

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**VEREVLİLİK AÇISININ ÖNGERİLMELİ BETONARME
KÖPRÜNÜN DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

DOKTORA TEZİ

Osama GHZAYEL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Bilim Dalı

HAZİRAN 2025

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

VEREVLİLİK AÇISININ ÖNGERİLMELİ BETONARME
KÖPRÜNÜN DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

DOKTORA TEZİ

Osama GHZAYEL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Muhammet Zeki ÖZYURT

HAZİRAN 2025

Osama GHZAYEL tarafından hazırlanan “Verevlilik Açısının Öngerilmeli Betonarme Köprünün Davranışı Üzerindeki Etkileri” adlı tez çalışması 13.12.204 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Bilim Dalı’nda Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :	Prof Dr. Metin İPEK Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Doç. Dr. Muhammet Zeki ÖZYURT (Danışman) Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Doç. Dr. Zeynep YAMAN Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Doç. Dr. Elif BORU Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Dr. Öğr. Üyesi Necati MERT Sakarya Üniversitesi	



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “VEREVLİLİK AÇISININ ÖNGERİLMELİ BETONARME KÖPRÜNÜN DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(04/06/2025).

Osama GHZAYEL





Anneme, rahmetli babama, eşime ve çocuklarıma bu tezi ithaf ediyorum



TEŞEKKÜR

Bu doktora tezimin hazırlanmasında bana sağladığı tüm imkanlar ve destekler için TÜRKİYE CUMHURİYETİ'ne en içten teşekkürlerimi sunarım. Eğitim ve araştırma alanlarında sunduğu katkılar, bu çalışmaların gerçekleşmesini mümkün kılmıştır. Cumhuriyetimizin bilimsel gelişimine ve akademik başarıya verdiği önem, benim gibi genç araştırmacılara ilham kaynağı olmaktadır. Bu fırsatları bana sunduğu için Türk Cumhuriyeti'ne minnettarım.

Araştırma yapmam için mükemmel bir ortam sağlayan, mükemmel rehberliği, ilgisi, sabrı ve desteği için danışmanım Doç. Dr. Muhammet Zeki ÖZYURT'a en derin teşekkürlerimi sunarım.

Tezimi tamamlama sürecinde köprüler hakkında bana her türlü bilgiyle destek olan Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ndeki tüm hocalarıma saygı ve şükranlarımı sunarım.

Bana her zaman yardım etmeye istekli olan ve en iyi önerilerini sunan değerli arkadaşlarım olan tüm sınıf arkadaşlarıma teşekkür etmek isterim. Onlar olmasaydı yalnız olurdu, araştırmam onların yardımları olmadan mümkün olamazdı.

Son olarak ve en önemlisi, anneme ve rahmetli Abdulwahab Ghzayel babama teşekkür etmek isterim. Beni dünyaya getirdiler, büyüttüler, destek oldular, öğretiler ve sevdiler.

Osama GHZAYEL



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR.....	ix
İÇİNDEKİLER.....	xi
KISALTMALAR.....	xiii
SİMGELER.....	xv
TABLO LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY.....	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KÖPRÜLERİN HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Literatür Araştırması	3
2.2. Köprünün Tanımı	9
2.3. Köprü Yapım Malzemeleri.....	9
2.3.1. Taş.....	10
2.3.2. Betonarme ve ön gerilmeli beton	11
2.3.3. Çelik.....	11
2.4. Ana Köprü Tipleri	13
2.4.1. Kirişli köprüler.....	13
2.4.2. Kemer köprüler	14
2.4.3. Kablo askılı köprüler.....	15
2.4.4. Rijit çerçeve köprüler.....	16
2.4.5. Kafes köprüler.....	17
2.4.6. Betonarme köprüler.....	18
2.4.7. Öngerilmeli beton köprüler	18
2.4.7.1. Yüksek mukavemetli çelik ve betona ihtiyaç.....	19
2.4.7.2. Öngerilmeli beton avantajları	19
2.4.7.3. Öngerilme uygulaması	20
2.4.7.4. Yüksek mukavemetli beton karışımları.....	20
2.4.7.5. Öngerilme yöntemleri	21
2.4.7.5.1. Öngerme.....	21
2.4.7.5.2. Ard-germe	21
2.4.7.5.3. Öngerilme sistemi.....	21
2.4.7.5.4. Freyssinet sistemi.....	22
2.4.7.5.5. Magnel blaton sistemi	22
2.4.7.5.6. Gifford udall sistemi	22
2.4.7.5.7. Lee McCall sistemi	23
2.4.7.6. Diğer öngerilme yöntemleri	23
2.4.7.6.1. Elektriksel ön gerilim.....	23
2.4.7.6.2. Kimyasal öngerilme	23
2.4.7.7. Öngerilme kayıpları.....	23
2.4.7.7.1. Öngerme kayıpları	23

2.4.7.7.2. Ard-germe kayıpları	24
2.4.7.7.3. Betonun elastik deformasyonundan kaynaklanan kayıp	24
2.4.7.7.4. Betonun büzülmesinden kaynaklanan kayıp	24
2.4.7.7.5. Sürünme nedeniyle oluşan kayıp	25
2.4.7.7.6. Ankraj kayması nedeniyle oluşan kayıp	26
2.4.7.7.7. Sürtünmeden kaynaklanan kayıp	26
2.5. Köprü Tipinin Seçimi	27
2.6. Köprünün Bileşenleri.....	28
2.7. Yükler ve Gerilmeler	29
2.8. Kompozit Köprülerin Avantajları.....	29
2.9. Köprülerin Maksimum Açıklıkları	30
2.10. Verevli/Verevsiz Beton Kiriş-Döşeme Köprülerinin Davranışı.....	30
2.11. Sonlu Elemanlar Yöntemi	34
2.11.1. Temeller	34
2.11.2. Geometrik ve elastik denklemler	36
2.11.3. Köprü analizinde uygulamalar	38
3. SAYISAL UYGULAMA	43
3.1. Sayısal Uygulama Tez Konusu	43
3.2. Tezin Katkısı Nedir?.....	43
3.3. Yöntem	43
3.3.1. Model açıklaması	43
3.3.1.1. Birinci model	45
3.3.1.2. İkinci model.....	46
3.3.1.3. Üçüncü model.....	47
3.3.1.4. Dördüncü model	48
3.3.2. Tendon özellikleri	49
3.3.3. Uygulanan yükler	49
3.4. Model Analizi Tip Seçimi	50
3.5. İnşaat Aşamaları	50
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	51
4.1. Eğilme Gerilmeleri	51
4.2. Kesme Kuvvetleri.....	56
4.3. Eğilme Momentleri.....	59
4.4. Yerdeğiştirme	61
4.5. Burulma Momentleri	64
4.6. Diyagramlar	67
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR.....	79
EKLER	83
ÖZGEÇMİŞ	109

KISALTMALAR

AASHTO	: Amerikan Karayolu ve Ulaştırma Görevlileri Kurumu
CFCC	: Karbon Fiber Kompozit Kablo
FEA	: Sonlu Elemanlar Analizi
FEM	: Sonlu Elemanlar Metodu
IRC	: Hindistan Yolları Kongresi
LRFD	: Yük Faktörü Direnç Tasarımı
RCC	: Çimento Betonarme
TMODE	: Modal Analiz Programı
TPT	: Enine Post-Gerilim



SİMGELER

a	: Düğüm Yer Değiştirmeleridir
A	: Kablonun Kesit Alanı
CO₂	: Karbon Dioksit
E	: Young Modülü
E_C	: Betonun Elastisite Modülü
E_p	: Öngerilme İçin Elastiklik Modülü
E_s	: Çeliğin Elastiklik Modülü
f	: Dış Düğüm Yükleri
f_{c'}	: Betonun 28 Günlük Basınç Dayanımı
f_c	: İzin Verilen Basınç Dayanımı
f_{ps}	: Öngerilmeli Çeliklerin Gerilmesi
f_{pu}	: Öngerilmeli Çeliklerin Çekme Dayanımı
f_{pu}	: Çeliğin Çekme Dayanımı
f_{py}	: Öngerilmeli Çeliklerin Akma Dayanımı
f_{py}	: Çeliğin Akma Dayanımı
G	: Kayma Modülü
K	: Küresel Sertlik Matrisi
L	: Kablonun Uzunluğu
P	: Kablodaki Ön Gerilim Kuvveti
SO₂	: Kükürt Dioksit
U	: Toplam Gerinim Enerjisi
W	: Toplam Potansiyel Enerjidir
α	: Eğrilik Katsayısı
Δ	: Kayar Ankraj
ϵ_c	: Sürünme Gerilmesi (Betonun Basınç Dayanımı σ_c 'ye Karşılık Gelen Kırılma-Kısalma Oranı)
ϵ_e	: Elastik Şekil Değiştirme
λ	: Young Modülü ve Poisson Oranı ile İlgili Bir Sabittir
μ	: Poisson Oranı
Π	: Toplam Potansiyel Enerjiyi
Φ	: Basitçe Sürünme Katsayısı



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. AASHTO Kirişin maksimum açıklık uzunluğu.....	44
Tablo 3.2. Tendon profili (3) boyutlu koordinatları.....	49





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Verevli köprüler tanımı	31
Şekil 2.2. Verevsiz bir tabelanın sapma profili	32
Şekil 2.3. Verevli bir mesnette kuvvet akışı	33
Şekil 2.4. Gerilmelerin mühendislik perspektifleri olarak yorumlanması (a) Bir kutu kirişteki ağın kabuk elemanları ve dikey kesme gerilmeleri (b) Açıldıktan sonra yatay yöndeki gerilmeler (c) Başlıca ana gerilmeler.....	40
Şekil 2.5. Bir kesit üzerindeki gerilim entegrasyonunun kiriş teorisiyle karşılaştırılması.	41
Şekil 3.1. İlk modelin yüksekliği	45
Şekil 3.2. İlk modelin planı.....	45
Şekil 3.3. İlk model için döşemenin boyutları	45
Şekil 3.4. İlk model kolonu ve kolon başlığının boyutları.....	46
Şekil 3.5. Tüm modeller için I-kirişin boyutları.	46
Şekil 3.6. İkinci modelin görünüşü	46
Şekil 3.7. İkinci modelin planı.....	47
Şekil 3.8. İkinci model için döşemenin boyutları.	47
Şekil 3.9. Üçüncü modelin planı.....	47
Şekil 3.10. Üçüncü model için döşemenin boyutları	47
Şekil 3.11. Dördüncü modelin görünüşü	48
Şekil 3.12. Dördüncü modelin planı	48
Şekil 3.13. Dördüncü model için döşemenin boyutları.....	48
Şekil 3.14. Dördüncü model için kolon ve kolon başlığının boyutları	48
Şekil 3.15. Hareketli yük.	50
Şekil 4.1. I-kirişi (1) nolu eğilme gerilmeleri (+Z).....	51
Şekil 4.2. I-kirişi (2) nolu eğilme gerilmeleri (+Z).....	52
Şekil 4.3. I-kirişi (3) nolu eğilme gerilmeleri (+Z).....	52
Şekil 4.4. I-kirişi (4) nolu eğilme gerilmeleri (+Z).....	53
Şekil 4.5. I-kirişi (1) nolu eğilme gerilmeleri (-Z).....	54
Şekil 4.6. I-kirişi (2) nolu eğilme gerilmeleri (-Z).....	54
Şekil 4.7. I-kirişi (3) nolu eğilme gerilmeleri (-Z).....	55
Şekil 4.8. I-kirişi (4) nolu eğilme gerilmeleri (-Z).....	55
Şekil 4.9. I-kirişi (1) nolu kesme kuvvetleri.	56
Şekil 4.10. I-kirişi (2) nolu kesme kuvvetleri.	56
Şekil 4.11. I-kirişi (3) nolu kesme kuvvetleri.	57
Şekil 4.12. I-kirişi (4) nolu kesme kuvvetleri.	58
Şekil 4.13. I-kirişi (1) nolu eğilme momentleri.	59
Şekil 4.14. I-kirişi (2) nolu eğilme momentleri.	59
Şekil 4.15. I-kirişi (3) nolu eğilme momentleri.	60
Şekil 4.16. I-kirişi (4) nolu eğilme momentleri.	61
Şekil 4.17. I-kirişi (1) nolu yerdeğiştirme.....	61
Şekil 4.18. I-kirişi (2) nolu yerdeğiştirme.....	62
Şekil 4.19. I-kirişi (3) nolu yerdeğiştirme.....	63

Şekil 4.20. I-kirişi (4) nolu yerdeğiştirme.....	63
Şekil 4.21. I-kirişi (1) nolu burulma momentleri.	64
Şekil 4.22. I-kirişi (2) nolu burulma momentleri.	65
Şekil 4.23. I-kirişi (3) nolu burulma momentleri.	65
Şekil 4.24. I-kirişi (4) nolu burulma momentleri.	66
Şekil 4.25. Birinci model (0°) moment diyagramı.....	67
Şekil 4.26. İkinci model (21°) moment diyagramı.....	67
Şekil 4.27. Üçüncü model (37.6°) moment diyagramı.	68
Şekil 4.28. Dördüncü model (49°) moment diyagramı.....	68
Şekil 4.29. Maksimum eğilme momenti grafiği.	69
Şekil 4.30. Birinci model (0°) eğilme gerilme diyagramı.....	69
Şekil 4.31. İkinci model (21°) eğilme gerilme diyagramı.....	70
Şekil 4.32. Üçüncü model (37.6°) eğilme gerilme diyagramı.	70
Şekil 4.33. Dördüncü model (49°) eğilme gerilme diyagramı.....	71
Şekil 4.34. Birinci model (0°) yerdeğiştirme diyagramı.....	71
Şekil 4.35. İkinci model (21°) yerdeğiştirme diyagramı.....	72
Şekil 4.36. Üçüncü model (37.6°) yerdeğiştirme diyagramı.....	72
Şekil 4.37. Dördüncü model (49°) yerdeğiştirme diyagramı.....	73

VEREVLİLİK AÇISININ ÖNGERİLMELİ BETONARME KÖPRÜNÜN DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

ÖZET

Verevli köprüler, genellikle arazi, yol hizalaması veya engel kısıtlamaları nedeniyle yol ve destek iskeleleri arasında açılı bir yönelimle tasarlanır. Bu benzersiz tasarım, yük dağılımını etkiler ve yapısal bütünlüğü korumak ve güvenliği optimize etmek için özel mühendislik gerektirir. Verevli köprüler, zorlu arazilerde gezinmeye ve ulaşım verimliliğini artırmaya yardımcı olur. Verevli köprülerin yapısal davranışı, tasarım ve genel performansları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bir köprüdeki üst yapının verevliği, köprünün çeşitli yüklere nasıl tepki verdiği konusunda kritik bir rol oynar, çünkü verevlik açısı kuvvetlerin dağılımını ve yapının genel kararlılığını etkiler. Bu nedenle, bu tezde, verevli açısının ön gerilimli beton üst yapının davranışı üzerindeki etkileri, sürekli üç açıklığa sahip dört model analiz edilerek araştırılmıştır. Her biri farklı bir verevli açıya sahip dört model analiz edilmiştir. Bu çalışmada ölü ve hareketli yükler uygulanmıştır. Dinamik analiz (deprem yükleri) uygulanmamıştır. Bu çalışmada dikkate alınan verevli açılar 0° , 21° , $37,6^\circ$ ve 49° olmuştur. Bu modeller, ayrıntılı ve doğru yapısal analize olanak tanıyan oldukça etkili bir hesaplama tekniği olan Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) kullanılarak analiz edildi. Analiz, tüm köprü bileşenlerini ve yapılarını Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılarak analiz etmek ve tasarlamak için tasarlanmış özel bir yazılım olan Midas Civil kullanılarak gerçekleştirildi. Çalışmanın bulguları, köprü yapısındaki eğilme gerilmelerinin, kesme kuvvetlerinin, eğilme momentlerinin, burulma momentlerinin ve yer değiştirmelerin verevli açısındaki artıştan önemli ölçüde etkilendiğini ortaya koydu. Etki, özellikle verevli açısı 21° 'yi aştığında belirginleşir. Verevli açısı arttıkça, eğilme ve kesme kuvvetleri gibi iç kuvvetlerin dağılımı daha düzensiz hale gelir ve bu da köprünün genel kararlılığını etkileyebilir. Verevli köprülerin tasarımı, yük dağılımına göre açıların ayarlanmasını, yapısal stabilitenin sağlanmasını ve arazi veya hizalama kısıtlamalarının etkili bir şekilde karşılanmasını içerir. Bu nedenle, verevli köprülerin tasarım aşamasında verevli açısının uygun şekilde dikkate alınması esastır. Bu değerlendirme, köprünün hem güvenli hem de performansında verimli olmasını sağlayacak ve aksi takdirde yük altında yanlışlıklara veya potansiyel yapısal sorunlara yol açabilecek faktörleri hesaba katacaktır. Bu araştırma, verevli köprülerin işlevselliğini ve ömrünü optimize etmek için hassas modelleme ve doğru tasarım ayarlamalarının önemini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Verevli Köprü, I-Kiriş, Burulma Momenti, Öngerilmeli Üstyapı, Gerilmeler, Kesme Kuvveti, Yerdeğiştirme.



EFFECTS OF SKEWNESS ANGLE ON THE BEHAVIOR OF PRESTRESSED REINFORCED CONCRETE BRIDGE

SUMMARY

Skewed bridges are designed with an angled orientation between the roadway and supporting piers, often due to terrain, road alignment, or obstacle constraints. This unique design affects load distribution, requiring specialized engineering to maintain structural integrity and optimize safety. Skewed bridges help navigate difficult landscapes and improve transportation efficiency. The structural behavior of skewed bridges has a significant impact on their design and overall performance. The skewness of the superstructure in a bridge plays a critical role in how the bridge responds to various loads, as the angle of skew affects the distribution of forces and the overall stability of the structure. Therefore, in this thesis, the effects of skewness angle on the behavior of prestressed concrete superstructure bridge are investigated by analyzing four model with continuous three spans. In this study, dead and live loads were applied. Dynamic analysis (earthquake loads) were not applied. Four models, each with a different skew angle, were analyzed. The skew angles considered in this research were 0° , 21° , 37.6° , and 49° . These models were analyzed using the Finite Element Method (FEM), a highly effective computational technique that allows for detailed and accurate structural analysis. The analysis was conducted using Midas Civil, a specialized software designed for analyzing and designing all bridge components and structures using Finite Element Method. The findings of the study revealed that bending stresses, shear forces, bending moments, torsional moments, and displacements in the bridge structure are significantly affected by the increase in the skew angle. The impact is particularly noticeable when the skew angle exceeds 21° . As the skew angle increases, the distribution of internal forces, such as bending and shear forces, becomes more uneven, which can influence the overall stability of the bridge. Designing skewed bridges involves adjusting angles for load distribution, ensuring structural stability, and accommodating terrain or alignment constraints effectively. Therefore, proper consideration of the skew angle is essential during the design phase of skewed bridges. This consideration will ensure that the bridge is both safe and efficient in its performance, accounting for factors that could otherwise lead to inaccuracies or potential structural issues under load. This research highlights the importance of precise modeling and accurate design adjustments for skewed bridges to optimize their functionality and longevity.

In this study, the stresses in four I-beams with continuous spans of three spans of 24 m each were investigated. From this study, general behaviour can be observed in the bending stress diagrams for the first, second, third, and fourth beams. Initially, the stress distributions follow a similar pattern, with negative values extending between the supports and positive values occurring near them. As the skew angle increases, the stress values increase, especially in the middle of the span. For the first beam, the stresses in the central span increase slightly with a larger skew angle, while the second beam maintains almost the same stress distributions despite the change in angle. In the third beam, significant changes begin around 37.6° , with stresses increasing

significantly between 0 m and 12 m, and an unsymmetrical stress pattern is observed. Similarly, in the fourth beam, the stress values remain close between 0° and 21°, but increase significantly in the middle span (18 m to 36 m) after 21°. Asymmetry is evident in all models, and in the first and second I-beams, the bending stress values in the early spans tend to be higher than those in the later spans, and in the third and fourth beams, the opposite is true.

The shear force diagrams for the first, second, third, and fourth I-beams reveal a general behavior regarding the effect of increasing skew angles. In the first beam, the shear forces remained largely unchanged in the initial span but changed in the middle and third spans, decreasing in the first half of the spans as the skew angle increased to 49°. The second beam showed little change with increasing skew angles, but beyond 37.6° the values returned to the values at 0°, while the third beam showed little change until it reached 49°, with a significant decrease in shear forces in the second half of the middle span. The fourth beam showed a gradual increase in shear forces at 37.6°, followed by a decrease at 49°, with significant decreases (approximately 30%) in the second half of the middle span, and a significant 40% increase in the final part of the third span. In general, the shear force behavior varied between spans and beams, particularly in response to higher skew angles.

Bending moments about the Y axis were also investigated. A general pattern emerges from the moment diagrams for the first, second, third, and fourth I-beams regarding the effect of the skew angles on the moment response. In the first beam, moment changes were minimal across the spans, with a slight increase near the first support at 49° skew, while the middle and third spans maintained similar values despite the skew changes. The second beam exhibited a convex moment line across the first span, increasing in the middle but shifting 25% at 37.6° before returning to its original shape at 49°. The third beam maintained consistent moment values across the spans with 25% increases at 37.6° and 49° skew angles, causing the diagram to change shape, but there was no significant change in the third span. The fourth beam exhibited mostly constant moment values across spans and skew angles, with values increasing by approximately 25% at 49° between 18 m and 30 m, with a slight increase as the skew angle increased in the third span. In general, the moment behavior varied between the beams, with the most pronounced changes occurring at higher skew angles, particularly around 37.6° and 49°.

The displacement diagrams for the first, second, third, and fourth I-beams reveal a clear trend in response to increasing skew angles. In the first beam, the displacement values remained consistent for skew angles of 0° and 21°, but increased by approximately 35% at 37.6° and 75% at 49°, while the shape remained unchanged. The second beam exhibited a similar pattern, with displacement values increasing by 20% at 37.6° and 45% at 49°, and maintaining the same shape. The third beam followed this trend, showing a significant increase of 50% at 37.6° and 100% at 49°, but the signs of the displacements varied between spans. In the fourth beam, the displacement values increased by 60% at 37.6° and 70% at 49°, changing both shape and sign. In particular, the displacement values in the first span were generally higher than in the subsequent spans, and no symmetry was observed in the diagrams. The increases in displacement closely followed the increase in the skewness angle beyond 21°, highlighting the significant impact of geometric adjustments on the structural response.

From the above, it can be concluded that with an increase in the skew angle, the stresses in the skew ed bridge deck differ significantly compared to the stresses in a

flat bridge deck. The critical value of the skew angle, which changes the most in the behavior of the superstructure, occurs at the skew angle of about 37.6° . Therefore, the prestressed continuous superstructure of the bridge should be designed according to these behaviors. In addition, the superstructure behavior should be examined with other close skew angle values between 30° and 45° to determine the maximum values of moments, stresses and shear forces to be produced by using different skew angles.

The torsional moment was also investigated. It was noticed that the behavior of the superstructure changed in different ways after the skew angle was increased beyond 21° . The results of this study largely coincide with the AASHTO standard specifications, which recommend that bridges with a skew angle of 20° or less should be designed as straight bridges.

Anagha et al. (2016), studied the effect of skew angle on the performance of highway bridges. The objective of that study was to investigate the effect of skew angle on varying carriageway width and span length. The parameters considered are: Variation of skew angles as 0° , 20° , 40° and 60° , Variation of carriageway width as 4.5 m, 7.5 m and 10.5 m, Variation of span length as 10 m, 15 m and 20 m. The results are obtained based on the bending moments, shear forces and torsional moments. The critical structural responses are represented in various graphs. First, bending moment for skewed slabs in Knife Edge Load condition and Concentrated Load condition compared to that of straight deck slab decreases with the increase in skew angle for all carriageway widths. The load is transferred through the strip area at the ends i.e., at the obtuse corners. Second, torsional moment, the maximum torsion in beam bridge decks for skewed bridges compared to that of straight bridges increases with increase of skew angle up to 40° for considered span lengths 10 m, 15 m and 20 m. Beyond 40° , a decrement occurs as skew increases. The torsional values are considered based on the aspect ratio (span: width). Around 60 % increment in the torsional moments. In the case of concentrated load at the center, when skew angle increases from 20° to 60° , the increments of torsional moment for aspect ratios 2.222, 1.333 and 0.952 are 70.66%, 70.71% and 71.18% respectively. Around 70% increment in torsional moment as skew angle reaches to 60° . According to the analytical investigation on skew bridge with varying span lengths and skew angles and also with varying carriageway widths, the following conclusions are arrived. The shear force in the knife edge loading condition is increasing gradually, and the increment is nearly 30%. The bending moments in the concentrated load condition and knife edge load condition are decreased up to 65% and 75% respectively as the skew angle increases to 60° . The increment of torsional moments is 60% in both conditions, i.e., in concentrated loading condition and knife edge loading condition. From the present study, it is evident that most effective skew angle is 20° skew angle, the increment of torsional moment is larger and so that the failure of bridge will be greater compared to the other skew angles.

In our study, the superstructure of prestressed concrete continuous skewed I-beam bridge was analyzed with FEM using Midas Civil program. As a result, it was seen that the results showing that the change in skewness angle affects the behavior of the superstructure in terms of stress, moment, and shear forces were clear. A good agreement was found between AASHTO and theoretical results. The results of this study largely coincide with the AASHTO standard specifications, which recommend that bridges with an skewness angle of 20° or less should be designed as straight bridges. If the geography of the location where the bridge will be constructed forces us to use an skewness angle greater than 20° , some precautions should be taken such

as: using the span of the bridge as short as possible, using simply supported structure instead of using continuous bridges, using large sections in the superstructure for I-beam (using AASHTO code), design of column heads should be done carefully by considering the bending moments with suitable sections, using diaphragms between beams, and make investigation of losses in the prestressed concrete system.

Keywords: Skewed Bridge, Prestressed Superstructure, I-Girder, Stresses, Shear Forces, Torsion, Displacement.



1. GİRİŞ

İki ana tip öngerilmeli beton sistemi vardır: öngerilmeli ve ardgerilmeli. Öngerme işleminde, çelik teller beton dökülmeden önce gerilir. Bu genellikle öngerilmeli bileşenlerin seri üretiminde kullanılır. Öte yandan, ardgerme ile tendonlar beton belirli bir mukavemete ulaştıktan sonra gerilir (Chen ve Duan, 2013).

I-kirışlı öngerilmeli beton köprüler, ard germe sistemi kullanan I-kesitli kirişlerden oluşur. Öngerilmeli beton yapılar, performansı ve dayanıklılığı artırmak için yüksek mukavemetli malzemeler kullanır ve uzun açıklıklı köprüler için cazip bir alternatiftir. İki tür ard germe sistemi vardır: ön germe ve ard germe. Ön germe, beton dökülmeden önce çelik tellerin gerilmesi işlemidir. Bu işlem genellikle öngerilmeli bileşenlerin seri üretimi için kullanılır. Ard germe, beton belirli bir mukavemete ulaştıktan sonra çelik tellerin gerilmesi işlemidir.

Verevli beton döşemelerdeki gerilme ve yer değiştirmelerin dağılımı incelenmiştir. Bu çalışma ilginç sonuçlar ortaya koymuştur. Çarpıklık açıları 0° , 30° ve 45° olan döşemeler için, bu çalışmanın sonuçları ile Timoshenko'nun sonuçları arasındaki düşey yer değiştirme ve gerilme dağılımındaki farklar küçüktür. Ancak 60° verevliğe sahip döşemeler için farklar önemlidir. Gerilme dağılımı ile ilgili olarak, Timoshenko'nun çalışması temel 0° verevlik durumunda daha yüksek gerilmeler gösterirken, bizim çalışmamız diğer çarpık döşemeler için (örn. h. 30° , 45° ve 60°) daha yüksek gerilmeler göstermiş ve Timoshenko'dan daha yüksek gerilimler ortaya koymuştur. Genel olarak, tüm en-boy oranları için, verevli plakların maksimum sehim, Timoshenko'nun çalışmasında 60° 'de %85'lik bir azalma ve Ismail'in (2017) çalışmasında düz plaklara kıyasla %75'lik bir azalma ile artan verevli açısı ile azalmaktadır, Benzer bir verevli Ramesh ve Kumar (2017) tarafından yapılan çalışmada da gözlenmiştir.

Verevli betonarme döşemelerin doğrusal olmayan sonlu eleman analizi ile önceki deneysel düzeltmelerin bazı sonuçları arasında karşılaştırma. İncelenen ana parametre çelik yapının verevlik açısıdır. Panel, doğrudan tasarım yöntemi için girdi olarak nihai tasarım yükündeki elastik gerilme alanı kullanılarak tasarlanmıştır. Deneysel ve teorik sonuçlar arasında iyi bir uyum bulunmuştur. Buna ek olarak, Mısır Davranış Kuralları

tarafından tavsiye edilen trafik yükleri altında iki şeritli gerçek bir kaburga köprü üzerinde teorik çalışmalar yapılmıştır. Bu analitik çalışmalarda incelenen parametre, 0° ile 45° arasında değişen verevlik açısıdır. Beton sınıfının köprü tabliyesi üzerindeki etkisi 0° ve 30° verevlik açıları kullanılarak araştırılmıştır. Her verevlik açısı için 400 ila 900 kg/cm basınç dayanımı değerleri varsayılmıştır. Verevlik açısı ve beton kalitesi, döşemenin genel davranışını etkiler (Abozaid ve ark., 2014).

Basit mesnetli, iki açıklıklı, sürekli tek hücreli kutu kirişli, alüminyum alaşımdan yapılmış, düzlemde eğimli ve verevli mesnetler üzerine yerleştirilmiş bir köprü modeli test edilmiştir. Ele alınan köprü modeli 41 inç (1,04 m) açıklığa, 8 inç (0,2 m) genişliğe ve 1,2 inç (0,03 m) derinliğe sahipti ve açıklığın ortasında konsantre bir yük (P) taşıyordu. iç ağı. Son olarak, geliştirme sonuçlarına ve deneysel sonuçlara dayanarak açıklık ortasındaki düşey sapmayı, teğetsel gerilmeyi ve ağıdaki maksimum gerilmeyi karşılaştırmışlardır. Dikdörtgen elemanların seçilen uzunluk oranının (1:1, 1:2, 1:4) etkisi 2D sonlu eleman analizi kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar, 1:1 uzunluk/genişlik oranına sahip dikdörtgen elemanlar kullanılarak elde edilen 2B sonlu eleman sonuçlarının, kayma deformasyonu kullanılarak elde edilen kiriş teorisi sonuçlarından çok farklı olmadığını göstermiştir (Sisodiya ve ark., 1970).

Bu çalışma, verevli açısının büyüklüğünün köprü davranışındaki gerilme üzerindeki etkisini belirlemek için bu tür köprülerin farklı verevli açılarındaki tepkilerinin karşılaştırmalı analizini içermektedir. Bu çalışmada, öngerilmeli beton sistemli I-kirişli üstyapı kesiti kullanılmıştır. Bu çalışmanın amacı, verevlikteki artışın gerilmeyi, kesme kuvvetlerini ve momentleri etkileyip etkilemediğini bulmaktır. Bu çalışma, tasarımcıların bu bulgulara dayanarak yapıyı tasarlamalarına yardımcı olacaktır. Bu çalışmada öngerilmeli beton sistemli üstyapı I-kirişinin kesiti incelenmiştir.

2. KÖPRÜLERİN HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1. Literatür Araştırması

Chun (2010), verevli Köprü Davranışlarını inceledi: Deneysel, Analitik ve Sayısal Analiz. Bu araştırmanın başlıca bulguları ve katkıları aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- a) Verevli köprüde (Woodruff köprüsü) ölü yük ve hareketli yük için saha ölçümleri yapılmıştır. Bu, verevli açının verevli köprünün davranışı üzerindeki etkisinin anlaşılmasına katkıda bulunmuştur. Ayrıca, bu saha ölçüm sonuçları FEA'nın kalibrasyonu için sağlanmıştır, böylece FEA genel verevli köprü analizlerine güvenilir bir şekilde uygulanabilir.
- b) FEA, Woodruff köprüsünün ölçüm verileri ile doğrulanmış ve kalibre edilmiştir. Ardından, jenerik köprüler FEA tarafından analiz edilmiş ve AASHTO LRFD şartnamesiyle karşılaştırılmıştır. Analizde, verevlik açısı, açıklık uzunluğu, giriş aralığı değişken parametrelerdir ve bunların kombinasyonu 18 durumla sonuçlanır. Her durum için, sınır koşulunun köprü davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sınır koşulunun sonucu aşağıdaki gibi etkilediği bulunmuştur:
 1. Basit mesnetli köprü için, AASHTO spesifikasyonları verevli köprü davranışını çok az fazla tahminle iyi bir şekilde tanımlamaktadır. Her iki sonucun verevliği de aynıdır; verevlik açısı arttıkça moment etkisi azalmakta ve kesme etkisi artmaktadır.
 2. Woodruff köprüsünde olduğu gibi köprünün sınır koşulu sabit uç olarak kategorize edildiğinde, şartname moment ve kesme etkilerini sırasıyla üç kata ve iki kata kadar fazla tahmin etmektedir.
 3. Verevli köprü elastik kauçuk mesnet ile desteklendiğinde, şartnamenin moment etkisini iyi bir şekilde sunduğu görülmüştür. Buna karşılık, kesme etkisi FEA ve AASHTO şartnamesi arasında farklıdır. Verevlik açısı arttıkça, şartnamede kesme etkisi artarken, FEA'da kesme etkisi neredeyse sabittir. Bunun nedeni, geniş köşedeki tepki kuvvetinin, mesnetler sert olmadığı için diğer mesnetlere dağılmasıdır. Bu nedenle, geniş köşedeki büyük bir mesnet, şartnameye göre tasarlanırsa çok muhafazakârdır.

c) Kamyon yüküne maruz verevli köprüler için analitik bir çözüm, polinom ve trigonometrik serilerin toplamı olarak oluşturulmuştur. İlk olarak, literatürde mevcut olmayan verevli kalın plakalar için analitik çözüm türetilmiştir. Buna dayanarak, verevli kalın plakaların ve taşıyıcı kirişlerin birleşimi olan verevli köprüler için analitik çözüm geliştirilmiştir.

Harba (2011), Bu proje çalışması, basit mesnetli betonarme T-kiriş köprü tabliyelerinin davranışına verevlik açısının etkisini ele almaktadır. Basit mesnetli betonarme T-kiriş köprü tabliyelerinin davranışına verevlik açısının etkisini araştırmak için üç boyutlu sonlu eleman yöntemleri kullanılarak analitik bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma, AASHTO standart şartnameleri ve LRFD'nin 20°'den küçük veya eşit verevli açısına sahip köprülerin düz (verevli olmayan) köprüler olarak kabul edilmesinden bahsetmesiyle çelişmektedir ve ayrıca verevli T-kirişli köprü tablieleri için üç boyutlu sonlu eleman analizi yapılmasını önermiştir.

Grace ve ark. (2011), yapısal tepkilerini incelemek için sırasıyla karbon fiber kompozit kablo [CFCC] ve geleneksel çelik tellerle güçlendirilmiş iki adet 30° verevli prekast, öngerilmeli beton dört hücreli yarım ölçekli kutu kirişli köprü modeli inşa etmiş, enstrümante etmiş ve test etmiştir. Bu araştırma, yukarıda bahsedilen köprülerin verevli davranışını yük-sehim tepkisi, yük-şekil değiştirme tepkisi, nihai dayanım, arıza modu ve enerji oranları açısından karşılaştırmıştır. Ayrıca, tabliyenin boylamasına yönündeki aşırı çatlamayı kontrol etmek için TPT diyaframları ile enine ardgerme TPT de dikkate alınmıştır. Model köprüler 31 ft (9,5 m) uzunluğunda, 18 inç (0,46 m) genişliğinde ve 11 inç (0,280 m) derinliğindeydi. Betonarme köprü modeli az güçlendirilmiş, CFCC ile güçlendirilmiş köprü modeli ise aşırı güçlendirilmiş olarak tasarlanmıştır. Köprü modelleri çatlamamış tabliye döşemesi ve çatlamış tabliye döşemesi aşaması olmak üzere iki aşamada test edilmiştir. CFCC köprü modelinin çatlama yükü, geleneksel betonarme köprü modeline kıyasla %25 daha yüksek bulunmuştur. CFCC köprü modelinin nihai yükü, geleneksel betonarme köprü modeline kıyasla %17 daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, CFCC modelinin betonun ezilmesi nedeniyle basınç göçmesi yaşadığı, normal modelin ise donatı akması nedeniyle çekme göçmesi yaşadığı kaydedilmiştir. İlginç bir şekilde, her iki model de nihai yük kapasitesinde yaklaşık olarak aynı sehim göstermiştir.

Khatri ve ark. (2012), hesaplamalı yöntem kullanarak verevli köprü analizi yapmışlardır. Çalışmalarında kiriş ve döşeme içeren bir köprü tabliyesi tanımlanmış

ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ve benzeşim yöntemi kullanılarak eşit açıklıklı betonarme köprülerde farklı verevlik açılarında düzenlemesinin etkisi karşılaştırılmıştır. Maksimum sehım, verevlik, reaksiyon kuvveti ve burulma momentleri her iki analiz yöntemi için hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Bu dar ve uzun köprü için uygun boyutu, enine boyuna oranı olan yedi bölme olarak tahmin edilmiştir.

Zhang ve Lin (2012), on serbestlik dereceli ince duvarlı kutu kiriş elemanı önermiş ve FORTRAN'da SSCBA 1-B sonlu eleman programını kodlamışlardır. Programın doğruluğu Shell63 elemanı kullanılarak Ansys sonuçları ve deneysel veriler ile test edilmiştir. Bu programı, verevli kutu kirişli bir köprünün kesme gecikmesi etkisini, burulma ve verevli durumunu simüle etmek için kullandılar. Deneysel inceleme için, laboratuvarı 3,2 m uzunluğunda ve 0,4 m genişliğinde, üç açıklıklı, sürekli, 60° verevli, iki hücreli kutu kirişli bir pleksi-cam köprü modeli inşa etmişlerdir. Gerilme dağılımı üst ve alt plakanın genişliği boyunca orta açıklıkta ve birinci ve ikinci açıklığın birleşim noktasında ölçülmüştür. Elde edilen gerilmelere dayanarak, eksantrik konsantre yüke maruz kalan verevli sürekli kutu kirişli köprünün yapısal davranışının verevlik nedeniyle önemli ölçüde etkilendiğini ve etkisinin göz ardı edilmemesi gerektiğini önermişlerdir.

Kar ve ark. (2012), verevli köprüde verevlik açısının etkisini araştırmak için bir çalışma yürütmüşlerdir. Dik köprü ile verevlik açılarındaki değişimin etkisini iki iyi bilinen analiz yöntemi olan sonlu elemanlar yöntemi ve ızgara analoji yöntemi ile analiz etmişlerdir. Boyuna moment, enine moment, mesnetteki reaksiyon ve sehım FEM ve grillage analoji yöntemi ile hesaplanmış ve sonuçlar farklı verevlik açıları için karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada basit mesnetli tek açıklıklı köprüler kullanılmıştır. Analiz sonuçları, verevlik açısı arttıkça burulma ve enine momentin arttığını, ancak reaksiyonun arttığını, eğilme momentinin belirli bir açıya kadar azaldığını, daha sonra azaldığını göstermektedir.

Okeil ve ark. (2013), verevli öngerilmeli beton bulb-tee kirişli bir köprüde pozitif moment süreklilik detayının sahada izlenmesi incelenmiştir: - Yeni süreklilik detayını kullanan köprülerde pozitif momentler gelişmektedir. Bunlar, orta açıklıklarda yukarı doğru bombeleşmeye neden olan ve sürekli kiriş uçlarında pozitif momentlere yol açan sünme ve termal etkilerden kaynaklanmaktadır. - Süreklilik detayı, uzun süreli etkiler

ve hareketli yükler altında kaydedilen verilerle kanıtlandığı üzere, süreklilik diyaframı boyunca bir kirişten bitişik kiriş kuvvet aktarma yeteneğine sahiptir.

Fu ve Chun (2013), Bu araştırma projesinin başlıca bulguları ve katkıları özetlenmiştir. Yük testindeki gözlemlere ve FEA incelemesine dayanarak, incelenen üstyapı tipi, açıklık uzunluğu, verevlik açısı ve kiriş aralığı aralıkları için tasarım kılavuzları geliştirilmiş ve önerilmiştir.

Haritos ve ark. (1995), kaya güçlendirilmiş beton köprünün modal testi üzerine çalışmışlardır. Melbourne Üniversitesi dinamik test paketinde uygulanan deneysel modal test tekniğinin, bir köprü üstyapısının modal özelliklerini sağlamada oldukça verimli ve doğru olduğu kanıtlanmıştır. Bu test sistemiyle birlikte kullanılan modal analiz yazılım paketi TMODE'de gelecekte yapılacak iyileştirme ve geliştirmeler (deneysel modelin oluşturulmasında 40'tan fazla koordinatın kullanılabilmesi ve daha da önemlisi aynı anda iki veya daha fazla çalkalayıcı konumundan ölçüm yapılabilmesi) bu test paketinin gücünü artıracaktır. Deneysel modal analiz, geleneksel malzeme testleri ve köprü muayenesi ile birlikte, betonarme köprü üstyapılarının teorik modellerinin 'ince ayarını' mümkün kılmak için yeterli doğrulukta sonuçlar sağlayabilir. Bu tür testler, test edilen köprü üstyapısının hizmet içi durumunu/durumunu gösteren çok daha geniş bir parametrik bilgi yelpazesi (mod şekilleri, mod frekansları ve modal sönümleme oranları) sağlayabilir. Betonarme köprü yapılarının düzenli olarak durumunun izlenmesinde deneysel modal test yöntemlerinin (halihazırda birçok mekanik sistemde uygulandığı gibi) kullanılması için potansiyel mevcuttur.

Sindhu ve ark. (2013), Bu çalışmada, tek açıklıklı betonarme köprüler üzerinde bir çarevrevlik açısının etkisini sonlu elemanlar yöntemi kullanarak analiz etmişlerdir. Kenar kirişli ve kenar kirişsiz betonarme plak köprü tabliyelerinde en-boy oranı, eğrilik açısı ve yük tipinin uyarımını incelemek için araştırmalar yapılmıştır. Verevli açılı köprüler için sonlu elemanlar analiz sonuçları, ölü yük, IRC 70R yüklemesi ve IRC Sınıf A yüklemesi için kenar kirişli ve kenar kirişsiz düz köprülerle karşılaştırılmıştır. Toplam 90 köprü modeli incelenmiştir. Maksimum sehim, maksimum burulma momenti, maksimum boyuna sarkma eğilme momenti ve maksimum mesnet reaksiyonunun verevlik açısı ile değişimi 90 adet köprü tabliye modelinin tamamı için incelenmiştir. Ölü yük ve hareketli yük eğilme momentleri ve sehimlerin FEA sonuçları verevlik açısının artmasıyla azalırken, maksimum mesnet reaksiyonları verevlik açısının

artmasıyla artmakta ve maksimum burulma momenti 45 dereceye kadar verevlik açısıyla artmakta ve daha sonra azalmaktadır. Kenar kirişi sağlamının faydası, sehim, boyuna eğilme momenti ve burulma momentindeki azalmaya yansımaktadır.

Abozaid ve ark. (2014), Bu makale, önceki deneysel revizyonların bazı sonuçları ile betonarme bir verevli döşemenin doğrusal olmayan sonlu eleman analizi arasında bir karşılaştırma sunmaktadır. Çalışılan başlıca parametreler, çelik düzenlemeler ile eğim açısıdır. Döşemeler, doğrudan tasarım yöntemi için girdi olan nihai tasarım yükü altında elastik bir gerilme alanı kullanılarak tasarlanmıştır. Deneysel ve teorik sonuçlar arasında iyi bir uyum bulunmuştur. Ayrıca, trafik yükleri altında iki şeritten oluşan gerçek bir nervürlü köprü üzerinde Mısır uygulama yönetmeliği önerileri temel alınarak teorik bir çalışma yapılmıştır. Bu analitik çalışmalarda incelenen parametre, 0° ile 45° arasında değişen eğim açısıdır. Beton sınıfının köprü tabliyeleri üzerindeki etkisini incelemek için 0° ve 30°'lik eğim açıları kullanılmıştır. Her bir eğim açısı için 400 ila 900 kg/cm basınç dayanımı değerleri benimsenmiştir. Eğim açısı ve beton sınıfının döşemenin genel davranışı üzerinde etkisi vardır.

Zakeri ve ark. (2015), farklı güçlendirme stratejilerine sahip verevli köprüler için kırılgeçirlik eğrileri geliştirmek amacıyla köprü ve dayanak arasındaki boşluk ve darbe etkilerini dikkate alan ayrıntılı bir 3 boyutlu model kullanmıştır. Bu çalışma, bir güçlendirme stratejisinin etkinlik düzeyinin büyük ölçüde verevlik açısına ve ilgili hasar durumuna bağlı olduğu sonucuna varmıştır.

