kullanılmıyor olmasına rağmen önemli bir kullanım potansiyeline sahip olduğu düşüncesi ile bu çalışmaya başlanmıştır.

1.2 Araştırmanın Hedefi ve Amaçları

Araştırmanın hedefi, Türkiye'de henüz bilinmeyen ve kullanılmayan ahşap-beton kompozit sistemin yapısal özelliklerini incelemek ve binalarda kullanım olanaklarını irdelemektir.

Bu hedef doğrultusunda araştırmanın amacı;

- Ahşap-beton kompozit sistemin tanımlanması ve genel özelliklerinin incelenmesi,
- Ahşap-beton kompozit döşemelerin özelliklerinin incelenmesi,

- Ahşap-beton kompozit döşemelerin Türkiye'de kullanımının oluşması ve artmasına yönelik önerilerin geliştirilmesidir.

1.3 Araştırmanın Kapsamı

Araştırmada öncelikle ahşap-beton kompozit sistem tanımlanarak genel hatlarıyla ele alınmaktadır. Ahşap-beton kompozit sistemin çeşitlerinden olan ve en çok kullanım alanı bulunan "ahşap-beton kompozit döşemeler" bu tezde mekanik özellikleri ve bağlantı detayları bakımından ele alınarak uygulama alanlarına değinilmektedir. Son olarak Türkiye'de kullanımına yönelik öneriler sunulmaktadır.

1.4 Araştırmanın Yöntemi

Bu çalışma hedef ve amaçları doğrultusunda literatür incelemesine dayalı bir yöntemle oluşturulmuştur. Kaynakların toplanması aşamasında konu ile ilgili Türkçe kaynağın bulunmadığı görülmüştür. Bunun sonucu olarak yurt dışı kaynaklarına başvurulmuştur. Daha önce yapılmış tez çalışmaları, makaleler, yayımlanmış kitaplar, veritabanları ve internet kaynaklarından elde edilen bilgilerden yararlanılarak literatür taramaları yapılıp tezin hedef ve amaçlarına uygun olarak bir araya getirilerek tez oluşturmuştur.

1.5 Çalışmanın Yapısı

Araştırmanın birinci bölümünde problem tanımlanarak çalışmanın hedef, amaç, kapsam ve yöntemleri anlatılmaktadır.

İkinci bölümde ahşap-beton kompozit sistem tarihsel gelişimi, çeşitleri, kullanım alanları açısından incelenerek avantajları ve dezavantajları açısından değerlendirilmektedir.

Üçüncü bölümde ahşap-beton kompozit döşemeler detaylı bir şekilde anlatılmaktadır. Bu bölümde çeşitleri, mekanik özellikleri, bağlantı detayları, uygulamaları açıklanmaktadır.

Dördüncü bölümde tüm çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar açıklanmakta ve yapılan genel bir değerlendirme ile ahşap-beton kompozit sistemin ülkemizde kullanımına yönelik önerilerde bulunulmaktadır.

BÖLÜM İKİ
AHŞAP-BETON KOMPOZİT SİSTEMLER

2.1 Ahşap-Beton Kompozit Sistem Tanımı

Ahşap-beton kompozit sistem, farklı tipte bağlantı elemanları kullanılarak ahşap kiriş ya da platformun bir üst beton platforma bağlantısı yapılarak oluşturulan bir sistemdir. Çekme kuvvetlerine ahşabın, basınca ise beton üst platformun dayanım göstermesi sayesinde, her iki malzemenin de en iyi özelliklerinden faydalanılmaktadır. Katmanlar arası bağlantı sayesinde iki malzeme arasında sağlanan etkin kompozit birleşimin sonucu olarak, orta ve uzun açıklıklı (7 ile 15 metre) döşeme sistemleri inşa edilebilmektedir.

Bu sistemin etkin olabilmesi için Yeoh (2010) üç adet temel tasarım kriterinin yerine getirilmesi gerektiğini vurgulamıştır:
1) Her iki bileşenin de etkin biçimde hareket edebilmesini sağlamak için, beton tamamen sıkıştırılmış, bu yüzden çatlamamış ve ahşap da çekme gerilimine maruz kalmış şekilde olmalıdır ve kompozit çapraz kesitin tarafsız ekseni, ahşap-beton ara yüz yakınında bulunmalıdır,
2) Bağlantı sistemi, öngörülen kesme kuvvetini aktarabilecek ve etkin bir kompozit harekette bulunacak mukavemette ve rijitlikte olmalıdır,
3) Ahşap parça (ayrı ayrı çivilenmiş ahşaplardan oluşan kiriş veya tek platform), kompozit üzerine uygulanan yerçekimi yüklerinden kaynaklanan çekme kuvvetlerine dayanacak mukavemette olmalıdır.

Ahşap-beton kompozit sistemin davranış ve tasarım yöntemlerini bilmek bu sistemin doğru bir şekilde üretilebilmesi ve kullanılabilmesi açısından önemlidir.

2.2 Ahşap-Beton Kompozit Sistemin Tarihsel Gelişimi

Beton plak ve ahşap kirişler arasındaki bağlantı sağlayacak çiviler ve çelik mesnetler sisteminin patenti Muller (1922) tarafından alınmıştır. Bunun ardından

1939 yılında, ara katman bağlantı sistemi olarak çelik Z profillerinin ve I profillerinin patent başvurusu İsviçre'de yapılmıştır (Schaub, 1939). Ahşap-beton kompozit uygulaması, esasen Almanya'daki Leipzig gibi farklı Avrupa şehirlerindeki tarihi binalar için bir tadilat tekniği olmuştur (Holschemacher ve diğer., 2002). Ancak, ilk zamanlarda tasarlanan döşemeler, mevcut yönetmeliklere uymamış ve ses yalıtımı ile yangın direnci bağlamında yapı fiziğinin gerekliliklerini karşılayamamıştır.

Son 50 yılda ahşap-beton kompozit sistemlere olan ilgi artmış ve bu da köprülerin inşasına (Amerika Birleşik Devletleri, Yeni Zelanda, Avustralya, İsviçre, Avusturya ve İskandinav ülkeleri), mevcut ahşap döşemelerin güçlendirilmesine (Avrupa) ve yeni binaların yapımına yol açmıştır (Natterer ve diğer., 1996). En önemli örneklerden biri, 168 metre açıklıkta, 11 metre eninde taşıt yolu ve 3 metre yaya yoluna sahip olan, 1999'da Finlandiya'da inşa edilmiş Vihantasalmi köprüsüdür (Şekil 2.1 ve 2.2).



Şekil 2.1 Vihantasalmi köprüsü (Vihantasalmi Köprüsü, 2015).



Şekil 2.2 Vihantasalmi köprüsünün döşemesi (Vihantasalmi Köprüsü, 2015).

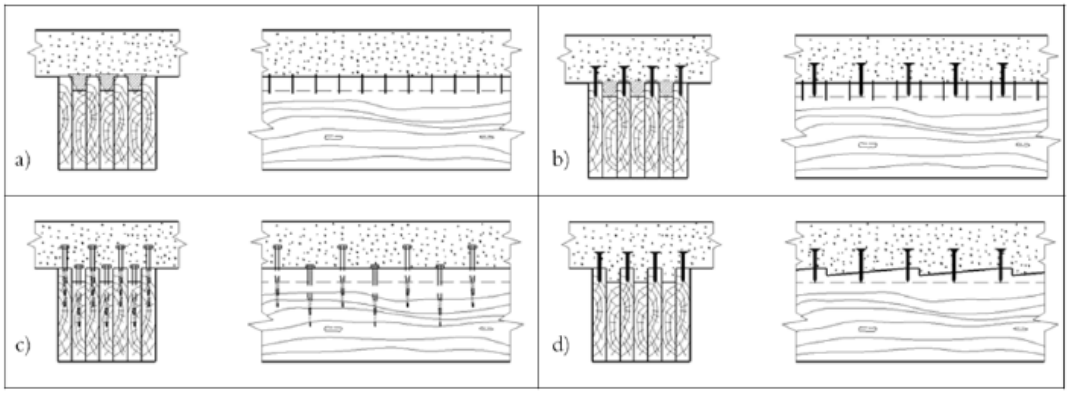
1990'ların başından beri Ahşap-beton kompozit tipi inşaat, İtalya dahil bazı Avrupa ülkelerinde kendine önemli yapı uygulamaları bulmuştur (Turrini ve Piazza, 1983). Uygulamalar arasında mevcut ahşap döşemelerin tadilatı, yeni binalar için döşemeler ve ahşap köprüler için platform sistemi vardır. (Natterer ve diğer., 1996; Mettern, 2003). Kompozit köprü örnekleri ayrıca kompozit tasarım ve inşaat, 1944 yılında Amerikan Devlet Karayolu ve Taşımacılığı Yetkilileri Derneği Şartnamesine girdikten sonra (Cook, 1976); ilk deneysel köprünün 1957 yılında Yeni Zelanda Orman Hizmetleri için Kaingaroa Ormanı'nın kuzey sınırı yakınındaki Mangahareke Nehri boyunca inşa edildiği Yeni Zelanda'da (Cone, 1963) ve ilk büyük kompozit sistemin 1950'lerde Yeni Güney Galler'deki Pasifik Karayolu üzerindeki bir karayolu köprüsü üzerine Maria Nehri üzerinden inşa edildiği Avustralya'da (Benitez, 2000) bulunabilir.

2.2.1 İlk Ahşap-Beton Kompozit Bağlantı Elemanları

Kompozit sistemler üzerindeki geniş çaplı ilk eğilme testlerinin bazıları, 1938 ile 1942 arasında Talbot Laboratuarı, Illinois Üniversitesi'nde (ABD), farklı bağlantı

elemanlarını karşılaştırmak amacıyla 32 adet kompozit kiriş üzerinde yapılmıştır (Costa, 2011).

Bu testlerde kullanılan bağlantı elemanları; 101,6 mm (40 in.) uzunluğunda yanlara sahip üçgen çelik levhalar (Şekil 2.3 a) (bir durumda 15° içe doğru, orta aralıklı), büyük çivilerle desteklenen ve bağlantı görevi gören üçgen çelik levhalar (Şekil 2.3 b), dikey sac vidaları veya demiryolu çivileri (Şekil 2.3 c) (ayrıca 45° eğimli) ve büyük çivili veya çivisiz eğimli çentiklerdir. (Şekil 2.3 d).



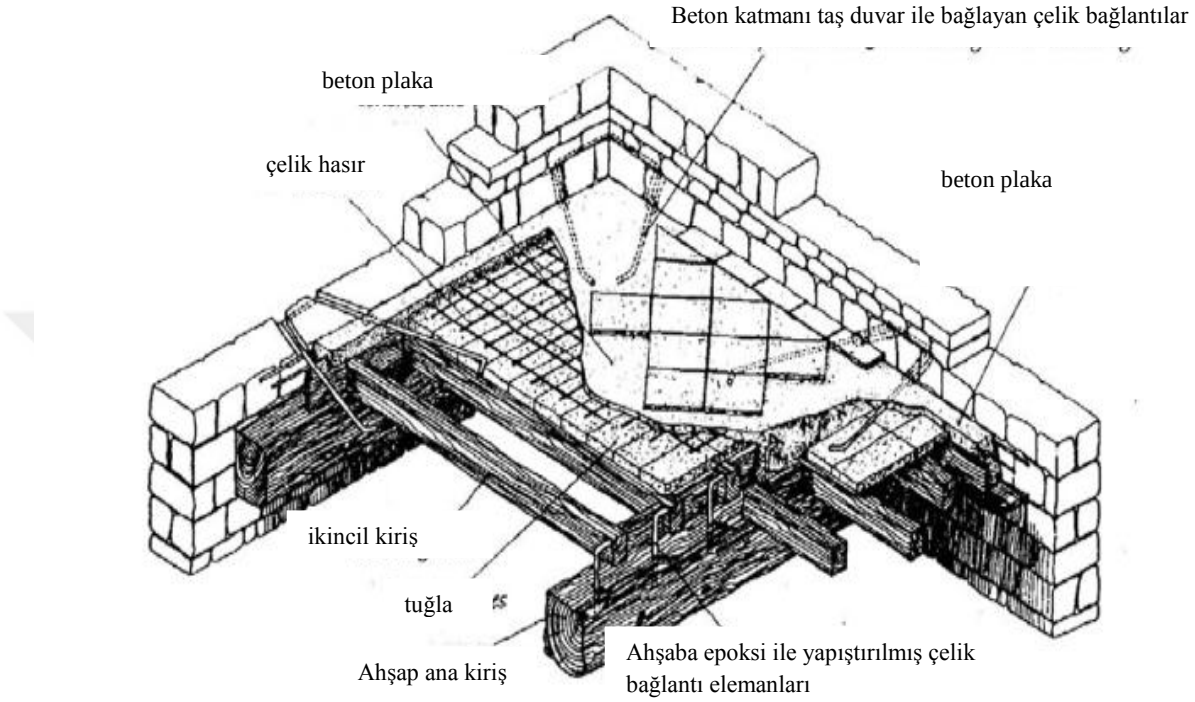
Şekil 2.3 Richart ve Williams tarafından test edilen kompozit kirişlerin detayları: (a) üçgen plakalar, (b) üçgen plakalar ve büyük çiviler, (c) sac vidaları veya çivileri, (d) eğimli çentikli ve büyük çivili (Costa, 2011)

Üçgen plaka ünitelerine ve büyük çivilere sahip kirişler, grup olarak en iyi sonuçları vermiştir. Yüksek yük taşıma kapasiteleri ile tamamlayıcı kiriş hareketine sahip olarak ufak kaymalar ve sapmaları göstermiştir. Diğer bağlantı elemanlarının çoğu, oldukça güçlü mukavemet ve rijitlik göstermiştir (Costa, 2011).

Richart ve Williams aynı zamanda ahşap-beton kompozit yapılar üzerinde yapılan uzun vadeli testlerin de öncüsü olmuşlardır. Elde ettikleri ana sonuç, kompozit kirişin iki malzemesinin iki buçuk yıllık bir süre içindeki hacim değişikliğindeki farklılıkların (büzülme veya genleşme), imalattan 28 gün sonra test edilen kirişlere kıyasla, kirişlerin mukavemeti üzerinde çok az veya sıfır etkiye sahip olduğudur.

2.2.2 Eski Ahşap Yapıların ve Ahşap Köprülerin Güçlendirilmesi

Ahşap-beton kompozit sistemin ilk örnekleri Avrupa'daki bazı ülkelerde eski taş yapıların ahşap döşemelerinde güçlendirme amaçlı kullanımlarında dikkat çekmektedir (Ceccotti, 1995).



Şekil 2.4 Ahşap-beton kompozit sistem kullanılarak Orta Çağ Avrupası döneminde inşa edilmiş bir taş binanın mevcut ahşap döşemenin güçlendirme örneği (Ceccotti,1995)

Tarihi binalardaki ilk uygulamalardan biri, eski Çekoslovakya'da, Bratislava'da, 1960 yılında yapılmıştır. (Postulka, 1983) Ahşap döşemelerin güçlendirilmesi için 6,3 x 180 mm uzunluğundaki çivilerin kullanıldığı sistem, yük kapasitesinde ve rijitlikte dört kat artış sağlamış ve bunu yeni bir döşeme inşasının getireceği maliyetin yarısına sağlamıştır. Godycki ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada (1984), Lodz, Polonya'da çivi ile birleştirilmiş beton kullanarak 10000 m^2'den fazla döşemenin güçlendirilmesi açıklanmıştır. Turrini ve Piazza (1983), yaptıkları çalışmada, döşeme üzerine dökülen beton katman ile ahşaba yapıştırılmış çelik dübeller kullanarak İtalya'daki tarihi binaların güçlendirilmesini açıklamaktadırlar.

Van der Linden ve Blass (1996) tarafından sunulan İtalya'daki tarihi binaların diğer tadilatlarında kayıp kalıp olarak oluklu metal plakalar kullanılmıştır. Bunlara ilaveten, beton plaka ve betona gömülmüş ve ahşaba çivilenmiş L şekilli bir metal sacın çivilendiği plaka ekleyerek eski ahşapların tadilat tekniği de tarif edilmiştir.

Tarihi binalardaki ahşap döşemeler, bu şekilde düzeltilebilen güçlendirme ihtiyacındaki tek yapılar değildir. Örneğin; eski ahşap yapının üst kısmına bir beton katmanın eklenebileceği birçok bozulmuş kısa açıklıklı ahşap köprüler vardır ve Avustralya'da 1950'ler ve 80'ler arasında uzunlukları 6 ile 37,3 m arasında değişen ahşap-beton köprüler ve Yeni Zelanda'da 70'lerde aralıkları 6 ile 24,5 m arasında değişen ahşap-beton köprüler inşa edilmiştir.

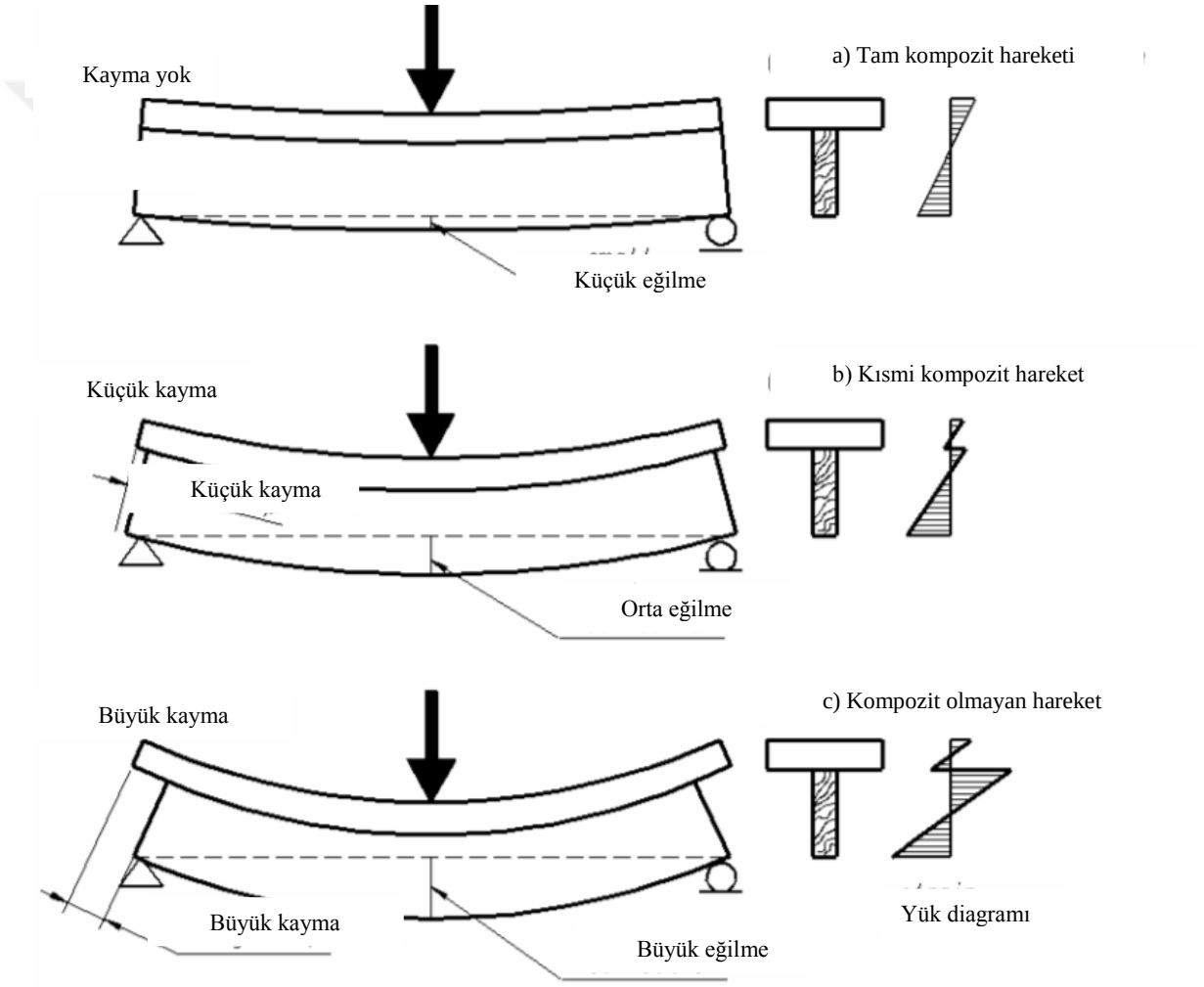
2.3 Ahşap-Beton Kompozit Sistemin Kompozit Davranışı

Yüksek kompozit hareket derecelerine sahip ahşap-beton kompozit sistemler imal etmek için ahşap kiriş ve beton plaka arasındaki kesmenin, bağlantı elemanı sistemi yoluyla etkin biçimde aktarılması gereklidir. Bu yüzden bağlantı elemanları, sistemin performans parametrelerini belirlediğinden bir kompozit sistemin özel ilgi gerektiren kilit elemanlarıdır. Costa (2011) iki kompozit hareket sınırı belirlemiştir:
- Tam kompozit hareket üst sınırı: Bu sınır herhangi bir ara katman kayması olmadan eğilmez biçimde bağlanmış tek nötr akslı çapraz kesitlere ve ahşap-beton ara yüzde aynı eğilme gerilimlerine sahip ahşap ve beton bileşenler ile gösterilir (Şekil 2.5a).
- Tamamen kompozit olmayan hareket alt sınırı: Bu sınır bağlanmamış ve bu yüzden bağımsız çalışan iki katman arasında mekanik sınırdır ve sürtünme yoluyla herhangi bir yatay kuvvet iletiminin olmadığı ahşap ve beton katmanlar ile gösterilir (Şekil 2.5c). Katmanların ayrı nötr aksları vardır ve ahşap-beton ara yüzde kesintili bir eğilme gerilimi mevcuttur.

Ahşap ve beton katmanlar genellikle mekanik bağlantı elemanlarıyla, bazı durumlarda da yapıştırıcılarla bağlanır. Bağlantı sisteminin şekli değiştirilebilir ve birçok bağlantı elemanı, ara yüzde, bazı yatay hareketler (kayma) oluşturur. Bu davranış "kısmi kompozit hareket" olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.5b).

Kaymayla beraber tekli nötr aks ayrılır ve katmanlar arasındaki kayma arttıkça iki nötr aks birbirinden daha da ayrılır. Sonuç olarak, ahşap kiriş ile beton plaka arasındaki bu kayma çapraz kesitin verimliliğini düşürür. Ahşap ve beton arasında eğilmez bir bağlantı elde etmek zordur, ancak ufak kaymalar, kesme gerilmelerinin bağlantı elemanları boyunca yeniden dağıtılmasına imkan tanıyarak avantajlı olabilir Costa (2011).

Şekil 2.5'de tam, kısmi ve kompozit olmayan hareketli yapılar için gerilme şemaları sunulmaktadır.



Şekil 2.5 (a)Ahşap kiriş ve beton plaka arasında rijit bağlantılı, (b) şekli değiştirilebilir bağlantılı, (c) sıfır bağlantılı kompozit yapılar için gerilme şemaları (Costa ,2011)

Yukarıda bahsedildiği gibi, verimli bir kesme bağlantısının kullanılması güçlü ve sert kompozit sistemler elde edilmesinde kilit noktadır. Kesme bağlantısının

verimliliği, Gutkowski ve diğer. (2008) tarafından önerilen aşağıdaki ilişkiyi kullanarak ölçülebilir:

$$E = \frac{D_N - D_1}{D_N - D_C} \tag{2.1}$$

E, kompozit sistemin verimliliği, D_N tamamen kompozit olmayan teorik sapma (ara katman kesme iletimi olmayan katmanlı bir kiriş için hesaplanır), D_C tamamen kompozit teorik sapma (dönüştürülen kesit yöntemi ile hesaplanır) ve D_I, ahşap-beton kompozit kirişin ölçülen sapmasıdır.

Verimlilik, bağlantı olmayan veya tam rijit bağlantılı ideal durumlar için sırasıyla %0 ve %100 arasında değişebilir. Esasen Piazza tarafından 1983 yılında teklif edilen aşağıdaki de*nkle*mi kullanarak kompozit kirişler için kesme bağlantısının verimliliğini tanımlamak da uygun olabilir (Ballerini ve diğer., 2002).

$$\eta = \frac{EJ_{real} - EJ_0}{EJ_\infty - EJ_0} \tag{2.2}$$

ŋ, ara katman bağlantısının verimliliği, EJ_∞, teorik tam kompozit hareketli kirişin eğilme direnci, EJ_0, kompozit hareketi olmayan kirişin eğilme sertliği ve EJ_{real}, kirişin gerçek eğilme sertliğidir. Kesme bağlantısı çok sert olduğunda EJ_{real}, EJ_∞'ye meyilli olur ve böylelikle ŋ →1 olur. Diğer yandan çok esnek bir kesme bağlantısı için EJ_{real}, EJ_0'a meyilli olur ve böylelikle ŋ →0 olur.

Kompozit yapılardaki sapmaları sınırlamak için rijit bağlantı elemanları kullanılmalıdır. Ancak eğilmezlik, ahşap-beton bağlantı elemanlarının arzu edilen tek özelliği değildir. Aynı zamanda, özellikle kompozit yapılardaki istenmeyen esneme kaynaklı göçmeleri engellemek için bağlantı elemanları yeterince esnek olmalıdır (Ballerini ve diğer., 2002).

2.4 Ahşap-Beton Kompozit Sistemin Teorik Modelleri

Genelde ahşap-beton kompozit yapılardaki gerilmeleri ve deformasyonları hesaplamak için kullanılan analitik modeller, iki katman (çelik ve beton veya ahşap ve ahşap) arasında yarı rijit bağlantılara sahip kompozit yapılar için geliştirilmiş olup, ahşap-beton kompozit yapılar üzerinde daha güncel modeller uygulanmıştır Costa (2011).

Günümüzde yaygın olarak kullanılan ve kompozit bir yapının iki katmanı arasındaki kaymayı hesaba katan basit doğrusal model çalışmalarını birçok yazar Newmark (1951) ve Möhler'e (1956) dayandırmaktadır. Bu doğrusal model Eurocode 5'te kendine yer bulmuş olup, kompozit çapraz kesit dengesinin önceden türetilmiş olan diferansiyel denklemlerine dayalıdır.

Godycki ve diğer. (1984), bağlantı elemanlarının kaymasını da kapsayan, ahşap-beton kompozit yapıların özelliklerinin hesaplanması için doğrusal elastik bir model sunmuştur. Bu yazarlar, elastiklik modülünün, modelde zamanla azalacağını varsayarak beton davranışındaki zamana bağlı değişiklikleri hesaba katmışlardır.

Stevanovic (1989), enine ve eksenel yüklemeye maruz kalan kompozit ahşap-beton yapılardaki kuvvetleri hesaplamak için elastik bir model önermiştir; bu modelde ahşap-beton elemanlar arasındaki kayma hesaba katılmaktadır. Elastik teorisi temel alınarak geliştirilen yöntem, ahşap ve betondaki sapmaların ve kesit kuvvetlerinin tahmin edilmesine imkan tanımakta olup ahşap ve beton arasındaki kesme kuvvetinin hesaplanmasına olanak tanımaktadır.

Bunlara ilaveten, eksenel yükün bükme kuvvetleri ve ikinci derece (P-Δ) etkilerle birlikte hareket etmesini içeren, arka katman kaymasına sahip ahşap-beton kompozit sistemin davranışını analiz etmek için Euler-Bernoulli teorisini temel alan kapalı yapıda çözümler ilk olarak Girhammar ve Gopu (1991) tarafından geliştirilmiştir. Girhammar ve Pan (1993), 1991 yılında Girhammar ve Gopu tarafından verilen teorileri ve yöntemleri genişletip genel hale getirmiştir.

Kompozit malzemelerle yapılan tasarımların uygulanabilmesi için Girhammar ve Pan (1993), ara katman kaymasına sahip kompozit elemanlardaki ikinci derece etkileri değerlendiren basitleştirilmiş bir yaklaşım geliştirmiştir. Bu model mühendislerin ara kaymaya sahip kompozit kiriş-sütunları yüksek hassasiyet ile analiz ederek tasarlamalarına imkan tanımaktadır.

2.4.1 Eurocode 5 "γ Yöntemine" Göre Tasarım Modeli

Ahşap-beton kompozit yapıların tasarımı, kısa ve uzun süreli yükler için hem nihai sınır değerlerini (ULS-Ultimate limit state) hem de kullanışlılık sınır değerlerini (SLS-Serviceability limit state) karşılamalıdır. ULS, bir elastik analiz kullanarak bileşen malzemelerdeki (ahşap, beton ve bağlantı sistemi) maksimum gerilmeleri değerlendirerek hesaplanırken SLS, maksimum sapmayı hesaplayarak kontrol edilmektedir.

Bu yöntemde kısmi kompozit harekete sahip kirişler için diferansiyel denklemin yaklaşık çözümü temel alınmıştır. "γ yöntemi" adı verilen basitleştirilmiş tasarım yöntemi, ilk olarak Möhler (1956) tarafından türetilen model ile yakından alakalıdır ve yakın aralıklandırılmış bağlantı elemanlarına sahip kompozit kirişler için mükemmel yaklaşık gösterimler sağladığı kanıtlanmıştır (Kenel ve Meierhofer, 1998; Frangi ve Fontana, 2001). Formülün tam türevi Kreuzinger'in (1999) çalışmasında bulunabilir.

2.4.2 Kısa ve Uzun Vadeli Doğrulamalar

Nihai ve kullanışlılık sınır değerlerinin yük kombinasyonunun sebep olduğu genel etki (gerilme ve yer değiştirme gibi), Eurocode 5 tarafından verilen formüller kullanılarak hesaplanabilmektedir.

Beton sünmesi ve büzülmesinin, ahşabın ve bağlantı elemanının sünmesi ve mekanik emilimi ve ahşap ile betonun ısıl zorlanmalarının hepsinin hesaba katılması gerektiğinden, kompozit kirişlerin uzun vadede doğrulanması sorunludur. Doğru

çözümler sağlamak adına sayısal programlar (Fragiacomo ve Ceccotti, 2006; Schanzlin, 2003) ve analitik formüller (Fragiacomo, 2006; Fragiacomo ve Ceccotti, 2006; Schanzlin ve Kuhlmann, 2001) önerilmiştir, ancak ahşap-beton kompozit yapıların uzun vadeli performansının tahmin edilmesi ile ilgili yöntemler hakkında araştırmacılar arasında bir fikir birliğine varılamamıştır (Clouston, 2005).

2.5 Ahşap-Beton Kompozit Sistem Çeşitleri

Ahşap-beton kompozit sistem çeşitleri, üretim özelliği ve kullanım özelliği olmak üzere iki açıdan ele alınabilir.

2.5.1 Ahşap-Beton Kompozit Sistemin Üretimine Göre Çeşitleri

Yapım bakımından ahşap-beton kompozit çeşitleri;

- HBV (Holz-Beton Verbund) sistem,
- M kesit sistem ve
- SEPA 2000 sistemdir.

