

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KOMPOZİT DÖŞEMELERDE**  
**GEÇİCİ DESTEKLERİN KONUMLANDIRILMASI**

**SEREN KILIÇ**

**KOCAELİ 2021**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KOMPOZİT DÖŞEMELERDE**  
**GEÇİCİ DESTEKLERİN KONUMLANDIRILMASI**

**SEREN KILIÇ**

**Doç.Dr. Fuad OKAY**  
**Danışman, Kocaeli Üniv.**

.....

**Dr. Öğretim Üyesi Erkan AKPINAR**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**

.....

**Prof. Dr. Şevket ÖZDEN**  
**Jüri Üyesi, Okan Üniv.**

.....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 22.06.2021**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, çok katlı çelik yapılarda sıkça tercih edilen ve üzerinde hareketli yüklerin taşınabildiği kompozit döşeme sistemlerinin imalatı aşamasında kullanılan geçici desteklerin, doğru ve yeterli bir şekilde konumlandırılması için gerekli olan tablo ve verilerinin, İngiliz Yönetmeliğinin binalarda çeliğin yapısal eleman olarak kullanılması başlığı altında verilen, ince cidarlı çelik sac profillerin tasarım esasları ile birlikte Prof. Dr. Şevket ÖZDEN ve Doç. Dr. Fuad OKAY'ın 2008 yılı içerisinde yapmış oldukları Kompozit Döşeme Trapezi Kullanılarak İmal Edilen Kompozit Döşemelerde Taşıma Kapasitesi Deneyleri ve m-k Metodu Katsayıları adlı çalışmalarından örnek alınan yöntemlerin ışığında yapılan hesaplamalar ile oluşturulması, böylece kompozit döşeme tasarımı yapan mühendis ve mimarların tasarımları esnasında kullanabilmeleri amacıyla yapılmıştır.

Tüm öğrencilerine karşı olan samimiyeti ve güler yüzünün yanında mesleki anlamda da kıymetli bilgi birikimini karşısındakine dikkat ve özveriyle aktarma çabası içerisinde olan, yalnızca tez çalışmam esnasında değil kendisiyle ilk tanıştığım andan itibaren her zaman çalışmalarına ve seçimlerime yön veren, sevgili danışmanım Doç. Dr. Fuad OKAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca gerek lisans gerekse yüksek lisans öğrenimim boyunca karşılaştığım problemler konusunda çekinmeden bilgi ve tecrübelerine başvurabildiğim ve her zaman büyük bir özveri ile aklımda hiçbir soru işareti kalmayana dek yardımcı olmaya çalışan kıymetli hocalarım Doç. Dr. Seval PINARBAŞI ÇUHADAROĞLU ve Dr. Öğretim Üyesi Erkan AKPINAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Birlikte çalışmaya başladığım andan itibaren mesleki anlamda kendime olan güvenim ve mesleğime olan saygımın gelişmesi açısından her zaman bana güvenip ciddi sorumluluklar vermekten kaçınmayan, hiçbir zaman kıymetli tecrübe ve bilgilerini benimle paylaşmaktan çekinmeyen ve yüksek lisans öğrenimim boyunca desteğini esirgemeyen sevgili meslektaşım ve şefim İnş. Müh. Kadir ÖZER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yine bu süreçte iş ve eğitim arasındaki dengeyi sağlamam açısından büyük özveri gösteren ve mesleki başarımlarım için hiçbir desteği esirgemeyen, her zaman yanımda olan sevgili eşim Erdem KILIÇ'a teşekkürü borç bilirim. Ayrıca tek temennileri eğitilmiş, kendi ayakları üstünde duran ve sorumluluk duygusu gelişmiş bir birey olmam olan sevgili aileme teşekkür ederim.

Haziran – 2021

Seren KILIÇ

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
GİRİŞ .....	1
1. KOMPOZİT DÖŞEME TASARIMI .....	2
1.1. Kompozit Döşemelere İlişkin Yönetmelik Hükümleri ve Hesap Esasları .....	3
1.2.1. Malzeme özellikleri.....	4
1.2.1.1.Çelik kompozit döşeme sacı.....	4
1.2.1.2. Beton .....	5
1.2.2. Sehim kontrolü.....	5
1.2.3. Yük faktörleri.....	5
1.3. Geçici Ara Destekler .....	6
2. KİRİŞLERİN MOMENT, KESME VE SEHİM DİYAGRAMLARININ ÇIKARILMASI .....	7
2.1. İki Açıklıklı Kiriş İçin Grafik ve Formüllerin Çıkarılması.....	7
2.1.1. C noktasındaki mesnet tepkisinin bulunması .....	9
2.1.2. Eğim denkleminin elde edilmesi.....	10
2.1.3. İki açıklıklı kirişin maksimum sehim değerinin bulunması .....	11
2.1.4 Kesme açıklığının bulunması.....	13
2.2. Üç Açıklı Kiriş İçin Grafik ve Formüllerin Çıkarılması.....	13
2.2.1. Yayılı yük etkisinde C ve D noktalarındaki sehimin bulunması .....	15
2.2.2. C ve D noktalarındaki toplam sehimin bulunması.....	17
2.2.3. C ve D noktalarındaki mesnet tepkilerinin bulunması.....	18
2.3. Dört Açıklıklı Kiriş İçin Deformasyon Grafik ve Formüllerinin Elde Edilmesi .....	19
2.3.1. Yayılı yük etkisi altında oluşan sehimler .....	19
2.3.2. P yükü etkisi altında oluşan sehimler.....	19
2.3.3. Q yükü etkisi altında oluşan sehimler .....	20
2.3.4. Kiriş deformasyonun süperpoze yöntemi ile gösterilmesi .....	20
2.3.5. Cross yöntemi ile moment kapasitelerinin bulunması .....	23
2.3.6. Moment ve kesme kapasitelerinin bulunması.....	24
3. KOMPOZİT DÖŞEME SACININ ATALET MOMENTİ HESABI .....	26
3.1. Malzeme Özellikleri.....	26
3.2. Köşe ve Kıvrımlar İçin Verilen İzin Durumları.....	29

3.2.1. Başlık eğriliği.....	29
3.3. Dayanım Hesaplamaları İçin Etkin Genişliğin Bulunması.....	30
3.3.1. Rijitleştirilmiş bir başlığın düz kısımlarının etkin genişliği.....	30
3.3.2. Etkin genişlik.....	31
3.4. Çoklu Rijitleştirilmiş Basınç Elemanının Etkin Kesit Alanı.....	31
3.4.1. Merkezinden bölünmüş tek rijitleştiricili başlık.....	31
3.4.1.1. Tek bir başlığın burkulma dayanımı.....	32
3.5. Rijitleştiricinin Burkulma Boyu.....	32
3.6. Rijitleştirilmiş Elemanın Genişliği.....	32
3.7. Rijitleştiricinin Genişliği.....	33
3.8. Başlık Rijitleştiricisi Sınırlandırma Katsayısı.....	33
3.9. Tek Bir Rijitleştirici İçin Sınırlandırma Katsayısı.....	33
3.10. Başlık Rijitleştiricisinin Burkulma Dayanımı.....	33
3.11. Tek Bir Rijitleştirilmiş Parçanın Brüt Alanı.....	34
3.12. Başlık Rijitleştiricisinin Etkin Alanı.....	35
3.12.1. Etkin alanın birincil momenti.....	36
3.12.2. Etkin alanın merkezi.....	36
3.13. Atalet Momentinin Hesaplanması.....	37
4. AÇIKLIK SAYISININ BELİRLENMESİ.....	41
4.1. İki Açıklıklı Bir Kiriş İçin Hesaplamalar.....	41
4.1.1. Yayılı yük değerinin hesaplanması.....	41
4.1.1.1. Kesit özellikleri.....	41
4.1.1.2. Yük kabulleri.....	42
4.1.1.2.1. Trapez sac zati ağırlığı.....	42
4.1.1.2.2. Beton zati ağırlığı.....	42
4.1.1.2.3. Beton yığılma ağırlığı.....	42
4.1.1.2.4. Beton dökümü işletme yükü.....	42
4.1.2. Tek açıklıklı kiriş için tasarım moment ve gerilme değerinin hesaplanması.....	44
4.1.3. İki açıklıklı kiriş için tasarım moment ve gerilme değerinin hesaplanması.....	44
4.1.4. İki açıklıklı bir kirişin kompozit faz aşaması.....	47
4.2. Üç Açıklıklı Bir Kiriş İçin Hesaplamalar.....	51
4.2.1. Yayılı yük değerinin hesaplanması.....	51
4.2.1.1. Kesit özellikleri.....	52
4.2.1.2. Yük kabulleri.....	52
4.2.1.2.1. Trapez sac zati ağırlığı.....	52
4.2.1.2.2. Beton zati ağırlığı.....	52
4.2.1.2.3. Beton yığılma ağırlığı.....	52
4.2.1.2.4. Beton dökümü işletme yükü.....	53
4.2.2. Tek açıklıklı kiriş için tasarım moment ve gerilme değerinin hesaplanması.....	53
4.2.3. İki açıklıklı kiriş için tasarım moment ve gerilme değerinin hesaplanması.....	54
4.2.4. Üç açıklıklı kiriş için tasarım moment ve gerilme değerinin hesaplanması.....	55
4.2.5. Üç açıklıklı bir kirişin kompozit faz aşaması.....	56

4.3. Dört Açıklıklı Bir Kiriş İçin Hesaplamalar .....	59
4.3.1. Kesit özellikleri .....	59
4.3.2. Tek açıklıklı bir kiriş için tasarım moment ve gerilme değeri.....	59
4.3.3. İki açıklıklı bir kiriş için tasarım moment ve gerilme değeri.....	59
4.3.4. Üç açıklıklı bir kiriş için tasarım moment ve gerilme değeri.....	60
4.3.5. Dört açıklıklı bir kiriş için tasarım moment ve gerilme değeri.....	60
4.3.6. Dört açıklıklı bir kiriş için kompozit faz aşaması .....	61
5. SONUÇLAR .....	63
5.1. Verilerin Excel Ortamına İşlenmesi.....	63
5.2. Değişen Sac Kalınlıklarına Göre Gerekli Açıklık Sayısının Belirlenmesi .....	65
5.3. Değişen Döşeme Kalınlığına Göre Gerekli Açıklık Sayısının Belirlenmesi .....	65
5.4. Değişen Mesafeye Göre Gerekli Açıklık Sayısının Belirlenmesi.....	66
5.5. Genel Değerlendirme .....	66
KAYNAKLAR .....	69
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	71
ÖZGEÇMİŞ .....	72

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Tipik kompozit döşeme detayı.....	2
Şekil 1.2.	Kompozit döşeme sistemlerde kullanılan tipik sac profiller.....	2
Şekil 1.3.	Kompozit döşemelerde bağlantı türleri.....	3
Şekil 1.4.	Şekil verilmiş çelik sac için konstrüktif esaslar.....	4
Şekil 1.5.	Geçici ara destekler.....	6
Şekil 2.1.	İki açıklıklı kirişte yayılı yük etkisinde oluşan sehim grafiği.....	8
Şekil 2.2.	İki açıklıklı bir kirişin kesme ve moment diyagramı.....	9
Şekil 2.3.	Yayılı yük etkisi altında iki açıklıklı sürekli kiriş.....	11
Şekil 2.4.	İki açıklıklı kirişte yayılı yük etkisinde oluşan sehim grafiği.....	14
Şekil 2.5.	Yayılı yük etkisinde x mesafesinde oluşan moment ve mesnet tepkileri.....	15
Şekil 2.6.	Üç açıklıklı bir kirişte sadece $C_y$ mesnet tepkisi etkisinde oluşan sehim.....	16
Şekil 2.7.	Üç açıklıklı bir kirişte kesme ve moment diyagramları.....	18
Şekil 2.8.	Dört açıklıklı bir kirişte yayılı yük etkisi altında mesnet noktalarında oluşan sehimler.....	19
Şekil 2.9.	Dört açıklıklı bir kirişte P yükü etkisi altında mesnet noktalarında oluşan sehimler.....	19
Şekil 2.10.	Dört açıklıklı bir kirişte Q yükü etkisi altında mesnet noktalarında oluşan sehimler.....	20
Şekil 2.11.	Dört açıklık bir kirişte oluşan sehimlerin süperpoze yöntemi ile gösterilmesi.....	20
Şekil 2.12.	Dört açıklıklı bir kirişte oluşan kesme ve moment diyagramları.....	22
Şekil 2.13.	Mesnet noktalarında oluşan momentlerin cross metodu (moment dağıtma yöntemi) kullanılarak bulunması.....	23
Şekil 2.14.	Yayılı yük etkisi altındaki dört açıklıklı bir kirişte A ve B noktalarında oluşan momentler.....	24
Şekil 2.15.	Yayılı yük etkisi altındaki dört açıklıklı bir kirişte B ve C noktalarında oluşan momentler.....	25
Şekil 3.1.	ALDECK 50/980 kompozit döşeme sacı.....	26
Şekil 3.2.	Tek bir rijitleştirilmiş parçanın ölçüleri.....	28
Şekil 3.3.	Birim etkin alan.....	29
Şekil 3.4.	Tek bir rijitleştirilmiş parçanın ölçüleri.....	34
Şekil 3.5.	Birim etkin alan.....	36
Şekil 3.6.	Aldeck (50/980) trapez sac parçaları.....	37
Şekil 3.7.	Aldeck (50/980) trapez sac parçalarının isimlendirilmesi.....	40
Şekil 4.1.	ALDECK 50/980 kompozit döşeme sacı.....	41
Şekil 4.2.	Basit kirişte moment ve kesme diyagramları.....	43
Şekil 4.3.	İki açıklıklı sürekli kirişte moment ve kesme diyagramları.....	45
Şekil 4.4.	İki açıklıklı sürekli bir kirişe uygulanan yükler.....	48

Şekil 4.5.	Yayıllı yük etkisi altındaki iki açıklıklı kiriş .....	50
Şekil 4.6.	ALDECK 50/980 kompozit döşeme sacı.....	51
Şekil 4.7.	Basit kirişte moment ve kesme diyagramları.....	53
Şekil 4.8.	İki açıklıklı sürekli kirişte moment ve kesme diyagramları.....	54
Şekil 4.9.	Üç açıklıklı sürekli kirişte moment ve kesme diyagramları .....	55
Şekil 4.10.	Üç açıklıklı sürekli bir kirişe uygulanan yükler.....	57
Şekil 4.11.	Üç açıklıklı sürekli bir kirişe uygulanan yükler etkisi altında oluşan kesme ve moment değerleri.....	57
Şekil 4.12.	Üç açıklıklı bir kirişte yayılı yük etkisi altında oluşan mesnet tepkileri .....	58
Şekil 4.13.	Dört açıklıklı sürekli bir kirişe uygulanan yükler etkisi altında oluşan kesme ve moment değerleri .....	60





## TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1.	Birim alanın birincil moment hesabı.....	35
Tablo 3.2.	Ek parçaların birincil momenti hesabı .....	37
Tablo 3.3.	$A_r$ alanının atalet momenti hesabı .....	38
Tablo 3.4.	Ek parçaların atalet momenti hesabı .....	39
Tablo 5.1.	Excel veri girişi ve atalet momenti hesaplaması .....	63
Tablo 5.2.	Islak faz için hesaplamalar .....	64
Tablo 5.3.	Kompozit faz için hesaplamalar.....	64
Tablo 5.4.	Değişken sac kalınlığına göre belirlenen açıklık sayısı .....	65
Tablo 5.5.	Değişken beton kalınlığına göre belirlenen açıklık sayısı .....	65
Tablo 5.6.	Değişken açıklık boyuna göre belirlenen açıklık sayısı.....	66

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	: Kesme açıklığı (mm)
$A_g$	: Katlanmış plak kesit alanı ( $\text{mm}^2$ )
$A_r$	: Başlık rijitleştiricisinin alanı
$A_{r,eff}$	: Başlık rijitleştiricisinin etkin alanı
b	: Kompozit döşeme genişliği (mm)
$b_d$	: Rijitleştirilmiş elamanın genişliği
$b_r$	: Rijitleştiricinin genişliği
$b_{eff}$	: Basınç elemanının etkin genişliği
$B_f$	: Basınç başlığının toplam uzunluğu
DL	: Ölü yük
$D_p$	: Basınç başlığının yüksekliği
$d_s$	: Kompozit döşeme kalınlığından katlanmış plağın ağırlık merkezi çıkarılarak elde edilen faydalı derinlik
$D_w$	: Gövdenin eğik uzunluğu
E	: Elastisite modülü
$f_c$	: Basınç gerilmesi
$f_{yk}$	: Katlanmış plağın karakteristik akma dayanımı (Mpa)
h	: Kompozit döşeme kalınlığı (mm)
$h_p$	: Sac plak yüksekliği
$I_{eff}$	: Katlanmış plak kesitin etkin atalet momenti ( $\text{mm}^4$ )
$I_g$	: Katlanmış plak kesitin atalet momenti ( $\text{mm}^4$ )
$I_r$	: $A_r$ alanının, başlığın merkez çizgisi ile kendi merkezi eksenine göre oluşan atalet momenti
K	: Göreceli yerel burkulma katsayısı
$K_w$	: Tek bir gövde rijitleştiricisi için sınırlandırma katsayısı
$K_{wo}$	: Tek bir başlık rijitleştiricisi için sınırlandırma katsayısı
$L_b$	: Rijitleştiricinin burkulma boyu
LL	: Hareketli yük
$L_o$	: Kompozit döşemenin mesnetten mesnete net açıklığı (mm)
$M_D$	: Maksimum açıklık momenti değeri
$P_{cr}$	: Elemanın temel dayanımı
$P_{r,cr}$	: Tek bir başlık rijitleştiricisinin burkulma dayanımı
$P_y$	: Tasarım dayanımı
$Q_u$	: $A_r$ 'nin basınç başlığına göre birincil momenti
$Q_{u,eff}$	: Etkin birincil moment
r	: Eğrilik yarıçapı
$S_r$	: Tek bir rijitleştiriciye sahip başlık genişliği
t	: Net kalınlık
$t_p$	: Katlanmış sac plak kalınlığı (mm)
$U_f$	: Başlık kıvrımı
$U_s$	: Nihai çekme dayanımı
V	: Yapışma kesmesi göçmesi sırasındaki mesnet reaksiyonu (kesme kuvveti) (N)

$V_D$	: $W_D$ ve $R_{2D}$ yükleri etkisinde mesnet reaksiyonları
$W_a$	: Katlanmış plak birim alan ağırlığı
$W_D$	: Tasarım esas yük şiddeti
$W_{Disp}$	: Beton yükü ve bu betonun yer yer hata sonucu planlanan kalınlıktan yaklaşık %15'e kadar fazla dökülmüş olması durumunda ortaya çıkan yüklerin toplamı
$y_G$	: Katlanmış plağın ağırlık merkezi (tabandan itibaren) (mm)
$y_r$	: $A_r$ 'nin ağırlık merkezi
$Y_s$	: Akma dayanımı
$y_{u,eff}$	: Etkin alan merkezi
$\alpha$	: Elastik kritik mukavemet oranı
$\beta$	: Rijitleştirici etkinliğini azaltma faktörü
$\sigma_D$	: Tasarım momenti etkisinde trapez sacda oluşan çekme veya basınç gerilmesi
$\Delta_{max}$	: $W_{Disp}$ yayılı yükü etkisinde oluşacak maksimum deplasman

## KOMPOZİT DÖŞEMELERDE GEÇİCİ DESTEKLERİN KONUMLANDIRILMASI

### ÖZET

Kompozit döşemeler, çelik yapılarda trapez sac üzerine hasır donatı yerleştirilmesi ve beton dökülmesiyle oluşturulan sistemlerdir ve desteksiz 3-4 m açıklığı geçme imkanı tanırırlar. Adı geçen döşemeler, döşeme sacı, beton, hasır donatı, çiviler ve uygulama esnasında kullanılan geçici desteklerden oluşurlar. 1960'lerden günümüze tasarımlarındaki gelişmelere bakılacak olursa, akma dayanımı 220N/mm<sup>2</sup> yerine 350N/mm<sup>2</sup> olan çelik kullanılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte dönemin teknolojik imkanlarına uygun olarak yapılan uygulamalarda mesnetlerde arası mesafe 6 ile 7,5 m arasında değişirken, günümüzde bu değer artan imkanlar vasıtasıyla 9 ile 12 m arasındaki değerlere kadar ulaşabilmiştir. Gelişen teknolojiyle yaygınlaşan hafif betonla %25 ağırlık tasarrufu sağlanırken daha ince döşemeler üretilmiştir. Ayrıca tasarım yapılırken, dayanım bazlı tasarımdan açıklık ve derinlik parametreleri ile; kullanılabilirlik bazlı tasarımdan da sehim dikkate alınmaktadır. Uygulamada kullanılan geçici desteklerin konumlandırılması, imalat hatta dayanım kazanma sürecinin önemli parçası olmasına rağmen yeterli mühendislik çalışmalarının olmamasından dolayı, tecrübelerle dayanılarak yapılmaktadır. Bu çalışmada öncelikle sacın etkin atalet momenti bulunup, bu değer ıslak ve kompozit faz için dayanım parametresi olarak kullanıldı. Islak faz durumunda döşeme üzerine gelecek yükler; trapez sac ve beton zati ağırlığı, betonun yığılma ağırlığı ve döküm işletme yükü düzgün yayılı yük olarak etkitildi. Elde edilen gerilme değeri, çeliğin akma dayanımının %70'inden küçük olmasıyla; sehim ise L/300'ü aşmamasıyla kontrol edildi. Kompozit faz durumunda elemana ölü ve hareketli yüklerle, desteklerin tepki kuvvetleri zıt yönlü olacak şekilde etkitildi. Kesme ve moment diyagramları çizilerek, kesme açıklığı bulundu ve döşemenin yapışma kayması göçmesi kontrolü yapıldı. Göçme yaşanmıyorsa desteklerin güvenle sökülmesi, göçme durumunda ise yeni açıklığa göre aynı işlemlerin ve göçme kontrollerinin tekrarlanması uygun görüldü. Dayanımın %75'ine kadar sökülmeyen ayakların, döşeme kalınlığı ve açıklık parametreleri düşünülerek, doğru şekilde konumlandırılmasına yönelik bir çalışma yapıldı. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde çelik kompozit döşeme sacının kalınlığı arttıkça artan etkin atalet momenti sayesinde taşıma kapasitesi de arttığı ve gerekli minimum açıklık sayısı değerinin azaldığı görüldü. Bir başka değerlendirmede sadece beton kalınlığı parametresi artırılarak, çelik trapez sacın ıslak faz aşamasında taşınması gereken yük değerinin artması sebebiyle gerekli minimum açıklık sayısının arttığı görüldü. Bununla birlikte diğer tüm parametreler sabit tutulup yalnızca açıklık mesafesinin artırılmasıyla yine gerekli minimum açıklık sayısının arttığı belirlendi ve tüm bu değerler tablolaştırma yöntemiyle uygulama açısından kullanılabilmesi amacıyla mühendis ve uygulamacıların kullanımına sunuldu.

**Anahtar Kelimeler:** Geçici Destekler, Kompozit Döşemeler.

## LOCATION OF TEMPORARY SUPPORTS IN COMPOSITE FLOORS

### ABSTRACT

Composite floors are systems formed by placing mesh reinforcement on trapezoidal sheet in steel structures and pouring concrete and they allow the opportunity passing over 3-4 m without support. The aforementioned floors consist of floor plate, concrete, mesh reinforcement, nails and temporary supports used during application. Considering the developments in the designs since the 1960s, steel with a yield strength of 350N / mm<sup>2</sup> instead of 220N / mm<sup>2</sup> has been used. However, while the distance between the bearings varied between 6 and 7.5 m in applications carried out in accordance with the technological possibilities of the period, today this value has reached values between 9 and 12 m through increasing possibilities. While 25% weight saving was achieved with lightweight concrete, which became widespread with the developing technology, thinner floors were produced. In addition, while designing, from the strength-based design to the span and depth parameters; deflection is also taken into account in usability-based design. The positioning of the temporary supports used in practice is made on the basis of experience, due to the lack of sufficient engineering studies, although it is an important part of the manufacturing process. In our study, firstly, the effective moment of inertia of the sheet was found and this value was used as the strength parameter for the wet and composite phases. Loads on the slab in the wet phase situation; The trapezoidal sheet and concrete self-weight, the bulk weight of the concrete and the casting operating load were applied as uniformly distributed load. The obtained tensile value is less than 70% of the yield strength of the steel; deflection was checked by not exceeding  $L / 300$ . In the case of the composite phase, the reaction forces of the supports were affected in opposite directions with dead and live loads. Shear and moment diagrams were drawn, the shear gap was found and the adhesion shear failure control of the slab was done. It was deemed appropriate to remove the supports safely if there was no collapse, and to repeat the same procedures and collapse controls according to the new clearance in case of collapse. A study was carried out for the correct positioning of the feet, which cannot be removed up to 75% of the strength, by considering the slab thickness and span parameters. When the data obtained were evaluated, it was seen that as the thickness of the steel composite flooring sheet increased, the carrying capacity increased and the required minimum number of openings decreased thanks to the increasing effective moment of inertia. In another evaluation, it was observed that by increasing the concrete thickness parameter, the required minimum number of openings increased due to the increase in the load that the steel trapezoidal sheet should carry in the wet phase phase. In addition, it was determined that the minimum number of openings required increased by keeping all other parameters constant and only increasing the opening distance, and all these values were presented to the use of engineers and practitioners in order to be used in terms of application by tabulation method.

**Keywords:** Temporary Support, Composite Floorings.

## GİRİŞ

Taşıyıcı sistemleri çelik olan yapıların döşeme sistemleri genellikle betonarme olarak yapılmaktadır. Bu betonarme döşemeler yerinde döküm veya hazır elemanlar kullanılarak imal edilebilmektedir. Yerinde dökülen bir döşeme sisteminde kullanılan çelik sacların, hem imalat aşamasında sağladığı kolaylıklar hem de ekonomi bakımından sağladığı avantajlar sebebiyle kalıcı kalıp olarak kullanılması yaygınlaşmıştır. Bu döşeme sisteminde kullanılan çelik sac, ıslak faz aşamasında yani betonun henüz sertleşmemiş ve dayanımını henüz kazanmamış olduğu süreçte hareketli yükler ile ıslak betonun ağırlığını taşımakta fakat beton dayanım kazandıktan sonraki aşamada bu geçici yükleri taşımaya hiçbir katkısı bulunmamaktadır [1].

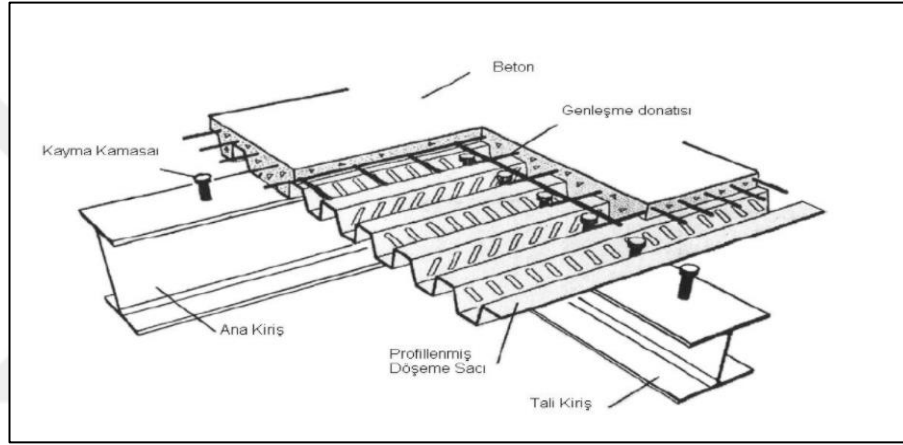
Başlarda kalıcı kalıp olarak kullanılan bu çelik sacın, aynı zamanda pozitif eğilme altında döşemenin alt başlığında çekme donatısı görevi görebileceği ve böylelikle sağlanabilecek ekonomik avantajlar sebebiyle kompozit döşeme sistemi uygulanmaya başlanmıştır [1].

Kompozit döşemeler, çelik kirişler üzerine döşenmiş çelik sacların beton ile birlikte çalıştırılmasıyla ortaya çıkan kompozit taşıyıcı elemanlardır. Kompozit döşemelerin kullanılmasıyla birim alana düşen yapı ağırlığında  $1 \text{ kN/m}^2$ 'ye kadar azalma sağlanmaktadır. Bu durumda betonarme döşeme kullanılan yapılara göre %30 daha hafif döşemeler elde edilmesini sağlamaktadır. Günümüzde kompozit döşemeler yaygın olarak okul, hastane, yüksek yapılar ve köprülerin döşemeleri, otoparklar gibi büyük açıklıkların olduğu ve yüksek dayanım kapasitesinin gerektiği alanlarda kullanılmaktadır. Kompozit döşemelerin kullanılmasıyla tesisat için ekstra alanlar oluşmakta, işçilik azalmakta, yangın dayanımı büyük oranlarda artmakta ve ısı izolasyonu sağlanmaktadır [2].