Deepu ve ark. (2014), köprü ayaklarının tabanlarında sabit olduğunu varsayarak, 0, 15, 30, 45 ve 60 derecelik verevli açılarını içeren çeşitli köprü konfigürasyonlarının bir dizi 3B sonlu eleman modelinin dinamik analizini gerçekleştirmiştir. Verevli köprü tabliyelerinin sismik zemin olayları sırasında düşey eksen etrafında önemli dönüşlere maruz kaldığı ve sarsıntı sonunda orijinal konumundan kalıcı olarak yer değiştirdiği bulunmuştur.

Pandey ve Maru (2015), köprü tabliyesinin ızgaraya dönüştürülmesinin çok önemli olduğu varsayımını yapmışlardır. Köprü tabliye döşemesi, farklı eğim açıları için modellenen ızgaraya dönüştürülmüştür. Eğilme momentleri, reaksiyonlar, burulma, kesme kuvveti ve sehimlerin en doğru değerlerini bulmak için. Grilaj modeli için taşıt yolu genişliği 7.5 m ve uzunluğu 10 m olarak kullanılmıştır.

Patel ve Mamadapur (2016), farklı eğim açıları için T-kirişli ve kutu kirişli köprüler üzerinde karşılaştırmalı bir çalışma yapmıştır. Boyuna eğilme momenti, kesme kuvveti ve burulma momenti sonuçlarının karşılaştırılması, T-kiriş kesitinin orta açıklıklı köprüler için kutu kiriş kesitinden daha iyi olduğunu göstermektedir.

Hossain ve Zisan (2016), verevli kompozit bir köprünün yanal yöndeki canlı yük dağılımı üzerine parametrik bir çalışma yapmıştır. Bu araştırma, dış kiriş için kesme dağılım faktörünün artan eğim açısı ile aracın konumuna bağlı olarak arttığını ve azaldığını bulmuştur. Çalışma, kaldıraç kuralı yönteminin dış kiriş için kesme dağılım faktörünü çok iyi tahmin edebildiğini göstermektedir.

Sharma ve Kumar (2016), betonarme verevli köprünün sismik analizini yapmışlardır. Bir köprünün verevliği arttıkça, yer hareketleri sırasında boylamasına yer değiştirme miktarının arttığını bulmuşlardır.

Kun ve ark. (2017), köprülerin sismik tepkisi üzerinde vurma ve verevlik açısının etkisini incelemişlerdir. Vurmanın, köprü kirişinin düzlem içi dönmelerinin yanı sıra enine yönde kiriş görelî yer değiştirmelerini önemli ölçüde artırdığını bulmuşlardır. Verevli açısındaki bir artış genellikle kirişin enine yöndeki görelî yer değiştirmesini artırır.

Ismail (2017), verevli beton döşemelerde gerilme ve yer değiştirmelerin dağılımını incelemiştir. Bu çalışma ilginç sonuçlar göstermektedir. Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar ile Timoshenko tarafından 0° , 30° ve 45° eğimli plaklara ilişkin elde edilen sonuçlar arasında düşey yer değiştirmelerde ve gerilme dağılımında çok az değişiklik vardır. Ancak 60° eğimli plak için farklar büyüktür. Gerilme dağılımı ile ilgili olarak, Timoshenko çalışmasında 0° eğimli temel durumda daha yüksek gerilme gözlenirken, çalışmamız diğer eğimli plaklarda, yani 30° , 45° ve 60° durumunda Timoshenko'dan daha yüksek gerilme göstermektedir. Genel olarak, verevli plaklarda maksimum sehîm tüm en-boy oranları için verevlik açısının artmasıyla azalmaktadır ve 60° 'de Timoshenko çalışmasında %85, bizim çalışmamızda ise sağ plakla karşılaştırıldığında %75'lik bir azalma olmuştur. Benzer bir eğîlim Ramesh ve Kumar (2017), tarafından yapılan çalışmada da gözlemlenmiştir.

Solanki ve Thomas (2018), RC-T kirişli köprü üzerinde verevlik açısının etkisini incelemiştir. Çalışma, hem iç hem de dış kiriş için eğilme momenti, kesme kuvveti ve burulmanın yaklaşık olarak benzer büyüklükte bir artış ve azalma izlediğini, hareketli

yükten kaynaklanan kesme kuvveti ve burulma değerlerinin ölü yük parametresine kıyasla daha yüksek değerlere sahip olduğunu bulmuştur.

Wang ve ark. (2019), burkulma sınırlamalı çaprazlarla güçlendirilmiş verevli betonarme kutu kiriş köprülerin çökme kapasitesi değerlendirmesini incelemiştir.

Naik ve Shreedhar (2018), verevli psc kutu kirişli köprünün davranışını incelemişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar şunlardır:

- a) Ölü ve hareketli yükler altında sarkma momenti için eğilme açısı arttıkça eğilme momenti artar.
- b) Ölü yük altındaki tıkanma momenti için eğilme momenti verevlik açısının artmasıyla azalır, ancak verevlik açısının artmasıyla hareketli yük altında artar.
- c) Ölü yük altında kesme kuvveti eğim açısının artması ile azalır ve hareketli yük altında kesme kuvveti eğim açısının artması ile artar.
- d) Ölü yük altında ve hareketli yük altında burulma momenti eğim açısının artmasıyla artar.

Shahhosseini ve Yu (2019), iskele şekli ve eğim açısının iskele oyulmasına etkileri üzerine deneysel bir çalışma yapmıştır. Bu çalışma, dört farklı köprü şekli için yapılan iskele şekli ve hücum açısının iskele oyulmasına etkisine odaklanmaktadır. Deneyler, dikdörtgen bir kanalda, eşit şekilde kumla kaplı ve yıkanmış dalgalar olmadan, düzgün, berrak bir su akışında gerçekleştirilmiştir.

Jadhav ve John (2021), verevli kutu kirişli köprünün davranışını incelemiş ve sapmalar, eğilme momentleri, Destek reaksiyonları ve burulma momentleri gibi yapısal tepkilerin maksimum değerlerinin 0'dan 60'a kadar olan verevlik açılarındaki artışla arttığını göstermiştir.

2.2. Köprünün Tanımı

Bir nehrin, uçurumun, yolun veya başka bir fiziksel engelin üzerinden geçmek ve geçiş sağlamak için inşa edilen yapı. Köprüden beklenen işlev ve inşa edildiği alan köprünün tasarımını belirler (Midas IT., 2024).

2.3. Köprü Yapım Malzemeleri

Köprüler için geleneksel yapı malzemeleri taş, kereste ve çelik ve son zamanlarda güçlendirilmiş ve ön gerilmeli betondur. Özel elemanlar için alüminyum ve alaşımları

ile bazı plastik türleri kullanılmaktadır. Bu malzemeler farklı mukavemet, işlenebilirlik, dayanıklılık ve korozyona karşı direnç özelliklerine sahiptir. Ayrıca yapıları, dokuları ve renkleri veya farklı doku ve renkte yüzey işleme olanakları bakımından da farklılık gösterirler. Köprüler için şekil, teknik kalite, ekonomiklik ve çevreyle uyumluluk açısından en iyi köprüyü sağlayan malzeme kullanılmalıdır (Midas IT., 2024).

2.3.1. Taş

Etrüsklerin, Romalıların, Ortaçağ Fratres-Pontifices'inin (yaklaşık 1100'den beri) ve daha sonraki usta inşaatçıların büyük eski köprüleri taş duvarla inşa edilmiştir. Kemerler ve ayaklar, sert taş kullanıldığında ve temeller sağlam zeminde inşa edildiğinde binlerce yıl dayanmıştır. Taş ile hem güzel, hem dayanıklı hem de geniş açıklıklı (150 m'ye kadar) köprüler inşa edilebilir (Midas IT., 2024).

Maalesef taş köprüler çok pahalı hale gelmiştir. Ancak uzun bir süre boyunca, iyi tasarlanmış ve iyi inşa edilmiş taş köprüler belki de en ucuzu olabilir, çünkü uzun ömürlüdürler ve aşırı hava kirliliğinin saldırısına uğramadıkları sürece yüzyıllar boyunca neredeyse hiç bakım gerektirmezler (Midas IT., 2024).

Günümüzde taş genellikle yüzeylerle sınırlıdır, taşlar dayanaklar, iskeleler veya kemerler için kaplama olarak önceden ayarlanır veya sabitlenir. elbette hava koşullarına dayanıklı sağlam taş seçilmelidir ve granit, gnays, porfir, diyabaz veya kristalize kireçtaşı gibi temel kayalar özellikle uygundur. Sadece silisli kumtaşı dayanıklı olduğundan kumtaşlarında dikkatli olmak gerekir. Taşın renk seçimi de önemlidir. Tek tip gri renkli ve kesilmiş yüzeyli granit, basit düz beton kadar donuk görünebilir. Farklı renklerin ve hafif kabartmalı yüzeylerin uyumlu bir karışımı, duvar alanları geniş olsa bile çok canlı görünebilir. Yüzeyler parlak veya koyu derz dolgusu ile de canlandırılabilir. Taş blokların boyutları ve yüzeylerinin pürüzlülüğü yapının, dayanakların, ayakların vb. boyutlarıyla uyumlu olmalıdır. Kaba kabartma sadece 1 m kalınlığında ve 5 m yüksekliğindeki küçük bir iskeleye uygun değildir, ancak büyük boyutlu kesme taş duvarlar Saalebrucke Jena veya Lahntalbrucke Limburg gibi büyük kemer köprüler için uygundur. Ren Nehri üzerindeki köprülerin ayakları için granit duvar tercih edilmiştir, çünkü kumlu suyun erozyonuna en sert betondan çok daha iyi direnç göstermektedir (Midas IT., 2024).

2.3.2. Betonarme ve ön gerilmeli beton

Beton, neredeyse tüm inşaat işlerinde kullanılan bir yapı malzemesidir. Donuk gri bir renge sahip olan beton, genellikle köprü gibi inşaatlarda tercih edilmez, ancak bazı beton köprüler, sanatını bilen biri için güzelliklere dönüşmüştür. İyi beton, buz çözücü tuzlu suya veya kirli havadaki CO₂ ve SO₂'ye karşı olmasa da, yüksek basınç dayanımı ve çoğu doğal saldırıya karşı direnç kazanır. Ancak çekme dayanımı düşüktür, bu nedenle çekme gerilmelerinin olduğu alanlarda tercih edilmez. Betonun çekme donatısı için içine çelik çubuklar gömülür. Çelik çubuklar, beton çatladığında, yani beton artık daha fazla çekme gerilmelerine dayanamadığında çalışmaya başlar. Çubuklar doğru şekilde tasarlanır ve yerleştirilirse, “saç çatlakları” adı verilen çatlaklar zararsız kalır. Beton yapılarda çekme kuvvetlerine karşı koymanın ikinci bir yöntemi de ön gerilmedir (Midas IT., 2024).

2.3.3. Çelik

Köprü malzemeleri arasında çelik en yüksek ve en uygun mukavemet özelliklerine sahiptir ve bu nedenle en uzun açıklıklara sahip en cesur köprüler için uygundur. Normal yapı çeliği 370 N/mm² basınç ve çekme dayanımına sahiptir, bu da orta betonun basınç dayanımının yaklaşık on katı, çekme dayanımının ise yüz katıdır. Çeliğin özel bir özelliği de sünekliğidir, çünkü kırılmadan önce önemli ölçüde deforme olur, çünkü belirli bir gerilme seviyesinin üzerinde akmaya başlar. Bu akma dayanımı standart kalite terimlerinde ilk terim olarak kullanılır (Midas IT., 2024).

Köprüler için genellikle yüksek mukavemetli çelikler tercih edilir. Mukavemet ne kadar yüksekse, akma mukavemeti ile çekme mukavemeti arasındaki oransal fark o kadar küçüktür ve bu, yüksek mukavemetli çeliklerin normal mukavemetli olanlar kadar sünek olmadığı anlamına gelir. Yorulma mukavemeti de çekme mukavemeti ile orantılı olarak artmaz. Bu nedenle, bu özel çelikleri kullanmadan önce davranışları hakkında derinlemesine bilgi sahibi olmak gerekir. İnşaat amaçları için çelik, kırmızı sıcakken haddeleme yoluyla levha şeklinde (6 ila 80 mm kalınlığında) üretilir. Rulmanlar ve diğer bazı öğeler için dökme çelik kullanılır. Halatlar veya kablolar gibi sadece gerilim altındaki elemanlar için, kalın asma veya kablo askılı köprüler inşa etmemizi sağlayan farklı şekillerde işlenmiş özel çelikler vardır (Midas IT., 2024).

Çeliğin yüksek mukavemeti, kirişlerin veya kirişlerin küçük kesitlerine ve dolayısıyla yapının düşük ölü yüküne izin verir. Böylece karayolları için hafif “ortotropik plaka”

elik tabliyelerin geliştirilmesi mümkün olmuştur; bu tabliyeler günümüzde 60 ila 80 mm kalınlığında asfalt aşınma tabakası ile yaygın hale gelmiştir (Midas IT., 2024).

Bu ortotropik levha konstrüksiyonunun öncüleri buna daha az gizemli ve daha az bilimsel bir isim olan “sertleştirilmiş elik levhalar” adını vermişlerdir. Hücreler veya rlb'lerle takviye edilmiş düz elik levha, hem enine çapraz kirişlerin hem de uzunlamasına ana kirişlerin akordunu oluşturur. Aynı zamanda bir rüzgar kirişi görevi görür. Bu köprü tabliyesi, başarılı uygulamasını esas olarak artık genel kullanımda olan ve elik köprülerin tasarımını büyük ölçüde etkileyen mekanize kaynağa borçludur (Midas IT., 2024).

Bu nedenle, büyük ince elik plakaların burkulmaya karşı takviye edilmesi gereken plaka kiriş konstrüksiyonu artık geçerli. Önceden, dikey takviyeler tercihen dış yüzlere yerleştirilirdi; boylamasına takviyeler daha sonra i tarafa yerleştirilirdi (Midas IT., 2024).

Günümüzde tüm takviyeler, elik yapıların “Aşıl topuğu” olan nemi tutan ve korozyonu teşvik eden toz veya kir birikintilerinin birikmesine izin vermeyen pürüzsüz bir dış yüzey elde etmek için bu i kısıma yerleştirilmektedir. Modern elik kirişli köprüler artık dış görünüşleri bakımından n gerilmeli beton köprülerden neredeyse hiç farklı değildir - belki renkleri hariç. Bu belki de üzücüdür, çünkü dış kısımdaki takviyeler plaka yüzeylerini canlandırır, ölçek verir ve kirişin daha az ağır görünmesini sağlar. Plaka kirişlere ek olarak, kafes kirişler de çeliğin malzeme özelliklerinden tam olarak yararlanır. İnce elik kesitlerin bir kafes kiriş oluşturmak üzere bir araya getirilmesiyle çok narin görünümlü köprüler inşa edilebilir. Yine kaynak, iyi form potansiyelini geliştirmiştir, çünkü içi boş bölümler büyük köşebent plakaları kullanılmadan imal edilebilmekte ve birleştirilebilmektedir. Bu şekilde, iki veya dört haddelenmiş profilin kafes veya plakalarla birleştirilmesiyle ortaya çıkan “huzursuzluk” olmadan düzgün görünümlü kafes kirişler ortaya çıkar. elik korozyona karşı korunmalıdır ve bu genellikle çıplak elik yzeeye koruyucu bir boya uygulanarak yapılır. Normal eliklerin boyanması teknik olarak gereklidir ve köprünün renk tasarımı için kullanılabilir (Midas IT., 2024).

Renk seçimi, iyi bir görünüm elde etmek için önemli bir özelliktir. Normal bir ortamda korozyona uğramayan çelikler vardır (DIN 17440'a göre V2A ve V4A paslanmaz çelikleri), ancak bunlar o kadar pahalıdır ki, yalnızca korozyon saldırılarına karşı

özellikle hassas olan veya çok erişilemeyen bileşenler için kullanılırlar (Midas IT., 2024).

ABD'den bakırla alaşımlandırılmış Tentor çeliği geldi, 'ilk korozyon tabakasının onu daha fazla korozyona karşı koruduğu söyleniyor. Bu koruyucu pas, açık arazide iyi görünen sıcak sepya tonlu bir renge sahiptir. Ancak bu tür bir koruma kirli havada uzun sürmez ve korozyon devam eder. Çelik köprülerde, görünümü iyileştirmek ve yapının peyzajla uyumlu bir şekilde bütünleşmesini sağlamak için çeliğin boya ile korunmasının teknik gerekliliği iyi bir şekilde kullanılmalıdır (Midas IT., 2024).

Alüminyum zaman zaman köprüler için kullanılmış ve çelik kirişlerle aynı form kullanılmıştır. Alüminyum profiller, çok çeşitli içi boş şekillerin oluşturulmasına olanak tanıyan ekstrüzyon işlemiyle üretilir, böylece alüminyum yapılar çelikten daha zarif olabilir. Alüminyum profiller, koruyucu boyaya ihtiyaç duymadıkları için köprü korkulukları için popülerdir (Midas IT., 2024).

2.4. Ana Köprü Tipleri

Aşağıda ana köprü türlerinin listesi bulunmaktadır:

- 1- Kirişli köprüler.
- 2- Kemer köprüler.
- 3- Kablo askılı köprüler.
- 4- Rijit çerçeve köprüler.
- 5- Kafes köprüler.
- 6- Betonarme köprüler.
- 7- Öngerilmeli betonarme köprüler.
- 8- Çelik-beton kompozit kutu kirişli köprüler.
- 9- Yatay eğimli köprüler.
- 10- Asma köprüler.
- 11- Ahşap köprüler.

2.4.1. Kirişli köprüler

En yaygın ve en temel köprü tipidir. En basit haliyle, bir dere üzerindeki bir kütük kirişli köprü örneğidir; en yaygın iki kiriş I-kirişli kirişler ve çelik kirişli köprülerde kullanılan kutu kirişlerdir. I-Kirişinin enine kesiti incelendiğinde, bu isimle anıldığı görülür. Ortadaki dikey plaka ağ olarak bilinir ve üst ve alt plakalar flanş olarak adlandırılır (Midas IT., 2024).

Kutu kiriş bir kutu şeklini alır. Tipik bir kutu kiriş iki ağı ve iki flanşa sahiptir. Bununla birlikte, bazı durumlarda ikiden fazla ağ vardır ve bu da çok odalı bir kutu kiriş oluşturur. Basit kirişlerin diğer örnekleri arasında, π sayısının matematiksel sembolüne benzerliklerinden dolayı π kirişleri ve T şekilli kirişler sayılabilir. Günümüzde kirişli köprülerin çoğu kutu veya I-kirişli kirişlerle inşa edildiğinden, bu nadir durumları atlayacağız (Midas IT., 2024).

Bir I-kirişinin tasarlanması ve inşa edilmesi çok basittir ve çoğu durumda çok iyi çalışır. Bununla birlikte, köprü herhangi bir kavis içeriyorsa, kirişler tork olarak da bilinen bükülme kuvvetlerine maruz kalır. Bir kutu kirişe eklenen ikinci ağ, stabilite sağlar ve bükülme kuvvetlerine karşı direnci artırır. Bu da kutu kirişi, içinde önemli bir kavis bulunan köprüler için ideal seçim haline getirir. Daha stabil olan kutu kirişler aynı zamanda daha uzun mesafelere yayılabilir ve genellikle I-kirişlerin yeterince güçlü veya stabil olmayacağı daha uzun açıklıklar için kullanılır. Ancak, kutu kirişlerin tasarımı ve imalatı I kirişlere göre daha zordur. Örneğin, bir kutu kirişin iç dikişlerini kaynaklamak için, bir insan veya kaynak robotunun kutu kirişin içinde çalışabilmesi gerekir (Midas IT., 2024).

2.4.2. Kemer köprüler

Kemer köprüler klasik bir mimari oluşturur ve kirişli köprülerden sonra en eskisidir. Basit kirişli köprülerin aksine kemerler taş kullanımına çok uygundur. Kemer, merkezde ayak gerektirmedikinden, kemerler vadileri ve nehirleri geçmek için iyi seçimlerdir. Kemerler en güzel köprü türlerinden biri olabilir. Kemerler bükülme kuvvetlerine karşı yüksek direnç sağlayan kavisli bir yapı kullanır. Kemerler yalnızca zeminin veya temelin sağlam ve sabit olduğu yerlerde kullanılabilir çünkü kirişli ve kafes kirişli köprülerden farklı olarak bir kemerin her iki ucu da yatay yönde sabittir (yani mesnette yatay harekete izin verilmez). Dolayısıyla köprüye bir yük bindiğinde (örneğin üzerinden bir araba geçtiğinde) kemerin mesnetlerinde yatay kuvvetler oluşur. Kafes kiriş gibi, karayolu da bir kemerin üzerinden veya içinden geçebilir veya bazı durumlarda geçebilir (Midas IT., 2024).

Yapısal olarak dört temel kemer tipi vardır:

- 1- Menteşesiz
- 2- İki menteşeli
- 3- Üç menteşeli

4- Bağlı kemerler

Menteşesiz kemerde menteşe kullanılmaz ve temellerde dönüşe izin verilmez. Sonuç olarak temelde büyük miktarda kuvvet oluşur (yatay, dikey ve eğilme kuvvetleri) ve menteşesiz kemer yalnızca zeminin çok sağlam olduğu yerlerde inşa edilebilir. Bununla birlikte, menteşesiz kemer çok sert bir yapıdır ve diğer kemerlere göre daha az sarmaya maruz kalır. İki menteşeli kemer, dönmeye izin veren menteşeli rulmanlar kullanır (Midas IT., 2024).

Mesnetlerde oluşan tek kuvvet yatay ve dikey kuvvetlerdir. Bu, çelik kemerler için belki de en yaygın kullanılan varyasyondur ve genellikle çok ekonomik bir tasarımdır. Üç menteşeli kemer, kemerin tepesine veya tacına ek bir menteşe ekler. Üç mafsallı kemer, her iki temelde de hareket olması durumunda (deprem, batma vb. nedenlerle) çok az zarar görür (Midas IT., 2024).

Bununla birlikte, üç menteşeli kemer çok daha fazla sarmaya maruz kalır ve menteşeler karmaşıktır ve imalatı zor olabilir. Üç menteşeli kemer artık nadiren kullanılmaktadır. Bağlı kemer, zemin yatay kuvvetlerle başa çıkacak kadar sağlam olmasa bile inşaatı izin veren kemer üzerinde bir varyasyondur. Yatay kuvvetleri sınırlamak için temele güvenmek yerine, kirişin kendisi kemerin her iki ucunu birbirine “bağlar”, bu nedenle “bağlı kemer” adı verilir (Midas IT., 2024).

2.4.3. Kablo askılı köprüler

Tipik bir kablo askılı köprü, açıklığın ortasındaki iskelelerin üzerine dikilmiş bir veya daha fazla kulesi olan sürekli bir kiriştir. Bu kulelerden kablolar çapraz olarak (genellikle her iki tarafa) uzanır ve kirişi destekler. Çelik kablolar son derece güçlü ancak çok esnektir. Kablolar çok ekonomiktir çünkü ince ve hafif bir yapıya izin verirler ancak yine de büyük mesafeler kat edebilirler. Sadece birkaç kablo tüm köprüyü destekleyecek kadar güçlü olsa da, esneklikleri onları nadiren göz önünde bulundurduğumuz bir kuvvete karşı zayıf kılar: rüzgar (Midas IT., 2024).

Daha uzun açıklıklı kablo askılı köprülerde, kabloların ve köprünün rüzgarda stabilitesini garanti altına almak için dikkatli çalışmalar yapılmalıdır. Köprünün daha hafif olması, şiddetli rüzgarda bir dezavantaj olsa da, deprem sırasında bir avantajdır. Ancak, deprem sırasında veya zaman içinde temellerde düzensiz oturmalar meydana gelirse, kablo askılı köprü hasar görebilir, bu nedenle temellerin planlanmasında

dikkatli olunmalıdır. Halatlı köprünün modern ancak sade görünümü onu çekici ve farklı bir simge haline getirmektedir (Midas IT., 2024).

Kabloların ve bir bütün olarak yapının benzersiz özellikleri, köprü tasarımını çok karmaşık bir görev haline getirmektedir. Rüzgarların ve sıcaklıkların dikkate alınması gereken daha uzun açıklıklar için hesaplamalar son derece karmaşıktır ve bilgisayarların ve bilgisayar analizlerinin yardımı olmadan neredeyse imkansızdır. Kablolü köprülerin imalatı da nispeten zordur. Kirişler ve kuleler için kablo yönlendirme ve bağlantıları hassas imalat gerektiren karmaşık yapılardır. Kablo askılı köprüler için farklı bir sınıflandırma bulunmamaktadır. Bununla birlikte, açıklık sayısı, kule sayısı, kiriş tipi, kablo sayısı vb. ile ayırt edilebilirler. Kule sayısı ve tipinin yanı sıra kablo sayısı ve düzeninde de birçok varyasyon vardır. Kullanılan tipik kuleler tek, çift, portal veya hatta A şeklinde kulelerdir. Kablo düzenlemeleri de büyük farklılıklar gösterir. Bazı tipik çeşitler mono, arp, fan ve yıldız düzenlemeleridir. Bazı durumlarda, kulenin yalnızca bir tarafındaki kablolar kirişe bağlanır, diğer taraf bir temele veya başka bir karşı ağırlığa sabitlenir (Midas IT., 2024).

2.4.4. Rijit çerçeve köprüler

Rijit çerçeve köprüler bazen Rahmen köprüleri olarak da bilinir. Standart bir kiriş köprü tipinde, kiriş ve ayaklar ayrı yapılardır. Ancak, rijit çerçeve köprü, ayakların ve kirişin tek bir katı yapı olduğu köprüdür. Rijit çerçeve köprüdeki kirişlerin kesitleri genellikle I şeklinde veya kutu şeklindedir. Rijit çerçeve köprüler için tasarım hesaplamaları basit kiriş köprülere göre daha zordur. İskele ve kirişin birleşim noktasının imalatı zor olabilir ve doğruluk ve ayrıntılara dikkat gerektirir (Midas IT., 2024).

Birçok olası şekil olmasına rağmen, günümüzde neredeyse yalnızca pi şeklinde çerçeve, biter direkli çerçeve ve V şeklinde çerçeve kullanılır. Biter direkli sert çerçeve köprü, özellikle nehir ve vadi geçişleri için uygundur çünkü açılı olarak eğimli iskeleler, nehrin ortasına veya vadinin derin kısımlarına temel inşa etmeyi gerektirmeden geçişi daha etkili bir şekilde kaplayabilir. V şeklinde çerçeveler, temelleri etkili bir şekilde kullanır. Her V şeklinde iskele, kirişe iki destek sağlayarak temel sayısını azaltır ve daha az karmaşık bir profil oluşturur. Pi şeklinde sert çerçeve yapıları, şehir içi otoyollar için iskele ve destek olarak sıklıkla kullanılır. Çerçeve, yükseltilmiş otoyolu destekler ve aynı zamanda trafiğin doğrudan köprünün altından geçmesine izin verir (Midas IT., 2024).

2.4.5. Kafes köprüler

Bu nedenle, bir kafes köprüdeki tüm kirişler çoğunlukla düzdür. Kafesler, birlikte büyük miktarda ağırlığı destekleyebilen ve büyük mesafeler kat edebilen birçok küçük kirişten oluşur. Çoğu durumda kafeslerin tasarımı, imalatı ve dikimi nispeten basittir. Ancak, bir kez monte edilen kafesler daha fazla yer kaplar ve daha karmaşık yapılarda sürücülerin dikkatini dağıtabilir. Kiriş köprüler gibi, hem basit hem de sürekli kafesler vardır (Midas IT., 2024).

Bir kafesin bireysel parçalarının küçük boyutu, büyük parçaların veya bölümlerin sevk edilemediği veya montaj sırasında büyük vinçlerin ve ağır ekipmanların kullanılmadığı yerler için ideal bir köprü olmasını sağlar. Kafes içi boş bir iskelet yapı olduğundan, yol yapının üzerinden veya hatta içinden geçebilir ve bu da genellikle diğer köprü tiplerinde mümkün olmayan köprünün altından boşluk bırakılmasına olanak tanır. Kafesler ayrıca kullanılan temel tasarıma göre sınıflandırılır. En temsili kafesler Warren kafes, Pratt kafes ve Howe kafestir. Warren kafes, hem basit hem de sürekli kafesler için muhtemelen en yaygın kafestir. Daha küçük açıklıklar için, yapıya basit bir görünüm kazandıran dikey elemanlar kullanılmaz (Midas IT., 2024).

Daha uzun açıklıklar için, ekstra güç sağlayan dikey elemanlar eklenir. Warren makasları genellikle 50-100 m arasındaki açıklıklarda kullanılır. Pratt makası, en uçtakiler hariç, hepsi açıklığın merkezine doğru aşağı ve içeriye doğru eğimli olan diyagonal elemanlarıyla tanımlanır. Merkeze yakın diyagonal elemanlar hariç, tüm diyagonal elemanlar yalnızca çekme kuvvetlerine maruz kalırken, daha kısa dikey elemanlar basınç kuvvetlerini idare eder. Bu, daha ekonomik bir tasarımla sonuçlanan daha ince diyagonal elemanlara izin verir. Howe makası, Pratt makasının tam tersidir. Diyagonal elemanlar zıt yöne bakar ve basınç kuvvetlerini idare eder. Bu, onu çelik köprüler için çok ekonomik olmayan bir tasarım haline getirir ve kullanımı nadiren görülür (Midas IT., 2024).

Tasarımcı, uzun bir öğrenme süreci boyunca birçok köprüyü ilk önce görmüş ve incelemiş olmalıdır. Mevcut koşullarda hangi tip kirişin uygun olabileceğini bilmelidir, kirişli bir köprü, kemerli bir köprü veya askılı bir köprü. Ayrıca, temel koşullarının açıklıkların ve yapısal sistemlerin seçimi üzerindeki etkisini de bilmelidir, dolayısıyla köprünün tasarımcısı sadece bilgili bir kişi değil, aynı zamanda deneyimli bir kişi olmalıdır. Uğurlu anlarda sezgisel bir flaş, bilinen geleneksel çözümlerden

(sezgi, yeniliklere yol açan yaratıcılık) daha iyi görevi yerine getiren yeni bir çözüm sağlayabilir (Midas IT., 2024).

2.4.6. Betonarme köprüler

Su, ince agrega, iri agrega ve çimentodan oluşan betonun ham maddeleri dünyanın birçok yerinde bulunabilir ve çeşitli yapısal şekiller oluşturmak için karıştırılabilir. Beton malzemesinin ve donatı çubuklarının büyük bulunabilirliği ve esnekliği, betonarme köprüyü çok rekabetçi bir alternatif haline getirmiştir. Betonarme köprüler, bir üretim tesisinde imal edilen ve daha sonra şantiyede montaj için taşınan önceden dökülmüş beton elemanlardan veya doğrudan yerleştirildiği yerde şekillendirilen ve dökülen yerinde dökülen betondan oluşabilir. Yerinde dökülen beton yapılar genellikle monolitik ve sürekli olarak inşa edilir. Genellikle nispeten düşük bir bakım maliyeti ve daha iyi deprem direnci performansı sağlarlar. Ancak, yerinde dökülen beton yapılar, proje hızlı bir inşaat programında olduğunda veya mevcut sahte iş açıklığı boşluğu sınırlı olduğunda iyi bir seçim olmayabilir (Chen ve Duan, 2013).

2.4.7. Öngerilmeli beton köprüler

Öngerilmeli beton, temel olarak, uygun bir büyüklük ve dağılımda iç gerilmelerin, dış yüklerden kaynaklanan gerilmelerin istenen derecede dengelenmesi için uygulandığı betondur. Betonarme elemanlarda, öngerilme genellikle çelik donatının gerilmesiyle uygulanır.

Metal bantların serbest kuvvetle takılması ve ahşap tekerleklere metal lastiklerin büzülerek takılmasıyla ahşap fıçı inşaatının en eski örneği, öngerilme sanatının eski zamanlardan beri uygulandığını göstermektedir. Düz betonun çekme dayanımı, basınç dayanımının yalnızca bir kısmıdır ve çekme dayanımının yetersiz olması sorunu, "betonarme" olarak bilinen kompozit malzemenin geliştirilmesinde itici faktör gibi görünmektedir.

Çelik ve betonun gerilmelerindeki uyumsuzluk nedeniyle betonarmede erken çatlakların gelişmesi, belki de "Öngerilmeli beton" gibi yeni bir malzemenin geliştirilmesinin başlangıç noktasıydı. Basınçta güçlü ancak gerilimde zayıf olan beton gibi bir malzemeye kalıcı basınç gerilimi uygulanması, o malzemenin görünür çekme dayanımını artırır çünkü daha sonra uygulanan çekme geriliminin önce basınç ön gerilimini geçersiz kılması gerekir. 1904'te Freyssinet, yükler altında oluşan elastik

kuvvetlere direnmek için betona kalıcı etki eden kuvvetler sokmaya çalıştı ve bu fikir daha sonra "ön gerilim" adı altında geliştirildi (Aravind ve ark., 2015).

2.4.7.1. Yüksek mukavemetli çelik ve betona ihtiyaç

Öngerilmeli beton üzerine öncü araştırmalardan elde edilen önemli gözlemler şunlardır:

1. Yüksek dayanımlı çelik ve beton kullanma zorunluluğu.
2. Çeşitli sebeplerden kaynaklanan öngerilme kayıplarının tanınması.

Öngerilmeli betonda yumuşak çelik kullanma yönündeki ilk girişimler başarılı olmadı çünkü yumuşak çelikteki 120 N/mm^2 'lik çalışma gerilimi, betonun elastik deformasyonu, sürünmesi ve büzülmesi nedeniyle az çok tamamen kaybolmuştur. (Aravind ve ark., 2015).

Çelikteki normal gerilim kaybı genellikle yaklaşık 100 ila 240 N/mm^2 'dir ve bu gerilim kaybının başlangıç geriliminin küçük bir kısmı olması durumunda, çelikteki gerilimin başlangıç aşamalarında yaklaşık 1200 ila 2000 N/mm^2 gibi çok yüksek olması gerektiği açıktır. Bu yüksek gerilim aralıkları yalnızca yüksek dayanımlı çelik kullanımıyla mümkündür (Aravind ve ark., 2015).

Öngerilmeli betonda yüksek dayanımlı beton gereklidir çünkü malzeme gerilim, kesme, bağ ve taşımada yüksek direnç sağlar. Ankraj bölgesinde, yatak gerilmeleri daha yüksek olduğundan, maliyetleri en aza indirmek için her zaman yüksek dayanımlı beton tercih edilir. Yüksek dayanımlı beton, büzülme çatlaklarına daha az eğilimlidir ve daha yüksek bir elastiklik modülüne ve daha küçük bir nihai sürünme dayanımına sahiptir, bu da çelikte daha az ön gerilim kaybına neden olur. Yüksek dayanımlı beton kullanımı, ön gerilimli yapısal elemanların kesit boyutlarında bir azalmaya neden olur. Malzemenin ölü ağırlığının azalmasıyla, daha uzun açıklıklar teknik ve ekonomik olarak uygulanabilir hale gelir (Aravind ve ark., 2015).

2.4.7.2. Öngerilmeli beton avantajları

Öngerilmeli beton, betonarme ve çelik gibi diğer yapı biçimlerine kıyasla büyük teknik avantajlar sunar. Öngerilmeli beton elemanlar, ana çekme gerilimini azaltan basınç öngerilmesinin etkisi nedeniyle kesme kuvvetlerine karşı gelişmiş dirence sahiptir. Özellikle uzun açıklıklı elemanlarda kavisli kabloların kullanımı, destek bölümlerinde oluşan kesme kuvvetlerini azaltmaya yardımcı olur. Öngerilmeli elemanlarda yüksek

dayanımlı beton ve çelik kullanımı, betonarmeyle mümkün olandan daha hafif ve ince elemanlarla sonuçlanır. Öngerilmeli betonun iki yapısal özelliği, yani yüksek dayanımlı beton ve çatlaklardan arınmışlık, yapının dayanıklılığının ve agresif çevre koşullarının iyileştirilmesine katkıda bulunur. Betonun öngerilmesi, malzemenin darbe yükleri altında enerji emme yeteneğini artırır. Tekrarlanan çalışma yüklerine direnme yeteneğinin, öngerilmelide olduğu kadar betonarmede de iyi olduğu kanıtlanmıştır (Aravind ve ark., 2015).

2.4.7.3. Öngerilme uygulaması

Öngerilmeli beton, yüksek katlı binalardaki zeminler ve nükleer reaktörlerin tüm muhafaza kapları için kullanılan ana malzemedir. Bağlanmamış gerilim sonrası kirişler genellikle otopark garajlarında bariyer kablosu olarak kullanılır. Ayrıca, gerilme ve ardından gerilimsiz hale getirilme kabiliyeti nedeniyle, kalıcı onarımlar yapılana kadar hasarlı bir duvarı veya zemini tutarak hasarlı bir binayı geçici olarak onarmak için kullanılabilir. Öngerilmeli betonun avantajları arasında çatlak kontrolü ve daha düşük inşaat maliyetleri; daha ince levhalar - özellikle yüksek katlı binalarda önemlidir; bu binalarda zemin kalınlığından tasarruf edilmesi, aynı (veya daha düşük) maliyetle ve daha az derzle ek katlara dönüşebilir, çünkü gerilim sonrası levhaların kat edebileceği mesafe, aynı kalınlığa sahip takviyeli yapılarınkinden fazladır. Açıklık uzunluklarının artırılması, binalardaki kullanılabilir engelsiz zemin alanını artırır; derz sayısının azaltılması, bir binanın tasarım ömrü boyunca daha düşük bakım maliyetlerine yol açar, çünkü derzler beton binalardaki zayıflığın ana odağıdır. Kuzey Amerika'daki ilk öngerilmeli beton köprü, Pensilvanya, Philadelphia'daki Walnut Lane Memorial Köprüsü'ydü. 1951'de tamamlandı ve trafiğe açıldı. Öngerilme, su iletimi için kullanılan dairesel beton borularda da gerçekleştirilebilir. Yüksek çekme dayanımlı çelik tel, çekirdek betonda çevresel bir basınç gerilimi oluşturan kontrollü gerilim ve aralık altında borunun dışına helezonik olarak sarılır. Bu, borunun yüksek iç basınçları ve dış toprak ve trafik yüklerinin etkilerini idare etmesini sağlar (Aravind ve ark., 2015).

2.4.7.4. Yüksek mukavemetli beton karışımları

Öngerilmeli beton, normal betondan nispeten daha yüksek çekme dayanımına sahip, makul derecede erken yaşta yüksek basınç dayanımına sahip beton gerektirir. Öngerilmeli elemanlar için kullanılan beton için genellikle düşük büzülme, minimum sürünme karakteristiği ve yüksek bir Young modülü değeri gerekli kabul edilir.

Dayanıklılık, geçirimsizlik ve aşınma direnci gibi birçok istenen özellik, betonun dayanımından büyük ölçüde etkilenir. 1930'da titreşim tekniklerinin geliştirilmesiyle, 30-70 N/mm² aralığında 28 günlük küp basınç dayanımına sahip yüksek dayanımlı betonu fazla zorlanmadan üretmek mümkün hale geldi. Beton karışım tasarımı alanındaki son gelişmeler, alışılmadık malzemelere veya işleme başvurmada ve herhangi bir önemli teknik zorlukla karşılaşmadan, 70 ila 100 N/mm² arasında istenen herhangi bir 28 günlük küp basınç dayanımına sahip ultra yüksek dayanımlı betonun bile artık üretilmesinin mümkün olduğunu göstermiştir (Aravind ve ark., 2015).

2.4.7.5. Öngerilme yöntemleri

2.4.7.5.1. Öngerme

Öngerilmeli elemanlarda, kirişler beton dökülmeden önce bile gerilir. Donatının bir ucu bir dayanağa sabitlenirken, diğer ucu bir kriko kullanılarak çekilir ve bu uç daha sonra başka bir dayanağa sabitlenir. Daha sonra beton dökülür. Beton kürlendikten ve sertleştikten sonra, donatının uçları dayanaktan serbest bırakılır. Orijinal uzunluğuna dönme eğiliminde olan donatı, bağ etkisiyle etrafındaki betonu sıkıştırır. Öngerilme böylece donatı ile çevresindeki beton arasındaki bağın etkisiyle tamamen betona iletilir (Aravind ve ark., 2015).

2.4.7.5.2. Ard-germe

Post-gerilimli eleman, beton tamamen sertleştikten sonra donatının gerildiği elemandır. Kiriş önce kirişleri yerleştirmek için kanallar bırakarak dökülür. Beton sertleşip mukavemetini geliştirdiğinde. Tendon kanaldan geçirilir. Bir ucu bir ankrajla sağlanır ve elemanın bir ucuna sabitlenir. Şimdi, tendonun diğer ucu, elemanın ucuna dayanan bir kriko ile çekilir. Kriko aynı anda tendonu çeker ve betonu sıkıştırır. Tendon istenen gerilimlere maruz kaldıktan sonra, tendonun ucu da betona uygun şekilde sabitlenir (Aravind ve ark., 2015).

2.4.7.5.3. Öngerilme sistemi

1. Freyssinet sistemi
2. Magnel Blaton sistemi
3. Gifford-Udall sistemi
4. Lee-McCall sistemi

2.4.7.5.4. Freyssinet sistemi

Freyssinet sistemi Fransız Mühendis Freyssinet tarafından tanıtıldı ve tanıtılan ilk yöntemdi. 5 mm veya 7 mm çapında, 8 veya 12 veya 16 veya 24 numaralı yüksek mukavemetli çelik teller, içinde helezon yay bulunan bir kabloya gruplandırılır. Yay, tel için uygun aralığı korur. Kablo kanala yerleştirilir. Ankraj cihazı, yüzeyinde eş merkezli konik bir delik ve oluklar bulunan bir beton silindirden ve yüzeyinde oluklar taşıyan konik bir tapadan oluşur. Çelik teller uçlardaki bu oluklar boyunca taşınır. Beton silindir yoğun bir şekilde güçlendirilmiştir. Silindir yerine yerleştirilerek elemanlar üretilir. Teller, kablodaki tüm telleri aynı anda uygun oluklardan çekebilen Freyssinet çift etkili jakları tarafından çekilir. Tellerin bir ucu sabitlenir ve diğer ucu, teller gereken uzunluğa gerilene kadar çekilir. Daha sonra jakdaki bir iç piston, telleri kavramak için tapayı silindire iter (Aravind ve ark., 2015).

2.4.7.5.5. Magnel blaton sistemi

Freyssinet sisteminde aynı anda birkaç tel gerilir. Magnel Blaton sisteminde ise aynı anda iki tel gerilir. Bu yöntem Belçikalı ünlü bir mühendis olan Prof. Magnel tarafından tanıtılmıştır. Bu sistemde, ankraj cihazı telleri tutmak için oluklara sahip sandviç plakadan ve oluklu kamalardan oluşur. Her plaka sekiz tel taşır. İki uç arasında tellerin aralığı ara parçalarla korunur. 5 mm veya 7 mm'lik teller kullanılır. Kablolar 8 telin katları halinde tellerden oluşur. Özel koşullar altında 64'e kadar tele sahip kablolar da kullanılır. Özel olarak tasarlanmış bir jak aynı anda iki teli çeker ve onları sabitler (Aravind ve ark., 2015).

2.4.7.5.6. Gifford udall sistemi

Bu sistem Büyük Britanya'da ortaya çıkmıştır ve Hindistan'da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tek telli bir sistemdir. Her tel, çift etkili bir jak kullanılarak bağımsız olarak gerilir. Bu sistemde bir kablo oluşturmak için herhangi bir sayıda tel bir araya getirilebilir. Bu sistemde iki tür ankraj cihazı vardır.

- a) Boru ankrajları
- b) Levha ankrajları

Boru ankrajı bir yatak plakası, ankraj kama ve ankraj tutucularından oluşur. Ankraj plakası kare veya dairesel olabilir ve ayrı ön gerilim tellerini barındırmak için 8 veya 12 konik deliğe sahip olabilir. Bu teller, ankraj kama vasıtasıyla konik deliklere kilitlenir. Ayrıca, yatak plakasında enjeksiyon için harç giriş deliği de sağlanır. Ankraj

kama, düz yüzeyinde tırtıklar taşıyan bölünmüş koni kamadır. Bir itme plakası içeren, etrafı helezonlu bir çelik boru olan imal edilmiş bir çelik bileşen olan bir boru ünitesi vardır. Bu ünite uç kepenklere takılır ve ankrajın verimli bir döküm bileşenini oluşturur (Aravind ve ark., 2015).

2.4.7.5.7. Lee McCall sistemi

Bu yöntem çelik çubukların ön gerilmesi için kullanılır. Çubuğun çapı 12 ila 28 mm arasındadır. Uçlarında dişler bulunan çubuklar, gerçekleştirilen kanallara yerleştirilir. Çubuklar gerekli uzunluğa kadar gerildikten sonra, üyenin uç kısımlarında bulunan yatak plakalarına karşı somunlar kullanılarak sıkılır (Aravind ve ark., 2015).