2.5.1.1 HBV Sistem

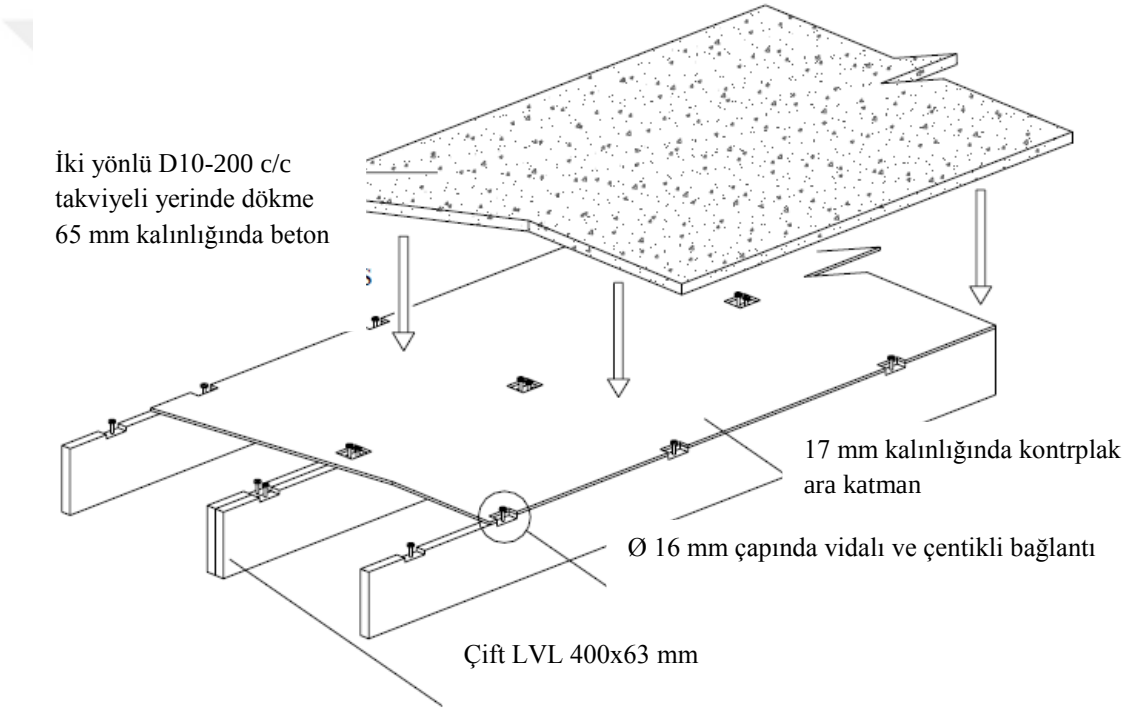
Almanya' da uygulanan ahşap-beton kompozit sistemidir (Bathon ve diğer., 2006). Duvar, çatı ve döşemelerde kullanılır. Ahşap kiriş üzerindeki beton plakaya delikli metal plaka ile bağlanır. Bu plaka aynı zamanda betonu güçlendirmiş olur.

Metal plakayı yapıştıran yapıştırıcı 200 °C' ye kadar yangın dayanımına sahiptir ve 30 dakika kuruma süresi bulunmaktadır (Manaridis,2010). Bu sistem tam prefabrik bir sistemdir. Bölüm 2.6.1'de detaylı anlatılmıştır.



Şekil 2.6 HBV sistem (Manaridis,2010)

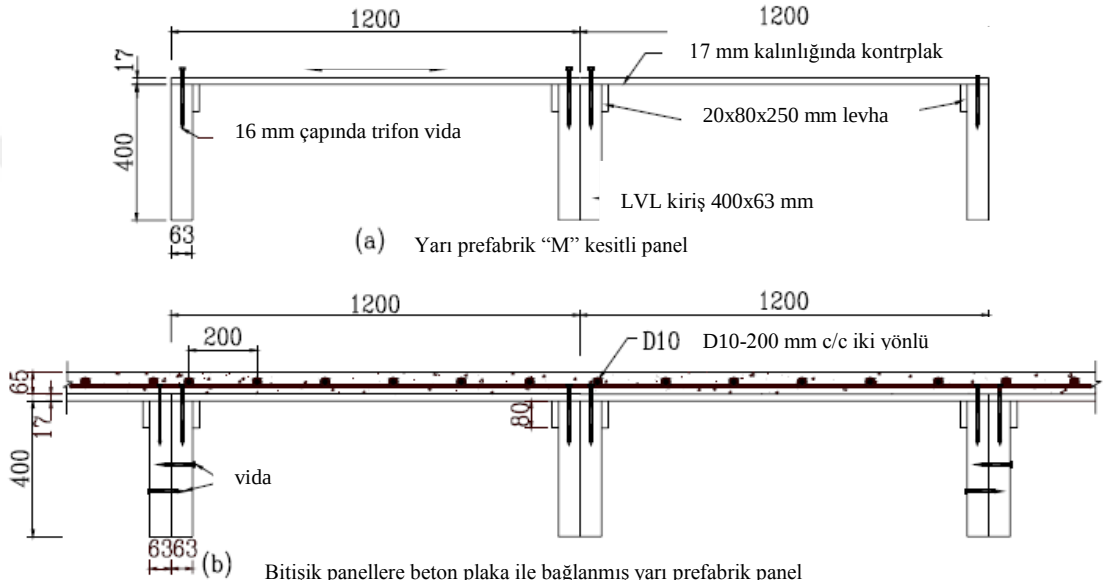
2.5.1.2 M Kesit Sistem



Şekil 2.7 Yarı prefabrik ahşap-beton kompozit döşeme sistemi (Yeoh,2010)

Yarı prefabrik bu sistem Canterbury Üniversitesi'nde araştırma altına alınmıştır ve Yeoh 2010'da bahsedilmektedir. Önerilen sistem, döşeme kirişleri görevi gören tabakalanmış kaplama kereste (LVL) kirişler ile inşa edilmiş "M" kesitli paneller ve kalıcı kalıp olarak kontrplak ara katman içermektedir (Şekil 2.7). Paneller saha dışında önceden imal edilerek inşaat sahasına taşınabilir, vinçlerle yerine konabilir ve özel olarak tasarlanmış kiriş askıları ile ana gövdeye bağlanabilir. 65 mm kalınlığındaki yerinde dökme beton plaka için büzülme kontrolü sağlamak amacıyla

paneller üzerine çelik tel örgü yerleştirilir. Paneller, beton sertleşirken desteklenebilir. Çökme anında daha sünek davranış sağlamak ve kesme gücünü artırmak için bağlantı sistemi, LVL kirişten kesilen ve trifon vida ile takviye edilen çentiklere sahiptir. Bu çentikler, kontrplak ara katman çivilenmeden önce kirişlerin içine atılır.



Şekil 2.8 Yarı prefabrik "M" kesitli panel (boyutlar mm cinsinden verilmiştir) (Yeoh,2010)

Şekil 2.8'de tekli bir panelin kesitleri ve bitişik panellere nasıl eklendiği gösterilmektedir. 2400 mm enindeki "M" kesitli panel, her dış köşe üzerinde tek bir 400 x 63 mm LVL kiriş ve merkezde çift LVL kiriş ile inşa edilmiştir. 8 ve 10 m arasındaki mesafe, yeterli kompozit hareket sağlamak için her kirişin uzunluğu boyunca 6 ile 8 bağlayıcı gerektirmektedir. Her panel yaklaşık 8 kN ağırlığındadır; bu da taşınması ve vinçle kaldırması kolay hafif ağırlıkta bir aksam sağlamaktadır. M kesit sistem (Şekil 2.9) tasarımı, Eurocode 5 (CEN, 2004b) uyarınca Ceccotti (1995) tarafından önerilen etkin eğilme direnci yöntemine (γ- yöntemi olarak adlandırılan yöntem) dayalıdır. Detaylı çalışılmış örnek, Buchanan, 2007'de bulunmaktadır.

Bu çözümün avantajları şunlardır:

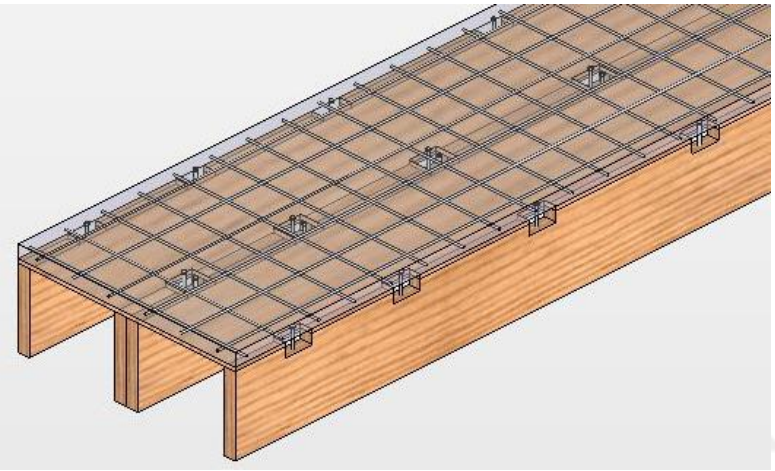
- Düşük ağırlık sayesinde taşımada ve panellerin kaldırılmasında kolaylık,

- Daha iyi düzlem için mukavemete sahip tek parça bir beton plaka imalatı ve bitişik paneller arasında ek bağlantıya ihtiyaç duyulmaması,

- Çentikli bağlantı detayının etkinliği sayesinde daha az sayıda bağlayıcı ile elde edilebilen yüksek mukavemet ve rijitlik,

- 6 ile 12 m aralığında orta ile geniş aralıklı döşemeler ve böylece geleneksel ön dökme çözümler ile rekabet kapasitesine sahip bir sistem.

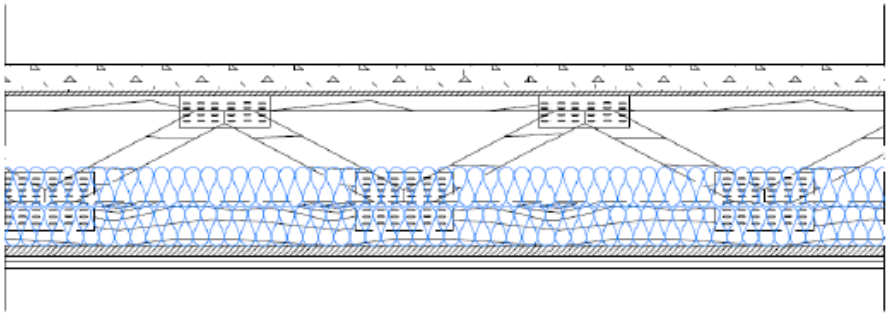
Tek dezavantaj, çok katlı ahşap binalar için diğer tüm elemanlar "kuru" iken, inşaat sahasına "nemli" bir eleman olan taze beton getirme gerekliliğidir.



Şekil 2.9 M kesit sistem (Manaridis,2010)

2.5.1.3 SEPA 2000 Sistem

Finlandiya' da üretilen bir çözümdür (Şekil 2.10) . Bu sistemde ahşap kiriş yerine ahşap kafes kullanılmıştır. Bu sistemle 8 m açıklık geçebilmek mümkündür (Manaridis,2010). Bölüm 2.6.4'te detaylı anlatılmıştır.



Şekil 2.10 SEPA 2000 sistem (Manaridis,2010)

2.5.2 Ahşap-Beton Kompozit Sistemin Kullanım Bakımından Çeşitleri

Kullanım bakımından ahşap-beton kompozit sistemler dört gruba ayrılmaktadır (TICOMTEC, b.t):

1. Döşeme,
2. Duvar,
3. Çatı
4. Modül ev

2.5.2.1 Ahşap-Beton Kompozit Döşeme

Yapıda yatay yapı elemanı olarak kullanılan ahşap-beton kompozit döşeme ahşap-beton kompozit sistemin en çok kullanılan biçimidir.

Geleneksel ahşap kirişli döşemeler ile karşılaştırıldığında ahşap-beton kompozit döşeme sistem betonla birlikte oluşturduğu kompozit etkisi ile büyük bir rijitlik sağlar. Bu teknik sayesinde daha yüksek bir yük taşıma kapasitesi elde edilmektedir ve döşeme sapması azalmaktadır.

Ayrıca, bu döşeme sistemi bazı fiziksel özellikler açısından avantajlar sağlamaktadır. Öncelikle, bu sistem ile F90-B' ye varan yangın dayanımı elde edilmektedir. İkinci olarak, ses yalıtım değerleri, özellikle de darbe sesi yalıtımı standart bir betonarme döşeme ile karşılaştırıldığında daha yüksektir. Isı iletkenliğinde ise yine standart bir betonarme döşeme göre daha iyi özellikler göstermektedir.

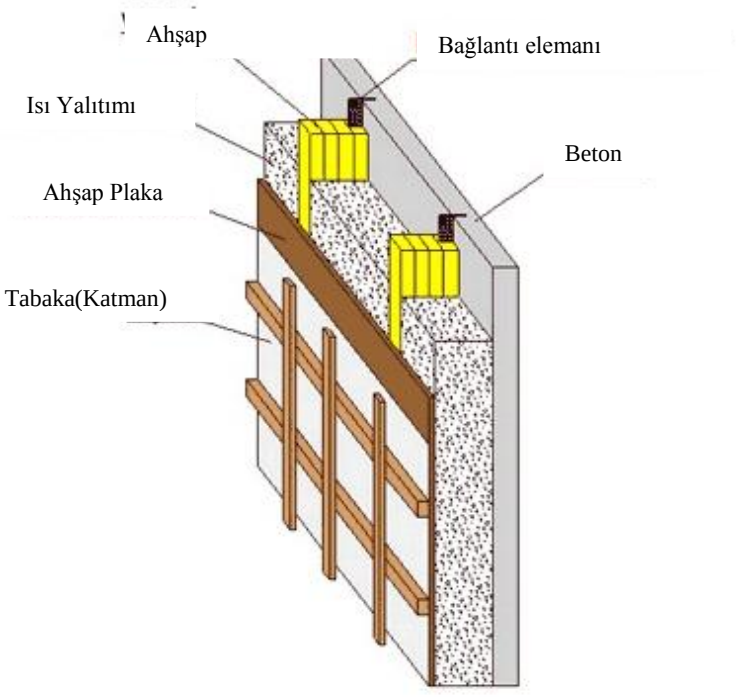
Uygulama alanının genişliği kompozitin rijitliğine, güçlülüğüne bağlı olarak değişir. Mesela noktasal bağlantı elemanlarıyla yapılan kompozitler ancak küçük açıklıklı güçlendirme projelerinde kullanılırken yapıştırmalı bağlantılı elemanlar ile olan kompozitler geniş açıklıklı yeni bina projelerinde kullanılır (TICOMTEC, b.t). Ahşap-beton kompozit döşemeler bölüm üçte detaylı bir şekilde yer almaktadır.

2.5.2.2 Ahşap-Beton Kompozit Duvar

Duvar olarak kullanımı döşemeye göre daha seyrek görülmektedir.

Kaburga ahşap-beton kompozit sistemine dayalı prefabrike elemanlarından oluşmaktadır. Büyük inşaat tekniklerine benzer şekilde, masif kaplama gibi somut plakalar, binaların iç kısmında yer almaktadır. Isı yalıtımı, dış ahşap kaburgalar arasına monte edilmektedir. Bunun üzerine alternatif yalıtım levhaları da eklenebilmektedir (Şekil 2.11-2.14).

Ahşap-beton kompozit duvar avantajları ahşap yapı tekniğinin avantajları ve katı inşaat tekniğinin avantajlarından kaynaklanmaktadır. Ahşap-beton kompozit duvar iç kaplama ses yalıtımı, yangın koruma, hava koruma ve nem koruma sağlar. Döşeme tellerinin montajı beton levha üzerinde kanallar aracılığıyla yapılır. Ön imalat sayesinde inşaatın daha hızlı tamamlanmasını sağlar. Ayrıca ahşap-beton kompozit duvarlar dış cephe tasarımcılarına istediklerini elde etmede büyük olanaklar sağlamaktadır.



Şekil 2.11 Ahşap-beton kompozit duvar katmanları (TICOMTEC, b.t)



Şekil 2.12 Ahşap-beton kompozit duvar (TICOMTEC, b.t)



Şekil 2.13 Ahşap-beton kompozit duvar (TICOMTEC, b.t)



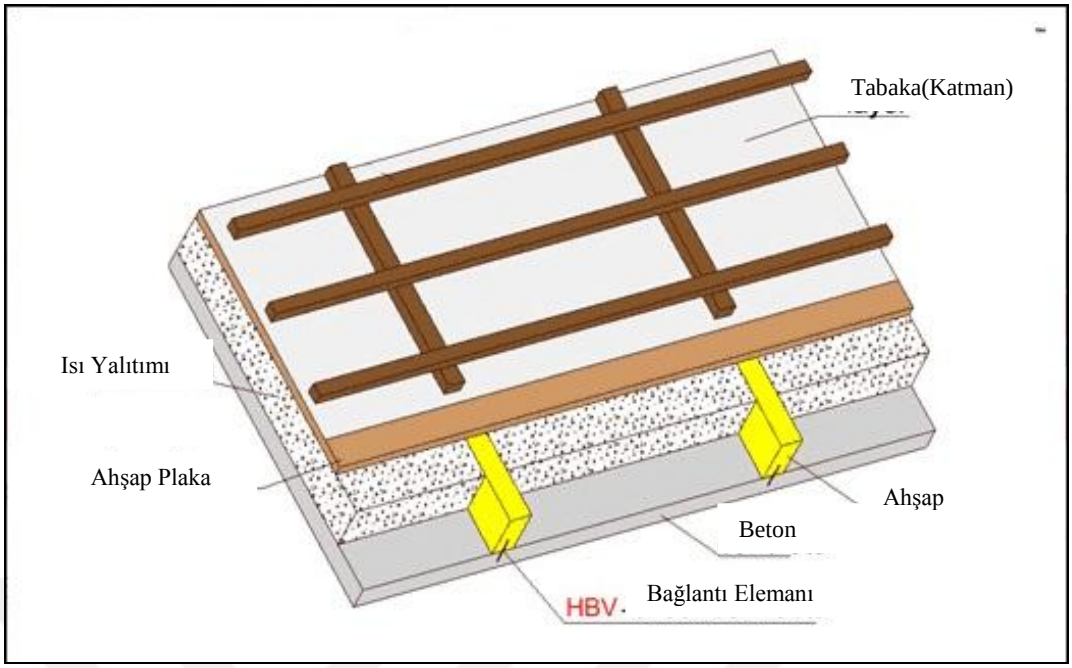
Şekil 2.14 Ahşap-beton kompozit duvar (TICOMTEC, b.t)

2.5.2.3 Ahşap-Beton Kompozit Çatı

Kaburga ahşap-beton kompozit sistemine dayalı prefabrike elemanlarından oluşmaktadır. Taban alanında beton levha, ahşap kaburgalar arasında yalıtım malzemeleri en üstte de ahşap platform ve izolasyon yer almaktadır (Şekil 2.15-18). Çatı duvarlar ile bağlantılı olarak sürekli bir iç çerçevede üretilme imkanı da sunmaktadır.

Son yıllarda, çatılar için gereksinimler artmıştır. Özellikle inşaat sırasında dikkate alınması gereken şunlardır: Ses yalıtımı, yangın koruma, yazın ve kışın ısı yalıtımı, hava koruması, hava sızdırmazlık.

Kompozit çatı yukarıda bahsedilen tüm gereksinimleri eşit ölçüde yerine getirdiğini kanıtlamıştır. Kompozit çatılar alanındaki son gelişme ise Ahşap-beton kompozit çatı'dır. Üstün yapısal ve fiziksel özelliklerine ek olarak, Ahşap-beton kompozit çatı imalatta yüksek kaliteli ön imalat ve yüksek kaliteli montaj işlemi gibi ek avantajlara sahiptir.



Şekil 2.15 Ahşap-beton kompozit çatı katmanları (TICOMTEC, b.t)



Şekil 2.16 Ahşap-beton kompozit çatı (TICOMTEC, b.t)



Şekil 2.17 Ahşap-beton kompozit çatı(TICOMTEC, b.t)



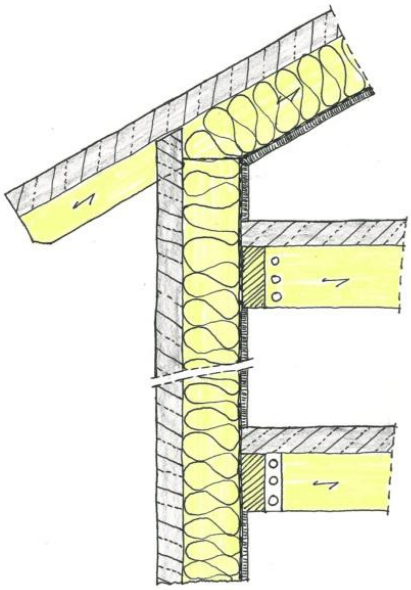
Şekil 2.18 Ahşap-beton kompozit çatı(TICOMTEC, b.t)

2.5.2.4 Ahşap-Beton Kompozit Modül Ev

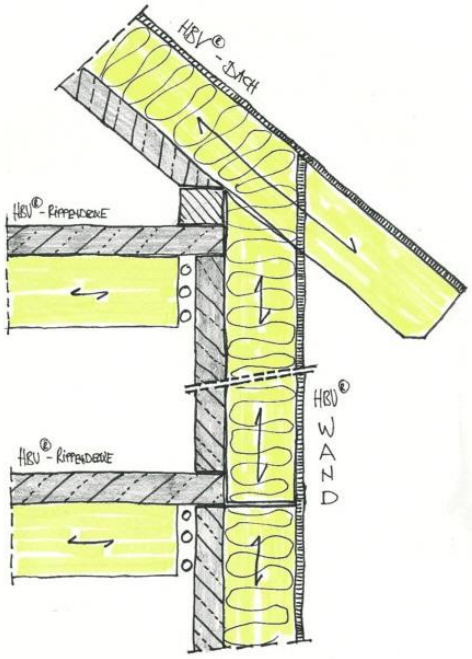
Ahşap-beton kompozit sistemi için son uygulama alanları prefabrik modül evdir. Ahşap-beton kompozit döşeme, duvar ve çatı elemanlarını kullanarak bir konut elde edebilmek mümkündür.

Ahşap-beton kompozit modül evde kullanılan döşeme, duvar ve çatı elemanları prefabrike elemanlardan oluşmakta ve inşa yerinde montajı yapılmaktadır. Modül evlerde kullanılan ahşap kaburga sistemi ve bunu çevreleyen beton çerçeve, özellikle yapı fiziği açısından uzun vadede önemli avantajlar getirmektedir. Avantajları: Termal yaz ve kış yalıtımı, fırtınalara karşı hava koruması, hava sızdırmazlığı, akustik, ses yalıtımı ve yangın koruması.

Hava ve atmosferik koşullara bağlı olarak ahşap-beton kompozit modül evlerde beton plaka iç ve ya dış yüzeyde tercih edilebilir (Şekil 2.19-2.20). Döşemeler için, varolan tüm Ahşap-beton kompozit döşeme sistemleri kullanılabilir. Ahşap-beton kompozit modül evlerin avantajlarından birisi de ön fabrikasyon sayesinde daha hızlı inşaat süresinin yanı sıra üstün yapısal ve fiziksel özellikleri sunuyor olmasıdır.



Şekil 2.19 Ahşap-beton kompozit modül ev kesiti (beton plaka dışarıda) (TICOMTEC, b.t)



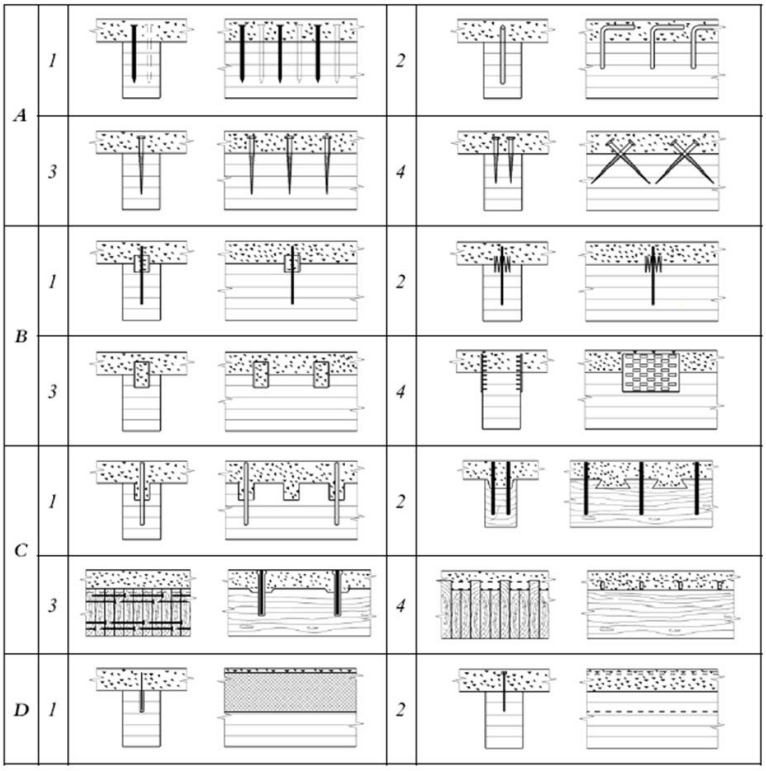
Şekil 2.20 Ahşap-beton kompozit modül ev kesiti (beton plaka içeride) (TICOMTEC, b.t)

2.6 Ahşap-Beton Kompozit Sistemde Ahşap-Beton Bağlantı Elemanları

Şekil 2.21'de, ilk olarak Ceccotti (1995) tarafından sınıflandırılan şekilde, betonu ahşaba ekleme ile ilgili en yaygın olarak kullanılan yöntemler özetlenmiştir. Bağlantı elemanları, rijitliklerine göre dört gruba ayrılır: *A* grubundaki bağlayıcılar en düşük rijitliğe sahipken *D* grubundaki bağlantı elemanları en rijit olanlardır (A grubundakilerin eğilme direncinin iki katı). D grubu bağlantı elemanlarıyla ahşap ve beton arasında tam kompozit hareket sağlamak mümkündür (Ceccotti, 2002).

A grubu bağlantı elemanlarının kurulum kolaylığı açısından avantajları vardır. Ancak yukarıda da bahsedildiği üzere bu bağlayıcılar, en az sertliğe sahip grup olarak kabul edilmektedir. *B* grubundaki bağlantı elemanlarının da dübel tipli bağlayıcılara kıyasla daha yüksek eğilmezliğe, sünekliğe ve en yüksek dayanıma sahip olduğu gösterilmiştir (Mungwa ve diğer.,1999). Bunun nedeni, çivilerin ve vidaların genelde ahşap ayrılma göçmesine sebep olurken, boru tipli bağlayıcıların (özellikle eğilmez halka bağlayıcıların) daha yüksek eğilmezlik sağlaması ve genelde ağır yüklerde meydana gelen ahşap kesme tapası göçmesine yol açabilmesidir

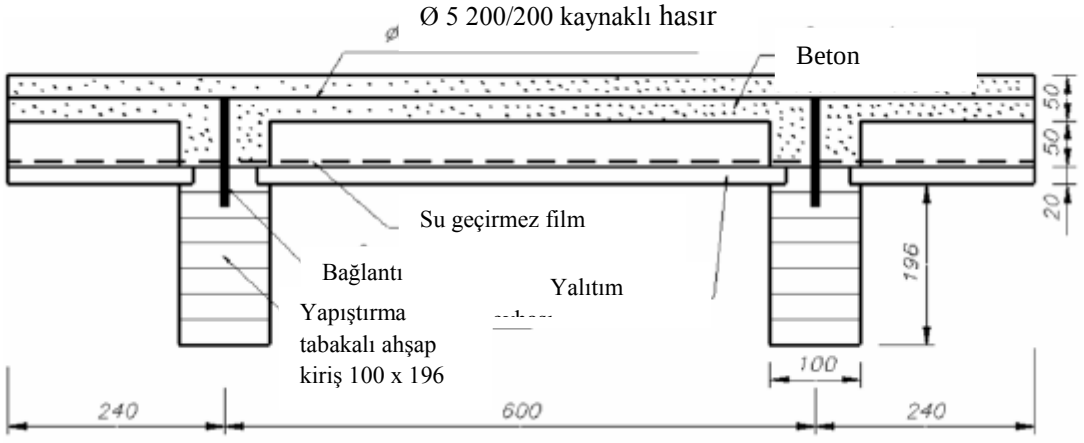
(Clouston ve diğer., 2005). Çentiklerin (kesme dişleri) ahşaba atıldığı ve sonradan gerilmeli cıvatalar ya da trifon vidalar gibi bağlantı elemanları ile takviye edildiği *C* grubu bağlantı elemanlarının B grubu bağlantı elemanlarına kıyasla aynı veya biraz daha iyi mukavemet ve kayma direncine sahip olduğu görülmektedir (Van der Linden ve Blass, 1996). Yatay kesme kuvvetleri, kesme dişleri yoluyla ufak boyutlu ara katman kayması ile iletilirken dübeller, çekme ile çalışıp dikey yük elemanına mukavemet eder. Son (*D* grubu) bağlantı elemanlarının yukarıda bahsedildiği gibi genelde en yüksek sertliğe sahip olduğu kabul edilmektedir. Beton katman ve ahşap eleman arasında kayma olmadığından ve beton kesit aynı ağırlık merkezi ile eşdeğer bir ahşap kesite dönüştürülebildiğinden, bu grupta bağlantılar için tasarım hesaplamaları kolaylıkla yapılabilmektedir. Bunun aksine *A*-*C* grupları yarı eğilmez kompozitlerdir, farklı kayma seviyelerine maruzdur ve daha karmaşık tasarım özellikleri gerektirmektedir (Clouston ve diğer., 2005).



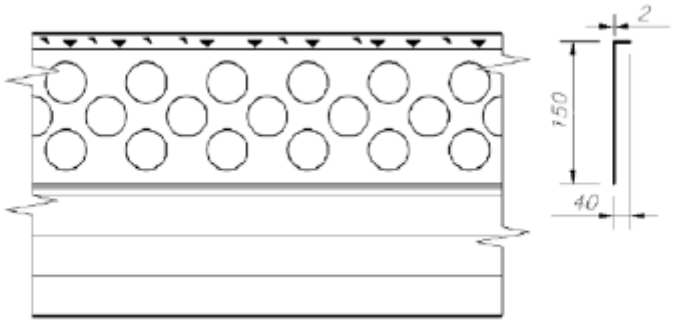
Şekil 2.21 Ahşap-beton bağlantılar: çiviler (A1), yapıştırılmış çelik çubuklar (A2); vidalar (A3); eğimli vidalar (A4); açık halkalar (B1); dişli plakalar (B2); çelik borular (B3); delikli çelik metal plakalar (B4); alttan kaldırmayı önleyen bağlantı elemanlarına sahip ahşaptaki yuvarlak çentikler (C1); kare çentikler, (C2); yuvarlak çentikler ve ön gerilmeli çelik çubuklar (C3), metal bağlantı plakaları ahşap bölümün içine gömülmüş şekilde (C4), ahşaba yapıştırılan çelik kafes (D1) ve ahşaba yapıştırılan çelik levha (D2)

2.6.1 Epoksi Yapıştırılmış Kesintisiz Bağlantı Elemanları

Piazza ve Ballerini (2000), bağlantı sistemlerinin kompozit kirişlerin mekanik davranışı üzerindeki etkisini doğrulamak amacıyla sekiz farklı bağlayıcı tipi ile 6 m uzunluğundaki tam ölçekli örnekler (Şekil 2.22) üzerinde deneysel testler yürütmüştür. Bu testleri, tek bağlayıcılar üzerinde çıkartma testleri ve bağlantı sistemlerinin kompozit kirişlerin mekanik davranışı üzerindeki etkisini doğrulayacak sayısal analizler tamamlamıştır. Bağlantı sistemlerinden bir tanesi, ahşaba epoksi ile yapıştırılmış 2 mm kalınlığındaki çelik saclar ile yapılmıştır (Şekil 2.23). Çelik sac bağlayıcı tipi, neredeyse göçmeye kadar doğrusal bir tepki göstermiş, bağlantının kademeli olarak çökmesi nedeniyle bunu plastik sınıf takip etmiştir (Piazza ve Ballerini, 2000). Göçme, yapıştırıcı yüzeyinin en yakınında bulunan ahşabın kesme göçmesi nedeniyle meydana gelmiştir. Göçmedeki mukavemet 30 kN/m^2 civarı ve karşılık gelen orta açıklık sapması 70 mm civarı olmuştur. Bu yapıştırılan sistemin eğilme mukavemeti, ahşap kirişlerinkinin yaklaşık 2,5 katıdır. Bu bağlayıcı tipi için elde edilen kompozit hareket yaklaşık %90 olmuştur.