## 1. KOMPOZİT DÖŞEME TASARIMI

Kompozit döşeme sistemleri temel olarak 4 birleşenden meydana gelmektedir [2];

- Yapısal çelik kiriş
- Başlıklı kayma elemanları
- Katlanmış çelik sac
- Donatılı beton



Şekil 1.1. Tipik kompozit döşeme detayı [2]

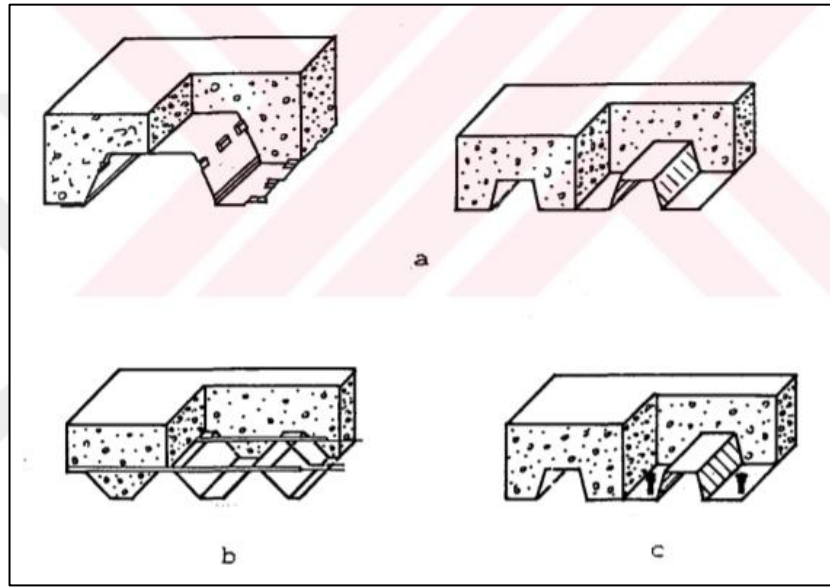
Şekil 1.1’de tipik bir kompozit döşeme kesiti yer almaktadır. Kompozit döşeme sacının döşemenin çekme donatısı görevini görebilmesi yani kompozit davranışın sağlanabilmesi için kayma bağlantısı denilen ve mekanik kilitlenmeyi sağlayan özel çivilere ihtiyaç vardır. Bu özel parçalar ile birlikte Şekil 1.2’de gösterildiği gibi çelik sacın geometrik özellikleri de beton ile çelik sac arasında aderansı yani mekanik kilitlenmeyi sağlayarak hem betonun dik olarak çelik sac üzerinden kalkmasını hem de yatay kayma gerilmelerini karşılamasını sağlamaktadır [1].



Şekil 1.2. Kompozit döşeme sistemlerde kullanılan tipik sac profilleri [1]

Şekil 1.2.a'da gösterildiği gibi kurt ağzı olarak isimlendirilen model ile düşeydeki ayrılmalar minimize edilmekle beraber yatay kayma gerilmeleri de profil uçlarında bulunan deliklerle karışlanır. Buna karşın daha yaygın olarak kullanılan Şekil 1.2.b'de gösterilen modelde ise yatay kayma gerilmeleri ancak kayma bağlantıları ile sağlanır. Kayma bağlantısı olarak kullanılan araçlar [1];

- Şekil 1.3.a'daki gibi çelik sac profil üzerinde oluşturulmuş girinti çıkıntılar
- Şekil 1.3.b'deki gibi çelik sac üzerine kaynaklanmış hasır donatı
- Şekil 1.3.c'deki gibi kullanılan kayma çivileri



Şekil 1.3. Kompozit döşemelerde bağlantı türleri [1]

Aynı zamanda Şekil 1.3.b'deki gibi kullanılan hasır donatılar ile döşemenin eğilme dayanımının artırılması, rötre ve eğilme çatlaklarının kontrol altına alınması, açıklık kenarları güçlendirilmesi ve yük aktarımının sağlanması amaçlanmaktadır. Bununla birlikte kompozit döşeme imalatı sırasında yani ıslak faz aşamasında oluşacak tüm yüklerin taşınmasını sağlamak amacıyla geçici destekler kullanılmaktadır.

### 1.1. Kompozit Döşemelere İlişkin Yönetmelik Hükümleri ve Hesap Esasları

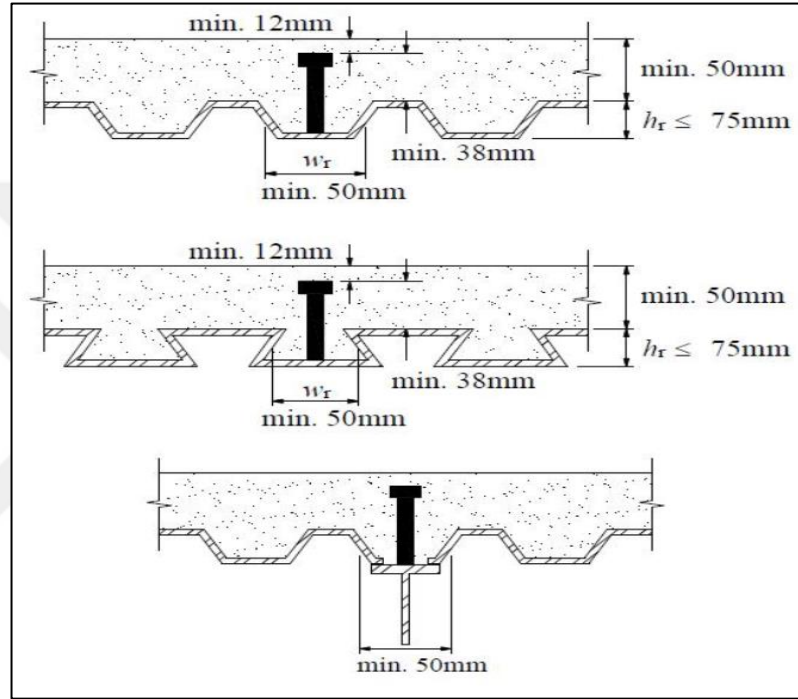
Türkiye'de kompozit döşeme sistemlerine ait herhangi bir yönetmelik yoktur [1]. Bu sebeple bu çalışmada da İngiliz yönetmeliği olan BS 5950 Çelik Yapıların Tasarımı kılavuzunun 6.bölümü olan İnce Cidarlı Çelik Profillerin Tasarımına Ait Esaslar dikkate alınmış ve gerekli tüm hükümler buradan elde edilmiştir.



## 1.2.1. Malzeme özellikleri

### 1.2.1.1. Çelik kompozit döşeme sacı

Kompozit döşeme enkesitinde kullanılacak çelik malzemesinin akma dayanımının en az  $Y_s = 240 \text{ N/mm}^2$  olması ve minimum sac kalınlığının da  $t = 0,7 \text{ mm}$  olması önerilmektedir. Ayrıca korozyon açısından çeliğin özelliklerini korumak amacıyla galvanizli olması zorunlu tutulmuştur [1].



Şekil 1.4. Şekil verilmiş çelik sac için konstrüktif esaslar [2]

Çelik yapıların tasarım, hesap ve dayanımına dair esaslar yönetmeliğinde bulunan ve şekilde gösterilen çelik sac için esaslar aşağıdaki gibi ifade edilmiştir [2];

- $h_r$  olarak ifade edilen çelik sacın hadve yüksekliği en fazla 75 mm ve  $w_r$  olarak ifade edilen ortalama hadve genişliği ise en az 50 mm olacaktır [2].
- Betonarme döşeme, çelik sac üzerinde ve üzerinde bulunduğu çelik kiriş başlığına doğrudan başlıklı çelik ankrajlarla kaynaklanarak bağlanacaktır [2].
- Başlıklı çelik ankrajın kaynaklanan kısmından sonra çelik sacın hadve üst kotuna kadar olan mesafe en az 38 mm olacaktır ve beton döşemenin üst kotundan en az 12 mm aşağıda olacaktır [2].
- Hadve üst kotu ile beton döşemenin üst kotu arasındaki mesafe minimum 50 mm olacaktır [2].

- Kiriş başlığına mesnetlenen bağlantı aralığı maksimum 450 mm olacaktır [2].
- Çelik kirişin boyuna doğrultudaki eksenine dik olarak yerleştirilen çelik sac hadvelerinde, çelik sacın üst kotundan itibaren hadve içerisinde kalan beton tasarımda ihmal edilecektir [2].
- Çelik kirişin boyuna doğrultudaki eksenine paralel olarak yerleştirilen çelik sac hadvelerinde ise hadve içerisinde kalan beton kompozit enkesit tasarımında ihmal edilmeyebilir [2].
- Çelik kirişin boyuna doğrultudaki eksenine paralel olarak yerleştirilen çelik sac hadvelerinde her bir hadvede bir tane başlıklı çelik ankraj kullanıldığı durumlarda hadve genişliği  $w_r$  minimum 50 mm olacaktır. Her hadvenin içerisinde birden fazla başlıklı çelik ankraj kullanılması durumunda ise hadve genişliği  $w_r$ , ilave edilen her bir başlıklı çelik ankrajın gövde çapının 4 katı olacak şekilde artırılmalıdır [2].

#### **1.2.1.2. Beton**

Kompozit döşeme sistemlerde minimum C25/30 dayanımına sahip normal betonlar kullanılabilirdiği gibi minimum LC25/28 dayanımlı hafif betonlar da kullanılabilir [3]. Normal betonların dayanım, yüzey sertliği, ses yalıtımı ve düşük boşluk oranı gibi avantajlarına karşın hafif betonların da yüksek yangın dayanımı, ekonomik ve daha hafif olması gibi avantajları bulunmaktadır.

#### **1.2.2. Sehim kontrolü**

Çelik sac, inşaat aşamasında kendi ağırlığı, donatı ağırlığı, ıslak betonun ağırlığı ile birlikte işçi ve ekipman ağırlığına da maruz kalır. Bununla birlikte beton dökümü sırasında kalınlığın yer yer fazla olması sebebiyle beton yığılma yükü de oluşmaktadır [4]. Islak faz aşamasında tüm bu yüklemeler altında kompozit döşemede meydana gelecek sehimler  $L/300$  veya 20 mm ile sınırlandırılmıştır [3].

#### **1.2.3. Yük faktörleri**

Göz önünde bulundurulan yönetmeliğe göre dikkate alınması gereken yükler trapez sac zati ağırlığı, beton zati ağırlığı, beton dökümü esnasında yer yer istenilen kalınlıktan fazla beton atılması sonucu oluşan beton yığılma ağırlığı ve imalat sırasında işçi ve ekipman gibi yükleri içeren beton dökümü işletme yüklerinin

toplamından oluşmaktadır [4].

### 1.3. Geçici Ara Destekler

Çelik sac kesiti, beton sertleşmeden ve mukavemetini kazanmadan önce, kendi ağırlığına ilave olarak ıslak beton ağırlığını ve inşaat sürecinde oluşan hareketli yükleri taşır. Kompozit çalışmanın gerçekleşmediği bu aşamada çelik sacın yalın haldeki hesabı için BS 5950 – 6’da ince cidarlı çelik elemanların tasarımına ilişkin hükümler yer almaktadır. Ülkemizde bu konuyla ilgili herhangi bir standart henüz mevcut değildir.

Beton mukavemetini kazanıncaya kadar gerçek mesnetler arasına bazı durumlarda geçici ara destekler konulması gerekebilir. Fakat bahsedilen bu geçici ara desteklerin hangi durumlarda aralarındaki mesafenin ne kadar olması gerektiğiyle ilgili açıklığın 4 m’den büyük olduğu sığ döşemelerde ve açıklığın 7 m’den büyük olduğu derin döşemelerde kullanılması gerektiği gibi genel önerilerin dışında kesin bilgiler verilmemiştir. İşte tam da bu sebepten yola çıkarak bu desteklerin hangi durumlarda nasıl konumlandırılmalarına ait pratikte de kullanılabilir bir kılavuz elde etmek amacıyla bu çalışmanın yapılmasına karar verildi.



Şekil 1.5. Geçici ara destekler [9]

Geçici ara desteklerle ilgili olarak dikkat edilmesi gereken önemli hususlar;

- Doğrudan zemin kaplaması ile birleşmemelidirler [10]
- Döşeme dayanımının %75’ine ulaşmadan sökülmemelidirler. (7-8 Gün) [10]

## 2. KİRİŞLERİN MOMENT, KESME VE SEHİM DİYAGRAMLARININ ÇIKARILMASI

Bu bölümde iki, üç ve dört açıklıklı kirişlere ait sehim denklem ve grafiklerinin elde edilmesine yönelik hesaplamalar yer almaktadır. Bahsedilen hesaplamalarda kullanılacak olan metot yani Singülarite (tekillik) fonksiyonları yöntemi, matematiksel bir yöntem olmakla birlikte moment, eğim ve sehim hesabında kullanılmak istenildiği durumlarda, bu yöntem düşey yüklü yayılı yük olan  $w(x)$ , eğim  $\theta(x)$ , kesme kuvveti  $V(x)$  ve eğilme momenti  $M(x)$  arasındaki matematiksel ilişkilere ve modellere bağlı olarak yani  $\partial V(x)/\partial x = -w(x)$  ve  $\partial M(x)/\partial x = V(x)$  ilişkisinden faydalanılarak sistemin (kirişin) kesme kuvvetinin ve eğilme momentinin etkisinde açıklığın sürekliliğine bağlı olmakla birlikte çift (iki) katlı integral yöntemiyle istenilen noktadaki meydana gelen sehim miktarının hesaplanmasında kullanılır [11].

Singülarite fonksiyonunu [15];

$f(x) = \langle x - a \rangle$  şeklinde gösterilir ve burada “a” sabit bir sayı olarak kabul edilir.

$x > a$  olduğu durumda singülarite fonksiyonu;

$f(x) = x - a$  olarak kabul edilir.

$x = a$  olduğu durumda singülarite fonksiyonu;

$f(x) = 0$  olarak kabul edilir.

Buradan elde edebileceğimiz çıkarıma göre singülarite fonksiyonu  $x$ 'in  $a$ 'dan büyük olduğu durumlarda geçerli fakat  $x$ 'in  $a$ 'ya eşit veya küçük olduğu durumlarda fonksiyonun değeri sıfırdır.

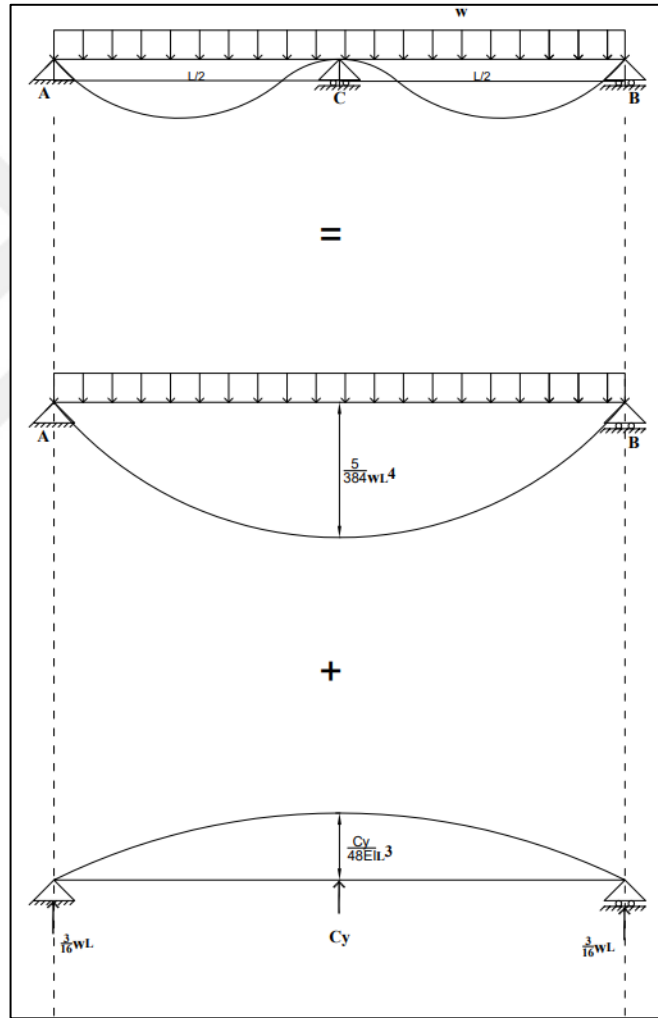
### 2.1. İki Açıklıklı Kiriş İçin Grafik ve Formüllerin Çıkarılması

Bu bölümde iki açıklıklı yani tek geçici destek kullanılarak açıklığın yarıya

indirildiği kiriş modeli üzerine etkiyen yayılı yük etkisinde oluşacak olan moment, kesme ve deformasyon grafikleri elde edilmesi amaçlanmıştır.

### 2.1.1. C noktasındaki mesnet tepkisinin bulunması

Kiriş üzerine etkiyen yayılı yük ( $w$ ) ve C noktasındaki mesnet tepkisi sebebiyle oluşan toplam sehim değerinin sıfır olacağı düşünülerek Denklem (2.1) elde edilmiş ve bu noktadaki mesnet tepkisi olan  $C_y$  bulunmuştur. Bulunan bu değerler kullanılarak elde edilen kirişte oluşan deformasyon grafiği Şekil (2.1)'de verilmiştir.



Şekil 2.1. İki açıklıklı kirişte yayılı yük etkisinde oluşan deformasyonların süperpoze yöntemi ile gösterilmesi

İki açıklıklı kirişe ait mesnet tepkilerinin bulunmasının ardından elde edilen kesme ve moment diyagramları ise Şekil 2.2'de verilmiştir. C noktasındaki mesnet tepkisi

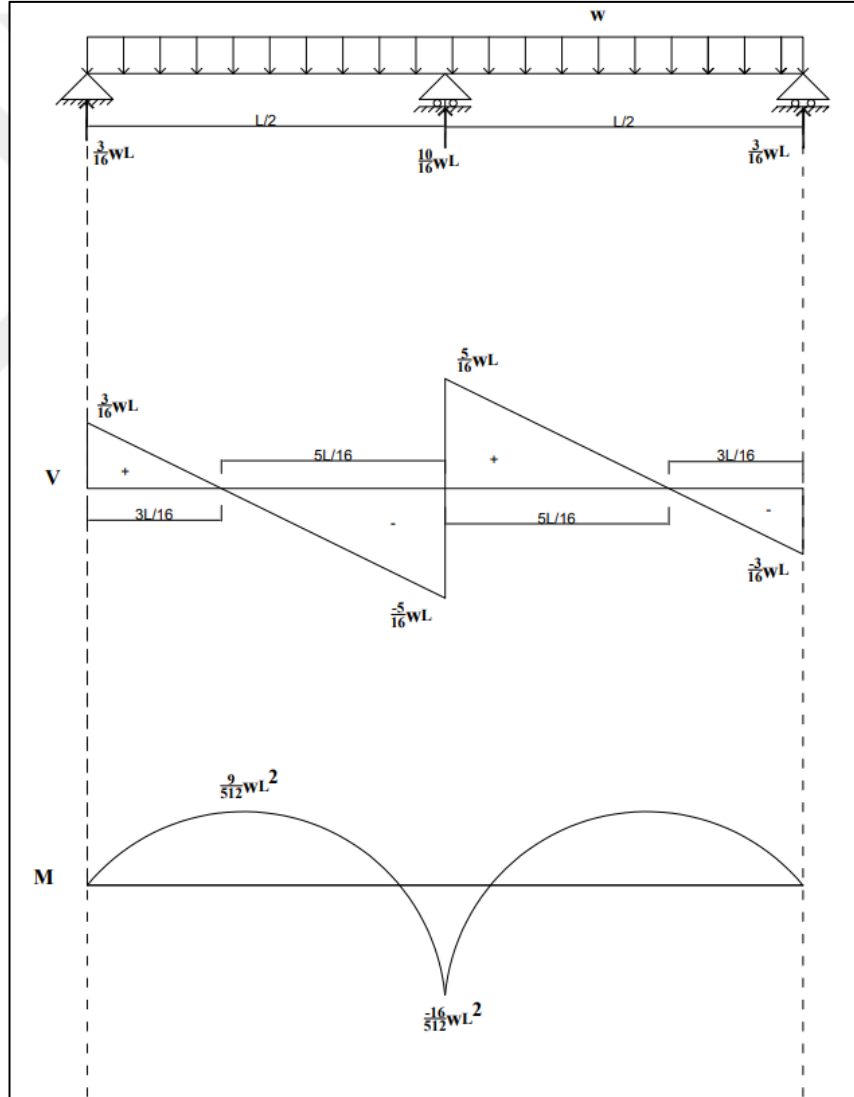
sebebiyle oluşan sehım değeri  $y_c(C_y)$  ve kiriş üzerine etkiyen yayılı yük sebebiyle oluşan sehım değeri de  $y_c(w)$  olarak ifade edilecek olursa toplam sehım değeri  $y_c$ ;

$$y_c = y_c(w) + y_c(C_y) = 0 \quad (2.1)$$

$$= - \frac{5wL^4}{384EI} + \frac{C_y L^3}{48EI} = 0$$

Buna göre C noktasında yayılı yük ve C noktasındaki mesnet tepkisi sebebiyle oluşan moment değeri;

$$C_y = \frac{5}{8}wL \quad \text{olarak bulunur.}$$



Şekil 2.2. İki açıklıklı bir kirişin kesme ve moment diyagramı

### 2.1.2. Eğim denkleminin elde edilmesi

Aşağıdaki moment denkleminin integrasyonu ile edilmiş ve x değişkenine bağlı olarak bulunan eğim denklemi gösterilmiştir. Aynı zamanda Şekil 2.3’de kirişe etkiyen yayılı yük ile mesnet tepkisi yerine etki eden  $C_y$  yükü gösterilmiştir. Burada yayılı yük ve  $C_y$  yükü etkisinde oluşacak eğim denklemleri ayrı ayrı bulunup süperpoze yöntemi ile toplanarak elde edilecektir.

Yayılı yük etkisinde x noktasında oluşan moment denklemi;

$$M_1(x) = \frac{wLx}{2} - \frac{wx^2}{2} \quad (2.5)$$

Yayılı yük etkisinde x noktasında oluşan moment denkleminin 1 kez integrali alınarak elde edilen eğim denklemi;

$$\theta_1(x) = \frac{wLx^2}{4EI} - \frac{wx^3}{6EI} - \frac{wL^3}{24EI}$$

$C_y$  yükü etkisinde x noktasında oluşan moment denklemi;

$$M_2(x) = - \frac{5wLx}{16}$$

$C_y$  yükü etkisinde x noktasında moment denkleminin 1 kez integrali alınarak elde edilen eğim denklemi;

$$\theta_2(x) = - \frac{5wLx^2}{32EI} + \frac{5wL^3}{128EI}$$

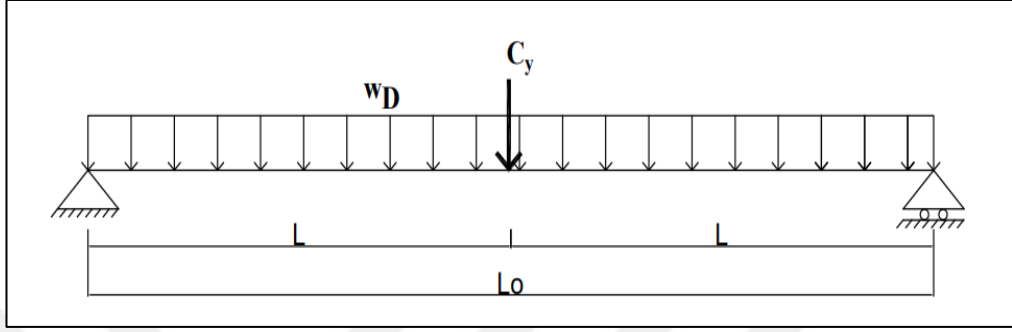
Yayılı yük ve  $C_y$  yükü etkisinde oluşan eğimlerin süperpoze yöntemi toplanarak elde edilen eğim denklemi  $\theta(x)$  aşağıdaki gibi bulunmuştur. Burada yayılı yük etkisiyle x noktasında oluşacak eğimin denklemi  $\theta_1(x)$ ,  $C_y$  yükü etkisiyle x noktasında oluşacak eğimin denklemi ise  $\theta_2(x)$  olarak ifade edilmiştir.

$$\begin{aligned} \theta(x) &= \theta_1(x) + \theta_2(x) \\ \theta(x) &= \frac{3wLx^2}{32EI} - \frac{wx^3}{6EI} - \frac{wL^3}{384EI} \\ &= \frac{3wx^2}{32EIL^2} - \frac{wx^3}{6EIL^3} - \frac{w}{384EI} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Denklemleri sadeleştirmek amacıyla  $\frac{x}{L}$  ifadesi için yeni bir değişken tanımlarsak;

$$\frac{x}{L} = u$$

$$\theta(x) = \frac{3wu^2L^3}{32EI} - \frac{wu^3L^3}{6EI} - \frac{wL^3}{384EI} \text{ eğim denklemi elde edilmiş olur.}$$



Şekil 2.3. Yayılı yük etkisi altında iki açıklıklı sürekli kiriş

### 2.1.3. İki açıklıklı kirişin maksimum sehim değerinin bulunması

Bu bölümde singülarite fonksiyonu kullanılarak çift katlı integral yöntemiyle yayılı yük etkisinde bulunan iki açıklıklı bir kirişteki maksimum sehim miktarı ve yeri bulunmuştur.

Singülarite fonksiyonu yardımıyla elde edilen iki açıklıklı bir kirişe ait moment denklemi;

$$M(x) = \frac{3}{16}wLx - \frac{wx^2}{2} + \frac{10}{16}wL \left\langle x - \frac{L}{2} \right\rangle \quad (2.2)$$

Moment denkleminin 1 kez İntegrali alınarak elde edilen eğim denklemi;

$$\theta(x) = \frac{3wLx^2}{32EI} - \frac{wx^3}{6EI} + \frac{10wL}{32EI} \left\langle x - \frac{L}{2} \right\rangle^2 + c_1 \quad (2.3)$$

Moment denkleminin 2 kez integrali alınarak elde edilen sehim denklemi;

$$y(x) = \frac{3wLx^3}{96EI} - \frac{wx^4}{24EI} + \frac{10wL}{96EI} \left\langle x - \frac{L}{2} \right\rangle^3 + c_1x + c_2 \quad (2.4)$$

Kirişin başlangıç ve bitiş noktasının sabit mesnet olması nedeniyle bu noktadaki sehim değerinin sıfır olacağı düşünülerek çözüme yansıtılmıştır. Bu yaklaşımlar sonucunda bulunan  $c_1$  ve  $c_2$  değerleri moment ve kesme denklemlerinde yerlerine yazılarak sehim denklemi elde edilmiştir.

Kirişin  $x=0$  noktasındaki sehim değerinin sıfır olduğundan hareketle  $c_2$  değeri;



$y(0)=0$  ise  $c_2=0$  olarak bulunur.