2.4.7.6. Diğer öngerilme yöntemleri

2.4.7.6.1. Elektriksel ön gerilim

Bu yöntemde, donatı çubukları kükürt veya düşük erime noktalı alaşım gibi termoplastik bir malzeme ile kaplanır ve betona gömülür. Beton sertleştikten sonra, çubuktan düşük voltajlı ancak yüksek amperli elektrik akımı geçirilir. Elektrik akımı çubuğu ısıtır ve çubuk uzar. Diğer ucunda dişler bulunan çubuklar, gerekli uzama elde edildikten sonra ağır rondelalara karşı sıkılır. Çubuk soğuduğunda, ön gerilim oluşur ve kaplamanın yeniden katılaşmasıyla bağ yeniden sağlanır (Aravind ve ark., 2015).

2.4.7.6.2. Kimyasal öngerilme

Kimyasal ön gerilim, genleşen çimento kullanılarak yapılır. Ön gerilim, genleşen çimentodan yapılmış betona çelik yerleştirilerek uygulanabilir. Çelik, betonun genleşmesiyle uzar ve böylece ön gerilime maruz kalır. Çelik de betonda basınç gerilimi üretir (Aravind ve ark., 2015).

2.4.7.7. Öngerilme kayıpları

Betondaki başlangıç ön gerilimi, çeşitli nedenlerden dolayı transfer aşamasından itibaren zamanla kademeli bir azalmaya uğrar. Buna genellikle ön gerilim kaybı denir. Karşılaşılan farklı kayıp türleri aşağıdadır (Aravind ve ark., 2015).

2.4.7.7.1. Öngerme kayıpları

1. Betonun elastik deformasyonu
2. Çelikteki gerilimin gevşemesi
3. Betonun büzülmesi
4. Betonun sürünmesi

2.4.7.7.2. Ard-germe kayıpları

1. Tüm teller aynı anda gerildiğinde elastik deformasyondan kaynaklanan kayıp olmaz. Teller art arda gerildiğinde betonun elastik deformasyonundan kaynaklanan ön gerilim kaybı olur.
2. Çelikteki gerilimin gevşemesi
3. Betonun büzülmesi
4. Betonun sürünmesi
5. Sürtünme
6. Ankraj kayması

2.4.7.7.3. Betonun elastik deformasyonundan kaynaklanan kayıp

Ön gerilim beton elemana iletildiğinde, ön gerilimden dolayı bir büzülme olur. Bu büzülme telde bir uzama kaybına neden olur. Uzamanın bir kısmı kaybolduğunda, ön gerilim azalır. Bu ani kayıp kapsamına girer. Ön gerilimli betonda, ön gerilim betona aktarıldığında eleman kısalmır ve içindeki ön gerilim çeliği de kısalmır. Dolayısıyla bir ön gerilim kaybı olur. Son gerilim durumunda, tüm kablolar aynı anda gerilirse, elastik kısalmama tamamen meydana geldikten sonra uygulanan gerilim kaydedildiğinden herhangi bir kayıp olmaz. Kablolar sırayla gerilirse, diğer tendonların sonraki gerilmesi sırasında tendonda kayıp olur. Betonun deformasyonundan kaynaklanan ön gerilim kaybı, modüler orana ve çelik seviyesindeki betondaki ortalama gerilime bağlıdır (Aravind ve ark., 2015).

Çelik seviyesinde betondaki gerilme = f_c/E_c

Bu gerilmeye karşılık gelen çelikteki gerilim = $f_c E_s/E_c$

Bu nedenle çelikteki gerilim kaybı = $\alpha_e f_c$

2.4.7.7.4. Betonun büzülmesinden kaynaklanan kayıp

Betonun büzülmesi, nem kaybından kaynaklanan büzülme olarak tanımlanır. Betonun büzülmesi nedeniyle, tendondaki ön gerilim zamanla azalır. Betonun yeterli şekilde kürlenmesi ve yük uygulamasının geciktirilmesi, dayanıklılık ve ön gerilim kaybı açısından uzun vadeli faydalar sağlar. Özel durumlarda, büzülme gerginliğini zamanla izlemek için ayrıntılı hesaplamalar gerekebilir. Uzman literatür veya uluslararası kodlar bu tür hesaplamalar için kılavuzlar sağlayabilir (Aravind ve ark., 2015).

Betonda büzülmeyi etkileyen bazı faktörleri var:

1. Betonun büzülmesinden kaynaklanan kayıp, gerilmiş tellerin kısılmasına neden olur ve dolayısıyla gerilim kaybına katkıda bulunur.
2. Betonun büzülmesi, kullanılan  imento, agrega ve k rleme yönteminden etkilenir.
3. Düşük su  imento oranına sahip yüksek dayanımlı beton kullanımı b z lmede azalmaya ve buna bağlı olarak ön gerilim kaybına neden olur.
4. Kuruma büzülmesinin birincil nedeni, betondan suyun kademeli olarak kaybolmasıdır.
5. Büzülme oranı, elemanın yüzeyinde daha yüksektir.
6. Büyük elemanın i  yüzeyleri arasındaki farklı büzülme, yüzey  atlmasına yol açan gerilim gradyanlarına neden olabilir. Bu nedenle, ön gerilim elemanlarında büzülmeden kaynaklanan çatlakları önlemek için uygun k rleme esastır.  n gerilimli elemanlarda, genellikle transfer zamanına kadar büzülmeyi önlemek için nemli k rleme geri yüklenir. Sonuç olarak,  n gerilimin aktarılmasından sonra  n gerilmiş elemanlarda toplam artık büzülme gerilmesi, gerilimin aktarılması anında büzülmenin bir kısmının zaten gerçekleşmiş olduğu son gerilmiş elemanlara kıyasla daha büyük olacaktır (Aravind ve ark., 2015).

2.4.7.7.5. Sürünme nedeniyle oluşan kayıp

Betonun sürünmesi, sabit yük altında zamanla deformasyondaki artış olarak tanımlanır. Sürünme zamana bağlıdır. Betonun sürünmesi nedeniyle, tendondaki ön gerilim zamanla azalır. Betondaki karakteristik dayanımın üçte birinden daha az olan gerilimler için nihai gerilmenin elastik gerilmeye orantılı olduğu bulunur. Nihai sürünme gerilmesinin elastik gerilmeye oranı nihai sürünme katsayısı veya basitçe sürünme katsayısı Φ olarak tanımlanır. Aşağıdaki hususlar sürünme nedeniyle ön gerilim kaybını hesaplamak için geçerlidir.

- 1) Sürünme yalnızca sürekli (kalıcı olarak uygulanan) yüklerden kaynaklanır. Geçici yükler sürünme hesaplamasında dikkate alınmaz.
- 2)  n gerilim, üyenin uzunluğu boyunca değişebileceğinden,  n gerilimin ortalama bir değeri düşünülebilir.
- 3)  n gerilim sürünme nedeniyle değişir ve sürünme anlık  n gerilimle ilişkilidir. Bu etkileşimi dikkate almak için, sürünme hesaplaması küçük zaman adımları boyunca yinelenmelidir.

Formül:-

- Son derece sürünme gerilimi

Betonun sürünmesinden kaynaklanan gerilim kaybı = $\epsilon_c f_c E_s$

- Sürünme katsayısı yöntemi

Sürünme katsayısı = (creep strain/ elastic strain)

$$\Phi = \epsilon_c / \epsilon_e$$

$$\epsilon_c = \Phi \epsilon_e = \Phi \epsilon_c E_c E_s = \Phi f_c \alpha_e$$

2.4.7.7.6. Ankraj kayması nedeniyle oluşan kayıp

Çoğu ardgerme sisteminde, tendon kuvveti krikodan sabitleme uçlarına aktarıldığında sürtünme takozları küçük bir mesafe boyunca kayar. Ankraj blokları da betona yerleşmeden önce hareket eder. Ön gerilim kaybı, tendonun uzunluğundaki buna bağlı azalmadan kaynaklanır. Telin ankrajlar arasından kayması nedeniyle belirli miktarda ön gerilim serbest bırakılır. Kayma miktarı kama türüne ve teldeki gerilime bağlıdır. Ankraj kaybı, ön gerilim işlemi sırasında tendonun aşırı uzatılmasıyla, ankrajdan önceki çekme miktarıyla açıklanabilir (Aravind ve ark., 2015).

Δ = kayar ankraj mm

L = Kablonun uzunluğu, mm

A = Kablonun kesit alanı mm²

E_s = Çeliğin elastiklik modülü N/mm²

P = Kablodaki ön gerilim kuvveti, N

Sonra, $(PL/AE) = \Delta$

Bu nedenle, ankraj kayması nedeniyle oluşan stres kaybı = $P/A = E_s \Delta/L$

2.4.7.7.7. Sürtünmeden kaynaklanan kayıp

Sürtünme kaybı yalnızca gerilmiş kirişlerde meydana gelir. Kablo gerildiğinde, kanal kenarları ile kablo arasındaki sürtünme tam gerilimin iletilmesine izin vermez. Bu nedenle, kriko ucundan uzak bir noktada ön gerilim daha azdır. Gerilmiş elemanlarda, gerilimler kanallarda veya kılıflarda muhafaza edilir. Kablonun profili doğrusal ise, kayıp, yalpalama etkisi adı verilen kabloların düzleştirilmesi veya gerilmesinden kaynaklanacaktır. Profil kavisli ise, tendon ile kanal veya tendonların kendileri arasındaki sürtünmeden dolayı gerilimde kayıp olacaktır (Aravind ve ark., 2015).

2.5. Köprü Tipinin Seçimi

Herhangi bir özel durum için uygun beton köprü tipinin seçiminde, maliyet genellikle belirleyici faktördür. Ancak bazen, görünüm, kısıtlı tavan boşluğu, zor temeller, sınırlı inşaat süresi veya gerekli destek yüksekliğinden veya inşaat sırasında köprünün altından trafiğin sürdürülmesinin gerekli olmasından kaynaklanan kalıp zorlukları gibi özel gereksinimler nedeniyle sorun karmaşılaşır. Tek açıklığa sahip köprüler için, aşağıdaki yapı tipleri kullanılabilir:

- 2- Basit destekli güverte veya kirişler.
- 3- Dik açılı rijit çerçeveler.
- 4- Karşı ağırlıklı veya ağırlıksız gizli konsollu dik açılı çerçeveler.
- 5- Karşı ağırlıklı veya ağırlıksız gizli konsollu basit destekli kirişler.
- 6- Açıklığın her iki tarafında birer tane olmak üzere iki kısa gizli açıklık, her biri açıklığa uzanan ve kısa bir merkez açıklığını destekleyen bir konsolla donatılmıştır.

Güverte veya kirişli basit destekli yapı statik olarak belirlidir ve tasarımı en basit olanıdır, ancak maliyeti en yüksektir. Esnek olmayan temel elde edilebildiğinde, dik açılı rijit çerçeve ve karşı ağırlıklı veya ağırlıksız gizli konsollu dik açılı çerçeveler en ekonomik çözümü sağlar. Karşı ağırlıklı veya ağırlıksız gizli konsollu basit destekli kirişli kirişler ve açıklığın her iki tarafında birer tane olmak üzere iki kısa gizli açıklık, her biri açıklığa uzanan ve kısa bir merkez açıklığını destekleyen bir konsolla donatılmış, küçük kiriş derinliğinin istendiği uzun açıklıklar için düşünülmelidir. Birkaç açıklığa sahip bir köprü için aşağıdaki düzenlemeler düşünülmelidir:

- 1- Birkaç basit destekli kiriş açıklığı.
- 2- Konsollu kirişler ve bu konsollar tarafından desteklenen kısa açıklıkların bir kombinasyonu.
- 3- Bağımsız ayaklarla desteklenen sürekli kirişler.
- 4- Üst yapıyı oluşturan kirişlerin elastik dikey desteklerle rijit bir şekilde bağlandığı çok açıklıklı rijit çerçeveler.

Basit destekli kiriş açıklıklarının sayısı ve konsollarla donatılmış kirişler ile bu konsollarla desteklenen kısa açıklıkların kombinasyonu statik olarak belirli düzenlemelerdir. Bağımsız iskelelerle desteklenen sürekli kirişler ve üst yapıyı oluşturan kirişlerin elastik düşey desteklerle rijit olarak bağlandığı çok açıklıklı rijit çerçeveler statik olarak belirsizdir. Yapının maliyeti basit destekli kiriş açıklıkları için en yüksek, üst yapıyı oluşturan kirişlerin

elastik düşey desteklerle rijit olarak bağlandığı rijit çerçeveler için ise en düşüktür. Basit destekli kiriş açıklıklarının sayısı ve konsollarla donatılmış kirişler ile bu konsollarla desteklenen kısa açıklıkların kombinasyonu yalnızca makul derecede esnemeyen temelin kolayca elde edilemediği yerlerde kullanılmalıdır. Bu iki tipten, basit destekli kiriş açıklıklarının sayısının tasarımı konsollarla donatılmış kirişler ile bu konsollarla desteklenen kısa açıklıkların kombinasyonundan daha basittir ancak daha maliyetlidir. Esnek olmayan temellerin mevcut olduğu durumlarda, bağımsız ayaklarla desteklenen sürekli kirişler veya sürekli kirişli rijit çerçeveler ya da üst yapıyı oluşturan kirişlerin elastik düşey desteklerle rijit bir şekilde bağlandığı çok açıklıklı rijit çerçeveler kullanılmalıdır. Nehir geçişlerinde olduğu gibi ağır ayakların gerektiği durumlarda veya yapının halihazırda mevcut ayaklar üzerinde desteklenmesi gereken durumlarda, bağımsız ayaklarla desteklenen sürekli kirişler önerilir. Ağır ayaklar ile daha esnek üst yapı arasında rijit bir bağlantı asla denenmemelidir. Üst yapıyı oluşturan kirişlerin elastik düşey desteklerle rijit bir şekilde bağlandığı çok açıklıklı rijit çerçeveli rijit çerçeve, köprünün dikey desteklerinin elastik olduğu durumlarda, viyadüklerde olduğu gibi tercih edilir. Basit destekli kiriş açıklıkları sayısı dışındaki seçeneklerde, uç açıklıklarına konsol sağlama avantajına sahip olanlar, özellikle dayanak maliyetini düşürme amacıyla incelenmelidir.

2.6. Köprünün Bileşenleri

Köprü yapısı aşağıdaki parçalardan oluşur (Vasani ve Mehta, 2003):

- 1- Üst yapı veya Döşeme : Buna döşeme, kiriş, makas vb. dahildir. Üzerinden geçen yükü taşır ve aynı yükün neden olduğu kuvvetleri alt yapılara iletir.
- 2- Yataklar : Yataklar, döşemeden alınan yükü alt yapıya iletir ve yükün doğrudan üst yapı yükünü taşıyacak yeterli taşıma gücüne sahip olmayabilecek alt yapı malzemesi üzerine eşit şekilde dağıtılması için sağlanır.
- 3- Alt yapı : Buna iskeleler ve dayanaklar, kanat duvarları veya dönüşler ve bunların temeli dahildir.
- 4- İskeleler ve Dayanak : Bunlar, yükü temelden aşağıya yatağa/toprağa iletmek için sağlanan güverte/yatakları destekleyen dikey yapılardır.
- 5- Kanat duvarları ve Dönüşler : Bunlar, aksi takdirde doğal bir dinlenme açısına sahip olan yaklaşma bankasının toprağını tutmak için dayanakların uzantısı olarak sağlanır.

6- Temel : Bu, iskelelerden veya dayanaklardan ve kanatlardan gelen yükü iletmek veya geri dönmek ve yükü katmanlara eşit şekilde dağıtmak için sağlanır. Bu, nehirdeki akışın neden olduğu aşınmadan etkilenmeyecek ve altını oymayacak kadar yeterince derin sağlanmalıdır. Yukarıda belirtilenler yapısal olarak işlevsel parçalar olsa da, aracın veya kullanıcının akıntıya düşmesini önlemek veya trafik akışlarının ayrılması için güvertenin üzerine güvenlik korkulukları veya parapetler, korkuluklar veya bordürler sağlanır.

2.7. Yükler ve Gerilmeler

Öngerilmeli I-Kiriş tasarımında dikkate alınması gereken yükler ve gerilmeler şunlardır.

1. Ölü yük
2. Hareketli yük
3. Hareketli yükün darbe veya dinamik etkisi
4. Sıcaklık gerilmeleri

Bir kiriş veya eleman tarafından taşınan ölü yük, üst yapının ağırlığının (ve üzerinde taşınan sabit yükün) kiriş veya eleman tarafından tamamen veya kısmen desteklenen ve kendi ağırlığı da dahil olmak üzere, kısmından oluşur (Vasani ve Mehta, 2003).

Ama hareketli yük iki yükleme sınıfı var (Vasani ve Mehta, 2003):

- 1- Sınıf AA Yükleme: bu yükleme belirli belediye sınırları içinde, belirli mevcut veya öngörülen endüstriyel alanlarda, diğer belirtilen alanlarda ve belirli belirtilen otoyollar boyunca benimsenmelidir. Sınıf AA yükleme için tasarlanan köprüler, belirli koşullar altında Sınıf A yükleme altında daha ağır gerilmeler elde edilebileceğinden Sınıf A yükleme için de kontrol edilmelidir.
- 2- Sınıf A Yükleme: bu yükleme, kalıcı köprü veya menfezlerin inşa edileceği tüm yollarda normal olarak benimsenmelidir.
- 3- Sınıf B Yükleme: bu yükleme, geçici yapılar ve belirtilen alanlardaki köprüler için normal olarak benimsenmelidir. Ahşap açıklıklı yapılar, bu sınıfın amacı için geçici yapılar olarak kabul edilmelidir.

2.8. Kompozit Köprülerin Avantajları

- 1- Sapma ve titreşimlerde azalmaya yol açar.

- 2- İnşaat hızına yol açar.
- 3- Ekonomik olduğu kanıtlanır.
- 4- Daha iyi kalite kontrolüyle sonuçlanır.
- 5- Kalıp maliyeti azalır.
- 6- Dayanakların temel maliyeti azalır.
- 7- Taşıma maliyeti en aza indirilir.
- 8- Kompozit bir yapı için kirişin genel derinliği azalır ve yaklaşım uzunluklarında tasarruf sağlar.

2.9. Köprülerin Maksimum Açıklıkları

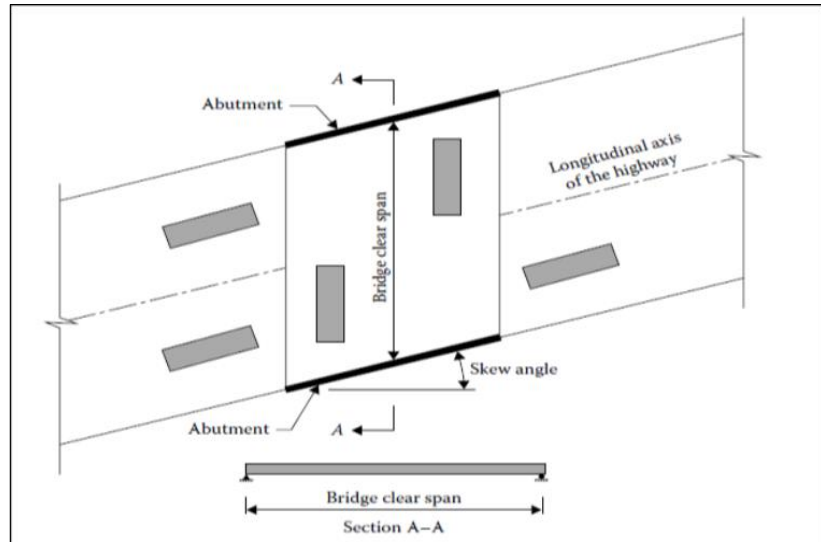
Belirli bir köprü tipinin önerilebileceği maksimum açıklıklar (Vasani ve Mehta, 2003):

- 1- RCC kemer köprü 200 m
- 2- RCC yay kirişli köprü 45 m
- 3- RCC konsol köprüler dengeli tipte 30 m
- 4- RCC sürekli köprü 45 m
- 5- RCC güverte tipi kiriş köprü 20 m
- 6- RCC dolu spandrel sabit kemer köprü 35 m
- 7- RCC açık spandrel kaburga tipi köprü 60 m
- 8- RCC portal çerçeve köprü 15 m
- 9- Öngerilmeli beton kemer köprü 150 m
- 10- Öngerilmeli beton sürekli köprü 110 m
- 11- Öngerilmeli beton kiriş köprü basit destekli 55 m
- 12- Çelik kemer köprü 500 m
- 13- Çelik yay kirişli köprü 240 m
- 14- Çelik kablolu asma köprü 1200 m
- 15- Çelik levha kiriş 30 m
- 16- Çelik haddelenmiş kiriş köprü 10 m
- 17- Çelik kafes köprü 180 m

2.10. Verevli/Verevsiz Beton Kiriş-Döşeme Köprülerinin Davranışı

Verevlik etkisi her türlü köprüde meydana gelir. Burada tartışılmasının sebebi, etkinin özellikle doğru olması ve beton levha köprüler için kolayca yorumlanabilmesidir. Verevsiz köprüler, düz, normal veya sağ köprüler olarak da bilinir, yolun uzunlamasına

ekseni dayanağa dik olacak şekilde inşa edilir ve bu nedenle 0°'lik bir verev açısına sahiptir. Amerikan Eyalet Karayolları ve Ulaştırma Görevlileri Birliği (AASHTO) Yük Direnci Faktörü Tasarımı (LRFD) Köprü Tasarım Spesifikasyonları'nda (2013a) açıklandığı gibi, bir köprünün verev açısı, köprünün uzunlamasına eksenini dayanağın dik eksenine arasındaki açı veya eşdeğer olarak, dayanak ile köprünün uzunlamasına eksenine dik eksen arasındaki açı olarak tanımlanır, Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Verevli köprüler genellikle engeller, karmaşık kavşaklar, engebeli arazi veya alan kısıtlamaları gibi geometrik kısıtlamalar nedeniyle inşa edilir (Menassa ve ark., 2007). 1916 gibi erken bir tarihte, karmaşık geometri ve yük dağılımları gibi, bunları tasarlarlarken ortaya çıkan birçok zorluk nedeniyle verevli köprüler inşa etmekten kaçınmak için tasarım önerileri yapıldı. Ancak, giderek karmaşılaşan saha kısıtlamaları nedeniyle, giderek artan sayıda verevli köprü inşa edildi. Eğimin neden olduğu karmaşık geometri ve yük dağılımlarına ek olarak, verevli açı, rüzgar ve sismik yükler nedeniyle enine ve uzunlamasına modların birleşmesine neden olarak alt yapının üst yapı ile birlikte performansını etkileyebilir. Verev açıları, uzunluk-genişlik oranına ek olarak, köprünün kiriş verevliğine mi yoksa plaka eylemine mi maruz kalacağını da etkiler. Verevli artıkça veya köprünün uzunluk-genişlik oranı azaldıkça, köprü bir kirişten çok bir plakaya benzer şekilde davranır (Fu ve Wang, 2015).

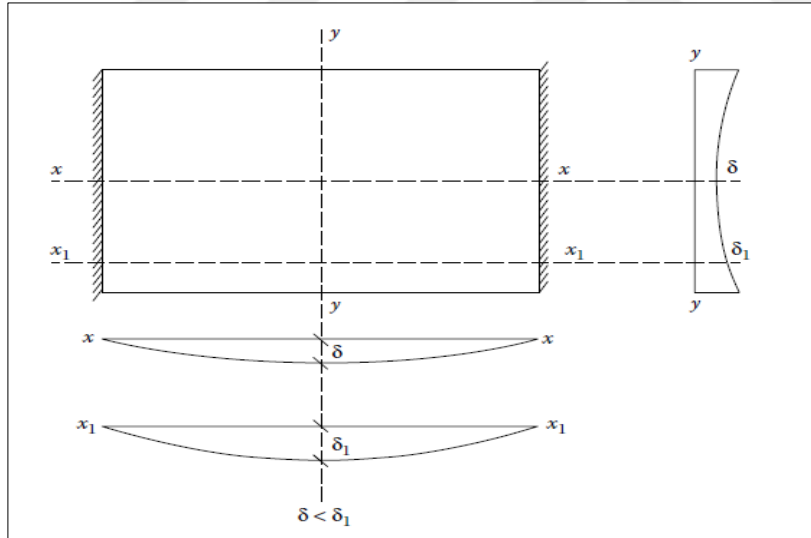


Şekil 2.1. Verevli köprüler tanımı (Menassa ve ark., 2007).

Verevsiz bir köprü tabliyesi, uzunlamasına ve enine yönde eğilmede ortogonal davranır. Ana momentler ayrıca trafik yönünde ve trafiğe dik yöndedir. Bu tür köprülerin döşemesi, Şekil 2.2'de gösterildiği gibi, sarkma (veya pozitif olarak adlandırılır) momentine yol açan uzunlamasına eğilir. Döşemeden gelen yük,

doğrudan eğilme yoluyla reaksiyon hattına aktarılır. Çift yönlü eğrilik nedeniyle az miktarda burulma momenti olacaktır ve ihmal edilebilir olacaktır (Fu ve Wang, 2015).

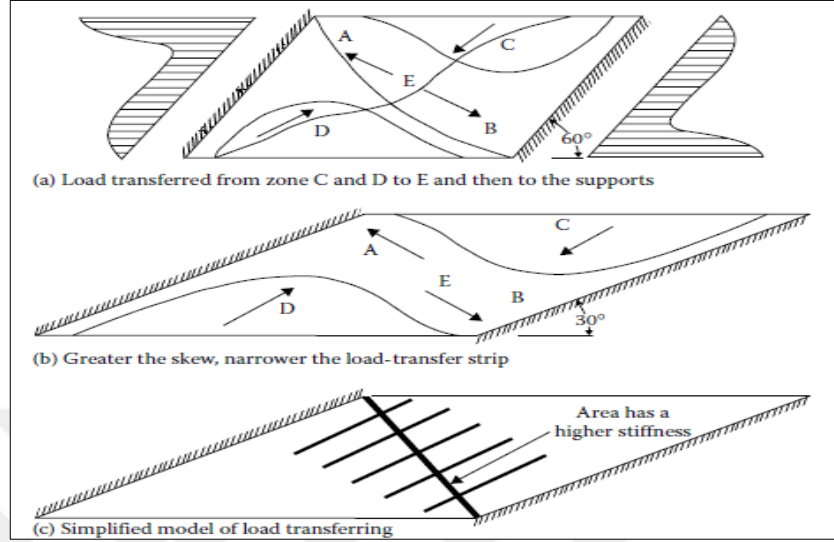
Verevli levhalardaki destek hatları arasındaki kuvvet akışı, geniş açılı köşeleri birleştiren alan şeridinden geçer ve levha öncelikle geniş açılı köşeleri birleştiren hat boyunca eğilir. Bu birincil eğilme şeridinin genişliği, verev açısı ve verev açıklığı ile güverte genişliği arasındaki oranın (en boy oranı) bir fonksiyonudur. Şeridin her iki tarafındaki alanlar yükü doğrudan mesnetlere aktarmaz, ancak yükü yalnızca Şekil 2.3'de gösterildiği gibi konsol olarak şeride aktarır. Bu nedenle verevli levha bükülme momentlerine maruz kalır. Bu bükülme momenti küçük değildir ve bu nedenle ihmal edilemez (Rajagopalan, 2006). Bu nedenle, ana moment yönü de değişir ve verev açısı ve genişlik-açıklık oranının bir fonksiyonudur. Yük önce şeritten desteğe, geniş açılı köşelerden destek hattı boyunca tanımlanmış bir uzunluk boyunca aktarılır. Daha sonra kuvvet tam uzunluk için yeniden dağıtılır. Kuvvet akışı Şekil 2.3'de gösterilmiştir, burada Şekil 2.3'daki ince çizgiler deformasyon şeklini gösterir. Tepki kuvvetlerinin desteklerin uzunluğu boyunca dağılımı her iki destek tarafında gösterilmiştir (Fu ve Wang, 2015).



Şekil 2.2. Verevsiz bir tabelanın sapma profili (Fu ve Wang, 2015).

Verevli köprüler için, levhanın saptması, verevli olmayan güverte durumunda olduğu gibi tekdüze veya simetrik değildir. Geniş açılı köşe alanlarının yakınında daha fazla saptmaya ve dar açılı köşe alanlarının yakınında daha az saptmaya yol açan bir eğilme olacaktır. Küçük verevlik açıları için, her iki serbest kenar da aşağı doğru saptmaya sahip olacaktır ancak büyüklükleri farklıdır. Büyük verevlik açıları için, maksimum saptma geniş açılı köşelerin yakınındadır. Dar açılı köşenin yakınında, ilişkili bükülme

ile S şeklinde sapma eğrisi ile sonuçlanan negatif bir sapma bile olabilir. Verevli açısındaki artış, eğilme momentlerini azaltır ancak bükülme momentlerini artırır (Rajagopalan, 2006).



Şekil 2.3. Verevli bir mesnette kuvvet akışı (Fu ve Wang, 2015).

Verevli ve verevsiz mesnetlerin davranışsal yönleri arasındaki karakteristik farklar şunlardır (Rajagopalan, 2006):

- Künt köşelerde yüksek tepki.
- Özellikle çok yüksek verev açılarında sahip levhalarda, keskin köşelerde olası yükselme.
- Destek hattı boyunca negatif moment ve kör köşelerin yakınında yüksek kesme ve yüksek burulma. Merkezi bölgede abutmente dik sarkma momentleri.
- Serbest kenarlarda, merkezden ziyade kör köşelere yakın maksimum moment.
- Künt açılı köşelere doğru maksimum sapma noktaları (verev açısı ne kadar büyükse, bu noktanın kör köşeye doğru kayması o kadar fazla olur).
- Maksimum uzunlamasına moment ve sapma, verevlik açısının belirli bir en boy oranı için verevlik açısının artmasıyla azalır.
- Verev arttıkça, daha fazla tepki kör açılı köşelere doğru ve daha az tepki ise dar açılı köşeye doğru atılır. Bu nedenle, tepki kuvvetlerinin dağılımı destek hattı boyunca düzgün değildir.
- 15°'ye kadar bir verevlik açısı ve 2'ye kadar verevlik açıklığı-sağ genişlik oranı için, verevliğin ana moment değerleri ve yönü üzerindeki etkisi çok küçüktür.

- 15°'den fazla bir verrev açısı için, levhanın davranışı önemli ölçüde değişir (Fu ve Wang, 2015).

2.11. Sonlu Elemanlar Yöntemi

2.11.1. Temeller

FEM, iyi tanımlanmış bileşenlerin veya elemanların sonlu sayıda olduğu ayrı bir sistemle süreklilik alanı olan küresel bir denge problemini çözmek için yaklaşık bir yaklaşımdır. Modern bir dijital bilgisayarın hızlı hesaplama gücü ve büyük bellek kapasitesiyle, ayrık sistem çok büyük ve karmaşık bir süreklilik problemini çözmek için kullanılabilir. Gerçek mühendislik yapısal problemlerinin karmaşıklığı nedeniyle, genellikle sürekli yakın form çözümü yoktur veya imkansızdır. Daha gelişmiş modern bilgisayar donanım ve yazılım teknolojileriyle, FEM'in uygulanması yapısal analizlerde bariz bir seçim haline gelir.

FEM ilkesi, toplam potansiyel enerjinin en aza indirilmesine dayanır; bu, dengeye ulaşıldığında iç gerilme enerjisi ve dış işlerin toplamının sabit olması gerektiğini belirtir. Elastik problemlerde, toplam potansiyel enerji sadece sabit değil, aynı zamanda minimumdur. Toplam potansiyel enerjinin sabitliği, kabul edilebilir yer değiştirmeler üzerindeki değişiminin sıfır olmasına eşdeğerdir ve şu şekilde ifade edilebilir (Zienkiewicz ve ark., 1977).

$$\frac{\partial \pi}{\partial \alpha} = \left\{ \begin{array}{c} \frac{\partial \pi}{\partial \alpha_1} \\ \frac{\partial \pi}{\partial \alpha_2} \\ \vdots \\ \vdots \end{array} \right\} = 0 \quad (2.1)$$

burada α , α_1 , $\alpha_2, \dots$ yer değiştirmeleri ve Π toplam potansiyel enerjiyi ifade eder; toplam iç gerilme enerjisi ile dış yüklerin toplam potansiyel enerjisinin toplamı

$$\Pi = U + W \quad (2.2)$$

Denklem 2.2'de, U ve W sırasıyla toplam gerinim enerjisi ve toplam potansiyel enerjidir. Belirli bir alan için, bunlar birçok düzenli veya iyi biçimli elemana bölünebilir. Toplam gerinim enerjisi U , bireysel elemanların gerinim enerjilerinin toplamıdır. Bir elemanın düğümlerindeki herhangi bir kabul edilebilir yer değiştirme verildiğinde, bu düğüm yer değiştirmelerine dayalı olarak uygun bir yer değiştirme örüntüsü varsayılabilirse, eleman içindeki herhangi bir noktadaki yer değiştirmeler

düğüm yer değiştirmelerinin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Daha sonra gerilim, düğüm yer değiştirmelerinin bir fonksiyonu olarak türetilebilir. Gerilim ve gerilim arasındaki ilişki göz önüne alındığında, gerilim düğüm yer değiştirmelerinin bir fonksiyonu olarak da ifade edilebilir. Dış yüklerden kaynaklanan toplam potansiyel enerji, düğüm yer değiştirmelerinin basit bir fonksiyonudur. Bu nedenle, toplam potansiyel enerji Π düğüm yer değiştirmelerinin bir fonksiyonudur. Denklem 2.1'deki gibi düğüm yer değiştirmeleri üzerindeki varyasyonları veya bilinen Rayleigh-Ritz sürecini tüm elemanlar üzerinde parça parça uygulayarak, bilinmeyen düğüm yer değiştirmeleri ile bilinen dış yükler arasında bir ilişki şu şekilde kurulabilir:

$$Ka = f \quad (2.3)$$

burada:

K, küresel sertlik matrisi olarak adlandırılır

f, dış düğüm yükleridir

a, düğüm yer değiştirmeleridir

Yapısal analiz için FEM uygulama prosedürleri standartlaştırılmıştır ve aşağıdaki gibi özetlenebilir (Fu ve Wang, 2015):

1. Sürekliliği veya yapıyı küçük elemanlara bölün. Bu adıma sistem ayrıştırması da denir. Eleman tipleri ve ağ yoğunluğu bu adımda belirlenmelidir.
2. Bir elemanın uygun bir yer değiştirme örüntüsü belirleyin. Bu, bir eleman içindeki herhangi bir noktadaki yer değiştirmelerin düğüm yer değiştirmelerinden nasıl türetildiğini türettiği için çözüm açısından kritiktir. Ağ yoğunluğuyla birlikte, yer değiştirme örüntüsü FEM çözümünün yakınsamasını etkiler. Yer değiştirme örüntüsü farklı eleman tipleri tarafından tanımlanır. Bu nedenle, sistemi ayırmak için kullanılan eleman tipleri kararlaştırıldıktan sonra, yer değiştirme örüntüleri otomatik olarak belirlenir.
3. Her elemanın sertlik matrisini hesaplayın ve küresel sertlik elemanlarını birleştirin.
4. Küresel sertlik matrisini bilinen sınır koşullarına göre hazırlayın. Herhangi bir keyfi sert hareket Denklem 2.3'ü karşılayabileceğinden, küresel sertlik matrisi K tekil hale gelir. Denklem 2.3'ü çözmek için, K'nin yalnızca bilinmeyen düğüm yer değiştirmelerini içerecek şekilde yoğunlaştırılması gerekir.
5. Denklem 2.3'ü çözün.

6. Her bir elemanın gerilmelerini ve gerilmelerini hesaplayın. Düğüm yer değiştirmeleri çözüldükten sonra, bir eleman içindeki herhangi bir noktadaki yer değiştirmeler varsayılan yer değiştirme desenleriyle interpolate edilebilir. Ayrıca, elemanın herhangi bir noktasındaki gerilmeler

ve gerilmeler elde edilebilir.

2.11.2. Geometrik ve elastik denklemler

Elastik bir gövdeye dış yükler etki ettiğinde, yer değiştirmeler ve deformasyonlar meydana gelir. Herhangi bir a noktasındaki yer değiştirme, sırasıyla Kartezyen eksenler u, v, w üzerindeki izdüşümleriyle tanımlanır. Bu üç yer değiştirme bileşeni sırasıyla x, y, z koordinatlarının fonksiyonlarıdır (Fu ve Wang, 2015).

$$a = [u \ v \ w]^T \quad (2.4)$$

Elastik gövdenin herhangi bir noktasındaki deformasyon, yer değiştirmelerin ilk türevleri olan üç doğrudan gerilme ve üç kesme gerilmesi ile tanımlanır (Fu ve Wang, 2015).

$$\begin{aligned} \varepsilon &= [\varepsilon_x \ \varepsilon_y \ \varepsilon_z \ \gamma_{xy} \ \gamma_{yz} \ \gamma_{zx}]^T \\ &= \left[\frac{\partial u}{\partial x} \ \frac{\partial v}{\partial y} \ \frac{\partial w}{\partial z} \ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \ \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \ \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right]^T \end{aligned} \quad (2.5)$$

Denklem 2.2, yer değiştirmeler ve gerilmeler arasındaki ilişkiyi tanımlayan geometrik denklemdir. Elastik bir cismin yer değiştirmeleri bilindiğinde, gerilmeleri geometri denkleminde türetilebilir. Ancak, yer değiştirmeler yalnızca bilinen gerilmelerle tanımlanamaz. Herhangi bir küresel sert yer değiştirme, Denklem 2.2'e göre aynı gerilmeleri üretebilir (Fu ve Wang, 2015).

Denklem 2.1'te tanımlanan yer değiştirmeler elastik bir gövde üzerindeki bir nokta için geneldir. Belirli bir eleman türü ele alındığında, yer değiştirmelerin bileşenleri basitleştirilebilir veya değiştirilebilir. Örneğin, iki boyutlu bir gerilim veya gerilme elemanı w bileşenine sahip olmayacaktır. Uzaysal bir giriş elemanı üç kartezyen eksen boyunca dönme yer değiştirmelerine sahip olacaktır ve denklem 2.1 şu hale gelecektir (Fu ve Wang, 2015):

$$\alpha = [u \ v \ w \ \theta_x \ \theta_y \ \theta_z]^T \quad (2.6)$$

İzotropik elastik malzemeler için Hooke Yasasına göre, gerilimler ve zorlanmalar arasındaki ilişki şu şekilde tanımlanır:

$$\varepsilon_X = \frac{\sigma_X}{E} - \mu \frac{\sigma_Y}{E} - \mu \frac{\sigma_Z}{E}; \varepsilon_Y = \frac{\sigma_Y}{E} - \mu \frac{\sigma_Z}{E} - \mu \frac{\sigma_X}{E}; \varepsilon_Z = \frac{\sigma_Z}{E} - \mu \frac{\sigma_X}{E} - \mu \frac{\sigma_Y}{E} \quad (2.7)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}; \gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G}; \gamma_{zx} = \frac{\tau_{zx}}{G} \quad (2.8)$$

burada:

E: Young modülü

G: Kayma modülü

μ : Poisson oranı

İzotropik malzemeler için, kayma modülü Young modülünden türetilir:

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} \quad (2.9)$$

Denklemler 2.4 ve 2.5 elastik denklemlerdir. Bu denklemlerdeki gerilmeleri çözerek, elastik denklemlerin başka bir biçimi Denklem 2.7 olarak veya matris biçiminde Denklem 2.8 olarak yazılabilir (Fu ve Wang, 2015).

$$\begin{bmatrix} \sigma_x & \sigma_y & \sigma_z & \tau_{xy} & \tau_{yz} & \tau_{zx} \end{bmatrix}^T \quad (2.10)$$

$$= D \begin{bmatrix} \varepsilon_x & \varepsilon_y & \varepsilon_z & \gamma_{xy} & \gamma_{yz} & \gamma_{zx} \end{bmatrix}^T ; \sigma = D\varepsilon \quad (2.11)$$

Burada D, Denklem 2.9'de gösterildiği gibi elastik matris olarak adlandırılır.

$$D = \begin{bmatrix} \lambda + 2G & \lambda & \lambda \\ \lambda & \lambda + 2G & \lambda \\ \lambda & \lambda & \lambda + 2G \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

λ , Young modülü ve Poisson oranı ile ilgili bir sabittir.

Genel olarak, büzülme veya sıcaklık değişiminden kaynaklanan başlangıç gerilmeleri ve/veya mevcut durumdan kaynaklanan başlangıç gerilmeleri herhangi bir noktada mevcut olabilir. Yalnızca gerçek ve başlangıç gerilmeleri arasındaki fark elastik gerilme değişikliklerine neden olur ve toplam gerilmeler elastik gerilmelerin ve başlangıç gerilmelerinin toplamı olmalıdır. Elastik Denklem 2.8 genel bir biçimde şu şekilde yeniden yazılabilir:

$$\sigma = D(\varepsilon - \varepsilon_0) + \sigma_0 \quad (2.13)$$

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_x & \sigma_y & \sigma_z & \tau_{xy} & \tau_{yz} & \tau_{zx} \end{bmatrix}^T \quad (2.14)$$

toplam gerilmeleri

$$\sigma_0 = [\sigma_x^0 \quad \sigma_y^0 \quad \sigma_z^0 \quad \tau_{xy}^0 \quad \tau_{yz}^0 \quad \tau_{zx}^0]^T \quad (2.15)$$

başlangıç gerilmeleri.

$$\varepsilon = [\varepsilon_x \quad \varepsilon_y \quad \varepsilon_z \quad \gamma_{xy} \quad \gamma_{yz} \quad \gamma_{zx}]^T \quad (2.16)$$

toplam germeleri (Fu ve Wang, 2015).

$$\varepsilon_0 = [\varepsilon_x^0 \quad \varepsilon_y^0 \quad \varepsilon_z^0 \quad \gamma_{xy}^0 \quad \gamma_{yz}^0 \quad \gamma_{zx}^0]^T \quad (2.17)$$

başlangıç germeleri.

2.11.3. Köprü analizinde uygulamalar

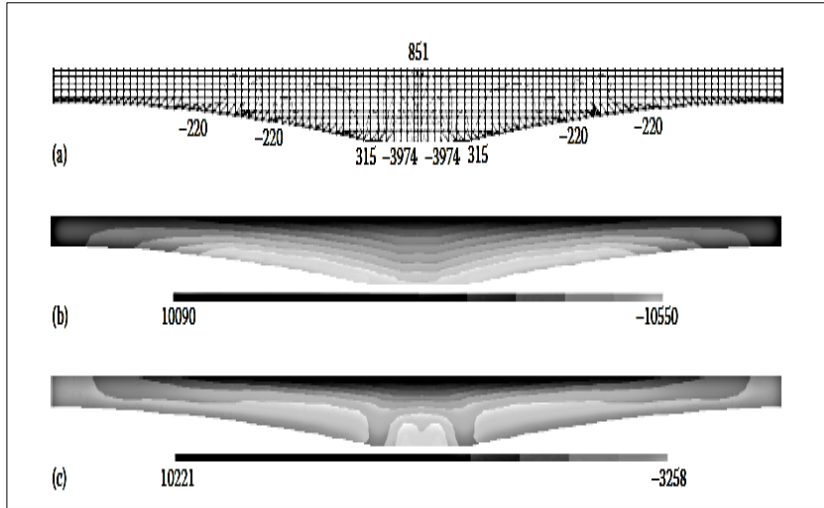
FEM'i köprü analizine uygularken, mühendislerin açıklığa kavuşturması gereken bazı yaygın sorular ve sorunlar vardır. Bu sorunlar şunlardır: (1) bir köprü modelinde hangi tür elemanlar kullanılmalıdır; (2) 2B model ne zaman yeterlidir ve 3B model ne zaman gereklidir; ve (3) özellikle bir köprü plaka veya kabuk elemanlar olarak modellendiğinde, köprü mühendisliği perspektiflerinden FEM sonuçlarının nasıl doğru şekilde yorumlanacağı., FEM'in yalnızca genel ilkeleri ve prosedürleri kısaca gösterilmiş olup, mühendislerin bir FEM paketinin arkasındaki teorileri anlamalarına yardımcı olmak amaçlanmıştır. Ve bir örnek olarak, yalnızca 2B çerçeve elemanı ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Genel olarak, kafes, çerçeve ve kabuk elemanları çoğu köprü analizini kapsayabilir. Kafes elemanı, kafes köprüsündeki bir üye gibi, yalnızca iki düğümü olan bir çizgi elemanıdır. Sadece eksenel gerilme/gerilime sahiptir ve en önemli özelliği gerilmesinin/geriliminin tüm eleman boyunca sabit olmasıdır. Truss elemanına ayrıca bağlantı elemanı da denir. Köprü yatakları, askılar, ön gerilim tendonları, kablolar vb., truss elemanları olarak modellenebilir. Çerçeve elemanı, bir çerçeve yapısındaki bir üye gibi, yalnızca iki düğümü olan bir hat elemanıdır. Bir kiriş gibi davranır ancak eksenel gerilim/basınç altında olabilir veya kiriş ve truss elemanlarının bir kombinasyonu olabilir. Çoğu FEM paketi, kiriş, truss ve burulma elemanının davranışlarını bir çerçeve elemanı olarak birleştirir - köprü analizinde en yaygın kullanılan eleman türü. Çizgi modellerde, kirişler, kirişler, diyaframlar, pilonlar, kolonlar, iskeleler vb. genellikle çerçeve elemanları olarak modellenir. Kabuk elemanı, düzlem içi gerilme/gerilim davranışını, bir plakanın bükülmesiyle birleştirir ya ince bir plaka ya da kalın bir plaka olarak. Bir köprü bileşeni plaka seviyesine modellendiğinde, örneğin kutu kiriş veya çelik I-kiriş, kabuk elemanı kullanılabilir. Ağlar gibi düzlemde davranan bazı bileşenler, modellemeyi kolaylaştırmak için kabuk olarak basitleştirilebilir. Günümüzde, 3B'de modelleme yapıp yapılmayacağı

artık bir soru değil çünkü modern grafiksel ön ve son işleme araçları yaygın olarak mevcuttur (Fu ve Wang, 2015).