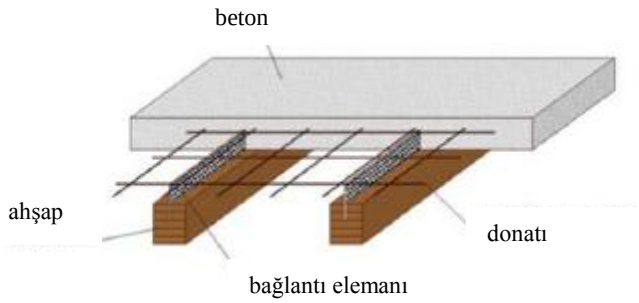


Şekil 2.22 Piazza ve Ballerini tarafından test edilen örneklerin geometrisi (2000) (boyutlar mm cinsindendir)



Şekil 2.23 Ahşaba yapıştırılan çelik sac (uygun biçimde şekillendirilmiş ve delinmiş), Piazza ve Ballerini 2000 (boyutlar mm cinsinden verilmiştir)

Bathon ve Graf (2000), kesintisiz bir ahşap-beton kompozit sistem sunmuştur Şekil 2.24'te gösterildiği gibi, bu sistemde beton bir plaka içine gömülen çelik bir hasır, ahşap kiriş içindeki kesintisiz bir yuvaya yerleştirilmektedir, bir yapıştırıcı ile bağlanmaktadır. Böylelikle ahşap ile beton arasında eğilmez, ancak sünek bir bağlantı sağladığı belirtilmektedir. Nihai kesme göçme yükü ortalama 90 kN olarak, ortalama yer değiştirme ise 1,8 mm olarak bulunmuştur.



Şekil 2.24 Prefabrik ahşap-beton kompozit döşeme panelleri örneği, Bathon ve Graf (2000)

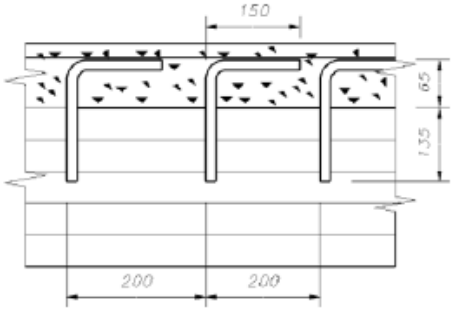
Kesintisiz çelik hasır çözümü ise, duvar, döşeme ve çatı elemanlarına sahip prefabrik bir modüler sistem olan *HBV (Holz-Beton Verbund) -Bina Sistemi* için onaylanmıştır (Bathon ve diğer., 2006). Prefabrik modüler *HBV (Holz-Beton Verbund)* -bina elemanları, beton bir plakadan (100 mm kalınlığında, 250 mm eninde ve değişen uzunluklarda) ve 625 mm aralıkta 76 x 203 mm kesite sahip çoklu ana kirişlerden oluşmaktadır (Bathon ve diğer., 2006). HBV (Holz-Beton Verbund) -sisteminin uzun vadeli performansı, Bathon ve arkadaşlarının çalışmasında (2006) açıklanmıştır. Uzun vadeli testlerden çıkarılan sonuç, ahşap-kompozit sisteminin

uzun vadeli sapmasını telafi etmek için, yeterli bir negatif sapmanın (ahşap kesite kabarıklık verme) tasarıma dahil edilmesi gerektiğidir.

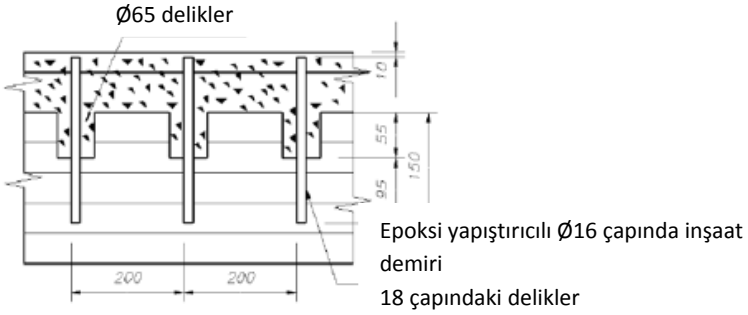
2.6.2 Yapıştırılmış Bağlantı Elemanları

Yapıştırılmış çelik bağlayıcı yoluyla monte edilen döşeme örneklerinin, sadece mekanik bağlayıcılar kullanılarak monte edilen döşemelere göre daha iyi tepki verdiği belirtilmektedir (Ceccotti ve diğer., 2006).

Piazza ve Ballerini (2000) tarafından sunulan deneysel test programında iki adet yapıştırılmış tip bağlayıcı test edilmiştir (Şekil 2.25 ve 2.26). Bağlantı sistemlerinden biri ahşaba yapıştırılmış ϕ16 mm bükülmüş dübel iken (Şekil 2.25) diğeri, ahşaba epoksi ile yapıştırılmış ϕ16 mm çelik nervürlü dübeller ile birleştirilmiş beton bodur dübeller içermektedir (Şekil 2.26). Bükülmüş dübeller için, göçmedeki mukavemet yaklaşık 25 kN/m^2 ve karşılık gelen orta açıklık sapması yaklaşık 70 mm iken, çelik dübelli beton bodur dübeller için bu mukavemet yaklaşık 30 kN/m^2, karşılık gelen orta açıklık sapması yaklaşık 50 mm olmuştur.



Şekil 2.25 Ahşaba yapıştırılan bükülmüş dübeller, Piazza ve Ballerini 2000 (boyutlar mm olarak verilmiştir)

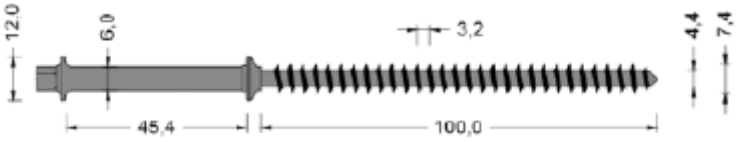


Şekil 2.26 Ahşaba yapıştırılmış çelik dübelli beton bodur dübel, Piazza ve Ballerini 2000 (boyutlar mm olarak verilmiştir)

2.6.3 Dikey, Eğimli Çivili, Vidalı, Cıvatalı ve Yatay Bağlantı Elemanları

Unnikrishna (1977), 28 adet çıkartma testine tabi tutulan sistemlerde bağlantı elemanları olarak, sektörde bulunabilen 3 mm ve 5 mm'lik tel çiviler kullanmıştır. Karşılık gelen kayma ≥15 mm olmuştur. Çıkarılan ana sonuçlar; çivilerin aralığının, çaplarının 10 katından az olmaması, çivinin betona gömme derinliğinin sıkıştırma alanında en az 25 mm olması gerektiği ve ahşap kirişe girişinin, çivi uzunluğunun en az üçte ikisi olması gerektiğidir. Çivi başı kesme yönünü işaret edecek şekilde çivilerin ahşap yüzey üzerine 45°'lik açıyla yerleştirilmesinin daha yüksek mukavemet ve daha az kayma sağladığı belirtilmektedir.

1990'ların başında, özellikle ahşap-beton kompozit yapılar için özel olarak üretilen ilk çelik bağlantı elemanlarından biri olan (Şekil 2.27 ve 2.28) *RF 2000* sistemi Meierhofer (1993) tarafından sunulmuştur. İki başa sahip bağlantı elemanı, vidanın bir kısmının betona, kalan kısmının da ahşaba sabitlenmesini sağlamaktadır. Van der Linden ve Blass (1996), Van der Linden (1999), Steinberg ve diğer. (2003), Frangi ve Fontana (2003), Dias (2005) ve Jorge (2004) dahil birçok araştırmacı, çalışmalarında bu bağlayıcı tipini kullanmıştır. Sistem, betonda bağlantı noktası görevi gören ϕ6 mm ve 50 uzunluğundaki bir üst parçadan ve ahşapta bağlantı noktası gören 7,5 mm çapında ve 100 mm uzunluğunda alt dişli parça olmak üzere iki parçaya bölünen yüksek mukavemetli *Stadler* VB-48-7,5 x 100 çelik bağlayıcı içermektedir (Şekil 2.27 ve 2.28).

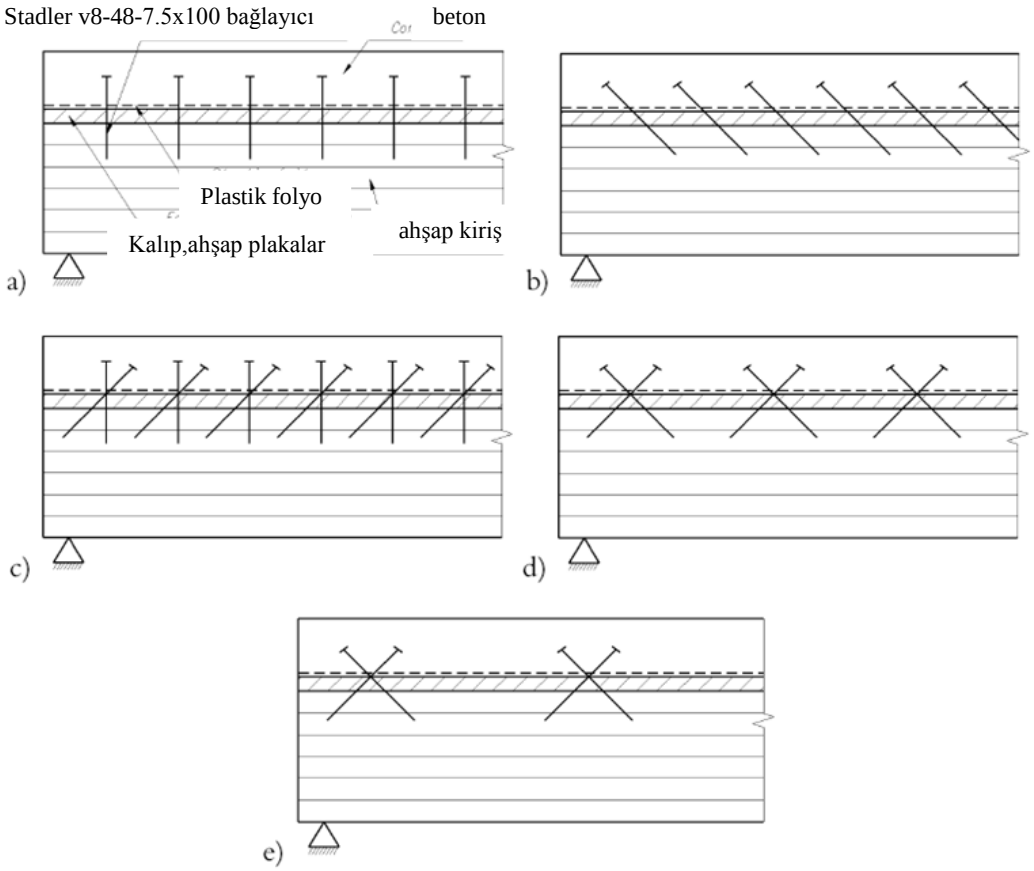


Şekil 2.27 Stadler VB vida 48-7,5 x 100 (Jorge 2004) (boyutlar mm cinsinden verilmiştir)



Şekil 2.28 Yatay yönde eğimli düzendeki Stadler VB vidaları (Jorge 2004)

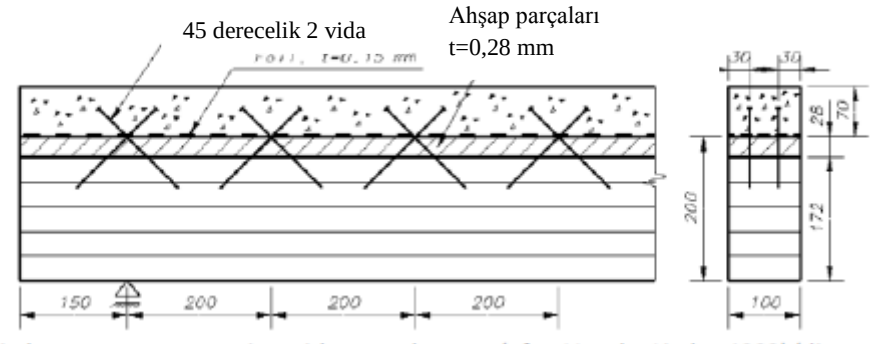
Meierhofer (1993), bu bağlayıcı tipinin yapısal performansını değerlendirmek amacıyla birtakım test tipleri uygulamıştır. Bu testler, kompozit elemanın tamamının kısa süreli çıkartma, kesme ve eğilme testleri ve uzun süreli çıkartma ve eğilme testleridir. ±45°'de düz veya eğimli çivilere sahip kompozitlerde beş farklı bağlantı elemanı düzeni test edilmiştir.



Şekil 2.29 Meierhofer (1993) tarafından açıklanan eğilme testlerindeki bağlayıcıların düzenleri

Meierhofer (1993) çalışmasında en yüksek rijitlik (kompozit verimliliğin yaklaşık %60'ı), Şekil 2.29d'de gösterilen düzen ile elde edilmiştir. Maksimum yük 30 kN civarı, karşılık gelen açıklık ortası sapma da yaklaşık 20 mm olmuştur. Uç kayması <1,5 mm olmuştur. En düşük rijitlik dikey olarak düzenlenen bağlayıcılar tarafından gösterilmiştir (Şekil 2.29a) ve maksimum yük yaklaşık 25 kN, karşılık gelen orta açıklık sapması da 60 mm olmuştur. Bu düzenin uç kayması <6,5 mm olmuştur ve böylece daha esnek bağlantı davranışı sergilemiştir. Uzun vadeli test sonuçları, ±45° eğimli bağlayıcılara sahip düzenin (Şekil 2.29 d) üstünlüğünü açık biçimde göstermiştir; bu düzende 250 gün sonraki orta açıklık sapması 7 mm civarı olurken dikey olarak düzenlenmiş bağlayıcılarda bu, yaklaşık 22 mm olmuştur. Bu sistem, İsviçre'de hem yeni binalarda, hem de mevcut ahşap döşemelerin güçlendirilmesinde birçok projede uygulanmıştır (Şekil 2.30).

1992 yılında Delft Üniversitesi ve Karlsruhe Üniversitesi, ahşap-beton kompozit kirişlerin yük taşıma kapasitesine yönelik bir araştırma programı başlatmıştır (Van der Linden, 1999; Van der Linden ve Blass, 1996). Araştırmaya kompozit kirişler üzerindeki kesme testleri, eğilme testleri, sünme testleri ve döşeme sistemlerinin *Monte Carlo* simülasyonları dahil edilmiştir. Farklı bağlayıcı tiplerine sahip dört adet ahşap-beton kompozit kiriş tipi test edilmiştir. Beton plakalar ve ahşap kirişler, ±45°'de takılmış SFS vidaları (Şekil 2.27), 28 mm yonga levha ara katman , 90° açıda bükülmüş çivili plakalar, beton çentikli takviye çubuğu ve LVL'deki oluklu bağlantılar yoluyla bağlanmıştır. Çıkarılan ana sonuç, tüm bağlantı kategorilerinin kullanılabilirliği ve nihai sınır durum gerekliliklerini karşıladığıdır.



Şekil 2.30 Çapraz vidalı ahşap-beton bağlantı (Van der Linden 1999) (boyutlar mm cinsinden verilmiştir)

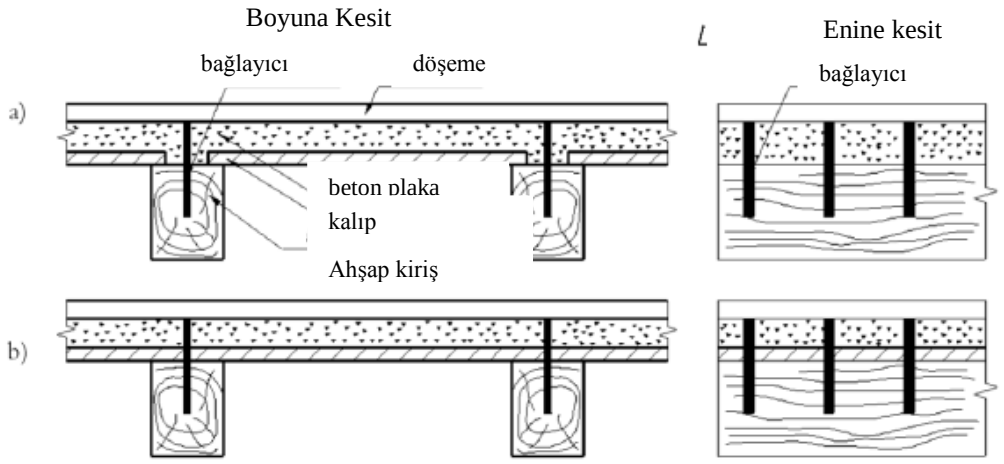
Bağlantı elemanları olarak kullanılan yüksek mukavemetli on farklı türde çivi, Ahmadi ve Saka (1993) tarafından statik kısa süreli yükleme, tekrarlamalı yükleme ve uzun süreli yükleme altında test edilmiştir. Deneysel çalışmalar, iki farklı çivi türüne sahip teklif edilen kompozit döşeme sisteminin nihai yük kapasitesinin, kompozit olmayan sisteminkinden iki kat fazla olduğunu göstermiştir. Ayrıca döşeme sisteminin sapmasının, kompozit olmayan sisteminkinin beşte birinden azına düşürülebileceği de gösterilmiştir. Deneysel çalışmalar ayrıca çivileri, ahşap kirişlerin içine çaplarının 11 katı derinliğe yerleştirilmesinin yeterli olduğunu göstermiştir. Sadece uygun bağlantı elemanları sağlayarak, ahşap kirişlerin maliyetinin en az %50'sini tasarruf ederek rijitlik ve yük taşıma kapasitesinde bir artış elde edilebileceği sonucuna varılmıştır. Seçilen iki çivinin konut binalarında, ahşap-beton döşemelerde kullanımı Ahmadi ve Saka (1994) tarafından açıklanmıştır.

Takac (1996), uzun süreli bir testte *Bulldog E75M16* tip "tek taraflı" dübeller (200 mm aralıklı) ile tam ölçekli bir yapıyı (3,2 m aralık uzunluğu) araştırmıştır. Ahşap ve beton, ahşap cıvatalı dübeller ile bağlanmış, dübeller betona 50 mm batırılmış ve beton – cıvata – dübel – ahşap kuvvet iletimi sağlamıştır. Akışbilim davranış araştırmaları, kayma veriminin yükleme sonrası ilk bir hafta boyunca en yüksek olduğunu belirtmiştir.

Mungwa (1999) tarafından ahşap-beton yapılar için *INSA-Hilti* adında esnek bir borulu bağlayıcı geliştirilmiştir. *INSA-Hilti* bağlayıcı, esasen değişiklik gösteren çapraz kesit ve duvar kalınlığına sahip boş bir silindirdir. Bağlayıcı, iki statik deneyde (çıkartma ve kompozit plaka) test edilmiştir. Bağlayıcı dübel tipli davranışa sahip esnek bir borulu bağlayıcı olarak sınıflandırılmıştır ve bunun özellikleri, çıkartma testlerinde doğrulanmıştır. Bağlayıcı çok yüksek süneklik göstermiş, testlerdeki rölatif kayma sırasıyla 16 ve 22 mm (dört bağlayıcı başına maksimum karşılık gelen yükler 163 ve 160 kN) olarak gözlemlenmiştir.

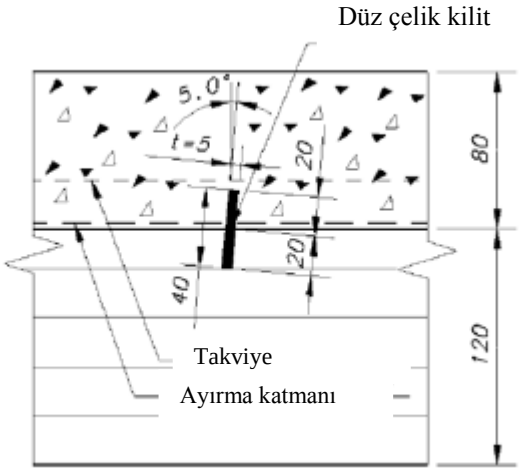
Gelfi ve Giuriani (2002), güçlendirme için uygun basit bağlantı tipli bir deneysel çalışma yürütmüş ve bu çalışmada, basit yumuşak çelik çubukları delinen delikler içine reçine kullanmadan zorla sokarak elde edilen dişli bağlayıcılar kullanılmıştır.

İki farklı tip bağlayıcı incelenmiştir: bir tanesi ϕ12 mm vidalı bağlayıcılar kullanarak ahşap kiriş ile direk temas halindeki beton plaka ve diğeri döşeme tahtası ve ϕ16 mm dişli bağlayıcılara sahip bağlantı (Şekil 2.31 a ve 2.31 b). Çalışmada yapılan ana gözlem, vida çapının beş katından fazla aralıklarda ahşap yerleştirmenin, bağlantı sertliğini ve mukavemetini önemli ölçüde artırmadığıdır. ϕ12 mm vida için kesme mukavemeti 8,3 ile 10,7 kN arasında değişiklik göstermiş ve karşılık gelen kayma <3,5 mm olmuş; ϕ16 mm dişli içinse kesme mukavemeti 9,9 ile 12,7 kN arasında değişiklik göstermiş ve karşılık gelen kayma 3 ve 3,5 mm olmuştur.



Şekil 2.31 Ahşap döşemelerin güçlendirilmesi için vidalı bağlantı elemanları: doğrudan temas bağlantısı (a) ve döşeme tahtasıyla bağlantı (b) (Gelfi ve Giuriani, 2002)

Lehmann ve diğer. (2001), çivi katmanlı ahşap elemanları beton plaka ile birleştirmede kullanılabilen *düz çelik kilit* adında bir bağlayıcı sunmuştur. 5 x 40 mm çapraz kesitli düz çelik bağlayıcı, kesmeye doğru dikeyde 5° açıyla eğimlidir (şekil 2.32). Bağlantının yapısal karakteristiklerini belirlemek için kesme ve eğilme testleri yapılmıştır. Ahşap ve beton arasındaki kesme kuvvetlerinin düz çelik kilit yoluyla aktarılabildiği ve bağlayıcılar arasındaki mesafenin, dübel tip bağlayıcılara kıyasla oldukça fazla tutulabileceği bulunmuştur. Çıkartma testlerinde elde edilen kesme mukavemeti 100 kN civarı (iki bağlantı elemanı başına), karşılık gelen kayma ise yaklaşık 4 mm olmuştur.



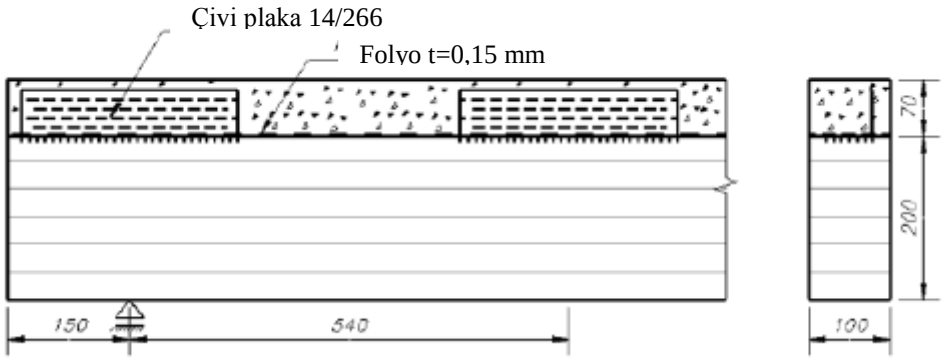
Şekil 2.32 Düz çelik bağlayıcı (Lehmann 2001) (boyutlar mm verilmiştir)

Dias, dübel tip bağlantı elemanları üzerinde çok sayıda deneysel kesme testi yapmış ve kısa ve uzun vadeli mekanik performanslarını değerlendirmek amacıyla ek yerlerini çentiklemiştir (Dias, 2005; Dias ve diğer., 2007). Dübel tip bağlantı elemanları kısa çelik, yumuşak veya profilli takviye çubuklarından üretilen dübelden yapılmıştır. Üç farklı tipte ahşap (alaçam, sahil çamı ve kestane ağacı) ve düşük mukavemetli/hafif, normal mukavemetli ve yüksek mukavemetli beton kullanılmıştır.

2.6.4 Delikli Metal Plaka Bağlantı Elemanları

Ahşap-beton bağlayıcılar olarak delikli metal plaka bağlantı elemanları (çivi-plakalar) üzerinde yapılan ilk araştırmalar, yük-kayma ve göçme karakteristiklerini tespit etmek için çivili-plakalı bağlayıcılar üzerinde 50 çıkartma testinden sonuçlar sunan Girhammar (1984) tarafından bildirilmiştir. Tüm testlerde çiviler-plakalar kesmede aşırı derecede deforme edilmiştir. Çivi-plaka başına maksimum kesme mukavemeti 8 kN kadar, karşılık gelen kayma ise 10 mm olmuştur. Bu bağlayıcı tipi İsveç'te geliştirilen ahşap-beton duvar elemanlarında kullanılmıştır (Girhammar 1984). Çivi-plakalar üzerinde çalışmalar ayrıca Van der Linden ve Blass (1996) ile Van der Linden (1999) (Şekil 2.33) ve Jorge (2004) (Şekil 2.34) tarafından da yapılmıştır. Çivi-plakanın maksimum taşıma kapasitesine 6 mm civarı yer değiştirmede ulaşılmış ve karşılık gelen yük 48 kN olmuşken, göçme yaklaşık 10

mm kaymada meydana gelmiştir. Bağlayıcı başına maksimum yük (eğilme testlerinde) 23 kN, karşılık gelen orta açıklık sapması da yaklaşık 80 mm olmuştur (Van der Linden, 1999).



Şekil 2.33 Delikli metal plaka bağlantı elemanlarına sahip ahşap-beton bağlantı (Van der Linden, 1999) (boyutlar mm cinsinden verilmiştir)

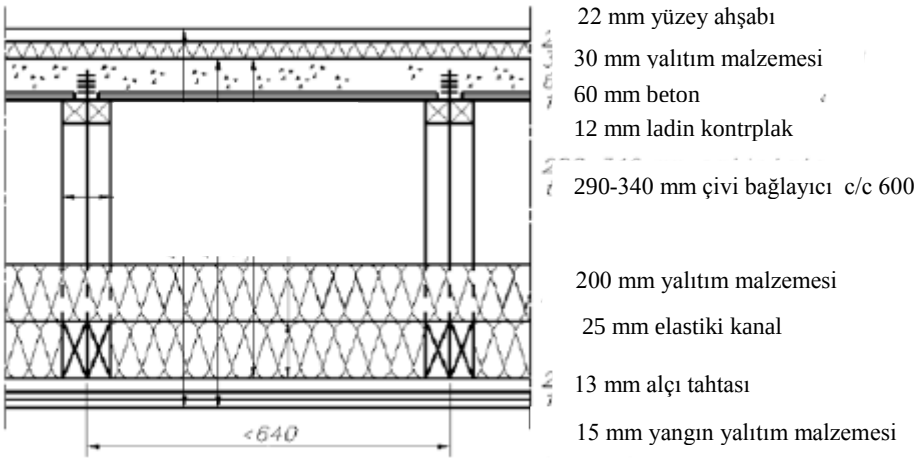


Şekil 2.34 Çivi-plaka bağlayıcı tipi (Jorge, 2004)

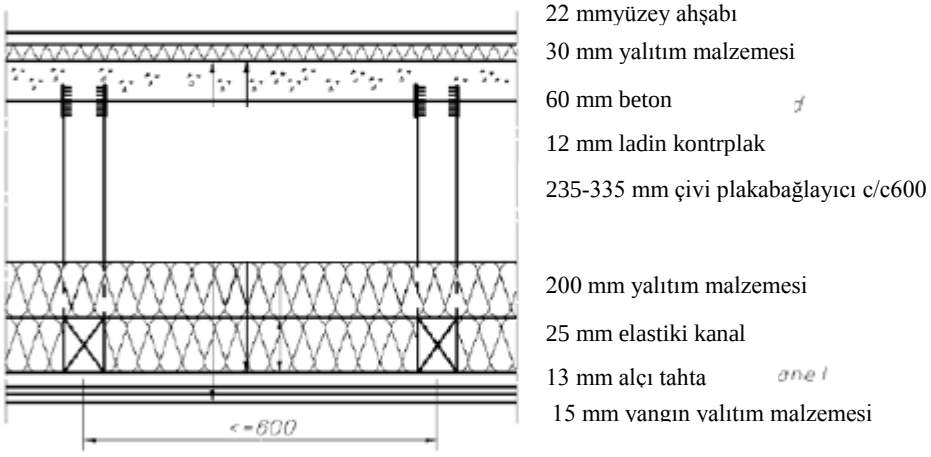
Ronca ve diğer. (1991), sistemin uzun vadeli ve periyodik kompozit performansına özellikle dikkat ederek, hem esneklik, hem de ahşap-beton ara yüz boyunca kayma bağlamında, birbirine kaynaklanmış çift "gang-nail"ler kullanarak bağlanmış kompozit kirişlerin şekil değiştirebilme özelliklerini detaylı olarak incelemişlerdir ve bu bağlayıcıların ahşap kirişlere göre kompozit kirişe altı kat fazla eğilme sertliği sağladığını bulmuşlardır.

1997'den başlayarak Finlandiya'da, VTT Building Technology'de çok katlı binalar için ahşap-beton kompozit döşemeler üzerine bir araştırma yürütülmüştür (Toratti ve Kevarinmaki 2001; SEPA 2000, b.t.). Bağlantı elemanları olarak, bir tanesi yerinde döküm (Şekil 2.35), diğeri ise herhangi bir kalıp işine gerek duymaksızın fabrika koşullarında dökülmüş beton ile önceden imal edilmiş (Şekil 2.36) çivili plaka desteklerine sahip iki çeşit sistem geliştirilmiştir. Finlandiya Çevre Bakanlığı tarafından onaylanan ve SEPA-2000 damgası alan bu ahşap-beton

kompozit döşeme sistemlerinin her ikisi de şu anda Finlandiya'da üretilmektedir. Döşemenin maksimum izin verilebilir açıklığına, döşemenin sarsıntı özellikleri tarafından karar verilmektedir. Tablo 2.1'de, Toratti ve Kevarinmaki (2001) tarafından yapılan hesaplamalara ve deneylere dayanarak maksimum açıklıklar özetlenmiştir. Bu açıklıkları kullanarak kompozit döşeme mukavemet, rijitlik, sarsıntılar ve nokta yükleri bağlamında tatminkar performans göstermektedir. Döşeme kesintisiz bir yapı olabilir (üç veya daha fazla destekli); bu durumda açıklık, döşemenin izin verilen en büyük tek açıklığı anlamına gelmektedir. Ancak, taşıma sorunlarından ötürü 12 metreden uzun döşemelerden kaçınılması gerektiği belirtilmektedir.



Şekil 2.35 VTT yerinde ahşap-beton kompozit çok katlı ev döşeme sisteminin kesiti (SEPA 2000, b.t.)



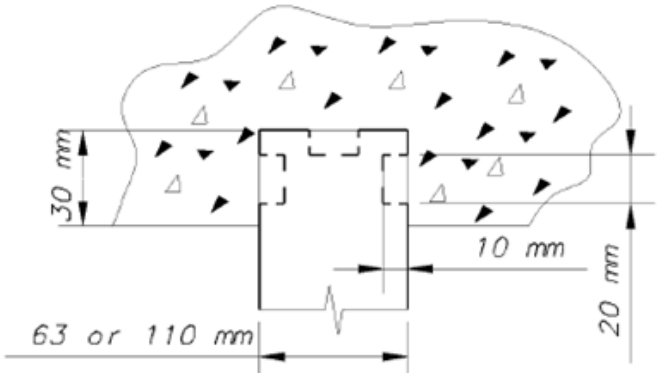
Şekil 2.36 VTT ahşap-prefabrik beton kompozit çok katlı ev döşeme sisteminin kesiti (SEPA 2000, b.t.)