Kirişin  $x=L$  noktasındaki sehim değerinin sıfır olduğundan hareketle;

$$y(L)=0 \quad \text{ise} \quad \frac{3wL^4}{96EI} - \frac{wL^4}{24EI} + \frac{10wL^3}{768EI} + c_1L$$

Buradan  $c_1$  değeri;

$$c_1 = -\frac{wL^3}{384EI} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Eğim fonksiyonu;

$$\theta(x) = \frac{3wLx^2}{32EI} - \frac{wx^3}{6EI} + \frac{10wL}{32EI} \left\langle x - \frac{L}{2} \right\rangle^2 - \frac{wL^3}{384EI}$$

$x < \frac{L}{2}$  yani maksimum sehimin olduğu noktada eğim değerinin sıfır olacağından hareketle;

$$\theta(x) = \frac{3wLx^2}{32EI} - \frac{wx^3}{6EI} - \frac{wL^3}{384EI} = 0$$

Eğim denklemini  $L^3$ 'e bölersek;

$$\theta(x) = \frac{3wx^2}{32EIL^2} - \frac{wx^3}{6EIL^3} - \frac{w}{384EI} = 0 \quad \text{denklemini elde etmiş oluruz.}$$

$\frac{x}{L} = u$  değişkenini tanımlayarak;

$$= \frac{3wu^2}{32EI} - \frac{wu^3}{6EI} - \frac{w}{384EI} = 0$$

$$u = 0,211$$

Maksimum sehim noktası;  $x = 0,211L$

Bu noktadaki maksimum sehim miktarı  $y_{\max}$ ;

$$y_{\max} = \frac{3wL(0,211L)^3}{96EI} - \frac{w(0,211L)^4}{24EI} - \frac{wL^3}{384EI}(0,211L) = -\frac{0,13wL^4}{384EI}$$

#### 2.1.4. Kesme açıklığının bulunması

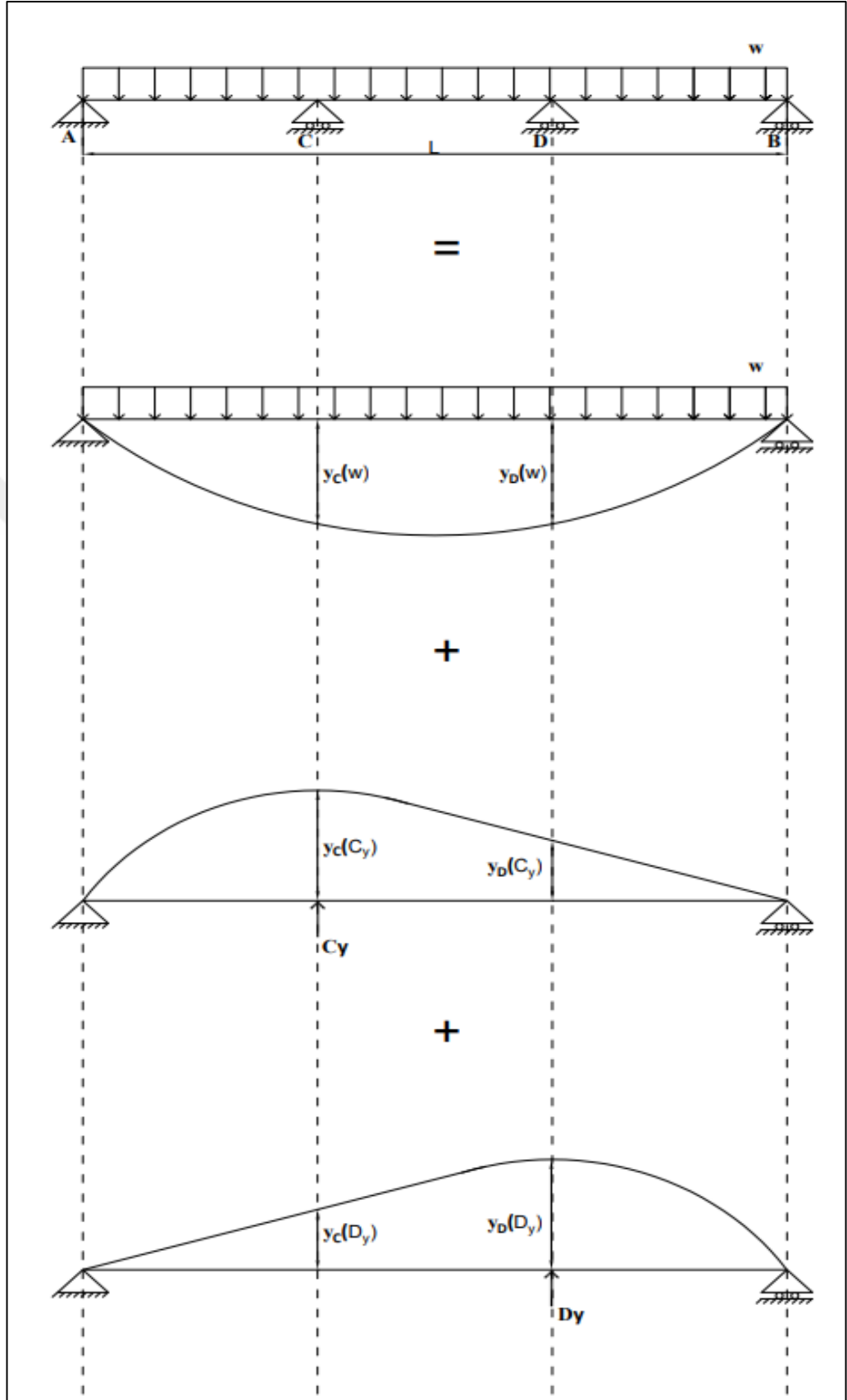
Birçok yönetmelikte kesme dayanımı ampirik bir metot olan m-k metodu ile bulunur. Bu metot kesme kuvveti  $V$  ile kesme dayanımı arasında ilişki kurar [12]. Yapışma-kayması göçmesi dayanımının hesaplanabilmesi için bir göçme yükünün ve bu yükün bölüneceği bir alanın olması gerekliliği karşımıza kesme açıklığının tespiti gerekliliğini çıkarır [4]. Bu gibi basit mesnetli kompozit döşeme sistemlerinde kesme açıklığı Denklem (2.7)'de verildiği gibi hesaplandığı kabul edilir [4]. Döşeme üzerindeki kesme kuvvetinin yükleme ne olursa olsun mesnetteki değeri ile belirli bir açıklıkta sabit kaldığı ve sabit kalan bu uzunluğun kesme açıklığı ( $a$ ) olduğu düşünülür [4]. Uygulama esnasında kiriş üzerine gelebilecek olan tüm yüklerin kombinasyonlarını içeren tasarım yayılı yükünü  $w_D$  olarak kabul edersek kesme açıklığı denklemi;

$$a = \frac{w_D \left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{L_0}{2} \right)^2 + \left( \frac{C_y}{2} \right) \left( \frac{L_0}{2} \right)}{w_D \left( \frac{L_0}{2} \right) + \left( \frac{C_y}{2} \right)} \quad (2.7)$$
$$= \frac{w_D \left( \frac{L_0^2}{8} \right) + \left( \frac{C_y L_0}{4} \right)}{w_D \left( \frac{L_0}{2} \right) + \left( \frac{C_y}{2} \right)} \text{ olarak elde edilir.}$$

#### 2.2. Üç Açıklıklı Kiriş İçin Grafik ve Formüllerin Çıkarılması

Şekil 2.4'te yayılı yük etkisindeki 3 açıklıklı bir kirişin yalnızca yayılı yük, yalnızca C noktasında mesnet tepkisi ve de yalnızca D noktasındaki mesnet tepkisi etkisi altındaki deformasyon grafikleri gösterilmiştir.

Bu bölümde iki, üç ve dört açıklıklı kirişlere ait sehim denklem ve grafiklerinin elde edilmesine yönelik hesaplamalar yer almıştır. Bahsedilen hesaplamalarda Singülarite (tekillik) fonksiyonları yöntemi, matematiksel bir yöntem olmakla birlikte moment, eğim ve sehim hesabında kullanılmak istenildiği durumlarda, bu yöntem düşey yüklü yayılı yük olan  $w(x)$ , eğim  $\theta(x)$ , kesme kuvveti  $V(x)$  ve eğilme momenti  $M(x)$  arasındaki matematiksel ilişkilere ve modellere bağlı olarak yani  $\partial V(x)/\partial x = -w(x)$  ve  $\partial M(x)/\partial x = V(x)$  ilişkisinden faydalanılarak sistemin (kirişin) kesme kuvvetinin ve eğilme momentinin etkisinde açıklığın sürekliliğine bağlı olmakla birlikte çift (iki) katlı integral yöntemiyle istenilen noktadaki meydana gelen sehim miktarının hesaplanmasında kullanılmıştır.



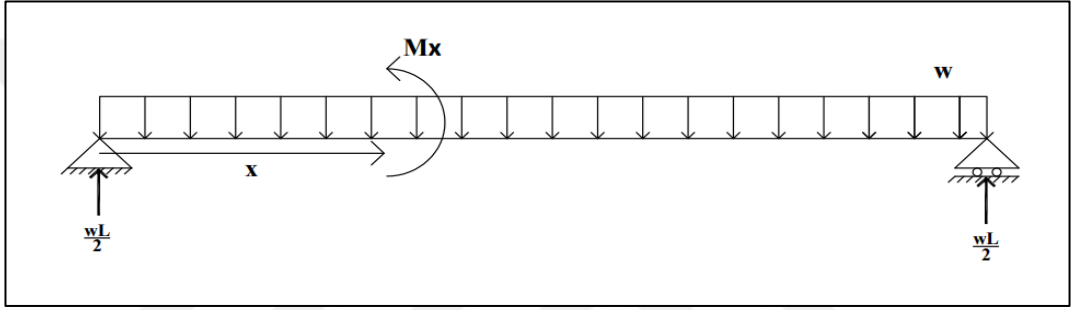
Şekil 2.4. Üç açıklıklı kirişte yaylı yük etkisinde oluşan sehım grafiği

### 2.2.1. Yayılı yük etkisinde C ve D noktalarındaki sehimin bulunması

C ve D noktalarındaki kayıcı mesnetler dolayısıyla bu noktalardaki sehimin sıfır olacağı öngörüsüyle elde edilen (2.8) ve (2.9) uygunluk denklemleri ile bu noktalardaki mesnet tepkileri bulunabilmektedir. Şekil 2.5'te gösterildiği gibi yalnızca yayılı yük etkisinde bu noktalarda oluşabilecek sehim değerleri Denklem (2.13) ile hesaplanmıştır.

$$y_C = y_C(w) + y_C(C_y) + y_C(D_y) = 0 \quad (2.8)$$

$$y_D = y_D(w) + y_D(C_y) + y_D(D_y) = 0 \quad (2.9)$$



Şekil 2.5. Yayılı yük etkisinde x mesafesinde oluşan moment ve mesnet tepkileri

Moment denklemi;

$$M(x) = \frac{wL}{2}x - \frac{wx^2}{2} \quad (2.10)$$

Moment denkleminin 1 kez integrali alınarak elde edilen eğim denklemi;

$$\theta(x) = \frac{wL}{4EI}x^2 - \frac{wx^3}{6EI} + c_1 \quad (2.11)$$

Moment denkleminin 2 kez integrali alınarak elde edilen sehim denklemi;

$$y(x) = \frac{wLx^3}{12EI} - \frac{wx^4}{24EI} + c_1x + c_2 \quad (2.12)$$

Kirişin ilk ve son noktalarındaki mesnetler sebebiyle bu noktalardaki sehim değerinin sıfır olacağı düşünülerek elde edilen uygunluk denklemleri aşağıdaki gibidir.

Kirişin  $x=0$  noktasındaki sehim değerinin sıfır olduğundan hareketle  $c_2$  değeri;

$y(0) = 0$  ise  $c_2 = 0$  olarak bulunur.

Kirişin  $x=L$  noktasındaki sehim değerinin sıfır olduğundan hareketle;

$$y(L) = 0 \quad \text{ise} \quad \frac{wL^4}{12EI} - \frac{wL^4}{24EI} + c_1L = 0$$

Buradan  $c_1$  değeri;

$$c_1 = -\frac{wL^3}{24EI} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Sehim Denklemi;

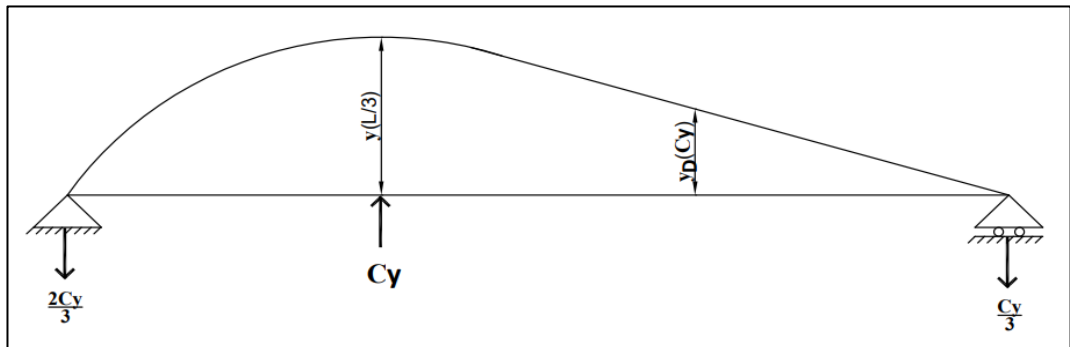
$$y(x) = \frac{wLx^3}{12EI} - \frac{wx^4}{24EI} + \frac{wL^3}{24EI}x \quad (2.13)$$

Yayıllı yük etkisi altında C noktasındaki sehim değeri;

$$\begin{aligned} y\left(\frac{L}{3}\right) &= \frac{wL^4}{324EI} - \frac{wL^4}{1944EI} + \frac{wL^4}{72EI} \\ &= -\frac{11wL^4}{972EI} \end{aligned}$$

Yayıllı yük etkisi altında D noktasındaki sehim değeri;

$$\begin{aligned} y\left(\frac{2L}{3}\right) &= \frac{8wL^4}{324EI} - \frac{16wL^4}{1944EI} + \frac{2wL^4}{72EI} \\ &= -\frac{11wL^4}{972EI} \end{aligned}$$



Şekil 2.6. Üç açıklıklı bir kirişte sadece  $C_y$  mesnet tepkisi etkisinde oluşan sehim

Aşağıda Singülarite fonksiyonu kullanılarak çifte integral yöntemiyle yalnızca C noktasındaki mesnet tepkisi etkisi altında yine bu noktada oluşan sehim denklemi elde edilmiştir.

Moment fonksiyonu;

$$M(x) = -\frac{2Cy}{3}x + Cy \left\langle x - \frac{L}{3} \right\rangle \quad (2.14)$$

Moment denkleminin 1 kez integrali alınarak elde edilen eğim denklemini;

$$\theta(x) = -\frac{Cy x^2}{3EI} + \frac{Cy}{2EI} \left\langle x - \frac{L}{3} \right\rangle^2 + c_1 \quad (2.15)$$

Moment denkleminin 2 kez integrali alınarak elde edilen sehim denklemini;

$$y(x) = -\frac{Cy x^3}{9EI} + \frac{Cy}{6EI} \left\langle x - \frac{L}{3} \right\rangle^3 + c_1 x + c_2 \quad (2.16)$$

Kirişin ilk ve son noktasındaki sehim değerlerinin sıfır olması öngörüsüyle elde edilen uygunluk denklemleri aşağıdaki gibidir.

Kirişin  $x=0$  noktasındaki sehim değerinin sıfır olduğundan hareketle  $c_2$  değeri;

$$y(0) = 0 \quad \text{ise} \quad c_2 = 0 \quad \text{olarak bulunur.}$$

Kirişin  $x=L$  noktasındaki sehim değerinin sıfır olduğundan hareketle;

$$y(L) = 0 \quad \text{ise} \quad -\frac{CyL^3}{9EI} + \frac{8CyL^3}{162EI} + c_1 L = 0$$

Buradan  $c_1$  değeri;

$$c_1 = \frac{5CyL^2}{81EI} \quad \text{olarak bulunur.}$$

### 2.2.2. C ve D noktalarındaki toplam sehimin bulunması

Singülarite fonksiyonu kullanılarak çifte integral yöntemiyle elde edilen yalnızca C noktasındaki mesnet tepkisi etkisinde bulunan sehim denklemini;

$$y(x) = -\frac{Cy x^3}{9EI} + \frac{Cy}{6EI} \left\langle x - \frac{L}{3} \right\rangle^3 + \frac{5CyL^2}{81EI} x \quad (2.17)$$

C noktasındaki sehim değeri;

$$y\left(\frac{L}{3}\right) = -\frac{CyL^3}{243EI} + \frac{5CyL^3}{243EI} = \frac{4CyL^3}{243EI}$$

D noktasındaki sehim değeri;

$$y\left(\frac{2L}{3}\right) = -\frac{8CyL^3}{243EI} + \frac{CyL^3}{162EI} + \frac{10CyL^3}{243EI} = \frac{7CyL^3}{486EI}$$

### 2.2.3. C ve D noktalarındaki mesnet tepkilerinin bulunması

Yayıllı yük ile C ve D noktalarındaki mesnet tepkileri sebebiyle C noktasında oluşacak olan sehim değerinin sıfır olduğu (2.18) uygunluk denklemi kullanılarak C ve D noktalarındaki mesnet tepkileri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$y_C = y_C(w) + y_C(C_y) + y_C(D_y) = 0 \quad (2.18)$$

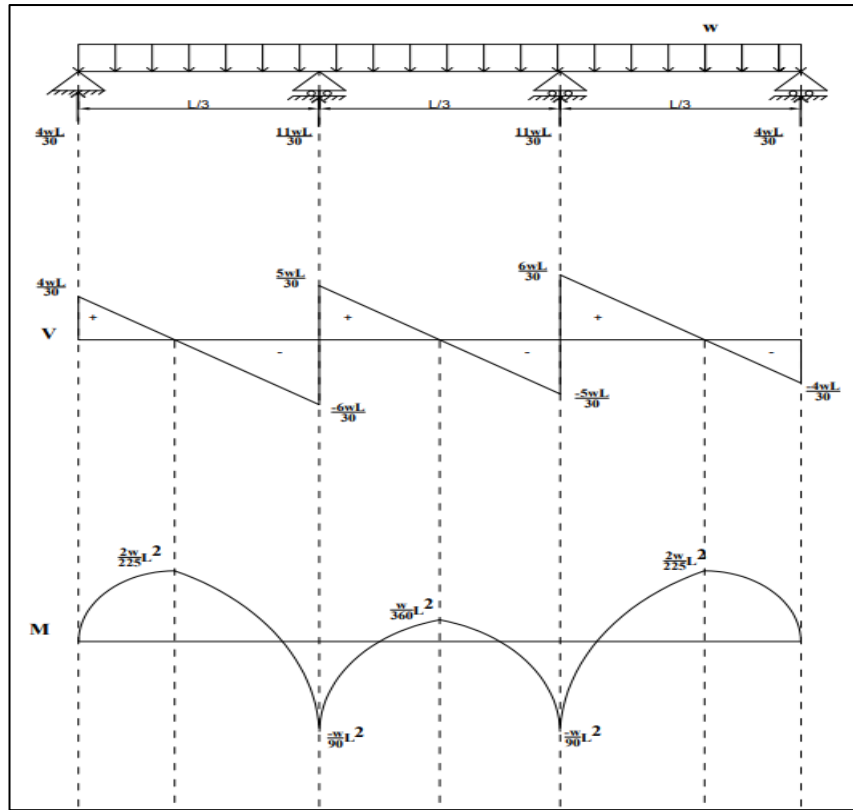
$$= -\frac{11wL^4}{972EI} + \frac{4CyL^3}{243EI} + \frac{7DyL^3}{486EI} = 0$$

$$= 16Cy + 14Dy = 11wL$$

$$= 14Cy + 16Dy = 11wL$$

Buradan hareketle  $C_y$  ve  $D_y$  değerleri;

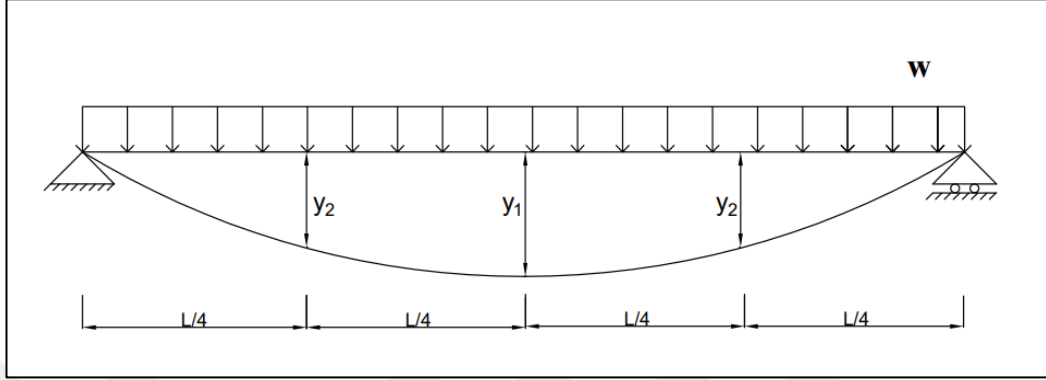
$$C_y = D_y = 0,367wL = \frac{11wL}{30} \text{ olarak bulunmuştur.}$$



Şekil 2.7. Üç açıklıklı bir kirişte kesme ve moment diyagramları

## 2.3. Dört Açıklıklı Kiriş İçin Deformasyon Grafik ve Formüllerinin Elde Edilmesi

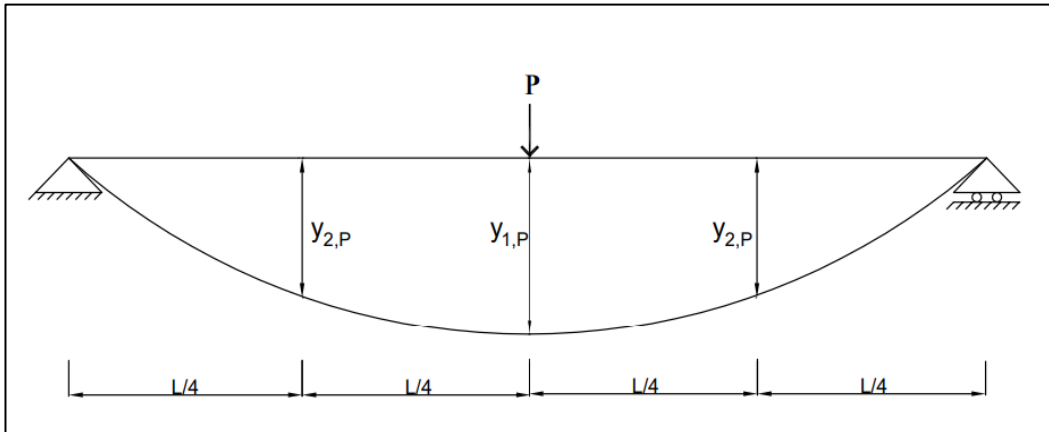
### 2.3.1. Yayılı yük etkisi altında oluşan sehimler



Şekil 2.8. Dört açıklıklı bir kirişte yayılı yük etkisi altında mesnet noktalarında oluşan sehimler

$$y_{1,w} = \frac{5wL^4}{384EI} \quad y_{2,w} = \frac{19wL^4}{2048EI} \quad [8] \quad (2.19)$$

### 2.3.2. P yükü etkisi altında oluşan sehimler

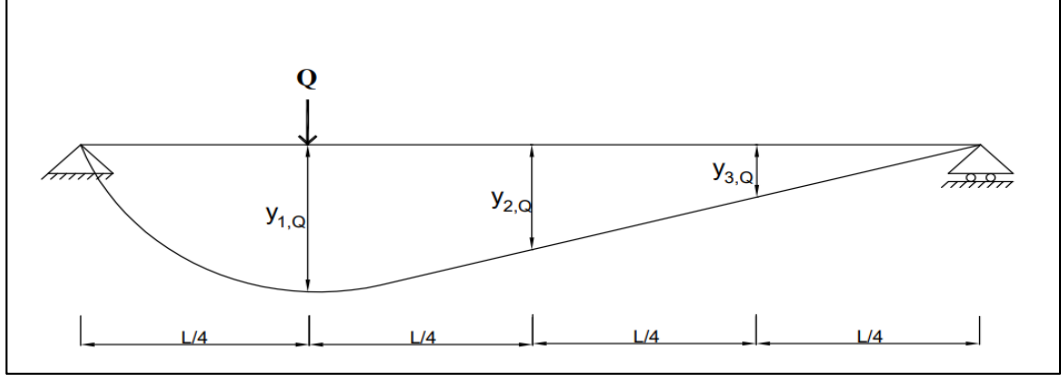


Şekil 2.9. Dört açıklıklı bir kirişte P yükü etkisi altında mesnet noktalarında oluşan sehimler

$$y_{1,P} = \frac{PL^3}{48EI} \quad y_{2,P} = \frac{11PL^3}{768EI} \quad [8] \quad (2.20)$$



### 2.3.3. Q yükü etkisi altında oluşan sehimler

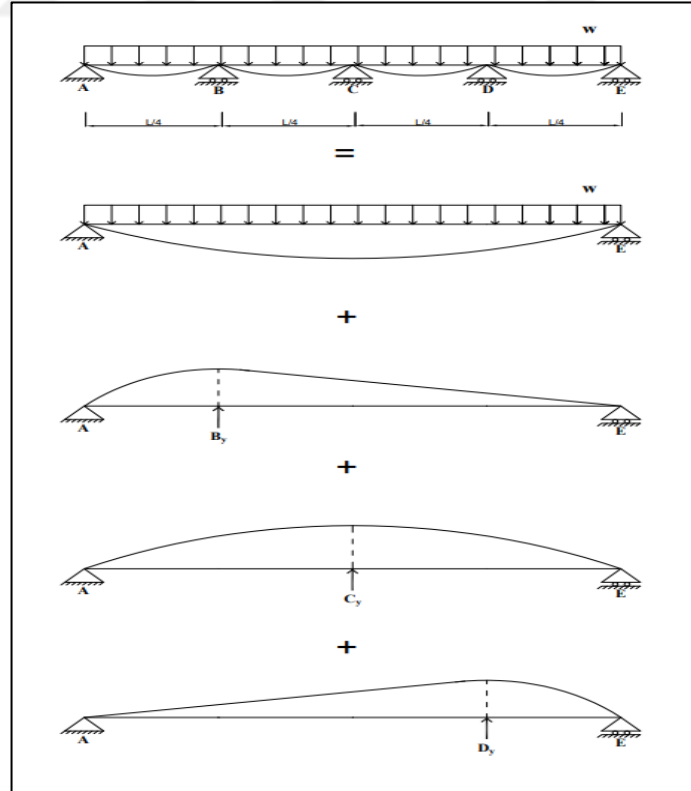


Şekil 2.10. Dört açıklıklı bir kirişte Q yükü etkisi altında mesnet noktalarında oluşan sehimler

$$y_{1,Q} = \frac{9PL^3}{768EI} \quad y_{2,Q} = \frac{11PL^3}{768EI} \quad y_{3,Q} = \frac{7PL^3}{768EI} \quad [8] \quad (2.21)$$

### 2.3.4. Kiriş deformasyonun süperpoze yöntemi ile gösterilmesi

Kiriş üzerine etkiyen yayılı yük ve mesnet tepkileri sebebiyle oluşacak olan deformasyonlar süperpoze yöntemi ile şekil 2.11’de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Dört açıklık bir kirişte oluşan sehimlerin yöntemi ile gösterilmesi

Mesnet noktaları olan B, C ve D noktalarındaki sehim değerinin sıfır olduğu öngörülerek elde edilen uygunluk denklemleri ve bu denklemler sonucunda bulunan bu noktalara ait mesnet tepkileri aşağıda verilmiştir.