Ayrıntılı analiz için, çoğu köprü yalnızca daha iyi doğruluk için değil, aynı zamanda bileşen simülasyonlarının basitleştirilmesi için de 3B olarak modellenmelidir. Asma köprü gibi uzun açıklıklı bir köprü bile, 2B yerine 3B olarak modellenmesi tercih edilir, çünkü pylonlar ve sertleştirici kirişin kafes elemanları gibi bileşenlerin sertliği kolayca hesaplanabilir ve böylece 3B olarak doğru şekilde simüle edilebilir. Kafes köprülerdeki döşeme kirişlerinin aşırı canlı yük analizi gibi belirli analiz amaçları için 3B model kaçınılmaz hale gelir (Fu ve Wang, 2015).

Uzunlamasına ve enine eksenlerdeki boyutlar karşılaştırılabilir olduğunda, örneğin orta ve kısa açıklıklı kiriş köprüleri, ara model veya sözde ızgara modeli yaygın olarak kullanılır. Izgara modelindeki eleman, ızgara düzlemindeki iki öteleme yer değiştirmesi ve ızgara düzlemine dik eksen boyunca bir dönme yer değiştirmesi göz ardı edilerek 3B çerçeve elemanından geriye doğru dönüştürülür. Böylece, bir elemanın her düğümü yalnızca dikey yer değiştirmelere, eğilme rotasyonuna ve burulma yer değiştirmelerine sahiptir. Eleman iç kuvvetleri, buna göre eğilme ve burulma momentleri ile kesme içerir. Bir ızgara modeli, aynı serbestlik derecesini korurken kirişin uzunlamasına yönündeki ve kirişler arasındaki enine yöndeki dağılımları kolayca analiz edebilir.

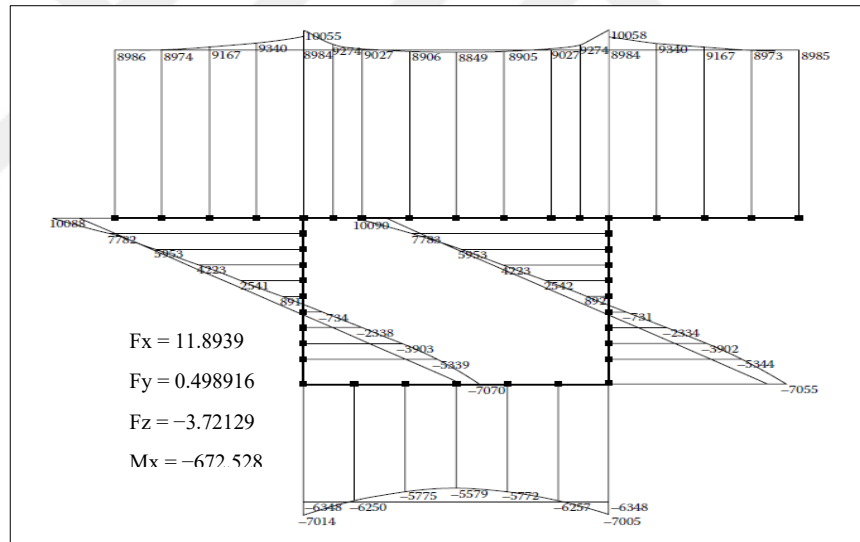
Bu nedenle, ızgara modeli kiriş köprü analizlerinde çok yaygındır. Ayrıca, grid modeli, ağların ayrı diyaframlarla doğrudan değil, flanşlarla bağlandığı geniş bir kutu kirişi simüle etmek için genişletilebilir (Hambly, 1992). Ancak, bir kutu kirişin ağları arasındaki yanal dağılımlar ilgi çekici olduğunda, kabuk elemanlı gerçek bir 3B model teşvik edilir. Burulma kısıtlandığında eğilme, yetersiz diyafram kullanıldığında bozulma ve flanşların uzunlamasına kayma deformasyonlarından kaynaklanan kayma gecikmesi gibi geniş, ince duvarlı bir kutu kirişin birçok davranışı, bir grid modelinde temsil edilemez (Fu ve Wang, 2015).



Şekil 2.4. Gerilmelerin mühendislik perspektifleri olarak yorumlanması (a) Bir kutu kirişteki ağı kabuk elemanları ve dikey kesme gerilmeleri (b) Açıldıktan sonra yatay yöndeki gerilmeler (c) Başlıca ana gerilmeler (Fu ve Wang, 2015).

Çoğu bileşen tasarım teorisi ve kod kontrolü, bir bileşenin kesiti üzerindeki iç kuvvetlere dayanır. Örneğin, bir çerçeve elemanının donatı miktarları tasarlanırken, eğilme momenti, kesme ve eksenel kuvvetler bilinmelidir. Bir köprü bileşeni kafes veya çerçeve elemanları olarak modellendiğinde, FEM analizlerinden elde edilen iç kuvvetler doğrudan mühendislik tasarımı ve kod kontrolleri için kullanılabilir. Bir bileşen, Şekil 2.4.a'da gösterildiği gibi kutu kirişli bir ağ gibi kabuk elemanlarına bağlandığında, FEM'den elde edilen sonuçlar bir köprü bileşeninin perspektifine çevrilmelidir, aksi takdirde orijinal FEM sonuçları anlamlı olmaz ve tasarım veya kod kontrollerinde kullanılamaz. Bunun nedeni, FEM analizinden elde edilen gerilim sonuçlarının her bir elemanın yerel koordinat sisteminde olması ve bir elemandan diğerine değişebilmesidir. Gerilimler, bir bileşenin uzunlamasına eksenine gibi mühendislik açısından anlamlı olan benzersiz bir eksene dönüştürülmelidir. Eğri segmentlerinde, elemanlar eğriler boyunca açılmalı ve gerilim sonuçları daha sonra düz bölgelere çizilebilir. Örneğin, Şekil 2.4b'da gösterildiği gibi, ağ eğrileri boyunca yatay gerilimler, tüm ilgili kabuk elemanlarının iki eksenel gerilimi ve bir kesme geriliminden dönüştürülür. Şekil 2.4b'da gösterilen şey, bir kesite dik eksenel gerilim olarak tanımlanabilir ve bu, baskın gerilimlerden biridir ve bir köprü mühendisinin aradığı şeydir. Ayrıca, herhangi bir noktadaki gerilim bileşenlerinden dönüştürülen ana/küçük ana gerilimlere*, her elemanın yerel koordinat sistemindeki orijinal gerilim bileşenlerinden daha sık ve daha anlamlı bir şekilde ihtiyaç duyulur. Şekil 2.4c, Şekil 2.4a ve Şekil 2.4b'dekiyle aynı ağın ana ana gerilimini gösterir (Fu ve Wang, 2015).

Bir köprü kabuk elemanlar veya daha sonra 3B blok elemanlar olarak modellendiğinde, mühendisler genellikle kabuk elemanlardan elde edilen gerilim dağılımını, kiriş teorisinden farklılıkların daha iyi anlaşılabilmesi için, basit bir model olan çerçeve elemanlarından elde edilen gerilim dağılımıyla karşılaştırmak isterler. Bu bağlamda, son işlemedeki özel işlevler köprü analizi için özellikle önemlidir veya 3B detaylı modelleme köprü analizi ve tasarımında büyük ölçüde sınırlı olacaktır. Örneğin, Şekil 2.5, önce gerilim bileşenlerini önceden tanımlanmış herhangi bir kesite dik aksenal gerilime dönüştürebilen ve ardından kesit üzerinde eşdeğer toplam kuvvetleri elde etmek için bu gerilimi kesit üzerinde entegre edebilen bir son işleme paketindeki özel bir işlevi gösterir. Şekil 2.5'in altında gösterilen eşdeğer kuvvetler, daha sonra kiriş eğilme teorisiyle aksenal gerilim dağılımını hesaplamak için kullanılabilir. Hem üst hem de alt flanşlarda gösterilen gerilim karşılaştırması, mühendislerin eğilme, bozulma ve kayma gecikmeleri gibi etkileri anlamalarına yardımcı olabilir (Fu ve Wang, 2015).



Şekil 2.5. Bir kesit üzerindeki gerilim entegrasyonunun kiriş teorisine karşılaştırılması. Eğriler-bir kabuk eleman modelinden aksenal gerilim dağılımı. Düz çizgiler-gerilim entegrasyonundan elde edilen eşdeğer iç kuvvetler kullanılarak kiriş eğilme teorisinden yeniden hesaplanan aksenal gerilim dağılımı (Fu ve Wang, 2015).



3. SAYISAL UYGULAMA

3.1. Sayısal Uygulama Tez Konusu

Bu çalışmada, I-kesitli öngerilmeli beton sürekli köprülerde üstyapının davranışı üzerinde eğikliğin açısının etkilerinin incelenmesidir. Bu konu, son on yılda yapılan son araştırmalar okunduğunda, I-kesitli öngerilmeli eğik köprüler hakkında ayrıntılı olarak konuşulan hiçbir araştırma bulamadığımız için seçildi. Ayrıca, sadece gerilmeleri derinlemesine incelemek için hiçbir araştırma yapılmadı. Bu nedenle, bu araştırmanın, öngerilmeli eğik köprülerin gerilmeler açısından davranışı hakkında çok önemli bilgiler ekleyeceğini ve bize ve tasarımcılara daha güvenli ve daha ekonomik köprüler tasarlamalarına yardımcı olabilecek çok önemli bilgiler sağlayacağını olacaktır.

3.2. Tezin Katkısı Nedir?

Bu araştırmanın sonunda araştırmacılar tarafından daha önce çalışılmayan bilime katılacak değer nedir (literatür taramasından gördüğümüz gibi) :

- 1- Farklı verevlik açlarına sahip verevli köprülerin aynı yük koşullarında davranışı.
- 2- Üst yapıdaki (4) farklı verevlik açısı için verevlik açlarındaki değişimin eğilme gerilmeleri , kesme kuvvetleri, eğilme momentleri, burulma momentleri ve yerdeğiştirme üzerindeki etkileri.
- 3- Dış I-kirişler ve iç I-kirişler üzerinde farklı bir verevli kullanmanın farklı etkileri.
- 4- Araştırmacılar bu konu hakkında artık deneysel araştırmalar yapabilir ve bu sonuçlarla deneysel sonuçlar arasında karşılaştırmayı kolaylıkla yapabilirler.

3.3. Yöntem

3.3.1. Model açıklaması

Araştırmanın bu bölümünde, Midas Civil programını kullanarak sonlu elemanlar yöntemi ile analiz etmek istediğimiz modellerimizin şeklini açıklanacaktır : -

Bu çalışmada dört farklı verevliği açısına sahip dört model (0° , 21° , 37.6° , 49°) kullanılacaktır. Her model üç açıklığa, öngerilmeli betona ve I-kiriş kesitine sahiptir. Bu açıklıkların uzunlukları sırasıyla (24, 24, 24 m)'dir. Köprünün üst yapısı, biri ilk açıklığın

sonunda, diğeri ikinci açıklığın sonunda olmak üzere iki ayak başlığı tarafından iki ayak üzerinde taşınmıştır. Diğer iki dış parça dayanak tarafından taşınmıştır. Her ayağın yüksekliği (6 m)'dir. Modeller dört I-kirişe sahiptir ve tipi uzunlamasına yönde tam öngerilmiştir (iç öngerilim). Her I-kirişte çapı 12,7 mm olan yirmi telden oluşan bir tendon vardır. Ayaklar ile temeller arasındaki bağlantılar sabit mesnet olarak düşünülmüştür. Üstyapının dıştaki dayanaklarla olan bağlantıları da sabit mesnet olarak düşünülmüştür. Üstyapı, her bir dayanak başlığı için dört noktada dayanak başlıklarına temas etmiş ve bu noktalarda üst yapı ile ayak başlıkları arasında yataklamalar bulunmaktadır. Ayrıca dayanakların uçlarındaki üstyapı ile temas noktalarında da yataklamalar bulunmaktadır. Ayak kesiti dairesel olup çapı 1,2 m'dir. Modelleme ortogonal ızgara şeklindedir. PSC kompozit beton kirişlerde C80 beton, döşemede ağırlıksız beton ve köprünün diğer kısımlarında C40 ($f_c = 40$ MPa) beton kullanılmıştır. I-kiriş kirişlerinin kesiti açıklık uzunluklarına göre AASHTO LRFD'den seçilmiştir. Açıklık uzunluğu 30,3 m'den uzun olmadığında AASHTO LRFD'de standart olan (tip III) I-kiriş kesiti kullanılmalıdır. Aşağıdaki AASHTO LRFD Tablo (3.1), açıklıklara göre I-kiriş kesit açıklamaktadır.

Tablo 3.1. AASHTO Kirişin maksimum açıklık uzunluğu.

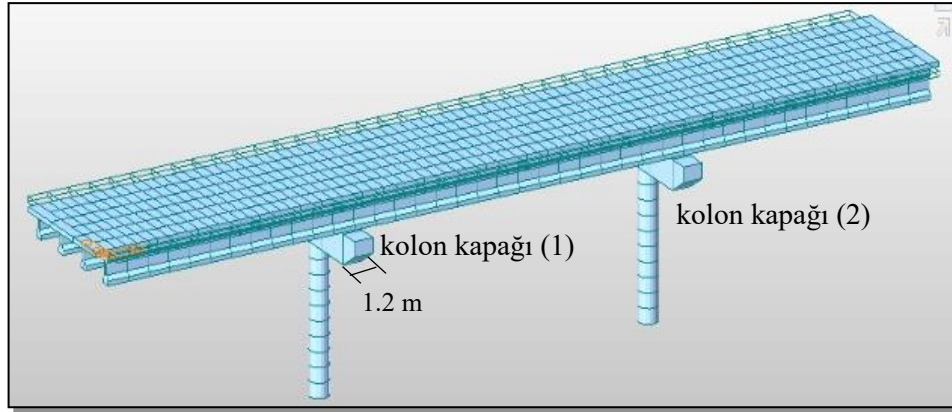
Tip	Yükseklik (mm)	Üst Flanş (mm)	Alt Flanş (mm)	Maksimum Açıklık Uzunluğu (m)
III	1,143	406	559	30.3
V	1,600	1,067	711	43.5
VI	1,828	1,067	711	50.1

AASHTO LRFD tasarım spesifikasyonlarına uygun olarak, üst yapı bölümünün tüm yüksekliği 1,08 m'ye (0,045 L) kadar olmamalıdır (Tablo 3e.1). Sonuç olarak, I kirişinin kesiti AASHTO LRFD ile uyumlu olarak tip-3 olarak seçilmiştir ve bu da toplam üst yapı yüksekliğinin 1,2 m'lik tam üst yapı yüksekliği ile sonuçlanmasına neden olmuştur.

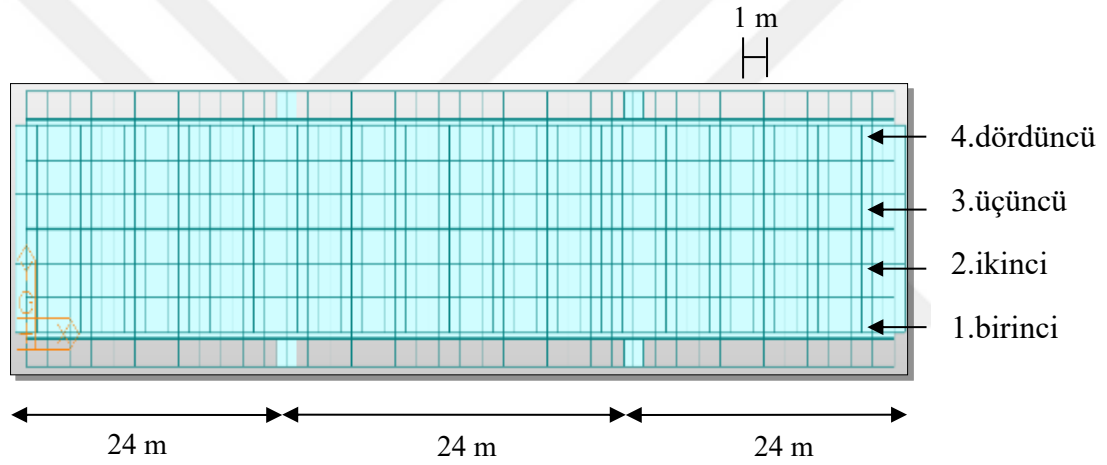
Tüm modeller, uzunlamasına yönde dahili ön gerilim kullanan dört ön gerilimli beton I kirişine sahiptir. Kirişler arasında 2,6 m mesafe vardır. 12,7 mm tel çapına sahip her I kirişi 22 telden oluşur. Her tel (7) telden oluşur ve ASTM standartlarına göre A416-270 (düşük gevşeme) tipi çelikten oluşur. Çeliğin çekme dayanımı $f_{pu} = 1863$ MPa iken, akma dayanımı $f_{py} = 1676$ MPa'dır (AASHTO LRFD 5.4.4.1-1). Burada açıkça yazılmayan tüm farklı parametreler program içindeki varsayılan ayarlardan takip edilmiştir.

3.3.1.1. Birinci model (Açı 0°)

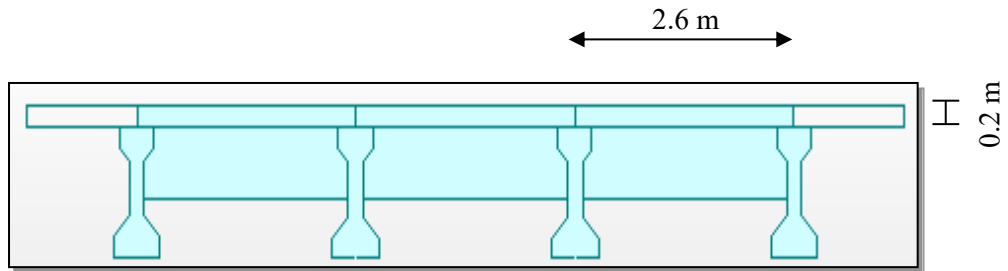
İlk modelin tüm ölçüleri aşağıda gösterildiği gibidir.



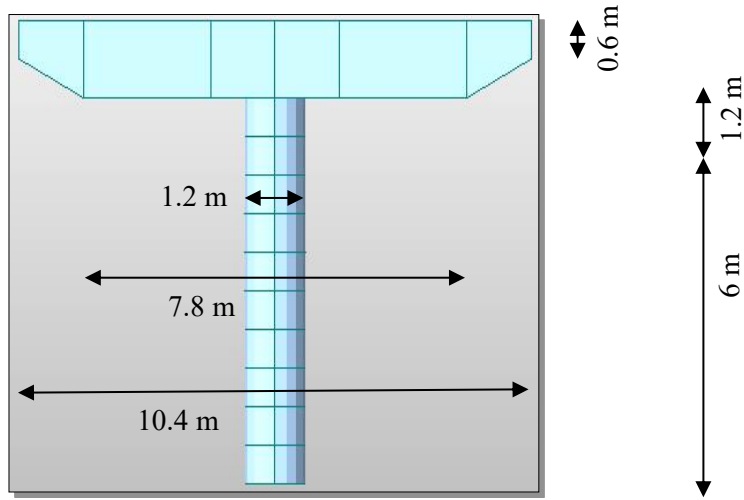
Şekil 3.1. İlk modelin yüksekliği (açı 0°).



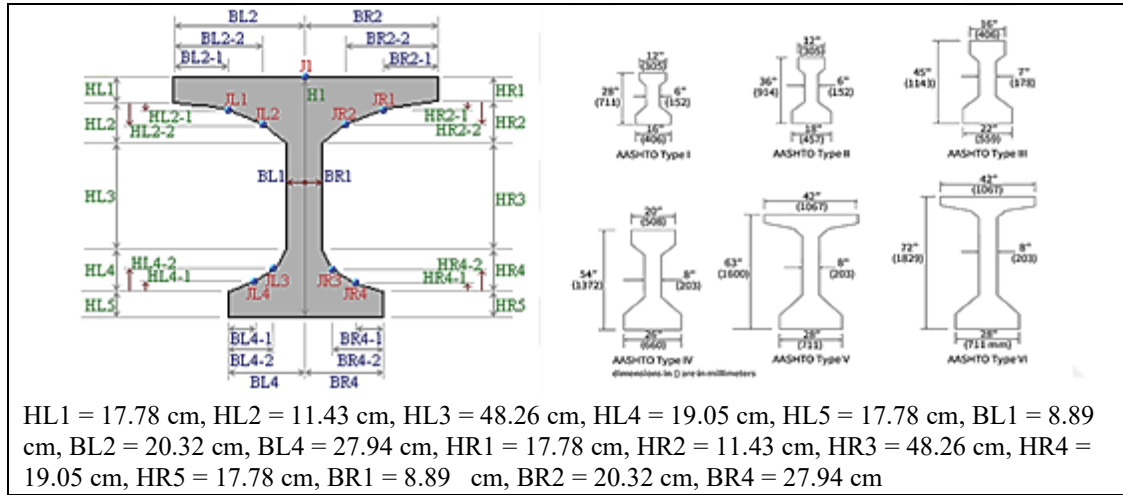
Şekil 3.2. İlk modelin planı (açı 0°).



Şekil 3.3. İlk model için döşemenin boyutları (açı 0°).



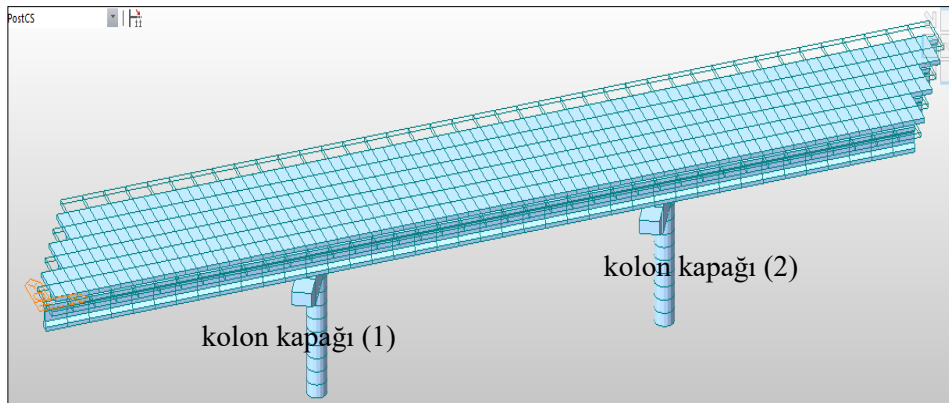
Şekil 3.4. İlk model kolonu ve kolon başlığının boyutları (açı 0°).



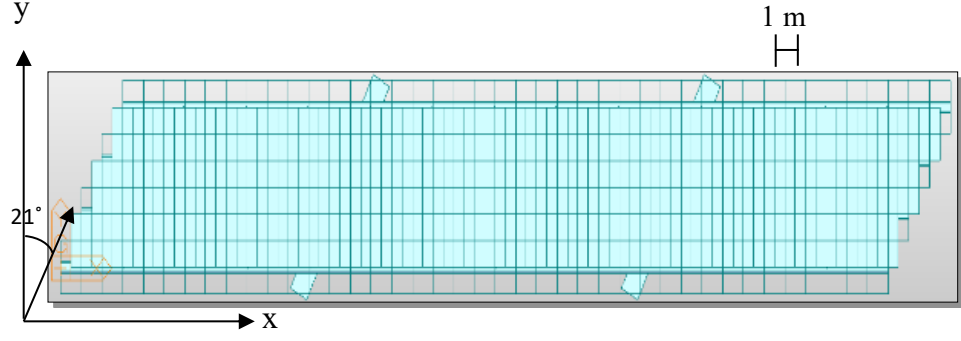
Şekil 3.5. Tüm modeller için I-kirişin (AASHTO Tip III) boyutları.

3.3.1.2. İkinci model (Açı 21°)

İkinci modelin tüm ölçüleri aşağıda gösterilmektedir.

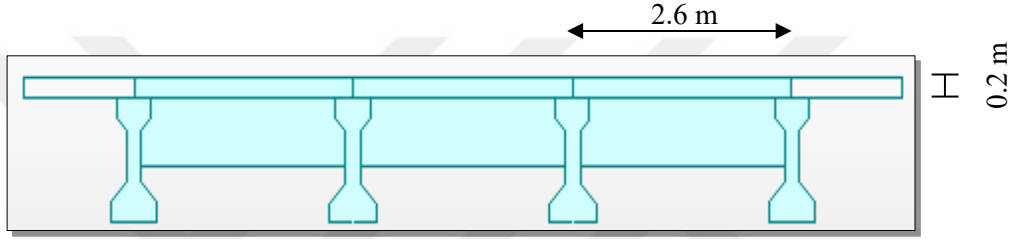


Şekil 3.6. İkinci modelin görünüşü (açı 21°).



Şekil 3.7. İkinci modelin planı (açı 21°).

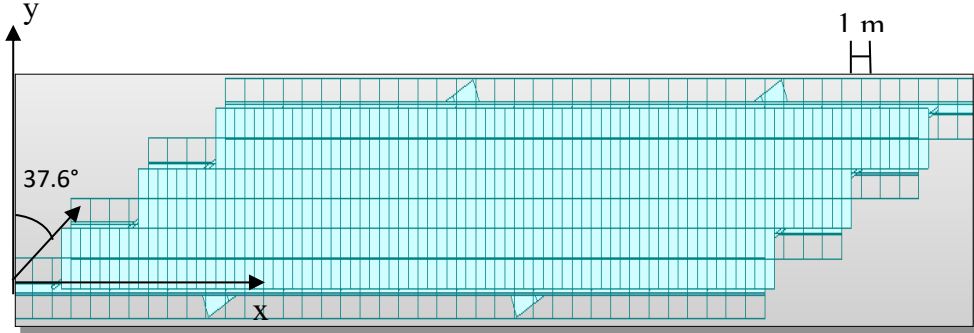
- Tüm modellerde tüm sertleştirici bölüm boyutları aynıdır. Bu boyutlar şunlardır :
H= 0.6 m, B= 0.15 m.



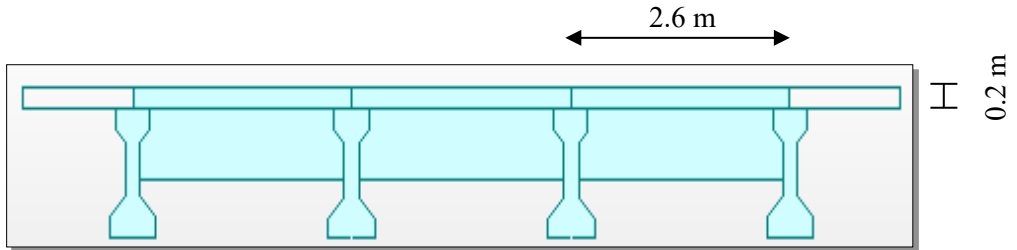
Şekil 3.8. İkinci model için döşemenin boyutları (açı 21°).

3.3.1.3. Üçüncü model (Açı 37.6°)

Üçüncü modelin tüm ölçüleri aşağıda gösterilmiştir.



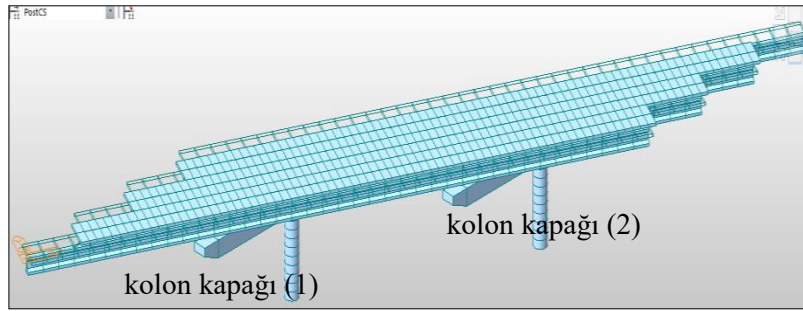
Şekil 3.9. Üçüncü modelin planı (açı 37.6°).



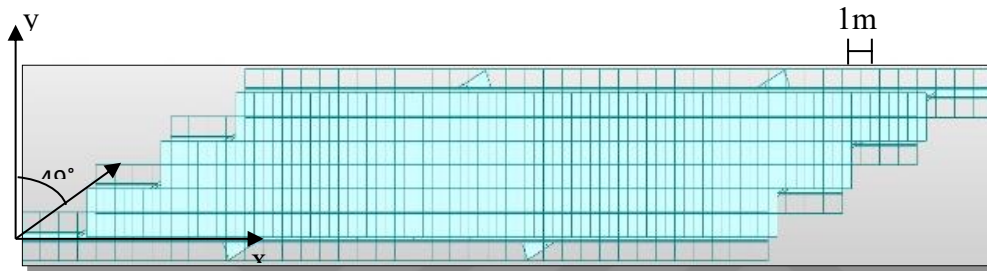
Şekil 3.10. Üçüncü model için döşemenin boyutları (açı 37.6°).

3.3.1.4. Dördüncü model (Açı 49°)

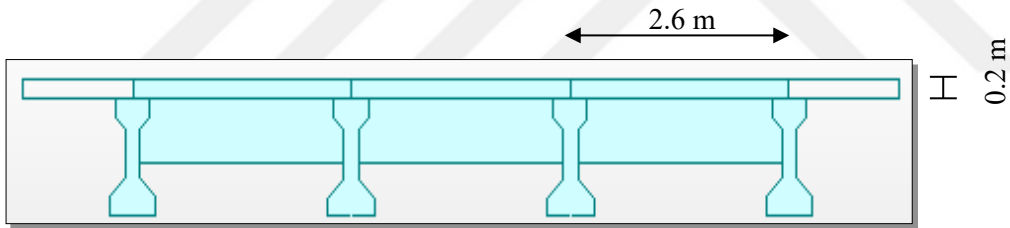
Dördüncü modelin tüm ölçüleri aşağıda gösterilmiştir.



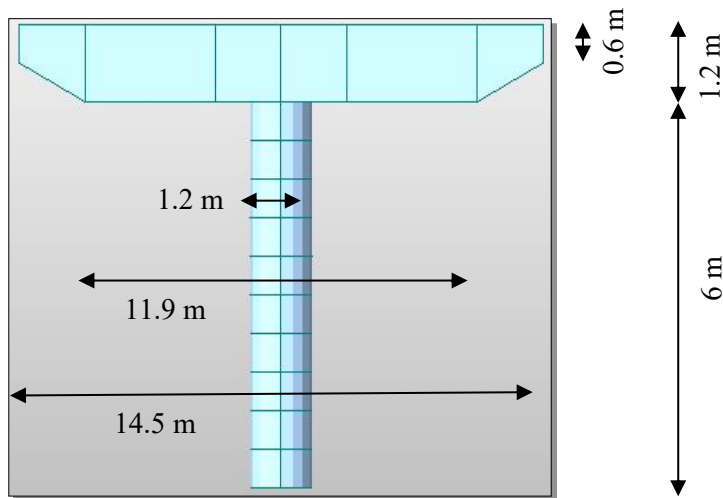
Şekil 3.11. Dördüncü modelin görünüşü (açı 49°).



Şekil 3.12. Dördüncü modelin planı (açı 49°).



Şekil 3.13. Dördüncü model için döşemenin boyutları (açı 49°).



Şekil 3.14. Dördüncü model için kolon ve kolon başlığının boyutları (açı 49°).

3.3.2. Tendon özellikleri

Tüm modellerde kullandığımız tendon tipi dahili (ön gerilimli)dir. Çapı 12,7 mm olan yirmi telden oluşur. Tendonun malzemesi çelik A416-270 (Düşük)'tür. Uygulanan ön gerilim, gerilim ve eşit (1378000 KN/m^2) olarak ve jacking, her biri için aynı gerilim büyüklüğü ile her iki uçtan aynı anda yapılır. Tendon profili 3 boyutlu koordinatlar olarak girildi. İlk I-kirişindeki ilk tendonun koordinatları şu şekildeydi:

Tablo 3.2. Tendon profili (3) boyutlu koordinatları.

X (m)	Y (m)	Z (m)
0	0	-0.18
12	0	-0.8
24	0	-0.18
36	0	-0.8
48	0	-0.18
60	0	-0.8
72	0	-0.18

3.3.3. Uygulanan yükler

Aşağıda gösterildiği gibi iki ana tipte yük uygulandı :

- a) Ölü yükler: Ölü yükler köprünün kendi ağırlığı, ıslak beton yükü, iskele yükü, aşınma kursu yükü ve bariyer yüküydü. Islak beton yükü -80 KN/m'ye eşitti, iskele yükü -22,8 KN/m'ye eşitti, aşınma kursu yükü -30 KN/m'ye eşitti ve bariyer yükü -30 KN/m'ye eşitti. Ayrıca, 30°F'lik sistem sıcaklık yükünü ve bu yüksekliklerle I-kesitinin tepesinden gradyan sıcaklık yükünü uyguladık.

H1=0 , H2=0.4 m, T1=50° F, T2=30° F

H1=0.4 m , H2=1 m , T1=30° F, T2=40°

- b) Hareketli yükler: Buradaki hareketli yükler AASHTO LRFD koduna göre tanımlanmıştır. İki trafik şeridi tanımladık. Dinamik yük toleransı %33'e eşit olan (HL-93TRK) tipi araç yükü kullandık.

ve kamyon araç yükünü sırasıyla şu büyüklüklerle tanımlandı :

P # =35 , 142 , 142 KN

D # =4.3 , 9 , blank m

Lane load W= 9.3 KN/m

Şekil 3.15. Hareketli yük.

3.4. Model Analizi Tip Seçimi

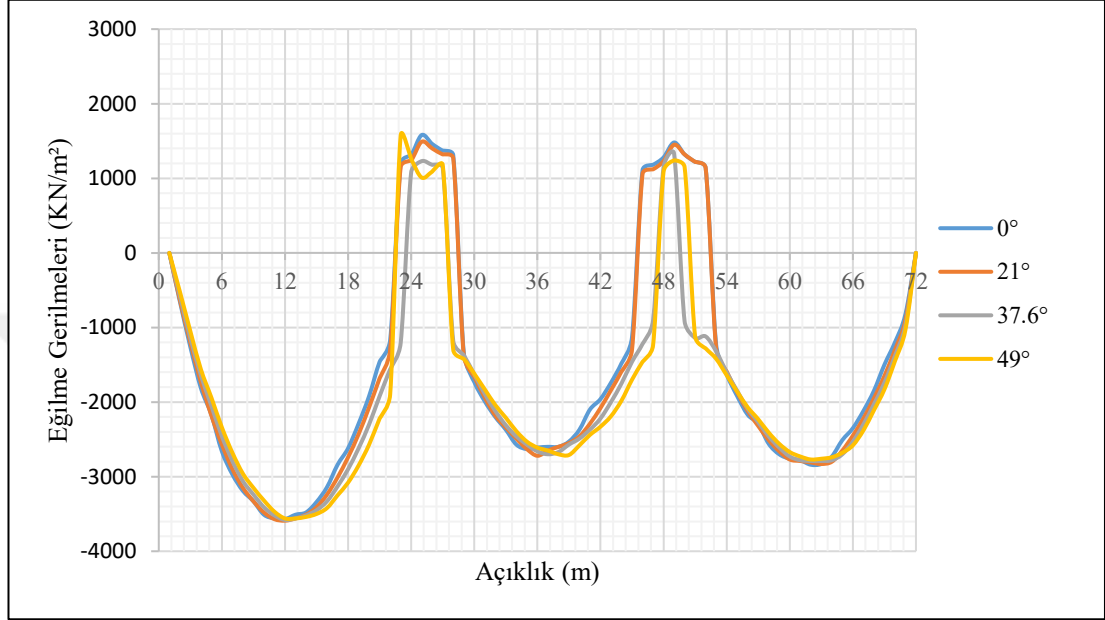
Bu köprü tipini analiz etmek için MIDAS CIVIL programını kullanıldı. Bu program, köprülerin tüm bileşenlerini analiz etmek ve tasarlamak için sonlu elemanlar analiz yöntemini kullanır. Bu dört modeli onunla modelledüğümüzde, modelleri çizmek için ortogonal grillage yöntemini kullanıldı.

3.5. İnşaat Aşamaları

Bu programla ayrıca inşaatın aşamalarını da girebiliyoruz. Bu özellik bize istediğimiz herhangi bir aşamada (moment, kesme kuvvetleri,.....vb.) hesaplama yeteneği veriyor. Bu hesaplamalar, inşaat aşamalarında uygulanan bazı yükler, örneğin iskele yükleri, inşaat tamamlandıktan sonra uygulanmayacakları için son hesaplamalarla karşılaştırmak istediğimizde kesinlikle farklıdır, bunun tersi de geçerlidir. Bu araştırmada üç aşama tanımladık ancak diyagramlarımızı çizmek için kullandığımız sonuçlar, inşaat tamamlandıktan ve köprü çalıştırıldıktan sonraki son aşamadan elde edilen sonuçlar olacaktır.

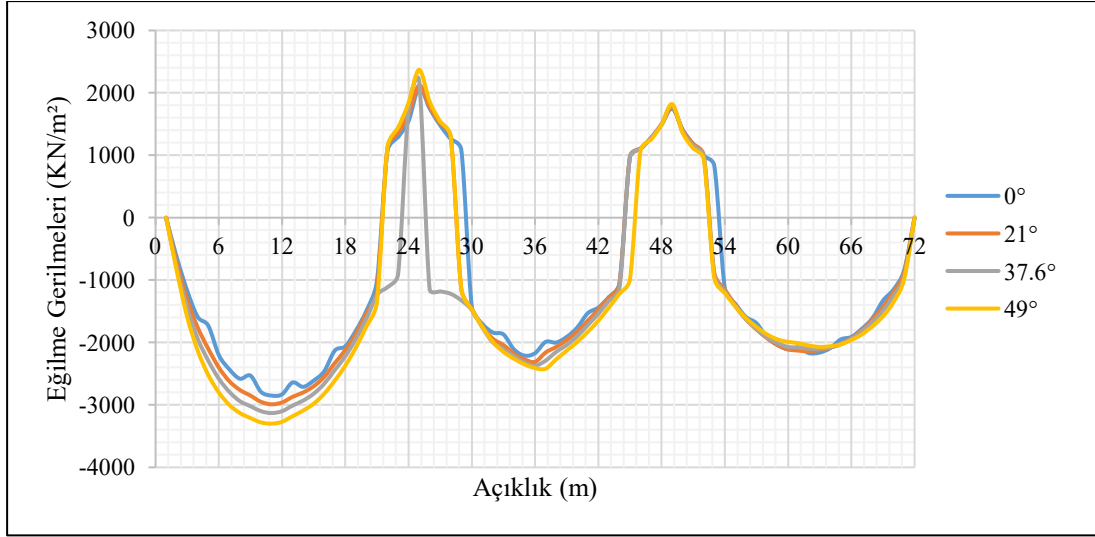
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Eğilme Gerilmeleri



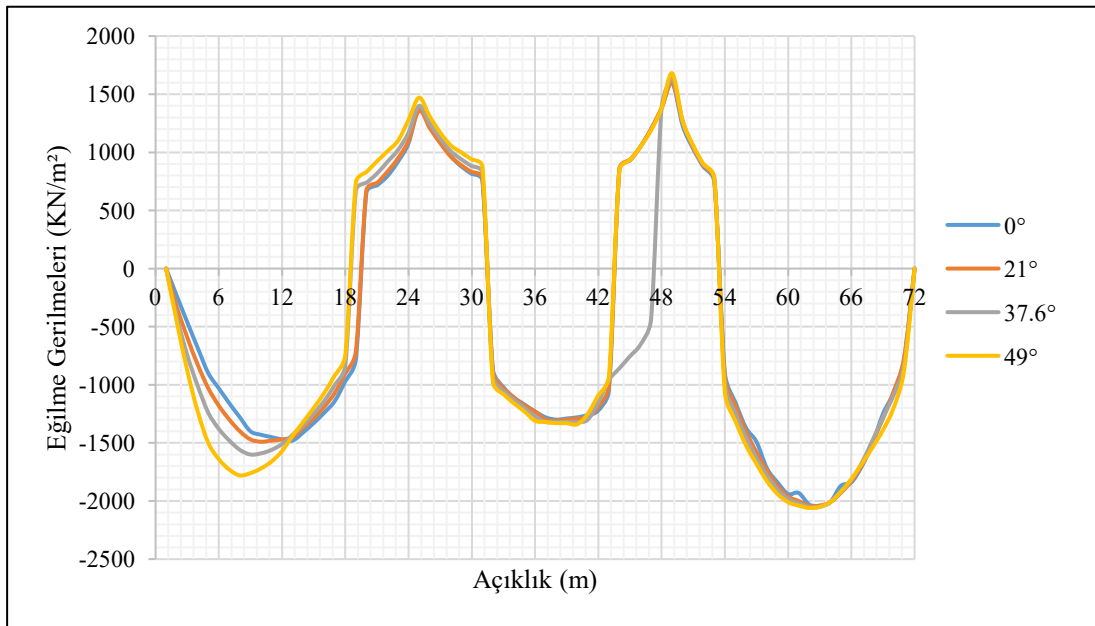
Şekil 4.1. I-kirişi (1) nolu eğilme gerilmeleri (+Z).

Eğilme gerilmelerinin diyagramında (+Z basınç gerilmeleri) 1.kirişte (şekil 4.1), mesnetler arasında negatif değerlerde açıklık boyunca giden eğilme gerilmelerinin çizgisi ve mesnetlerin yakınında pozitif değerler, 0° açısı için benzer şekildedir. Ancak verevlik açısı 49° 'ye kadar giderek arttığında, 28 m'den 48 m'ye kadar açıklığın ortasındaki gerilmeler de hafif şekilde artmıştır. İlk açıklıktaki eğilme momenti değerlerinin açıklıktaki son kısımdaki değerlerden daha büyük olduğu fark edilebilir. Mesnetler etrafındaki gerilme diyagramının şekli de verevli açısının artmasıyla değişti.



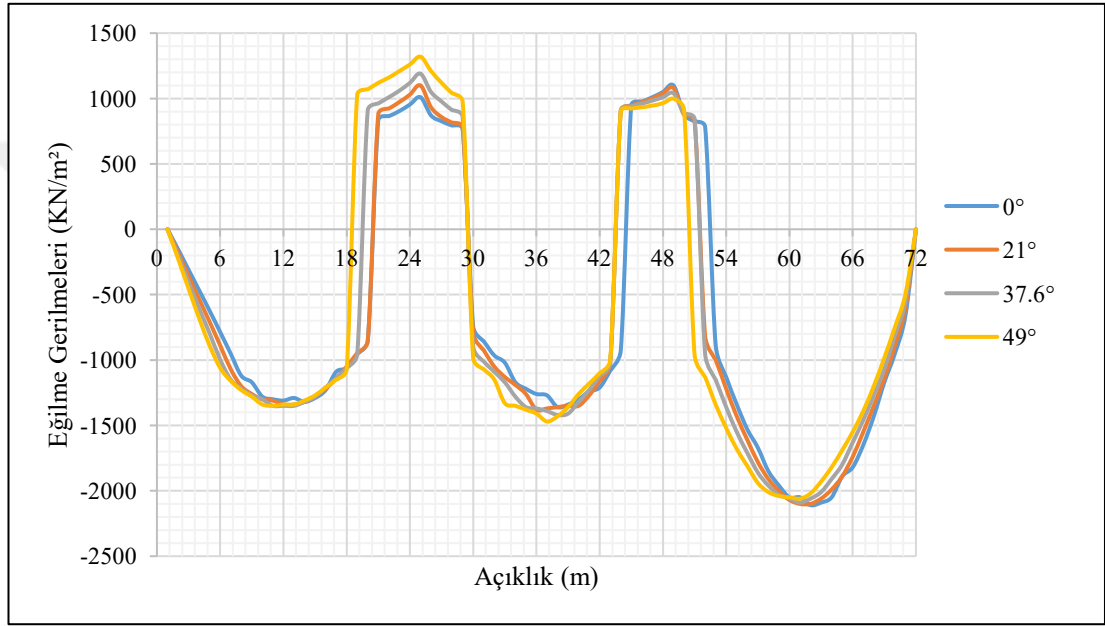
Şekil 4.2. I-kirişi (2) nolu eğilme gerilmeleri (+Z).