Tablo 2.1 Yerinde dökme ve prefabrik (eleman) VTT ahşap-beton döşeme sistemleri için 600 mm aralıklı maksimum izin verilebilir açıklık (Toratti ve Kevarinmaki, 2001)

Destek yüksekliği		Kompozit döşeme yüksekliği		Tam döşeme yüksekliği		Maksimum açıklık	
[mm]		[mm]		[mm]		[mm]	
yerinde	eleman	yerinde	eleman	yerinde	eleman	yerinde	eleman
290	235	362	315	415	368	5730	5320
300	250	372	330	425	383	5880	5510
310	265	382	345	435	398	6030	5710
320	280	392	360	445	413	6180	5900
330	295	402	375	455	428	6330	6090
340	310	412	390	465	443	6480	6280
-	320	-	400	-	453	-	6410
-	335	-	415	-	468	-	6600

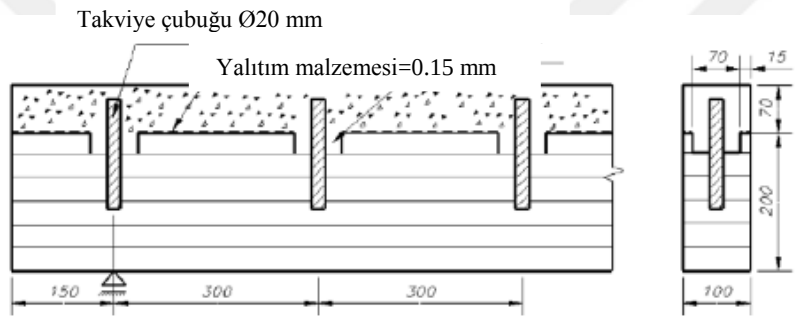
2.6.5 Dübelli ve Dübelsiz Çentik Tipi Bağlayıcı Elemanları

Yttrup (1996) tarafından bildirilen bir araştırmada, "ufak ölçekli dikey ve yatay çukurlarla hazırlanmış kirişin ahşaba gömülmesi" (Şekil 2.37) yoluyla kompozit hareket sağlanması incelenmektedir. Sonuç, hiçbir çelik bağlayıcı tipi kullanmadan tam kompozit hareketin elde edilebileceğini önermektedir. Bağlantı elemanları olarak kullanılan (beton plakada bulunan) ufak ölçekli "çukurların" etkin kesme iletimi sağlayabildiği belirtilmektedir.



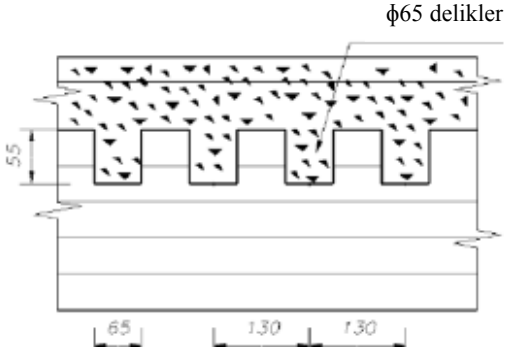
Şekil 2.37 Kesme dişi-çukurlar (Yttrup 1996)

Dübelli oluklu bağlantılar, Van der Linden (1999) ve Van der Linden ve Blass (1996) tarafından incelenen dört adet kesme saplantısından biri olmuştur. Bu tip ekleri üretebilmek için ϕ70 mm oluklar, ahşap yüzeyinden 30 mm derine yerleştirilmiştir. Bu girintilerin her birine, 20 mm çapında bir delik açılmış ve delik içine çelik bir dübel yerleştirilmiştir (Şekil 2.38). Bu bağlayıcı tipi, plastik deformasyon kapasitesi sergilemiştir. Beton çentikli takviye çubuğunun maksimum kesme kapasitesine 5 mm civarı bir yer değiştirmede ulaşılmış ve karşılık gelen yük 52 kN civarı olmuş, göçme ise yaklaşık 15 mm kaymada meydana gelmiştir. Bağlantı başına maksimum yük (eğilme testlerinde) 32 kN, karşılık gelen orta açıklık sapması ise 80 mm civarı olmuştur (Van der Linden, 1999).



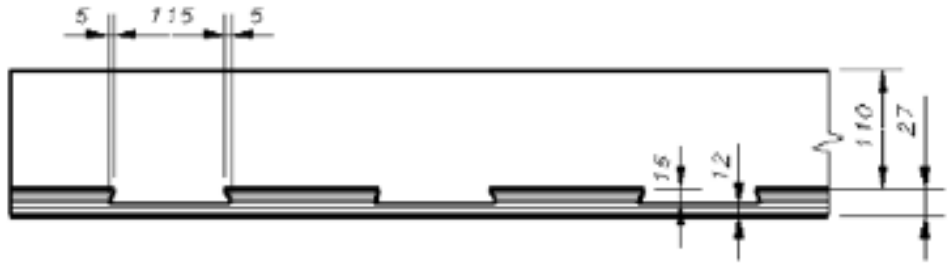
Şekil 2.38 Oluklu deliklere ve dübellere sahip ahşap-beton bağlantı (Van der Linden 1999) (boyutlar mm cinsinden verilmiştir)

Van der Linden (1999) tarafından sunulan bağlayıcıya benzer bir bağlantı tipi, Piazza ve Ballerini (2000) tarafından incelenmiştir (Şekil 2.39). Ancak bağlantı, yalnızca kiriş uzunluğu boyunca 130 mm'de aralıklandırılmış beton bodur dübeller (ϕ65 mm x 55 mm yükseklik) içermiştir. Bodur beton dübeller, muhtemelen "beton bodur dübellerin" kademeli mekanik hasarı nedeniyle çatlama yoluyla doğrusal olmayan tepkiler vermiştir (Piazza ve Ballerini, 2000).



Şekil 2.39 Beton bodur dübeller (Piazza ve Ballerini, 2000) (boyutlar mm cinsinden verilmiştir)

Plak ahşap-beton kompozit yapılarda kullanılmak üzere de oluklu bağlantılar (Şekil 2.40) geliştirilmiştir; burada gerilme bölgesinde tabaka malzemesi olarak, ahşap kirişler yerine tabakalanmış kaplama kereste (LVL) kullanılmıştır. Maksimum kesme kapasitesi 2 mm kaymada elde edilmiş ve muhafaza edilip testin sonlandırıldığı 15 mm'ye kadar dahi yükseltilebilmiştir. Ortalama kesme yükü 50 kN kadar olmuştur. Bağlantı başına maksimum yük (eğilme testlerinde) 19 kN, karşılık gelen orta açıklık sapması da yaklaşık 80 mm olmuştur (Van der Linden, 1999).



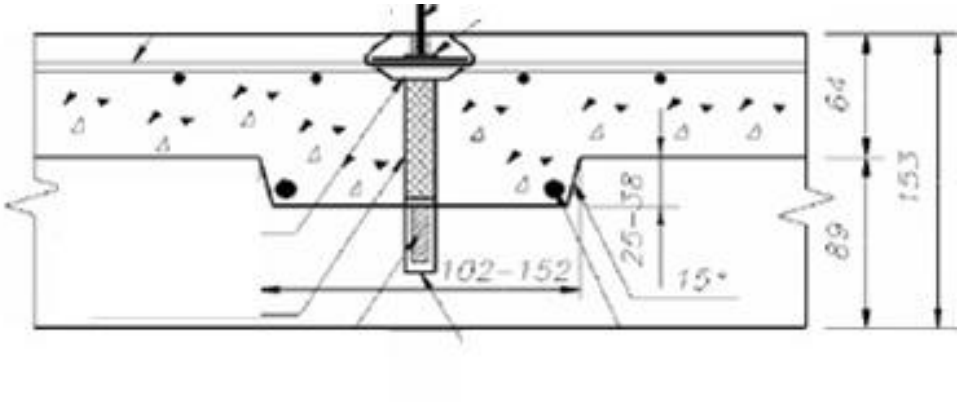
Şekil 2.40 LVL'de oluklu çentiklere sahip ahşap (LVL)-beton bağlantı (Van der Linden,1999) (boyutlar mm verilmiştir)

Kamu binalarının yanı sıra çok katlı binalarda da kullanılma potansiyellerine önem verilmeye başlandığında, ahşap-beton kompozit sisteme olan ilgi 1980'lerde 90'larda birçok Avrupa ülkesinde artmıştır. En geçerli çalışma Natterer (1996, 1997) tarafından yapılmıştır; Natterer, yeni konut ve kamu binaları için, ahşap elemanın birbirine dik olarak çivilenen ahşaptan oluştuğu ve bunun da yüzey oluşturduğu bir döşeme sistemi önermiştir. İki bileşen, ahşaptaki oluklardan ve betonun sertleşme dönemi ardından sonradan gerilen dübellerden oluşan bir sistem ile bağlanmaktadır. Sonradan gerdirmenin avantajı, betonun büzüşmesinin neden olduğu boşluğun önemli ölçüde azaltılmasıdır. Deneysel testlerde, ahşap ve beton arasındaki bağlantının, bağlantının sertliğine değil, sadece olukların konumuna, boyutlarına ve aralığına bağlı olduğu gösterilmiştir. Bağlantının kompozit verimliliğinin %85 ile %90 olduğu bulunmuştur (Natterer ve diğer., 1996).

Capozucca (1998) ise Natterer (1996) tarafından sunulan sistemin geliştirilmiş bir halini önermiş, ancak ahşaba herhangi bir girinti dahil etmemiştir. Yeniden tasarlanan sistemde, iki malzeme arasında yüksek bir temas kuvveti uygulayan ön

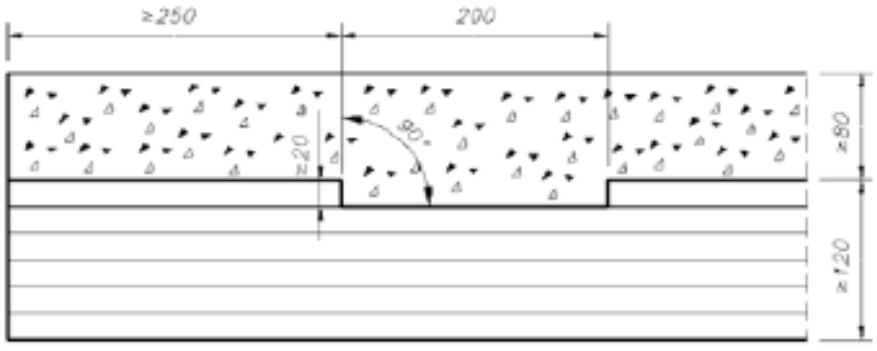
gerdirmeli çelik eksenel bağlayıcıların kullanılmasını içeren bir bağlantı sistemi temel alınmıştır. Bu teknik kullanılarak ilk eğilme, ahşapta oluklar açmadan önemli ölçüde azaltılır ve bağlantı sistemi eğilmez (tam kompozit hareket sağlayan) olarak kabul edilebilir; böylelikle bağlayıcının esneklik analizi ile ilgili çeşitli sorunlar ortadan kaldırılabilir. Ön gerdirmeli eksenel bağlayıcıların kullanılması hem yapının direncini, hem de sünekliğini artırabilir. 60 x 600 mm beton plakalara ve 180 x 250 mm ahşap kirişlere sahip 4000 mm uzunluğundaki örnekler için gözlemlenen maksimum eğilme direnci 120 kN civarı (eğilme testlerinde), karşılık gelen orta açıklık sapması da 40 mm civarı olmuştur. Yüksek nem seviyeleri ve/veya nem ve sıcaklıktaki değişiklikler nedeniyle bu bağlayıcı tipinde meydana gelebilecek gerilme kayıplarını değerlendirmek hayati önem taşımaktadır. Uygulanan normal kuvvetler 10 kN (örnek 1) ve 15 kN'ye (örnek 2) eşit olmuştur (Capozucca, 1998). Ön yük uygulanmasından 3 ay sonraki gerilme kaybı, %2,5'lik anlık kayıpla örnek 1 ve örnek 2 için ilk yükün sırasıyla %6'sı ve %10'u kadar olmuştur.

Gutkowski (1999), çentikli kesme dişi/bağlantı noktası detayları ile ara bağlantı yapılan ahşap bir platform ve beton plaka ile Natterer ve diğer. (1996) tarafından geliştirilen sistem ile kıyaslanabilir bir bağlantı sistemi sunmuştur (Şekil 2.41). Altmış adet farklı kayma test örneği yapılmış ve üç farklı çentik yapılandırması ile test edilmiştir (Gutkowski ve diğer., 2004). En yüksek kayma modülü (28,2 kN/mm), 152 mm ene, 38 mm derinliğe ve 90 kN karşılık gelen göçme yüküne sahip yapılandırma tarafından elde edilmiştir. En düşük kayma modülü (20,3 kN/mm) ise, 102 mm ene, 25 mm derinliğe ve 79 kN karşılık gelen göçme yüküne sahip yapılandırma tarafından elde edilmiştir. Test edilen kirişlerin ölçülen orta açıklık sapmalarından tespit edilen kompozit verimlilikler, dört adet 32 x 128 mm çentiğe sahip 350 mm açıklıklar için %57,4-%77,0 aralığında olmuştur. Kiriş köşesinden ilk çentiğe olan mesafe ve çentikler arasındaki aralık 330 mm olmuştur. Beton ve ahşap katman (çivili kirişler) sırasıyla 64 mm ve 89 mm kalınlığında, 267 ve 305 mm eninde olmuştur.



Şekil 2.41 Kesme dişi/bağlantı noktası bağlantı detayları (boyutlar mm cinsinden verilmiştir) (Gutkowski 1999)

Kuhlmann ve Shanzlin (2001), Kuhlmann ve Michelfelder (2006) ahşap içinde 20 mm derinliğinde ve 200 mm uzunluğunda oluklardan oluşan bir ahşap-beton bağlantı sistemi sunmuşlardır. (Şekil 2.42). Ayrıca ortaya çıkan dış merkezli eğilme hareketinin neden olduğu bağlantıdaki gerilme kuvvetini kontrol etmek için, gerekirse betonun sertleşmesinden sonra 12 mm çaplı ve 250 mm aralıklı vidaların takılıp sıkılabileceğini önermişlerdir. Olukların derinliği ve uzunluğu ile vidaların sayısını değiştirmenin etkilerini belirlemek amacıyla Almanya'daki Stuttgart Yapısal Tasarım Enstitüsü'nde birtakım kısa ve uzun vadeli testler yapılmıştır. Bu arada ilginç şekilde bu testler, oluklardaki vida varlığının bağlayıcıların yük taşıma kapasitesi veya sertliği üzerinde ciddi hiçbir etkisinin olmadığını göstermiştir. (Kuhlmann ve Michelfelder, 2004).

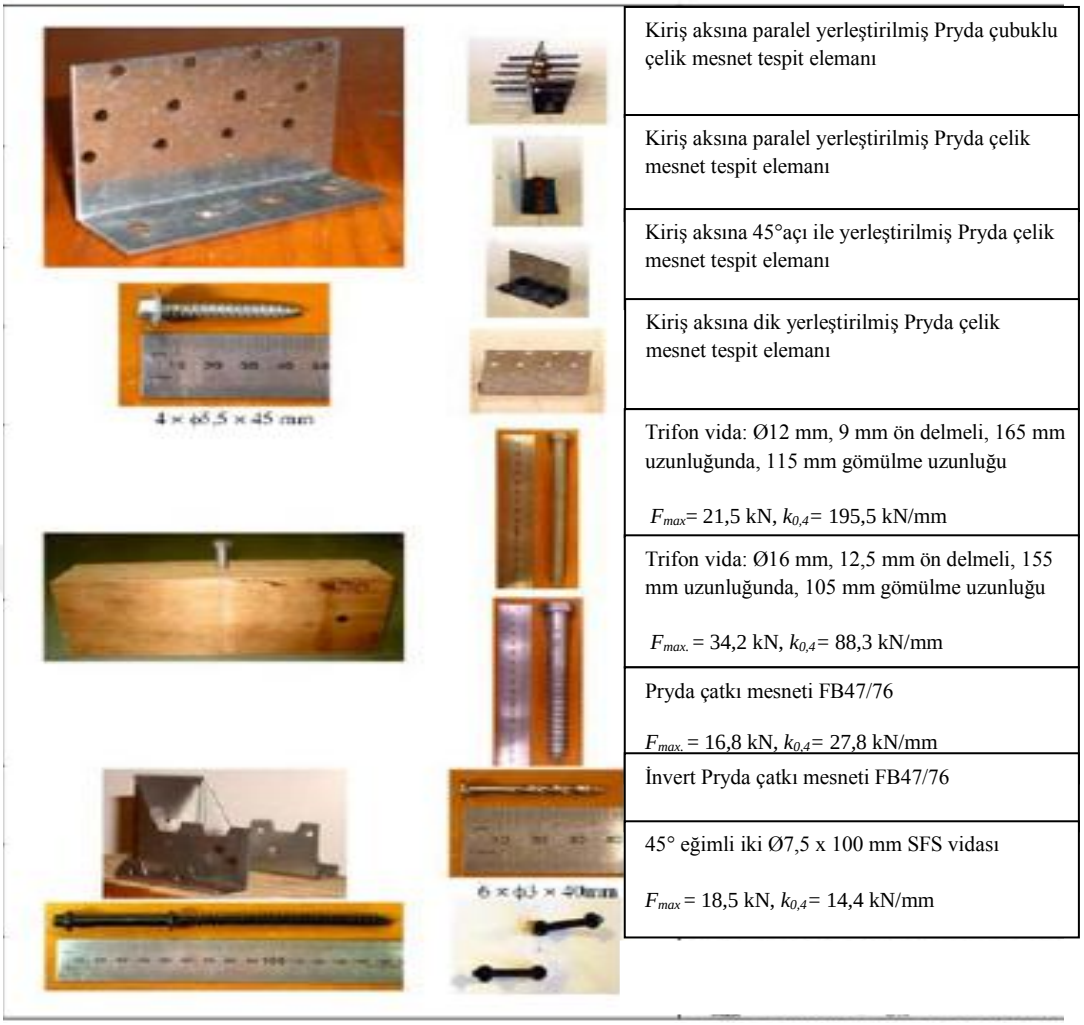


Şekil 2.42 Kuhlmann ve Michelfelder (2006) tarafından incelenen olukların geometrisi (boyutlar mm cinsinden verilmiştir)

LVL kirişlere sahip 8 m ahşap-beton kompozit ofis döşemesi için en verimli ve uygun maliyetli bağlantı elemanlarını tanımlamak amacıyla Deam ve diğer. (2008) ile Yeoh ve diğer. (2008) tarafından çoğu çentikli tip bağlayıcı olmak üzere bir dizi bağlantı elemanı kullanılmıştır (Şekil 2.43 ve 2.44). Vida veya çelik boru ile takviye edilmiş beton plakalar en iyi sertliği mukavemet davranışı sergilemiştir.

	Tip: yuvarlak çentik Çentik: Ø48,5 mm, 20 mm derinlik F_{max} = 13,2 kN, $k_{0,4}$= 83,1 kN/mm
	Tip: vidalı yuvarlak çentik Çentik: Ø48,5 mm, 20 mm derinlik Vida: Ø12 mm, 9 mm ön gelmeli, 150 mm uzunluk, 100 mm gömülme uzunluğu
	Tip: takviye tıkacı Çentik: Çentik: Ø48,5 mm, 20 mm derinlik Boru: 40 mm uzunluk F_{max} = 32,6 kN, $k_{0,4}$= 66,6 kN/mm
	Tip: vidalı üçgen çentik Çentik: 50 mm uzunluk, 20 mm derinlik Vida: Ø12 mm, 9 mm ön gelmeli, 150 mm uzunluk, 103 mm gömülme uzunluğu

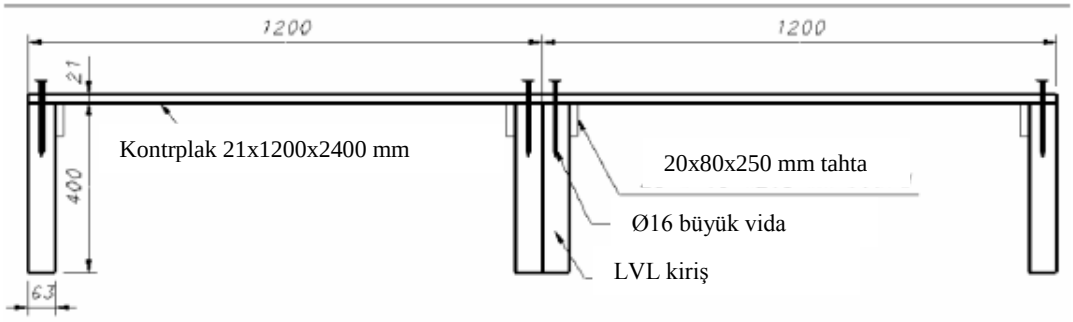
Şekil 2.43 Deam ve diğer. (2008) tarafından test edilen çentikli bağlayıcıların özellikleri



Kiriş aksına paralel yerleştirilmiş Pryda çubuklu çelik mesnet tespit elemanı
Kiriş aksına paralel yerleştirilmiş Pryda çelik mesnet tespit elemanı
Kiriş aksına 45°açı ile yerleştirilmiş Pryda çelik mesnet tespit elemanı
Kiriş aksına dik yerleştirilmiş Pryda çelik mesnet tespit elemanı
Trifon vida: Ø12 mm, 9 mm ön delmeli, 165 mm uzunluğunda, 115 mm gömülme uzunluğu F_{max}= 21,5 kN, $k_{0,4}$= 195,5 kN/mm
Trifon vida: Ø16 mm, 12,5 mm ön delmeli, 155 mm uzunluğunda, 105 mm gömülme uzunluğu $F_{max.}$ = 34,2 kN, $k_{0,4}$= 88,3 kN/mm
Pryda çatkı mesneti FB47/76 $F_{max.}$ = 16,8 kN, $k_{0,4}$= 27,8 kN/mm
İnvert Pryda çatkı mesneti FB47/76
45° eğimli iki Ø7,5 x 100 mm SFS vidası F_{max} = 18,5 kN, $k_{0,4}$= 14,4 kN/mm

Şekil 2.44 Deam ve diğer. (2008) tarafından test edilen mekanik bağlayıcıların özellikleri

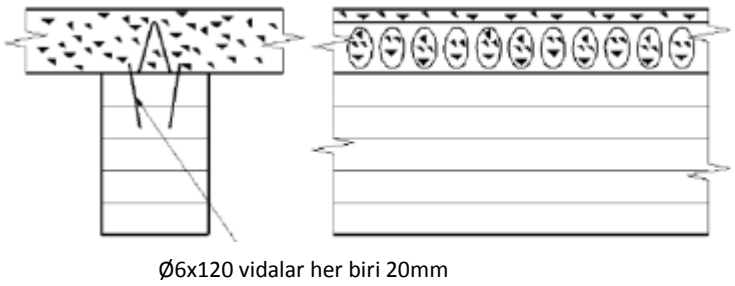
Trifon vidalı bağlayıcılarla takviye edilmiş üçgen çentikler, ayrıca Yeni Zelanda'da geliştirilen ahşap-beton kompozit döşemeli çok katlı ön gerdirmeli ahşap binalarla ilgili bir sistemde de kullanılmıştır (Buchanan, 2007). 10'dan fazla kata sahip çok katlı ahşap binalarda kullanılabilen sistem, beton üst kaplamalı T kirişli döşemelerin bir parçası olarak yapıştırma tabakalı ahşap veya kaplama kereste (LVL); bina kolaylığı ve yüksek sismik direnç içinse sonradan gerdirmeli bağlantılar içermektedir. Her dış kenarda tekli 400 x 63 mm LVL kiriş ve merkezde çift LVL kiriş ile inşa edilmiş 2400 mm eninde "M" kesitli paneller içermektedir (Şekil 2.45).



Şekil 2.45 Yarı prefabrik "M" kesitli panel (boyutlar mm cinsindendir) (Buchanan, 2007)

2.6.6 Mekanik Kesintisiz Bağlantı Elemanları

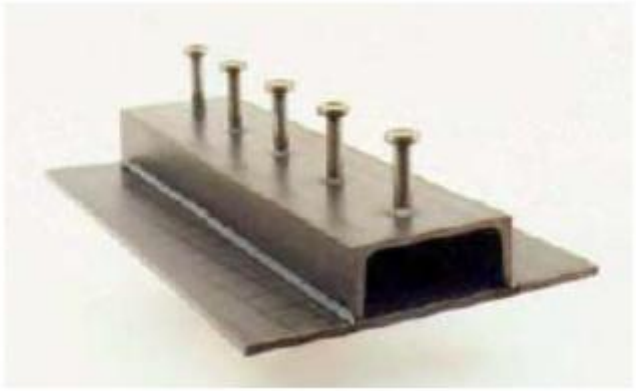
2 mm kalınlığında şekillendirilmiş ve delinmiş çelik sac ile yapılmış, her 20 mm'de ϕ6 mm'lik vidalar ile ahşap kirişlere sabitlenmiş mekanik sürekli bir bağlantı elemanı, Piazza ve Ballerini (2002) tarafından incelenmiştir (Şekil 2.46). Tam ölçekli örneklerin davranışı, göçme yükünün yaklaşık %50'sine kadar oldukça doğrusal bir tepki ve bunun ardından esasen bağlantıların doğrusal olmayan davranışından dolayı post-elastik tepki vermektedir. Örnekler, yaklaşık 22 kN/m^2'lik göçmede mukavemet göstermiş ve karşılık gelen orta açıklık sapması yaklaşık 72 mm olmuştur (sadece ahşap kirişlere kıyasla mukavemette %200 artışa tekabül etmektedir). Bu bağlayıcı tipi tarafından sergilenen kompozit hareket, düşük yük seviyeleri (<7 kN/m^2) için %90, göçme yükü için %30 aralığında olmuştur (Piazza ve Ballerini, 2002).



Şekil 2.46 Vidalarla ahşaba sabitlenen bükülmüş ve delikli çelik sac (Piazza ve Ballerini, 2000) (boyutlar mm olarak verilmiştir)

Yüksek binalarda kullanılmak üzere tasarlanmış ince döşeme profili adındaki başka bir sistem (Şekil 2.47), Kuhlmann ve Schanzlin (2001) tarafından önerilmiştir. UPE270 olarak adlandırılan entegre bir ince döşeme profili, ahşap ve beton arasında

kompozit hareket sağlamak için düz bir çelik çubuk üzerine ortak bir U profili kaynaklayarak ve U-profil tepesine başlıklı cıvatalar ekleyerek üretilmiştir. Bu sistem, profilin alt bölgesine ikinci bir destek olmadan levha yığınları döşenirken ve beton yapının tamamı üzerine dökülürken destekler üzerine yerleştirilir. Bu sistemin montajı, prefabrik bir beton plakanın imalatından farklı değildir. Ancak, sistemin bahsedilmesi gereken bazı avantajları vardır; bunlar arasında gerekli destek sayısında azalma (prefabrik beton plakalara kıyasla levha yığınlarının daha yüksek eğilme direnci nedeniyle) ve montaj süresi vardır (prefabrik plakalara kıyasla levha yığınlarının daha fazla kalınlığından dolayı yerinde dökme beton miktarı üçte iki oranında azaltılabildiği için).



Şekil 2.47 İnce döşeme profili (Kuhlmann ve Schanzlin, 2001)

2.7 Ahşap-Beton Kompozit Sistemin Kullanım Alanları

Ahşap-beton kompozit sistemin kullanım alanlarını genel olarak iki grupta inceleyebiliriz;

1. Binalarda kullanımı
2. Köprülerde kullanımı

Ahşap-beton kompozit sistemi binalarda veya köprülerde kullanılırken yapılan ahşap seçiminde ahşabın yoğunluğu, elastite modülü, zaman içinde değişim katsayısı (nem değişimi ve yük artışı ile), kayma modülü, eğilme, çekme ve makaslama kuvveti değerleri göz önünde bulundurulur. Tutkallı tabakalı ahşabın seçilen türleri GL24-GL36 arasıdır (Tecnaria,2003).

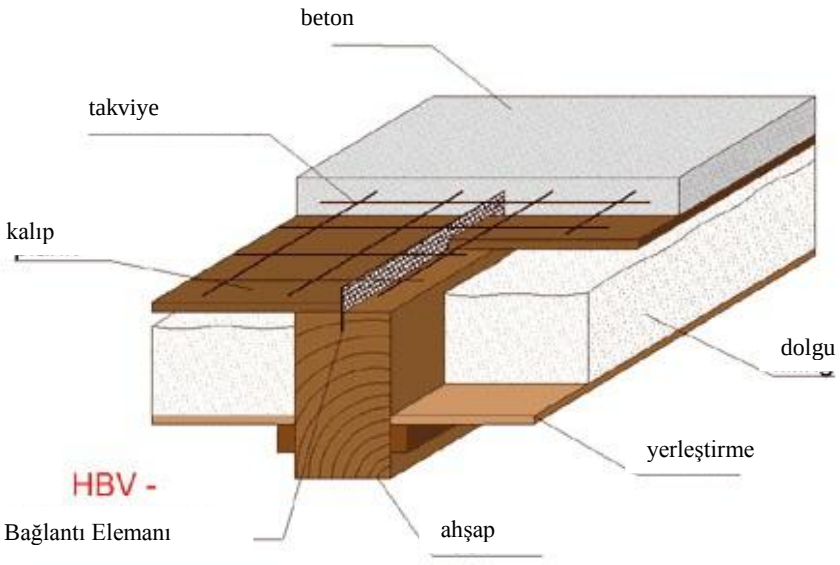
2.7.1 Binalarda Kullanımı

Ahşap-beton kompozit sistemin binalarda kullanımı tek katlı ve çok katlı konutlardan ticari yapılar, eğitim yapıları ve devlet binalarına kadar uzanmaktadır. Ahşap-beton kompozit sistemin binalarda kullanımı eski ahşap binaların yenilenmesi ve yeni yapılan binalarda kullanımı olarak iki başlıkta incelenmektedir.

2.7.1.1 Binaların Yenilenmesinde Kullanımı

Eskimesi sebebiyle kullanılamaz hale gelen ahşap döşemeyi yenilemek için eski ahşap binalarda kullanılır. Bu sayede ahşap bina yıkılmaktan kurtulur, güçlenir ve binanın gelecek nesillere aktarımı gerçekleşmiş olur. Ahşap-beton kompozit sistemin ahşap binaya sağladığı avantajlar şunlardır:

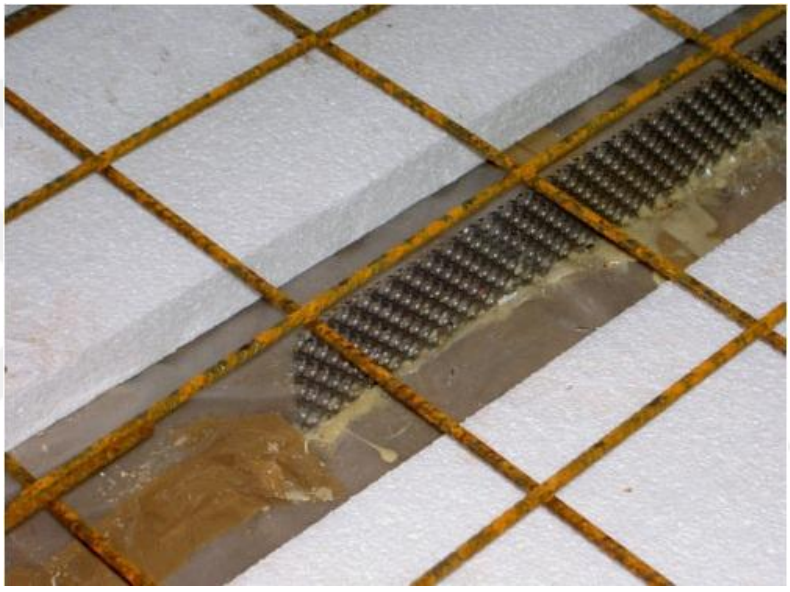
- Eski ahşap kirişlerin yük taşıma kapasitesinde ve kullanılabilirliğinde iyileşme,
- Yenileme sayesinde yıkıp yeniden yapmaya oranla maliyet azaltımı sağlaması,
- Alçak tavan yükseklikleri sağlarken yüksek yük dayanımı sağlaması.