B noktasında oluşan sehim değerinin sıfır olduğundan hareketle elde edilen uygunluk denklemi;

$$y_B = -\frac{57wL^4}{6144EI} + \frac{72B_yL^3}{6144EI} + \frac{88C_yL^3}{6144EI} + \frac{56D_yL^3}{6144EI} = 0 \quad (2.22)$$

C noktasında oluşan sehim değerinin sıfır olduğundan hareketle elde edilen uygunluk denklemi;

$$y_C = -\frac{80wL^4}{6144EI} + \frac{88B_yL^3}{6144EI} + \frac{128C_yL^3}{6144EI} + \frac{88D_yL^3}{6144EI} = 0 \quad (2.23)$$

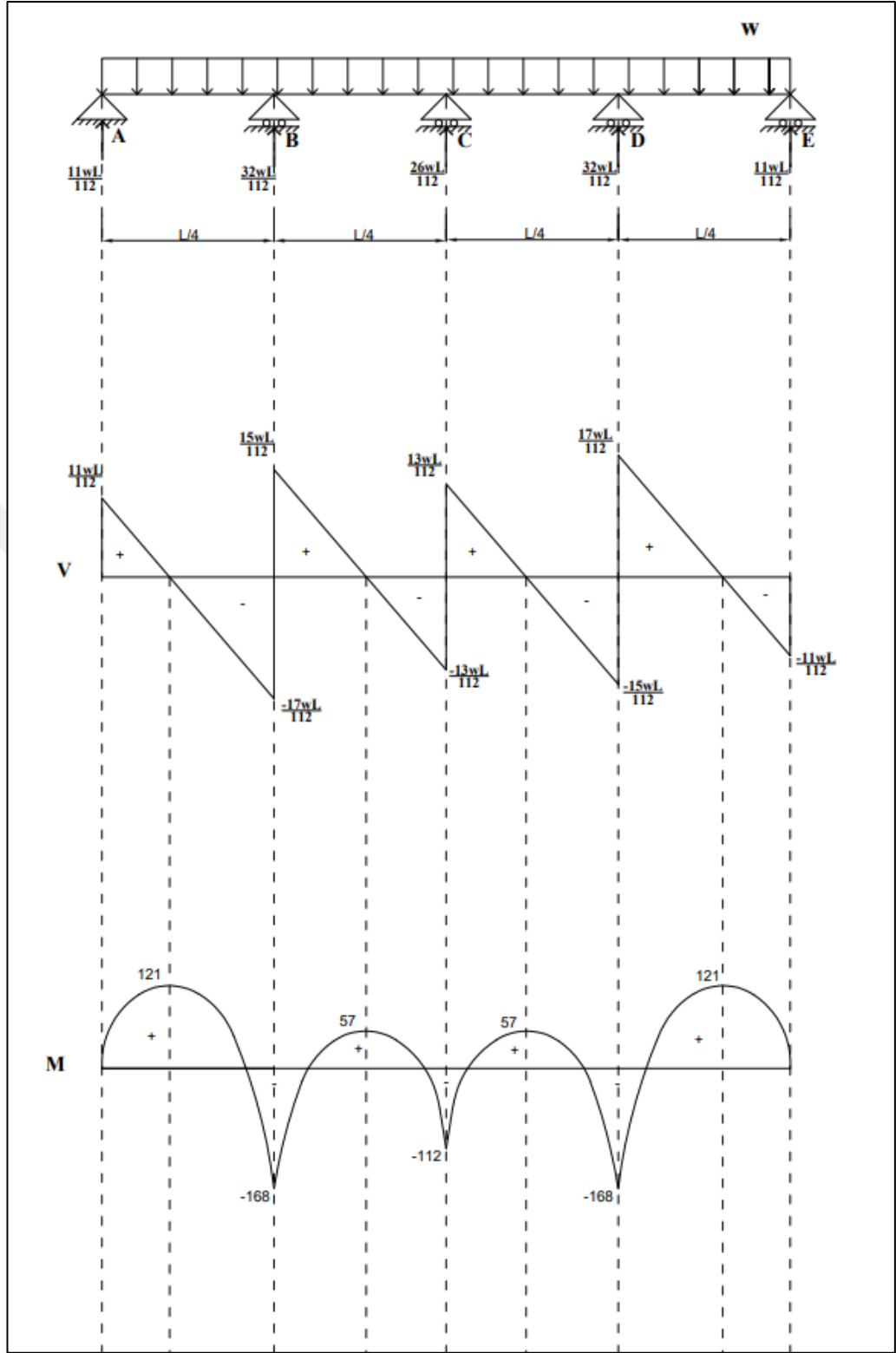
D noktasında oluşan sehim değerinin sıfır olduğundan hareketle elde edilen uygunluk denklemi;

$$y_D = -\frac{57wL^4}{6144EI} + \frac{56B_yL^3}{6144EI} + \frac{88C_yL^3}{6144EI} + \frac{72D_yL^3}{6144EI} = 0 \quad (2.24)$$

Mesnet Tepkileri;

$$B_y = D_y = \frac{32}{112} wL \quad C_y = \frac{26}{112} wL \quad A_y = E_y = \frac{11}{112} wL \text{ olarak bulunur.}$$

Yukarıda bulunan dört açıklıklı kirişe ait mesnet tepkilerinin de dahil olduğu kesme ve moment diyagramları Şekil 2.12’de verilmiştir. Bu bölümde iki, üç ve dört açıklıklı kirişlere ait sehim denklem ve grafiklerinin elde edilmesine yönelik hesaplamalar yer almıştır. Bahsedilen hesaplamalarda Singülarite (tekillik) fonksiyonları yöntemi, matematiksel bir yöntem olmakla birlikte moment, eğim ve sehim hesabında kullanılmak istenildiği durumlarda, bu yöntem düşey yüklü yayılı yük olan  $w(x)$ , eğim  $\theta(x)$ , kesme kuvveti  $V(x)$  ve eğilme momenti  $M(x)$  arasındaki matematiksel ilişkilere ve modellere bağlı olarak yani  $\partial V(x)/\partial x = -w(x)$  ve  $\partial M(x)/\partial x = V(x)$  ilişkisinden faydalanılarak sistemin (kirişin) kesme kuvvetinin ve eğilme momentinin etkisinde açıklığın sürekliliğine bağlı olmakla birlikte çift (iki) katlı integral yöntemiyle istenilen noktadaki meydana gelen sehim miktarının hesaplanmasında kullanılmıştır.

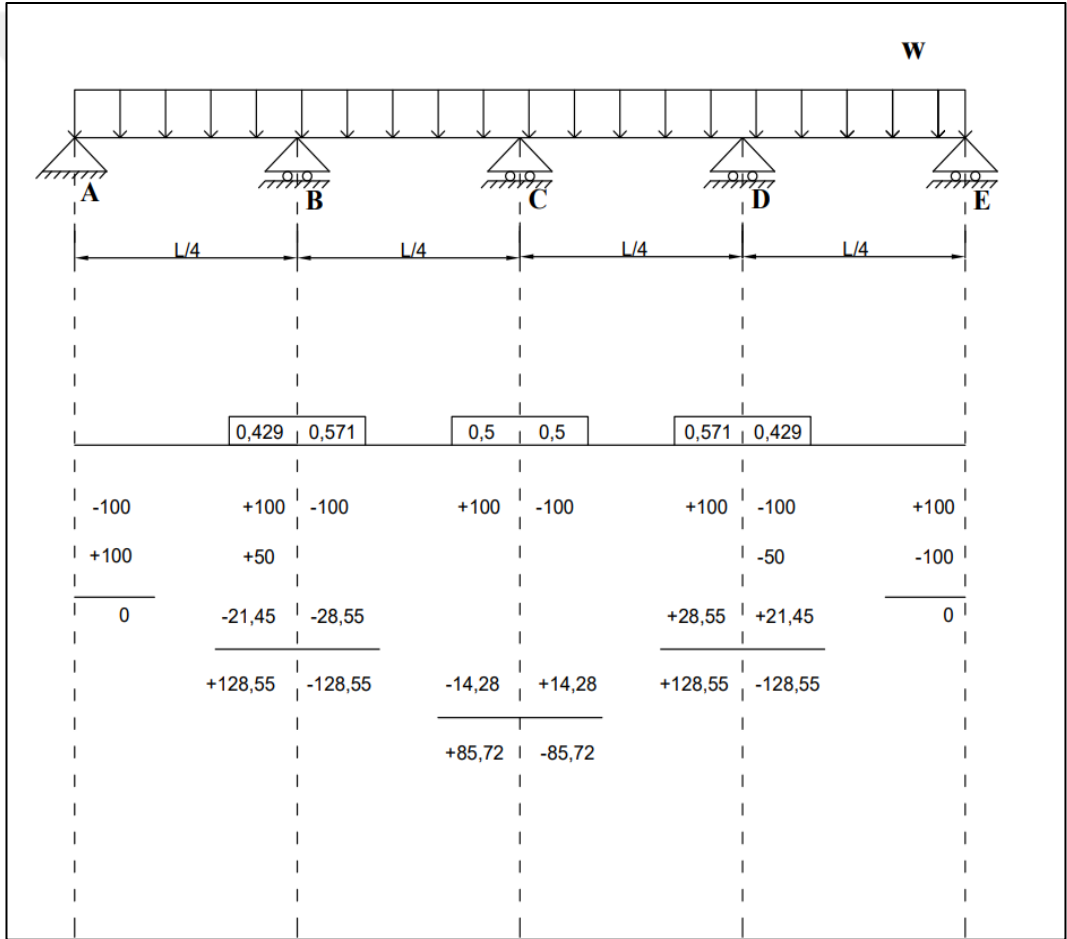


Şekil 2.12. Dört açıklıklı bir kirişte oluşan kesme ve moment diyagramları

Not: Moment Diyagramındaki değerler =  $25 \times 10^3$  ile bölünecek ve  $wL^2$  ile çarpılacaktır.

### 2.3.5. Cross yöntemi ile moment kapasitelerinin bulunması

Cross yöntemi, 1932 yılında Prof. Hardy Cross tarafından geliştirilmiştir. Statikçe belirsiz yani hiperstatik kiriş ve çerçeve yapılarının statik çözümlenmesinde kullanılan iteratif bir yöntemdir. Moment dağıtma metodu olarak da adlandırabileceğimiz bu yöntem, kiriş üzerindeki mesnet noktalarında moment değerlerinin bu noktalara bağlanan elemanların rijitlikleri oranında dağıtılmasını ve geçiş katsayısıyla komşu uçlara taşınarak moment değerlerinin hesaplanmasını içermektedir. Burada ankastrelik momenti değeri 100 olarak dağıtma işlemi yapılmıştır [16].

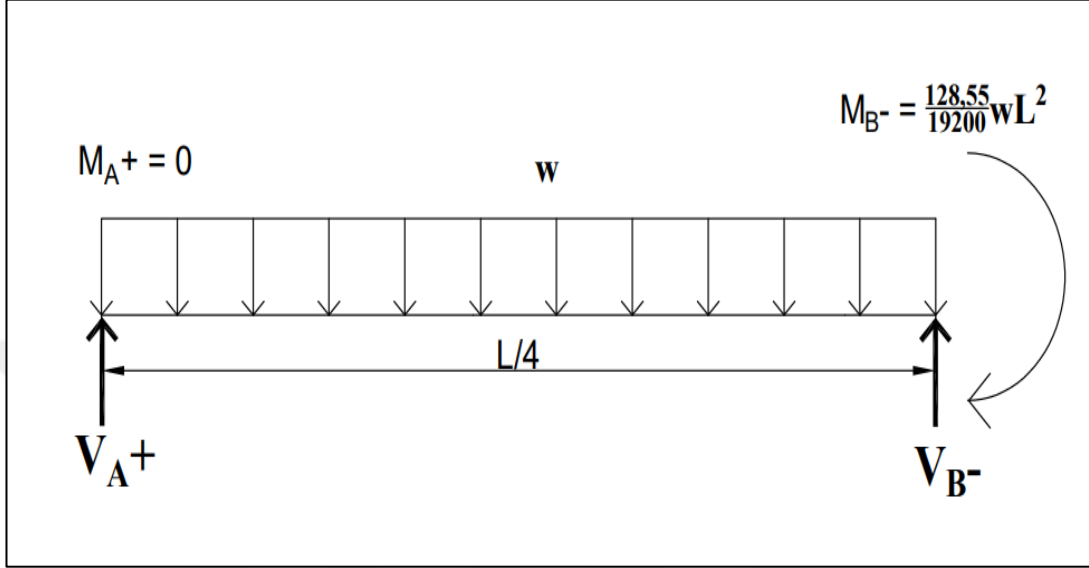


Şekil 2.13. Mesnet noktalarında oluşan momentlerin cross metodu (moment dağıtma yöntemi) kullanılarak bulunması

Şekil 2.13'te mesnet noktalarında oluşan momentlerin alternatif bir yol olan Cross yöntemiyle sağlanması yapılmıştır.

### 2.3.6. Moment ve kesme kapasitelerinin bulunması

B ve C noktalarında oluşan kesme ve moment değerleri kesme yöntemiyle aşağıdaki şekilde bulunmuştur.



Şekil 2.14. Yayıllı yük etkisi altındaki dört açıklıklı bir kirişte A ve B noktalarında oluşan momentler

Kirişin başlangıç noktasında sabit mesnet olması sebebiyle moment değerinin sıfır olması öngörüsüyle elde edilen uygunluk denklemi;

$$M_A = 0 \text{ şeklindedir.} \quad (2.25)$$

Buradan hareketle A noktasındaki toplam moment değeri aşağıdaki gibi sıfıra eşitlenerek V<sub>A</sub> değeri bulunur. Burada üst indis şeklinde verilen + ve - ifadeleri mesnet noktasının sırasıyla sağ ve sol tarafını ifade etmektedir.

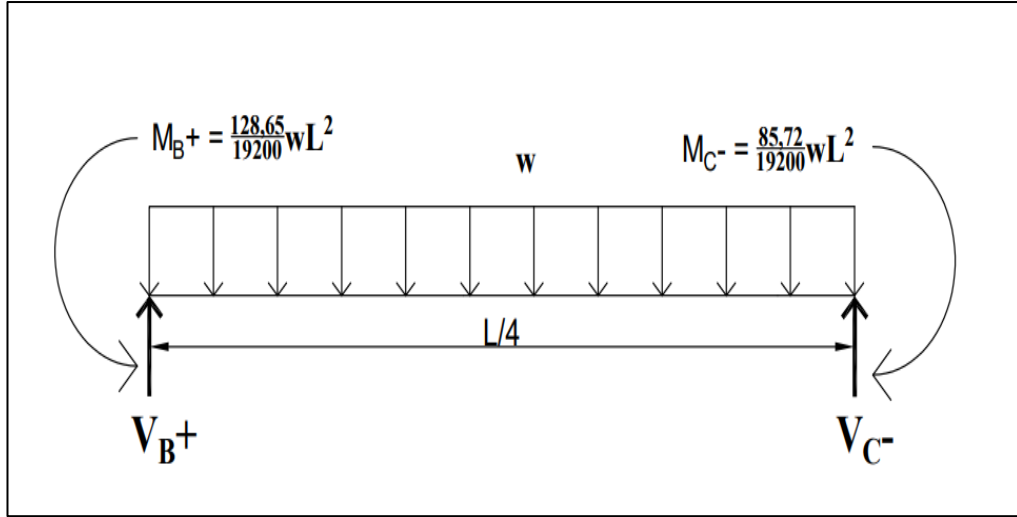
$$V_B^- \left(\frac{L}{4}\right) - \frac{wL^2}{32} - \frac{128,55wL^2}{19,2 \times 10^3} = 0,0380 wL^2$$

$$V_B^- = 0,152 wL$$

$$V_A^+ + V_B^- = w \cdot \frac{L}{4} \quad (2.26)$$

Buradan;

$$V_A^+ = 0,098 wL \text{ olarak bulunur.}$$



Şekil 2.15. Yayıllı yük etkisi altındaki dört açıklıklı bir kirişte B ve C noktalarında oluşan momentler

B noktasındaki toplam moment değeri aşağıdaki gibi sıfıra eşitlenerek  $V_C^-$  değeri bulunur.

$$\frac{128,55wL^2}{19,2 \times 10^3} - \frac{85,72wL^2}{19,2 \times 10^3} + V_C^- \left(\frac{L}{4}\right) - \frac{wL^2}{32} = 0 \quad (2.27)$$

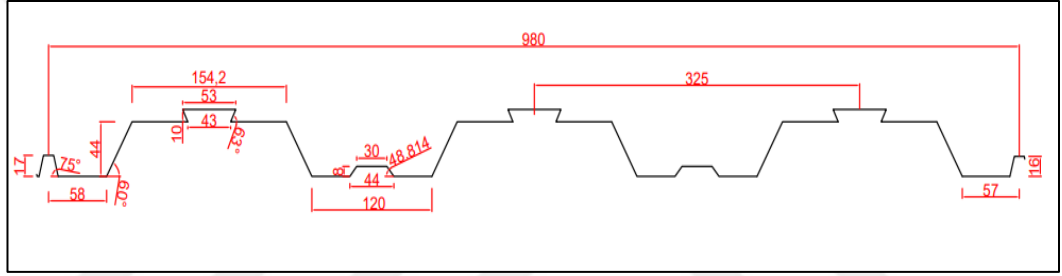
$V_C^- = -\frac{13wL}{112}$  olarak bulunur.

Bu bölümde, sonraki bölümlerde kullanılacak olan iki, üç ve dört açıklıklı kirişlere ait kesme ve moment diyagramları ile birlikte bunlara ait denklemler elde edilmiştir. Elde edilen bu denklemler ve grafikler, sonraki bölümlerde yapılacak olan hesaplamalarda kullanılacaktır.

Bu bölümde iki, üç ve dört açıklıklı kirişlere ait sehim denklem ve grafiklerinin elde edilmesine yönelik hesaplamalar yer almıştır. Bahsedilen hesaplamalarda Singülarite (tekillik) fonksiyonları yöntemi, matematiksel bir yöntem olmakla birlikte moment, eğim ve sehim hesabında kullanılmak istenildiği durumlarda, bu yöntem düşey yüklü yayıllı yük olan  $w(x)$ , eğim  $\theta(x)$ , kesme kuvveti  $V(x)$  ve eğilme momenti  $M(x)$  arasındaki matematiksel ilişkilere ve modellere bağlı olarak yani  $\partial V(x)/\partial x = -w(x)$  ve  $\partial M(x)/\partial x = V(x)$  ilişkisinden faydalanılarak sistemin (kirişin) kesme kuvvetinin ve eğilme momentinin etkisinde açıklığın sürekliliğine bağlı olmakla birlikte çift (iki) katlı integral yöntemiyle istenilen noktadaki meydana gelen sehim miktarının hesaplanmasında kullanılmıştır.

### 3. KOMPOZİT DÖŞEME SACININ ATALET MOMENTİ HESABI

Bu çalışmada kompozit döşeme sacı imalatı yapan ALMETSAN firmasının üretim kataloğunda yer alan Aldeck (50/980) trapez sacı tercih edilmiştir. Bunun en önemli sebeplerinden biri bu çalışmanın kullanım sıklığı bakımından yaygın olarak tercih edilen bir trapez sac tipini ele alarak yapılan tüm hesaplamalar ve elde edilen tabloların daha geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşmasını hedeflemektir. Bu bölümde trapez sac kesit özelliklerine bağlı olarak değişen ve kompozit döşemenin taşıma gücünü doğrudan etkileyen atalet momenti hesabı ele alınacaktır.



Şekil 3.1. ALDECK 50/980 kompozit döşeme sacı [5]

#### 3.1. Malzeme Özellikleri

Akma Dayanımı ( $Y_s$ ) = 240 N/mm<sup>2</sup>

Nihai Çekme Dayanımı ( $U_s$ ) = 320 N/mm<sup>2</sup>

Elastisite Modülü (E) = 205000 N/mm<sup>2</sup>

Çelik Dayanımı:

$$0,84 \times U_s = 0,84 \times 320 = 268,8 > Y_s = 240 \text{ olduğundan [4];} \quad (3.1)$$

$$P_y = 240 \text{ N/mm}^2$$

Kesit Ölçüleri:

Eğrilik Yarıçapı (r) = 3 mm

Net Kalınlık (t) = 0,7 mm

Gövdenin Yatay Eksene Göre Açısı = 60°

Basınç Başlığının Yüksekliği ( $D_p$ ) = 44 mm

Basınç Başlığının Toplam Uzunluğu ( $B_s$ ) = 154,2 mm

Basınç Rijitleştiricisinin Uzunluğu = 53 mm

Basınç Rijitleştiricisinin Yüksekliği = 10 mm

Basınç Rijitleştiricisinin Açısı =  $63,43^\circ$

Brüt Çekme Başlığı Uzunluğu = 120 mm

Çekme Rijitleştiricisinin Yüksekliği = 8 mm

Çekme Rijitleştiricisinin Açısı =  $48,814^\circ$

Sol Ek Parçanın Yüksekliği = 17 mm

Sol Ek Parçanın Açısı =  $75^\circ$

Sağ Ek Parçanın Yüksekliği = 16 mm

Sağ Ek Parçanın Açısı =  $75^\circ$

Sağ Parçanın Yatay Uzunluğu = 57 mm

Sol Parçanın Yatay Uzunluğu = 58 mm

Çekme Rijitleştiricilerinin Uzunluğu = 30 mm

Ek Parçaların Yüksekliği = 10 mm

Bu bölümde yönetmelik gereğince dikkate alınması gereken aşağıdaki durumlar incelenecektir:

Köşe Ve Kıvrımlar İçin Verilen İzin Durumları

Dayanım Hesaplamaları İçin Etkin Genişliğin Bulunması

Çoklu Rijitleştirilmiş Basınç Elemanının Etkin Kesit Alanı

Rijitleştiricinin Burkulma Boyu

Rijitleştirilmiş Elemanın Genişliği

Rijitleştiricinin Genişliği

Başlık Rijitleştiricisi Sınırlandırma Katsayısı

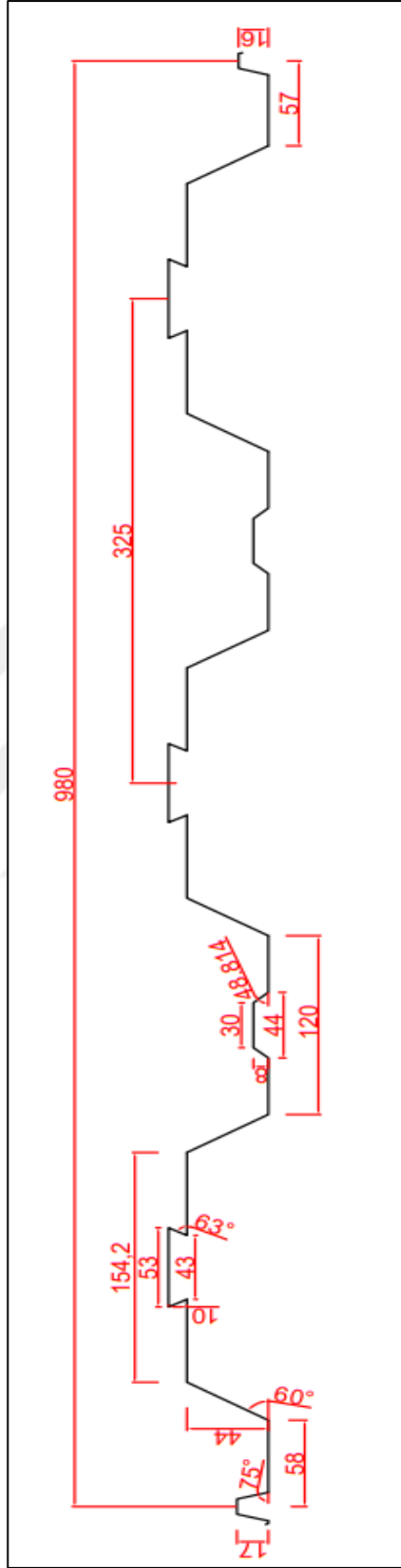
Başlık Rijitleştiricisinin Burkulma Dayanımı

Tek Bir Rijitleştirilmiş Parçanın Brüt Alanı

Başlık Rijitleştiricisinin Etkin Alanı

Atalet Momentinin Hesaplanması





Şekil 3.2. ALDECK 50/980 kompozit döşeme sacı kesit özellikleri [5]

### 3.2. BS5950-6: Köşe Ve Kıvrımlar İçin Verilen İzin Durumları [3]

$r < 5t$  olduğu durumlarda yuvarlak köşeler yerine eğik ve yatay elemanın tek bir kesişim noktası olduğu varsayılır [4].

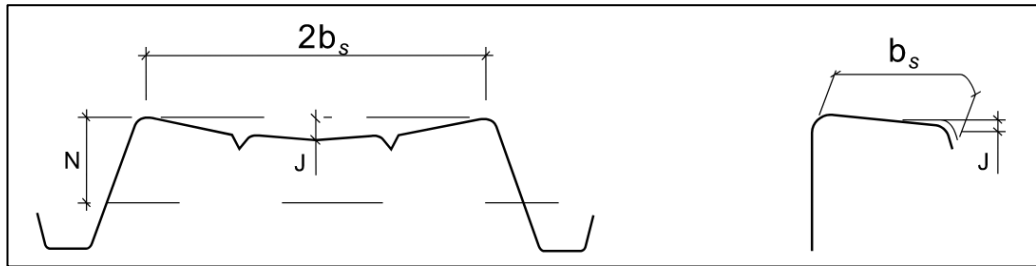
$$r = 3 \text{ mm}$$

$$5t = 5 \times 0,7 = 3,5 \text{ mm} \quad (3.2)$$

$3 \text{ mm} < 3,5 \text{ mm}$  olduğundan tüm yuvarlak köşeler yerine tek bir kesişim noktası olduğu kabul edilmiştir.

#### 3.2.1. BS 5950-6: 3.4.6. Başlık eğriliği [3]

Genişliğin kalınlığa oranı ( $B_s/t$ ) değeri yüksek olan başlıklı profiller, Şekil 3.3'de gösterilen başlık eğriliği olarak bilinen enine kesitsel bozulma tipini gösterme eğilimindedir [3].  $B_s$ 'nin  $250 \varepsilon$  'den büyük olmaması koşuluyla, her bir başlığın tarafsız eksene doğru içe doğru hareketin  $0,05D_p$ 'den daha az olduğu varsayılabilir, burada  $D_p$  profilin toplam derinliğidir ve oluşumu yapıda kullanıldığında ihmal edilebilir [3]. Burada başlık genişliği yani  $B_s$ 'nin yarısı  $b_s$  şeklinde ifade edilerek başlık eğriliği Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Başlık eğriliği [3]

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{280}{P_y}} = \sqrt{\frac{280}{240}} = 1,08 \quad (3.3)$$

$$250 \times \varepsilon = 250 \times 1,08 = 270 \quad (3.4)$$

Basınç başlığının toplam uzunluğunun kalınlığına oranı;

$$\frac{B_s}{t} = \frac{154,2}{0,7} = 220 \quad (3.5)$$

$$220 < 270$$

Denklem 3.5 ile elde edilen oran değerinin Denklem 3.3'den küçük olması koşulu

sağlanmıştır.

Buradan her bir başlığın tarafsız eksene doğru yaptığı hareketi J olarak isimlendirirsek;

$$J \leq 0,05 \times 44 = 2,2 \text{ mm olduğundan ihmal edilecektir [4].} \quad (3.6)$$

$\frac{Bs}{t} < 250 \varepsilon$  olması şartıyla, her bir başlığın tarafsız eksene doğru yaptığı hareketin  $0,05D_p$ 'den az olduğu sonucuna dayanarak Denklem 3.6 ile hesaplanan bu değer ihmal edilebilir [3].

### **3.3. BS 5950-6: 4.3. Dayanım Hesaplamaları İçin Etkin Genişliğin Bulunması [3]**

Etkin genişlik; levha veya döşemenin mevcut genişliği içindeki düzgün olmayan gerilme dağılımını, aynı etkiyi meydana getirecek düzgün gerilme dağılımına dönüştürmek amacıyla belirlenen azaltılmış genişliktir [13].

Gövdenin eğik uzunluğu [4];

$$D_w = \frac{D_p}{\sin 60^\circ} = \frac{44}{\sin 60^\circ} = 50,8 \text{ mm} \quad (3.7)$$

Başlıkların yatay kısımlarının genişliği [4];

$$b = \frac{154,2 - 43}{2} = 55,6 \text{ mm} \quad (3.8)$$

Gövdenin eğik uzunluğunun başlıkların yatay kısımlarına oranı;

$$h = \frac{D_w}{b} = \frac{50,8}{55,6} = 0,914 \quad (3.9)$$

#### **3.3.1. BS 5950-6: 4.3.3. Rijitleştirilmiş bir başlığın düz kısımlarının etkin genişliği [3]**

Yerel burkulma; enkesitin basınç etkisindeki elemanlarının (örneğin başlık veya gövde elemanı) burkulması ile ortaya çıkan sınır durumdur [13].