Verevli köprüdeki 2. I-kirişi için eğilme gerilmelerinin (+Z) diyagramı (şekil 4.2), mesnetler arasındaki yerlerde negatif değerlerden mesnetlere yakın pozitif değerlere kadar açıklık boyunca giden eğilme gerilmeleri hattını göstermektedir. Diyagramdaki çizginin şekli neredeyse benzerdir ve köprünün verevliği artırıldığında gerilme değerlerinde çok fazla değişiklik olmamıştır. Ancak bu davranışta, 0 m ile 22 m birinci açıklıkta 0°'dan 49°'a kadar verevli açısının artmasıyla negatif gerilmelerin değerleri giderek artmaktadır. İlk açıklıktaki eğilme momenti değerlerinin açıklıktaki son kısımdaki değerlerden daha büyük olduğu fark edilebilir



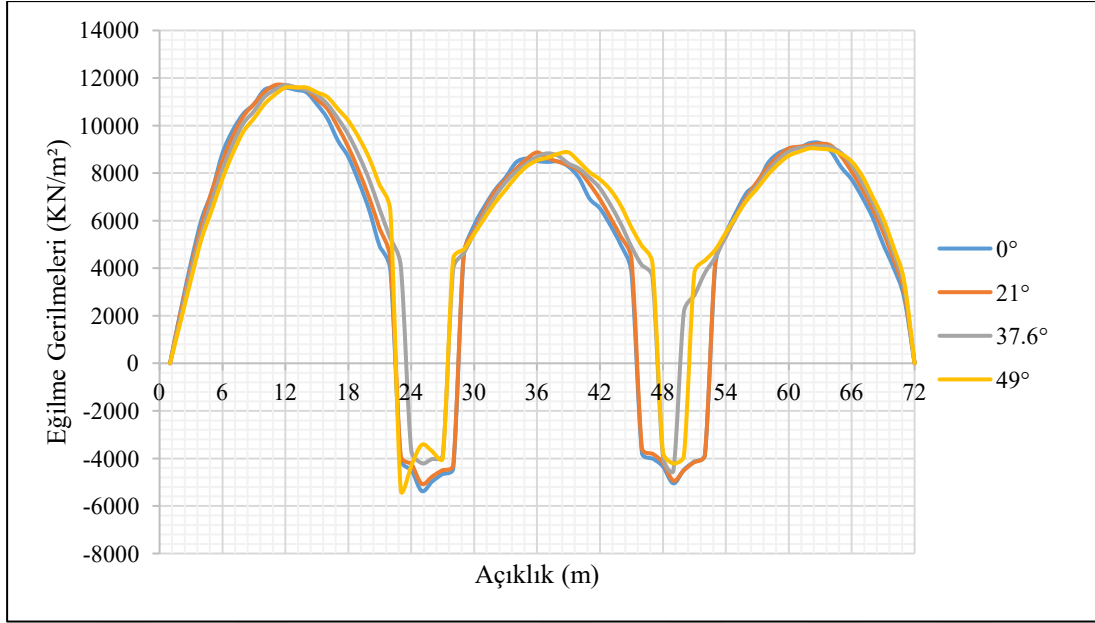
Şekil 4.3. I-kirişi (3) nolu eğilme gerilmeleri (+Z).

Bu diyagramda (Şekil 4.3) üçüncü kirişteki eğilme gerilmeleri (+Z) 0 ve 21° ile hemen hemen aynıdır, ancak verevlik açısı 37,6°'ye kadar arttığında şekil daha yüksek gerilme değerleriyle ilk açıklıkta değişmeye başlar. Ayrıca verevlik açısı 37,6°'den fazla olduğunda 49°'ye kadar gerilmeler de artmıştır. Gerilme değerlerindeki değişimlerin açıklıktan 0 ile 12 m arasında meydana geldiği fark edilebilir. Ayrıca çizginin şekli, verevlik açısındaki değişimle birlikte oluşan küçük değişiklikler dışında genel olarak hemen hemen aynıydı. Eğilme gerilmeleri diyagramı simetrik değildir, bu nedenle tüm modeller için ilk açıklıktaki gerilmeler üçüncü açıklığa göre daha fazladır.

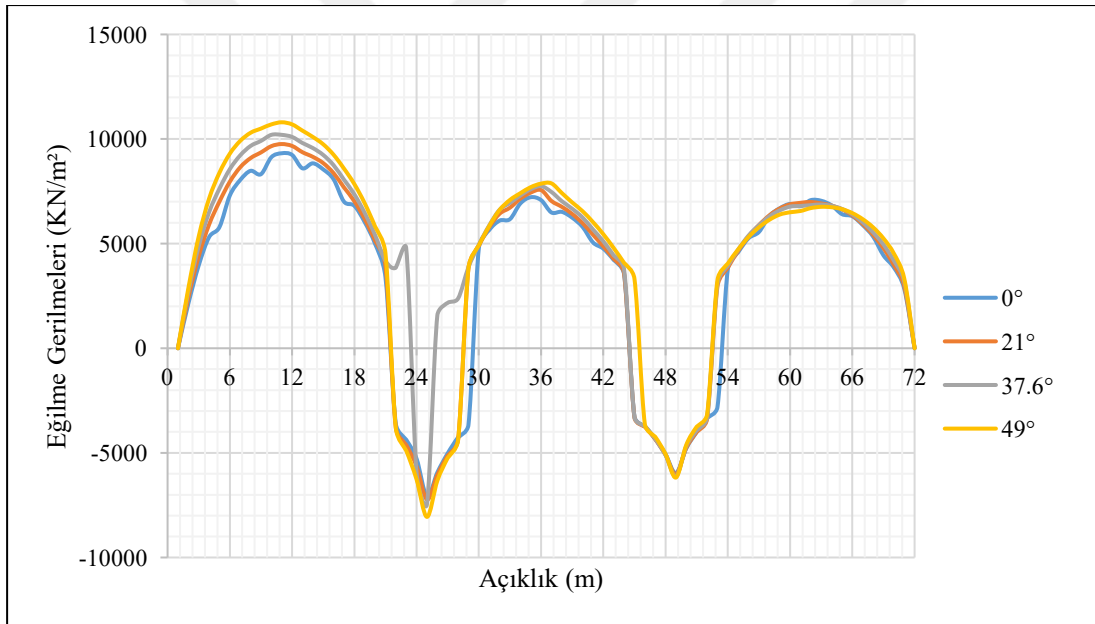


Şekil 4.4. I-kirişi (4) nolu eğilme gerilmeleri (+Z).

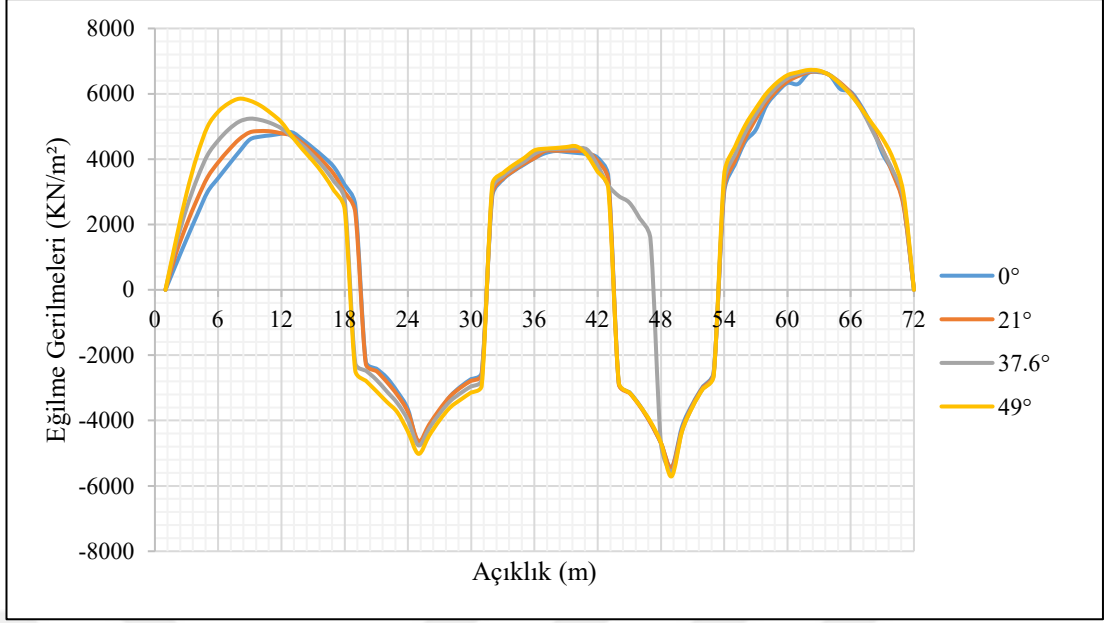
Bu diyagramında (Şekil 4.4) dördüncü kirişteki eğilme gerilmelerinin (+Z), gerilme değerleri 0° ile 21° arasında çok yakındır. Ancak 21°'den sonra gerilmeler açıklığın ortasında, açıklıktan 18~36 m arasında daha yüksek olmaya başladı. Eğilme gerilmeleri diyagramı da simetrik olmayıp, üçüncü açıklıktaki gerilmeler birinci ve ikinci açıklığa göre daha yüksektir.



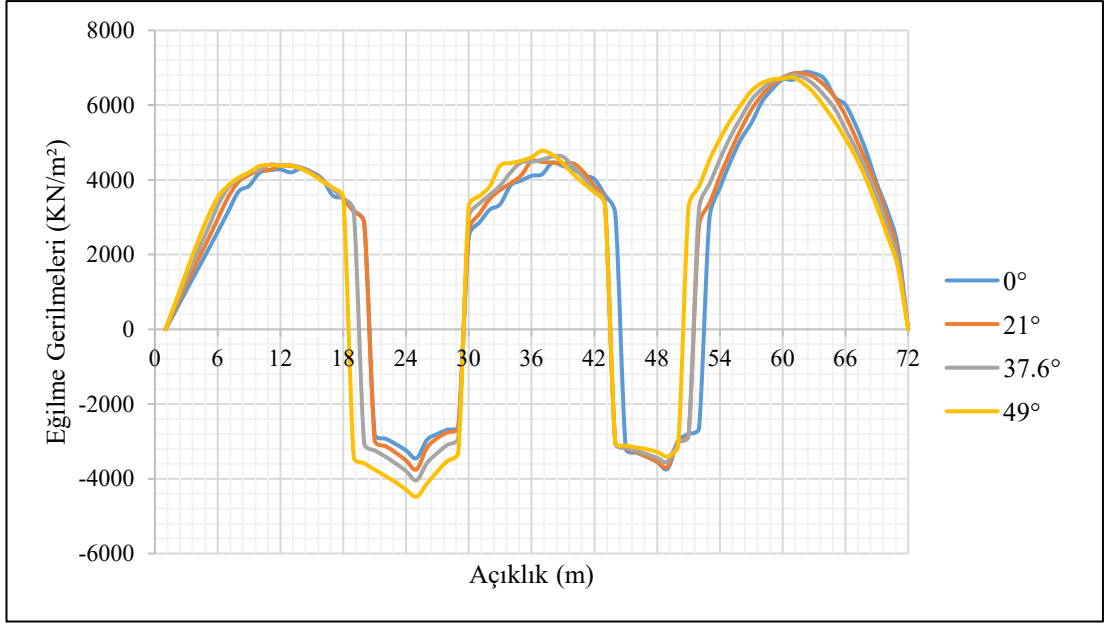
Şekil 4.5. I-kirişi (1) nolu eğilme gerilmeleri (-Z).



Şekil 4.6. I-kirişi (2) nolu eğilme gerilmeleri (-Z).



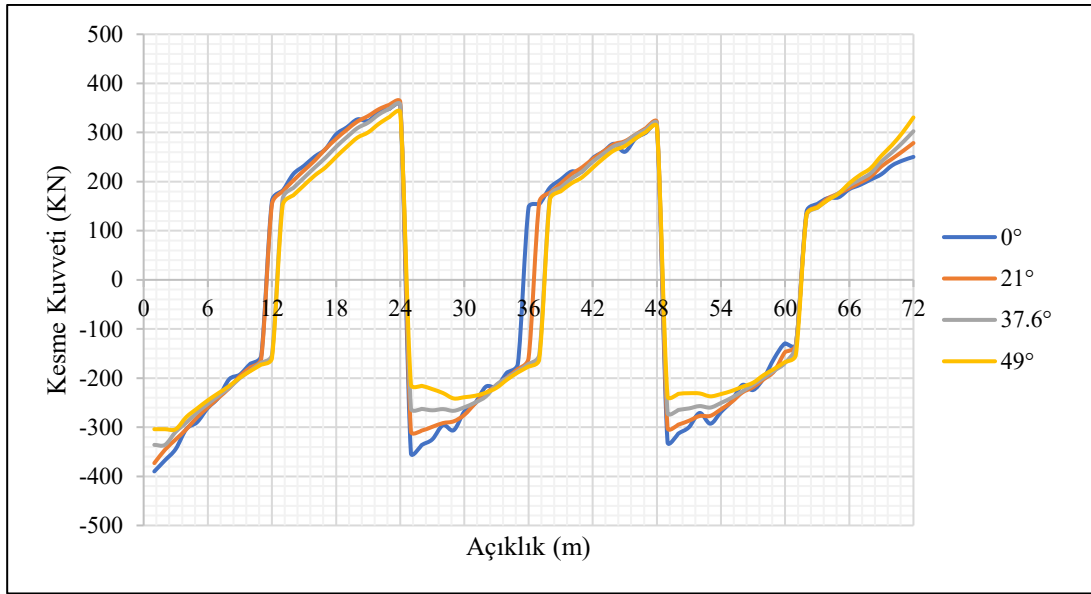
Şekil 4.7. I-kirişi (3) nolu eğilme gerilmeleri (-Z).



Şekil 4.8. I-kirişi (4) nolu eğilme gerilmeleri (-Z).

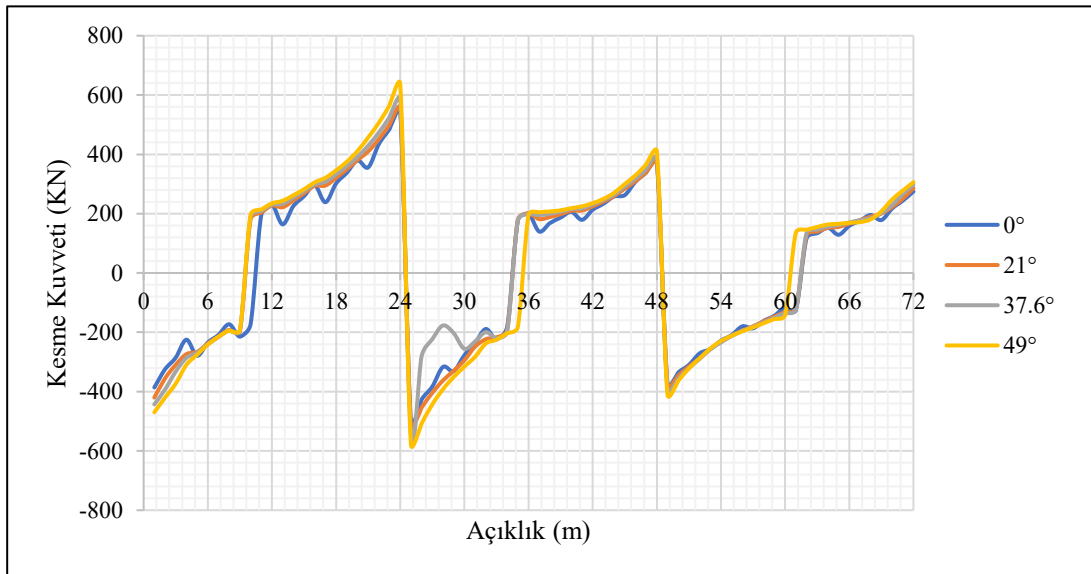
Yukarıdaki (-Z)'deki birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü kirişlerin diyagramlarından (şekiller 4.5, 4.6, 4.7, 4.8) gerilme değerlerinin de (+Z)'deki gerilme değerleri gibi aynı değerlerle ancak ters işarette değiştiği fark edildi. Yani, verevli köprünün gerilme davranışı artık tüm kirişler için çok açıktır.

4.2. Kesme Kuvvetleri



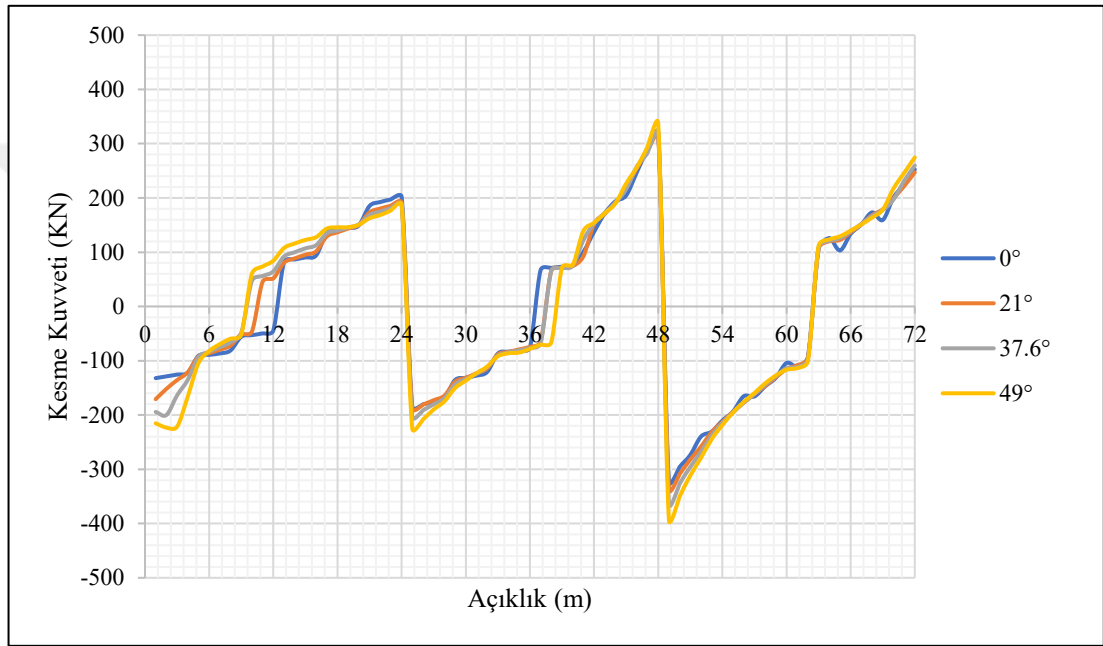
Şekil 4.9. I-kirişi (1) nolu kesme kuvvetleri.

Şekil (4.9)'de I-kiriş (1) nolu için kesme kuvvetleri diyagramında, kesme kuvvetleri ilk açıklıkta 0 m'den 24 m'ye kadar çok fazla değişmedi, ancak 24 m ile 48 m arasındaki orta açıklıkta kesme kuvvetleri değişmeye başladı. 48 m ile 72 m arasındaki üçüncü açıklıkta kesme kuvvetleri de değişti. 37,6° vevli açı için kesme kuvvetlerinin değeri orta açıklıkta azaldı. Orta açıklıkta 49° vevli açı için kesme kuvvetlerinin değeri de açıklığın ilk yarısında azaldı. Üçüncü açıklıkta kesme kuvvetlerinin değerleri de vevli açının sıfırdan 49°'a kadar artmasıyla açıklığın ilk yarısında azaldı.



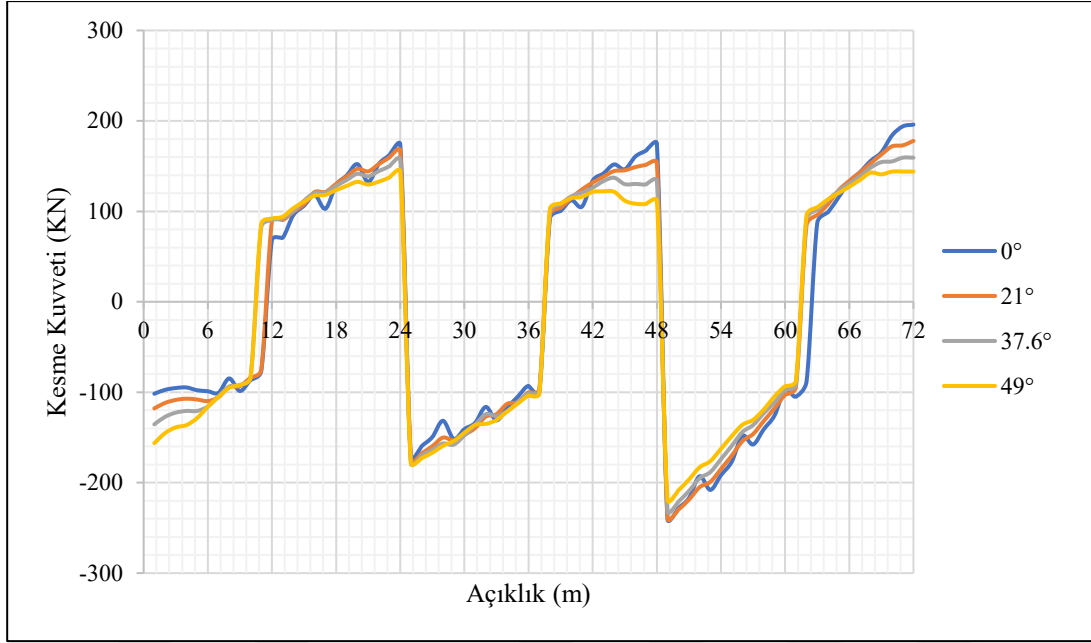
Şekil 4.10. I-kirişi (2) nolu kesme kuvvetleri.

Şekil (4.10)'de I-kiriş (2) nolu için kesme kuvvetleri diyagramında, birinci açıklıkta, kesme kuvvetleri verevliğin açısının artmasıyla hafifçe değişti. Daha sonra, verevliğin açısı 21° 'den fazla artarak 37.6° 'ye ulaştığında, kesme kuvvetleri hafifçe de değişti. Daha sonra, verevliğin açısı 37.6° 'den fazla arttığında, kesme kuvvetleri 0° verevliğin açısıyla neredeyse aynı değerlere geri döndü. Orta açıklıkta, genel olarak birinci açıklıktakine benzer davranış meydana geldi. Üçüncü açıklıkta, kesme kuvvetleri verevliğin açısının artmasıyla açıklığın ilk yarısında değişmedi. Ancak, üçüncü açıklığın ikinci yarısında, kesme kuvvetlerinin davranışı birinci ve orta açıklıkta aynıydı.



Şekil 4.11. I-kirişi (3) nolu kesme kuvvetleri.

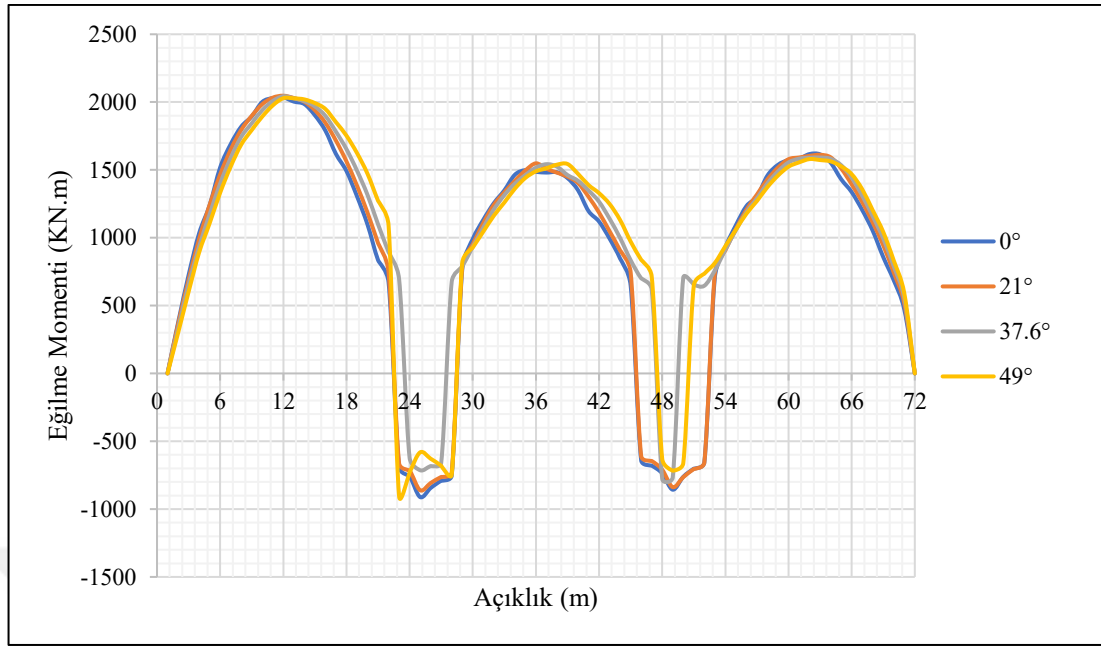
Şekil (4.11)'te I-kiriş (3) nolu için kesme kuvvetleri diyagramında, ilk açıklıkta, verevlik açısı 49° 'ye çıkana kadar kesme kuvvetleri hafifçe değişmiş. Orta açıklıkta, açıklığın ilk yarısında kesme kuvvetleri çok fazla değişmemiş, ancak ikinci yarıda verevlik açısının artmasıyla değerler azaldı. Kirişin üçüncü açıklığında, kesme kuvvetlerinin değerleri verevlik açısının artmasıyla hafifçe değişmiş.



Şekil 4.12. I-kirişi (4) nolu kesme kuvvetleri.

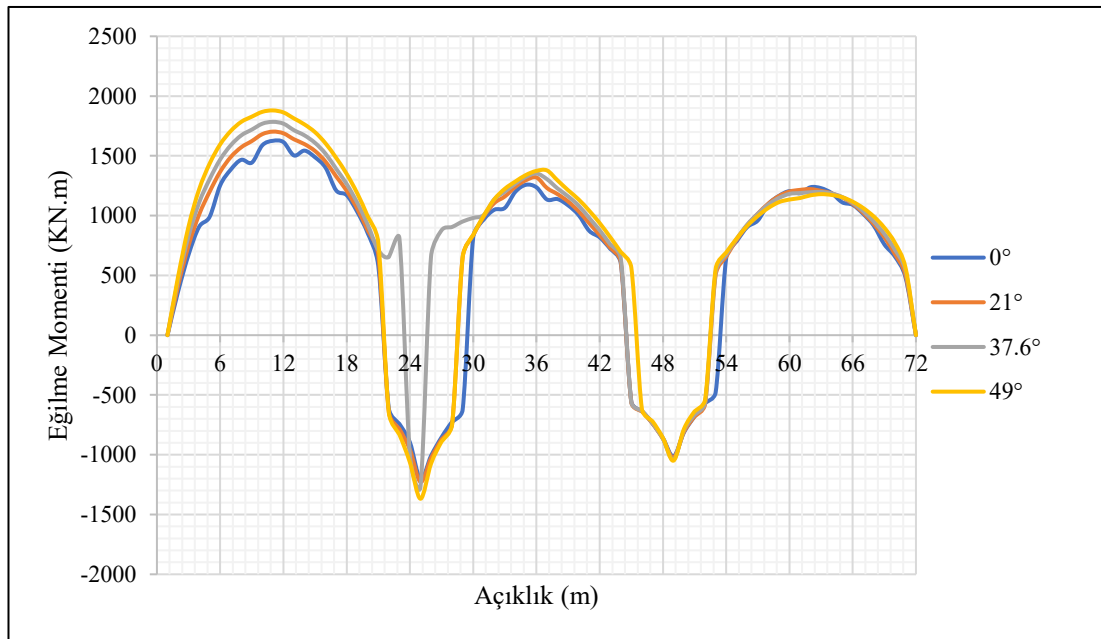
Şekil (4.12)'te I-kiriş (4) nolu için kesme kuvvetleri diyagramında, 0 m ile 24 m arasındaki açıklığın ilk yarısında, kesme kuvvetleri verevlik açısı 0° ve 21° olduğunda hafifçe değişmiştir. Verevlik açısı $37,6^\circ$ olduğunda, kesme kuvvetleri yaklaşık %20 artmıştır. Ancak ilk açıklığın ikinci yarısında, kesme kuvvetleri verevlik açısı $37,6^\circ$ olduğunda artmış ve verevlik açısı 49° olduğunda tekrar azalmıştır. Orta açıklıkta, açıklığın ilk yarısında, kesme kuvvetleri verevlik açısı 49° 'a kadar değişmemiştir, Açıklığın ikinci yarısında, kesme kuvvetleri verevlik açısı 49° 'a kadar kesme kuvvetleri yaklaşık %30 azalmıştır. Üçüncü açıklıkta kirişten itibaren kesme kuvvetleri, verevlik açısı 49° oluncaya kadar hafif bir değişim göstermiş, kesme kuvvetleri, ikinci yarıda ise yaklaşık %40 artmıştır.

4.3. Eğilme Momentleri



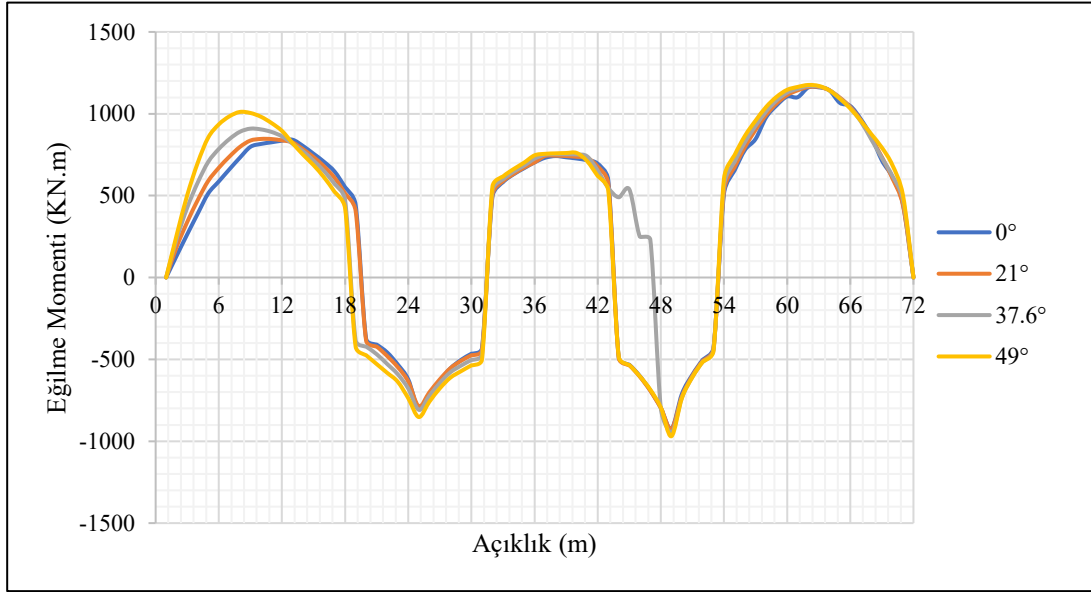
Şekil 4.13. I-kirişi (1) nolu eğilme momentleri.

Şekil (4.13)'de I-kiriş (1) nolu için moment diyagramı, ilk açıklıkta 0 m'den 24 m'ye kadar, momentteki değişim çok küçüktü ancak ilk mesnete yakın son kısımda açıklık momenti, verevlik açısı 49° olduğunda hafifçe arttı. Orta açıklıkta, verevlik açıları 49° kadar momentler hala aynı aralıktaydı. Üçüncü açıklıkta, verevlik açısı 49° 'ye çıksa bile momentler hala aynı aralıktaydı.



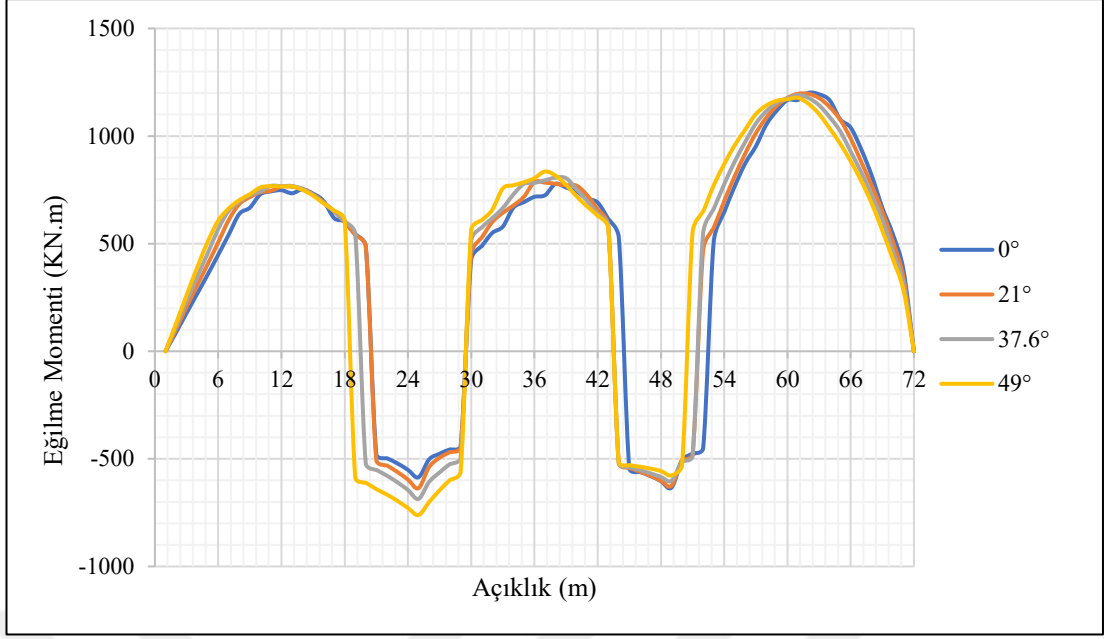
Şekil 4.14. I-kirişi (2) nolu eğilme momentleri.

Şekil (4.14)'de I-kiriş (2) nolu için moment diyagramı, 0 m'den 24 m'ye kadar olan ilk çizgilerde moment çizgisinin şekli, verevlik açısının büyümesiyle daha dışbükey hale geliyor, yani açıklığın ortasındaki moment değerleri verevlik açısının artışıyla artıyor. Orta açıklıkta, verevlik açısının 0° ve 21° 'lik moment değerleri değişmedi, ancak verevlik açısı 37.6° olduğunda moment %25 kırılma ve moment çizgisinin şekli daha az dışbükey hale geldi, verevlik açısı 49° 'ye daha fazla artırıldığında moment çizgisi 0° ve 21° ile aynı şekil ve değerler geri döndü. Üçüncü pozisyonda da verevlik açısı 49° 'ye geldiğinde an artmadı.



Şekil 4.15. I-kirişi (3) nolu eğilme momentleri.

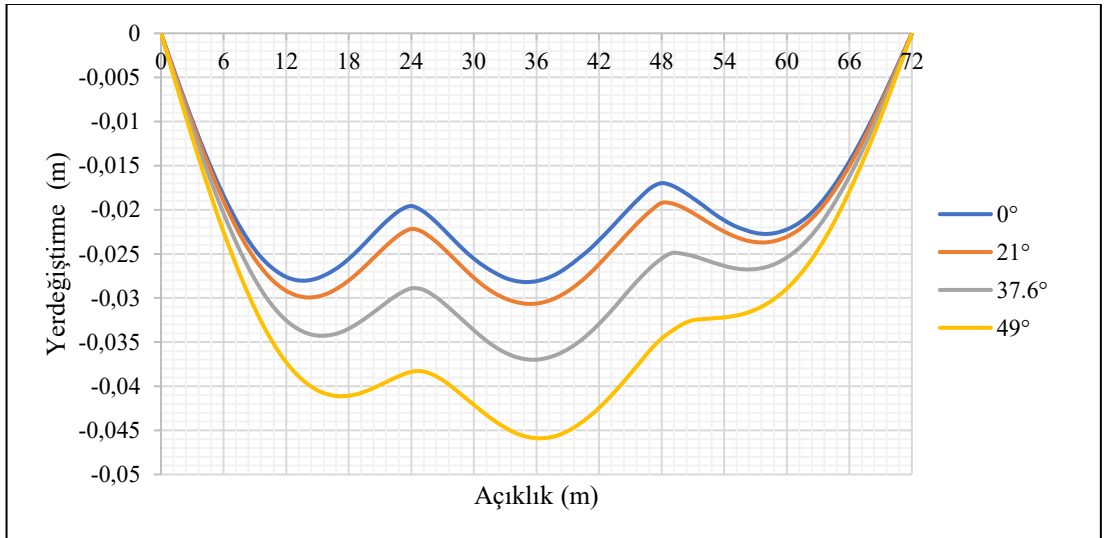
Şekil (4.15)'te I-kiriş (3) nolu için moment diyagramı, 0 m'den 24 m'ye kadar ilk açıklıkta moment hala aynı değerlerde ve 0° ve 21° verevlik açıları için çizginin şekli. Verevlik açısı 37.6° ve 49° olduğunda moment %25 arttı. Kirişin orta açıklığında moment, tüm modeller için 0° , 21° , 37.6° ve 49° verevlik açısında artışla hala aynı değerlerdeydi ancak 37.6° ile moment diagram şekli değişti. Kirişin üçüncü açıklığında, moment değerleri tüm verevlik açıları için hala aynıydı, bu nedenle verevlik açısının artmasıyla moment değişmedi.



Şekil 4.16. I-kirişi (4) nolu eğilme momentleri.

Şekil (4.16)'te I-kiriş (4) nolu için moment diyagramında, 0 m'den 72 m'ye kadar birinci, ikinci ve üçüncü açıklıklarda, 0°, 21°, 37.6° ve 49° verevlik açıları için moment davranışı ve değerleri hemen hemen aynıdır. Ancak açıklıkta (18~30 m) verevlik açısı 49°'a kadar moment değerleri yaklaşık %25 oranında artmıştır. Ancak üçüncü açıklıkta verevlik açısı arttığında, moment değerleri çok az oranında artmıştır.

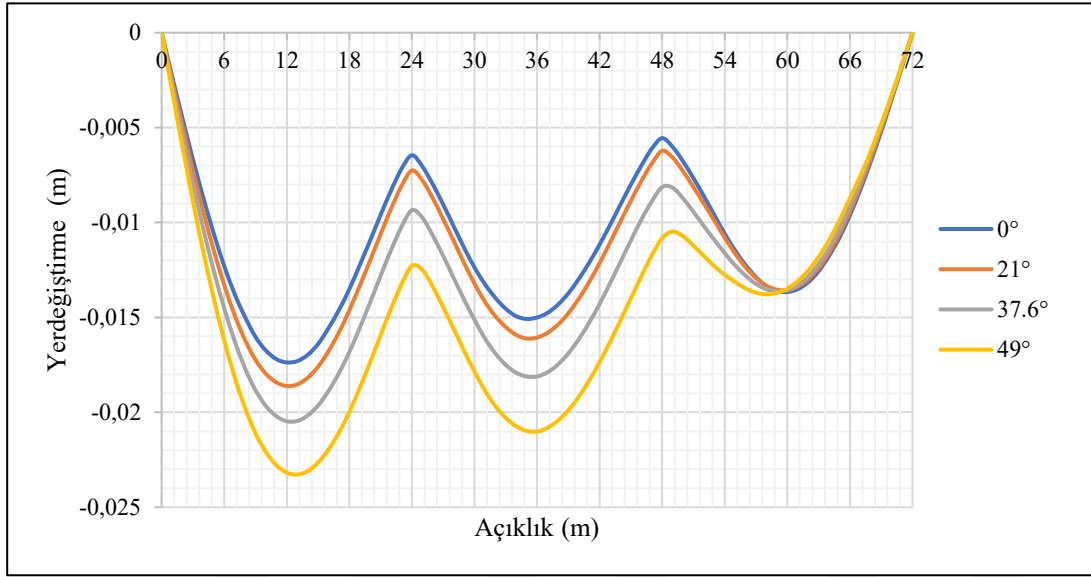
4.4. Yerdeğiştirme



Şekil 4.17. I-kirişi (1) nolu yerdeğiştirme.

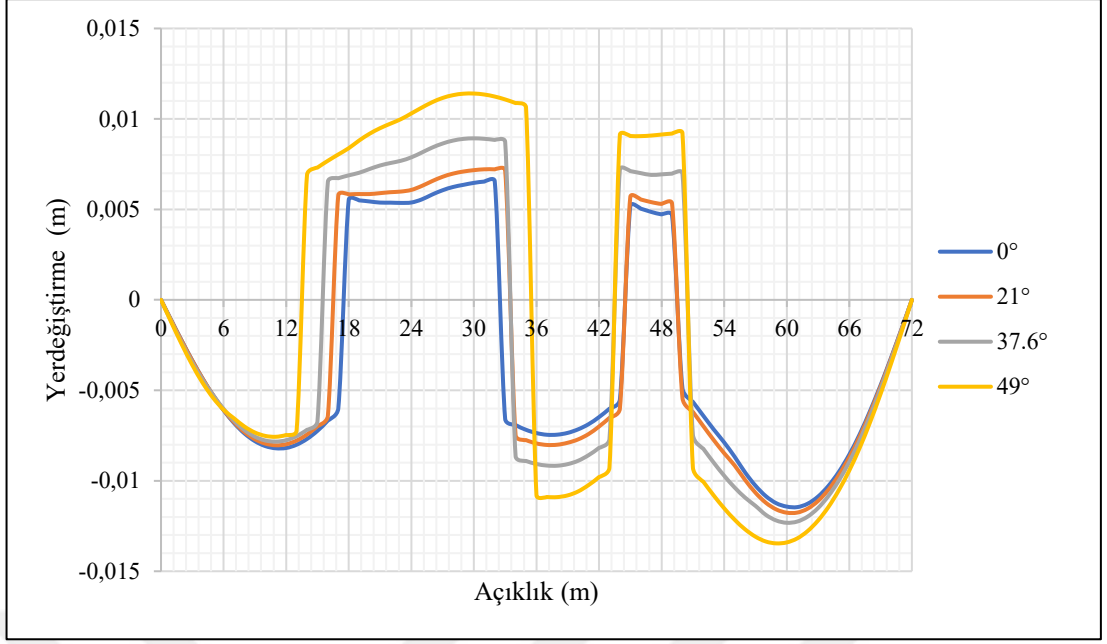
Şekil (4.17)'te I-kiriş (1) nolu için yerdeğiştirme diyagramında, 0 m'den 72 m'ye kadar olan açıklık boyunca, 0°, 21° için yer değiştirmenin tam olarak aynı şekli aldığı açıktır.

Ancak verevlik açısını 37.6° 'ye çıkardıktan sonra, çizginin şekli aynı şekilde devam etti ama yerdeğiştirme değerleri 35% civarında arttı. Verevlik açısı 49° ile yerdeğiştirme değerleri artmaya 75% ile devam etti ve çizginin şekli verevlik açısı 0° , 21° ve 37.6° ile aynı şekilde kaldı. Genel olarak yerdeğiştirme değerleri birinci açıklıkta, Üçüncü açıklıktan, daha fazladır. Yerdeğiştirme şekli simetrik değil. Verevlik açısının 21° 'den fazla artması, yer değiştirmenin de artmasıyla takip edildi.



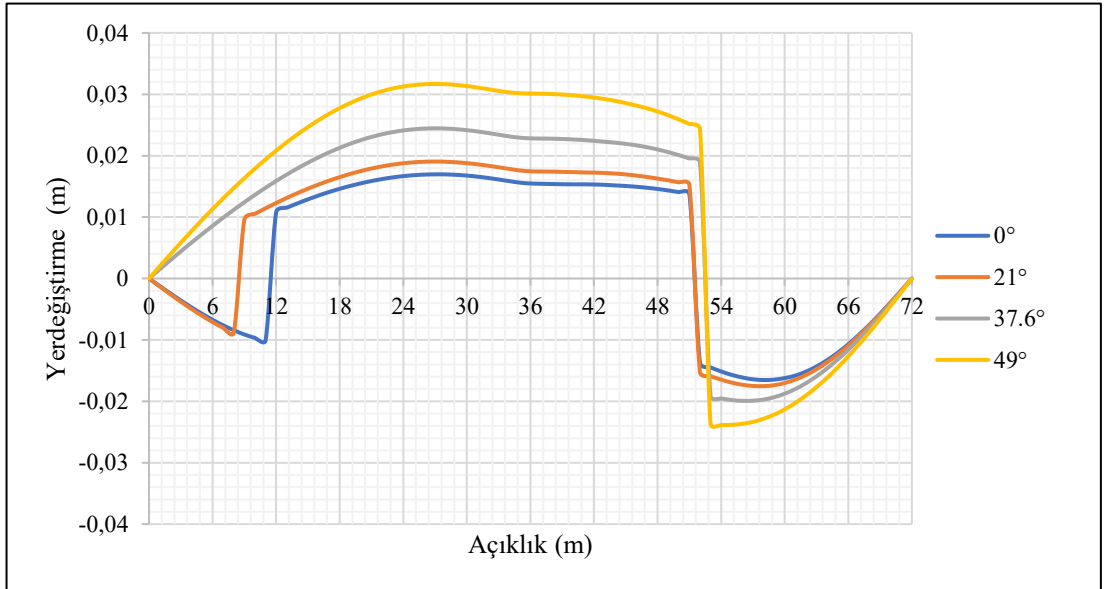
Şekil 4.18. I-kirişi (2) nolu yerdeğiştirme.