Şekil 2.48 Döşeme yenilemesi şematik gösterimi (TICOMTEC, b.t)

Sistem mevcut taşıyıcı kirişlerin arasından çalışır. Uygulaması şu şekilde geçekleşir (Şekil 2.48):

1- Mevcut döşemenin altına ek tabaka yerleştirilir ve arası dolgu malzemesiyle doldurulur.
2- Ahşap kiriş üzerinde çelik bağlantı elemanları yapıştırılarak yerleştirilir.(Şekil 2.49)
3- Üzerine donatılar yerleştirilir ve beton dökülür. (Şekil 2.50 ve şekil 2.51) Nem sızmasına karşı ahşabı korumak için ahşap ve beton arasına bir nem koruma folyosu konulmalıdır.



Şekil 2.49 Döşeme yenilemesinde bağlantı elemanı (TICOMTEC, b.t)



Şekil 2.50 Döşeme yenilemesinde donatıların yerleştirilmesi (TICOMTEC, b.t)



Şekil 2.51 Döşeme yenilemesi beton dökümü (TICOMTEC, b.t)

2.7.1.2 Yeni Yapılan Binalarda Kullanımı

Yeni binalarda döşeme, duvar, çatı ve modül ev olarak kullanılmaktadır. Bölüm 2.5.2'de bu kullanımlar detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Yangın dayanımı yüksek, ses izolasyonu fazla, yük dayanımı fazla ve ısı ve su yalıtımını kendi bünyesinde sağlaması avantajları arasındadır (TICOMTEC, b.t). Prefabrikasyondan dolayı inşa süresini kısaltması sebebiyle yeni yapılan binalarda tercih edilebilmektedir.

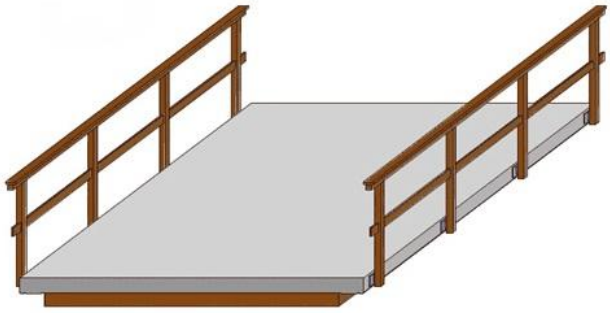
2.7.2 Köprülerde Kullanımı

Ahşap-beton kompozit sistemle yapılan köprüler daha fazla yük taşıma gücüne sahip, hava koşullarına daha dayanıklı ve prefabrikasyonu sayesinde daha kolay ve hızlı yapılabilme olanağına sahiptir.

İki çeşit yapılabilmektedir: kirişli ve plak döşemeli.

2.7.2.1 Plak Döşeme Köprü

Plak döşeme köprü (Şekil 2.52) alt tabakada yapıştırılmış lamine ahşap levhalardan üst tabakada beton plakadan oluşturulmuştur. Katmanlar arasındaki bağlantı elemanı üretim tesisinde yapıştırılır. Ayrıca katmanlar arasında beton neminin ahşabı etkilememesi için arada yalıtım tabakası kullanılır. Çelik hasır donatı yerleştirilmesi ve betonlama işlemleri üretim tesisinde prefabrikasyon olarak ya da şantiyede yerinde yapılabilir (Şekil 2.53). Prefabrik büyük boyutlu yapı elemanları hızlı ve kolay şekilde bir vinç yardımı ile monte edilebilir (Şekil 2.54). Standart tasarım plak döşemede köprünün alt tabakası doğal lamine ahşap rengindedir (Şekil 2.55) fakat isteğe bağlı olarak ladin, karaçam veya Douglas köknar olarak özelleştirilebilir.



Şekil 2.52 Plak döşeme köprü (TICOMTEC, b.t)



Şekil 2.53 Plak döşeme köprünün üretim tesisinde yapımı (TICOMTEC, b.t)



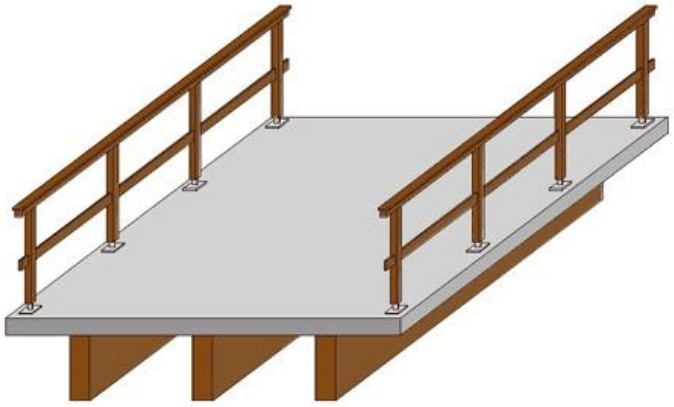
Şekil 2.54 Plak döşeme köprünün taşınması (TICOMTEC, b.t)



Şekil 2.55 Plak döşeme köprü (TICOMTEC, b.t)

2.7.2.2 Kirişli Döşeme Köprü

Kirişli döşeme köprü (Şekil 2.56 ve şekil 2.58) lamine ahşap kirişler üzerinde beton plakadan ve arada bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Kiriş üzerinde döküm beton uygulamasında kalıp amaçlı kontrplak bulunmaktadır, fakat hazır beton uygulamasında bu kontrplağa gerek yoktur (Şekil 2.57). Kirişli döşemede ahşap kısım ladin, karaçam veya köknardan inşa edilebilmektedir.



Şekil 2.56 Kirişli döşeme köprü (TICOMTEC, b.t)



Şekil 2.57 Kirişli döşeme köprüde hazır betonla uygulama (TICOMTEC, b.t)



Şekil 2.58 Kirişli döşeme köprü (TICOMTEC, b.t)

2.8 Ahşap-Beton Kompozit Sistemin Avantajları ve Dezavantajları

Ahşap-beton kompozit sistem avantajları ve dezavantajları olarak iki grupta değerlendirilebilir.

Ahşap-beton kompozit sistemin yalnızca ahşap veya betonarme döşemelere göre birçok avantajı vardır. Yeni binalar için, sadece ahşap döşemeye göre avantajları:

1. Yalnızca ahşap döşemelere kıyasla sertliği önemli ölçüde artırmak,
2. Akustik ayrımı ciddi oranda iyileştirmek,
3. Binayı ısıtmak ve soğutmak için gerekli enerji tüketimini azaltmak için önemli olan termal kütleyi artırmak olarak sıralanabilir.

Yeni binalar için yalnızca betonarme döşemeye göre şu avantajları:

1. Düşük ağırlığı sayesinde, özellikle tesis dışında önceden imal edilmişse, ahşap parçanın beton üst kaplama için kalıcı kalıp özelliği ile hızlı biçimde inşa edilmesi,
2. Temel üzerine daha az yükün uygulanması,

3. Azaltılmış kütle ve böylece azaltılmış sismik hareket,
4. Ahşabı dekoratif bir tavan kaplaması olarak kullanma imkanı,
5. Düşük gömülü enerji,
6. Ahşap karbon içermediğinden azaltılmış CO2 emisyonları olarak sıralanabilir.

Eski binaların tadilatı için, mevcut ahşap döşemeye yaklaşık 50 mm'lik bir beton üst kaplama bağlayarak şu avantajlar elde edilebilmektedir:

1. Artırılmış rijitlik ve yük taşıma kapasitesi,
2. Tarihi binaların gelecek nesiller için korunması,
3. İyileştirilmiş diyagram hareketi sayesinde daha iyi sismik performans,
4. Döşemenin akustik ayrımını, ısıl kütlesini, yangın direncini artırma ve sarsıntıya duyarlılığı azaltma.

Ahşap-beton kompozit sistemin yararlarına rağmen, bu tekniğin yayılmasını azaltan bazı dezavantajlar mevcuttur. Bunlar:

1) Yüksek işçilik maliyetleri,
2) Bağlantı elemanlarının toplam inşaat maliyetini arttırması.

Ahşap-beton kompozit sistemin diğer inşaat sistemleri ile rekabet edebilir hale getirmek için bağlantı sisteminin ucuza imal edilebilmesi ve sistemin işçilik maliyetlerini azaltacak yöntemlerle kurulabilmesi gereklidir(Yeoh,2010).

BÖLÜM ÜÇ
AHŞAP-BETON KOMPOZİT DÖŞEMELER

3.1 Ahşap-Beton Kompozit Döşeme Çeşitleri

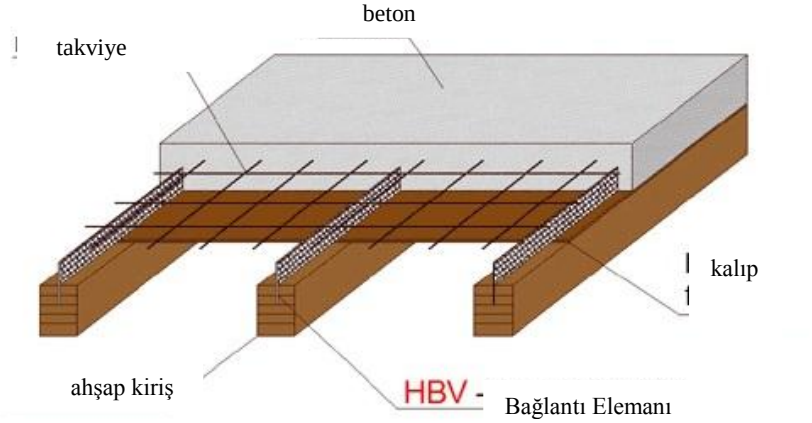
Ahşap-beton kompozit döşeme çeşitleri; yapısal ve özelleşmiş olarak iki başlık altında incelenmektedir.

3.1.1 Yapısal Ahşap-Beton Kompozit Döşeme

Yapısal ahşap-beton kompozit döşeme olarak kirişli döşeme, plak döşeme ve kaburga döşemeler yer almaktadır.

3.1.1.1 Kirişli Ahşap-Beton Kompozit Döşeme

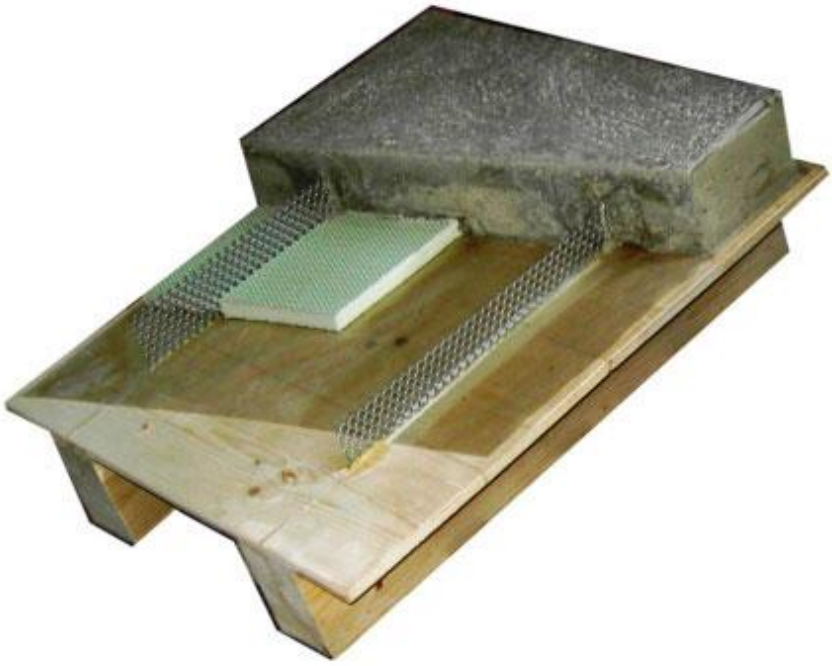
Kirişli ahşap-beton kompozit döşemede kirişler gereken yapısal boyutlarına göre prefabrik olarak oluşturulmaktadır (Şekil 3.1 ve 3.2) Bağlantı elemanları da üretim tesisinde kirişlere yapıştırılmak suretiyle yerleştirilmektedir. Kirişlerin döşenmesi sonrasında kirişe dik yönde ahşap kalıp çerçeve yerleştirilmektedir. Ahşap çerçeve üretim tesisinde ya da inşaat alanında yerleştirilebilmektedir. Kirişli ahşap-beton kompozit döşemede beton genellikle inşaat alanında tamamlanmaktadır. Şekil 3.3'de kirişli ahşap-beton kompozit döşeme modülü gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Kirişli ahşap-beton kompozit döşemede tabakalar (TICOMTEC, b.t)



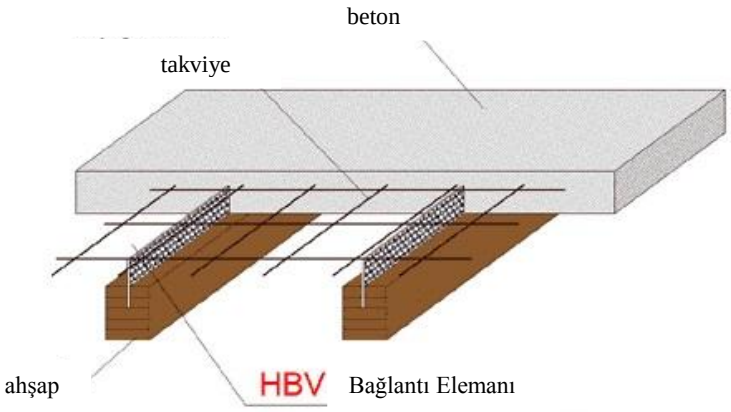
Şekil 3.2 Kirişli ahşap-beton kompozit döşeme alttan görünümü (TICOMTEC, b.t)



Şekil 3.3Kirişli ahşap-beton kompozit döşeme modülü (TICOMTEC, b.t)

3.1.1.2 Kaburga Ahşap-Beton Kompozit Döşeme

Kirişli ahşap-beton kompozit döşeme üretiminde ahşap kalıpla kullanımın yanı sıra prekast beton sayesinde ahşap kiriş ile doğrudan bağlantı da kurulabilir. Bu durumda özelleşen bu döşeme kaburga ahşap-beton kompozit döşeme adını almaktadır (Şekil 3.4 ve 3.5). Ayrıca kirişli ahşap-beton kompozit döşemeye göre en büyük farkı bütün aşamaların üretim tesisinde gerçekleştirilebilmesidir (Şekil 3.6). Ahşap kirişlere bağlantı elemanları yerleştirilir ve üzerine beton tabaka kalıp içerisinde yerleştirilir. Fakat kalıp çerçeve daha sonradan çıkarılır bu sayede bir kayıp olmaz. Döşeme 15 m ve daha fazla aralık mesafeleri için de uygulanabilmektedir.



Şekil 3.4 Kaburga ahşap-beton kompozit döşeme tabakaları (TICOMTEC, b.t)



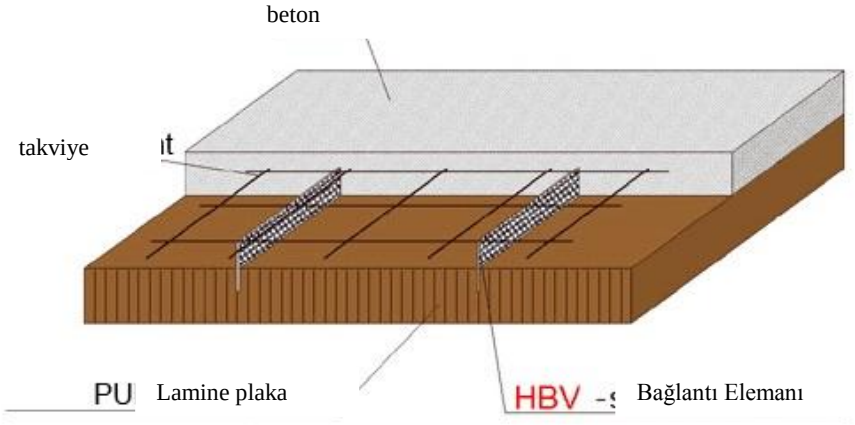
Şekil 3.5 Kaburga ahşap-beton kompozit döşeme taşınması (TICOMTEC, b.t)



Şekil 3.6 Kaburga ahşap-beton kompozit döşemenin üretim tesisinde üretimi (TICOMTEC, b.t)

3.1.1.3 Plak Ahşap-Beton Kompozit Döşeme

Plak ahşap-beton kompozit döşeme (Şekil 3.7, 3.8 ve 3.9) tutkallı tabakalı ahşaptan yapılmış masif ahşap plaka ve içine bağlantı elemanları üretim tesisinde yapıştırılır. Ahşabı korumak için nem bariyeri üretim tesisinde tamamlanır. Çelik donatı ve beton dökümü montajından sonra inşa edilmektedir. Standart tasarımda plak ahşap-beton kompozit döşemenin alt görünümü lamine ahşabın doğal rengindedir. Yaklaşık 12 m açıklık için plak ahşap-beton kompozit döşeme kullanılabilmektedir.



Şekil 3.7 Plak ahşap-beton kompozit döşemenin tabakaları (TICOMTEC, b.t)



Şekil 3.8 Plak ahşap-beton kompozit döşeme görünümü (TICOMTEC, b.t)



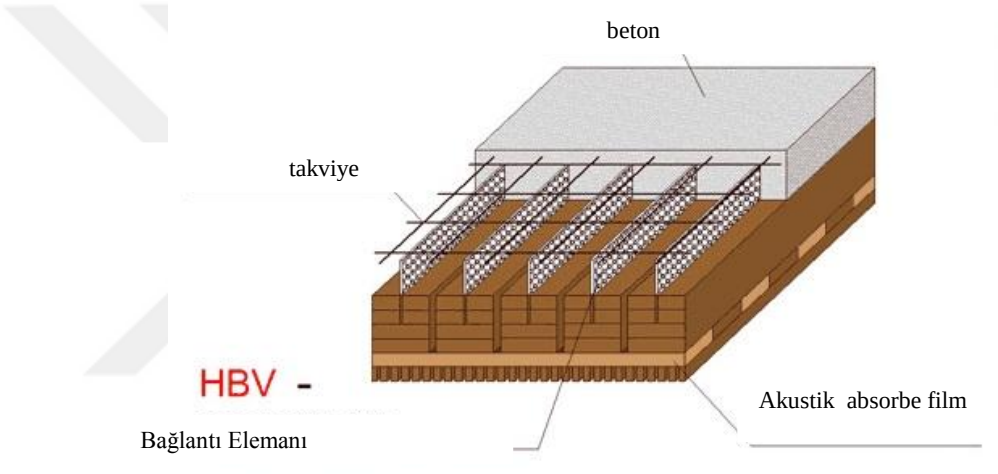
Şekil 3.9 Plak ahşap-beton kompozit döşeme modülü (TICOMTEC, b.t)

3.1.2 Özelleşmiş Ahşap-Beton Kompozit Döşeme

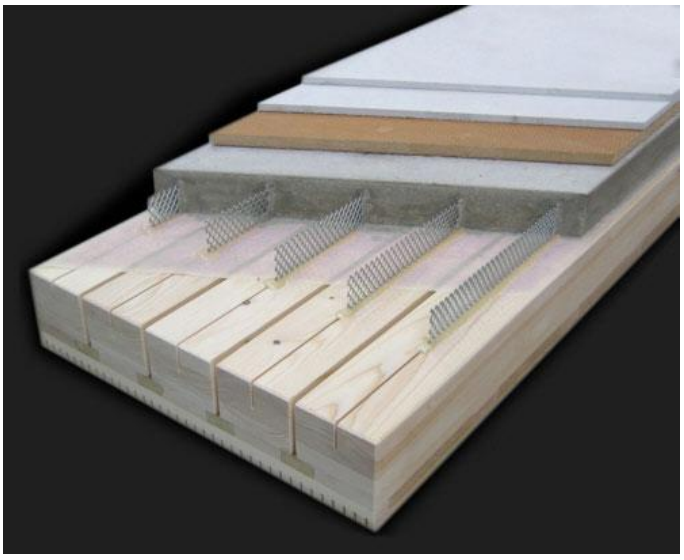
Özelleşmiş ahşap-beton kompozit döşemeler; akustik döşeme, kutu döşeme ve boşluklu kutu döşemelerdir.

3.1.2.1 Akustik Ahşap-Beton Kompozit Döşeme

Akustik döşeme içine kanıtlanmış akustik elemanların yapıştırılması ile oluşturulan ahşap-beton kompozit çeşididir (Şekil 3.10, 3.11 ve 3.12). Akustik döşeme sayesinde en fazla 15 m açıklık mesafesi elde edilmektedir.



Şekil 3.10 Akustik ahşap-beton kompozit döşeme tabakaları (TICOMTEC, b.t)



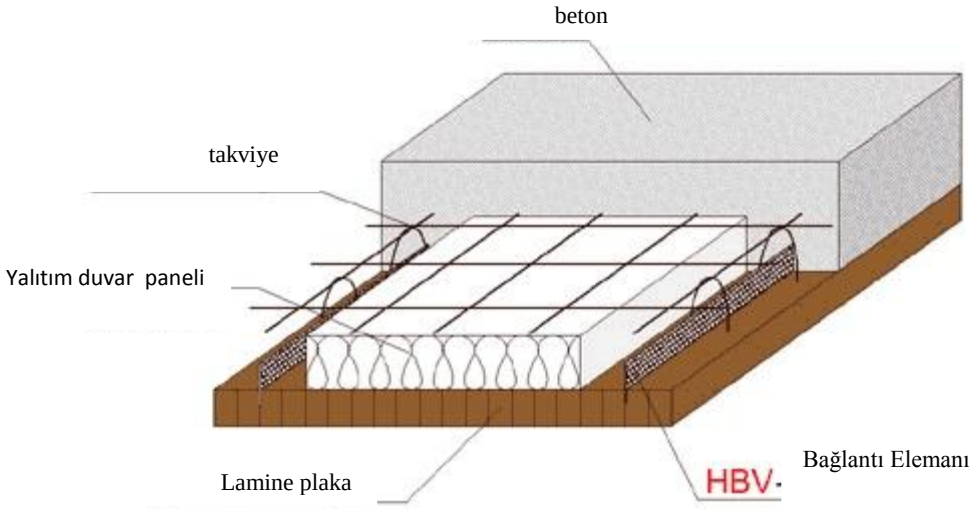
Şekil 3.11 Akustik ahşap-beton kompozit döşeme modülü (TICOMTEC, b.t)



Şekil 3.12 Akustik ahşap-beton kompozit döşeme (TICOMTEC, b.t)

3.1.2.2 Boşluklu Kutu Ahşap-Beton Kompozit Döşeme

Bağlantı elemanları yapısal şartlara uygun olarak tutkallı tabakalı ahşap içerisine yapıştırılarak yerleştirilmektedir. Polistiren tabakası bağlantı elemanları arasına ahşap ve beton ara katmanında uygulanmaktadır (Şekil 3.13 ve 3.14). Boşluklu kutu ahşap-beton kompozit döşeme 15 m açıklıklı yapılarda kullanılabilmektedir.



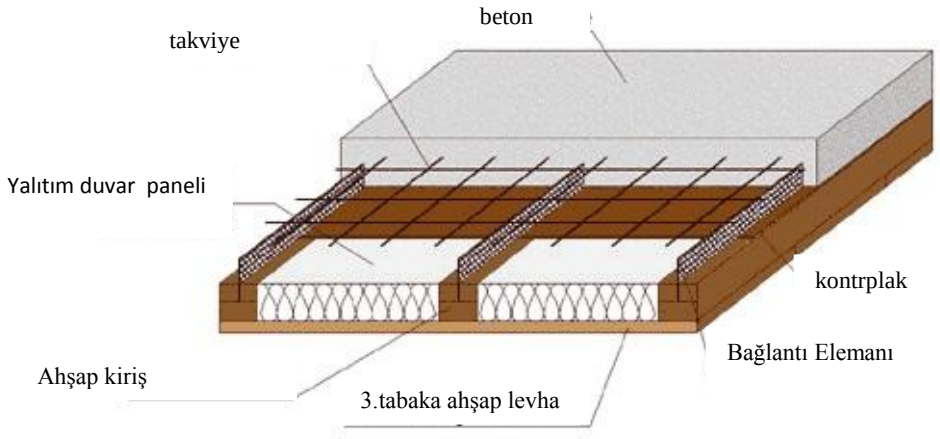
Şekil 3.13 Boşluklu kutu ahşap-beton kompozit döşeme tabakaları (TICOMTEC, b.t)



Şekil 3.14 Boşluklu kutu ahşap-beton kompozit döşeme (TICOMTEC, b.t)

3.1.2.3 Kutu Ahşap-Beton Kompozit Döşeme

Kutu ahşap-beton kompozit döşemenin bağlantı elemanlarının yerleştirilmesi ve beton dökümü hava koşullarından bağımsız bir şekilde üretim tesisinde gerçekleştirilmektedir (Şekil 3.16 ve şekil 3.17). Ahşap kirişin alt tarafına ahşap levha yapıştırma suretiyle yerleştirilir ve bu 3 katmanlı döşemeye ara tabakaya izolasyon malzemesi yerleştirme imkanı vermektedir (Şekil 3.15). Kutu ahşap-beton kompozit döşeme 15 m açıklıklı yapılarda kullanılabilmektedir.



Şekil 3.15 Kutu ahşap-beton kompozit döşeme tabakaları (TICOMTEC, b.t)



Şekil 3.16 Kutu ahşap-beton kompozit döşeme modülleri (TICOMTEC, b.t)



Şekil 3.17 Kutu ahşap-beton kompozit döşeme beton dökümü (TICOMTEC, b.t)



Şekil 3.18 Kutu ahşap-beton kompozit döşemelerin depolanması (TICOMTEC, b.t)

3.2 Ahşap-Beton Kompozit Döşemenin Mekanik Özellikleri

Ahşap-beton kompozit döşemeler ahşap ve betonun bağlantı elemanlarıyla mekanik olarak bir araya getirilmesi ile oluşturulmuş bir kompozit türüdür. Bu sebeple bu sistemin mekanik özellikleri bağlantı elemanları çeşidine göre değişim göstermektedir. Farklı bağlantı elemanları ile yapılan kompozitlerdeki maksimum yükleme, kayma modülleri ve kayma miktarları tablo 3.1'de gösterilmektedir.

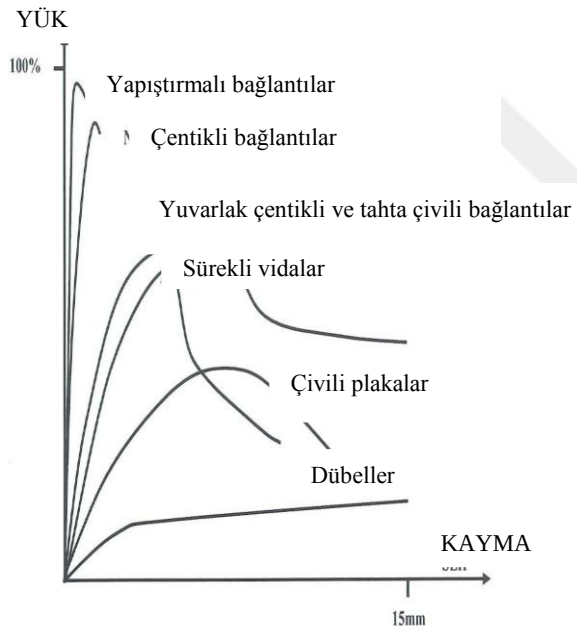
Tablo 3.1 Farklı bağlantı elemanı tipleri için nihai yük ve kayma modülü (Dias, 2005)

Bağlantı	Fmax	Ks	δu
	N/mm	N/mm/mm	mm
Çiviler 6mm	271	68	15
Vidalar	469	49	15
Dübeller 10mm	226	152	15
Dübeller epoksi 10mm	-	250	-
Çivi plaka	180	183	10
SFS 45° vida	305	405	5
Hilti 1	296	514	15
Hilti 2	300	600	>3

Tablo 3.1 Farklı bağlantı elemanı tipleri için nihai yük ve kayma modülü (Dias, 2005)(devamı)

Tecnaria	333	128	13
Çelik hasır tel	372	1385	>4
Çelik plakalar	118	243	>4
Çentikli dübelli	317	494	15
Çentikli bağlantı	52	123	-
Ahşapta çentikli bağlantı	413	663	<1
Yapıştırmalı Bağlantılar	647	-	<1

Şekil 3.19'da farklı bağlantı elemanları ile yapılan ahşap-beton kompozit sistemlerin yüke bağlı kayma miktarları grafiği yer almaktadır. Yapıştırmalı bağlantılar en rijit bağlantılar olup kayma miktarları minumum seviyededir.



Şekil 3.19 Ahşap-beton kompozit bağlantı elemanlarının karşılaştırılması (Dias, 2005)

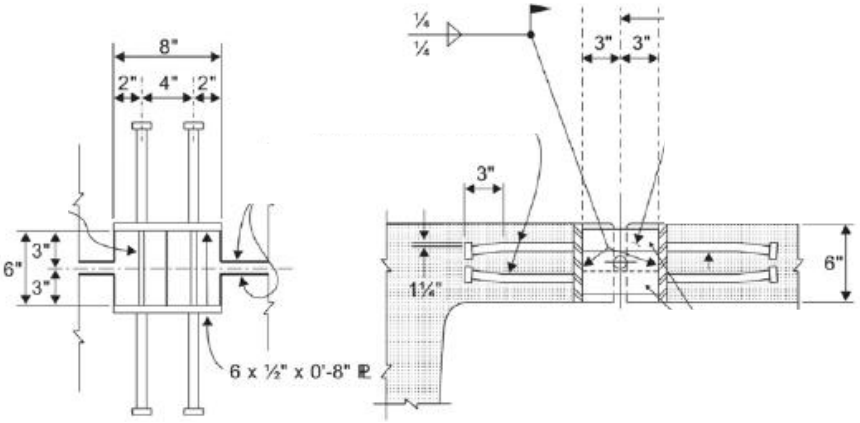
3.3 Ahşap-Beton Kompozit Döşemenin Bağlantı Detayları

Ahşap-beton kompozit döşemenin bağlantı detayları modüllerin bağlantısı ve ana taşıyıcı ile bağlantı olmak üzere iki grupta incelenmektedir.

3.3.1 Modüllerin Bağlantı Detayları

Araştırmacılar tarafından deneyler yapılarak modülleri birbirine bağlamak için bağlantı uygulamaları incelenmiştir.

İlk uygulama (Şekil 3.20), Teksas Ulaştırma Departmanı (TxDOT) tarafından şu anda kullanılmakta olan ayrıntılı planı göstermektedir. İmalat esnasında t profilli bağlayıcı köşesine gömülen çelik levhaların ve bağlantıyı tamamlamak için bu gömülmüş plakalara saha kaynağı ile eklenen bir çift çelik köşebendin kombinasyonundan yapılmıştır. Düzenek, yapı boyunca 1,50 metrelik aralıklarla yatay olarak yerleştirilmiştir.