Yerel burkulma katsayısı K [4];

$$K = 7 - \frac{1,8 \times h}{0,15+h} - 0,091 \times h^3 = 7 - \frac{1,8 \times 0,91}{0,15+0,91} - 0,091 \times 0,914^3 \quad (3.10)$$

$$K = 5,38$$

### 3.3.2. BS 5950-6: 4.3.1. Etkin genişlik [3]

Basınç elemanının etkin genişliğini bulmak için etkin genişlik katsayısı hesaplanır ve genişlik ile çarpılır. Bu katsayayı bulmak için dikkat edilmesi gereken değer basınç gerilmesinin tasarım dayanımına oranıdır. Buradan hareketle tasarım dayanımı [4];

$$P_{cr} = 0,904 \times E \times K \times \left(\frac{t}{b}\right)^2 = 0,904 \times 205 \times 10^3 \times 5,38 \times \left(\frac{0,7}{55,6}\right)^2 \quad (3.11)$$

$$P_{cr} = 158,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{a) } \frac{f_c}{P_{cr}} < 0,123 \text{ ise } \frac{b_{eff}}{b} = 1 \quad (3.12)$$

$$\frac{f_c}{P_{cr}} = \frac{240}{158,2} = 1,52 > 0,123$$

$$\text{b) } \frac{f_c}{P_{cr}} > 0,123 \text{ ise } \frac{b_{eff}}{b} = [1 + 14(\sqrt{\frac{f_c}{P_{cr}}} - 0,35)^4]^{-0,2} \quad (3.13)$$

Basınç gerilmesini ( $f_c$ ) tasarım dayanımı olarak alırsak [4];

$$\frac{b_{eff}}{b} = [1 + 14(\sqrt{\frac{240}{158,2}} - 0,35)^4]^{-0,2}$$

$$\frac{b_{eff}}{b} = 0,638$$

Basınç elemanının etkin genişliği [4];

$$b_{eff} = 0,638 \times 55,6 = 35,5 \text{ mm}$$

### 3.4. BS 5950-6: 4.4. Çoklu Rijitleştirilmiş Basınç Elemanının Etkin Kesit Alanı [3]

#### 3.4.1. BS 5950-6: 4.4.1. Merkezinden bölünmüş tek rijitleştiricili başlık [3]

Trapez sacın kesit özellikleri incelendiğinde görüldüğü gibi sac üzerinde tekrarlı hadde şekilleri bulunmaktadır. Bu sebeple tek bir birim hadde üzerinden yapılan hesaplamalar daha sonra toplam hadde sayısı ile çarpılacaktır. Burada  $A_r$  olarak hesaplanan alan; başlık, başlık rijitleştiricileri ve bunlara bitişik iki etkin genişliğin toplamı olan rijitleştirilmiş alandır [4].

$$A_r = (53 + 2 \times \frac{10}{\sin 63,43^\circ} + 2 \times \frac{35,5}{2}) \times 0,7 = 77,6 \text{ mm}^2 \quad (3.14)$$

$S_r$ ; başlık ve başlık rijitleştiricilerinin toplamının yarısı olacak şekilde hesaplanan uzunluk değeridir.

$$S_r = \frac{53 + 2 \times \frac{10}{\sin 63,43^\circ}}{2} = 37,7 \text{ mm} \quad (3.15)$$

#### 3.4.1.1. BS 5950-6: 4.4.1.3. Tek bir başlığın burkulma dayanımı [3]

$I_r$ ,  $A_r$  alanının kendi merkez eksenine etrafındaki atalet momentidir [4].

$Q_r$ ,  $A_r$ 'nin basınç başlığına göre birincil momentidir [4].

$$Q_r = 53 + 0,7 \times 10 + 2 \times \frac{10}{\sin 63,43^\circ} \times 0,7 \times 5 + 2 \times \frac{35,5}{2} \times 0,7 \times 0,35 \quad (3.16)$$

$$Q_r = 458 \text{ mm}^3$$

$$y_r = \frac{458}{77,58} = 5,91 \text{ mm} \quad (3.17)$$

$$I_r = \frac{1}{12} \times 53 \times 0,7^3 + 53 \times 0,7 \times (10 - 5,91)^2 + 2 \times [\frac{1}{12} \times \frac{0,7}{\sin 63,43^\circ} \times 10^3 + \frac{10}{\sin 63,43^\circ} \times 0,7 \times (5,91 - 5)^2] + 2 \times [\frac{1}{12} \times \frac{35,5}{2} \times 0,7^3 + \frac{35,5}{2} \times 0,7 \times (5,91 - 0,35)^2]$$

$$I_r = 1,534 \times 10^3 \text{ mm}^4 \quad (3.18)$$

#### 3.5. BS 5950-6: Rijitleştiricinin Burkulma Boyu $L_b$ [3]

Farklı uç koşullarına sahip bir elemanın etkin uzunluğu, eşdeğer burkulma dayanımına sahip iki ucu mafsallı eleman olarak göz önüne alınması halinde belirlenen boyudur. [13].

$$L_b = 3,65 \times [I_r \times (\frac{b}{t})^3 \times (1 + (\frac{3 \times S_r}{b}))]^{0,25} \quad (3.19)$$

$$L_b = 3,65 \times [1,534 \times 10^3 \times (\frac{55,6}{0,7})^3 \times (1 + (\frac{3 \times 37,7}{55,6}))]^{0,25}$$

$$L_b = 802 \text{ mm}$$

#### 3.6. BS 5950-6: Rijileştirilmiş Elemanın Genişliği $b_a$ [3]

Rijileştirilmiş elemanın genişliği olarak tabir edilen ifade, bir önceki bölümde hesaplanan ve bir adet basınç rijileştiricisi ile basınç başlığının yarısının toplamı

olduğunu bilinen  $S_r$  ile bir adet yatay genişliğin toplamının iki ile çarpılarak bulunan ve başlığın üst bölümünü kapsayan değerdir.

$$b_d = 2 \times (b + S_r) \quad (3.20)$$

$$b_d = 2 \times (55,6 + 37,7) = 187 \text{ mm}$$

### 3.7. BS 5950-6: Rijitleştiricinin Genişliği $b_r$ [3]

Başlık rijitleştiricisinin yatay uzunluğu olarak tabir edilen ifade;

$$b_r = 53 \text{ (rijitleştiricinin genişliği)}$$

### 3.8 BS 5950-6: Başlık Rijitleştiricisi Sınırlandırma Katsayısı $K_{wo}$ [3];

$$K_{wo} = \left[ \frac{D_w + 2b_d}{D_w + 0,5b_d} \right]^{0,5} = \left[ \frac{50,8 + 2 \times 187}{50,8 + 0,5 \times 187} \right]^{0,5} \quad (3.21)$$

$$K_{wo} = 1,72$$

### 3.9. BS 5950-6: 4.4.1.4. Tek Bir Rijitleştirici İçin Sınırlandırma Katsayısı $K_w$ [3]

Yönetmelik gereğince kontrol edilmesi istenen bir diğer değer olan burkulma boyunun gövdenin eğik uzunluğuna oranının 2'den büyük olması durumunda izlenmesi gereken yol ve sınır durumu aşağıdaki gibidir. Yönetmelik bu sınır durumu ile elemanın burkulma sorunu kontrol altında tutmayı amaçlamıştır.

$$\frac{L_b}{D_w} > 2 \text{ ise } K_w = K_{wo} \quad (3.22)$$

$$\frac{L_b}{D_w} = \frac{802}{50,8} = 15,8 > 2 \text{ olduğundan [4],}$$

$$K_w = K_{wo} = 1,7$$

### 3.10. BS 5950-6: 4.4.1.3. Başlık Rijitleştiricisinin Burkulma Dayanımı $P_{cr}$ [3]

Burkulma dayanımında ele alınan düşey parçaların boyları, atalet yarıçaplarına göre çok büyüktür. Atalet yarıçapları küçük ve boyları uzun bu parçalara “narin çubuk” denir. Narin çubuklar eksenleri doğrultusunda yüklendiklerinde aksinel sapma yaparlar. Bu olaya “burkulma”, burkulmaya başlama sınırında meydana gelen maksimum dayanıma da “burkulma dayanımı” denir.

Başlık rijitleştiricisinin burkulma dayanımı;

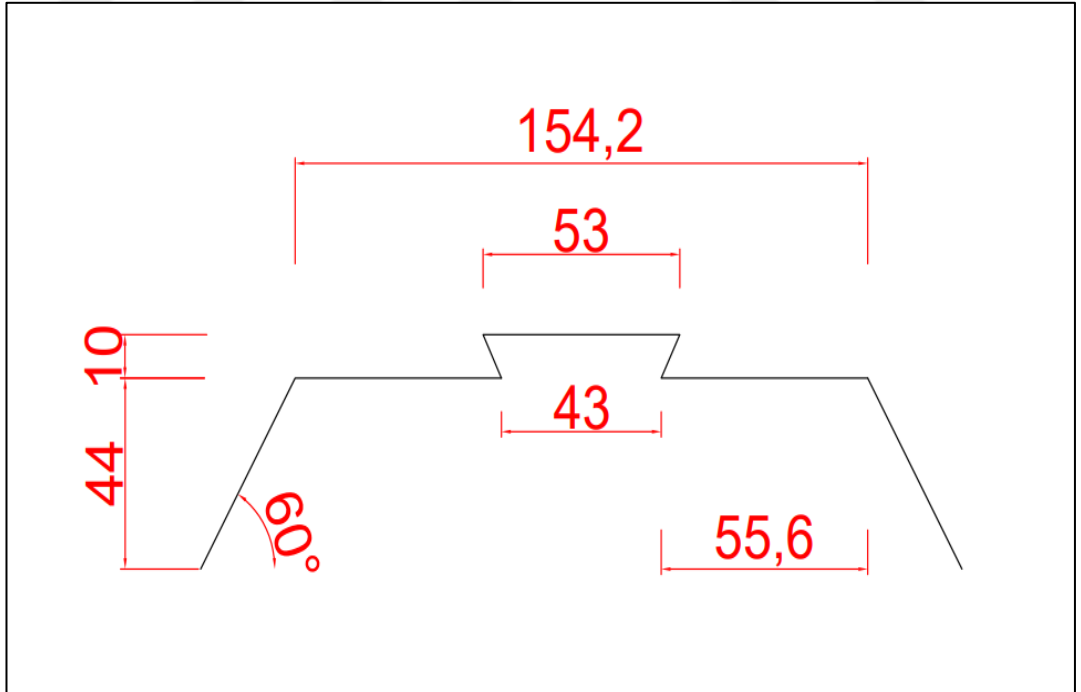
$$P_{r,cr} = \frac{4,2 \times K_w \times E}{A_r} \sqrt{\frac{I_r \times t^3}{8b^3 \left(1 + \frac{3S_r}{b}\right)}} = \frac{4,2 \times 1,7 \times 205 \times 10^3}{77,6} \sqrt{\frac{1,534 \times 10^3 \times 0,7^3}{8 \times 55,6^3 \left(1 + \frac{3 \times 37,7}{55,6}\right)}} \quad (3.23)$$

$$P_{r,cr} = 214,0 \text{ N/mm}^2$$

### 3.11. Tek Bir Rijitleştirilmiş Parçanın Brüt Alanı [4]

Daha önce de bahsedildiği gibi kompozit döşeme sacı enkesit özellikleri itibariyle kendini tekrar eden hadde şekillerinden oluşmaktadır. Bu hadde şekilleri geometrileri itibariyle birbirinin aynısı olması sebebiyle hesaplamalarda tek birinin ele alınıp incelenmesi ve nihai hesaplamalarda hadde sayısı ile çarpılarak işlem yapılmasının hesaplamalarda kolaylık sağlayacağı düşüncesiyle aşağıda gösterildiği gibi işlemlere bu şekilde devam edilmiştir.

Tek bir rijitleştirilmiş parçanın geometrik özellikleri Şekil 3.4'deki gibidir.



Şekil 3.4. Tek bir rijitleştirilmiş parçanın ölçüleri [5]

Tanım	Hesaplama	Alan (mm <sup>2</sup> )	Geometrik Merkez (mm)	Birincil Moment (mm <sup>3</sup> )
Gövde	44/sin60×0,7	35,6	22	782,4 × 2
Basınç Başlığı	55,6×0,7	38,9	44	1712,5 × 2
Basınç Rijitleştiricisi Ayakları	(10/sin63,43)×0,7	7,8	49	383,67 × 2
Basınç Rijitleştiricisi	53×0,7	37,1	54	2003,4
Brüt Birim		202		7,76×10 <sup>3</sup>

Tablo 3.1. Birim alanın birincil moment hesabı [4]

Tablo 3.1’de Tablo 3.1’de gösterildiği üzere tek bir rijitleştirilmiş parçanın toplam atalet momenti değeri tüm elemanlarının yatay eksene paralel yöndeki atalet momentlerinin toplamı yani her bir elemanın alan değerinin elemanların parçanın en alt noktasına göre momentinin alınması şeklinde ifade edilebilir.

### 3.12. BS 5950-6: 4.4.1.2. Başlık Rijitleştiricisinin Etkin Alanı [3]

Yönetmelik rijitleştiriciler üzerindeki burkulma sorununu kontrol altında tutabilmek amacıyla elastik kritik gerilme oranı ve buna bağlı olarak bulunan bir azaltma katsayısı değeri hesaplanmasını uygun görmektedir.

Elastik kritik gerilme oranı  $\alpha$  [4];

$$\alpha = \sqrt{\frac{P_y}{P_{r,cr}}} = \sqrt{\frac{240}{214}} = 1,06 \quad (3.24)$$

$0,65 < \alpha < 1,38$  olduğundan

Rijitleştiricinin etkinliğini azaltma faktörü  $\beta$  [4];

$$\beta = 1,47 - 0,723 \times \alpha \quad (3.25)$$

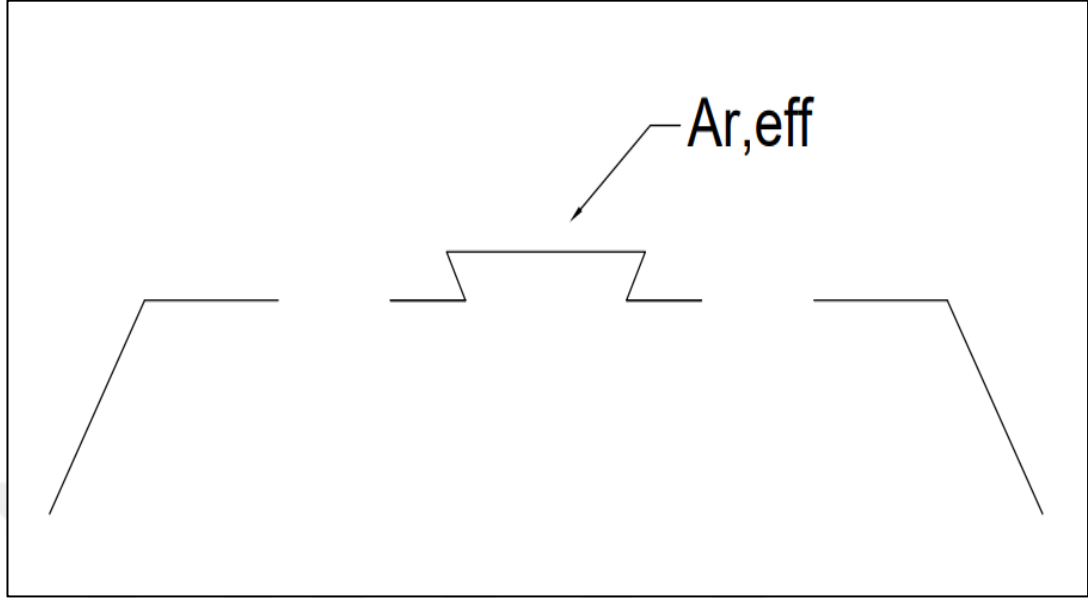
$$\beta = 1,47 - 0,723 \times 1,06$$

$$\beta = 0,704$$

Başlık rijitleştiricisinin etkin alanı  $A_{r,eff}$  [4];



$$A_{r,eff} = \beta \times A_r = 0,704 \times 77,6 = 54,6 \text{ mm}^2 \quad (3.26)$$



Şekil 3.5. Birim etkin alan [4]

Başlık rijitleştiricisinin etkin brüt birim alanın yukarıda hesaplanan azaltma katsayısı kullanılarak oluşturulan bağıntıları aşağıda verilmiştir;

$$A_{u,eff} = A_{u,gross} - A_r + A_{r,eff} \quad (3.27)$$

$$A_{u,eff} = A_{u,gross} - A_r + \beta \times A_r \quad (3.28)$$

$$A_{u,eff} = A_{u,gross} - (1 - \beta) \times A_r \quad (3.29)$$

$$A_{u,eff} = 202 - (1 - 0,704) \times 77,6 = 178,8 \text{ mm}^2$$

### 3.12.1. BS 5950-6: Etkin alanın birincil momenti [3]

Bir önceki aşamada bulunan etkin alanın birincil momenti;

$$Q_{u,eff} = Q_u - (1 - \beta) \times A_r \times (60 + y_r) = 7,76 \times 10^3 - (1 - 0,704) \times 77,56 \times (60 + 5,9)$$

$$Q_{u,eff} = 6,25 \times 10^3 \text{ mm}^3 \quad (3.30)$$

### 3.12.2. Etkin alanın merkezi [4]

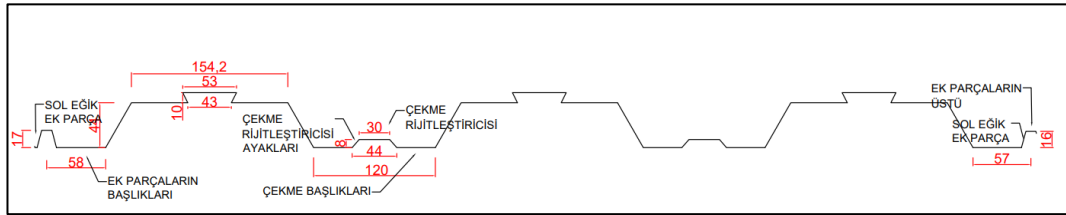
Etkin alan merkezi, etkin alanının birincil momentinin etkin brüt birim alana oranıdır. Buradan hareketle;

Tablo 3.2. Ek parçaların birincil momenti hesabı [4]

Tanım	Hesaplama	Alan (mm <sup>2</sup> )	Geometrik Merkez (mm)	Birincil Moment (mm <sup>3</sup> )
Çekme Rijitleştiricisi	30 × 0,7	21	8	168 × 2
Çekme Başlıkları	(120 – 44) × 0,7	53,2	0,35	18,62 × 2
Çekme Rijitleştiricisi Ayakları	2 x $\frac{8}{\sin 48,8^\circ} \times 0,7$	14,9	4	59,72 × 2
Sol Eğik Ek Parça	$\frac{17}{\sin 75^\circ} \times 0,7$	12,32	8,5	104,72
Sağ Eğik Ek Parça	$\frac{16}{\sin 75^\circ} \times 0,7$	11,6	8	92,76
Ek Parçaların Üstü	10 × 0,7	7	16,5	115,5
Ek Parçaların Başlıkları	$(58 + 57 - 10 - \frac{17+16}{\tan 75^\circ}) \times 0,7$	67,3	0,35	23,56
Ek Parçalar		276 mm <sup>2</sup>		829 mm <sup>3</sup>

$$y_{u,eff} = \frac{Q_{u,eff}}{A_{u,eff}} = \frac{6,25 \times 10^3}{178,8} = 34,9 \text{ mm} \quad (3.31)$$

### 3.13. Atalet Momentinin Hesaplanması [4]



Şekil 3.6. Aldeck (50/980) trapez sac parçaları

Rijitleştiriciler ve bunlara ait başlıkların yani bir kompozit döşeme sacına ait tüm ek parçaların birincil momentleri toplamına ait hesaplama Tablo 3.2’de gösterilmiştir. Kompozit döşeme sacının toplam birincil moment değeri; önceki bölümlerde yapılan bir adet hadde şekli için hesaplanan birincil moment değeri tüm profilde 3 adet tekrarlı hadde olması sebebiyle 3 ile çarpılarak ve ek parçaların birincil moment değeri ile aşağıdaki gibi toplanarak hesaplanmıştır.

Ayrıca Şekil 3.6’nın büyük ölçekli hali Şekil 3.7 olarak bölüm sonunda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Toplam Brüt Alan} &= 3 \times 202 \times 276 = 881,6 \text{ mm}^2 \\ \text{Toplam Etkin Alan} &= 3 \times 178,8 + 276 = 812,7 \text{ mm}^2 \\ \text{Toplam Birincil Moment} &= 3 \times 6,25 \times 10^3 + 829 = 19,6 \times 10^3 \text{ mm}^3 \\ \text{Tüm profilin geometrik merkezi;} \end{aligned}$$

$$\text{Merkez} = \frac{19,6 \times 10^3}{812,7} = 24,1 \text{ mm}$$

Geometrik merkezi bulunan Aldeck (50/980) kompozit döşeme sacının bir birimlik  $A_r$  alanına ait atalet momenti hesabı Tablo 3.3’de verilmiştir. Burada Birincil Moment olarak tanımlanan değer; her bir parçanın kendi geometrik merkezine göre hesaplanan atalet momentidir. İkincil Moment olarak tanımlanan değer ise her bir parçanın alan değerinin parçanın geometrik merkezi ile tüm şeklin geometrik merkezi arasındaki farka göre oluşturduğu alan atalet momentidir.

	<b>Birincil Moment (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>İkincil Moment (mm<sup>4</sup>)</b>	<b>Toplam (mm<sup>4</sup>)</b>
Gövde	$\frac{1}{12} \times \frac{0,7}{\sin 60^\circ} \times 44^3 = 5,74 \times 10^3$	$\frac{0,7}{\sin 60^\circ} \times 44 \times (22 - 24,1)^2 = 154,1$	$5,89 \times 10^3 \times 2$
Basınç Başlığı	$\frac{1}{12} \times 55,6 \times 0,7^3 = 1,59$	$55,6 \times 0,7 \times (44 - 24,1)^2 = 15,4 \times 10^3$	$15,4 \times 10^3 \times 2$
Basınç Rijitleştiricisi Ayakları	$\frac{1}{12} \times \frac{0,7}{\sin 60^\circ} \times 10^3 = 65,2$	$\frac{0,7}{\sin 63,43^\circ} \times 10 \times (49 - 24,1)^2 = 4,86 \times 10^3$	$4,93 \times 10^3 \times 2$
Basınç Rijitleştiricisi	$\frac{1}{12} \times 53 \times 0,7^3 = 1,52$	$53 \times 0,7 \times (54 - 24,1)^2 = 33,2 \times 10^3$	$3,32 \times 10^3$
Brüt Birim			$85,7 \times 10^3$

Tablo 3.3.  $A_r$  alanının atalet momenti hesabı [4]

Tablo 3.3’de hesaplanan  $A_r$  alanına ait atalet momenti, daha önceki bölümlerde bulunan etkinlik azaltma katsayısı olan  $\beta$  değeri ile aşağıdaki gibi aynı bağıntı içinde kullanılarak etkin atalet momenti hesabı yapılmıştır.

$$\begin{aligned} \text{Etkin Birim Alanın Atalet Momenti} &= 85,7 \times 10^3 - (1 - 0,704) \times (1,5 \times 10^3 + 77,6 \times \\ &(44 + 0 \times 0,7 + 5,91 - 24,1)^2) = 70 \times 10^3 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Tablo 3.4’de çelik profile ait ek parçaların atalet momenti hesabı gösterilmiştir.

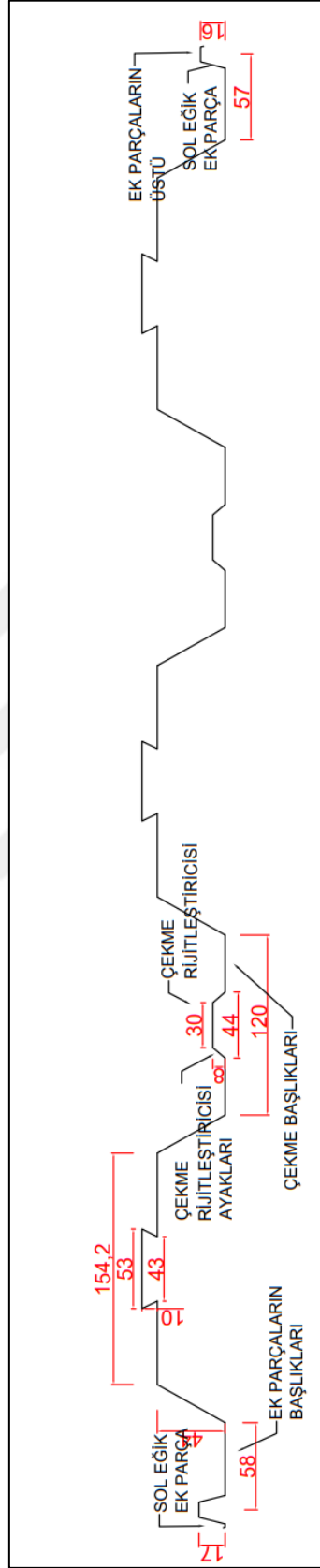
Tanım	Birincil Moment (mm <sup>3</sup> )	İkincil Moment (mm <sup>3</sup> )	Toplam Moment (mm <sup>3</sup> )
Çekme Rijitleştiricisi	$\frac{1}{12} \times 30 \times 0,7^3 = 0,86$	$30 \times 0,7 \times (24,1 - 8)^2 = 5,43 \times 10^3$	$5,43 \times 10^3$
Çekme Rijitleştiricisi	$\frac{1}{12} \times 76 \times 0,7^3 = 2,17$	$76 \times 0,7 \times (24,1 - 0,35)^2 = 30 \times 10^3$	$30 \times 10^3 \times 2$
Çekme Rijitleştiricisi Ayakları	$\frac{1}{12} \times \frac{0,7}{\sin 48,8^\circ} 8^3 = 39,7$	$\frac{0,7}{\sin 48,8^\circ} \times 8 \times (24,1 - 4)^2 = 3 \times 10^3$	$3 \times 10^3$
Sol Eğik Ek Parça	$\frac{1}{12} \frac{0,7}{\sin 48,8^\circ} 17^3 = 296,7$	$0,7 \times \frac{17}{\sin 75^\circ} (24,1 - 8,5)^2 = 3,3 \times 10^3$	$3,3 \times 10^3$
Sağ Eğik Ek Parça	$\frac{1}{12} \times \frac{0,7}{\sin 75^\circ} 16^3 = 247,4$	$0,7 \times \frac{16}{\sin 75^\circ} (24,1 - 8)^2 = 3,25 \times 10^3$	$3,25 \times 10^3$
Ek Parçaların Başlıkları	$\frac{1}{12} \times \frac{(58+57-10-17+16)}{\tan 75^\circ} \times 0,7^3 = 2,75$	$67,31 \times (24,1 - 0,35)^2 = 3,8 \times 10^3$	$3,8 \times 10^3$
Ek Parçaların Üstü	$\frac{1}{12} \times 10 \times 0,7^3 = 0,29$	$0,7 \times 10 \times (24,1 - 16,5)^2 = 402,3$	402,3
Ek Parçalar			$127,8 \times 10^3$

Tablo 3.4. Ek parçaların atalet momenti hesabı [4]

Etkin kesite ait toplam atalet momenti, bir birim haddenin atalet momentinin 3 katı ile tüm ek parçaların atalet momenti değerinin toplamıdır. Buradan hareketle;

$$\text{Etkin Kesit için Atalet Momenti} = 127,8 \times 10^3 + 3 \times 70 \times 10^3 = 337,7 \times 10^3 \text{ mm}^4$$

Buradan elde edilen verilerle bir sonraki bölüm olan açıklık sayısı değeri, yeterli ve minimum sayı olarak belirlenecektir.



Şekil 3.7. Aldeck(50/980) trapez sac parçalarının isimlendirilmesi

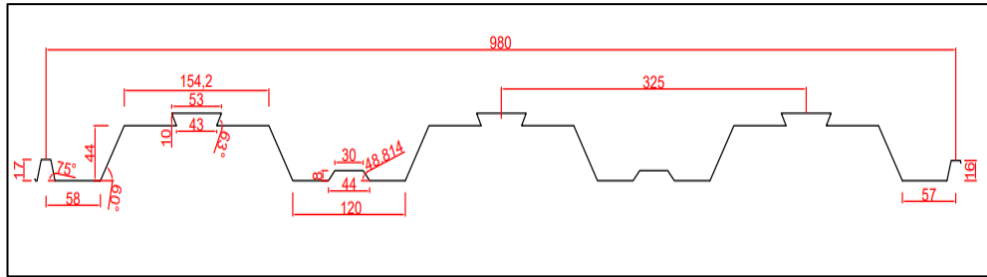
#### 4. AÇIKLIK SAYISININ BELİRLENMESİ

Bu bölümde, iki, üç ve dört açıklıklı kirişler için önceki bölümlerde elde edilmiş olan moment, kesme ve sehim denklemleri kullanılarak kompozit döşemelerin iki ana aşaması olan ıslak ve kompozit faz evrelerine ait hesaplamalar yapılacaktır. Öncelikli olarak döşemenin çelik sacı ile beton arasında aderansın sağlanmadığı ve yükleri yalnızca çeliğin taşıdığı kabul edilen ıslak faz aşaması incelenecektir. Bu aşamada elde edilen bilgiler ışığında diğer aşama olan kompozit yani çelik ve betonun yük taşınmasında birlikte görev aldığı evreye geçilerek yapışma kayması göçmesi kontrolü sağlanıp açıklık sayısı belirlenecektir.

##### 4.1. İki Açıklıklı Bir Kiriş İçin Hesaplamalar

Bu bölümde Aldeck (50/980) trapez sacının uygulama aşamasında tek geçici destek kullanıldığı yani iki açıklıklı olduğu durumda taşıyabileceği yükler ve bu yükler altında yapacağı sehim miktarı incelenecektir.