Şekil (4.18)'te I-kiriş (2) nolu için yerdeğiştirme diyagramında, 0 m'den 72 m'ye kadar olan açıklık boyunca, 0° , 21° , 37.6° ve 49° için yer değiştirmenin çizgisi tam olarak aynı şekildedir. Ancak verevlik açısını 37.6° 'ye çıkardıktan sonra, çizginin şekli aynı şekilde devam etti ama yerdeğiştirme değerleri 20% civarında arttı. Verevlik açısı 49° ile yerdeğiştirme değerleri artmaya 45% ile devam etti ve çizginin şekli verevlik açısı 0° , 21° ve 37.6° ile aynı şekilde kaldı. Genel olarak yerdeğiştirme değerleri birinci açıklıkta, Üçüncü açıklıktan, daha fazladır. Yerdeğiştirme şekli simetrik değildir.



Şekil 4.19. I-kirişi (3) nolu yerdeğiştirme.

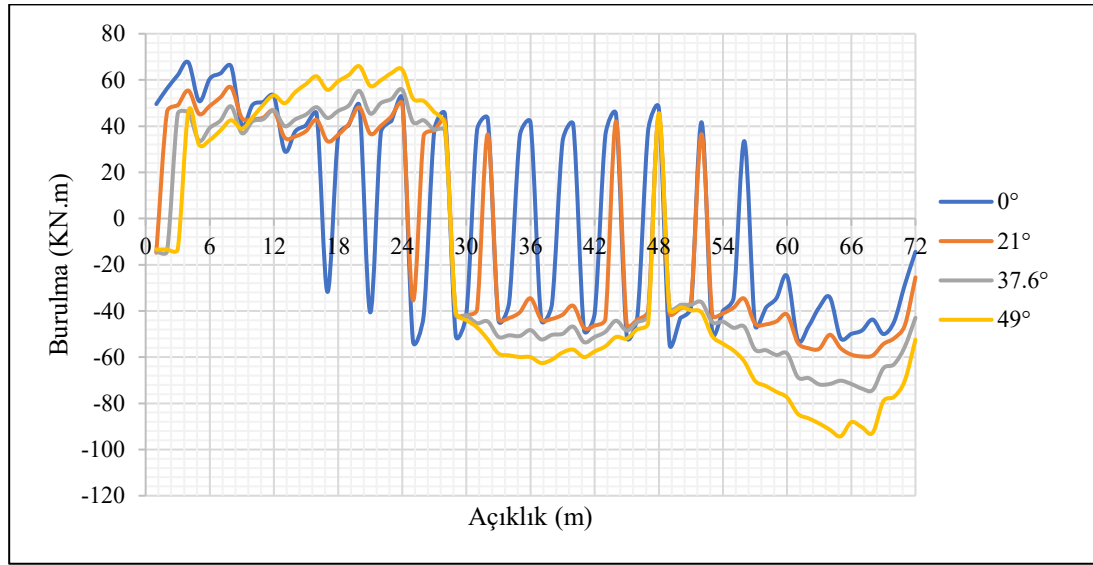
Şekil (4.19)'te I-kiriş (3) nolu için yerdeğiştirme diyagramında, 0 m'den 72 m'ye kadar olan açıklık boyunca, 0°, 21°, 37.6° ve 49° için yer değıştirmenin çizgisi tam olarak aynı şekildedir. Ancak verevlik açısını 37.6°'ye çıkardıktan sonra, çizginin şekli değışmeden yer değıştirme 50% civarında değeri arttı. Verevlik açısı 49° ile yer değıştirme değeri artmaya 100% ile devam etti ve çizginin şekli verevlik açısı 0°, 21° ve 37.6° ile aynı şekilde kaldı. Yer değıştirmenin işareti ilk, orta ve son açıklıkta değışti. 0~18 m açıklıkta tüm modeller için yer değıştirme değeri birbirlerine çok yakındır.



Şekil 4.20. I-kirişi (4) nolu yerdeğiştirme.

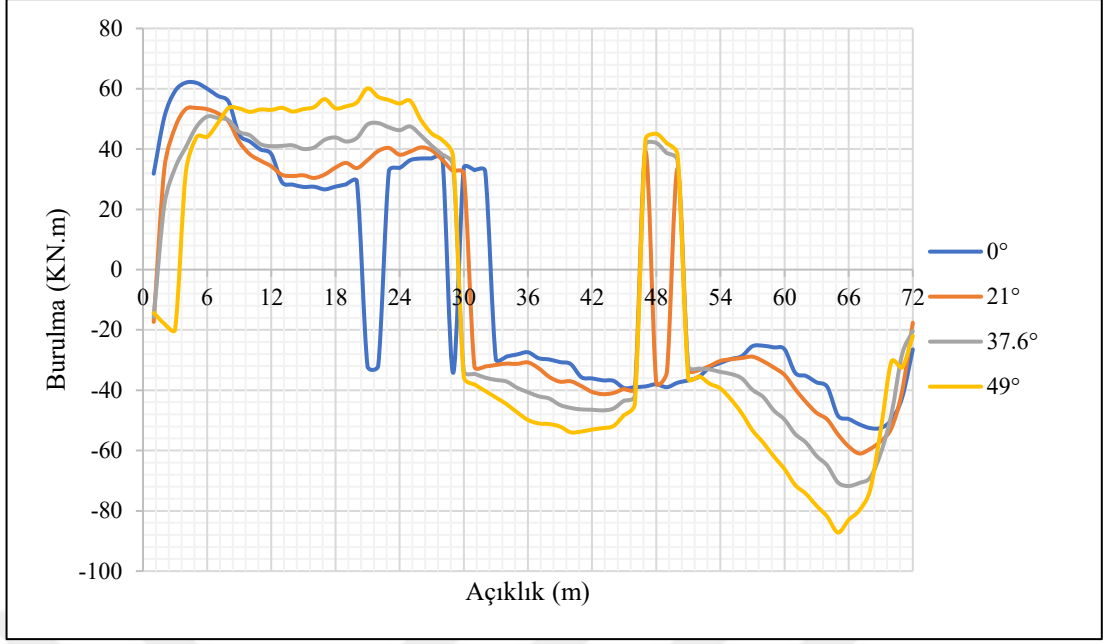
Şekil (4.20)'te I-kiriş (4) nolu için yerdeğiştirme diyagramında 0 m'den 72 m'ye kadar olan açıklık boyunca, 0° , 21° için yer değiştirmenin çizgisi tam olarak aynı şekildedir. Ancak verevlik açısını 37.6° ve 49° 'ye çıkardıktan sonra, yer değiştirme çizginin şekli ve işareti değişti. Yer değiştirme, verevlik açısı 37.6° ile 60% civarında değeri arttı. Verevlik açısı 49° ile yer değiştirme değerleri artmaya 70% ile devam etti ve çizginin şekli verevlik açısı 37.6° ile aynı şekilde kaldı. Yer değiştirmenin işareti ilk ve son açıklıkta değişti. 0~8 m açıklıkta tüm modeller için yer değiştirme farklı işareti ile değerleri birbirlerine çok yakındır.

4.5. Burulma Momentleri



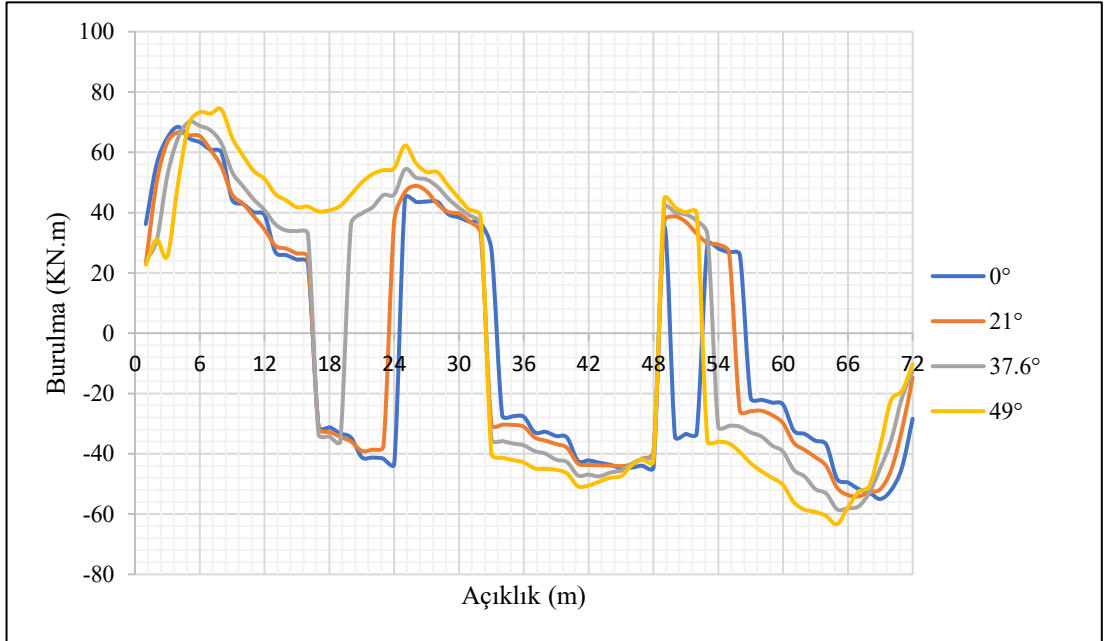
Şekil 4.21. I-kirişi (1) nolu burulma momentleri.

Şekil (4.21)'te I-kiriş (1) nolu için burulma momentleri diyagramında, 0 m'den 24 m'ye kadar olan ilk açıklık boyunca 0° 'lik verevlik açısıyla burulma momenti neredeyse pozitif işaretliydi. Orta açıklıkta aynı değerlerdeydi ancak işaretin pozitif ve negatifti. Üçüncü açıklıkta burulma momentlerinin davranışı neredeyse ilk açıklıkla aynıydı. Verevlik açısını 21° , 37.6° ve 49° 'ye çıkardıktan sonra, diyagramdaki çizginin şekli her biri için benzerdi, ancak 49° 'lik verevlik açısı için burulma değeri açıklık boyunca daha fazla arttı. Burulma momentlerin diagramı tüm modeller için simetrik değildir.



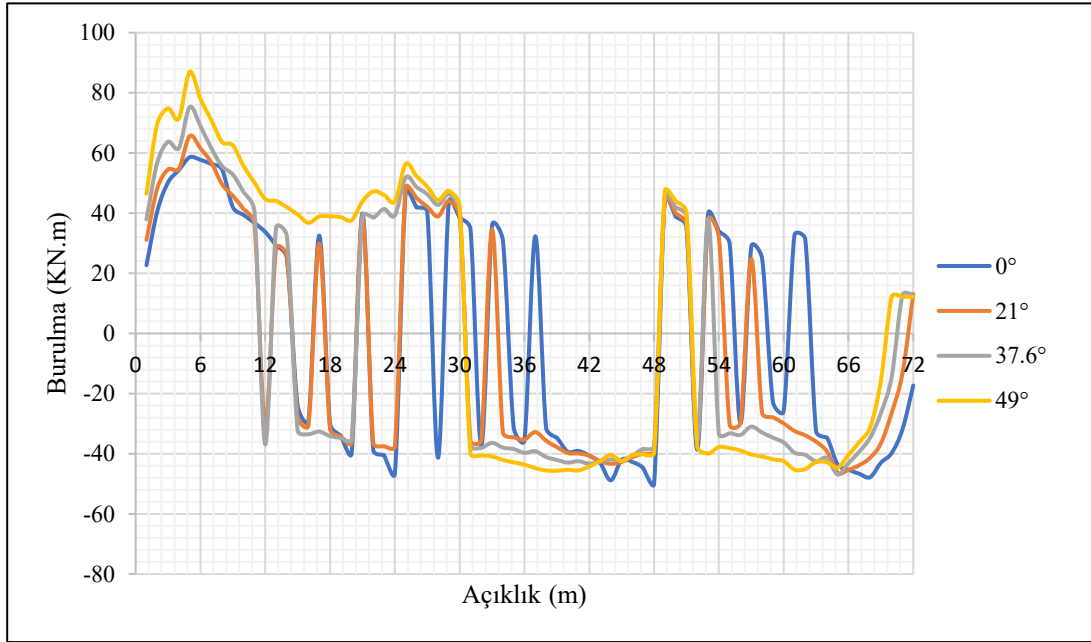
Şekil 4.22. I-kirişi (2) nolu burulma momentleri.

Şekil (4.22)'te I-kiriş (2) nolu için burulma momentleri diyagramında, 0 m'den 20 m'ye kadar olan ilk açıklık boyunca 0°'lik verevlik açısıyla burulma momenti neredeyse pozitif işaretliydi. Orta açıklığın ilk yarısında aynı değerlerle ancak ters işaretliydi. Üçüncü açıklıkta burulma momentlerinin davranışı neredeyse ilk açıklıkla aynıydı. Verevlik açısı 21°, 37.6° ve 49° olduğunda, diyagramdaki çizginin şekli her biri için benzerdi, ancak 49°'lik verevlik açısı için burulma değeri açıklık boyunca 80% daha fazla arttı.



Şekil 4.23. I-kirişi (3) nolu burulma momentleri.

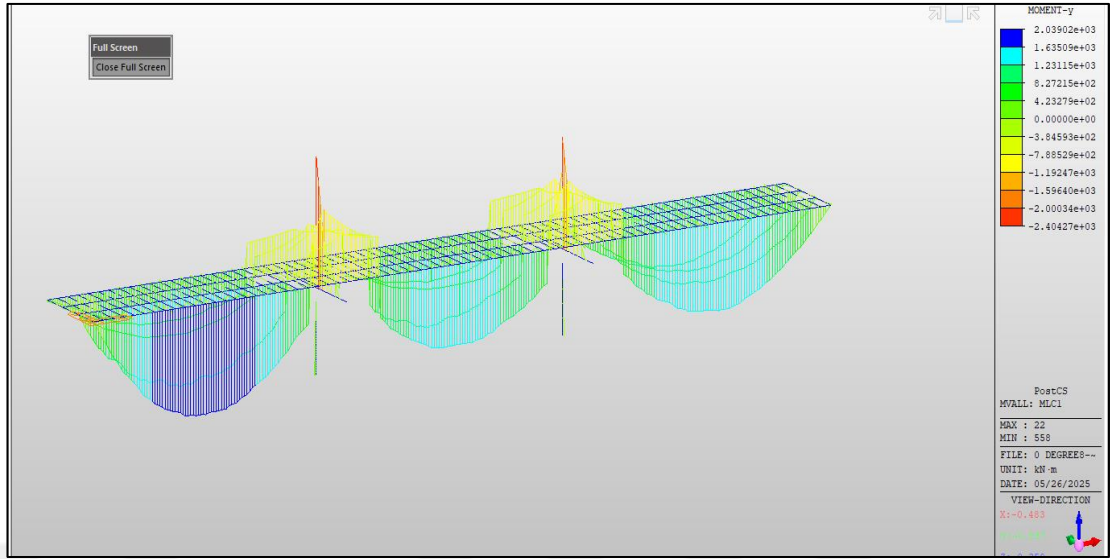
Şekil (4.23)'te I-kiriş (3) nolu için burulma momentleri diyagramında, 0 m'den 72 m'ye kadar olan açıklık boyunca 0° ve 21° 'lik verevlik açısıyla, burulma momenti çizgisi neredeyse aynı şekil ve değerlere sahipti. Ancak verevlik açısı 37.6° ve 49° 'ye çıktığında, burulma momenti değeri 30 ~ 60% de arttı ancak 49° açısı için ilk açıklıkta pozitif işaretledir. 24 m'den 72 m'ye kadar olan orta ve üçüncü açıklıklarda 37.6° ve 49° açıları için burulma momentleri çizgisinin şekli aynıydı.



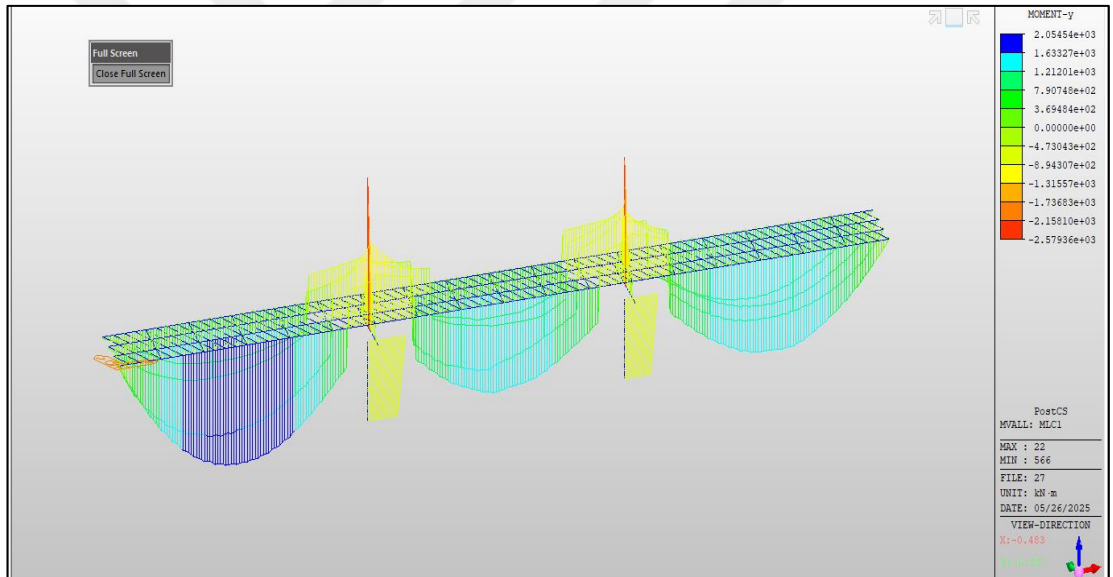
Şekil 4.24. I-kiriş (4) nolu burulma momentleri.

Şekil (4.24)'te I-kiriş (4) nolu için burulma momentleri diyagramında, 0 m'den 24 m'ye kadar olan ilk açıklık boyunca 0° 'lik verevlik açısıyla burulma momenti neredeyse pozitif işaretleydi. Orta açıklıkta aynı değerlerdeydi ancak işaretin tersiydi. Üçüncü açıklıkta burulma momentlerinin davranışı neredeyse orta açıklıkla aynıydı. Verevlik açısını 21° , 37.6° 'ye çıkardıktan sonra, diyagramdaki çizginin şekli her biri için benzerdi. Ancak 49° 'lik verevlik açısıyla, burulma momentinin değeri daha fazla arttı ve orta ve üçüncü açıklıkta neredeyse aynı işarete kaldı.

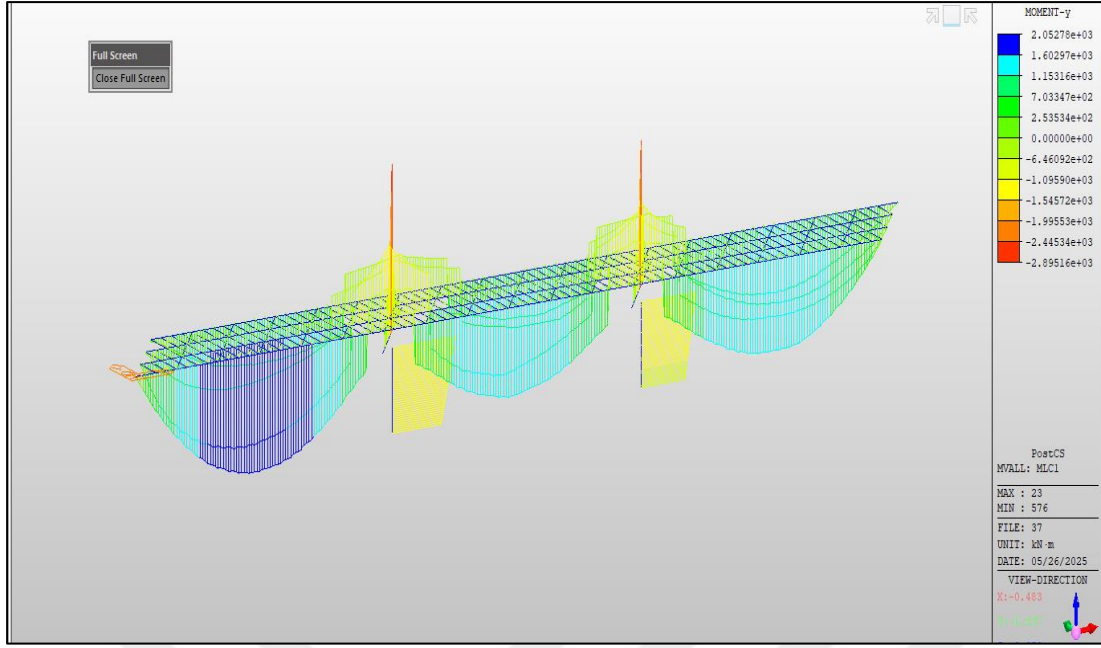
4.6. Diyagramlar



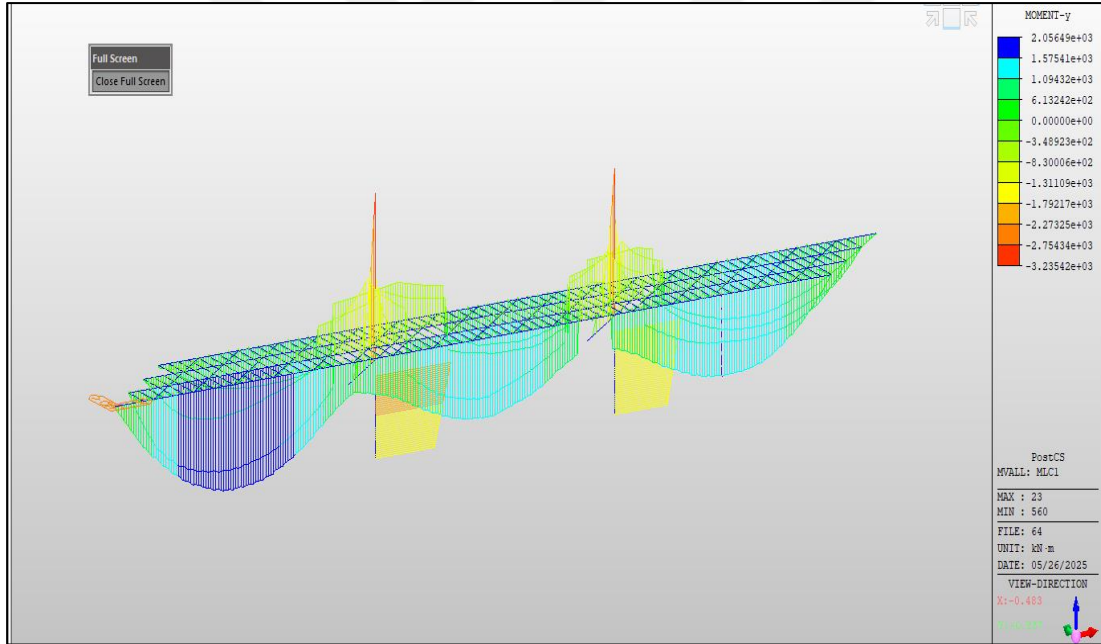
Şekil 4.25. Birinci model (0°) moment diyagramı.



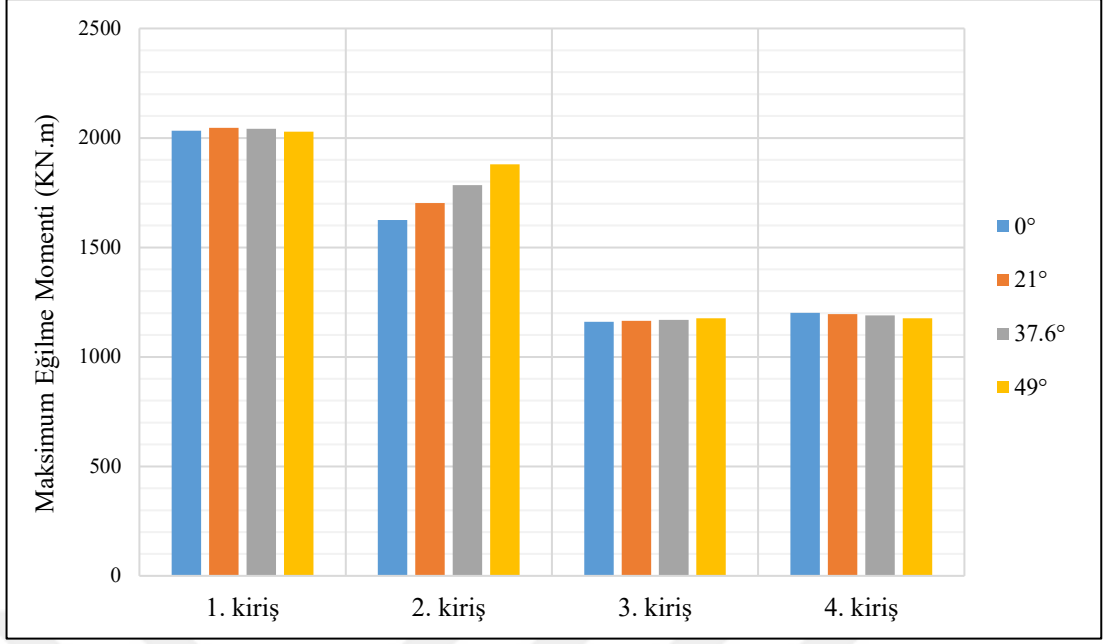
Şekil 4.26. İkinci model (21°) moment diyagramı.



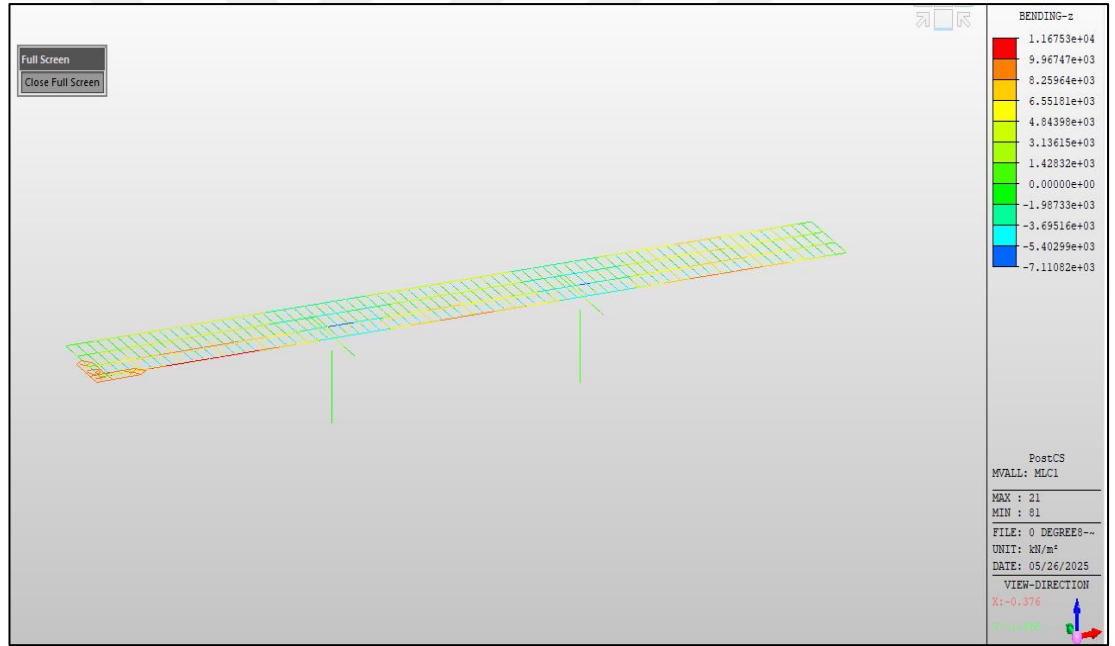
Şekil 4.27. Üçüncü model (37.6°) moment diyagramı.



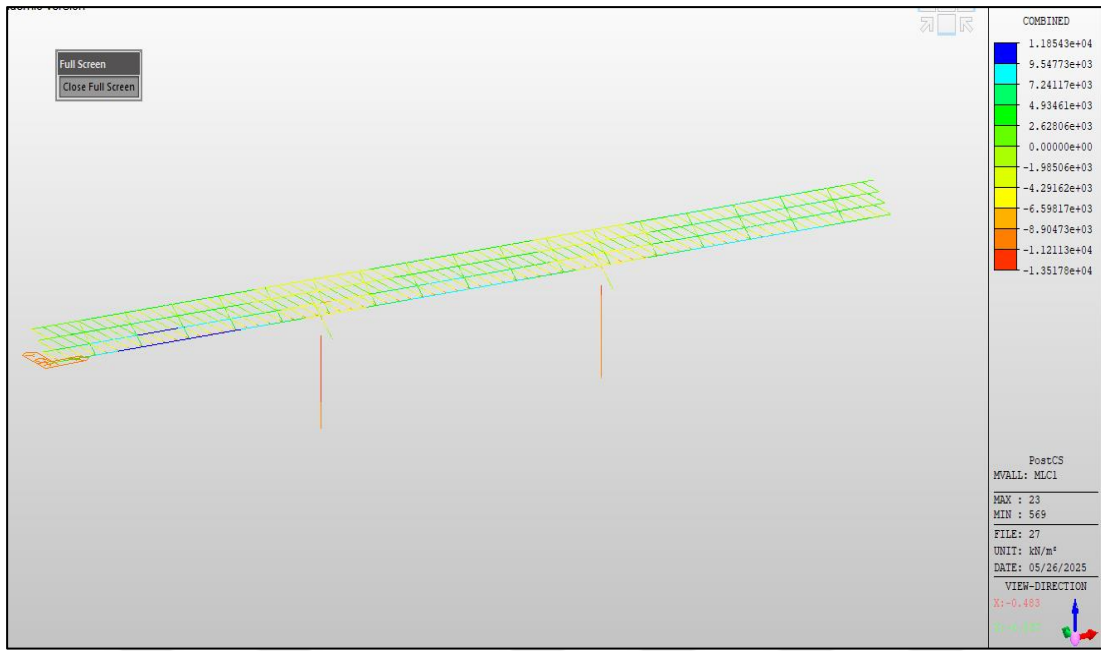
Şekil 4.28. Dördüncü model (49°) moment diyagramı.



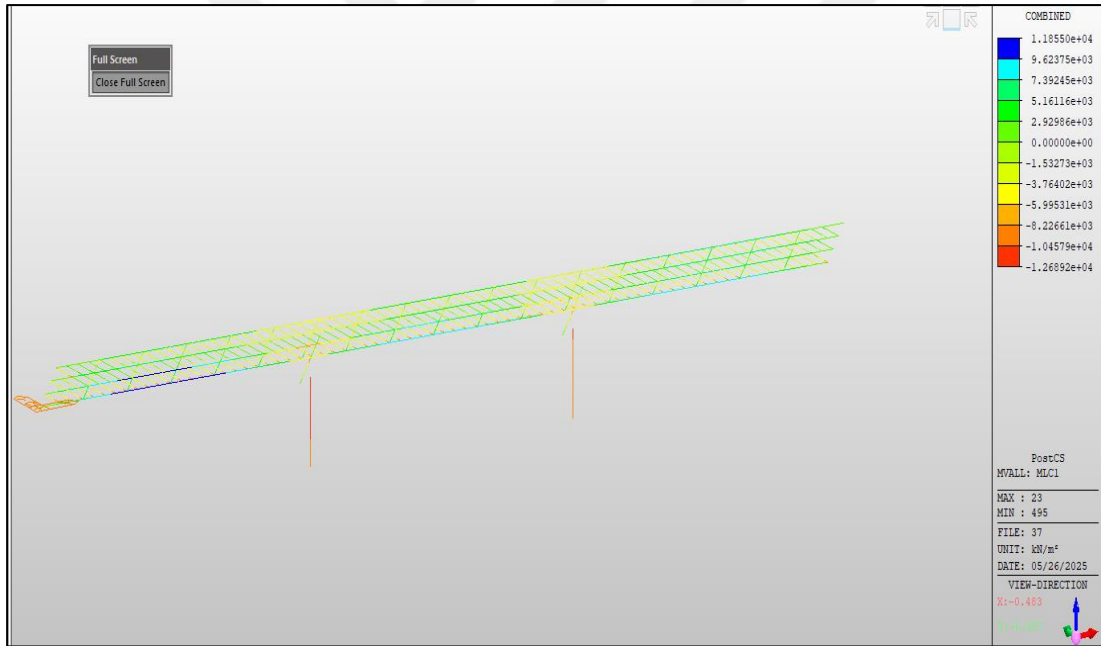
Şekil 4.29. Maksimum eğilme momenti grafiği.



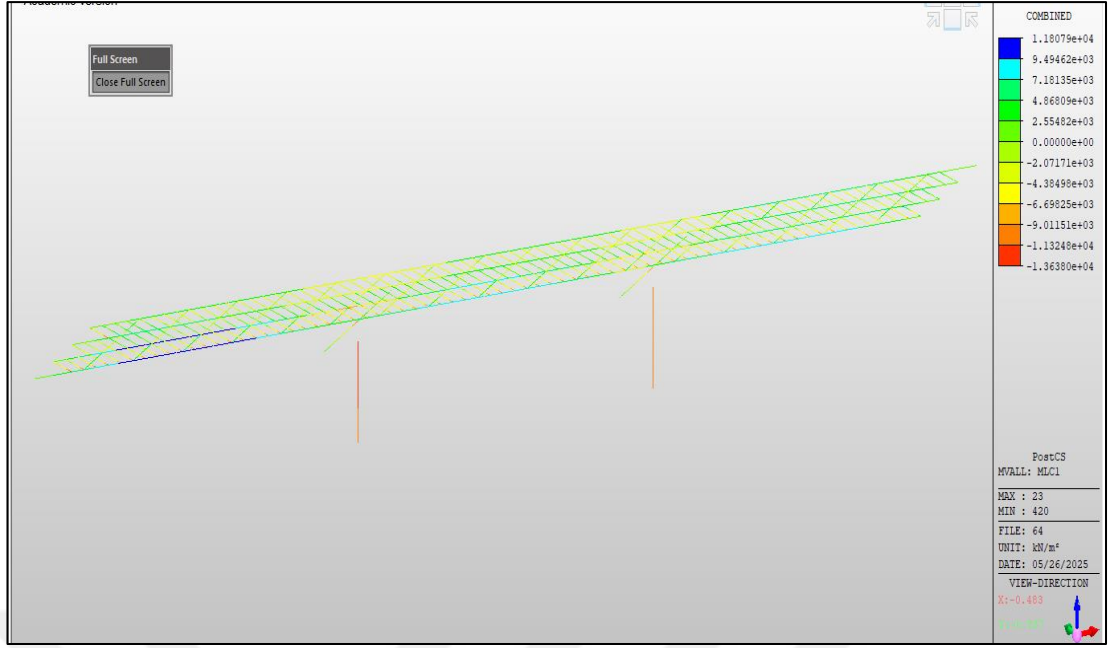
Şekil 4.30. Birinci model (0°) eğilme gerilme diyagramı.



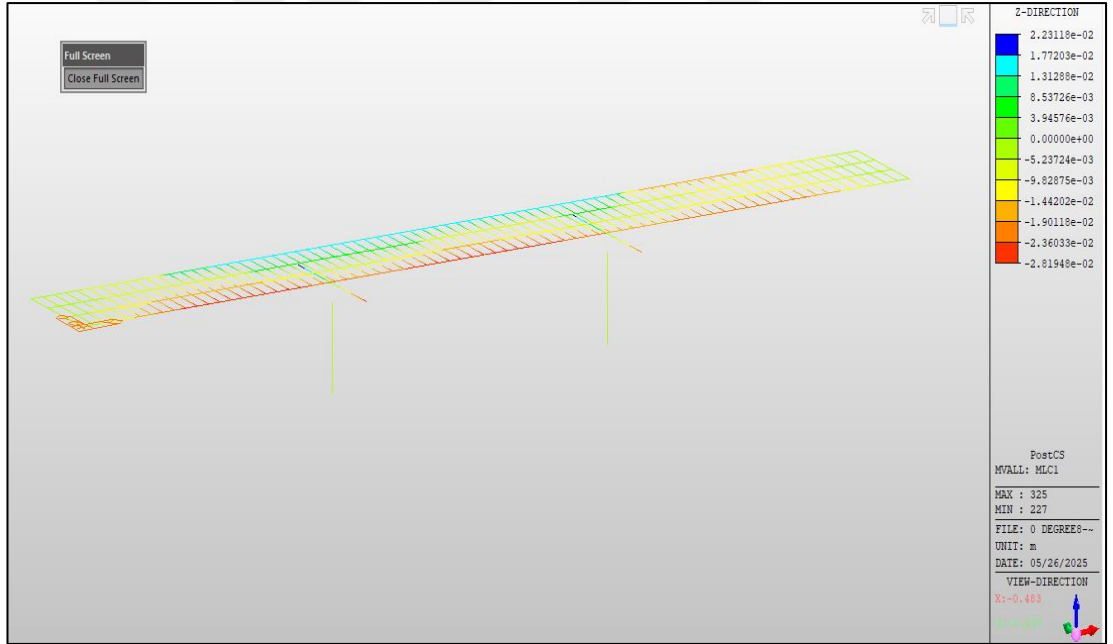
Şekil 4.31. İkinci model (21°) eğilme gerilme diyagramı.



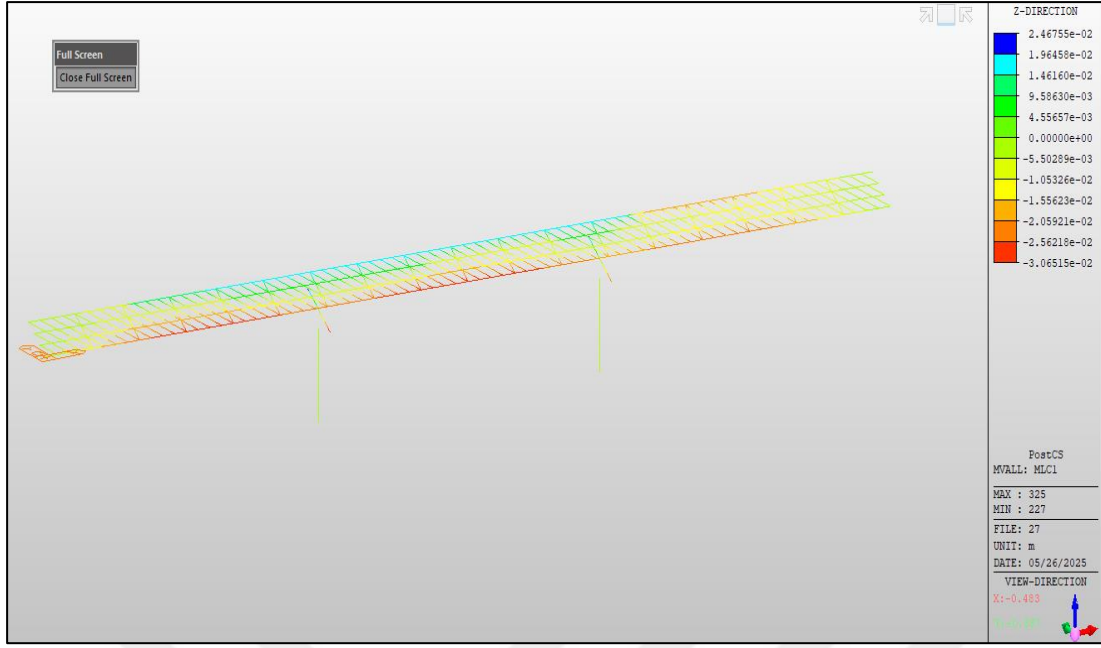
Şekil 4.32. Üçüncü model (37.6°) eğilme gerilme diyagramı.



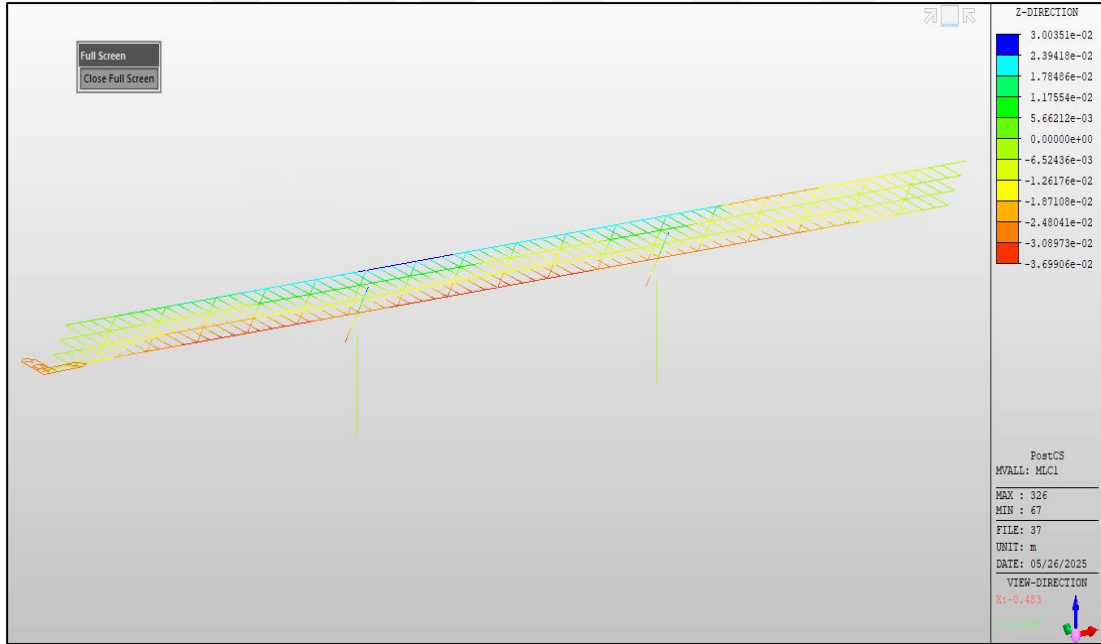
Şekil 4.33. Dördüncü model (49°) eğilme gerilme diyagramı.



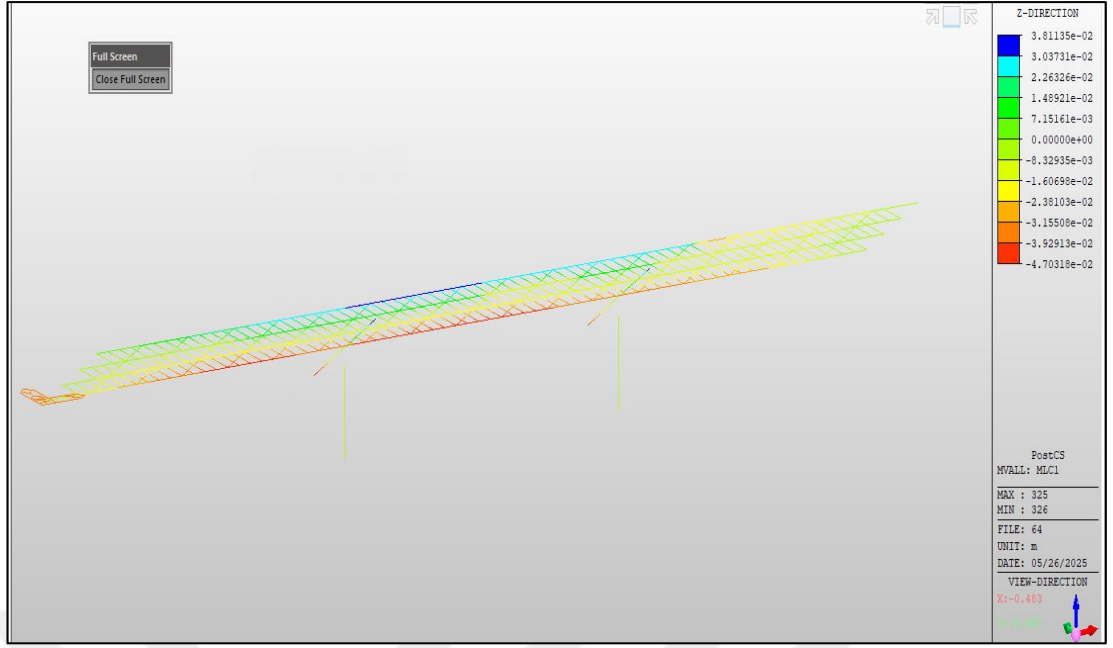
Şekil 4.34. Birinci model (0°) yerdeğiştirme diyagramı.



Şekil 4.35. İkinci model (21°) yerdeğiştirme diyagramı.



Şekil 4.36. Üçüncü model (37.6°) yerdeğiştirme diyagramı.