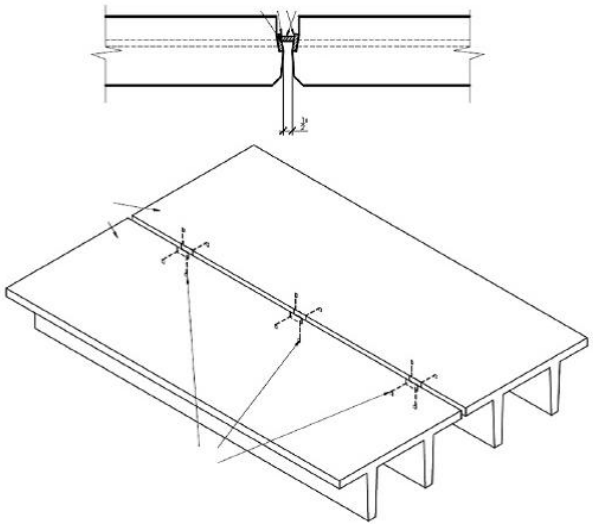


PLAN KESİT

Şekil 3.20 TxDOT yanal bağlantı

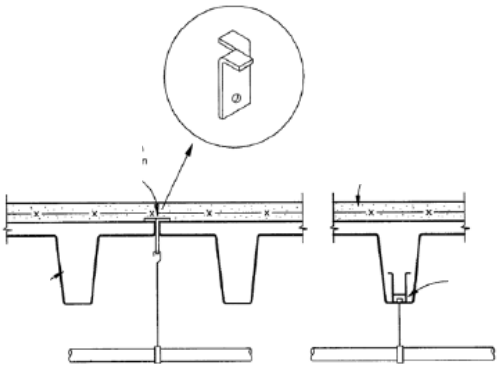
Aynı araştırma ekibi, çelik çubuk ve gömülü plakalar arasındaki kaynağın çok daha kolay ve sonuç olarak daha hızlı elde edilebileceğinden, prototip detayın daha ucuz bir alternatif olduğuna inanmaktadır.

Şekil 3.21'de Concrete Technology Corporation tarafından geliştirilen çift t profilden çift t profile bağlantının detayları gösterilmektedir. Her çift t profil, tasarım tarafından gerekli kılınan aralıklarla kenarı boyunca, yatay kuvvetleri iki direk arasında aktarmak için üstüne bir çelik tırnağın kaynaklandığı gömülü bir bağlayıcı bulundurmaktadır.



Şekil 3.21 CTC tarafından yapılan çift t profilden çift t profile bağlantı (1980)

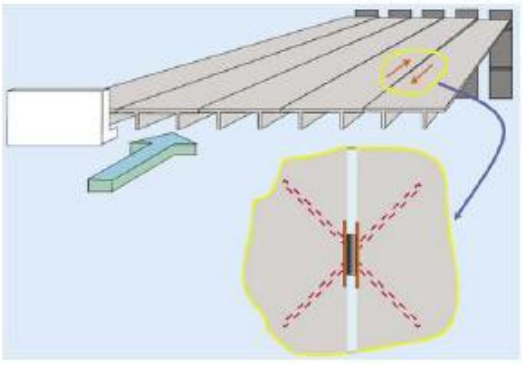
Aynı araştırma ekibi, aşağıdaki Şekil 3.22 gösterilen şekilde başka çift t profilden çift t profile bağlantılar da yapmıştır. İlk bağlantıda (Şekil 3.22) bağlantı, tasarım tarafından gerekli kılınan aralıklarla yerleştirilen ve t profiller arasında basit destek sağlayan çelik T askılarla yapılmıştır. Düz durumda yeterli rijitlik sağlayıp sismik yükü ve rüzgar yükünü aktarmak için sistemin, ayrıca yerinde dökme beton üst kaplamaya ihtiyacı vardır. Üst kaplama, ayrıca t profillerin kenarları boyunca sarkmayı da en aza indirmektedir.



Şekil 3.22 CTC tarafından yapılan çift t profilden çift t profile bağlantı (1980)

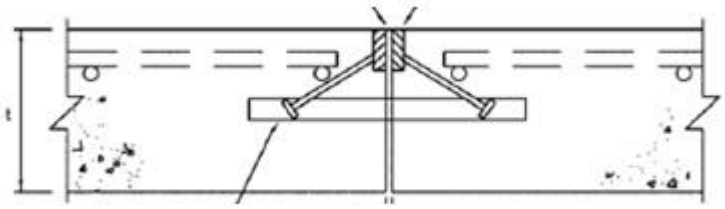
Pincheira tarafından incelenen bağlayıcılar, Şekil 3.21'de gösterilen ve CTC tarafından yapılanlara benzerdir: 51 mm kalınlığındaki bağlayıcılara gömülü bir çelik levhaya kaynaklanmış iki takviye çubuğundan oluşmaktadır (Şekil 3.23). Precast Concrete Institute (PCI) proje danışmanı tarafından verilen tavsiye sonrasında, Ulusal

Bilim Vakfı ve PRESSS araştırma programının bir parçası olarak test için başlangıçta dört tip bağlayıcılar arası bağlayıcı seçilmiştir.

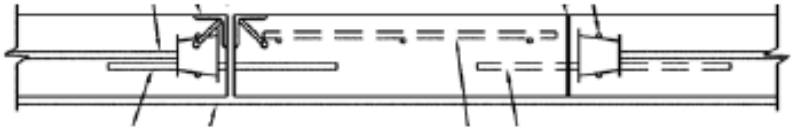


Şekil 3.23 Mekanik bağlayıcılı ön dökümlü, ön gerilmeli çift t profilli döşeme sistemi

"Beton döşeme ve plaka inşaatı kılavuzu"nda (ACI Komitesi 302), betonun büzüşmesini telafi etmek için sonradan gerilmeli plaka bağlantılarının bir kaldırma boşluğu ile bağlantılı hale getirildiği anlatılmaktadır. Plaka kenarları, betona metal bağlantı elemanları (cıvata veya çubuk) tarafından gömülen çelik levha ile güçlendirilir. Kaldırma boşlukları, destek çubuğu ve elastometrik yalıtım malzemesi ile doldurulmalıdır. Çelik levha düz (Şekil 3.24) veya köşebent profilli (Şekil 3.25) olabilir.



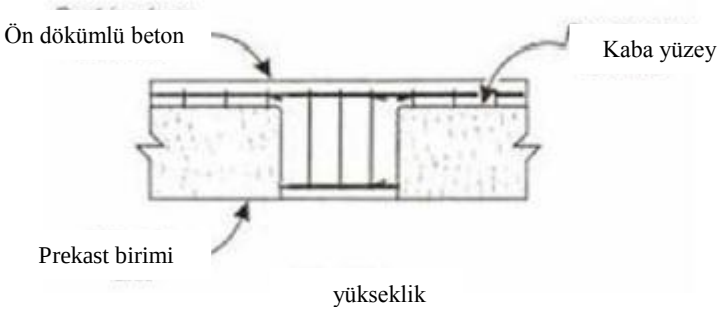
Şekil 3.24 ACI komitesine göre ek yeri düzeneği (kenar güçlendirmesi basit çelik levha ile yapılmıştır)



Şekil 3.25 ACI komitesine göre ek yeri düzeneği (kenar güçlendirmesi çelik köşebent ile yapılmıştır)

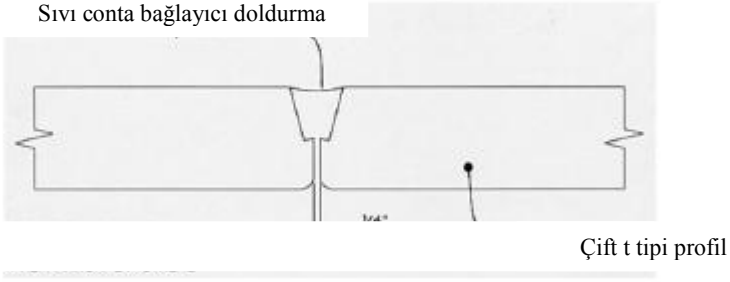
Riva'ya (2003) göre, ön dökümlü iki ya da daha fazla betonu enlemesine bağlamak için (Şekil 3.26) düz çelik çubukları üst üste bindirmeli ve yerinde döküm bir beton üst

kaplama ile birleştirmelidir. Bu şekilde yüksek düzlem içi rijitlik garanti altına alınır ve yerinde döküm üst kaplama kalınlığının 40 mm veya daha fazla olması halinde diyafram kesme iletimi sağlanır.

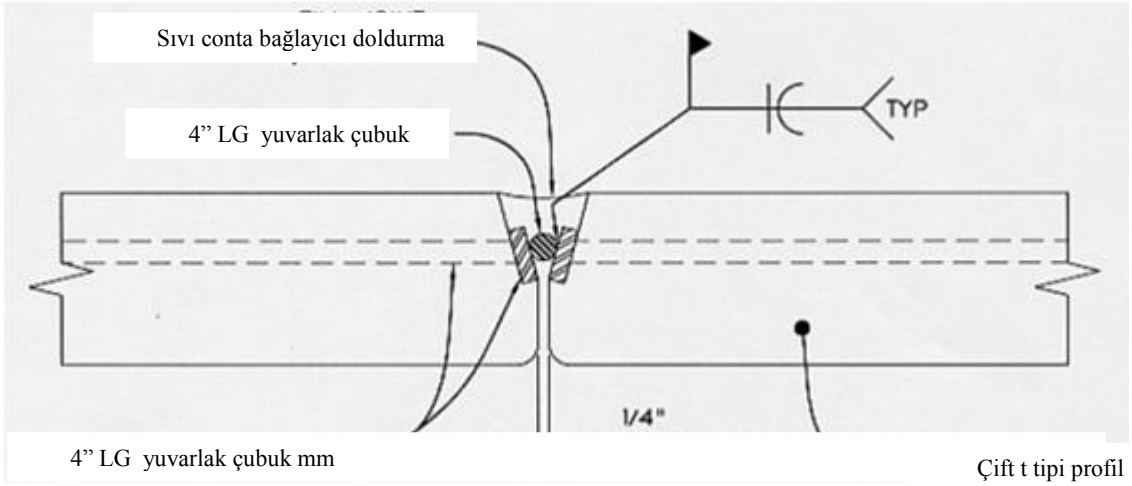


Şekil 3.26 Üst üste bindirilmiş çubuklar ve yerinde döküm beton üst kaplamadan oluşan enlemesine bağlantı (Riva)

Mid-Atlantic Precast Association, muhtemel iki adet çift t profilden çift t profile bağlantı tanımlamaktadır (Şekil 3.27 ve 3.28). İlki (Şekil 3.27) çok basittir ve yanlamasına bağlantıyı sağlamak adına bazı sızdırmazlık malzemeleri yerleştirmeyi mümkün hale getirmek için plakaların kenarlarını öncelikle alttan üste dikey olarak (neredeyse yarı boyuna kadar), sonrasında ise 5° - 10° ile (tepeye kadar) keserek sağlanır. İkincisi (Şekil 3.28), çelik çubuk üzerinde mevcut bir sızdırmazlık malzemesi dökümü haricinde, Pincheira tarafından gerçekleştirilen ile çok benzerdir. Her plaka kenarı boyunca ön dökümlü betona neredeyse dik (5° - 10° eğim) olarak gömülen çelik bir levhadan oluşmaktadır. Her bağlantıda ayrı bir çelik çubuk veya "parça", iki beton bağlayıcıya gömülen bağlayıcılar arasına yerleştirilir ve daha sonra sistemi tamamlamak için iki ön dökümlü üniteyi bağlamak için bağlayıcılara kaynaklanır.

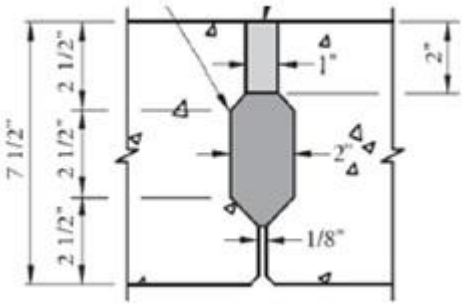


Şekil 3.27 Plaka kenarının neredeyse dik olarak (5° - 10°) kesimi ve sızdırmazlık malzemesi ile doldurulması



Şekil 3.28 Plaka kenarına gömülü çelik levhalar arasına yerleştirilmiş parça ve sızdırmazlık malzemesi ile son dolum

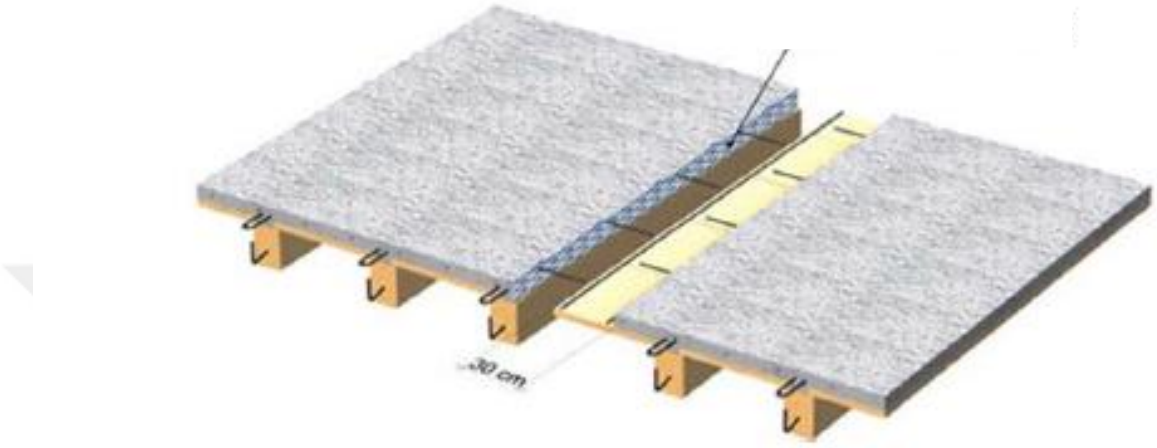
PCI Köprü Kılavuzunda, spesifik proje gereksinimlerine yanıt olarak bazı panelden panele bağlantı tekniklerinin geliştirildiği belirtilmektedir. Paneller arasındaki açık boşluklar, panel kenarından çıkıntı oluşturan üst üste geçmiş takviye çubuklarını hesaba katacak kadar geniştir. Bu derzler daha sonra yerinde dökme beton ile doldurulur. Bu derz tipi, kalıpların kurulmasını ve beton sertleşmesini gerektirdiğinden, esas avantajlardan biri olan inşaat hızı avantajına sahip değildir. Bu sorunlardan kaçınmak için birçok kurulumda, büzüşmeyen harç veya epoksi harcı ile doldurulmuş kama olukları kullanılmıştır (Şekil 3.29).



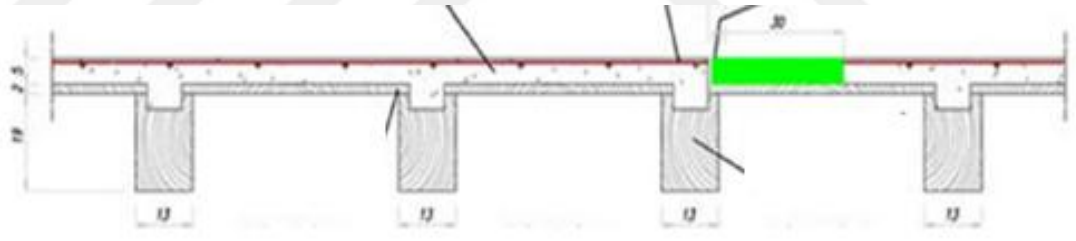
Şekil 3.29 Harçla yapılmış panelden panele bağlantı (PCI Köprü Kılavuzu)

Bir diğer enine plakadan plakaya bağlantı İtalyan fabrikası Wood Beton tarafından yapılmıştır. Bağlantı, ön dökümlü paneller arasındaki ek yerine 30 cm eninde üst kaplama betonunun yerinde dökülmesi ile sağlanmıştır. Aslında paneller, yapısal elemanlar arasında bağlantıya imkan tanıyan plakalardan yanal biçimde dışarı çıkan

çelik çubuklar sağlamaktadır (Şekil 3.30 ve 3.31). Ön dökümlü elemanlar ve üst kaplama betonu arasındaki kesme bağlantısı, döküm aşamasında dikey nervürlü bir çelik levhanın konumlandırılması ile artırılmaktadır. Özellikle bu elemanın uyumu, temas yüzeyini artırmaya imkan tanımaktadır ve daha iyi düzlem içi yük aktarımını sağlamaktadır.



Şekil 3.30 30 cm eninde üst kaplama betonunun dökümü ile gerçekleştirilen enine ek yeri (Wood Beton)

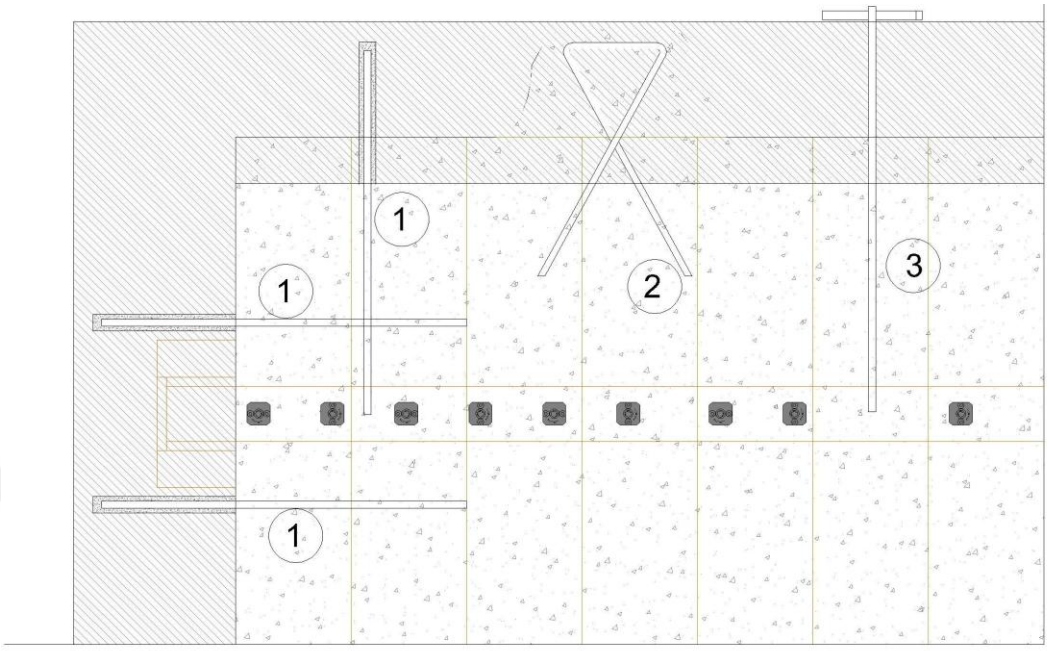


Şekil 3.31 Wood Beton tarafından gerçekleştirilen enine ek yerinin kesiti

3.3.2 Binanın Ana Taşıyıcı Sistemiyle Bağlantı Detayları

Ana taşıyıcı sistemle bağlantı yığma ve betonarme karkas yapıda olmak üzere iki başlıkta incelenmektedir.

3.3.2.1 Yığma Yapıda Bağlantı Detayları



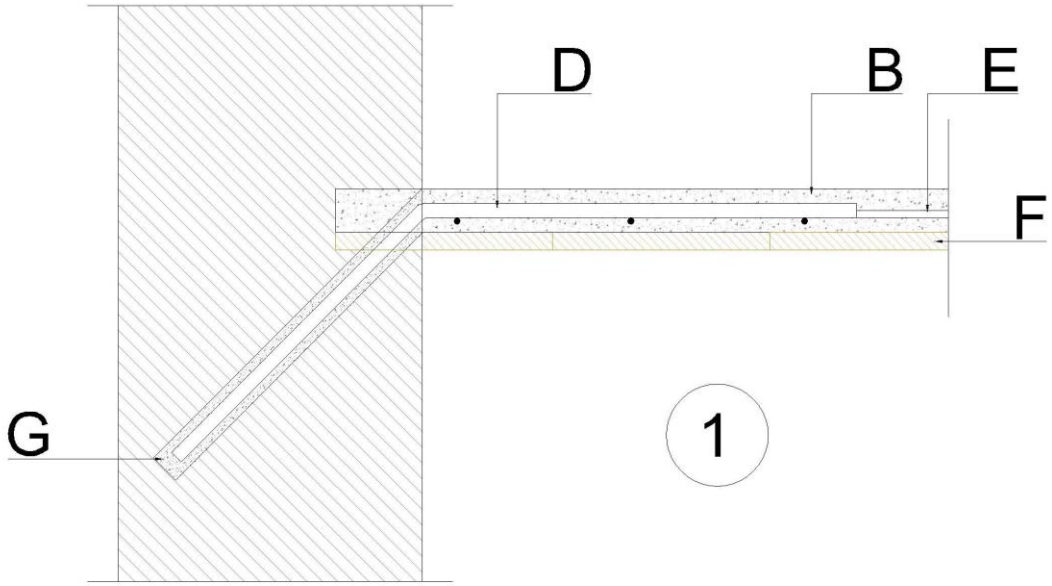
Şekil 3.32 Yığma yapıda bağlantı- plan (Tecnaria,2003)

Dış duvara ahşap kirişler demir bağlantı elemanlarıyla bağlanmaktadır. Bu bağlantı şekil 3.32'de gösterildiği gibi 3 farklı bağlantı elemanı ile yapılabilmektedir:

1. 90 cm uzunluğunda 16mm çapındaki demir çubuğun 40 cm uzunluğundaki kısmı 45° bükülerek duvardaki 20mm çapındaki bir delikten geçerek reçineyle birlikte sabitlenmektedir. Kalan 50 cm lik kısmı ise beton levha içerisinde bulunan 15x15 cm ebadında 6 mm kalınlığındaki etriye çubuklarına alt kısmında su geçirmez membran ile kaplı ahşap döşeme elemanı gelecek şekilde bağlanmaktadır (Şekil 3.33 ve 3.34).
2. Ø 16 çapında ve 130 cm uzunluğundaki kırlangıç inşaat demiri 50 + 50 + 30 cm boyutlarında kıvrılarak beton döşeme elemanı ile duvar arasındaki bağlantı yapılabilmektedir (Şekil 3.35).

3. Dış duvara Ø 20 çapında ve 100 cm uzunluğunda inşaat demiri reçine ve yine aynı kalınlıkta demir vasıtasıyla T şeklinde sabitlenerek döşeme ve duvar arasındaki bağlantı sağlanmaktadır (Şekil 3.36).

Bu bağlantılar döşeme yüzeyi boyunca duvarda her 50 cm de bir yapılarak gerekli rijitlik sağlanmaktadır.



Şekil 3.33 Yığma yapıda bağlantı- 1 Detayı (http://www.tecnaria.com)

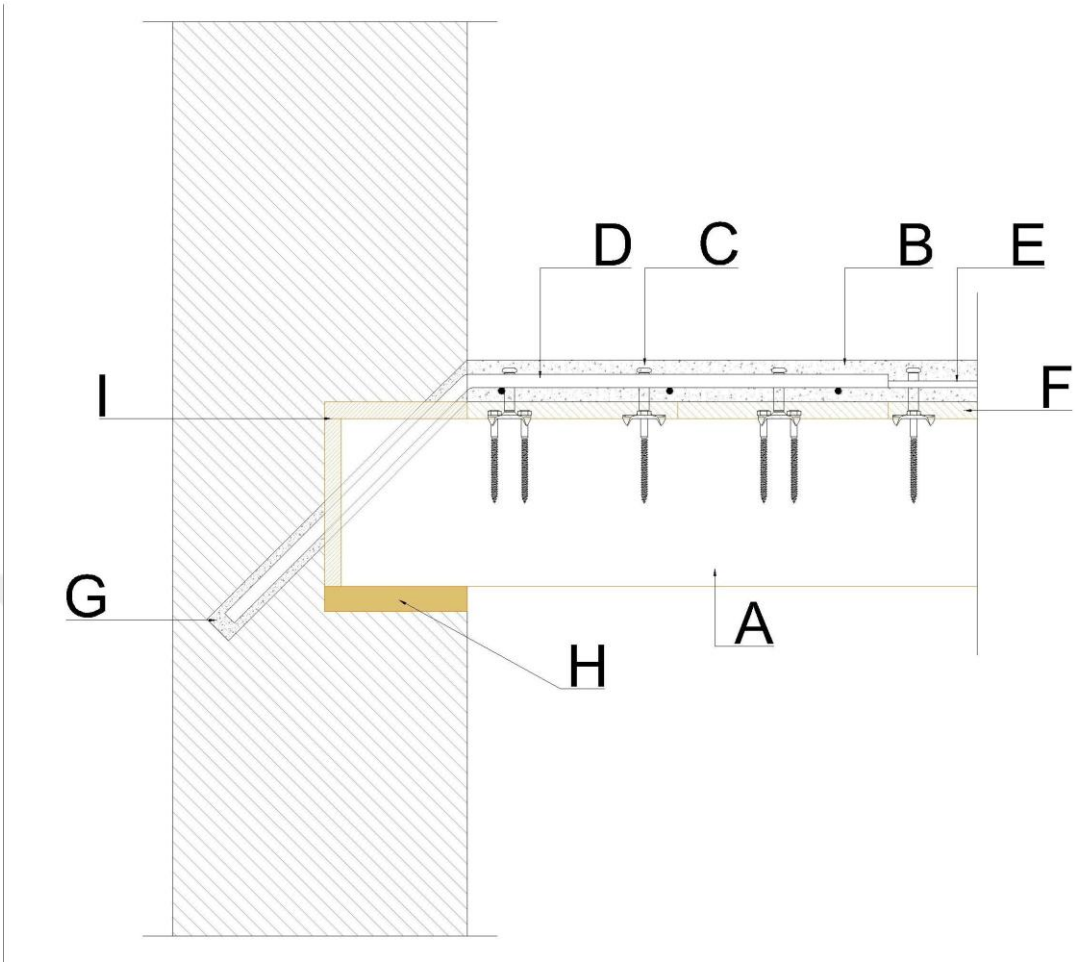
B)Beton levha

D)90 cm uzunluğunda 16mm kalınlığında demir çubuk

E)15x15 etriye çubukları 6 mm kalınlığında

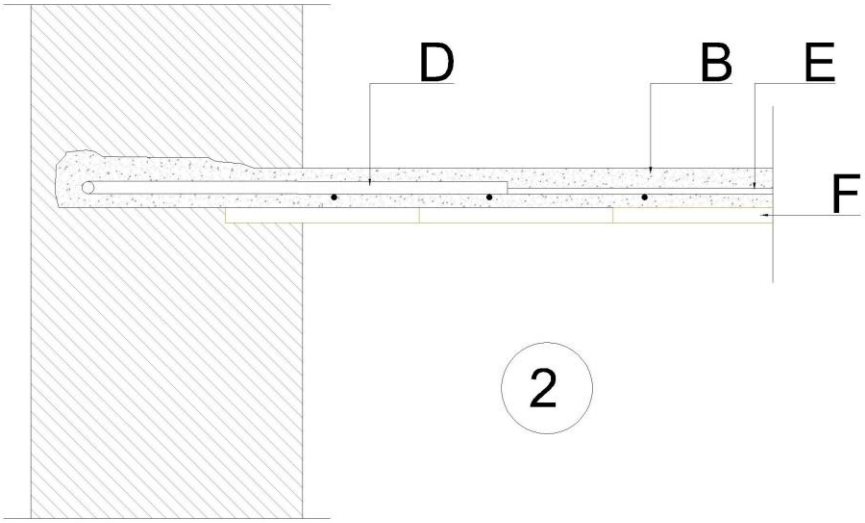
F)Su geçirmez membran ile kaplı ahşap döşeme elemanı

G)Reçine



Şekil 3.34 Yığma yapıda bağlantı- 1 Detayı (Tecnaria, 2003)

A) Ahşap kiriş
B) Beton levha
C) Bağlantı elemanı
D) 1) 90 cm uzunluğunda 16mm çapındaki demir çubuk
E) 15x15 etriye çubukları 6 mm kalınlığında
F) Su geçirmez membran ile kaplı kalıp
G) Reçine
H) Ahşap veya çelik destek tabakası
I) Yalıtım malzemesi



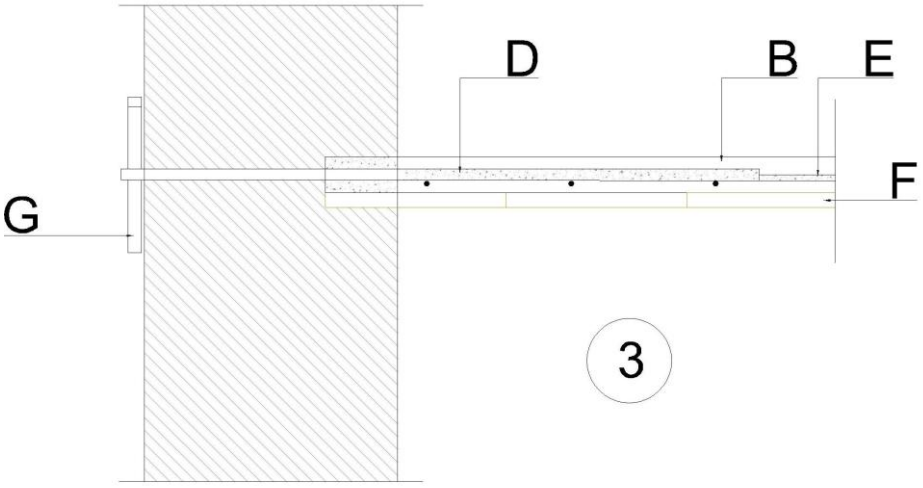
Şekil 3.35 Yığma yapıda bağlantı -2 Detayı (Tecnaria, 2003)

B)Beton levha

D) Kırlangıç inşaat demiri Ø 16 L = 130 cm (50 + 50 + 30);

E) 15x15 etriye çubukları 6 mm kalınlığında

F) Su geçirmez membran ile kaplı ahşap döşeme elemanı



Şekil 3.36 Yığma yapıda bağlantı- 3 Detayı (Tecnaria, 2003)

B)Beton levha

D) Ø 20 L = 100 cm inşaat demiri

E) 15x15 etriye çubukları 6 mm kalınlığında

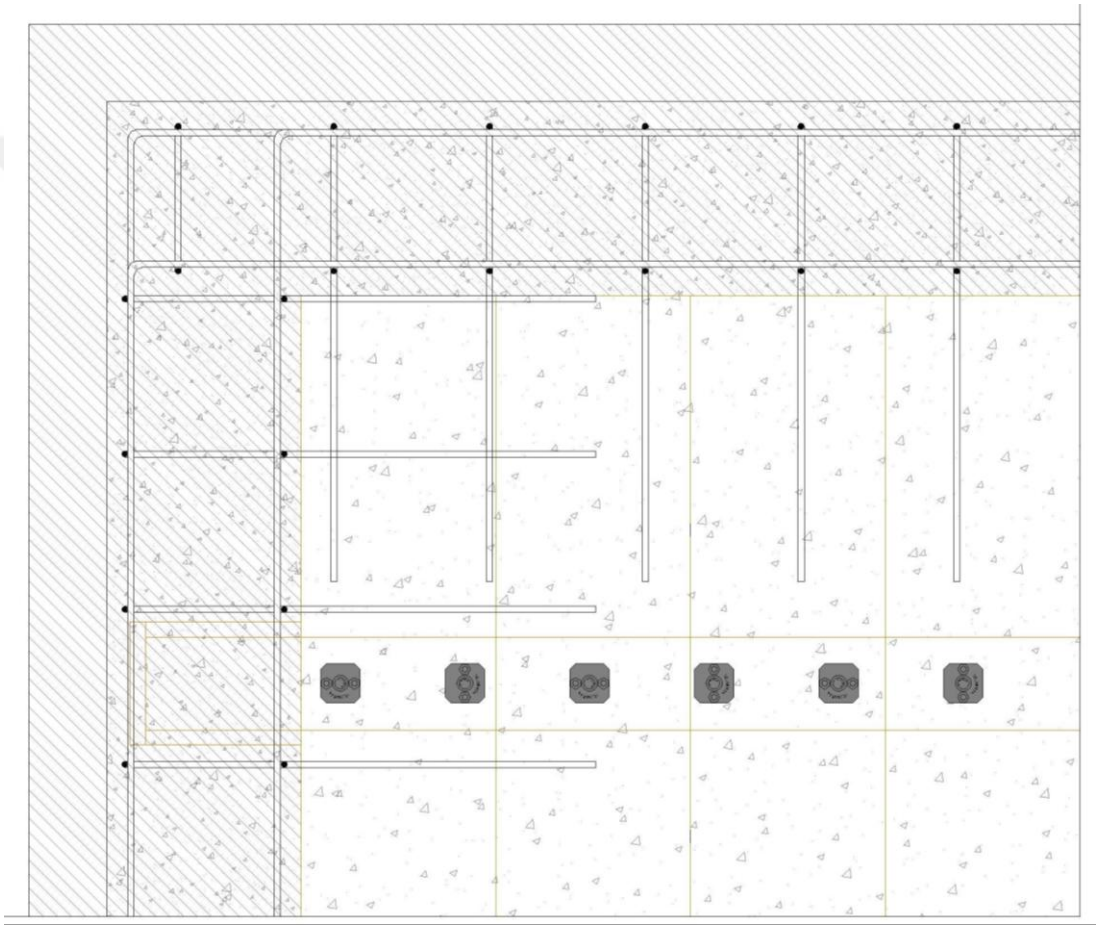
F) Su geçirmez membran ile kaplı ahşap döşeme elemanı

G)Reçine

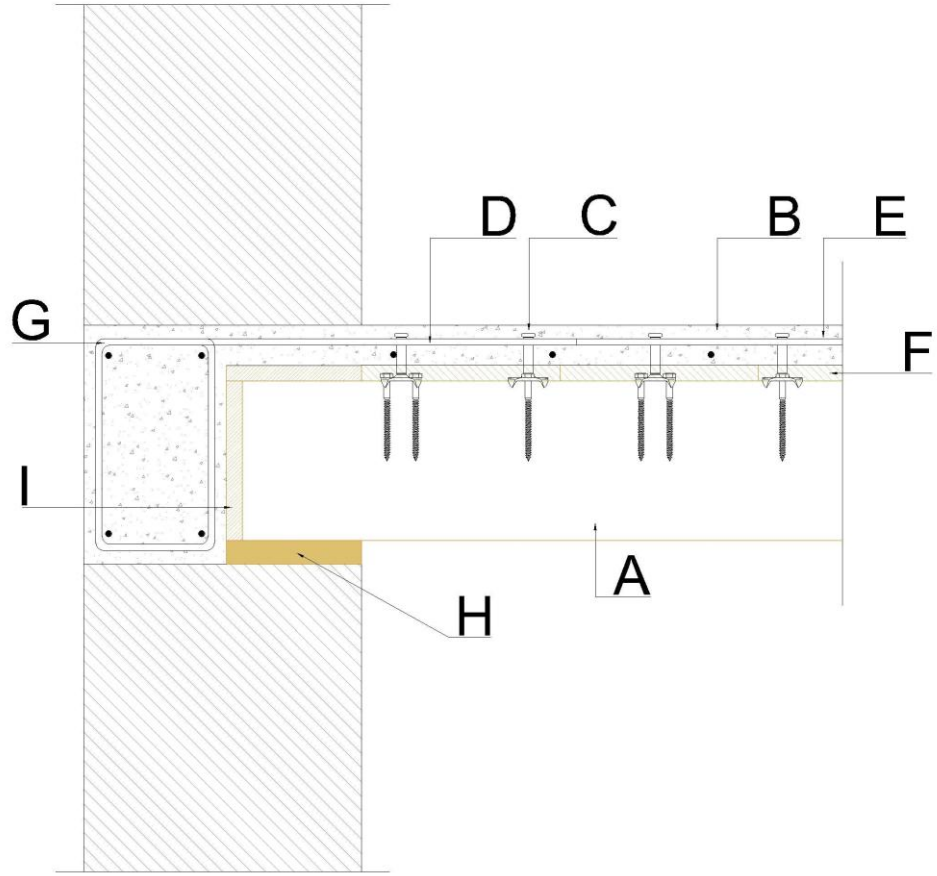
3.3.2.2 Betonarme Karkas Yapıda Bağlantı Detayları

Betonarme karkas yapıda (Şekil 3.37) ahşap-beton kompozit döşemenin bağlantısı 3 farklı şekilde gerçekleşebilmektedir;

1. Betonarme kiriş ile ahşap kiriş aynı seviyede (Şekil 3.38),
2. Betonarme kiriş ahşap kirişin alt seviyesinde(Şekil 3.39),
3. Betonarme kiriş ahşap kirişin üst seviyesinde (Şekil 3.40 ve 3.41).