##### 4.1.1. Yayılı yük değerinin hesaplanması



Şekil 4.1. ALDECK 50/980 kompozit döşeme sacı

##### 4.1.1.1. Kesit özellikleri

$$L_o = 4000 \text{ mm}$$

$$h = 100 \text{ mm}$$

$$b = 980 \text{ mm}$$

$$t_p = 0,7 \text{ mm}$$

$$h_p = 54 \text{ mm}$$

$$A_y = 881,6 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{eff}} = 812,7 \text{ mm}^2$$

$$w_a = 7,02 \text{ kg/mm}^2$$

$$I_g = 385 \times 10^3 \text{ mm}^4$$

$$I_{\text{eff}} = 337,7 \times 10^3 \text{ mm}^4$$

$$y_B = 24,1 \text{ mm}$$

#### 4.1.1.2. Yük kabulleri

##### 4.1.1.2.1. Trapez sac zati ağırlığı [4]

$$\begin{aligned} w_1 &= b \times w_a & (4.1) \\ &= 0,98 \times 7,02 = 6,88 \text{ kg/m} \\ &= 68,8 \times 10^{-3} \text{ kN/m (Yer çekimi ivmesi } g=10 \text{ m/s}^2 \text{ olarak alınmıştır.)} \end{aligned}$$

##### 4.1.1.2.2. Beton zati ağırlığı [4]

$$\begin{aligned} w_2 &= (b \times h_p \times 0,48) \times 25 & (4.2) \\ &= 0,98 \times 0,054 \times 0,48 \times 25 \\ &= 0,635 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_3 &= (b \times (h - h_p)) \times 25 & (4.3) \\ &= 0,98 \times (0,1 - 0,054) \times 25 \\ &= 1,13 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

##### 4.1.1.2.3. Beton yığılma ağırlığı [4]

Beton yığılma ağırlığı olarak aşağıdakilerden büyük olanı alınır [4].

$$\begin{aligned} w_{4A} &= 0,15 \times h \times b \times 25 & (4.4) \\ &= 0,15 \times 0,10 \times 0,98 \times 25 \\ &= 0,368 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_{4B} &= b \times 1,5 & (4.5) \\ &= 0,98 \times 1,5 \\ &= 1,47 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_4 &= \max (w_{4A}, w_{4B}) & (4.6) \\ &= \max (0,368; 1,47) \\ &= 1,47 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

##### 4.1.1.2.4. Beton dökümü işletme yükü [4]

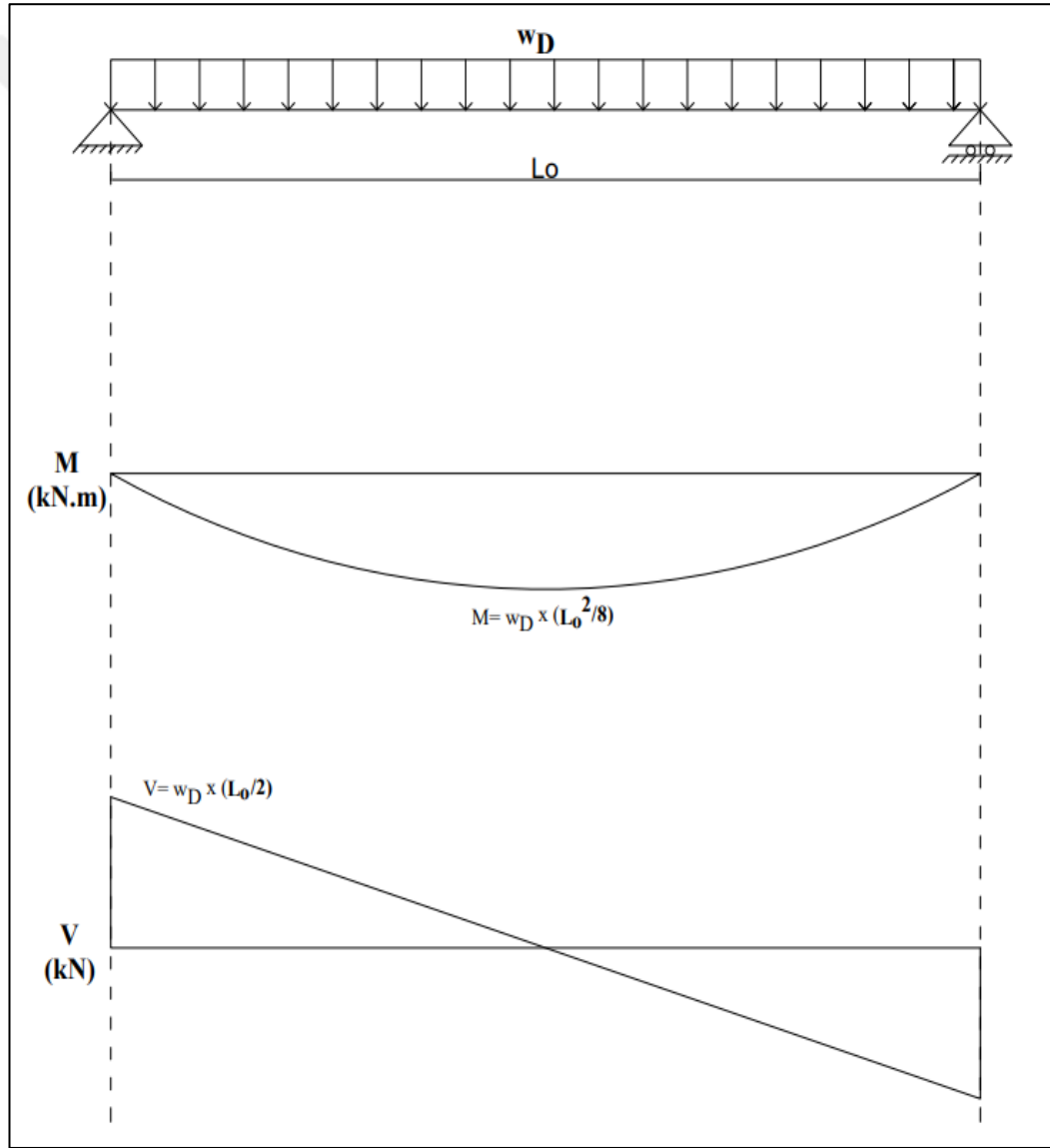
Beton dökümü işletme yükü, döşeme trapezinin geçtiği serbest açıklıkla ilişkili

olarak  $L_0 \leq 3$  m için  $w_5 = 2$  kN/m<sup>2</sup>,  $L_0 > 3$  m için  $w_5 = 1,5$  kN/m<sup>2</sup> olarak kabul edilecektir [4].

$$w_5 = 0,98 \times 1,5 = 1,47 \text{ kN/m} \quad (4.7)$$

Bu durumda tasarım esas yük şiddeti,  $w_D$  [4];

$$\begin{aligned} w_D &= w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 \\ &= 68,8 \times 10^{-3} + 0,635 + 1,13 + 1,47 + 1,47 \\ &= 4,77 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (4.8)$$



Şekil 4.2. Basit kirişte moment ve kesme diyagramları



#### 4.1.2. Tek açıklıklı kiriş için tasarım moment ve gerilme değerinin hesaplanması

$L_o = 4000$  mm açıklığındaki trapez sacın beton dökümü esnasında taşınması gereken maksimum tasarım momenti şiddeti [4];

$$\begin{aligned} M_D &= w_D \times \left(\frac{L_o^2}{8}\right) \\ &= 4,77 \times \left(\frac{4^2}{8}\right) = 9,54 \text{ kN.m} \end{aligned} \quad (4.9)$$

ALDECK (50/980),  $t_p = 0,7$  mm olan döşeme trapezi için etkin atalet momenti değeri kullanılarak hesaplanacak olan gerilme aşağıdaki gibi hesaplanır [4].

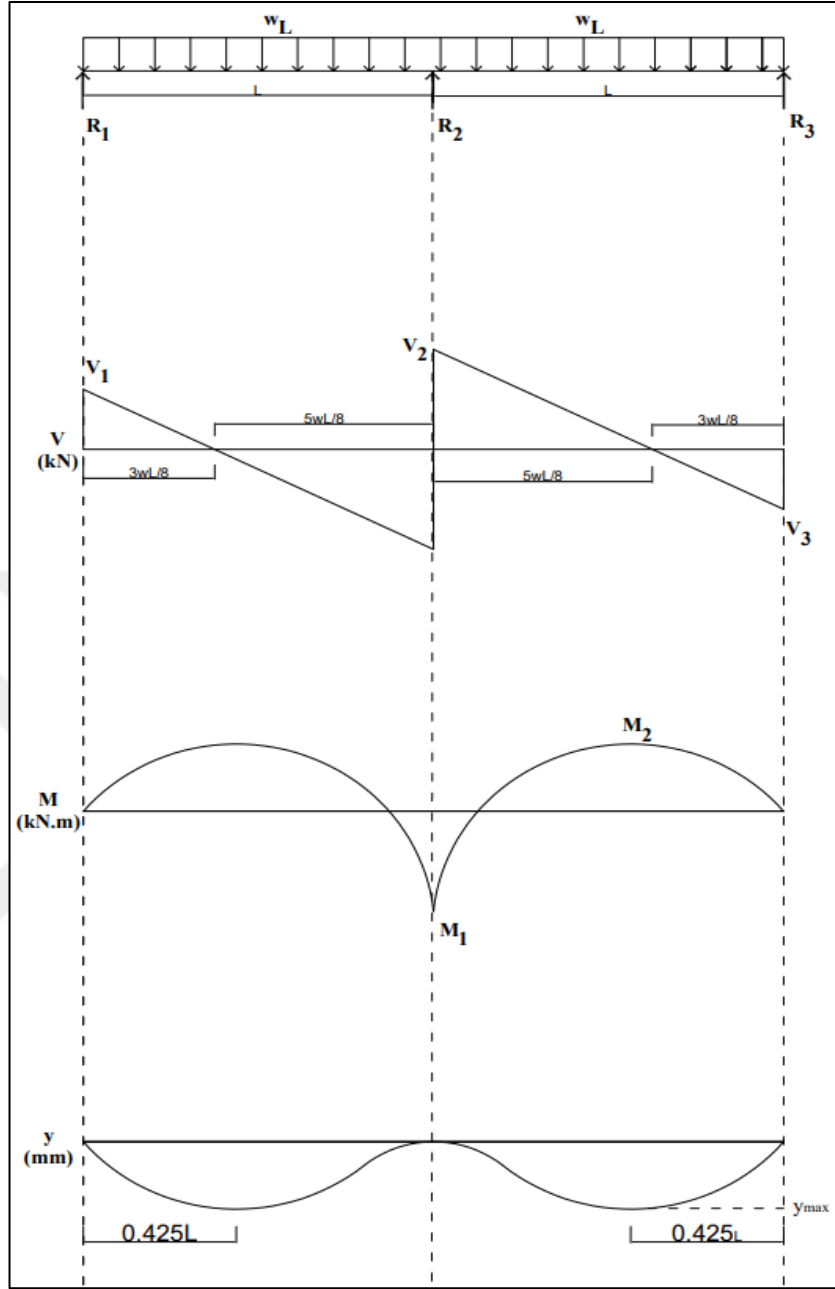
$$\begin{aligned} \sigma_D &= \frac{M_D \times c}{I_{eff}} \\ &= \frac{9,54 \times 24,1 \times 10^6}{337,7 \times 10^3} \\ &= 680,4 \text{ Mpa} \end{aligned} \quad (4.10)$$

Tasarım momenti etkisinde trapez sacda oluşan çekme veya basınç gerilmesi değeri üretici firma ALMETSAN tarafından verilen trapez sac karakteristik akma dayanımı değerinin oldukça üstündedir. Bu durumda planlanan  $h = 16$  cm kalınlığındaki kompozit plağın dökümü esnasında geçici mesnetler kullanılarak veya yapıya tali kirişler eklenerek  $\sigma_D$  değeri  $f_{yk} = 240$  Mpa değerinin yaklaşık %70'ine kadar indirilmelidir [4].

#### 4.1.3. İki açıklıklı kiriş için tasarım momenti ve gerilme değerinin hesaplanması

Aşağıda iki açıklıklı bir kirişte tasarım yükleri etkisi altında oluşacak mesnet tepkileri ve tasarım momenti değeri hesaplanarak bu kirişe ait tasarım gerilme değeri bulunacaktır. Bu değer yönetmelik gereğince verilen sınır koşullarını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilecektir.

Tek açıklıklı bir kiriş için tasarım momenti etkisinde trapez sacda oluşan çekme veya basınç gerilmesi değeri trapez sac karakteristik akma dayanımı değerinin oldukça üstündedir. Bu durumda tasarlanan kompozit plağın dökümü esnasında geçici mesnetler kullanılarak veya yapıya tali kirişler eklenerek aşağıdaki gibi iki açıklıklı şekilde yeniden incelenektir.



Şekil 4.3. İki açıklıklı sürekli kirişte moment ve kesme diyagramları

Mesnet tepkileri;

$$R_1 = V_1 = R_3 = V_3 = \frac{3wL}{8}$$

$$R_2 = \frac{10wL}{8}$$

$$V_2 = V_{\max} = \frac{5wL}{8}$$

Geçici destek noktasında oluşan moment değeri;

$$M_1 = \frac{wL^2}{8}$$

İki mesnet arasında oluşan maksimum moment değeri;

$$M_2 \left( \frac{3wl}{8} \right) = \frac{9wL^2}{128}$$

Maksimum sehım değeri;

$$y_{\max} (0,42.L) = \frac{wL^4}{185EI}$$

Kompozit döşeme plağının iki eşit açıklıklı sürekli kiriş şeklinde mesnetlenmesi durumunda oluşacak moment ve kesme kuvveti değerleri yukarıdaki şekilde verilmektedir. Bu şekilden hareketle 4 m açıklıklı döşeme trapezinin tam ortasına koyulacak geçici veya kalıcı bir mesnet üzerinde oluşacak moment değeri [4];

$$M_D = 4,77 \times \left( \frac{4}{8} \right)^2 = 2,4 \text{ kN.m} \quad (4.11)$$

$$\begin{aligned} \sigma_D &= \frac{M_D \times c}{I_{\text{eff}}} \\ &= \frac{2,4 \times 10^6 \times 24,1}{337,7 \times 10^3} \\ &= 170,0 \text{ Mpa} \quad (\text{fyk'nın yaklaşık \%70'i}) \end{aligned} \quad (4.12)$$

Bu durumda kuvvet esaslı tasarım ıslak beton fazı için tamamlanmıştır. Ancak aynı zamanda deplasman limitlerinin de kontrol edilmesi gerekmektedir. Deplasman hesabı yaparken kullanılacak yükler ise beton yükü ve bu betonun yer yer hata sonucu planlanan kalınlıktan yaklaşık %15'e kadar fazla dökülmüş olması durumunda ortaya çıkan yüklerdir. Bu durumda [4];

$$\begin{aligned} W_{\text{Disp}} &= W_1 + W_2 + W_3 + W_{4A} \\ &= 68,8 \times 10^{-3} + 0,635 + 1,13 + 0,368 \\ &= 2,20 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (4.13)$$

$W_{\text{Disp}}$  yayılı yükü etkisinde oluşacak maksimum sehım sağ ve sol açıklıkta [4];

$$\begin{aligned} y_{\max} &= w_{\text{Disp}} \times \left(\frac{L_0}{2}\right)^4 / (185 \times E \times I_{\text{eff}}) \\ &= 2,20 \times \left(\frac{4}{2 \times 10^3}\right)^4 / (185 \times 205 \times 10^3 \times 337,7 \times 10^3) = 2,75 \text{ mm} \end{aligned} \quad (4.14)$$

İzin verilen deplasman serbest açıklığın 1/300'ünden küçük olmalıdır [4].  
(2000 / 300 = 6,7 mm) ve bu şart da sağlanmaktadır.

#### 4.1.4. İki açıklıklı bir kirişin kompozit faz aşaması

Aldeck (50/980) trapez sac kullanılarak ( $t_p=0,7$  mm) EK-1'de beton dökümü yapılan  $h=10$  cm kalınlığındaki döşeme plağı, beton kuruyup sistem kompozit hale dönüştükten sonra hareketli yük olarak  $2 \text{ kN/m}^2$ , asma tavan, döşeme kaplaması, havalandırma ve elektrik tesisat yükleri toplamı olarak da  $2,5 \text{ kN/m}^2$  yük taşıyacaktır [4].

Bu durumda, örnekte konulan ara mesnedin

a) geçici dikme kalıp mesnedi

b) bir tali kiriş

olduğunu düşünüp, kompozit döşemenin yukarıda verilen servis yüklerini taşıyıp taşımayacağını kontrol edilmesi gerekir [4].

**Not:** Beton dökümü esnasında kullanılan ara mesnedin kalıcı olması durumunda, yani çelik karkasa tali kiriş eklenmesi durumunda kompozit döşeme iki açıklıklı sürekli bir kiriş tarzında çözümlenmelidir. Ara mesnedin kaldırılması durumunda ise 4 m açıklıklı tek bir kiriş olarak çözülecektir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus ara mesnedin kaldırılmasından sonra, bu mesnette beton dökümüyle beraber olduğu varsayılan  $w_{\text{Disp}}$  yükü etkisinde oluşan artan mesnet reaksiyonunun 4 m'lik tek açıklıklı kirişin orta mesnet noktasına ve aşağı doğru yük olarak konulması gereğidir [4].

Problem çözümü aşağıda geçici destek kullanıldığı veya tali kiriş olarak düşünüldüğü durumlar için ayrı ayrı yapılmıştır [4].

Beton dökümü esnasında 4 m'lik serbest açıklığın tam ortasına konulan ara mesnedin geçici dikme kalıp mesnedi olması durumunda;

Döşeme betonu döküldükten sonra trapez sacın deforme olmuş şekli üzerinde kuruyup kompozit sistemi oluşturmuş olmasından dolayı kompozit faz kontrollerinde

beton ağırlığının dikkate alınmaması daha uygundur. Ancak dikmenin yerinden kaldırılması ile birlikte mesnette döküm esnasında oluşan reaksiyon döşemeye tekil ve aşağı doğru bir yükmiş gibi etki etmeye başlar. Bu durumda tekil yükün değeri [4];

$$R_2 = (10 \times w_{Disp} \times L)/8 \quad (4.15)$$

$$= (10 \times 2,2 \times 2)/8$$

Kompozit döşemenin  $LL=2 \text{ kN/m}^2$  hareketli yük,  $DL= 2,5 \text{ kN/m}^2$  de sonradan eklenecek ölü yük taşıması gerektiği yukarıda verilmiştir. Bu durumda tasarıma esas artırılmış yükler şöyle hesaplanır [4];

$$w_D = (1,4 \times DL + 1,6 \times LL) \times b \quad (4.16)$$

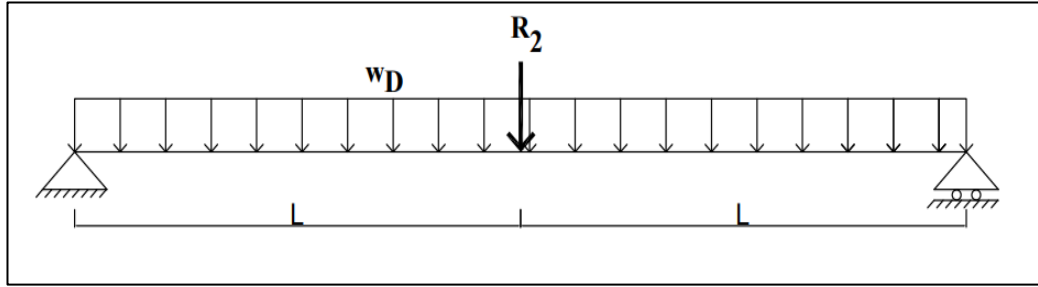
$$= (1,4 \times 2,5 + 1,6 \times 2) \times 0,98$$

$$= 6,57 \text{ kN/m}$$

$$R_{2D} = 1,4 \times R_2 \quad (4.17)$$

$$= 1,4 \times 5,5$$

$$= 7,70 \text{ kN}$$



Şekil 4.4. İki açıklıklı sürekli bir kirişe uygulanan yükler

$w_D$  ve  $R_{2D}$  yükleri etkisinde mesnet reaksiyonları ( $V_D$ ), kesme açıklıkları ( $a$ ) ve maksimum açıklık momenti değerleri ( $M_D$ ) Şekil-5 dikkate alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır [4];

$$V_D = W_D \times \frac{L_0}{2} + \frac{R_{2D}}{2} \quad (4.18)$$

$$= 6,6 \times \frac{4}{2} + \frac{7,7}{2}$$

$$= 17,0 \text{ kN}$$

$$\frac{W_D \left( \frac{L_0^2}{8} \right) + \left( \frac{C_y L_0}{4} \right)}{W_D \left( \frac{L_0}{2} \right) + \left( \frac{C_y}{2} \right)} \quad (4.19)$$

$$a = (13,1 \times 2 \times 0,5 + 3,85 \times 2) / 17$$

$$= 1,55 \text{ m}$$

$$M_D = w_D \times (L_D)^2 / 8 + R_{2D} \times L_0 / 4 \quad (4.20)$$

$$= 6,6 \times 4^2 / 8 + 7,7 \times 4 / 4$$

$$= 13,1 + 7,7$$

$$= 21,0 \text{ kN.m}$$

Kompozit döşemenin 3 göçme tipinden öncelikle Yapışma Kayması Göçmesini inceleyelim [4];

Bu göçme tipinde kapasite hesaplamak için üretici firmanın vereceği m-k katsayılarına ihtiyaç duyulmaktadır. ALDECK (fyk= 240 Mpa) için deneyler sonucu bulunan yapışma kayması katsayıları (m-k katsayıları) aşağıdaki denklem kullanılarak da bulunabilmektedir [4].

$$\frac{V}{b \times d_s} = 108,3 \times \left( \frac{A_g}{b \times a} \right) - 0,084 \quad (4.21)$$

Öncelikle yukarıdaki denklemden hareketle b= 980 mm genişliğinde ve d<sub>s</sub>= (h - y<sub>G</sub>) = 75,92 mm faydalı derinliğe sahip kompozit döşemenin a= 1230 mm kesme açıklığında taşıyabileceği kesme kuvveti kapasitesini hesaplamamız gerekir [4].

Plaka kalınlığının etkisinin (t<sub>p</sub>=0,7 mm) yukarıdaki denklemde kesit alanı (A<sub>g</sub>= 881,6 mm<sup>2</sup>) ile dikkate alındığı unutulmamalıdır. Bu durumda yapışma kayması kapasitesi Denklem 4.21 kullanılarak [4];

$$V = 980 \times 75,9 \times [108,3 \times (881,6 / (980 \times 1230)) - 0,084]$$

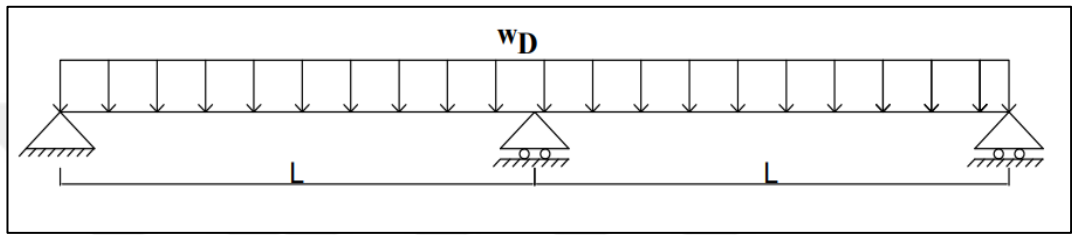
$$= 356,7 \text{ N} \text{ olarak bulunur.}$$

$$0,357 \text{ kN} < V_D$$

Döşemenin yapışma kayması kapasitesinin oluşacak zorlanmadan çok küçük olduğu görülmektedir. Bu durumda 4 m'lik kompozit döşeme geçici ara mesnetle üretilemez [4].

Beton dökümü esnasında 4 m'lik serbest açıklığın tam ortasına konulan ara mesnetin geçici dikme kalıp mesneti olmayıp çerçeve eklenen bir tali kiriş olması durumunda [4];

Ara mesnetin kalıcı olması durumunda, kompozit döşemenin sertleşen betonun sertleşirken katlanmış plağın aldığı sehimli şekilde kompozitleştiği kabul edilir. Mesnet ( $R_2$ ) yerinden kaldırılmayacağı için de döşemenin zati ağırlığı hiçbir şekilde yapışma kayması gerilmeleri oluşturmayacaktır. Bu durumda tasarıma esas yükler aşağıdaki gibidir [4];



Şekil 4.5. Yayıllı yük etkisi altındaki iki açıklıklı kiriş

$w_D = 6,566$  kN/m'lik tasarıma esas arttırılmış yük ve  $L = 2$  m'lik ikili açıklık değeri etkisinde oluşacak sol ve sağ mesnetlerdeki en büyük kesme yükü, yukarıda verilen “İki açıklıklı sürekli kirişte moment ve kesme diyagramları” grafiğinden hareketle [4];

$$\begin{aligned} V_1 = V_3 &= 3 \times w_D \times L/8 & (4.22) \\ &= 3 \times 6,6 \times 2/8 \\ &= 4,95 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_2 &= 5 \times w_D \times L/8 & (4.23) \\ &= 5 \times 6,6 \times 2/8 \\ &= 8,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kenar mesnetlerdeki kesme açıklığına  $a_1$  ve  $a_3$ , orta mesnetteki kesme açıklığına ise  $a_2$  ismi verilirse [4];

$$a_1 = a_3 = \left(\frac{3}{16} \times L\right) = \left(\frac{3}{16} \times 2\right) = 0,375 \text{ m} \quad (4.24)$$

$$a_2 = \left(\frac{5}{16} \times L\right) = \left(\frac{5}{16} \times 2\right) = 0,625 \text{ m} \quad (4.25)$$

m-k katsayıları denkleminin 0,375 m ve 0,625 m'lik kesme açıklıkları için ayrı ayrı kullanılmasıyla elde edilen kapasiteler ilgili kesme zorlamalarıyla kontrol edilmelidir [4].

$$\frac{V}{b \times ds} = 108,3 \times \left( \frac{A_g}{b \times a} \right) - 0,084$$

$$V = 980 \times 75,9 \times [108,3 \times (881,6 / (980 \times 375)) - 0,084]$$

$$= 13080 \text{ N}$$

$$= 13,1 \text{ kN} > V_1 \text{ ve } V_3$$

Böylelikle sol ve sağ mesnetlerde yakın ( $a = 375 \text{ mm}$ ) yapışma kayması göçmesi olmayacaktır [4].

Aynı kontrolü orta mesnet içinde tekrarlayacak olursak (bu durumda  $a = 625 \text{ mm}$  alınacaktır) [4];

$$V = 980 \times 75,9 \times [108,3 \times (881,6 / (980 \times 625)) - 0,084]$$

$$= 5,35 \text{ N}$$

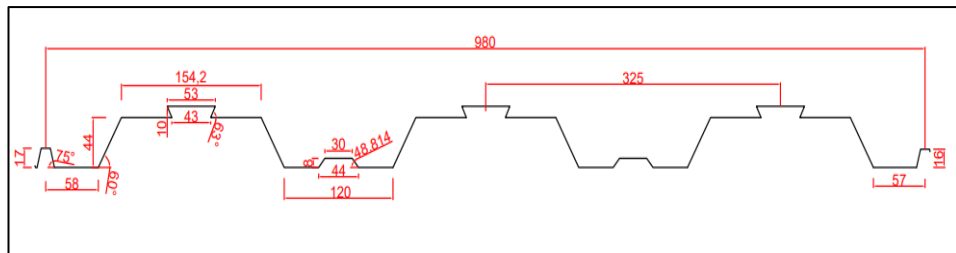
$$= 5,35 \text{ kN} < V_2$$

4 m açıklığındaki kompozit döşemenin ortasındaki mesnedin geçici kalıp dikmesi olarak kullanıldığı durumda  $2,5 \text{ kN/m}^2$ 'lik ölü yükü ve  $2,0 \text{ kN/m}^2$ 'lik hareketli yükü yapışma kayması göçmesi oluşmadan taşıyacağı böylelikle görülmüştür.

## 4.2. Üç Açıklıklı Bir Kiriş İçin Hesaplamalar

Bu bölümde Aldeck (50/980) trapez sacının uygulama aşamasında iki adet geçici destek kullanıldığı yani üç açıklıklı olduğu durumda taşıyabileceği yükler ve bu yükler altında yapacağı sehim miktarı incelenecektir.