Şekil 4.37. Dördüncü model (49°) yerdeğiştirme diyagramı.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü kirişler için eğilme gerilme diyagramlarında genel bir eğilim gözlemlenebilir. Başlangıçta, gerilme dağılımları benzer bir örüntüyü izler, negatif değerler destekler arasında uzanır ve pozitif değerler onların yakınında ortaya çıkar. Verevlik açısı arttıkça, gerilme değerleri, özellikle açıklığın ortasında yükselir. Birinci kiriş için, merkezi açıklıktaki gerilmeler daha büyük bir verevli açıyla hafifçe artarken, ikinci kiriş açısı değişikliğine rağmen neredeyse aynı gerilme dağılımlarını korur. Üçüncü kirişte, önemli değişiklikler 37.6° civarında başlar, gerilmeler 0 m ile 12 m arasında daha belirgin bir şekilde artar ve simetrik olmayan bir gerilme örüntüsü gözlemlenir. Benzer şekilde, dördüncü kirişte, gerilme değerleri 0° ile 21° arasında yakın kalır, ancak 21° 'den sonra orta açıklıkta (18 m ile 36 m) belirgin bir şekilde artar. Tüm modellerde asimetri belirgindir ve ilk ve ikinci I-kirişlerde erken açıklıklardaki eğilme gerilimi değerleri sonraki açıklıklardakilerden daha yüksek olma eğilimindedir ve üçüncü ve dördüncü kirişlerde ise bunun tersi geçerlidir.

Birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü I-kirişlerin kesme kuvveti diyagramlarında, artan verevlik açılarının etkisiyle ilgili genel bir eğilim ortaya çıkıyor. Birinci kirişte, kesme kuvvetleri başlangıç açıklığında büyük ölçüde değişmeden kaldı ancak orta ve üçüncü açıklıklarda değişti ve verevlik açısı 49° 'ye çıktıkça açıklıkların ilk yarısında değerler azaldı. İkinci kiriş artan verevlik açılarıyla küçük değişiklikler gösterdi, ancak 37.6° 'nin ötesinde değerler 0° 'deki değerlere döndü, üçüncü kiriş ise 49° 'ye ulaşana kadar küçük değişiklikler gösterdi ve orta açıklığın ikinci yarısında kesme kuvvetlerinde belirgin bir azalma oldu. Dördüncü kiriş 37.6° 'de kesme kuvvetlerinde kademeli bir artış, ardından 49° 'de bir azalma gösterdi, orta açıklığın ikinci yarısında önemli azalmalar (yaklaşık %30) ve üçüncü açıklığın son kısmında belirgin %40'luk bir artış oldu. Genel olarak, kesme kuvveti davranışı açıklıklar ve kirişler arasında, özellikle daha yüksek verevlik açılara tepki olarak, değişiklik gösterdi.

Y eksenine etrafındaki eğilme momentleri de incelenmiştir. Birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü I-kirişler için moment diyagramlarında, verevlik açılarının moment davranışları üzerindeki etkisine ilişkin genel bir örüntü ortaya çıkıyor. Birinci kirişte, moment değişimleri açıklıklar boyunca minimum düzeydeydi ve 49° verevlik açıda birinci

desteğe yakın hafif bir artış vardı, orta ve üçüncü açıklıklar ise verevlik değişikliklere rağmen benzer değerleri korudu. İkinci kiriş, birinci açıklıkta dışbükey bir moment çizgisi gösterdi, ortada arttı, ancak 37.6°'de %25 kayarak 49°'de orijinal şekline dönmeden önce daha az dışbükey hale geldi. Üçüncü kiriş, 37.6° ve 49° verevlik açılarda %25 artışla açıklıklar boyunca tutarlı moment değerlerini korudu, bu da diyagramın şeklinin değişmesine neden oldu ancak üçüncü açıklıkta dikkate değer bir değişiklik olmadı. Dördüncü kiriş, 18 m ile 30 m arasında değerler yaklaşık %25 oranında 49°'de artarken, üçüncü açıklıkta verevlik açısı büyüdükçe hafif bir artışla birlikte, açıklıklar ve verevlik açıları boyunca çoğunlukla sabit moment değerleri sergiledi. Genel olarak, moment davranışı kirişler arasında değişti ve en belirgin değişiklikler özellikle 37.6° ve 49° civarında olmak üzere daha yüksek verevlik açılarında meydana geldi.

Birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü I-kirişlerin yer değiştirme diyagramlarında, artan verevlik açılara yanıt olarak net bir eğilim ortaya çıkıyor. Birinci kirişte, yer değiştirme değerleri 0° ve 21° verevlik açıları için tutarlı kaldı, ancak 37.6°'da yaklaşık %35 ve 49°'da %75 arttı, şekil ise değişmeden kaldı. İkinci kiriş benzer bir desen sergiledi, yer değiştirme değerleri 37.6°'da %20, 49°'da %45 arttı ve aynı şekli korudu. Üçüncü kiriş bu eğilimi izledi, 37.6°'da %50 artış ve 49°'da %100'lük önemli bir artış gösterdi, ancak yer değiştirme işaretleri açıklıklar arasında değişti. Dördüncü kirişte, yer değiştirme değerleri 37.6°'da %60 ve 49°'da %70 arttı, hem şekil hem de işaret değişti. Özellikle, ilk açıklıktaki yer değiştirme değerleri genellikle sonraki açıklıklardakinden daha yüksekti ve diyagramlarda simetri gözlenmedi. Yer değiştirmedeki artışlar, 21°'nin ötesindeki verevlik açısındaki artışı yakından takip etti ve geometrik ayarlamaların yapısal tepki üzerindeki önemli etkisini vurguladı.

Yukarıdan, verev açısındaki bir artışla, verevli köprü tabliyesindeki gerilmelerin düz bir köprü tabliyesindeki gerilmelere kıyasla önemli ölçüde farklılaştığı sonucuna varılabilir. Üstyapının davranışlarında en çok değişen verev açısının kritik değeri, yaklaşık 37.6° civarındaki verev açısıyla gerçekleşir. Bu nedenle, köprünün önerilmeli sürekli üstyapısı bu davranışlara göre tasarlanmalıdır. Ayrıca, üstyapı davranışı, farklı verev açıları kullanılarak üretilecek momentlerin, gerilmelerin ve kesme kuvvetlerinin maksimum değerlerini belirlemek için 30° ile 45° arasındaki diğer yakın verev açısı değerleriyle incelenmelidir.

Ayrıca burulma momenti incelendi. Üst yapının verevlik açısının 21°'den fazla artırılmasından sonra davranışının farklı şekillerde değiştiği fark edildi.

Çalışmamızda önerilmeli beton sürekli verev I-kirişli köprünün üst yapısı. Midas Civil programı ile FEM ile analiz yapıldı. Sonuç olarak verevliğin açısındaki değişimin üst yapının gerilme, moment ve kesme kuvvetlerindeki davranışını etkilediğini gösteren sonuçların açık olduğu görüldü. Literatür taramasından, AASHTO ve teorik sonuçlar arasında bir uyum bulundu. Bu çalışmanın sonuçları, verev açısı 20° veya daha az olan köprülerin düz köprü olarak tasarlanması gerektiğini öneren AASHTO standart spesifikasyonlarıyla büyük ölçüde örtüşmektedir.

Köprünün inşa edileceği yerin coğrafyası bizi 20°'den fazla verevlik açısı kullanmaya zorluyorsa, şu gibi bazı önlemler alınmalıdır :-

- 1- Köprünün açıklığını olabildiğince kısa kullanması.
- 2- Sürekli köprüler kullanmaktansa basit mesnetli yapıyı kullanması.
- 3- I-kirişi için üst yapıda büyük kesitler kullanması (AASHTO kodunu kullanarak).
- 4- kolon başlıklarının tasarımı, uygun kesitlerle eğilme momentleri dikkate alınarak dikkatlice yapılmalıdır.
- 5- kirişler arasında diyaframlar kullanması.
- 6- Öngermeli beton sistemindeki kayıplar incelenmesi.



KAYNAKLAR

- Abozaid, L. A., Hassan, A., Abouelezz, A. Y., & Abdel-Hafez, L. M. (2014). Nonlinear behaviour of a skew slab bridge under traffic loads. *World Appl Sci J*, 30(11), 1479-93. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2014.30.11.14186>
- Aravind, B.A. Babu, B., Asif, S. M. T., & Irshad, S. T. (2015). *Analysis And Design Of Prestressed I-Girder*, Bachelor of Engineering 's, department of Civil Engineering School of Engineering and Technology Anjuman-I- Islam's Kalsekar Technical Campu Anjuman-I-Islam's Kalsekar Technical Campus.
- Chen, W. F., & Duan, L. (Eds.). (2013). *Handbook of International Bridge Engineering*. CRC Press.
- Chun, B. J. (2010). Skewed Bridge Behaviors: Experimental, Analytical, And Numerical Analysis. *Wayne State University Dissertations*. 82. https://digitalcommons.wayne.edu/oa_dissertations/82.
- Deepu, S. P., Prajapat, K., & Ray-Chaudhuri, S. (2014). Seismic vulnerability of skew bridges under bi-directional ground motions. *Engineering Structures*, 71, 150-160. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.04.013>
- Fu, C. C., & Wang, S. (2015). *Computational Analysis and Design of Bridge Structures*. CRC Press. by Taylor & Francis Group.
- Fu, G., & Chun, P. J. (2013). *Skewed Highway Bridges* (No. RC-1541). Michigan. Dept. of Transportation.
- Grace, N. F., Patki, K. D., Soliman, E. M., & Hanson, J. Q. (2011). Flexural behavior of side-by-side box-beam bridges: A comparative study. *PCI Journal*, 56(3), 112.
- Hambly, B. M. (1992). Brownian Motion on a Homogeneous Random Fractal. *Probability Theory and Related Fields*, 94, 1-38. <https://doi.org/10.1007/BF01222507>
- Harba, I. S. (2011). Effect of Skew Angle on Behavior of Simply Supported RC T-Beam Bridge Decks. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 6(8), 1-14.
- Haritos, N., Khalaf, H., & Chalko, T. (1995, February). Modal testing of a skew reinforced concrete bridge. In *Proceedings-Spie The International Society For Optical Engineering* (pp. 703-703). Spie International Society For Optical.
- Hossain, M., & Zisan, M. B., (2016). *Parametric study on live-load distribution in lateral direction of a skew composite bridge*. Proceedings of 3rd International Conference on Advances in Civil Engineering, 21-23 December, CUET, Chittagong, Bangladesh, Islam, Imam, Ali, Hoque, Rahman and Haque (eds.), 550-555.
- Ismail, E. (2017). *Distribution of Stresses and Displacements in Skewed Concrete Slabs*. Master's Thesis in Structural Engineering, Linnaeus University,

- Jadhav, A. H., & John, R. (2021). Analysis and Behaviour of Skewed Box Girder Bridge. *International Journal of Scientific Research and Engineering Development*, 4(3), 6-11.
- Kar, A., Khatri, V., Maiti, P. R., & Singh, P. K. (2012). Study on Effect of Skew Angle in Skew Bridges. *International Journal of Engineering Research and Development*, 2(12), 13-18.
- Khatri, V., Maiti, P. R., Singh, P. K., & Kar, A. (2012). Analysis of Skew Bridges Using Computational Methods. *International Journal of Computational Engineering*, 2(3), 628-636.
- Kun, C., Jiang, L., & Chouw, N. (2017). Influence of Pounding and Skew Angle on Seismic Response of Bridges. *Engineering Structures*, 148, 890-906. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.07.024>
- Manoharan, A., & Joseph, G. (2016). Analysis of Skew Bridge With Varying Skew Angles. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7(10), 240-244.
- Menassa, C., Mabsout, M., Tarhini, K., & Frederick, G. (2007). Influence of Skew Angle on Reinforced Concrete Slab Bridges. *Journal of Bridge Engineering*, 12, 205-214. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0702](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0702)
- Midas IT. (2024 veyat.y.). Mainpage. Web: <https://www.midasuser.com/en/product/civil>
- Naik, M. P., & Shreedhar, R. (2018). Study on Behaviour of Skew PSC Box Girder Bridge. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 6(5), 2669-2674.
- Okeil, A. M., Hossain, T., & Cai, C. S. (2013). Field Monitoring of Positive Moment Continuity Detail in a Skewed Prestressed Concrete Bulb-Tee Girder Bridge. *PCI Journal*, 58(2), 80-90.
- Pandey, K. K., & Maru, S. (2015). Modelling of Skew Bridge Deck Slab by Grillage. *Int. J. Eng. Res. General Sci*, 3(4), 617-623.
- Patel, A. H., & Mamadapur, S. (2016). A Comparative Study on T-Beam Girder and Box Girder Bridges for Different Skew Angles. *Bonfring International Journal of Man Machine Interface*, 4, 167-172. <https://doi.org/10.9756/BIJMMI.8176>
- Ramesh, L., & Kumar, B. R. (2007). Finite element modeling of reinforced cement concrete skew bridge and dynamic analysis. *Anveshana's International Journal Of Research In Engineering and Applied Sciences* 2, 210-215.
- Shahhosseini, M., & Yu, G. (2019, August). Experimental study on the effects of pier shape and skew angle on pier scour. In *Journal of Physics: Conference Series*, 1300(1), 012031. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1300/1/012031>
- Sharma, N., & Kumar, P. (2016). Performance of Reinforced Concrete Bridges during Earthquake-A Review. *International Journal of Engineering and Management Research*, 6(4), 445-449.
- Sindhu, B. V., Ashwin, K. N., Dattatreya, J. K., & SV, D. (2013). Effect of Skew Angle on Static Behaviour of Reinforced Concrete Slab Bridge Decks. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2(1), 50-58.

- Sisodiya, R. G., Cheung, Y. K., & Ghali, A. (1970). *Finite element analysis of skew, curved box-girder bridge*. IABSE Publications <https://doi.org/10.5169/seals-23598>
- Solanki, B., & Thomas, M. (2018). Effect of Span Length on RC T-Girder Skew Bridge.
- Vasani, P.C. ve Mehta. B.B. (2003). *Different Types Of Bridges And Its Suitability*. PDF created with FinePrint pdfFactory Trial Version, 1-16. <http://www.fineprint.com>, Applied Mechanics Department, LD College of Engineering, Ahmedabad-380015. pcv-im@rth.net Ph. No.-(079) 7486320 Mobile No: 9825342208.
- Wang, Y., Ibarra, L., & Pantelides, C. (2019). Collapse capacity of reinforced concrete skewed bridges retrofitted with buckling-restrained braces. *Engineering Structures*, 184, 99-114. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.01.033>
- Yuan-hai, Z. H. A. N. G., & Li-xia, L. I. N. (2012). A method considering shear lag effect for flexural-torsional analysis of skewly supported continuous box girder. *Engineering Mechanics*, 29(2), 94-100.
- Zakeri, B., Padgett, J. E., & Ghodrati Amiri, G. (2015). Fragility Assessment for Seismically Retrofitted Skewed Reinforced Concrete Box Girder Bridges. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 29(2), 04014043. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000502](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000502)
- Zienkiewicz, O. C., Lyness, J., & Owen, D. R. J. (1977). Three Dimensional Magnetic Field Determination Using A Scalar Potential –A Finite Element Solution. *IEEE Trans. On Mag.*, 13(5), 1649 - 1656. <https://doi.org/10.1109/TMAG.1977.1059650>



EKLER

EK A. Tablolar



EK A

Tablo 1. Eğilme momentleri birinci I-kirişinde (Y) eksenî yönünde.

Açıklık (m)	Eleman	Moment-Y (KN.m)-0°	Moment-Y (KN.m)-21°	Moment-Y (KN.m)-37.6°	Moment-Y (KN.m)-49°
1	1	0	0	0	0
2	13	372.74	361.51	330.75	297.7
3	14	723.91	688.28	655.17	601.16
4	15	1032.36	989.43	935.37	891.58
5	16	1239.55	1241.61	1172.35	1106.38
6	17	1517.87	1465.98	1399.91	1332.18
7	18	1689.73	1649.47	1588.91	1524.92
8	19	1818.8	1794.86	1743.61	1686.38
9	20	1894.18	1898.4	1843.8	1793.96
10	21	2001.16	1984.25	1940.38	1893.22
11	22	2029.66	2032.64	2008.07	1975.61
12	23	2033.95	2046.99	2042.85	2028.52
13	24	2003.71	2030.17	2028.21	2027.8
14	25	1985.32	2002.71	2006.38	2019.83
15	26	1903.07	1940.26	1968.03	1992.73
16	27	1789.48	1846.91	1898.2	1948.94
17	28	1618.15	1716.4	1782.14	1852.18
18	29	1491.88	1562.76	1653.21	1752.73
19	30	1306.02	1383.9	1495.36	1624.41
20	31	1097.56	1185.29	1315.93	1471.76
21	32	835.72	960.57	1099.33	1273.03
22	33	672.39	746.76	894.84	1092.64
23	34	-689.61	-662.13	696.58	-904
24	35	-757.01	-716.63	-623.18	-729.76
25	2	-911.43	-861.13	-713.68	-581.75
26	197	-844.28	-807.85	-682.6	-628.7
27	198	-790.82	-763.07	-659.89	-680.39
28	199	-753.16	-729.03	675.71	-747.41
29	200	764.47	782.76	787.36	814.52
30	201	990.09	950.9	934.45	928.01
31	202	1132.29	1107.92	1076.13	1045.71
32	203	1254.4	1242.09	1208.9	1162.53
33	204	1349.49	1334.92	1314.34	1259.94
34	205	1464.51	1419.34	1398.57	1361.75
35	206	1498.47	1496.03	1462.53	1441.35
36	207	1485.95	1548.52	1516.49	1489.56
37	208	1480.61	1508.75	1542.39	1512.24
38	209	1482.65	1479.99	1524.21	1538.82
39	210	1440.04	1450.8	1462.51	1543.81
40	211	1350.56	1403.66	1420.16	1471.11
41	212	1196.79	1302.16	1348.91	1388.64
42	213	1119.26	1185.58	1265.57	1328.72
43	214	993.62	1047.63	1140.12	1248.79
44	215	846.28	906.55	998.07	1130.44
45	216	647.89	745.41	834.77	971.8
46	217	-640.46	-609.41	701.07	837.36
47	218	-679.41	-645.2	618.79	714.88
48	219	-736.88	-709.99	-778.2	-630.98
49	3	-856.97	-838.18	-766.69	-716.28
50	36	-761.72	-764.29	706.3	-661.47
51	37	-702.07	-704.46	655.32	647.73
52	38	-656.96	-656.15	646.36	734.96
53	39	705.94	735.74	759.13	814.07
54	40	930.77	907.43	912.64	938.37
55	41	1092.61	1064.7	1056.17	1060.45
56	42	1233.41	1206.62	1189.05	1177.45
57	43	1303.52	1318.65	1291.56	1271.03
58	44	1458.82	1430.36	1401.8	1373.94
59	45	1537.65	1517.07	1489.47	1458.68
60	46	1573.01	1578.99	1555.18	1523.92
61	47	1582.75	1591.74	1582.69	1555.69
62	48	1617.09	1603.58	1590.3	1579.98
63	49	1614.82	1611.43	1591.52	1572.72
64	50	1553.54	1593.05	1582.35	1563.13
65	51	1431.65	1511.2	1535.11	1526.41
66	52	1336.64	1393.95	1442.55	1468.63
67	53	1204.81	1263.25	1310.11	1357.53
68	54	1051.77	1112.79	1158.54	1202.22
69	55	857.54	944	994.18	1042.41
70	56	686.05	742.34	788.17	831.48
71	57	470.83	516.95	554.01	590.04
72	58	0	0	0	0

Tablo 2. Kesme kuvvetleri birinci I-kirişinde (Z) eksenî yönünde.

Açıklık (m)	Eleman	Kesme Kuvveti (KN)-0°	Kesme Kuvveti (KN)-21°	Kesme Kuvveti (KN)-37.6°	Kesme Kuvveti (KN)-49°
1	1	-389.98	-373.12	-335.89	-304.04
2	13	-367.3	-345.8	-335.89	-304.04
3	14	-344.37	-324.91	-309.46	-304.04
4	15	-303.58	-304.02	-290.46	-279.18
5	16	-289.79	-279.73	-270.16	-261.94
6	17	-260.95	-259.71	-252.52	-245.29
7	18	-239.64	-240.09	-236.14	-230.62
8	19	-202.44	-220.61	-220	-216.22
9	20	-192.79	-195.95	-200.11	-199.18
10	21	-170.46	-177.79	-184.2	-185.41
11	22	-154.11	-160.05	-168.4	-172.49
12	23	160.64	153.9	-152.52	-159.22
13	24	181.55	179.83	164.51	151.42
14	25	215.41	202.17	187.09	172.13
15	26	232.22	222.79	208.02	192.47
16	27	250.95	242.93	228.64	212.43
17	28	266.09	266.26	248.54	228.79
18	29	296.1	287.16	270.78	250.4
19	30	310.47	305.55	290.54	270.72
20	31	326.82	322.53	309	289.56
21	32	323.49	333.64	320.13	300.31
22	33	341.91	347.4	336.7	317.71
23	34	348.01	356.53	348.44	331.58
24	35	355.97	362.13	356.52	341.04
25	2	-352.89	-308.61	-261.49	-212.99
26	197	-336.35	-306.89	-262.65	-215.66
27	198	-324.76	-299.21	-265.59	-222.51
28	199	-295.83	-291.55	-263.13	-230.43
29	200	-306.11	-288.03	-266.57	-241.45
30	201	-267.96	-274.79	-259.44	-238.93
31	202	-250.86	-251.81	-249.89	-235.98
32	203	-217.6	-230.94	-237.57	-229.71
33	204	-217.36	-214.89	-213.36	-219.84
34	205	-188.31	-198.56	-199.56	-202.97
35	206	-170.94	-181.39	-185.46	-188.54
36	207	147.42	-159.55	-170.96	-176.42
37	208	154.37	157.82	-152.52	-162.12
38	209	187.73	177.44	169.72	162.83
39	210	204.06	196.01	187.68	180
40	211	220.42	214.85	205.92	196.32
41	212	220.7	228.91	220.4	208.62
42	213	247.57	246.05	240.48	228.1
43	214	261.15	261.34	256.59	247.22
44	215	277.03	276.13	272.09	263.57
45	216	260.74	282.17	279.93	272.16
46	217	287.61	295.63	295.27	287.73
47	218	299.79	309.18	306.26	301.34
48	219	314.38	320.9	318.4	312.4
49	3	-330.43	-301.41	-270.49	-237.14
50	36	-313.11	-294.8	-264.86	-232.05
51	37	-300.08	-286.9	-261.77	-230.76
52	38	-271.02	-277.17	-256.97	-231.22
53	39	-292.83	-276.89	-259.98	-237.14
54	40	-268.88	-263.42	-250.59	-232.49
55	41	-246.77	-248.6	-239.88	-226.14
56	42	-214	-229.17	-226.86	-217.63
57	43	-224.31	-218.72	-213.66	-209.31
58	44	-199.78	-202.34	-199.35	-193.67
59	45	-158.93	-185.39	-184.62	-180.9
60	46	-129.18	-146.8	-168.79	-167.11
61	47	-132.66	-132.48	-133.53	-152.47
62	48	138.58	132.31	130.62	132.12
63	49	154.36	148.55	146.35	146.87
64	50	166.67	165.93	162.96	162.74
65	51	168.11	176.04	176.62	175.58
66	52	184.58	186.71	192.36	196.63
67	53	193.31	197.88	203.94	213.46
68	54	204.16	210.12	217.24	227.42
69	55	215.02	230.98	240.7	252.61
70	56	232.85	246.27	259.61	274.59
71	57	243.11	262.1	279.93	300.53
72	58	250.33	278.58	302.52	330.65

Tablo 3. Eğilme gerilmeleri birinci I-kirişinde (+Z) eksen yönünde.

Açıklık (m)	Eleman	Gerilme (KN/m ²)-0°	Gerilme (KN/m ²)- 21°	Gerilme (KN/m ²)- 37.6°	Gerilme (KN/m ²)-49°
1	1	0	0	0	0
2	13	-648	-628	-575	-517
3	14	-1260	-1200	-1140	-1050
4	15	-1810	-1730	-1640	-1560
5	16	-2170	-2180	-2050	-1940
6	17	-2660	-2570	-2460	-2340
7	18	-2970	-2900	-2790	-2680
8	19	-3190	-3150	-3060	-2960
9	20	-3330	-3330	-3240	-3150
10	21	-3510	-3480	-3410	-3320
11	22	-3560	-3570	-3520	-3470
12	23	-3570	-3590	-3580	-3560
13	24	-3510	-3560	-3560	-3560
14	25	-3480	-3510	-3520	-3540
15	26	-3340	-3410	-3450	-3500
16	27	-3140	-3240	-3330	-3420
17	28	-2840	-3010	-3130	-3250
18	29	-2620	-2740	-2900	-3080
19	30	-2290	-2430	-2620	-2850
20	31	-1920	-2070	-2300	-2570
21	32	-1460	-1680	-1920	-2220
22	33	-1170	-1300	-1560	-1900
23	34	1200	1150	-1210	1570
24	35	1310	1240	1080	1260
25	2	1580	1490	1230	1010
26	197	1460	1400	1180	1090
27	198	1370	1320	1140	1180
28	199	1310	1270	-1180	-1300
29	200	-1330	-1370	-1370	-1420
30	201	-1730	-1660	-1630	-1620
31	202	-1990	-1940	-1890	-1830
32	203	-2200	-2180	-2120	-2040
33	204	-2370	-2340	-2310	-2210
34	205	-2570	-2490	-2460	-2390
35	206	-2630	-2630	-2570	-2530
36	207	-2610	-2720	-2660	-2610
37	208	-2600	-2650	-2700	-2650
38	209	-2600	-2600	-2670	-2700
39	210	-2530	-2550	-2570	-2710
40	211	-2370	-2460	-2490	-2580
41	212	-2100	-2290	-2370	-2440
42	213	-1960	-2080	-2220	-2330
43	214	-1740	-1840	-2000	-2190
44	215	-1480	-1590	-1750	-1980
45	216	-1130	-1300	-1460	-1700
46	217	1110	1060	-1220	-1460
47	218	1180	1120	-907	-1240
48	219	1280	1230	1150	1090
49	3	1480	1450	1330	1240
50	36	1320	1320	-918	1150
51	37	1220	1220	-1140	-1120
52	38	1140	1140	-1120	-1280
53	39	-1230	-1280	-1320	-1420
54	40	-1630	-1590	-1600	-1640
55	41	-1920	-1870	-1850	-1860
56	42	-2170	-2120	-2090	-2070
57	43	-2290	-2320	-2270	-2230
58	44	-2560	-2510	-2460	-2410
59	45	-2700	-2660	-2610	-2560
60	46	-2760	-2770	-2730	-2670
61	47	-2780	-2790	-2780	-2730
62	48	-2840	-2810	-2790	-2770
63	49	-2830	-2830	-2790	-2760
64	50	-2730	-2800	-2780	-2740
65	51	-2510	-2650	-2700	-2680
66	52	-2350	-2450	-2530	-2580
67	53	-2120	-2220	-2300	-2380
68	54	-1850	-1950	-2030	-2110
69	55	-1500	-1650	-1740	-1830
70	56	-1200	-1300	-1380	-1450
71	57	-821	-902	-966	-1030
72	58	0	0	0	0

Tablo 4. Eğilme gerilmeleri birinci I-kirişinde (-Z) eksen yönünde.

Açıklık (m)	Eleman	Gerilme (KN/m ²)-0°	Gerilme (KN/m ²)-21°	Gerilme (KN/m ²)- 37,6°	Gerilme (KN/m ²)-49°
1	1	0	0	0	0
2	13	2190	2130	1950	1750
3	14	4250	4040	3850	3530
4	15	6050	5800	5480	5230
5	16	7240	7260	6850	6470
6	17	8840	8540	8160	7760
7	18	9810	9570	9220	8850
8	19	10500	10400	10100	9750
9	20	10900	10900	10600	10300
10	21	11500	11400	11200	10900
11	22	11600	11700	11500	11300
12	23	11600	11700	11700	11600
13	24	11500	11600	11600	11600
14	25	11400	11500	11500	11600
15	26	10900	11100	11300	11400
16	27	10300	10700	10900	11200
17	28	9370	9940	10300	10700
18	29	8680	9090	9620	10200
19	30	7630	8080	8740	9490
20	31	6430	6950	7710	8620
21	32	4910	5640	6460	7480
22	33	3950	4390	5260	6430
23	34	-4060	-3900	4100	-5320
24	35	-4460	-4220	-3670	-4300
25	2	-5370	-5070	-4200	-3430
26	197	-4970	-4760	-4020	-3700
27	198	-4650	-4490	-3880	-4000
28	199	-4430	-4290	3970	4400
29	200	4490	4600	4620	4780
30	201	5800	5570	5480	5440
31	202	6610	6470	6290	6110
32	203	7300	7230	7030	6760
33	204	7820	7730	7610	7300
34	205	8450	8180	8060	7850
35	206	8610	8590	8400	8280
36	207	8510	8870	8690	8530
37	208	8470	8630	8830	8650
38	209	8490	8480	8730	8810
39	210	8270	8330	8400	8870
40	211	7790	8090	8190	8480
41	212	6930	7540	7810	8040
42	213	6510	6900	7360	7730
43	214	5800	6120	6660	7290
44	215	4960	5310	5850	6620
45	216	3810	4380	4900	5710
46	217	-3770	-3580	4120	4930
47	218	-4000	-3800	3640	4210
48	219	-4340	-4180	-3930	-3720
49	3	-5050	-4940	-4510	-4220
50	36	-4480	-4500	2160	-3890
51	37	-4130	-4150	2860	3810
52	38	-3860	-3860	3800	4320
53	39	4150	4320	4460	4780
54	40	5450	5320	5350	5500
55	41	6380	6220	6170	6190
56	42	7180	7020	6920	6850
57	43	7550	7640	7480	7360
58	44	8410	8250	8080	7920
59	45	8830	8710	8560	8380
60	46	9010	9040	8910	8730
61	47	9060	9110	9060	8900
62	48	9260	9180	9100	9040
63	49	9260	9240	9130	9020
64	50	8930	9160	9090	8980
65	51	8250	8710	8850	8800
66	52	7730	8060	8340	8490
67	53	6990	7330	7600	7880
68	54	6130	6480	6750	7000
69	55	5010	5520	5810	6090
70	56	4020	4350	4620	4870
71	57	2770	3040	3250	3470
72	58	0	0	0	0

Tablo 5. Burulma momentleri birinci I-kirişinde.

Açıklık (m)	Eleman	Burulma (KN.m)-0°	Burulma (KN.m)-21°	Burulma (KN.m)-37.6°	Burulma (KN.m)-49°
1	1	49.56	-14.81	-14.25	-13.4
2	13	56.28	46.14	-14.25	-13.4
3	14	62.05	48.99	45.26	-13.4
4	15	67.57	55.38	45.95	46.16
5	16	50.85	45.28	33.65	31.94
6	17	60.5	48.75	39.23	34.01
7	18	62.83	52.46	42.4	38.14
8	19	65.85	56.76	48.55	42.57
9	20	40.42	43.53	36.98	38.85
10	21	49.19	42.97	42.09	43.8
11	22	50.48	43.68	43.05	49.24
12	23	53	46.55	46.83	53.34
13	24	29.26	35.06	40.01	49.92
14	25	37.75	35.57	42.93	54.77
15	26	40.39	37.86	45.01	58.21
16	27	45.27	42.68	48.19	61.57
17	28	-31.77	33.5	43.54	55.71
18	29	35.57	36.25	46.57	59.39
19	30	40.38	40.95	48.93	62.14
20	31	48.64	48.09	55.22	65.91
21	32	-40.58	36.74	45.44	57.43
22	33	37.17	40.15	49.98	59.88
23	34	42.29	44.24	51.77	62.99
24	35	51.83	49.65	55.72	64.46
25	2	-52.84	-35.39	41.77	52.02
26	197	-42.22	35.68	42.56	50.92
27	198	38.31	38.06	38.33	46.04
28	199	44.94	42.2	37.85	40.39
29	200	-50.5	-41.25	-41.6	-40.35
30	201	-41.24	-41.7	-41.96	-43.95
31	202	38.41	-39.36	-45.3	-47.16
32	203	43.13	36.45	-44.58	-52.31
33	204	-43.88	-43.36	-51.22	-58.41
34	205	-36.26	-43.03	-50.56	-59.23
35	206	35.91	-40.57	-50.85	-59.97
36	207	41.5	-34.53	-48.3	-59.98
37	208	-43.78	-43.68	-52.33	-62.56
38	209	-37.19	-43.44	-50.36	-61.07
39	210	33.57	-41.62	-49.91	-57.97
40	211	40.43	-37.8	-46.79	-56.77
41	212	-48.16	-47.32	-53.52	-59.97
42	213	-40.97	-46.27	-51.27	-57.51
43	214	36.09	-43.42	-49.05	-55.3
44	215	44.9	42.05	-44.23	-51.28
45	216	-51.02	-46.14	-48.49	-51.97
46	217	-42.03	-43.63	-44.71	-47.79
47	218	38.3	-39.77	-41.73	-45.22
48	219	47.64	43.86	44.43	45.58
49	3	-54.25	-41.02	-38.85	-39.66
50	36	-43.13	-38.74	-37.4	-38.4
51	37	-38.52	-36.07	-37.34	-39.72
52	38	41.66	36.52	-36.25	-40.69
53	39	-49.74	-41.83	-44.89	-50.9
54	40	-39.89	-40.99	-44.67	-54.23
55	41	-34.13	-38.52	-47.31	-57.19
56	42	33.49	-34.69	-46.85	-61.94
57	43	-46.19	-45.51	-56.76	-70.28
58	44	-38.68	-45.84	-57	-72.46
59	45	-34.49	-44.51	-59.08	-75.04
60	46	-25.02	-41.61	-58.44	-77.5
61	47	-52.56	-53.79	-68.68	-84.54
62	48	-46.71	-56.15	-69.06	-86.51
63	49	-38.42	-56.39	-71.8	-88.73
64	50	-34.16	-50.32	-71.62	-91.47
65	51	-51.84	-56.1	-70.2	-94.28
66	52	-49.93	-58.91	-71.63	-88.17
67	53	-48.46	-59.71	-73.64	-90.36
68	54	-43.73	-59.29	-74.23	-92.75
69	55	-50	-54.34	-64.84	-79.05
70	56	-44.73	-51.84	-63.08	-77.19
71	57	-28.71	-46.33	-55.56	-70.24
72	58	-14.41	-25.5	-42.98	-52.45

Tablo 6. Yerdeğiştirme birinci I-kirişinde (Z) eksenı yönünde

Açıklık (m)	Node	Yerdeğiştirme (m)-0°	Yerdeğiştirme (m)-21°	Yerdeğiştirme (m)-37,6°	Yerdeğiştirme (m)-49°
0	1	-0.000002	-0.000002	-0.000002	-0.000002
1	33	-0.003368	-0.003465	-0.003674	-0.003998
2	34	-0.006676	-0.006868	-0.0073	-0.007953
3	35	-0.009877	-0.010166	-0.010825	-0.011824
4	36	-0.012923	-0.013315	-0.014211	-0.015562
5	37	-0.01577	-0.016272	-0.017419	-0.019134
6	38	-0.018381	-0.019014	-0.020415	-0.022509
7	39	-0.020721	-0.021501	-0.023173	-0.025655
8	40	-0.022781	-0.023702	-0.025676	-0.028562
9	41	-0.024528	-0.025581	-0.027884	-0.0312
10	42	-0.025888	-0.027122	-0.029774	-0.033547
11	43	-0.026903	-0.028324	-0.031324	-0.035569
12	44	-0.027612	-0.029183	-0.03254	-0.037279
13	45	-0.027977	-0.029712	-0.033416	-0.038649
14	46	-0.028019	-0.029936	-0.03399	-0.039699
15	47	-0.027755	-0.029844	-0.034262	-0.040462
16	48	-0.027233	-0.029476	-0.034241	-0.040919
17	49	-0.026516	-0.028838	-0.033985	-0.041126
18	50	-0.025567	-0.028024	-0.033475	-0.041073
19	51	-0.024454	-0.027023	-0.032777	-0.040825
20	52	-0.023232	-0.025899	-0.031959	-0.040395
21	53	-0.022007	-0.024749	-0.031074	-0.039861
22	54	-0.020904	-0.023645	-0.030182	-0.039292
23	55	-0.02	-0.022723	-0.029418	-0.038766
24	2	-0.019579	-0.022182	-0.02891	-0.038364
25	217	-0.020072	-0.022464	-0.029006	-0.038304
26	218	-0.020987	-0.023257	-0.029598	-0.038653
27	219	-0.022122	-0.024285	-0.030485	-0.039304
28	220	-0.023329	-0.02543	-0.031511	-0.040169
29	221	-0.024501	-0.026595	-0.032582	-0.041138
30	222	-0.025544	-0.027704	-0.033646	-0.042103
31	223	-0.026414	-0.028674	-0.034649	-0.043059
32	224	-0.027133	-0.029453	-0.035515	-0.043933
33	225	-0.027719	-0.030052	-0.036191	-0.044692
34	226	-0.028067	-0.030442	-0.036674	-0.045306
35	227	-0.028195	-0.030652	-0.036939	-0.045702
36	228	-0.028089	-0.030626	-0.036991	-0.045885
37	229	-0.027759	-0.030379	-0.036795	-0.045851
38	230	-0.027225	-0.029911	-0.036405	-0.045586
39	231	-0.026464	-0.029244	-0.035815	-0.045083
40	232	-0.025555	-0.028378	-0.035032	-0.044365
41	233	-0.024589	-0.027349	-0.034063	-0.043495
42	234	-0.023446	-0.026176	-0.032934	-0.042468
43	235	-0.022244	-0.024917	-0.031681	-0.041279
44	236	-0.020972	-0.023647	-0.030334	-0.039978
45	237	-0.019716	-0.022364	-0.028945	-0.038601
46	238	-0.018539	-0.021152	-0.027667	-0.037183
47	239	-0.01749	-0.020066	-0.026499	-0.035778
48	3	-0.016984	-0.019223	-0.025535	-0.034607
49	56	-0.017258	-0.019287	-0.024903	-0.033727
50	57	-0.017893	-0.019722	-0.024983	-0.032974
51	58	-0.018682	-0.02037	-0.025243	-0.032516
52	59	-0.019524	-0.021086	-0.025604	-0.032388
53	60	-0.020417	-0.021815	-0.026	-0.032305
54	61	-0.021192	-0.022469	-0.026356	-0.032201
55	62	-0.021829	-0.023013	-0.026629	-0.032025
56	63	-0.022283	-0.023431	-0.026753	-0.031747
57	64	-0.022623	-0.023659	-0.026718	-0.031318
58	65	-0.02274	-0.023694	-0.026504	-0.030724
59	66	-0.022608	-0.02349	-0.026077	-0.029937
60	67	-0.022233	-0.023067	-0.025414	-0.028944
61	68	-0.02163	-0.022387	-0.024529	-0.027716
62	69	-0.020751	-0.021443	-0.023383	-0.026265
63	70	-0.019578	-0.020252	-0.021985	-0.02453
64	71	-0.018132	-0.018762	-0.020306	-0.022571
65	72	-0.016448	-0.017028	-0.018384	-0.020363
66	73	-0.014539	-0.015064	-0.016242	-0.017933
67	74	-0.012437	-0.012903	-0.013897	-0.015305
68	75	-0.010166	-0.01056	-0.011367	-0.0125
69	76	-0.007754	-0.008063	-0.008676	-0.009532
70	77	-0.005234	-0.005447	-0.005861	-0.006435
71	78	-0.002637	-0.002747	-0.002956	-0.003245
72	4	-0.000001	-0.000002	-0.000002	-0.000002

Tablo 7. Eğilme momentleri ikinci I-kirişinde (Y) eksen yönünde.

Açıklık (m)	Eleman	Moment-Y (KN.m)-0°	Moment-Y (KN.m)-21°	Moment-Y (KN.m)-37.6°	Moment-Y (KN.m)-49°
1	4	0	0	0	0
2	59	362.39	410.43	457.72	485.5
3	60	673.6	749.28	828.37	909.67
4	61	906.23	1008.38	1108.59	1219.28
5	62	989.88	1200.16	1305.19	1435.2
6	63	1253.31	1367.06	1469.52	1596.26
7	64	1384.77	1489.69	1588.36	1707.66
8	65	1466.82	1571.87	1671.42	1784.43
9	66	1443.11	1623.64	1719.44	1827.81
10	67	1588.62	1681.63	1769.1	1868.16
11	68	1625.75	1702.71	1784.52	1879.94
12	69	1614.82	1688.45	1769.19	1862.94
13	70	1503.3	1638.24	1714.42	1812.83
14	71	1543.68	1597.92	1671.15	1762.63
15	72	1487.71	1540.44	1608.26	1697.6
16	73	1400.43	1451	1517.37	1603.85
17	74	1210.95	1327.95	1391.49	1483.37
18	75	1171.18	1208.4	1264.48	1348.85
19	76	1031.93	1058.52	1108.37	1186.92
20	77	851.57	876.33	923.56	993.01
21	78	579.02	670.65	711.59	774.98
22	79	-614.11	-645.4	653.83	-649.92
23	80	-742.16	-784.67	811.38	-830.86
24	81	-897.17	-958.33	-1009.91	-1064.63
25	5	-1204.66	-1227.09	-1265.94	-1368.13
26	220	-1009.51	-1029.76	655.66	-1074.97
27	221	-853.42	-870.82	877.61	-889.59
28	222	-724.09	-744.01	905.55	-746.69
29	223	-623.41	652.5	950.67	651.88
30	224	815.67	835.74	980.54	838.74
31	225	966.9	991.98	1005.05	999.54
32	226	1048.92	1105.15	1136.98	1136.08
33	227	1064.42	1160.14	1200.13	1224.63
34	228	1199.49	1240.75	1266.79	1285.37
35	229	1257.8	1295.83	1323.75	1339.88
36	230	1236.76	1319.21	1352.81	1374.24
37	231	1134.66	1230.83	1304.79	1377.93
38	232	1138.42	1179.85	1227.33	1294.78
39	233	1086.47	1118.52	1161.68	1212.75
40	234	1004.99	1036.9	1083.69	1135.59
41	235	873.23	937.16	981.06	1041.67
42	236	817.95	837.09	877.71	937.47
43	237	721.83	730.22	759.75	819.73
44	238	601.79	611.04	644.78	695.7
45	239	-555.26	-562.88	-559.4	565.47
46	240	-633.69	-637.41	-632.26	-615.68
47	241	-736.01	-738.98	-735.35	-719.15
48	242	-861.16	-866.03	-868.04	-859.74
49	6	-1013.85	-1024.68	-1041.07	-1049.41
50	82	-812.3	-807.58	-793.82	-783.22
51	83	-679.34	-679.98	-665.65	-637.04
52	84	-566.82	-575.19	-562.99	-537.22
53	85	-478.22	504.7	528.41	555.49
54	86	645.17	656.9	673.13	691.62
55	87	785.55	798.1	807.39	809.21
56	88	904.7	920.26	926.21	914.93
57	89	959.54	1016.48	1015.66	997.18
58	90	1095.88	1101.4	1093.05	1064.3
59	91	1165.2	1163.59	1148.09	1112.75
60	92	1205.07	1201.41	1181.97	1134.6
61	93	1187.1	1215.29	1188.71	1147.05
62	94	1237.55	1221.75	1195.52	1169.8
63	95	1229.64	1207	1198.14	1179.6
64	96	1188.47	1186.11	1185.48	1173.01
65	97	1111.34	1152.3	1155.83	1154.27
66	98	1090.1	1098.54	1106.38	1116.53
67	99	1014.12	1023.18	1036.98	1063.41
68	100	915.93	929.67	950.2	992.61
69	101	759.71	818.68	848.16	898.99
70	102	657.97	678.65	714.68	772.39
71	103	485.75	505.43	543.83	568.25
72	104	0	0	0	0

Tablo 8. Kesme kuvvetleri ikinci I-kirişinde (Z) eksenî yönünde.