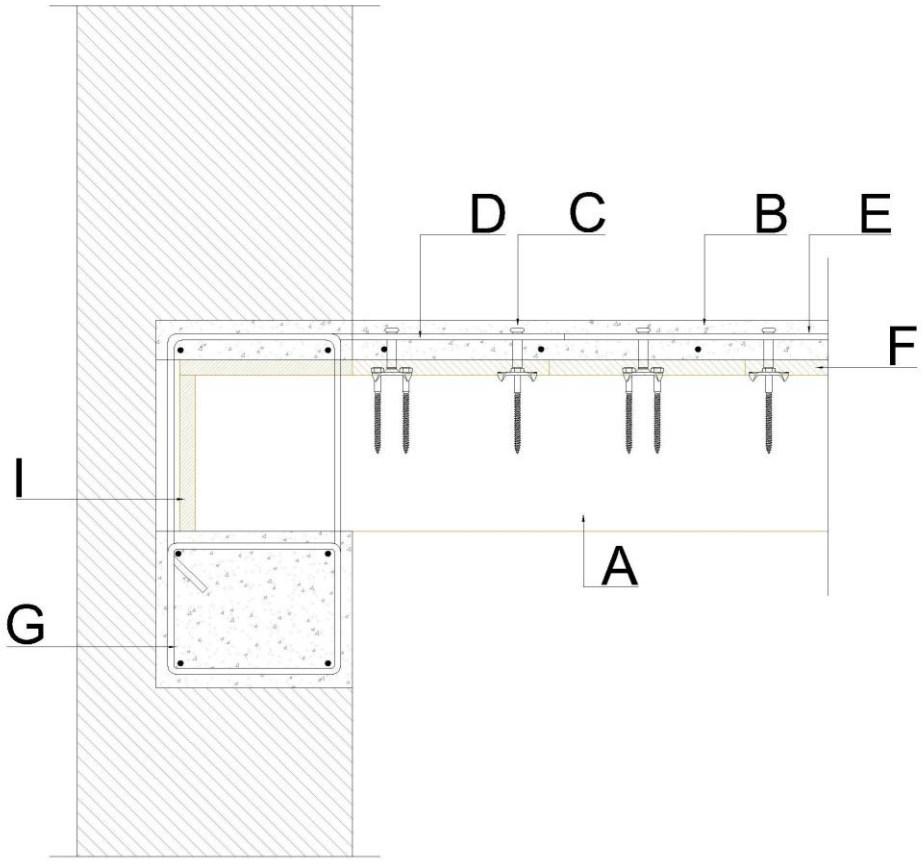


Şekil 3.37 Betonarme karkas yapıda bağlantı-plan (Tecnaria, 2003)



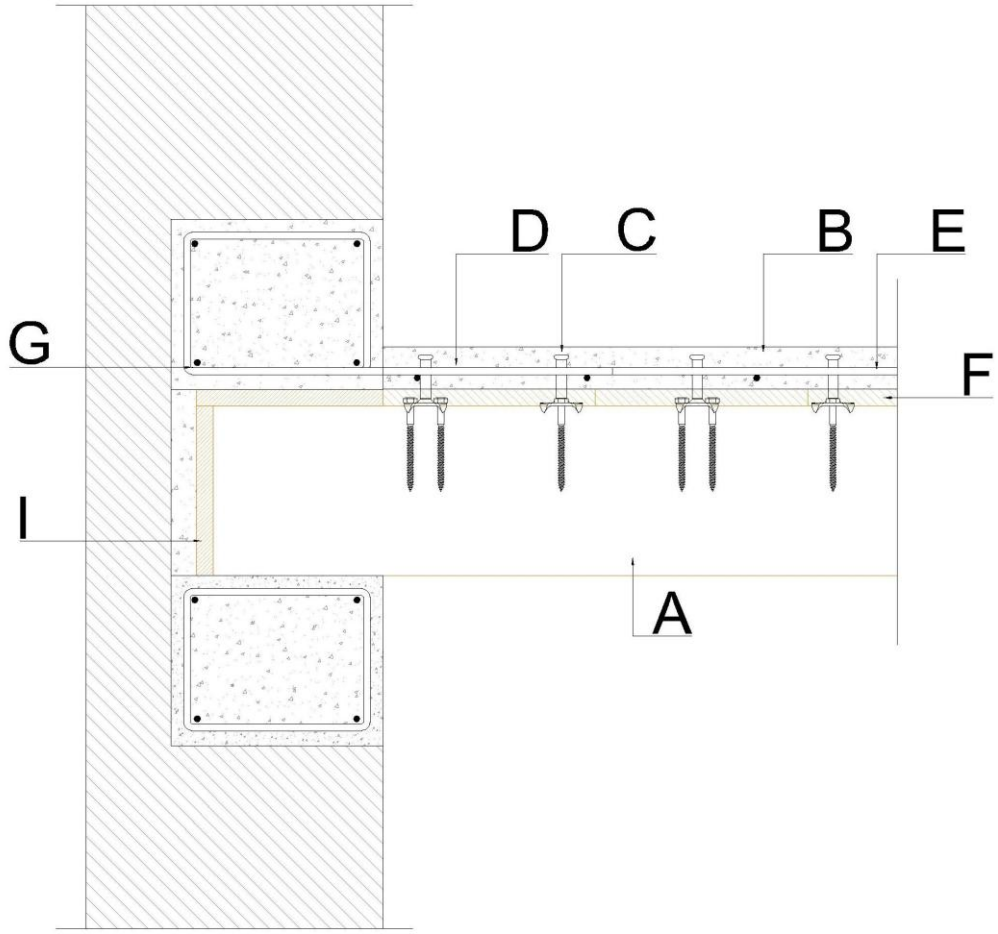
Şekil 3.38 Betonarme kirişin ahşap kirişle aynı seviyede olduğu bağlantı (Tecnaria, 2003)

A) Ahşap kiriş
B) Beton levha
C) Bağlantı elemanı
D) Kirişe saplanan etriye çubukları
E) Etriye çubukları
F) Su geçirmez membran ile kaplı kalıp
G) Kiriş
H) Ahşap veya çelik destek tabakası
I) Yalıtım malzemesi



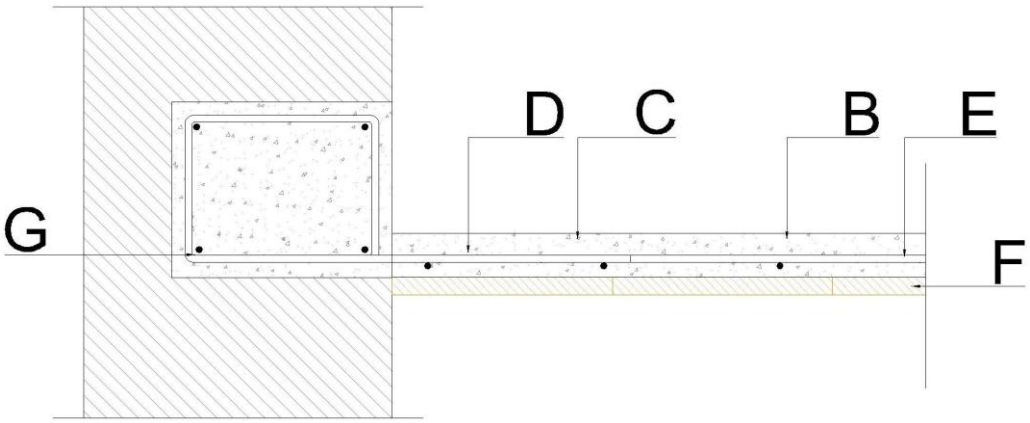
Şekil 3.39 Betonarme kirişin ahşap kirişin alt seviyesinde olduğu bağlantı (Tecnaria, 2003)

A) Ahşap kiriş
B) Beton levha
C) Bağlantı elemanı
D) Kirişe saplanan etriye çubukları
E) Etriye çubukları
F) Su geçirmez membran ile kaplı kalıp
G) Kiriş
I) Yalıtım malzemesi



Şekil 3.40 Betonarme kirişin ahşap kirişin üst seviyesinde olduğu bağlantı (Tecnaria, 2003)

A) Ahşap kiriş
B) Beton levha
C) Bağlantı elemanı
D) Kirişe saplanan etriye çubukları
E) Etriye çubukları
F) Su geçirmez membran ile kaplı kalıp
G) Kiriş
I) Yalıtım malzemesi



Şekil 3.41 Betonarme kirişin ahşap kirişin üst seviyesinde olduğu bağlantı (Tecnaria, 2003)

B) Beton levha
C) Bağlantı elemanı
D) Kirişe saplanan etriye çubukları
E) Etriye çubukları
F) Su geçirmez membran ile kaplı kalıp
G) Kiriş
I) Yalıtım malzemesi

3.4 Ahşap-Beton Kompozit Döşeme Örnekleri

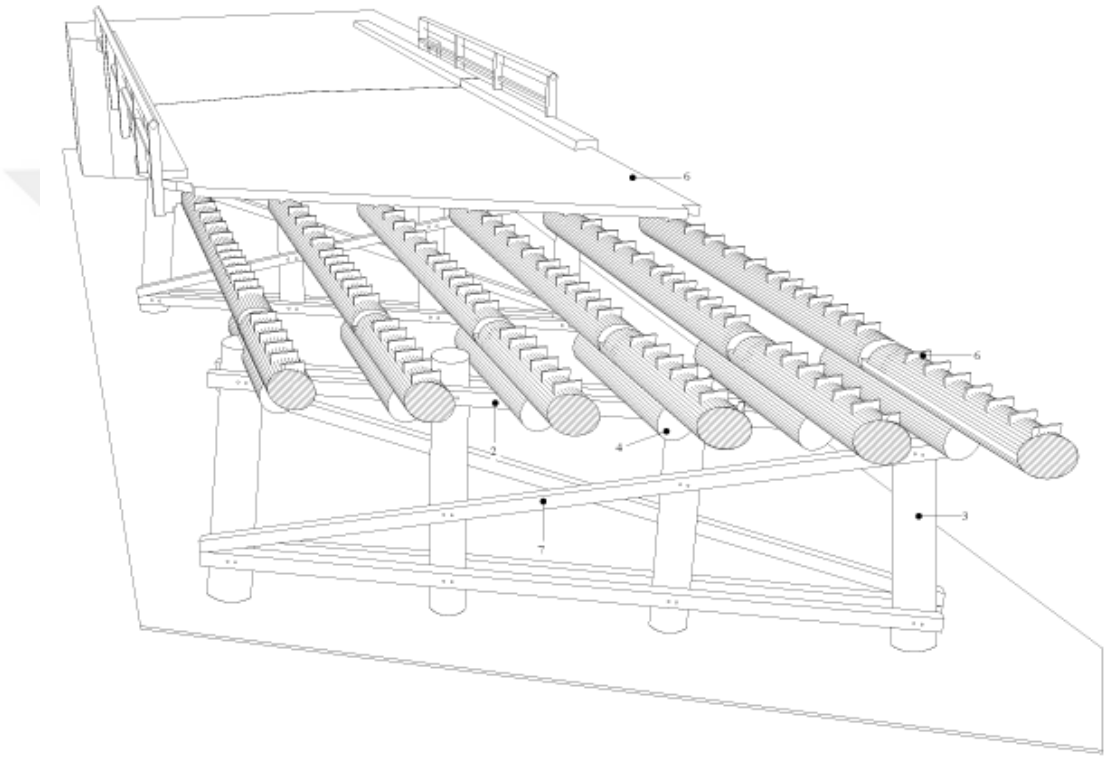
Ahşap-beton kompozit döşeme örneklerini köprülerden ve binalardan olarak iki grupta incelenecektir. Aşağıda ahşap-beton kompozit döşeme uygulama örnekleri sunulmaktadır.

3.4.1 Köprülerden Örnekler

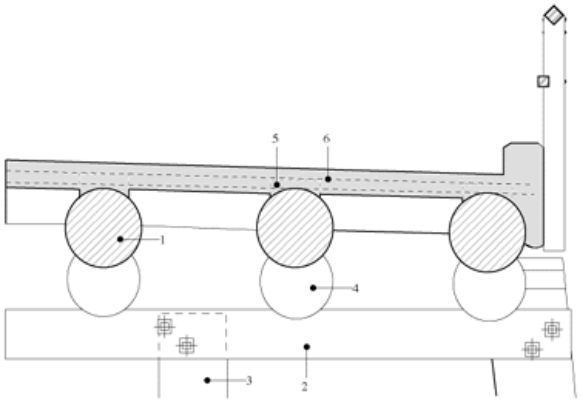
-Maria River Köprüsü

İlk ahşap-beton kompozit köprüdür. 1955 yılında tamamlanmıştır. Avustralya' nın Kempsey şehrindeki Maria Nehri üzerinde yer alan bir otoyol köprüsüdür.

Bu köprü 3 açıklıktan oluşturulmuştur. Şekil 3.42'deki gibi köprü döşemesi ahşap payandalarla desteklenmiş kazıkların üzerinde yer almaktadır. Şekil 3.44'de görülen ahşap silindir kirişlerin üzerinde beton döşeme tabakası bulunmaktadır. Bu iki tabaka şekil 3.43'de görüldüğü gibi birbirine çelik levha bağlantı elemanlarıyla bağlanmaktadır. Bağlantı elemanları ahşabın içine 38 mm betonun içine ise 90 mm girmiş şekilde yer almaktadır. 250 mm' de bir bağlantı elemanı bulunmaktadır.



Şekil 3.42 Maria River Köprüsü tabakaları(Maria River Köprüsü, b.t.)



Şekil 3.43 Maria River Köprüsü en kesiti(Maria River Köprüsü, b.t.)

1)Silindir kirişler (480mm)

2)Destek elemanı(300x150mm)

3)Kazık

4)Destek elemanı(480mm)

5)250x125x25 mm çelik plaka

6)Beton levha

7)250x125 mm payanda



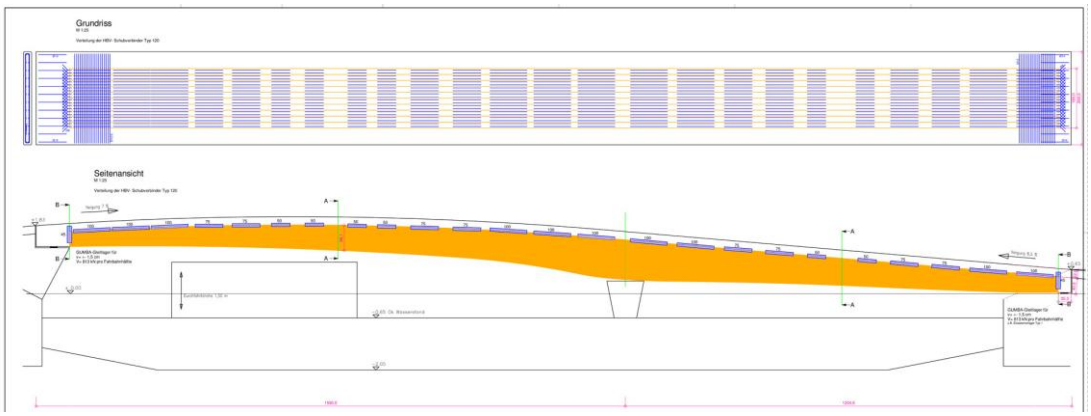
Şekil 3.44 Maria River Köprüsü alttan görünüm (Maria River Köprüsü, b.t.)

-Winschoten Köprüsü

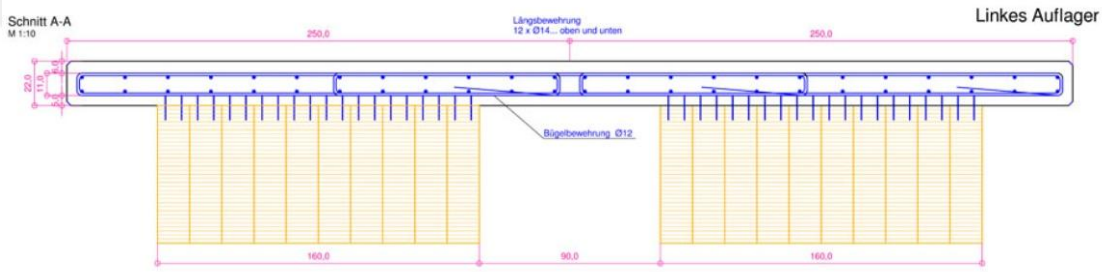
Hollanda' nın Winschoten şehrinde yer alan ahşap-beton kompozit köprü (Şekil 3.45) 2012 yılında yapılmıştır. 24m+16.00m açıklık geçmektedir ve 4 metre genişliğindedir (Şekil 3.46). Ana strüktürü tutkallı tabakalı ahşaptan oluşmaktadır. Kirişlere saplanıp yapıştırılan plakalarla üstteki beton tabakaya bağlanmaktadır (Şekil 3.47).



Şekil 3.45 Winschoten Köprüsü (Winschoten Köprüsü, 2015)



Şekil 3.46 Winschoten Köprüsü projesi (Winschoten Köprüsü, 2015)

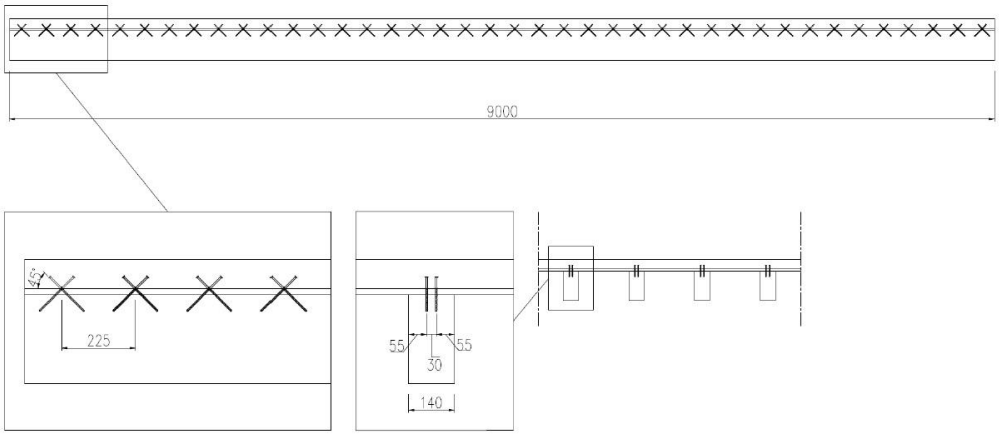


Şekil 3.47 Winschoten Köprüsü kesiti (Winschoten Köprüsü, 2015)

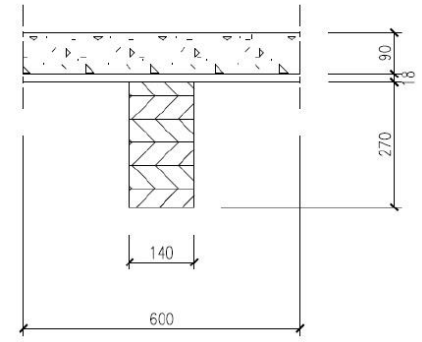
3.4.2 Yeni Yapılan Binalardan Örnekler

- Ofis Binası İçin Döşeme Tasarımı

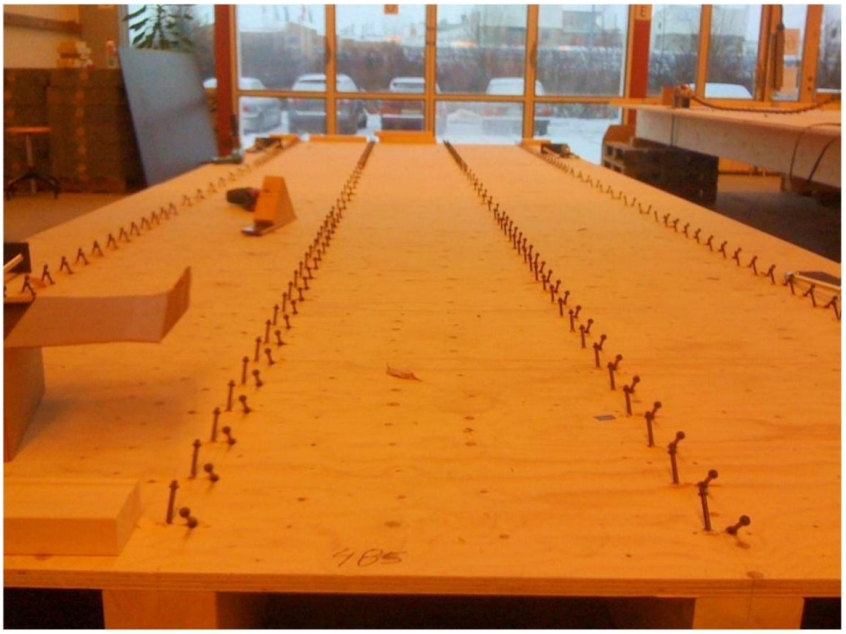
Lund Üniversitesi İsviçre'de Manaridis(2010) tarafından ofis binası için 9000 mm uzunluğunda modüllerden oluşan bir ahşap-beton kompozit döşeme tasarımı yapılmıştır (Şekil 3.48). Kiriş boyutu 140x270x9000 mm'dir ve 600 mm aralıklarla yerleşmiştir (Şekil 3.49). Üzerinde 18 mm kalınlığında kontrplak ve en üstte 90 mm kalınlığında beton tabakası yer almaktadır. Ahşap ve beton arasında bağlantı elemanı olarak 45 ° açıyla 225 mm aralıkla yerleştirilen vidalar (Şekil 3.50) kullanılmıştır. Şekil 3.51'de görüldüğü gibi etriyeler döşenmiş ve şekil 3.52'deki gibi beton dökümü gerçekleşmiştir.



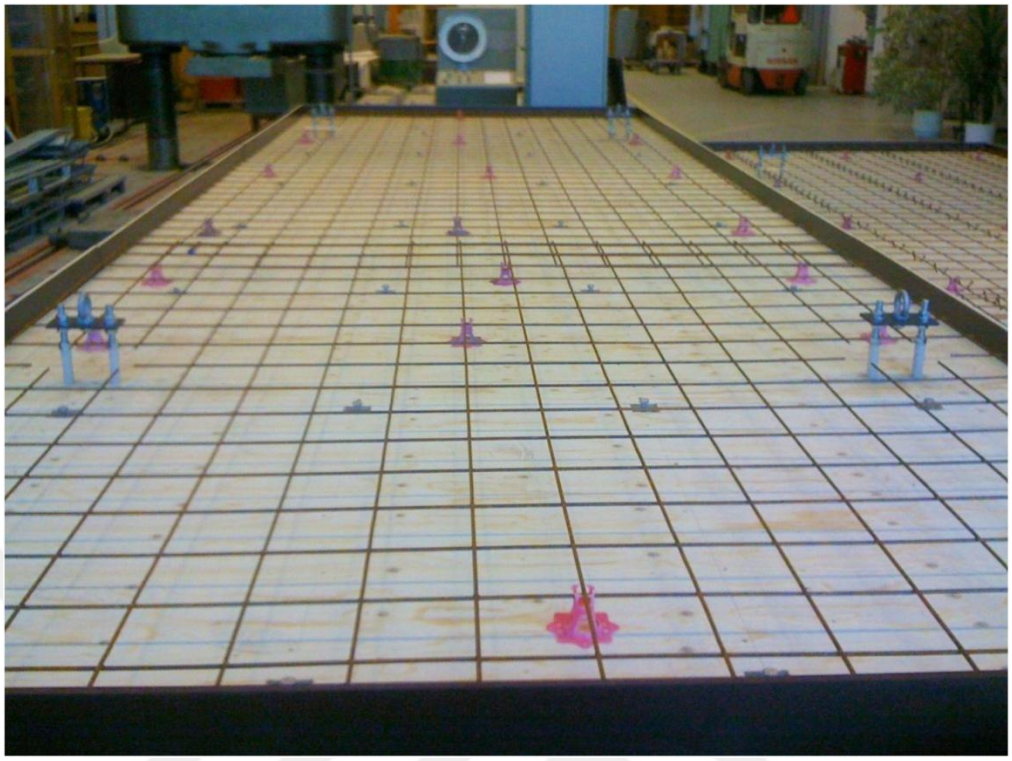
Şekil 3.48 Ofis binası döşemesi kesiti (Manaridis, 2010)



Şekil 3.49 Ofis binası döşemesi boyutları (Manaridis, 2010)



Şekil 3.50 Ofis binası döşemesi bağlantı elemanları(Manaridis, 2010)



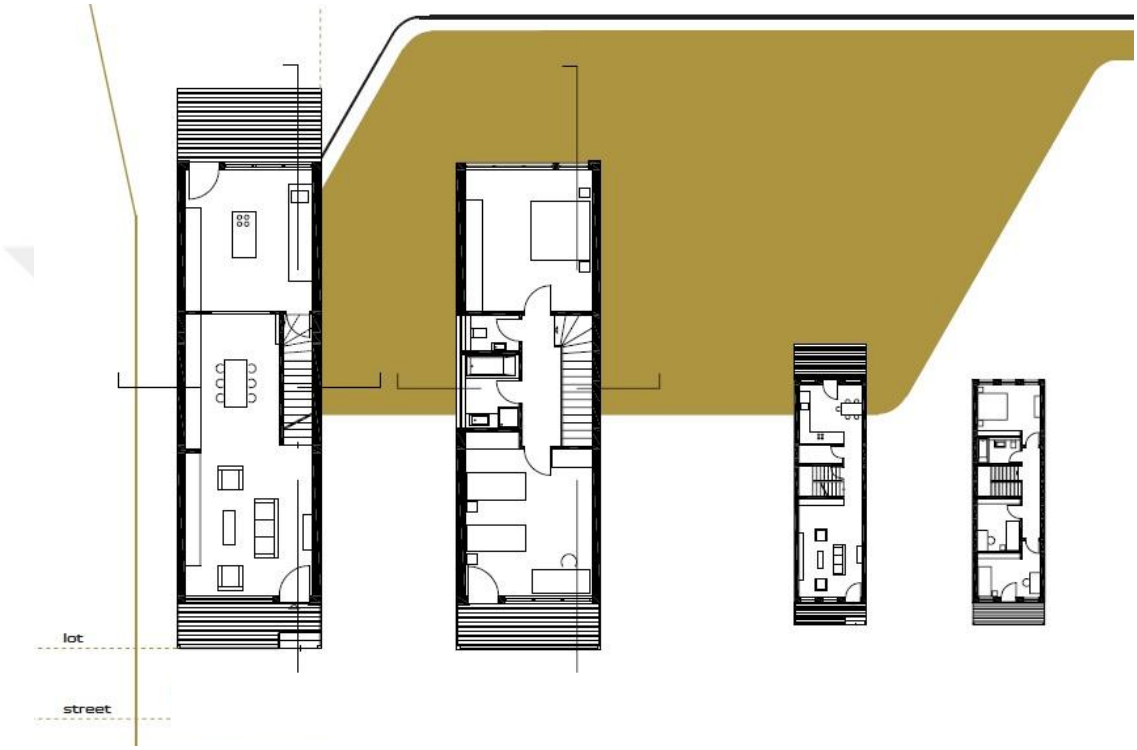
Şekil 3.51 Ofis binası döşemesi etriye döşenmesi(Manaridis, 2010)



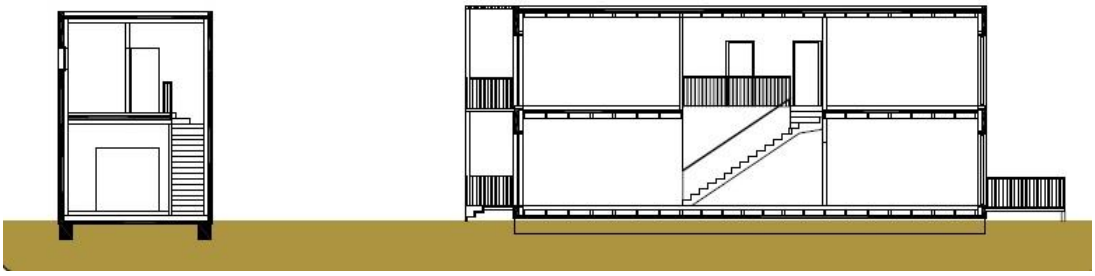
Şekil 3.52 Ofis binası döşemesi beton dökümü(Manaridis, 2010)

- New Orleans'da Modül Ev

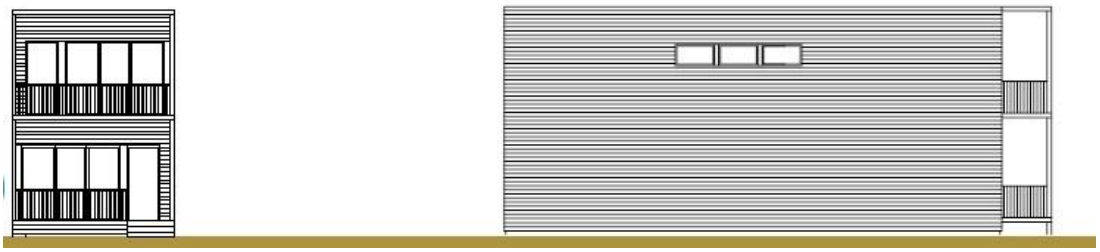
New Orleans'ta tamamiyle ahşap-beton kompozitten oluşan bir prototip Ticomtec firması tarafından yapılmıştır. Döşeme, duvar ve çatıdan oluşan bu sistemde Şekil 3.53'de görüldüğü gibi iki çeşit plan alternatifi olan prototip bir konut elde edilmiştir. Evin kesitleri ve görünüşleri şekil 3.54-3.57'de yer almaktadır.