### 4.2.1. Yayılı yük değerinin hesaplanması



Şekil 4.6. ALDECK 50/980 kompozit döşeme sacı



#### 4.2.1.1. Kesit özellikleri

$L_o$	$= 4500 \text{ mm}$	$A_g$	$= 881,6 \text{ mm}^2$
$h$	$= 100 \text{ mm}$	$A_{\text{eff}}$	$= 812,7 \text{ mm}^2$
$b$	$= 980 \text{ mm}$	$w_a$	$= 7,02 \text{ kg/m}^2$
$t_p$	$= 0,7 \text{ mm}$	$I_g$	$= 385 \times 10^3 \text{ mm}^4$
$h_p$	$= 54 \text{ mm}$	$I_{\text{eff}}$	$= 337,7 \times 10^3 \text{ mm}^4$
$y_g$	$= 24,1 \text{ mm}$		

#### 4.2.1.2. Yük kabulleri

##### 4.2.1.2.1. Trapez sac zati ağırlığı [4]

$$\begin{aligned} w_1 &= b \times w_a \\ &= 0,98 \times 7,02 = 68,8 \times 10^{-3} \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (4.26)$$

##### 4.2.1.2.2. Beton zati ağırlığı [4]

$$\begin{aligned} w_2 &= (b \times h_p \times 0,48) \times 25 \text{ kN/m}^3 \\ &= 0,98 \times 0,054 \times 0,48 \times 25 \\ &= 0,635 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (4.27)$$

$$\begin{aligned} w_3 &= (b \times (h - h_p)) \times 25 \text{ kN/m}^3 \\ &= 0,98 \times (0,1 - 0,054) \times 25 \\ &= 1,13 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (4.28)$$

##### 4.2.1.2.3. Beton yığılma ağırlığı [4]

$$\begin{aligned} w_{4A} &= 0,15 \times h \times b \times 25 \text{ kN/m}^3 \\ &= 0,15 \times 0,1 \times 0,98 \times 25 \\ &= 0,368 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (4.29)$$

$$\begin{aligned} w_{4B} &= b \times 1,5 \text{ kN/m}^2 \\ &= 0,98 \times 1,5 = 1,47 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (4.30)$$

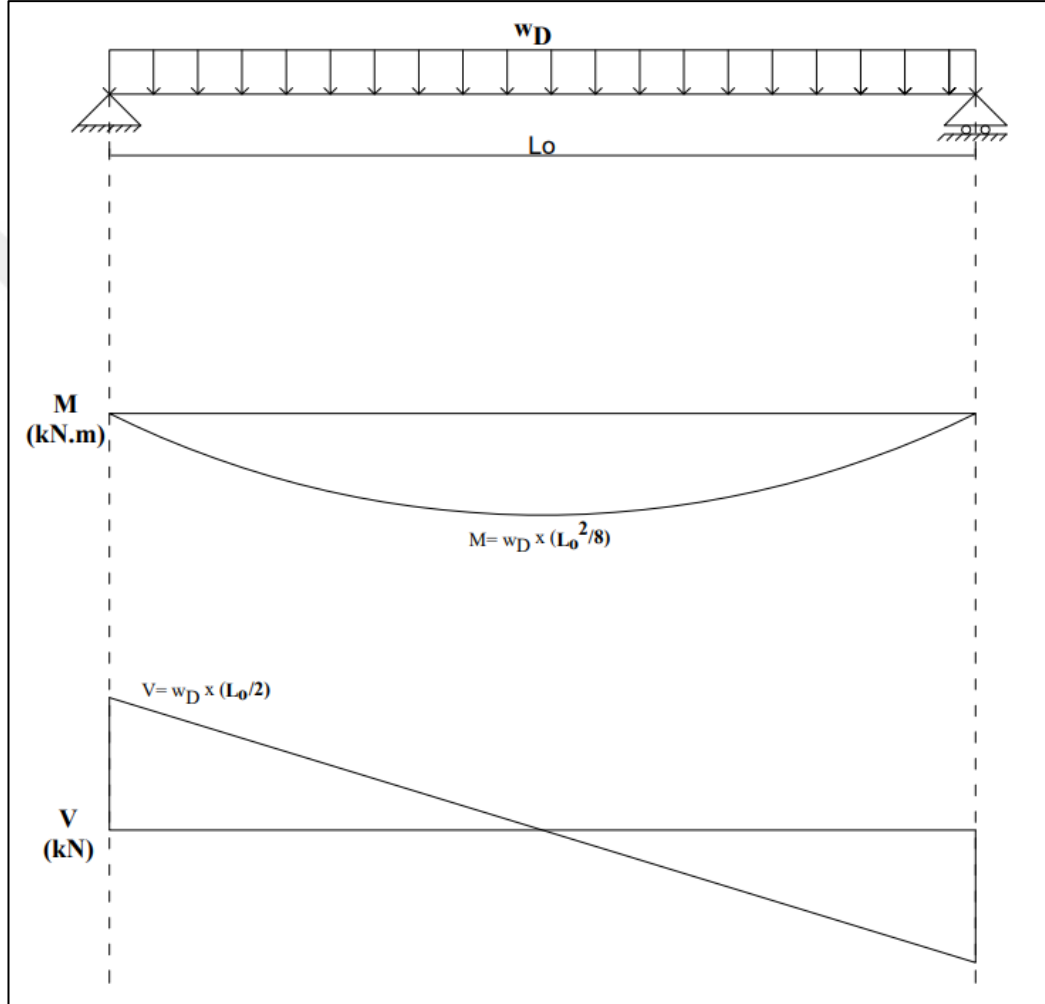
$$\begin{aligned} w_4 &= \max(w_{4A}, w_{4B}) \\ &= \max(0,368; 1,47) = 1,47 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (4.31)$$

#### 4.2.1.2.4. Beton dökümü işletme yükü [4]

$$w_5 = 0,98 \times 1,5 = 1,47 \text{ kN/m} \quad (4.32)$$

$$w_D = w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 \quad (4.33)$$

$$\begin{aligned} w_D &= 68,8 \times 10^{-3} + 0,635 + 1,13 + 1,47 + 1,47 \\ &= 4,77 \text{ kN/m} \end{aligned}$$



Şekil 4.7. Basit kirişte moment ve kesme diyagramları

#### 4.2.2. Tek açıklıklı kiriş için tasarım moment ve gerilme değerinin hesaplanması

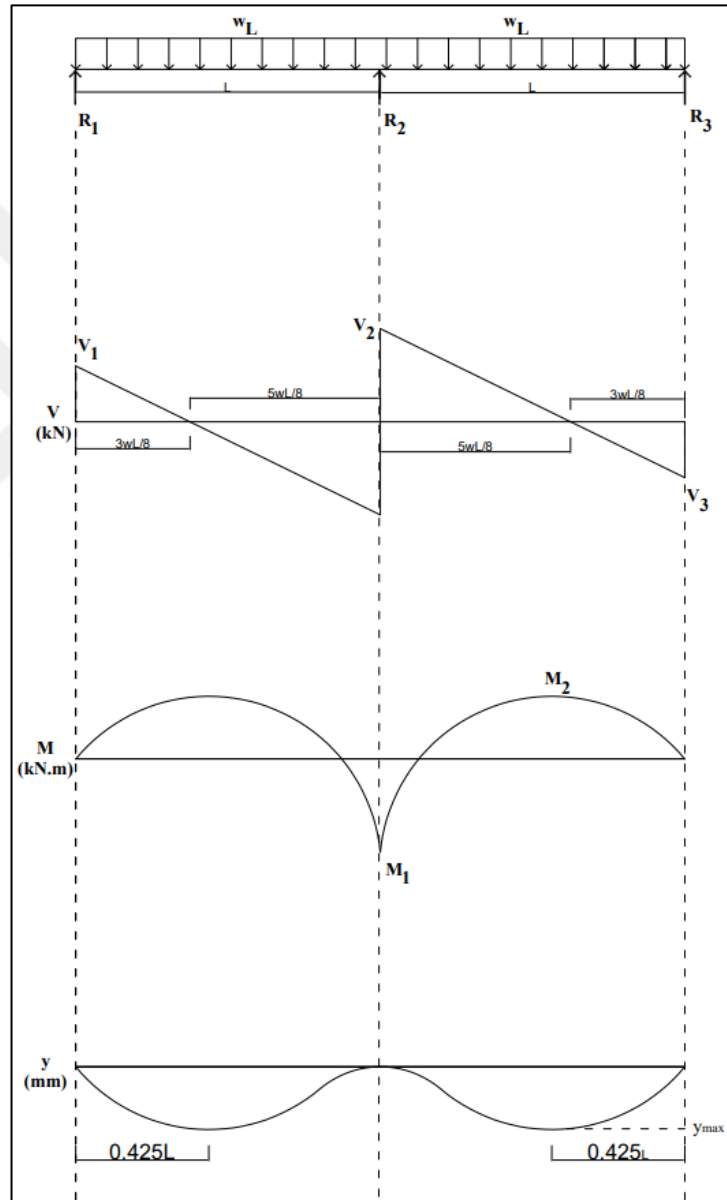
$$\begin{aligned} M_D &= w_D \times \left( \frac{L_0^2}{8} \right) \quad (4.34) \\ &= 4,77 \times \left( \frac{4,5^2}{8} \right) \\ &= 12,1 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\sigma_D = \frac{M_D \times c}{I_{eff}} \quad (4.35)$$

$$= \frac{12,1 \times 24,1 \times 10^6}{337,71 \times 10^3} = 861,2 \text{ Mpa}$$

Not:  $861,17 > f_{yk} = 240 \text{ Mpa}$  olduğundan 2 açıklık denenecek.

#### 4.2.3. İki açıklıklı kiriş için tasarım moment ve gerilme değerinin hesaplanması



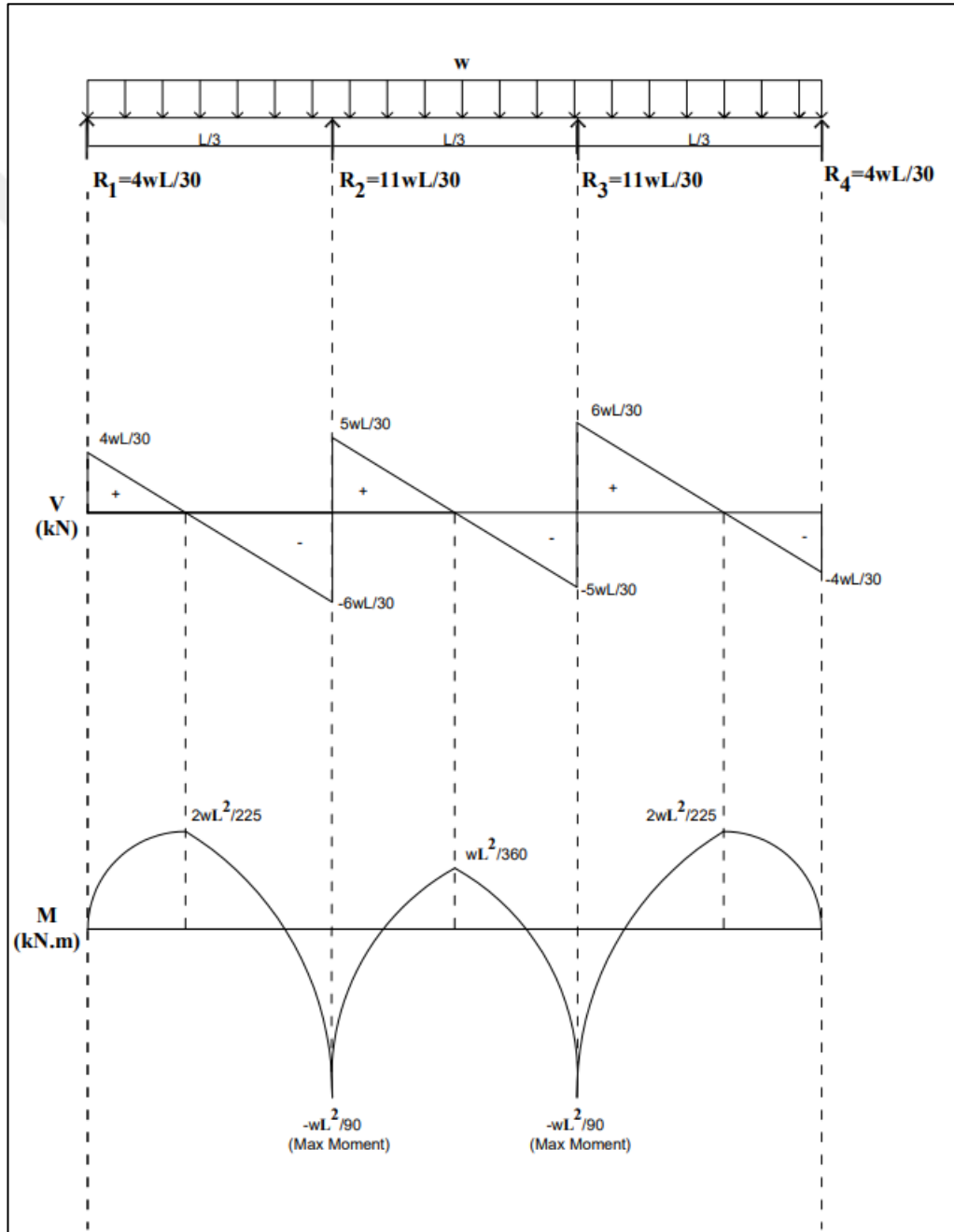
Şekil 4.8. İki açıklıklı sürekli kirişte moment ve kesme diyagramları

$$M_D = 4,77 \times \left( \frac{4,5}{2} \right)^2 = 3,02 \text{ kN.m}$$

$$\sigma_D = \frac{M_D \times c}{I_{eff}} = \frac{3,02 \times 24,1 \times 10^6}{337,7 \times 10^3} = 215,4 \text{ Mpa}$$

215,4 Mpa değeri  $f_{yk} = 240$  Mpa değerinin yaklaşık %90'ı olduğundan %70 koşulunu sağlayamamıştır. Bu sebeple çözüme 3 açıklıklı olacak şekilde devam edilmektedir [4].

#### 4.2.4. Üç açıklıklı kiriş için tasarım moment ve gerilme değerinin hesaplanması



Şekil 4.9: Üç Açıklıklı Sürekli Kirişte Moment Ve Kesme Diyagramları

Üç açıklıklı bir kirişte oluşan maksimum moment değeri;

$$\begin{aligned} M_D &= w_D \times \left(\frac{L^2}{90}\right) \\ &= 4,77 \times \left(\frac{4,5^2}{90}\right) = 1,07 \text{ kN.m} \end{aligned} \quad (4.36)$$

Maksimum moment etkisinde oluşan tasarım gerilmesi değeri;

$$\sigma_D = \frac{M_{D,x}}{I_{\text{eff}}} = \frac{1,07 \times 10^6 \times 24,1}{337,7 \times 10^3} = 76,6 \text{ Mpa} \quad (4.37)$$

Maksimum sehime sebep olacak toplam yayılı yük değeri;

$$\begin{aligned} w_{\text{Disp}} &= w_1 + w_2 + w_3 + w_{4A} \\ &= 68,8 \times 10^{-3} + 0,635 + 1,13 + 0,368 \\ &= 2,20 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (4.38)$$

Maksimum sehim değeri;

$$\begin{aligned} y_{\text{max}} &= \frac{-85WL^4}{EI} \times 10^{-6} \\ &= \frac{85 \times 2,2 \times 10^3 \times 4,5^4 \times 10^{-6}}{205 \times 10^9 \times 337,7 \times 10^{-9}} = 1,11 \text{ mm} \end{aligned} \quad (4.39)$$

1,11 mm < 5 mm ✓ Kompozit Faz İçin Devam Ediyoruz.

#### 4.2.5. Üç açıklıklı bir kirişin kompozit faz aşaması [4]

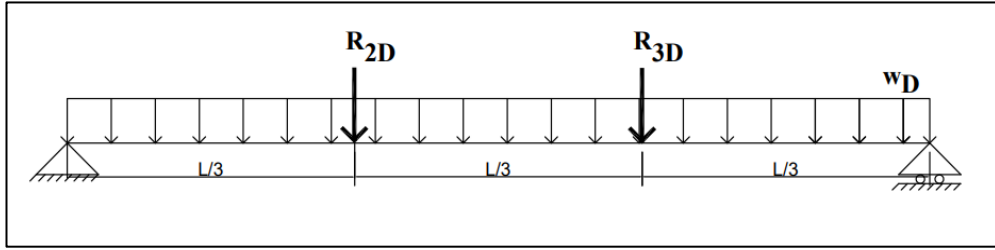
Üç açıklıklı bir kirişte oluşan mesnet tepkileri ve buna bağlı oluşan kesme dayanımı ile kesme açıklığı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} R_2 &= (11 \times w_{\text{Disp}} \times L) / 30 \\ &= (11 \times 2,2 \times 4,5) / 30 \\ &= 3,63 \text{ kN} \end{aligned} \quad (4.40) \quad R_3 = R_2 = 3,63 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} w_D &= (1,4 \times DL + 1,6 \times LL) \times b \\ &= (1,4 \times 2,5 + 1,6 \times 2) \times 0,98 \\ &= 6,57 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (4.41)$$

$$R_{2D} = 1,4 \times R_2 = 1,4 \times 3,6 = 5,04 \text{ kN} \quad (4.42)$$

$$R_{3D} = 1,4 \times R_3 = 1,4 \times 3,6 = 5,04 \text{ kN} \quad (4.43)$$

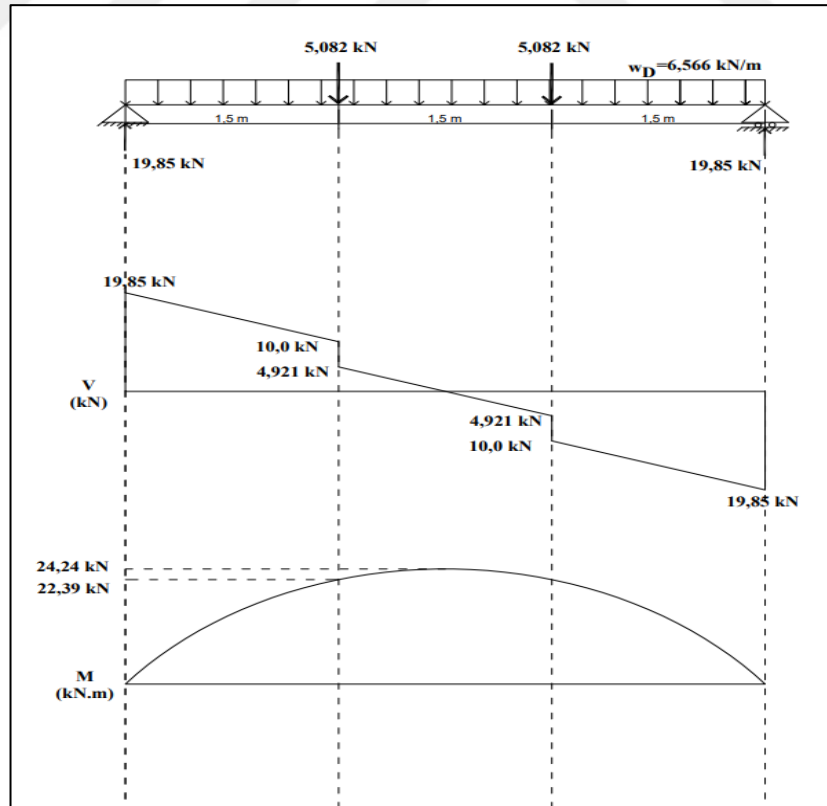


Şekil 4.10. Üç açıklıklı sürekli bir kirişe uygulanan yükler

$$\begin{aligned} V_D &= w_D \times \frac{L_0}{2} + \frac{R_{2D}}{2} + \frac{R_{3D}}{2} \\ &= \frac{2,20 \times 4,5}{2} + \frac{3,63}{2} + \frac{3,63}{2} \\ &= 8,58 \text{ kN} \end{aligned} \quad (4.44)$$

Bir önceki işlemler tekrarlandığında;

$$a = \frac{24,24}{8,58} = 1,22 \text{ m} \quad (4.45)$$



Şekil 4.11. Üç açıklıklı sürekli bir kirişe uygulanan yükler etkisi altında oluşan kesme ve moment değerleri

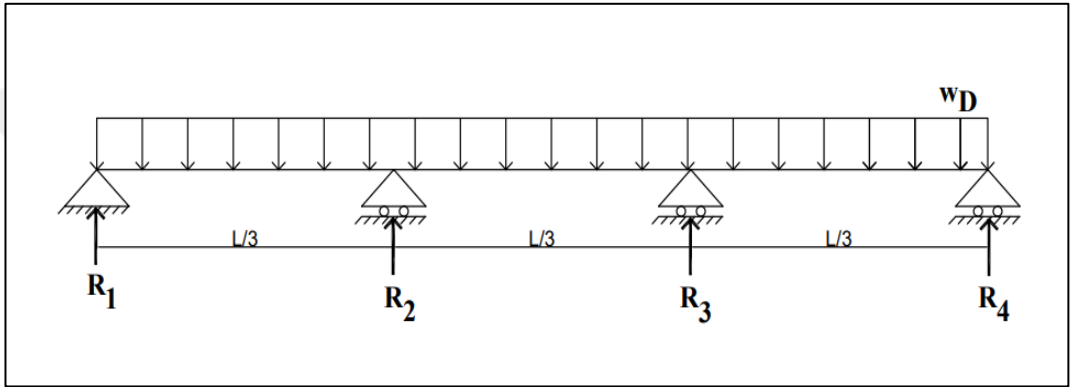
Tasarıma etkiyen moment değeri;

$$M_D = 9,86 \text{ kN.m}$$

$$\frac{V}{b \times d_s} = 108,3 \times \left( \frac{A_g}{b \times a} \right) - 0,084 \quad (ds = (h - y_G))$$

Yapışma kayması göçmesi kontrolü;

$$\begin{aligned} V &= 980 \times 75,92 \times [108,3 \times (881,6 / (980 \times 1200)) - 0,084] \\ &= -20,9 \text{ N} = -0,021 \text{ kN} < 6,05 \end{aligned}$$



Şekil 4.12. Üç açıklıklı bir kirişte yayılı yük etkisi altında oluşan mesnet tepkileri

Mesnet tepkileri;

$$R_1 = R_4 = \frac{4wL}{30} = \frac{4 \times 6,57 \times 4,5}{30} = 3,94 \text{ kN}$$

$$R_2 = R_3 = \frac{11wL}{30} = \frac{11 \times 6,57 \times 4,5}{30} = 10,84 \text{ kN}$$

Kesme açıklıkları;

$$a_1 = a_4 = \frac{2L}{30} = \frac{2 \times 4,5}{30} = 0,300 \text{ m}$$

$$a_3^+ = a_2^- = \frac{3L}{30} = \frac{3 \times 4,5}{30} = 0,450 \text{ m}$$

$$a_3^- = a_2^+ = \frac{L}{12} = \frac{4,5}{12} = 0,375 \text{ m}$$

Yapışma kayması göçmesi kontrol denklemi;

$$\frac{V}{b \times d_s} = 108,3 \times \left( \frac{A_g}{b \times a} \right) - 0,084$$

Yapışma kayması göçmesi durumu her bir kesme açıklığı değerine göre kontrol

edilmelidir. Buradan hareketle;

$$\begin{aligned} V &= 980 \times 75,92 \times [108,3 \times (881,6/(980 \times 300)) - 0,084] \\ &= 17,9 \text{ kN} > V_1 \text{ ve } V_4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= 980 \times 75,92 \times [108,3 \times (881,6/(980 \times 450)) - 0,084] \\ &= 9,86 \text{ kN} = V_2 = V_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= 980 \times 75,92 \times [108,3 \times (881,6/(980 \times 380)) - 0,084] \\ &= 13,1 \text{ kN} > V_2 \text{ ve } V_3 \end{aligned}$$

### 4.3. Dört Açıklıklı Bir Kiriş İçin Hesaplamalar

Bu bölümde, önceki bölümlerde iki ve üç açıklıklı kirişler için yapılan tüm işlemler dört açıklıklı kiriş için de tekrarlanacak ve göçme durumu kontrol edilerek açıklık sayısının  $L_o = 7000$  mm uzunluğu için uygulanabilirliği kontrol edilecektir.

#### 4.3.1. Kesit özellikleri

$L_o$	$= 7000 \text{ mm}$	$A_g$	$= 881,6 \text{ mm}^2$
$h$	$= 100 \text{ mm}$	$A_{eff}$	$= 812,7 \text{ mm}^2$
$b$	$= 980 \text{ mm}$	$w_a$	$= 7,02 \text{ kg/m}^2$
$t_p$	$= 0,7 \text{ mm}$	$I_g$	$= 385 \times 10^3 \text{ mm}^4$
$h_p$	$= 54 \text{ mm}$	$I_{eff}$	$= 337,7 \times 10^3 \text{ mm}^4$
$y_g$	$= 24,1 \text{ mm}$		

Yukarıdaki yeni açıklık değerine göre aynı işlemler tekrarlanır ise;

#### 4.3.2. Tek açıklıklı bir kiriş için tasarım moment ve gerilme değeri

$$M_D = 4,771 \times \left(\frac{7^2}{8}\right) = 29,2 \text{ kN.m} \quad (4.46)$$

$$\sigma_D = \frac{M_D \times c}{I_{eff}} \quad (4.47)$$

$$= \frac{29,2 \times 24,1 \times 10^6}{337,7 \times 10^3} = 2084 \text{ Mpa} > 240 \text{ Mpa} \quad \text{olduğundan 2 açıklık denenecektir.}$$

#### 4.3.3. İki açıklıklı bir kiriş için tasarım moment ve gerilme değeri

$$M_D = 4,77 \times \left(\frac{3,5^2}{8}\right) = 7,30 \text{ kN.m} \quad (4.48)$$



$$\sigma_D = \frac{7,3 \times 24,1 \times 10^6}{337,7 \times 10^3} = 521 \text{ Mpa} > 240 \text{ Mpa} \quad (4.49)$$

olduğundan 3 açıklık denenecektir;

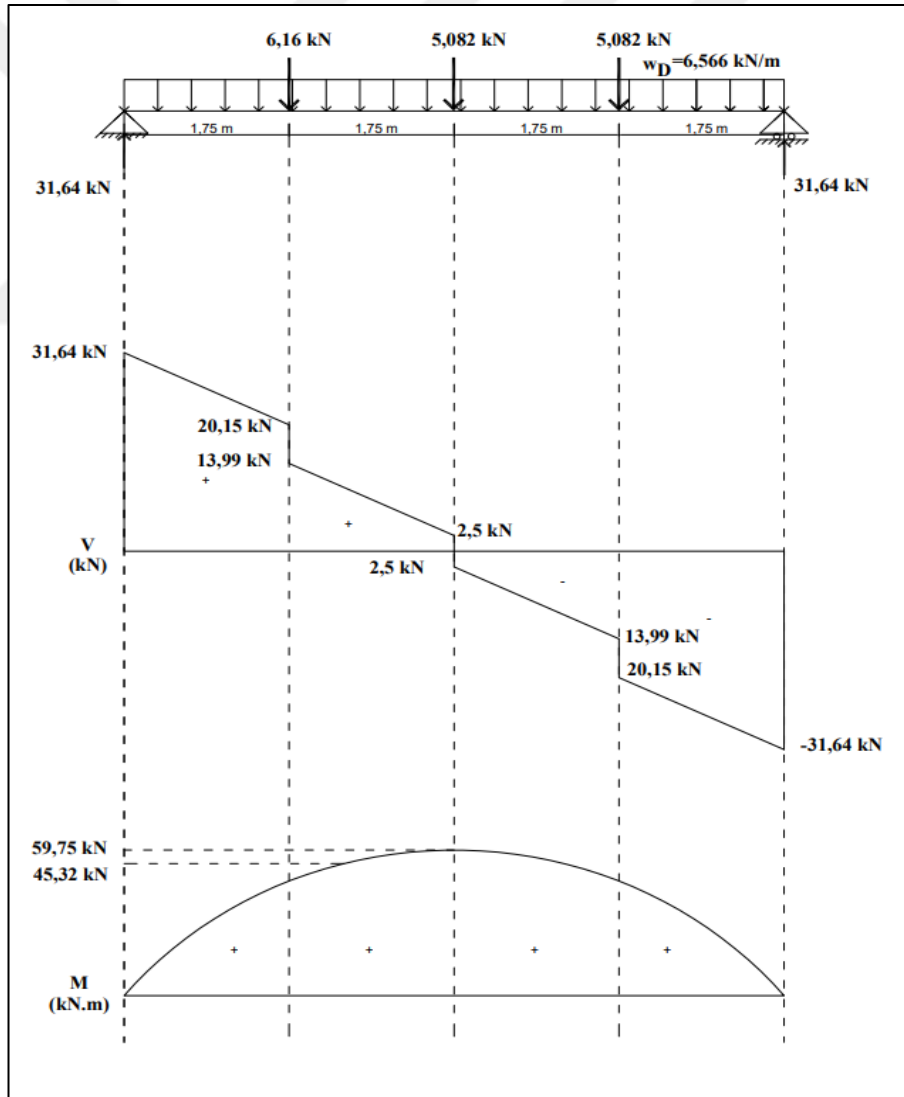
#### 4.3.4. Üç açıklıklı bir kiriş için tasarım moment ve gerilme değeri

$$M_D = w_D \times \left(\frac{L^2}{90}\right) = 4,771 \times \left(\frac{7^2}{90}\right) = 2,6 \text{ kN.m} \quad (4.50)$$

$$\sigma_D = \frac{2,6 \times 24,1 \times 10^6}{337,7 \times 10^3} = 185 \text{ Mpa} < 240 \text{ Mpa} \quad (4.51)$$

fakat  $< 70\%$  koşulu sağlanamadığı için 4 açıklık denenecektir.