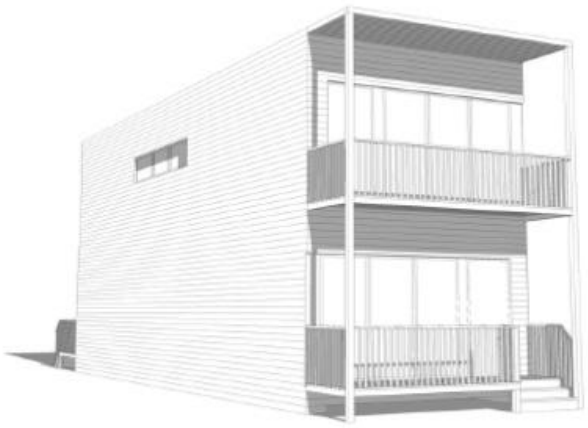
Şekil 3.53 Modül ev planları(TICOMTEC, b.t)



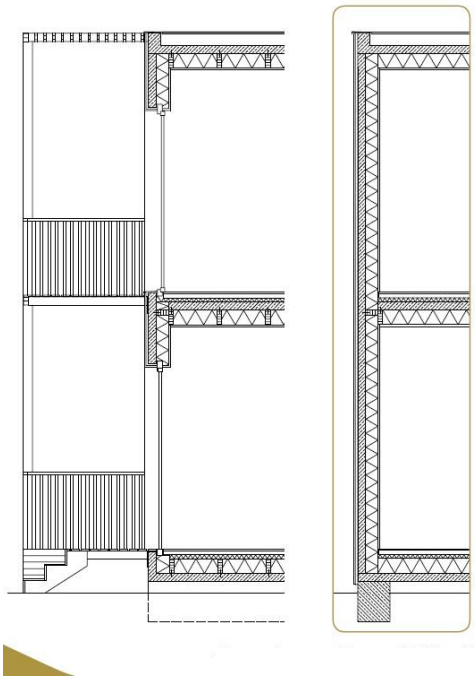
Şekil 3.54 Modül ev kesitleri(TICOMTEC, b.t)



Şekil 3.55 Modül ev görünüşleri(TICOMTEC, b.t)



Şekil 3.56 Modül ev görünüşü(TICOMTEC, b.t)



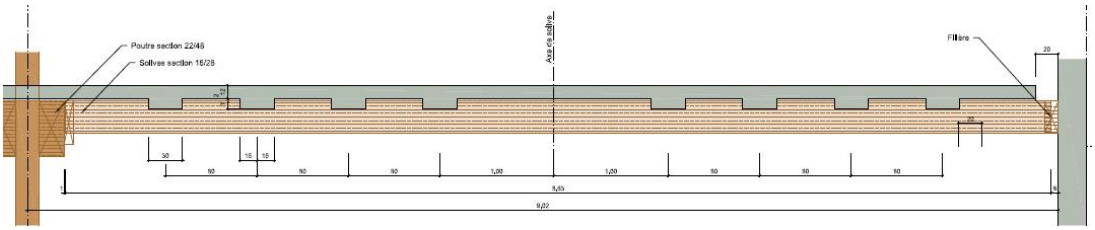
Şekil 3.57 Modül ev sistem kesiti(TICOMTEC, b.t)

-İlkokul İçin Ahşap-Beton Kompozit Döşeme Tasarımı

İsviçre'de La Heitera'da bir ilkokul için öğrenci sayısı artması sebebiyle ek bina yapımı ihtiyacı doğmuştur. Bu sebeple parkın tam ortasında her katta geniş ortak alanlar, belirgin beton duvarlar ve cephelerde pencereler için geniş açıklıklardan oluşan bir proje ortaya çıkmıştır. Ana yapısı ahşap karkas sistem ve bunu çevreleyen beton duvarlardan (Şekil 3.58) oluşmaktadır. Döşeme sistemi ise basit, ucuz ve inşası hızlı olan ahşap-beton kompozit sistemdir (Şekil 3.59 ve 3.60). Tali kirişlerle beton levha arasındaki kompozit etkiyi sağlamak için bağlantı elemanları bulunmaktadır. Kirişlerin arasında beton için kalıp oluşturmak amacıyla OSB paneller konulur. Katlar arasındaki ses yalıtımı sorununu çözmek için döşemeye ses yalıtım panelleri eklenmektedir. Ve soğuk duvarlar ve sıcak kirişler arasındaki ısı problemi için de ısı yalıtım detayıyla sorun çözülür.



Şekil 3.58 İlkokulun duvarlarının dıştan görünümü (İlkokul İçin Ahşap-Beton Kompozit Döşeme Tasarımı, 2014)



Şekil 3.59 İlkokul için ahşap-beton kompozit döşeme kesiti(İlkokul İçin Ahşap-Beton Kompozit Döşeme Tasarımı, 2014)



Şekil 3.60 İlkokul için ahşap-beton kompozit döşeme yapımı (İlkokul İçin Ahşap-Beton Kompozit Döşeme Tasarımı, 2014)

BÖLÜM BEŞ
SONUÇLAR

Bağlantı elemanlarının bağlantı kuvveti kompozitin davranışını belirler. İstenen ahşap-beton kompozit sistemin özelliği hem yeterince esnek hem de yeterince rijit olmasıdır. Kısmi kompozit hareketin değer aralığı tam kompozit ve kompozit olmayan hareketlerin değeri alt ve üst sınır kabul edilerek arasında değişir. Verimlilik oranı da tam kompozit değeri %100 veya 1 kompozit olmayan değeri %0 veya 0 alınarak arasında değişim gösterir.

Araştırmacılar ahşap-beton kompozitin davranışını teorik modellerde bir bileşenini sabit alıp inceleyerek yaklaşık çözümlere ulaşmışlardır. En bilinen ve uygulanan model; eurocode 5'te yer alan kompozit bir yapının iki katmanı arasındaki kaymayı hesaba katan basit doğrusal modeldir (ɣ yöntemi). Yüklerin anlık olarak ve sünme etkisi olmadan uygulanması kısa vadede doğrulamada mümkünken; beton sünmesi ve büzülmesinin, ahşabın ve bağlantı elemanının sünmesi ve mekanik emilimi ve ahşap ile betonun ısıl zorlanmalarının hepsinin hesaba katılması gerektiğinden, kompozit kirişlerin uzun vadede doğrulanması sorunludur.

Ahşap-beton kompozit sistemin geçmişi 1920'lere uzanmaktadır. İlk olarak betona takviye çeliklerinin eksiğinden dolayı betonu desteklemek ve güçlendirmek için kullanılan bu sistem daha sonra eski ahşap döşemeleri (binaların ve köprülerin) güçlendirmede, yeni yapılan binalarda ve köprülerde kullanılmaya başlanmıştır.

Ahşap-beton kompozit sistem çeşitleri üretimine göre ve kullanım bakımından olmak üzere iki ana başlıkta incelenir. Üretimine göre çeşitlerinde tam prefabrik sistem olan HBV sistem, yarı prefabrik sistem olan M kesit sistem ve ahşap çerçeveden oluşan SEPA 2000 sistem yer almaktadır. Kullanımı bakımından döşeme, duvar, çatı ve hepsinin bir arada kullanıldığı modül ev yer almaktadır.

Ahşap-beton kompozit sistem bağlantı elemanları rijitliklerine göre değerlendirilir; en az rijit olan grup tekli bağlantılar(çivi, vida vb.), sonra kesintisiz

bağlantılar (metal plakalar, borular vb.), daha sonra çentikle birlikte bağlayıcının olduğu bağlantılar en rijit olan ise yapıştırıcılı kesintisiz bağlantılardır. Bu bağlantı elemanları araştırmacılar tarafından yapılan çok çeşitli testlerin (yıkılma testleri, kesme testleri, eğilme testleri gibi) çıkan sonuçları değerlendirildiğinde:

- Kayma miktarları en fazla olanın tekli bağlantılar olduğu gözlemlenmiştir.
- Yapıştırılmış çelik bağlayıcı yoluyla monte edilen döşeme örneklerinin, sadece mekanik bağlayıcılar kullanılarak monte edilen döşemelere göre daha iyi tepki verdiği belirtilmektedir.
- Çivi başı kesme yönünü işaret edecek şekilde çivilerin ahşap yüzey üzerine 45°'lik açıyla yerleştirilmesinin daha yüksek mukavemet ve daha az kayma sağladığı belirtilmektedir.
- Sadece uygun bağlantı elemanları sağlayarak, ahşap kirişlerin maliyetinin en az %50'sini tasarruf ederek rijitlik ve yük taşıma kapasitesinde bir artış elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.
- Düz çelik kilit bağlantı elemanı ile bağlayıcılar arasındaki mesafenin, dübel tip bağlayıcılara kıyasla oldukça fazla tutulabileceği bulunmuştur.
- Delikli metal plaka bağlantı elemanlarının ahşap kirişlere göre kompozit kirişe altı kat fazla eğlme sertliği sağladığı elde edilmiştir.
- Bağlantı elemanları olarak kullanılan (beton plakada bulunan) ufak ölçekli "çukurların" etkin kesme iletimi sağlayabildiği belirtilmektedir. Böylece hiçbir çelik bağlayıcı tipi kullanmadan tam kompozit hareketin elde edilebileceğini önerilmektedir.
- Tam kompozit davranışa yakın olan yapıştırmalı kesintisiz bağlantıların, kısa ve uzun vadedeki sonuçları bakımından büyük bir değişimin olmadığı (beklenen oranda, doğrusal değişimin olması) gözlemlenmiş yani yapıştırmalı kesintisiz bağlantılarda uzun vadedeki durumun öngörülerek tasarımın hesaplanabileceği ortaya çıkmıştır.

Ahşap-beton kompozitin kullanımına bakacak olduğumuzda kullanım alanı binalar ve köprüler olarak ayrılır. Binalarda kullanımı; eski ahşap binaların güçlendirilmesi, tek katlı ve çok katlı konutlarda kullanımı, ticari yapılar, eğitim yapıları ve devlet binalarında kullanımı gibi çeşitli alanlarda gerçekleşir. Köprülerde

kullanımı; eski köprülerin güçlendirilmesi ve yeni yapılan karayolu, demiryolu, deniz yolu köprüleri gibi çeşitli alanlarda gerçekleşir.

Ahşap-beton kompozit döşeme kullanımı sayesinde eski ahşap döşemelerin güçlendirilmesi ve diğer nesillere aktarımı sağlanmıştır. Ahşap döşemelere göre; daha rijit, daha güçlü, daha iyi deprem ve yangın dayanımı ve daha iyi bir akustik sağlamasıdır. Betonarme döşemeye göre; azaltılmış kütle ve azaltılmış sismik hareket, geniş açıklık geçebilme, ahşabın estetik kullanımıdır. Diğer ahşap ve betonarme döşemeye göre avantajlar sağlaması sayesinde tercih edilebilir. Fakat dezavantajı olan işçilik maliyetleri ve bağlantı elemanı maliyetlerinin düşmesi gerekmektedir.

Ahşap-beton sistemin en çok kullanılan ve bilinen hali olan döşemeler yapısal ve özelleşmiş olarak incelenir. Yapısal döşemelerde; ahşap kirişlerle doğrudan betonun bağlantısı olduğu döşemeye kaburga ahşap-beton kompozit döşeme, arada kalıp kontrplağın olduğu kirişli ahşap-beton kompozit döşeme ve plak şeklinde ahşap tabakadan oluşan döşemeye plak ahşap-beton kompozit döşeme denir. Özelleşmiş ahşap-beton kompozit döşemeler ise akustik yalıtım filmleri, ısı yalıtım köpükleri gibi yalıtım malzemelerinin kullanılabilmesine imkan vererek tasarlanan döşeme çeşitleridir.

Ahşap-beton kompozit döşemelerin yapısal özellikleri olarak ahşap ile beton arasında fiziksel ve kimyasal olarak değil mekanik bağlantı kurulması sebebiyle mekanik özellikleri incelenebilir. Çünkü fiziksel ve kimyasal olarak ahşap ve beton özelliklerini korumaktadır. Ahşap-beton kompozit döşemelerin mekanik özellikleri aradaki bağlantıyı sağlayan bağlayıcıların çeşidine göre değişim gösterir.

Ahşap-beton kompozit döşemelerin bağlantıları modüllerin birbirine olan bağlantısı ve ana taşıyıcı sistemle bağlantısıdır. Modüllerin birbirine olan bağlantılarında uygun olabilecek bağlantı detayları plaktan plağa bağlantılarda kullanılan bağlayıcılardan oluşur. Bunlar; çeşitli çubuklar, çelik profillerle ve plakalarla mekanik ve kaynakla bağlantısı, ortak takviye çubuğu ve beton dökümüyle

bağlantı, iki plak arasında dolgu malzemesi bağlantısı, iki plak arasında yerinde beton dökümü ile bağlantıdır. Ana taşıyıcı sistemle ahşap kirişler çeşitli demir bağlantı elemanlarıyla bağlanır.

Dünyada pek çok ülkede ahşap-beton kompozit sistem kullanılmaktadır. Bu sistemi kullanmaya başlama nedenleri araştırıldığında; çoğunlukla üniversitelerin araştırma programları, yerel otoritelerin araştırma programları ve çevresel koruma için giderek artan farkındalıktır. Bu sebeplerle birlikte ahşap-beton kompozit sistemin avantajları fark edilip benimsendikçe kullanılma oranı da artmaktadır.

Türkiye'de ahşap-beton kompozit döşemenin kulanılmamasının en önemli nedenleri olarak yapı sektöründe betonarme sisteminin çok yaygın kullanılması ve yönetmeliklerin ahşap yapı üretimine getirdiği kısıtlamalar gösterilebilmektedir. Yapı sektöründe yeni ürünlerin tercihinin az olması, yeni ürünü benimsemenin yavaş olması ve mevzuatın da ya yavaş değişim göstermesi ya da hiç değişmemesi yapı sektörünün yeni teknolojilerle tanışmasını ve bu yeniliklerin sektör tarafından benimsenmesini engellediği görülmektedir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, **Türkiye'de ahşap-beton kompozit döşemenin kullanımının başlaması için:**

• Türkiye'de ahşap ve ahşap-beton kompozit sistemin gelişimi ve uygulamasının artması için bu alanda çalışan ve kendine yeterli olan araştırma enstitülerin kurulması,

• Türkiye'de ahşap ve ahşap-beton kompozit sistem konusunda eğitimli mimar ve mühendis yetiştirilerek bu alanda çalışan inşaat firmalarının kurulması,

• Üniversitelerin Mimarlık ve İnşaat bölümlerinde ahşap yapılar ve ahşap-beton kompozit sistem konusunda derslerin açılarak bu konuda uzman insanların yetişmesinin sağlanması,

• Ahşap-beton kompozit sistem ile ilgili etkinlikler düzenlenmeli, yayınlar çıkartılmalı ve bilinçlendirme sağlanmalı,

• İhtiyaç duyulan standartların geliştirilerek yürürlüğe koyulmalıdır.

Ahşap-beton kompozit döşemeyi benimsemeyle birlikte oluşacak **Türkiye'de ahşap-beton kompozit döşemenin potansiyel kullanım alanları:**

• İlk olarak eski ahşap döşemeleri güçlendirmek amacıyla kullanılmasıyla başlanabilir. Restorasyon işlerinde bu tekniğin kullanımı araştırılarak uygulamalar yapılabilir. Tarihi ahşap köprülerin ve binaların bu şekilde koruma mevzuatına uygun olarak yenisini yapmanın maliyetinden daha aza güçlenerek daha uzun yıllar kullanımı sağlanmış olur.
• Yeni yapılarda ise kullanım alanı olabilecek yerlerden biri; ülkemizde en fazla kullanılan köprülerden olan karayolları üst geçitleridir.
• Prefabrikasyon imkanı sebebiyle ahşap-beton kompozit türlerinden olan HBV sistemi kullanarak daha hızlı bir inşa süresi elde etmek amacıyla yeni yapılarda kullanılabilir.
• Betonarme sistemlerde yalıtım zayıflığına karşın bu sistemde etkin bir yalıtım sağlanması sebebiyle yeni yapılan binalarda tercih edilebilir.
• Betonun dezavantajı olan düşük gerilme kapasitesi döşemelere çelik donatı betonun hemen hemen yarısına çelik donatı yerleştirilmesi ile giderilmektedir. Bu uygulama daha büyük binalarda takviye için betonun ekstra ağırlığı sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu ağırlığı düşürmek adına çok katlı binalarda da uygulanabilir.
• Üniversitelerin ve araştırma enstitülerinin ahşap-beton kompozit sistemler üzerine bilgilerini geliştirmek için programlar kurmaları ve deneysel araştırmalar yapılabilmesinde tercih edilebilir.

Tez çalışması kapsamında elde edilen bulgular ışığında yapılabilecek çalışmalar için geliştirilen öneriler:

Ahşap-beton kompozit sistemi incelenmek isteyen herkesin öncelikle bağlantı elemanlarının bu sistem için can alıcı nokta olduğunu bilmesi gerekir. Bağlantı elemanlarına göre kompozitin davranışı değişmekte buna göre özellikleri değişmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda bağlantı elemanları üzerinde deneyler yapılarak farklılıkları daha detaylı incelenebilir.

Ahşap-beton kompozit sistemin incelenmesiyle pek çok yönden avantajlı olan bu sistemin her ülkede kullanılmadığı dikkat çekmektedir. Bu sebeple bundan sonraki çalışmalarda diğer ülkelerde kullanılamama sebepleri daha detaylı incelenebilir.

KAYNAKLAR

Ahmadi, B.H. ve Saka, M.P. (1993). Behavior of composite concrete timber floors. *Journal of Structural Engineers, 119,* 3111-3130.

Ballerini, M. ve Piazza, M.(2000). Experimental and numerical results on timber-concrete composite floors with different connection systems. *Proceedings of 6th World Conference on Timber Engineering,* Canada.

Ballerini, M., Crocetti, R. ve Piazza, M. (2002). An experimental investigation on notched connections for timber-concrete composite structures. *Proceedings of 7th World Conference on Timber Engineering,* Malezya.

Bathon, L.A. ve Graf, M. (2000). A continuous wood-concrete-composite system. *Proceedings of 6th World Conference on Timber Engineering,* Vancouver.

Bathon, L., Bletz, O. ve Schmidt, J. (2006). Hurricane proof buildings - an innovative solution using prefabricated modular wood-concrete-composite elements. *Proceedings of 9th World Conference on Timber Engineering,* Portland, Oregon (USA).

Benitez, M.F. (2000). Development and testing of timber/concrete shear connectors. *Proceedings of the World Conference on Timber Engineering,* Vancouver, BC, Canada.

Blass, H.J. ve Van der Linden, M.L.R. (1996). Load-sharing in timber-concrete composite floors. *Proceedings Pasific Timber Engineering Conference,* Australia,318-325.

Buchanan, A.H. (2007). *Timber design guide* (3rd Ed.). Wellington, New Zealand: New Zealand Timber Industry Federation.

Capozucca, R. (1998). Bond stress system of composite-concrete timber beams. *Materials and Structures, 31*(213), 634-640.

Ceccotti, A. (1995). *Timber-concrete composite structures* (1st Ed.). The Netherlands: Centrum Hout.

Ceccotti, A. (2002). Composite concrete-timber structures. *Progress in Structural Engineering and Materials, 4*(3), 264-275.

Ceccotti, A., Fragiacomo, M. ve Giordano, S. (2006). Long-term and collapse tests on a timber-concrete composite beam with glued-in connection. *Materials and Structures, 40*(1), 15-25.

Clouston, P., Bathon, L. ve Schreyer, A. (2005). Shear and bending performance of a novel wood-concrete composite system. *Journal of Structural Engineering, 131*(9), 1404-1412.

Cone, C.M. (1963). A composite timber-concrete bridge. *New Zealand Forest Service, 1*(9).

Cook, J.P. (1976). Composite construction methods, *Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 102*(CO1), 21 – 27.

Costa, L. (2011). *Timber concrete composite floors with prefabricate Fiber Reinforced Concrete.* Doktora Tezi, Lund Üniversitesi, İsveç.

Deam, B., Fragiacomo, M. ve Gross, L.S. (2008). Experimental behaviour of prestressed LVL concrete composite beams. *Journal of Structural Engineering, 134*(5), 801-809.

Dias, A.M.P.G. (2005). *Mechanical behaviour of timber-concrete joints.* Doktora Tezi, Coimbra Üniversitesi, Portekiz.

Dias, A.M.P.G., Lopes, S.M.R., Van de Kuilen, J.W.G. ve Cruz, H.M.P. (2007). Load-carrying capacity of timber-concrete joints with dowel-type fasteners. *Journal of Structural Engineering, 133*(5), 720–727.

Dias, A.M.P.G., Lopes, S.M.R., Van de Kuilen, J.W.G. ve Cruz, H.M.P. (2007) A non-linear 3D FEM model to simulate timber-concrete joints. *Advances in Engineering Software, 38*, 522-530.

Fragiacomo, M. ve Ceccotti, A. (2006). Long-term behaviour of timber-concrete composite beams. I: Finite element modeling and validation. *Journal of Structural Engineering, 132*(1), 13-22.

Fragiacomo, M. (2006). Long-term behaviour of timber-concrete composite beams. II: Numerical analysis and simplified evaluation. *Journal of Structural Engineering, 132*(1), 23-33.

Frangi, A. ve Fontana, M. (2001). A design model for the fire resistance of timber-concrete composite slabs. *Proceedings of the IABSE Conference on Innovative Wooden Structures and Bridges,* August 29-31, Lahti (Finland).

Frangi, A. ve Fontana, M. (2003). Elasto-plastic model for timber concrete composite beams with ductile connection. *IABSE Structural Engineering International, 13*(1), 47-57.

Gelfi, P., Giuriani, E. ve Marini, A. (2002). Study shear connection design for composite concrete slab and wood beams. *Journal of Structural Engineering, 128*(12), 1544–1550.

Girhammar, U.A.(1984). Composite timber-concrete wall element. *IABSE 12th Congress*, Vancouver, 369-376.

Girhammar, U.A. ve Gopu V.K.A. (1991). Analysis of P-Δ effect in composite concrete/timber beam-columns. *Proceedings of the Institute of Civil Engineers part 2*, 39-54.

Girhammar, U. A. ve Pan, D. (1993). Dynamic analysis of composite members with interlayer slip. *International Journal of Solids and Structures, 30*, 797-823.

Godycki, T., Pawlica, J. ve Kleszczewski, J. (1984). Verbunddecke aus Holzrippen und Beton*p*latte. *Bauingenieur,* Berlin, *59*, 477-483.

Gutkowski, R.M., Thompson, W., Brown, K., Etournaud, P., Shigidi, A. ve Natterer, J. (1999). Laboratory testing of composite wood-concrete beam and deck specimens. *Proceedings of the RILEM Symposium on Timber Engineering,* Stockholm (Sweden), 263-272.

Gutkowski, R.M., Brown, K., Shigidi, A. ve Natterer, J. (2004). Investigation of notched composite wood-concrete connections. *Journal of Structural Engineering, 130*(10), 1553-1561.

Gutkowski, R.M., Brown, K., Shigidi, A. ve Natterer, J. (2008). Laboratory tests of composite wood-concrete beams. *Construction and Building Materials*, *22*(6), 1059-1066.

Holschemacher, K., Klotz, S. ve Weibe, D. (2002). Application of steel fibre reinforced concrete for timber-concrete composite constructions. *LACER, 7,* 161-170.

İlkokul İçin Ahşap-Beton Kompozit Döşeme Tasarımı, (2014). 24 Temmuz 2015, https://www.linkedin.com/pulse/20140624202956-12564157-composite-timber-floors-for-primary-school

Jorge, L., Cruz, H. ve Lopes, S.(2004). Tests in timber LWAC composite beams with screw type fasteners. *Proceedings of 8th World Conference on Timber Engineering*, Finland.

Kenel, A. ve Meierhofer, U. (1998). Long-term performance of timber-concrete composite structural elements. *EMPA*, Dübendorf, Switzerland.

Kreuzinger, H. (1999). Holz-beton-verbundbauweise. *Informationsdienst Fachverlag Holz*, Dusseldorf, Germany.

Kuhlmann, U. ve Schänzlin, J. (2001). Grooves as shear connectors for timber-concrete composite decks. *Proceedings of the RILEM Conference on Joints in Timber Structures*, Stuttgart (Germany), September 12-14, 283-290.

Kuhlmann, U. ve Michelfelder, B. (2004). Grooves as shear-connectors in timber-concrete composite structures. *Proceedings of the 8th World Conference on Timber Engineering*, Lahti (Finland), *1*, 301-306.

Kuhlmann, U. ve Michelfelder, B. (2006). Optimised design of grooves in timber-concrete composite slabs. *Proceedings of the 9th World Conference on Timber Engineering*, Portland, Oregon (USA).

Lopes, S., Cruz,H. ve Dias, A. (2003). Trial tests on timber-concrete connections. *2nd İnternational Symposiom on Buildings Pathology*, Lisbon.

Manaridis, A. (2010). Evaluation of timber-concrete composite floors. *Rapport TVBK - 5187* Lund Universitet, Sweden.

Maria River Köprüsü, (b.t.). 18 Ocak 2014, http://oak.arch.utas.edu.au/projects/aus/307/maria.html#drawings

Meierhofer, U. (1993). A timber/concrete composite system. *Structural Engineering International, 3*(2), 104-107.

Metter, C. (2003). Structural timber-concrete composites – advantages of a little known innovation. *The Structural Engineer,* 18 February 2003, 17-19.

Möhler, K. (1956). *On the load carrying behavior of beams and columns of compound sections with flexible connections.* Habilitation Tezi, Karlsruhe Teknik Üniversitesi, Almanya.

Muller, P. (1922). Decke aus hochkantig stehenden Holzbohlen oder Holzbrettern und Betondeckschicht. Patentschau aus dem Betonbau und den damit verwandten Gebieten. *Auszuge aus den Patentschriften. Beton und Eisen,* H. XVII, 244.

Mungwa, M.S., Jullien, J.F., Foudjet, A. ve Hentges, G. (1999). Experimental study of a composite wood-concrete beam with the INSA-Hilti new flexible shear connector. *Construction and Building Materials, 13*(7), 371-382.

Natterer, J., Hamm, J. ve Favre, P. (1996). Composite wood-concrete floors for multi-story buildings. *Proceedings of the International Wood Engineering Conference*, New Orleans, Louisiana, *(USA), 3,* 431-435.

Newmark, N.M., Siess, C.P. ve Viest, I.M. (1951). Test and analysis of composite beams with incomplete intereaction. *Society for Experimental Stress Analysis,* 75-92.

Postulka, J. (1983). Strengthening of wooden ceiling constructions. *IABSE Symposium Strengthening of Building Structures,* Venezia.

Rodrigues, N., Dias, A.M.P.G ve Providencia, P. (2013). Timber-concrete composite bridges. *BioResources, 8*(4), 6630-6649.

Schänzlin, J. (2003). *Time dependent behaviour of composite structures of board stacks and concrete,* Doktora Tezi, Stuttgart Üniversitesi, Almanya.

Schaub, O. (1939). Verbunddecke aus Holzrippen und Betonplatte. *Patentschrift Nr. 673 556,* Deutsches Patentamt.

SEPA 2000 (b.t.), 19 Mart 2015, http://www.sepa.fi/

Stevanovic, B.(1989). Analysis, calculation and practical use of composite action of timber beams and reinforced concete plate connected by nails. *2nd Pasific Timber Engineering Conference,* Auckland, New Zealand.

Takac, S.(1996). Experimental research of wood-concrete composite structures joined by bulldog dowels. *Proceedings of International Wood Engineering Conference,* Louisiana, USA, 3, 299-303.

Tecnaria (2003). 13 Nisan 2014, http://www.tecnaria.com

TICOMTEC (b.t.) 5 Kasım 2013, http://www.hbv-systeme.de/hbv/sys_einsatzgebiete_e.htm

Toratti, T. ve Kevarinmäki, A. (2001). Development of wood-concrete composite floors. *Proceedings of the Innovative Wooden Structures and Bridges Conference, International Association for Bridge and Structural Engineering,* Lahti (Finland), 513-518.

Turrini, G. ve Piazza, M. (1983). A technique for stiffness and strength upgrading of wooden floors. *Recuperare, 5*, 224–237.

Turrini, G. ve Piazza, M. (1983). Static behaviour of timber-concrete composite structures. *Recuperare, 6*, 214–225.

Van der Linden, M. (1999). *Timber-concrete composite floor systems.* Doktora Tezi, Delft Üniversitesi, Hollanda.

Vihantasalmi Köprüsü, (2015). 7 Ağustos 2015, http://www.puuwoodholzbois.com/projects/vihantasalmi-bridge

Winschoten Köprüsü, (2015). 10 Ağustos 2015, http://www.schaffitzel-miebach.com/en/projects/timber-bridges/timber-concrete-composite-bridge/timber-concrete-composite-bridge-winschoten-nl.html

Yeoh, D., Fragiacomo, M., Aldi, P., Mazzilli, M. ve Kuhlmann, U. (2008). Performance of notched coach screw connection for timber-concrete composite "floor system. *Proceedings of the 10th World Conference on Timber Engineering,* Miyazaki (Japan).

Yeoh, D. (2010). *Behavior and design of timber-concrete composite floor system.* Doktora Tezi, Canterbury Üniversitesi, Yeni Zelanda.

Yttrup, P.J.(1996). Concrete enhanced timber. *Proceedings of International Wood Engineering Conference, Louisiana, USA, 3,* 304-308.