#### 4.3.5. Dört açıklıklı bir kiriş için tasarım moment ve gerilme değeri



Şekil 4.13. Dört açıklıklı sürekli bir kirişe uygulanan yükler etkisi altında oluşan kesme ve moment değerleri

Bu bölümde singülarite fonksiyonu kullanılarak çift katlı integral yöntemiyle yayılı yük etkisinde bulunan dört açıklıklı bir kirişteki moment, kesme kuvveti ve sehim değerlerini veren denklemler elde edilmiştir.

$$M(x) = \frac{11wLx}{112} - \frac{wx^2}{2} + \frac{32wL}{112} \langle x - \frac{L}{4} \rangle + \frac{26wL}{112} \langle x - \frac{2L}{4} \rangle + \frac{32wL}{112} \langle x - \frac{3L}{4} \rangle \quad (4.52)$$

$$Q(x) = \frac{11wLx^2}{224EI} - \frac{wx^3}{6EI} + \frac{32wL \langle x - \frac{L}{4} \rangle^2}{224EI} + \frac{26wL \langle x - \frac{2L}{4} \rangle^2}{224EI} + \frac{32wL \langle x - \frac{3L}{4} \rangle^2}{224EI} + c_1x + c_2 \quad (4.53)$$

Kirişin ilk ve son noktalarındaki moment değerlerinin sıfır olması öngörüsüyle ortaya konulan uygunluk denklemleri;

$$y(0) = 0 \quad \text{ise} \quad c_2 = 0$$

$$y(L) = 0 \quad \text{ise} \quad \frac{11wL^4}{672EI} - \frac{wL^4}{24EI} + \frac{864wL^4}{43008EI} + \frac{26wL^4}{5376EI} + \frac{32wL^4}{43008EI} + c_1.L = 0$$

$$c_1 = -0,00037 \frac{wL^3}{EI}$$

$$x = 0,11.L$$

Sehim denklemi;

$$y(x) = \frac{11wL(0,11.L)^3}{672EI} - \frac{w(0,11.L)^4}{24EI} - 0,00037 \frac{wL^3}{EI} \times (0,11.L) \quad (4.54)$$

#### 4.3.6. Dört açıklıklı bir kiriş için kompozit faz aşaması [4]

Mesnet tepkileri;

$$R_2 = \frac{32}{112}wL = \frac{32}{112} \times 2,2 \times 7 = 4,40 \text{ kN} \quad (4.55)$$

$$R_3 = \frac{26}{112}wL = \frac{26}{112} \times 2,2 \times 7 = 3,58 \text{ kN} \quad (4.56)$$

$$R_4 = R_2 = 4,4 \text{ kN} \quad (4.57)$$

Tasarım momenti değeri;

$$\begin{aligned} w_D &= (1,4 \times DL + 1,6 \times LL) \times b \\ &= (1,4 \times 2,5 + 1,6 \times 2) \times 0,98 \\ &= 6,57 \text{ kN.m} \end{aligned} \quad (4.58)$$

Tasarıma etkiyen mesnet tepkisi değerleri;

$$R_{4D} = R_{2D} = 1,4 \times R_2 = 1,4 \times 4,4 = 6,16 \text{ kN}$$

$$R_{3D} = 1,4 \times 3,6 = 5,04 \text{ kN}$$

Tasarıma etkiyen kesme kuvveti değeri;

$$V_D = \frac{W_D L_0}{2} + R_{2D} + \frac{R_{3D}}{2} = \frac{6,6 \times 7}{2} + 4,4 + \frac{3,6}{2} \quad (4.59)$$

$$V_D = 7,7 + 4,4 + 1,79 = 29,9 \text{ kN}$$

Kesme açıklığı değeri;

$$a = \frac{59,75}{12,89} = 4,64 \text{ m} \quad (4.60)$$

Yapışma kayması göçmesi kontrolü;

$$V = 980 \times 75,92 \times [108,3 \times (881,6 / (980 \times 1980)) - 0,084] \\ = 2,20 \text{ kN}$$

Tasarıma etkiyen moment değeri;

$$M_D = 1,57 \text{ kN.m}$$

Tasarım gerilmesi değeri;

$$\sigma_D = \frac{1,6 \times 24,1 \times 10^6}{337,7 \times 10^3} = 112 \text{ Mpa} < 240 \text{ Mpa} \quad (4.61)$$

Dört açıklıklı kiriş için  $48\% < 70\%$  koşulu sağlanmıştır.

## 5. SONUÇLAR

Kompozit döşemelerin uygulamaları aşamasında kullanılan geçici desteklerin yeterli ve doğru bir şekilde konumlandırılması konusunda yapılan tüm hesaplamalara ait bilgiler önceki bölümlerde ayrıntılı bir şekilde belirtilmiştir. Bu hesaplamaların açıklık uzunluğu ve beton kalınlığı gibi değişken parametrelere göre daha hızlı ve pratik yapılabilmesi açısından tüm işlemler aşağıdaki tablolarda (Tablo 5.2, Tablo 5.3 ve Tablo 5.3) verildiği gibi excel ortamına işlenmiştir. Bahsedilen parametrelere göre değişen açıklık sayısı dolayısıyla gerekli geçici destek miktarı Tablo 5.4, Tablo 5.5 ve Tablo 5.6'da verilmiştir.

### 5.1. Verilen Excel Ortamına İşlenmesi

#### ÖRNEK EXCEL ÇALIŞMASI

Tablo 5.1. Excel veri girişi ve atalet momenti hesaplaması

Malzeme Özellikleri						
Akma Dayanımı	Ys	240				
Nihai Çekme Dayanımı	Us	320				
Elastisite Modülü	E	205000				
Çelik Dayanımı		Py	240			
Kesit Ölçüleri						
Eğrilik Yarıçapı	r	3				
Net Kalınlık	t	0,7				
Gövdenin Yatay Eksenine Göre Açısı		60				
Basınç Başlığının Yüksekliği	Dp	44				
Basınç Başlığının Toplam Uzunluğu	Bf	154,2				
Basınç Rijitleştiricisinin Uzunluğu		53				
Basınç rijitleştiricisinin alt açıklığı		43				
Çekme rijitleştiricisinin alt açıklığı		44				
Height of Compression stiffener		10				
Angle of compression stiffener		63,43				
Brüt Çekme Başlığı Uzunluğu		120				
Çekme Rijitleştiricisinin Yüksekliği		8				
Çekme Rijitleştiricisinin Açısı		48,814				
Sol Ek Parçanın Yüksekliği		17				
Sol Ek Parçanın Açısı		75				
Sağ Ek Parçanın Yüksekliği		16				
Sağ Ek Parçanın Açısı		75				
Sağ Parçanın Yatay Uzunluğu		58				
Sol Parçanın Yatay Uzunluğu		57				
Çekme Rijitleştiricilerinin Uzunluğu		30				
Ek Parçaların Üstü		10				
E		1,08012				
250xe		270,031				
Bf/t		220,286				
Dw		50,8068				
b		55,6				
h		0,91379				
K		5,38437				
Pcr		158,163				
beff/b		0,63792				
beff		35,4683				
Ar		77,581				
Sr		37,6808				
Qr		457,955				
yr		5,90294				
lr		15,34,06				
Lb		802,064				
bd		186,562				
br		53				
Kwo		1,71528				
Lb/Dw		15,7865				
Kw		1,71528				
Pr.cr		213,819				
α		1,05945				
β		0,70401				
Ar,eff		54,6181				
Au,eff		178,76				
Qu,eff		6246,9				
yu,eff		34,9457				
Tanım		Alan	Merkez	Birincil Moment		
Gövde		35,5647766	22	782,4250848		
Basınç Başlığı		38,92	44	1712,48		
Basınç Rijitleştiricisi Ayakları		7,82657595	49	383,5022217		
Basınç Rijitleştiricisi		37,1	54	2003,4		
Brüt Birim		201,722705		7760,214613		
Tanım		Alan	Merkez	Birincil Moment		
Çekme Rijitleştiricisi		21	8	168		
Çekme Başlıkları		53,2	0,35	18,62		
Çekme Rijitleştiricisi Ayakları		14,8822211	4	59,52888458		
Sol Eğik Ek Parça		12,3197865	8,5	104,7181856		
Sağ Eğik Ek Parça		11,5950932	8	92,76074576		
Ek Parçaların Üstü		7	16,5	115,5		
Ek Parçaların Başlıkları		67,3103737	0,35	23,55863078		
Ek Parçalar		276,389696		828,8353314		
Toplam Brüt Alan		881,557811				
Toplam Etkin Alan		812,669267				
Toplam Birincil Moment		19569,5219				
Merkez		24,0805487				
ATALET MOMENTİ						
Tanım		Merkez	Uzaklık	Toplam		
Gövde		5737,78396	153,948645	5891,7326		
Basınç Başlığı		1,58923333	15442,8542	15444,44348		
Basınç Rijitleştiricisi Ayakları		65,2214663	4860,13971	4925,361178		
Basınç Rijitleştiricisi		1,51491667	33210,9392	33212,45414		
Brüt Birim		85735,5287				
Etkin Birim		69969,9414				
Çekme Rijitleştiricisi		0,8575	5430,265	5431,122499		
Çekme Başlığı		2,17233333	29958,9918	29961,16411		
Çekme Rijitleştiricisi Ayakları		39,6859231	3000,46739	3040,153312		
Sol Eğik Ek Parça		296,701526	2990,67129	3287,372815		
Sağ Eğik Ek Parça		247,361989	2998,30614	3245,668126		
Ek Parçaların Başlıkları		2,74850692	37905,0927	37907,84119		
Ek Parçaların Üstü		0,28583333	402,253034	402,5388671		
Ek Parçalar				127788,6075		
Brüt Kesit		384995,193				
Etkin Kesit		337698,432				

Tablo 5.2. Islak faz için hesaplamalar

ISLAK FAZ İÇİN HESAPLAMALAR			
<b>KESİT ÖZELLİKLERİ</b>			
Açıklık	Lo	4000	
Beton Yüksekliği	h	100	
Trapez Sac Genişlik	b	980	
Trapez Sac Kalınlık	tp	0,7	
Trapez Sac Yükseklik	hp	54	
Ağırlık Merkezi	yg	24,08055	
Brüt Area	Ag	881,5578	
Etkin Alan	Aeff	812,6693	
Birim Ağırlık	Wa	7,02	
Brüt Atalet Momenti	Ig	384995,2	
Etkin Atalet Momenti	Ieff	337698,4	
<b>TEK AÇIKLIK İÇİN TASARIM DEĞERLERİ</b>			
Tasarım Yükü	Wd	4,771	
Tasarım Momenti	Md1	9,542	
Tasarım Gerilmesi	σd	680,40	283%
<b>ÇİFT AÇIKLIK İÇİN TASARIM DEĞERLERİ</b>			
Tasarım Yükü	Wd	4,771	
Tasarım Momenti	Md1	2,385	
Tasarım Gerilmesi	σd	170,10	71%
Deplasman Yükü	Wdisp	2,20	
Deplasman	Δmax	2,75	
Sınır Deplasman	Δsınır	6,67	
<b>YÜK KABULLERİ</b>			
Trapez Sac Zati Ağırlığı	W1	0,069	
Beton Zati Ağırlığı	W2	0,635	
	W3	1,127	
Beton Yığılma Ağırlığı	W4a	0,3675	
	W4b	1,47	
	W4	1,47	
Beton Dökümü İşletme Yükü	W5a	1,96	
	W5b	1,47	
	W5	1,47	
<b>3 AÇIKLIK İÇİN TASARIM DEĞERLERİ</b>			
Tasarım Yükü	Wd	4,771	
Tasarım Momenti	Md1	0,848	
Tasarım Gerilmesi	σd	60,480	25%
Deplasman Yükü	Wdisp	2,20	
Deplasman	Δmax	0,69	
Sınır Deplasman	Δsınır	4,44	
<b>4 AÇIKLIK İÇİN TASARIM DEĞERLERİ</b>			
Tasarım Yükü	Wd	4,771	
Tasarım Momenti	Md1	0,51	
Tasarım Gerilmesi	σd	36,45	15%
Deplasman Yükü	Wdisp	2,20	
Deplasman	Δmax	0,20	
Sınır Deplasman	Δsınır	3,33	

Tablo 5.3. Kompozit faz için hesaplamalar

KOMPOZİT FAZ İÇİN HESAPLAMALAR			
<b>ÇİFT AÇIKLIK İÇİN TASARIM DEĞERLERİ</b>			
Geçici Destek Tepki Kuvveti	R2	5,50	
Tasarım Yükü	Wd	6,566	
Tasarım Tepki Kuvveti	R2d	7,7	
Tasarım Kesme Kuvveti	Vd	16,98	
Kesme Açıklığı	a	1,23	
Maksimum Moment	Mmax	20,83	
Yapışma Kayma Kapasitesi	Va	-0,340	
<b>Va&lt;Vd ise Ara Mesnetler Geçici Olamaz.</b>			
Mesnet Tepkileri	V1=V3	4,92	
Mesnet Tepkileri	V2	8,21	
Kesme Açıklıkları	a1=a3	0,375	
	a2	0,625	
Yapışma Kayma Kapasitesi	Va1,3	13,08	
	Va2	5,35	
<b>3 AÇIKLIK İÇİN TASARIM DEĞERLERİ</b>			
Geçici Destek Tepki Kuvveti	R2=R3	3,22	
Tasarım Yükü	Wd	6,566	
Tasarım Tepki Kuvveti	R2d=R3d	4,51	
Tasarım Kesme Kuvveti	Vd	17,65	
Kesme Açıklığı	a	1,09	
Maksimum Moment	Mmax	19,15	
Yapışma Kayma Kapasitesi	Va	0,429	
<b>Va&lt;Vd ise Ara Mesnetler Geçici Olamaz.</b>			
Mesnet Tepkileri	V1=V4	3,50	
Mesnet Tepkileri	V2=V3	9,63	
Kesme Açıklıkları	a1=a4	0,26666667	
	a2	0,4	
	a3	0,33333333	
Yapışma Kayma Kapasitesi	Va1,4	20,93	
	Va2	11,87	
	Va3	15,50	
<b>4 AÇIKLIK İÇİN TASARIM DEĞERLERİ</b>			
Geçici Destek Tepki Kuvveti	R2=R4	2,51	
	R3	2,04	
Tasarım Yükü	Wd	6,566	
Tasarım Tepki Kuvveti	R2d=R4d	3,52	
	R3d	2,86	
Tasarım Kesme Kuvveti	Vd	17,07	
Kesme Açıklığı	a	1,02	
Maksimum Moment	Mmax	17,50	
Yapışma Kayma Kapasitesi	Va	0,823	
<b>Va&lt;Vd ise Ara Mesnetler Geçici Olamaz.</b>			
Mesnet Tepkileri	V1=V5	2,58	
Mesnet Tepkileri	V2=V4	7,50	
	V3	6,10	
Kesme Açıklıkları	a1=a5	0,20	
	a2,4	0,30	
	a3	0,23	
Yapışma Kayma Kapasitesi	Va1,5	30,65	
	Va2,4	17,63	
	Va3	24,97	

## 5.2. Değişen Sac Kalınlıklarına Göre Gerekli Açıklık Sayısının Belirlenmesi

Tablo 5.4. Değişken sac kalınlığına göre belirlenen açıklık sayısı

tp (mm)	h (mm)	Lo (mm)	Ieff (mm <sup>4</sup> )	N
0,7	100	4000	337,7×10 <sup>3</sup>	3
0,8	100	4000	391,1×10 <sup>3</sup>	3
0,9	100	4000	444,7×10 <sup>3</sup>	2
1	100	4000	498,7×10 <sup>3</sup>	2
1,1	100	4000	553,1×10 <sup>3</sup>	2
1,2	100	4000	607,9×10 <sup>3</sup>	2

Tablo 5.4'te döşemenin kalınlığı ve açıklık mesafesi sabit tutularak, değişen kompozit döşeme sacı kalınlığına göre değişen etkin atalet momenti ve buna bağlı olarak da değişkenlik gösteren gerekli açıklık sayısı belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak uygulama sırasında gerekli geçici destek sayısının önceden belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 5.3. Değişen Döşeme Kalınlığına Göre Gerekli Açıklık Sayısının Belirlenmesi

Tablo 5.5. Değişken beton kalınlığına göre belirlenen açıklık sayısı

tp (mm)	h (mm)	Lo (mm)	Ieff (mm <sup>4</sup> )	N
1	100	4000	498,7×10 <sup>3</sup>	2
1	120	4000	498,7×10 <sup>3</sup>	2
1	140	4000	498,7×10 <sup>3</sup>	2
1	160	4000	498,7×10 <sup>3</sup>	3
1	180	4000	498,7×10 <sup>3</sup>	3
1	200	4000	498,7×10 <sup>3</sup>	3

Tablo 5.5'te kompozit döşeme sacının kalınlığı ve açıklık mesafesi sabit tutularak, değişen döşeme kalınlığına göre uygulama sırasında dikkat edilmesi gereken açıklık sayısı verilmiştir. Tablodan da görülebildiği gibi artan döşeme kalınlığına bağlı olarak artan yükler sebebiyle gerekli olan açıklık sayısı ve dolayısıyla gerekli geçici ara destek sayısında artış tespit edilmiştir.

#### 5.4. Değişen Mesafeye Göre Gerekli Açıklık Sayısının Belirlenmesi

Tablo 5.6. Değişken açıklık boyuna göre belirlenen açıklık sayısı

tp (mm)	h (mm)	Lo (mm)	leff (mm <sup>4</sup> )	N
1	100	3000	498,7×10 <sup>3</sup>	2
1	100	3500	498,7×10 <sup>3</sup>	2
1	100	4000	498,7×10 <sup>3</sup>	2
1	100	4500	498,7×10 <sup>3</sup>	2
1	100	5000	498,7×10 <sup>3</sup>	3
1	100	5500	498,7×10 <sup>3</sup>	3

Tablo 5.6 'da kompozit döşeme sacının kalınlığı ve döşeme kalınlığı sabit tutularak, değişen açıklık mesafesine göre değişkenlik gösteren gerekli açıklık sayısı verilmiştir. Buradan da anlaşıldığı üzere açıklık mesafesi arttıkça gerekli olan açıklık sayısı ve dolayısıyla da gerekli olan geçici ara destek sayısında artış olduğu görülmüştür.

#### 5.5. Genel Değerlendirme

Kompozit döşemeleri oluşturan malzeme kalitelerindeki gelişmeler, deneyimler ve tasarım yöntemlerindeki değişiklikler kompozit çelik sac ve beton birlikte kullanılarak yapılan döşeme sistemlerindeki elemanların daha hafif ve ekonomik boyutlandırılabilmesini sağlamaktadır. Ekonomik ve güvenli kompozit döşeme tasarımı sadece boyutlandırmaya değil, özellikle yapım aşamasında da elde edilebilecek ekonomiye, dolayısıyla inşaat sırasındaki dikkat ve kontrollere de bağlıdır [7]. Kompozit döşeme sistemlerinin uygulama aşamasında kullanılan ve döşemeden beklenen performansı yüksek düzeyde gösterebilmesi açısından önemli bir yardımcı eleman olan geçici desteklerin doğru bir şekilde kullanılması döşemeden hem kullanılabilirlik açısından hem de estetik açıdan daha verimli sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi bu yardımcı elemanların özellikle de ıslak faz aşamasında aldığı aktif rol göz ardı edilemeyecek kadar büyüktür. Bununla birlikte yapıdan, gelişen teknoloji ile birlikte elde edilen imkanlar ve estetik yönden artan beklentiler sebebiyle özellikle de plaza, gökdelen

vs. gibi çağın yüksek katlı çelik yapılarında yaygın olarak tercih edilen kompozit döşeme sistemleri ile birlikte uzun mesafeleri daha az açıklık sayısı ile geçebilme imkanı sunarken aynı zamanda bina yükünden de ciddi oranda tasarruf sağlayarak günümüz şartlarında inşaat sektörü içerisinde vazgeçilmez bir yer edinmiştir. Bu denli gözde bir döşeme tipinin her ne kadar tasarımı aşamasında yeterli bilgi ve donanımına sahip olunması gerekiyorsa da saha içerisinde doğru bir şekilde uygulamak da bir o kadar önemlidir. Bu sebeptendir ki bu çalışmada kompozit döşeme sistemlerinin doğru bir şekilde uygulanması ve istenilen performansın yüksek düzeyde sağlanması açısından önemli bir yere sahip olan geçici desteklerin kullanımına yönelik örnek bir çelik trapez sac baz alınarak değerlendirilmiş ve elde edilen veriler ile bu elemanların uygulanmasına yönelik kılavuz niteliğindeki tablolar uygulamacı inşaat mühendislerinin kullanımına sunulmuştur.

Bu çalışmada kompozit döşeme uygulamaları esnasında kullanılan geçici desteklerin doğru ve yeterli şekilde konumlandırılabilmesi için öncelikli olarak döşemede hem kalıp hem de betonarme döşeme sistemlerindeki donatı ile aynı görevi gören trapez sacın kesit özellikleri kullanılarak elemanın taşıma gücünün belirlenmesinde doğrudan etkili olan atalet momenti hesabı yapılmıştır. İnce cidarlı soğuk şekillendirilmiş çelik elemanlarda meydana gelebilen yerel burkulma riskine karşılık trapez sac kesitinin burkulma dayanımı ve burkulma boyu hesaplanarak bu bilgilerden hareketle kesitteki tüm parçaların etkin alanı bulunarak hesaplamalarda asıl kullanılacak olan etkin atalet momenti hesabı yapılmıştır. Açıklık sayısının doğru bir şekilde belirlenebilmesi de trapez sacın dayanımının doğru belirlenebilmesi kadar önemlidir. Bu sebeple öncelikli olarak kiriş uzunluğu ve döşeme üzerine gelecek olan beton kalınlığı belirlenerek ıslak faz yani çelik sacın uygulama aşamasında tüm yükleri taşıdığı durumda üzerine gelebilecek olan ölü ve hareketli yükler hesaplanmış ve bu değerlerin tasarım katsayıları oranında arttırılması ile elde edilen bir yük kombinasyonu kiriş üzerine etki ettirilerek hesaplamalarda kullanılmıştır. Kirişin tek, iki, üç ve dört açıklı durumlarına ait kesme ve moment diyagramları çizilerek denklemler elde edilmiş ve bulunan tasarım yayılı yükü etkisi altında oluşan tasarım momenti ve buna bağlı olarak bulunan tasarım gerilme dayanımı elde edilmiştir. Bu değerlerin yönetmelik tarafından belirlenen, kullanılan çelik trapez sacın karakteristik akma dayanımının en fazla %70'i ile sınırlandırılması kuralını sağlayıp sağlamadığı



kontrolü yapılmıştır. Bu kuralın sağlandığı durumlarda açıklık sayısı yeterli görülmüş sağlanmadığı durumlarda ise bu değer, geçici destek kullanılarak açıklık sayısının artırılması yoluna gidilerek yeniden hesaplanmıştır. Tasarım gerilmesi değerinin yeterli olduğu durumda yine yönetmeliğin belirlediği  $L/300$  sehim sınır değerinin kontrolü yapılarak döşemenin kompozit faz aşaması için hesaplamalara devam edilmiştir. Bu aşamada önemli olan kesme açıklığı ve kesme kuvveti değerleri hesaplanmış ve yine yönetmelik tarafından verilen ve bu değerlerin de yer aldığı Denklem 4.21 kullanılarak, beton ve çelik sac arasındaki aderansın ve mekanik çalışmanın uygulanan yükler dahilinde yeterliliğini ifade eden yapışma kayma göçmesi kontrolü yapılarak belirlenen açıklık sayısı belirlenmiştir. Kiriş uzunluğu, beton kalınlığı ve sac kalınlığı gibi değişken parametrelere bağlı olarak değişen geçici destek dolayısıyla açıklık sayısı değerleri sonuçlar bölümünde tablo yöntemi ile sunulmuştur.

## KAYNAKLAR

- [1] Yorgun C., Beton Kompozit Döşeme Plaklarının Pozitif Moment Bölgesindeki Davranışı ve Taşıma Gücü, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1992, 21741.
- [2] Çolak H., Kompozit Döşeme-Kolon-Kiriş Nedir? Çeşitleri ve Özellikleri, İnsapedia, <https://insapedia.com/kompozit-doseme-kolon-kiris-nedir-cesitleri-ve-ozellikleri/> (Ziyaret Tarihi: 23 Ağustos 2019).
- [3] BS5950, Structural use of steelwork in building Part 6. Code of practice for design of light gauge profiled steel sheeting, British Standard Institute, London, UK, 1995.
- [4] Özden Ş., Okay F., ALDECK Kompozit Döşeme Trapezi Kullanılarak İmal Edilen Kompozit Döşemelerde Taşıma Kapasitesi Deneyleri ve m-k Metodu Katsayıları, ALMETSAN Teknik Broşürleri, 417-1589, 28-50, 2008.
- [5] Almetsan Yapı Elemanları Sanayi, Aldeck Kompozit Döşeme Sistemleri, <http://www.almetsan.com/en/tr/urunler/aldeck-50-980.aspx.com> (Ziyaret Tarihi: 30.06.2019).
- [6] Sayın S., Kompozit Döşeme, İnşaat Gündemi, <https://www.insaatgundemi.com/kompozit-doseme.html> (Ziyaret Tarihi: 25 Temmuz 2019).
- [7] Yorgun C., Çelik Sac-Beton Kompozit Döşeme Sistemlerinin Uygulamalarına Yönelik Değerlendirmeler, TMH – Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 435 – 2005/1.
- [8] Cross H., Grinter L. E., Numerical Methods of Analysis in Engineering, 1200, Macmillan, London, 1949.
- [9] MCRMA Floor Deck Group, Propping Steel Floor Decking Best Practice Guidelines, <https://mcrma.co.uk/wp-content/uploads/2017/08/MCRMA-FD-04-data-sheet-Jan-17.pdf> (Ziyaret Tarihi: 27 Temmuz 2019).
- [10] ANSI/AISC 360-16, Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA, 2016.
- [11] Şahin Ş., KOÜ Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, <http://makina.kocaeli.edu.tr/upload/duyurular/29032005492462452.pdf> (Ziyaret Tarihi: 28 Temmuz 2019).

- [12] Kıvanç T., Bölüm 3. Kompozit Döşemeler, [https://insaat.eskisehir.edu.tr/kivanct/İNŞ%20569/icerik//3.KOMPOZİT%20DÖŞEMELER\\_Ö.pdf](https://insaat.eskisehir.edu.tr/kivanct/İNŞ%20569/icerik//3.KOMPOZİT%20DÖŞEMELER_Ö.pdf) (30 Temmuz 2019).
- [13] TS EN 1993-1-3: Çelik Yapıların Projelendirilmesi – Bölüm 1-3: Genel Kurallar – Soğukta Biçimlendirilmiş İnce Ölçülü Elemanlar ve Saçla Kaplama İçin”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2007.
- [14] Günçtekin O., Burkulma Dayanımı, <http://osmanguctekin.cbu.edu.tr/wp-content/uploads/2017/11/6-BURKULMA.pdf> (30 Temmuz 2019).
- [15] İntegrasyon yöntemi ile kiriş deplasmanının tekillik fonksiyonları ile hesaplanması, <https://www.youtube.com/watch?v=uabR3RcNWDw> (Ziyaret Tarihi: 1 Eylül 2019).
- [16] Kutanis M., Moment Dağıtma Hardy Cross Yöntemi, <https://docplayer.biz.tr/1055361-Moment-dagitma-hardy-cross-yontemi.html> (Ziyaret Tarihi: 2 Eylül 2019).

## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Kılıç S.**, Okay F., Kompozit Döşemelerde Geçici Desteklerin Konumlandırılması, *5. Uluslararası Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, İstanbul, 21-22 Aralık 2019.



## ÖZGEÇMİŞ

Seren KILIÇ lise öğrenimini Atilla Uras Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2012 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2017 yılında mezun oldu. 2017 yılında Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir.