Açıklık (m)	Eleman	Kesme Kuvveti (KN)-0°	Kesme Kuvveti (KN)-21°	Kesme Kuvveti (KN)-37.6°	Kesme Kuvveti (KN)-49°
1	4	-386.19	-420.22	-443.38	-469.65
2	59	-325.03	-355.71	-393.17	-420.63
3	60	-285.73	-309.92	-332.75	-373.38
4	61	-224.96	-273.77	-286.36	-309.71
5	62	-279.38	-265.98	-268.96	-275.93
6	63	-234.84	-238.16	-240.97	-241.31
7	64	-209.1	-214.4	-216.22	-214.97
8	65	-172.97	-191.86	-194.14	-194.29
9	66	-214.72	-197.23	-195.26	-192.99
10	67	-173.25	180.23	188.21	195.74
11	68	194.56	203.47	209.12	213.97
12	69	230.29	227.22	229.85	234.64
13	70	163.95	221.7	233.19	243.35
14	71	225.28	244.39	254.22	262.08
15	72	258.73	268.79	276.03	282.03
16	73	296.4	293.84	298.28	305.57
17	74	238.59	294.62	307.4	320.9
18	75	301.83	320.41	332.52	346.03
19	76	337.71	349.3	360.28	374.92
20	77	379.48	380.68	391.19	410.9
21	78	355.88	409.78	429.05	456.77
22	79	434.58	451.08	473.34	506.31
23	80	485.37	500.2	525.32	565.41
24	81	544.39	554.67	585.19	636.22
25	5	-504	-512.02	-542.7	-578.02
26	220	-426.98	-453.83	-280.6	-507.49
27	221	-383.14	-404.1	-223.25	-443.21
28	222	-316.7	-362.25	-177.06	-391.91
29	223	-331.11	-330.01	-203.14	-350.82
30	224	-277.41	-294.45	-255.78	-315.87
31	225	-236.51	-248.51	-231.03	-282.76
32	226	-188.96	-223.46	-199.66	-238.02
33	227	-223.72	-216.75	-220.08	-225.16
34	228	-181.75	-192.74	-197.89	-203.25
35	229	176.72	178.35	178.37	-181.89
36	230	199.88	201	198.23	195.94
37	231	139.6	181.54	195.05	204.65
38	232	168.26	188.63	199.96	207.26
39	233	186.63	198.07	206.3	211.21
40	234	206.07	209.8	215.66	218.59
41	235	179.15	210.45	217.83	224.61
42	236	213.08	224.49	230.8	235.39
43	237	233.36	240.62	245.91	249.7
44	238	257.8	259.15	263.53	270.08
45	239	262.51	284.28	291.5	299.98
46	240	307.63	309.21	317.93	329.17
47	241	338.5	339.36	349.79	365.76
48	242	374.05	372.53	387.02	410.02
49	6	-375.96	-379.37	-395.98	-410.76
50	82	-335.86	-345.55	-356.27	-363.85
51	83	-310.1	-315.41	-321.06	-322.14
52	84	-271.15	-287.88	-289.93	-287.82
53	85	-256.7	-256.2	-257.43	-254.63
54	86	-228	-233.02	-233.68	-229.07
55	87	-209.46	-211.37	-212.32	-211.76
56	88	-179.87	-194.24	-195.67	-196.7
57	89	-186.74	-179.72	-181.61	-183.58
58	90	-161.41	-162.7	-166.38	-169.37
59	91	-144.11	-147.22	-150.63	-155.21
60	92	-115.89	-131.71	-135.52	-141.45
61	93	-125.79	-120.34	-123.83	135.55
62	94	116.38	125.73	134.34	145.56
63	95	133.85	139.41	145.85	155.03
64	96	152.68	151.94	156.64	163.53
65	97	128.8	155.27	161.59	165.58
66	98	159.05	166.57	170.14	169.4
67	99	176.05	178.25	178.2	171.3
68	100	195.46	190.02	184.75	180.77
69	101	178.39	200.1	202.15	208
70	102	217.26	221.9	228.55	247.61
71	103	243.73	250.23	266.05	277.71
72	104	274.51	286.38	297.19	306.13

Tablo 9. Eğilme gerilmeleri ikinci I-kirişinde (+Z) eksenı yönünde.

Açıklık (m)	Eleman	Gerilme (KN/m ²)-0°	Gerilme (KN/m ²)- 21°	Gerilme (KN/m ²)- 37.6°	Gerilme (KN/m ²)-49°
1	4	0	0	0	0
2	59	-630	-713	-795	-844
3	60	-1170	-1310	-1440	-1590
4	61	-1590	-1760	-1940	-2130
5	62	-1730	-2100	-2290	-2520
6	63	-2200	-2400	-2580	-2800
7	64	-2430	-2620	-2790	-3000
8	65	-2580	-2760	-2940	-3130
9	66	-2530	-2850	-3020	-3210
10	67	-2790	-2950	-3100	-3280
11	68	-2850	-2990	-3130	-3300
12	69	-2830	-2960	-3100	-3270
13	70	-2640	-2870	-3010	-3180
14	71	-2710	-2800	-2930	-3090
15	72	-2610	-2700	-2820	-2980
16	73	-2460	-2550	-2660	-2820
17	74	-2130	-2330	-2440	-2610
18	75	-2060	-2120	-2220	-2370
19	76	-1810	-1860	-1940	-2080
20	77	-1490	-1530	-1620	-1740
21	78	-1010	-1170	-1240	-1350
22	79	1070	1120	-1112	1130
23	80	1290	1360	-912	1440
24	81	1550	1660	1750	1840
25	5	2080	2120	2190	2370
26	220	1750	1780	-1150	1860
27	221	1480	1510	-1180	1540
28	222	1260	1290	-1220	1300
29	223	1090	-1140	-1324	-1140
30	224	-1430	-1460	-1480	-1470
31	225	-1700	-1740	-1760	-1750
32	226	-1840	-1940	-2000	-1990
33	227	-1870	-2040	-2110	-2150
34	228	-2110	-2180	-2220	-2260
35	229	-2210	-2270	-2320	-2350
36	230	-2170	-2310	-2370	-2410
37	231	-1990	-2160	-2290	-2420
38	232	-2000	-2070	-2150	-2270
39	233	-1910	-1960	-2040	-2130
40	234	-1760	-1820	-1900	-1990
41	235	-1530	-1650	-1720	-1830
42	236	-1440	-1470	-1540	-1650
43	237	-1270	-1280	-1330	-1440
44	238	-1050	-1070	-1130	-1220
45	239	969	982	976	-987
46	240	1100	1110	1100	1070
47	241	1280	1280	1280	1250
48	242	1490	1500	1500	1490
49	6	1750	1770	1800	1820
50	82	1410	1400	1370	1360
51	83	1180	1180	1150	1110
52	84	986	1000	979	935
53	85	834	-881	-922	-969
54	86	-1130	-1150	-1180	-1210
55	87	-1380	-1400	-1420	-1420
56	88	-1590	-1620	-1630	-1610
57	89	-1690	-1790	-1780	-1750
58	90	-1920	-1930	-1920	-1870
59	91	-2040	-2040	-2010	-1950
60	92	-2110	-2110	-2070	-1990
61	93	-2080	-2130	-2080	-2010
62	94	-2170	-2140	-2100	-2050
63	95	-2160	-2120	-2100	-2070
64	96	-2090	-2080	-2080	-2060
65	97	-1950	-2020	-2030	-2030
66	98	-1910	-1930	-1940	-1960
67	99	-1780	-1800	-1820	-1870
68	100	-1610	-1630	-1670	-1740
69	101	-1330	-1430	-1490	-1580
70	102	-1150	-1190	-1250	-1350
71	103	-847	-882	-949	-991
72	104	0	0	0	0

Tablo 10. Eğilme gerilmeleri ikinci I-kirişinde (-Z) eksen yönünde.

Açıklık (m)	Eleman	Gerilme (KN/m ²)-0°	Gerilme (KN/m ²)-21°	Gerilme (KN/m ²)- 37.6°	Gerilme (KN/m ²)-49°
1	4	0	0	0	0
2	59	2130	2410	2690	2860
3	60	3960	4400	4870	5340
4	61	5310	5910	6500	7150
5	62	5790	7010	7630	8390
6	63	7300	7960	8560	9300
7	64	8040	8650	9220	9910
8	65	8480	9090	9670	10300
9	66	8320	9360	9910	10500
10	67	9130	9660	10200	10700
11	68	9320	9760	10200	10800
12	69	9240	9670	10100	10700
13	70	8600	9370	9810	10400
14	71	8840	9150	9570	10100
15	72	8550	8850	9240	9750
16	73	8080	8370	8750	9250
17	74	7010	7690	8060	8590
18	75	6810	7030	7360	7850
19	76	6030	6180	6470	6930
20	77	4990	5140	5410	5820
21	78	3400	3940	4180	4550
22	79	-3610	-3800	3850	-3820
23	80	-4370	-4620	4780	-4890
24	81	-5280	-5640	-5950	-6270
25	5	-7090	-7230	-7450	-8060
26	220	-5940	-6060	1567	-6330
27	221	-5020	-5130	2170	-5240
28	222	-4260	-4380	2380	-4390
29	223	-3660	3830	3870	3830
30	224	4780	4900	4950	4920
31	225	5650	5790	5870	5840
32	226	6100	6430	6620	6610
33	227	6170	6720	6950	7090
34	228	6920	7150	7300	7410
35	229	7220	7440	7600	7700
36	230	7080	7560	7750	7870
37	231	6490	7040	7470	7880
38	232	6520	6760	7030	7420
39	233	6240	6420	6670	6970
40	234	5800	5980	6250	6550
41	235	5060	5430	5680	6030
42	236	4760	4870	5110	5450
43	237	4220	4270	4440	4790
44	238	3530	3580	3780	4080
45	239	-3260	-3310	-3290	3320
46	240	-3730	-3750	-3720	-3620
47	241	-4330	-4350	-4330	-4230
48	242	-5070	-5100	-5110	-5060
49	6	-5970	-6030	-6130	-6180
50	82	-4780	-4750	-4670	-4610
51	83	-4000	-4000	-3920	-3750
52	84	-3330	-3380	-3310	-3160
53	85	-2810	2960	3100	3260
54	86	3780	3850	3940	4050
55	87	4590	4660	4720	4730
56	88	5260	5350	5390	5320
57	89	5560	5890	5880	5780
58	90	6320	6350	6300	6140
59	91	6690	6680	6590	6390
60	92	6900	6880	6770	6500
61	93	6790	6950	6800	6560
62	94	7080	6990	6840	6700
63	95	7050	6920	6870	6760
64	96	6830	6820	6810	6740
65	97	6410	6640	6660	6650
66	98	6310	6350	6400	6460
67	99	5890	5940	6020	6170
68	100	5340	5420	5540	5780
69	101	4440	4780	4960	5250
70	102	3860	3980	4190	4530
71	103	2850	2970	3190	3340
72	104	0	0	0	0

Tablo 11. Burulma momentleri ikinci I-kirişinde.

Açıklık (m)	Eleman	Burulma (KN.m)-0°	Burulma (KN.m)-21°	Burulma (KN.m)-37.6°	Burulma (KN.m)-49°
1	4	31.82	-17.33	-15.68	-14.35
2	59	50.63	33.51	21.51	-17.93
3	60	59.23	47.11	33.67	-19.88
4	61	62.01	53.24	40.6	32.08
5	62	61.95	53.61	47.35	43.9
6	63	60.02	53.21	50.77	44.06
7	64	57.61	51.83	50.3	48.58
8	65	55.71	49.17	49.56	53.59
9	66	44.75	42.39	45.7	53.45
10	67	42.49	38.26	44.54	52.33
11	68	39.85	36.13	41.61	53.14
12	69	38.32	34.28	40.95	52.98
13	70	29	31.46	41.06	53.68
14	71	28.21	31.05	41.22	52.45
15	72	27.42	31.29	40.02	53.25
16	73	27.5	30.41	40.53	53.89
17	74	26.62	31.58	43.08	56.55
18	75	27.55	33.84	43.84	53.52
19	76	28.28	35.39	42.5	54.17
20	77	29.3	33.68	43.66	55.44
21	78	-32.09	36.32	48.17	60.11
22	79	-31.87	39.34	48.6	57.31
23	80	32.69	40.36	47.19	56.25
24	81	33.71	38.12	46.25	55.1
25	5	36.31	39.19	47.48	55.99
26	220	36.87	40.54	44.5	49.59
27	221	36.89	39.58	41.08	45.17
28	222	37.2	36.4	38.15	42.9
29	223	-34.25	32.73	34.6	37.55
30	224	33.78	31.89	-33.64	-35.55
31	225	32.99	-32.15	-34.56	-38.05
32	226	32.72	-32.11	-35.82	-40.21
33	227	-29.69	-31.62	-36.59	-42.4
34	228	-28.82	-31.17	-37.12	-44.61
35	229	-28.12	-31.26	-39.21	-47.37
36	230	-27.41	-30.78	-40.64	-49.85
37	231	-29.38	-32.7	-42.01	-51.01
38	232	-29.8	-35.59	-42.76	-51.23
39	233	-30.67	-37.17	-44.9	-52.05
40	234	-31.32	-37.02	-45.86	-53.96
41	235	-35.67	-38.63	-46.37	-53.71
42	236	-36.08	-40.56	-46.46	-53.03
43	237	-36.73	-41.3	-46.69	-52.57
44	238	-36.87	-40.92	-46.06	-51.88
45	239	-39.26	-39.56	-43.42	-48.21
46	240	-38.98	-39.38	-41.77	-44.45
47	241	-38.74	39.21	41.41	43.2
48	242	-38.02	-37.39	42.04	45.08
49	6	-38.99	-33.95	38.6	41.86
50	82	-37.51	33.58	36.16	38.06
51	83	-36.73	-33.12	-32.03	-36.1
52	84	-35.53	-33.29	-32.81	-35.36
53	85	-32.41	-31.94	-33.1	-37.85
54	86	-30.95	-30.27	-33.94	-39.4
55	87	-29.65	-29.71	-34.62	-43.09
56	88	-28.72	-29.33	-36.05	-47.65
57	89	-25.4	-28.87	-39.86	-53.31
58	90	-25.24	-30.38	-42.21	-57.35
59	91	-25.8	-32.48	-46.71	-61.96
60	92	-26.4	-34.9	-49.73	-66.14
61	93	-34.24	-39.63	-54.54	-71.46
62	94	-35.25	-43.9	-57.36	-74.34
63	95	-37.39	-47.5	-61.82	-78.34
64	96	-38.92	-49.71	-64.98	-81.97
65	97	-48.47	-54.67	-70.6	-87.2
66	98	-49.54	-58.66	-71.76	-83.02
67	99	-51.32	-60.98	-70.74	-79.85
68	100	-52.55	-59.49	-69	-73.21
69	101	-52.51	-56.91	-60.83	-53.16
70	102	-49.85	-52.57	-47.97	-30.48
71	103	-42.46	-40.28	-28.02	-32.46
72	104	-26.46	-17.6	-20.4	-22.01

Tablo 12. Yerdeğiştirme ikinci I-kirişinde (Z) eksenı yönünde

Açıklık (m)	Node	Yerdeğiştirme (m)-0°	Yerdeğiştirme (m)-21°	Yerdeğiştirme (m)-37.6°	Yerdeğiştirme (m)-49°
0	5	-0.000003	-0.000003	-0.000003	-0.000003
1	79	-0.002282	-0.00249	-0.002729	-0.003043
2	80	-0.004519	-0.004922	-0.005396	-0.00602
3	81	-0.006672	-0.007255	-0.007947	-0.008875
4	82	-0.0087	-0.009449	-0.01034	-0.011546
5	83	-0.010584	-0.01147	-0.01254	-0.013996
6	84	-0.012285	-0.013289	-0.014512	-0.016201
7	85	-0.013767	-0.014879	-0.016242	-0.018141
8	86	-0.014984	-0.016196	-0.017686	-0.019771
9	87	-0.016025	-0.017235	-0.018831	-0.021101
10	88	-0.016747	-0.017975	-0.01967	-0.022094
11	89	-0.017199	-0.018421	-0.020202	-0.022781
12	90	-0.017372	-0.018613	-0.020472	-0.023178
13	91	-0.017302	-0.018534	-0.020458	-0.02328
14	92	-0.016977	-0.018182	-0.020168	-0.023102
15	93	-0.016401	-0.017599	-0.01964	-0.02265
16	94	-0.015566	-0.016781	-0.018875	-0.021967
17	95	-0.014612	-0.015791	-0.017937	-0.021065
18	96	-0.013509	-0.014625	-0.016822	-0.019981
19	97	-0.012241	-0.01333	-0.015544	-0.018708
20	98	-0.010934	-0.011987	-0.014194	-0.017342
21	99	-0.009594	-0.010609	-0.012801	-0.015927
22	100	-0.008313	-0.009271	-0.01145	-0.014533
23	101	-0.007174	-0.008076	-0.010232	-0.013259
24	6	-0.006457	-0.007259	-0.00935	-0.012283
25	240	-0.007048	-0.007779	-0.009742	-0.012495
26	241	-0.007985	-0.008719	-0.010689	-0.013381
27	242	-0.009057	-0.009821	-0.01176	-0.014463
28	243	-0.010195	-0.010964	-0.012917	-0.0156
29	244	-0.011328	-0.01213	-0.01406	-0.016758
30	245	-0.012368	-0.013223	-0.015125	-0.017853
31	246	-0.01325	-0.014177	-0.016105	-0.018855
32	247	-0.013964	-0.014939	-0.016897	-0.019676
33	248	-0.014549	-0.015512	-0.0175	-0.020296
34	249	-0.014937	-0.015923	-0.017918	-0.020738
35	250	-0.015081	-0.01611	-0.018114	-0.020979
36	251	-0.015004	-0.01606	-0.018109	-0.021016
37	252	-0.01476	-0.015813	-0.01789	-0.020816
38	253	-0.014331	-0.015383	-0.017481	-0.020438
39	254	-0.013731	-0.014777	-0.016895	-0.019887
40	255	-0.012972	-0.014016	-0.016151	-0.01918
41	256	-0.012112	-0.013127	-0.015272	-0.018322
42	257	-0.011155	-0.012134	-0.014285	-0.017354
43	258	-0.010124	-0.011051	-0.0132	-0.016285
44	259	-0.009052	-0.009932	-0.012074	-0.01515
45	260	-0.007995	-0.008844	-0.010939	-0.013986
46	261	-0.007002	-0.007812	-0.009842	-0.012829
47	262	-0.00611	-0.006896	-0.008886	-0.01173
48	7	-0.005556	-0.006223	-0.008129	-0.010819
49	102	-0.006018	-0.006581	-0.008168	-0.010482
50	103	-0.006781	-0.007299	-0.008735	-0.010727
51	104	-0.007671	-0.008138	-0.009445	-0.011223
52	105	-0.008616	-0.009011	-0.010193	-0.011767
53	106	-0.009613	-0.009906	-0.010918	-0.012296
54	107	-0.010597	-0.010805	-0.011612	-0.01276
55	108	-0.011483	-0.011646	-0.012269	-0.013134
56	109	-0.012247	-0.012368	-0.0128	-0.013473
57	110	-0.012889	-0.01293	-0.013238	-0.013698
58	111	-0.013358	-0.013338	-0.013516	-0.013781
59	112	-0.013613	-0.013541	-0.013629	-0.013711
60	113	-0.013661	-0.013562	-0.013549	-0.013474
61	114	-0.013511	-0.013379	-0.013292	-0.01308
62	115	-0.013139	-0.012988	-0.012842	-0.012531
63	116	-0.012559	-0.012396	-0.012186	-0.011804
64	117	-0.011751	-0.011594	-0.011354	-0.010928
65	118	-0.010787	-0.010595	-0.010327	-0.009882
66	119	-0.009607	-0.009415	-0.009149	-0.008716
67	120	-0.008269	-0.008078	-0.007826	-0.007546
68	121	-0.006786	-0.006613	-0.00639	-0.006237
69	122	-0.005195	-0.005052	-0.004895	-0.004805
70	123	-0.003514	-0.003411	-0.003325	-0.003268
71	124	-0.001773	-0.001718	-0.001683	-0.001655
72	8	-0.000002	-0.000002	-0.000002	-0.000002

Tablo 13. Eğilme momentleri üçüncü I-kirişinde (Y) eksen yönünde.

Açıklık (m)	Eleman	Moment-Y (KN.m)-0°	Moment-Y (KN.m)-21°	Moment-Y (KN.m)-37.6°	Moment-Y (KN.m)-49°
1	7	0	0	0	0
2	105	133.35	188.1	236.32	260.07
3	106	263.44	338.62	426.37	502.25
4	107	390.41	473.03	580.11	700.77
5	108	513.71	590.24	706.42	855.18
6	109	586.64	669.92	785.04	935.02
7	110	660.28	737.9	845.13	984.2
8	111	731.44	797.23	889.8	1011.24
9	112	797.86	836.35	909.23	1004.96
10	113	815.76	846.43	904.74	982.11
11	114	825.61	845.71	889.36	943.93
12	115	835.61	837.49	862.35	895.54
13	116	841.7	825.14	817.47	821.43
14	117	803.47	783.31	771.41	750.4
15	118	756.1	735.97	714.32	686.47
16	119	706.66	678.8	650.03	611.95
17	120	647.49	609.27	571.37	523.07
18	121	551.42	512.99	473.73	422.87
19	122	445.08	407.54	-384.01	-422.26
20	123	-373.85	-385.54	-422.09	-474.6
21	124	-409.92	-421.89	-468.51	-528.62
22	125	-457.65	-479.56	-528.26	-582.36
23	126	-530.82	-546.77	-590.3	-636.41
24	127	-622.29	-634.75	-678.21	-737.19
25	8	-803.94	-786.32	-807.69	-852.07
26	243	-713.98	-701.42	-722.59	-759.29
27	244	-629.63	-622.01	-644.27	-677.06
28	245	-555.05	-554.24	-579.16	-611.93
29	246	-503.64	-509.5	-538.66	-572.68
30	247	-465.54	-474.67	-503.22	-536.42
31	248	-432.64	-443.79	-470.55	-501.93
32	249	493.75	505.16	530.26	555.22
33	250	582	587.62	599.17	617.05
34	251	630.12	632	645.77	661.92
35	252	667.37	671.33	682.96	701.41
36	253	703.19	703.25	725.83	746.1
37	254	731.31	742.52	750.4	755.48
38	255	741.79	744.53	753.15	758.43
39	256	734.36	742.1	752.51	760.27
40	257	726.83	737.29	751.53	760.63
41	258	715.82	730.68	739.81	710.49
42	259	695.19	677.5	653.69	620.3
43	260	597.01	575.16	547.62	531.69
44	261	-488.37	-491	490.24	-484.43
45	262	-532.41	-535.8	538.63	-534.28
46	263	-601.53	-605.35	250.18	-602.9
47	264	-689.33	-691.88	230.55	-685.01
48	265	-796.29	-797.27	-799.79	-794.37
49	9	-924.63	-925.46	-950.88	-969.46
50	128	-710.91	-725.33	-734.62	-735.89
51	129	-593.18	-599.4	-606.65	-608.35
52	130	-500.96	-507.16	-513.03	-513.72
53	131	-428.99	-436.6	-444.35	-449.17
54	132	512.34	531.45	562.8	604.55
55	133	653.14	673.56	705.57	747.1
56	134	780.01	798.02	828.42	866.44
57	135	846.19	902.04	926.38	958.47
58	136	978.16	992.96	1014.14	1041.53
59	137	1051.27	1063.29	1081.63	1103.79
60	138	1105.49	1114.61	1129.37	1146.49
61	139	1101.38	1143.36	1152.92	1164.07
62	140	1160.22	1163.47	1169.31	1176.08
63	141	1161.38	1164.31	1167.11	1170.13
64	142	1143.83	1143.83	1144.42	1143.55
65	143	1066.9	1099.23	1095.41	1092.56
66	144	1047.56	1041.74	1036.34	1032.12
67	145	967.48	960.02	953	956.61
68	146	861.63	851.5	843.14	875.29
69	147	714.72	735.86	730.59	793.26
70	148	613.59	605.56	620.62	686.41
71	149	449.18	441.65	475.06	503.48
72	150	0	0	0	0

Tablo 14. Kesme kuvvetleri üçüncü I-kirişinde (Z) eksen yönünde

Açıklık (m)	Eleman	Kesme Kuvveti (KN)-0°	Kesme Kuvveti (KN)-21°	Kesme Kuvveti (KN)-37.6°	Kesme Kuvveti (KN)-49°
1	7	-132.08	-170.81	-194.3	-215.25
2	105	-128.82	-151.86	-200.07	-223.2
3	106	-125.53	-135.7	-163.86	-221.61
4	107	-122.09	-121.2	-135.23	-166.01
5	108	-90.95	-92.14	-93.27	-104.56
6	109	-89.09	-86.15	-83.62	-82.3
7	110	-86.61	-79.5	-74.81	-69.39
8	111	-81.16	-72.2	-66.11	-59.33
9	112	-55.82	-51.12	-48.59	-52.12
10	113	-52.87	-46.31	47.07	60.52
11	114	-49.57	45.48	56.18	73.58
12	115	-44.22	51.64	64.59	84.36
13	116	81.26	80.6	92.04	107.71
14	117	86.52	88.58	99.88	115.97
15	118	90.29	95.37	107.1	122.66
16	119	93.95	101.44	112.92	127.64
17	120	135.22	128.94	134.73	143.49
18	121	140.34	136.65	139.88	145.82
19	122	144.58	143.57	145.18	146.04
20	123	149.26	150.43	151.26	150.47
21	124	185.18	173.31	168.44	162.48
22	125	192.43	180.4	174.93	168.46
23	126	197.27	185.56	180.93	176.92
24	127	202.08	190.84	188.13	187.85
25	8	-185.29	-188.11	-203.65	-225.41
26	243	-180.37	-180.95	-191.36	-208.25
27	244	-175.59	-172.72	-180.37	-189.85
28	245	-169.01	-164.42	-169.09	-175.04
29	246	-135.56	-138.54	-143.66	-150.4
30	247	-131.47	-131.26	-133.83	-136.7
31	248	-127.44	-123.32	-123.94	-123
32	249	-120.75	-114.25	-111.85	-110.84
33	250	-86.79	-88.43	-90.69	-91.89
34	251	-83.38	-83.79	-84.8	-86.23
35	252	-80.98	-79.07	-80.89	-84.96
36	253	-75.71	-74.37	-76.64	-78.28
37	254	67.01	-64.72	-67.93	-70.41
38	255	71.05	66.08	65.51	-66.18
39	256	73.23	70.38	70.65	71.59
40	257	75.05	74.4	75.05	76.31
41	258	100.44	92.3	122.06	139.26
42	259	137.56	152.01	153.26	154.19
43	260	171.54	170.82	172.49	171.78
44	261	193.84	191.22	191.46	190.01
45	262	204.52	218.83	216.2	226.45
46	263	247.41	254.67	257.73	256.55
47	264	289.25	286.06	282.95	294.08
48	265	320.11	313.74	319.66	337.01
49	9	-323.05	-336.95	-363.08	-392.72
50	128	-295.72	-308.84	-326.7	-350.28
51	129	-273.61	-282.1	-295.77	-311.6
52	130	-239.72	-258.29	-267.94	-279.05
53	131	-230.65	-231.44	-237.77	-244.66
54	132	-210.27	-212.72	-214.66	-218.47
55	133	-193.47	-194.36	-195.36	-195.37
56	134	-165.45	-177.31	-177.16	-175.93
57	135	-165.8	-161.81	-161.44	-159.44
58	136	-147.17	-146.38	-143.81	-141.64
59	137	-131.46	-130.59	-128.6	-127.24
60	138	-104.2	-115.48	-113.67	-116.47
61	139	-110.61	-108.03	-111.48	-113.49
62	140	-92.7	-94.69	-97.08	-100.7
63	141	106.38	106.5	108.61	111.64
64	142	126.07	119.93	121.06	123.45
65	143	103.16	122.44	125.96	129.27
66	144	133.72	136.58	138.49	139.83
67	145	151.05	151.63	152.18	151
68	146	173.38	168.27	166.84	163.88
69	147	159.33	178.96	177.54	178.25
70	148	200.59	199.24	196.93	217.14
71	149	225.04	221.78	231.52	246.14
72	150	252.55	247.05	259.67	274.56

Tablo 15. Eğilme gerilmeleri üçüncü I-kirişinde (+Z) eksen yönünde.

Açıklık (m)	Eleman	Gerilme (KN/m ²)-0°	Gerilme (KN/m ²)- 21°	Gerilme (KN/m ²)- 37.6°	Gerilme (KN/m ²)-49°
1	7	0	0	0	0
2	105	-232	-327	-411	-452
3	106	-460	-591	-744	-876
4	107	-683	-827	-1010	-1230
5	108	-900	-1030	-1240	-1500
6	109	-1030	-1180	-1380	-1640
7	110	-1160	-1300	-1480	-1730
8	111	-1280	-1400	-1560	-1780
9	112	-1400	-1470	-1600	-1760
10	113	-1430	-1490	-1590	-1720
11	114	-1450	-1480	-1560	-1660
12	115	-1470	-1470	-1510	-1570
13	116	-1480	-1450	-1430	-1440
14	117	-1410	-1370	-1350	-1320
15	118	-1330	-1290	-1250	-1200
16	119	-1240	-1190	-1140	-1070
17	120	-1140	-1070	-1000	-919
18	121	-968	-900	-832	-742
19	122	-780	-714	673	740
20	123	654	674	738	830
21	124	715	736	817	922
22	125	796	834	919	1010
23	126	921	949	1020	1100
24	127	1080	1100	1170	1280
25	8	1390	1360	1400	1470
26	243	1240	1210	1250	1310
27	244	1090	1080	1120	1170
28	245	966	964	1010	1060
29	246	879	889	940	999
30	247	814	830	880	938
31	248	758	778	825	880
32	249	-867	-887	-931	-975
33	250	-1020	-1030	-1050	-1080
34	251	-1110	-1110	-1130	-1160
35	252	-1170	-1180	-1200	-1230
36	253	-1230	-1230	-1270	-1310
37	254	-1280	-1300	-1320	-1320
38	255	-1300	-1310	-1320	-1330
39	256	-1290	-1300	-1320	-1330
40	257	-1280	-1290	-1320	-1340
41	258	-1260	-1280	-1300	-1250
42	259	-1220	-1190	-1150	-1090
43	260	-1050	-1010	-960	-932
44	261	854	859	-858	847
45	262	929	935	-755	932
46	263	1050	1050	-653	1050
47	264	1200	1200	-438	1190
48	265	1380	1380	1380	1380
49	9	1600	1600	1640	1680
50	128	1230	1260	1270	1270
51	129	1030	1040	1050	1060
52	130	871	882	892	894
53	131	748	762	775	784
54	132	-896	-930	-985	-1060
55	133	-1150	-1180	-1240	-1310
56	134	-1370	-1400	-1450	-1520
57	135	-1490	-1580	-1630	-1680
58	136	-1720	-1740	-1780	-1830
59	137	-1840	-1870	-1900	-1940
60	138	-1940	-1960	-1980	-2010
61	139	-1930	-2000	-2020	-2040
62	140	-2030	-2040	-2050	-2060
63	141	-2040	-2040	-2050	-2050
64	142	-2010	-2010	-2010	-2010
65	143	-1870	-1930	-1920	-1920
66	144	-1840	-1830	-1820	-1810
67	145	-1700	-1690	-1670	-1680
68	146	-1510	-1490	-1480	-1540
69	147	-1250	-1290	-1280	-1390
70	148	-1070	-1060	-1090	-1200
71	149	-783	-770	-829	-878
72	150	0	0	0	0

Tablo 16. Eğilme gerilmeleri üçüncü I-kirişinde (-Z) eksenî yönünde.

Açıklık (m)	Eleman	Gerilme (KN/m ²)-0°	Gerilme (KN/m ²)-21°	Gerilme (KN/m ²)- 37,6°	Gerilme (KN/m ²)-49°
1	7	0	0	0	0
2	105	785	1110	1390	1530
3	106	1550	1990	2500	2950
4	107	2290	2770	3400	4110
5	108	3000	3450	4130	5000
6	109	3420	3900	4570	5450
7	110	3830	4280	4910	5710
8	111	4230	4610	5150	5850
9	112	4600	4820	5240	5790
10	113	4690	4860	5200	5640
11	114	4730	4850	5100	5410
12	115	4780	4790	4940	5130
13	116	4820	4720	4680	4700
14	117	4600	4490	4420	4300
15	118	4340	4230	4100	3940
16	119	4070	3910	3750	3530
17	120	3750	3530	3310	3030
18	121	3210	2980	2760	2460
19	122	2600	2380	-2240	-2470
20	123	-2190	-2260	-2470	-2780
21	124	-2410	-2480	-2750	-3100
22	125	-2690	-2820	-3110	-3430
23	126	-3120	-3220	-3470	-3750
24	127	-3660	-3740	-3990	-4340
25	8	-4730	-4630	-4760	-5020
26	243	-4200	-4130	-4250	-4470
27	244	-3710	-3660	-3790	-3990
28	245	-3260	-3260	-3410	-3600
29	246	-2960	-2990	-3160	-3360
30	247	-2730	-2780	-2950	-3140
31	248	-2530	-2590	-2750	-2930
32	249	2870	2940	3090	3230
33	250	3370	3400	3470	3570
34	251	3630	3640	3720	3820
35	252	3830	3860	3920	4030
36	253	4030	4030	4160	4270
37	254	4180	4250	4290	4320
38	255	4250	4260	4310	4340
39	256	4220	4260	4320	4370
40	257	4190	4250	4330	4390
41	258	4150	4230	4290	4120
42	259	4040	3940	3800	3610
43	260	3490	3360	3200	3110
44	261	-2860	-2880	2870	-2840
45	262	-3130	-3150	2670	-3140
46	263	-3540	-3560	2176	-3550
47	264	-4060	-4070	1567	-4030
48	265	-4690	-4690	-4710	-4680
49	9	-5440	-5450	-5600	-5710
50	128	-4190	-4270	-4330	-4330
51	129	-3490	-3530	-3570	-3580
52	130	-2950	-2980	-3020	-3020
53	131	-2520	-2560	-2610	-2640
54	132	3000	3110	3300	3540
55	133	3820	3930	4120	4360
56	134	4540	4640	4820	5040
57	135	4900	5230	5370	5550
58	136	5640	5730	5850	6010
59	137	6040	6110	6210	6340
60	138	6330	6380	6470	6570
61	139	6300	6540	6600	6660
62	140	6640	6660	6690	6730
63	141	6660	6680	6690	6710
64	142	6570	6570	6580	6570
65	143	6150	6340	6310	6300
66	144	6060	6030	5990	5970
67	145	5620	5570	5530	5550
68	146	5020	4960	4910	5100
69	147	4180	4300	4270	4640
70	148	3600	3550	3640	4020
71	149	2640	2590	2790	2960
72	150	0	0	0	0

Tablo 17. Burulma momentleri üçüncü I-kirişinde.

Açıklık (m)	Eleman	Burulma (KN.m)-0°	Burulma (KN.m)-21°	Burulma (KN.m)-37.6°	Burulma (KN.m)-49°
1	7	36.2	23.13	24.06	22.72
2	105	55.98	49.82	30.63	31.01
3	106	64.8	63.34	52.35	25.57
4	107	68.44	66.65	64.8	50.08
5	108	64.65	65.64	70.07	69.62
6	109	63.35	65.37	68.75	73.27
7	110	60.8	60.75	67.27	72.84
8	111	59.94	55.25	62.95	74.18
9	112	44.16	45.96	53.42	64.8
10	113	42.85	42.96	48.75	58.9
11	114	40.08	38.69	44.33	53.75
12	115	39.15	34.36	40.82	51.15
13	116	26.9	28.98	36.08	46.12
14	117	25.91	28.03	34.07	44.04
15	118	24.36	26.38	33.81	41.74
16	119	23.29	25.19	32.98	41.98
17	120	-31.09	-31.43	-33.55	40.38
18	121	-31.19	-32.69	-34.14	40.75
19	122	-33.27	-34.38	-35.95	42.19
20	123	-34.64	-35.95	36.1	45.98
21	124	-41.14	-39.04	39.68	50
22	125	-41.26	-38.61	41.8	52.76
23	126	-41.61	-37.55	45.83	54.11
24	127	-43.48	37.18	46.05	54.73
25	8	44.91	46.77	54.33	62.26
26	243	43.53	48.85	51.62	56.45
27	244	43.65	47.05	50.97	53.45
28	245	43.58	42.86	48.55	53.41
29	246	39.5	40.22	44.64	48.94
30	247	38.38	39.64	41.53	44.69
31	248	36.94	36.89	38.96	40.76
32	249	36.37	33.07	35.95	38.74
33	250	27.7	-30.37	-35.18	-40.04
34	251	-27.28	-30.33	-35.78	-41.29
35	252	-27.52	-30.44	-36.61	-42.1
36	253	-27.75	-31.06	-37.21	-42.88
37	254	-32.88	-34.56	-39.11	-44.84
38	255	-32.73	-35.65	-39.98	-44.99
39	256	-34.13	-36.79	-42	-45.35
40	257	-34.64	-38.04	-42.75	-46.51
41	258	-42.31	-43.21	-47.15	-50.75
42	259	-42.21	-43.68	-46.89	-50.52
43	260	-42.99	-43.86	-47.49	-49.22
44	261	-43.66	-43.9	-46.23	-47.96
45	262	-44.81	-44.11	-45.57	-47.4
46	263	-44.59	-43.51	-43.27	-43.8
47	264	-43.94	-41.57	-41.58	-41.86
48	265	-44.62	-39.58	-40.37	-42.6
49	9	35.32	37.19	41.7	44.56
50	128	-34.38	38.7	40.01	41.67
51	129	-33.36	36.89	39.39	40
52	130	-33.37	33.07	37.27	40.04
53	131	29.48	29.87	32.68	-35.81
54	132	28.08	29.36	-31.02	-35.96
55	133	26.76	26.68	-30.69	-36.59
56	134	25.98	-25.75	-30.99	-39.4
57	135	-21.49	-25.86	-32.95	-43.15
58	136	-22.06	-25.74	-34.26	-45.81
59	137	-23.04	-27.22	-37.3	-48
60	138	-23.7	-29.9	-39.32	-50.36
61	139	-32.32	-36.37	-45.37	-56.09
62	140	-33.41	-38.73	-47.53	-58.54
63	141	-35.69	-41.15	-51.74	-59.29
64	142	-36.96	-44.06	-53.19	-60.67
65	143	-48.36	-51.26	-58.39	-63.37
66	144	-49.53	-53.68	-58.09	-57.81
67	145	-51.71	-54.12	-57.42	-52.59
68	146	-52.92	-52.76	-52.85	-50.67
69	147	-55.01	-51.75	-44.78	-37.52
70	148	-52.06	-45.45	-35.58	-22.18
71	149	-44.68	-32.23	-21.6	-19.27
72	150	-28.39	-14.73	-12.61	-10.34

Tablo 18. Yerdeğiştirme üçüncü I-kirişinde (Z) eksenı yönünde

Açıklık (m)	Node	Yerdeğiştirme (m)-0°	Yerdeğiştirme (m)-21°	Yerdeğiştirme (m)-37,6°	Yerdeğiştirme (m)-49°
0	9	-0.000001	-0.000001	-0.000001	-0.000001
1	125	-0.001146	-0.001155	-0.001207	-0.001257
2	126	-0.002269	-0.002282	-0.002374	-0.002472
3	127	-0.003348	-0.003358	-0.003456	-0.0036
4	128	-0.004361	-0.004362	-0.004427	-0.004593
5	129	-0.005282	-0.005271	-0.005257	-0.00542
6	130	-0.0061	-0.006076	-0.006028	-0.006075
7	131	-0.006808	-0.006759	-0.006679	-0.006548
8	132	-0.007383	-0.007308	-0.007194	-0.007002
9	133	-0.007807	-0.007702	-0.007558	-0.007331
10	134	-0.008081	-0.007944	-0.007774	-0.00752
11	135	-0.008204	-0.008038	-0.007836	-0.007568
12	136	-0.008186	-0.007982	-0.007758	-0.00747
13	137	-0.008007	-0.007778	-0.007534	-0.007242
14	138	-0.007687	-0.007441	-0.007182	0.006903
15	139	-0.00724	-0.006977	-0.006721	0.007311
16	140	-0.006669	-0.006408	0.006528	0.007687
17	141	-0.006	0.00578	0.006722	0.008036
18	142	0.005529	0.00583	0.006881	0.008382
19	143	0.005498	0.005848	0.007024	0.008808
20	144	0.005438	0.005847	0.007232	0.009181
21	145	0.005376	0.005897	0.007425	0.009486
22	146	0.005372	0.00595	0.007563	0.009739
23	147	0.005357	0.005985	0.007686	0.009986
24	10	0.00538	0.006076	0.007876	0.010301
25	263	0.00555	0.006293	0.00814	0.010624
26	264	0.00582	0.006563	0.008416	0.010922
27	265	0.006058	0.006802	0.008639	0.011158
28	266	0.006238	0.006978	0.008803	0.011313
29	267	0.006357	0.007092	0.008897	0.011394
30	268	0.006465	0.007168	0.008926	0.011403
31	269	0.006536	0.007215	0.0089	0.011348
32	270	0.006557	0.007212	0.008838	0.011236
33	271	-0.006584	0.007156	0.008732	0.011076
34	272	-0.00692	-0.007483	-0.008643	0.010873
35	273	-0.007183	-0.007751	-0.008902	0.010634
36	274	-0.007363	-0.007935	-0.009071	-0.010794
37	275	-0.007456	-0.008019	-0.009158	-0.010895
38	276	-0.007451	-0.008007	-0.009167	-0.010901
39	277	-0.007352	-0.007898	-0.00908	-0.010806
40	278	-0.007156	-0.007712	-0.008893	-0.010587
41	279	-0.006872	-0.007416	-0.008584	-0.010236
42	280	-0.00648	-0.007002	-0.00818	-0.009793
43	281	-0.006016	-0.006524	-0.007699	-0.009272
44	282	-0.005513	-0.006015	0.00721	0.009121
45	283	0.005195	0.005691	0.007117	0.009055
46	284	0.005041	0.005548	0.007004	0.009048
47	285	0.004861	0.005401	0.006905	0.009081
48	11	0.004724	0.005302	0.006936	0.009137
49	148	0.00468	0.00533	0.006975	0.009189
50	149	-0.004881	-0.005421	0.006991	0.009212
51	150	-0.005636	-0.00619	-0.007444	-0.009255
52	151	-0.006406	-0.006978	-0.008229	-0.010049
53	152	-0.007164	-0.00775	-0.008999	-0.010813
54	153	-0.007879	-0.008477	-0.009719	-0.011521
55	154	-0.008669	-0.00915	-0.010369	-0.012149
56	155	-0.009534	-0.009949	-0.010927	-0.012681
57	156	-0.01027	-0.01066	-0.011385	-0.013089
58	157	-0.010851	-0.011215	-0.011885	-0.013358
59	158	-0.011241	-0.011584	-0.012195	-0.013459
60	159	-0.011427	-0.011763	-0.012321	-0.013406
61	160	-0.011456	-0.011758	-0.012254	-0.013186
62	161	-0.011269	-0.011542	-0.011983	-0.01278
63	162	-0.010873	-0.011116	-0.011507	-0.012198
64	163	-0.01028	-0.010492	-0.010835	-0.011444
65	164	-0.009504	-0.009683	-0.00998	-0.010515
66	165	-0.008548	-0.0087	-0.00895	-0.009426
67	166	-0.007422	-0.007546	-0.007751	-0.00817
68	167	-0.006125	-0.00623	-0.006392	-0.006748
69	168	-0.004712	-0.004789	-0.004911	-0.005193
70	169	-0.003198	-0.00325	-0.003331	-0.003527
71	170	-0.001617	-0.001643	-0.001684	-0.001784
72	12	-0.000002	-0.000002	-0.000002	-0.000002

Tablo 19. Eğilme momentleri dördüncü I-kirişinde (Y) eksen yönünde.

Açıklık (m)	Eleman	Moment-Y (KN.m)-0°	Moment-Y (KN.m)-21°	Moment-Y (KN.m)-37.6°	Moment-Y (KN.m)-49°
1	10	0	0	0	0
2	151	87.26	100.62	114.33	128.38
3	152	177.7	204.5	231.74	260.55
4	153	266.62	305.57	345.4	388.08
5	154	355.9	404.08	454.1	508.04
6	155	448.07	505.84	567.99	606.62
7	156	541.99	610.11	653.09	663.42
8	157	638	683.71	694.86	702.09
9	158	666.85	716.27	725.86	729.45
10	159	728.99	738.81	742.82	761.21
11	160	742.68	745.61	768.42	767.09
12	161	748.34	765.06	767.2	765.79
13	162	734.11	764.38	767.93	765.64
14	163	751.99	754.18	753.68	749.66
15	164	732.55	729.5	727.13	723.05
16	165	697.73	692.28	689.24	686.63
17	166	618.67	649.03	651.61	652.9
18	167	602.17	599.56	602.37	607.24
19	168	542.86	539.7	544.75	-586.05
20	169	487.12	487.5	-520.79	-610.9
21	170	-478.65	-505.26	-551.27	-640.66
22	171	-497.04	-530.58	-577.8	-665.84
23	172	-521.15	-561.13	-609.1	-695.17
24	173	-550.96	-596.16	-644.47	-728.35
25	11	-585.79	-636.25	-686.17	-761.21
26	266	-503.07	-538.64	-607.76	-701.06
27	267	-476.23	-494.64	-563.17	-646.25
28	268	-455.86	-468.36	-523.67	-597.49
29	269	-440.37	-445.75	-493.28	-559.61
30	270	425.04	451.01	512.22	563.16
31	271	488.07	527.53	574.73	608.72
32	272	549.86	600.67	618.5	657.44
33	273	579.18	643.5	665.15	756.54
34	274	666.99	677.24	728.45	771.37
35	275	693	717.49	777.71	785.2
36	276	717.55	786.36	782.26	804.37
37	277	724.93	783.58	794.31	835.44
38	278	777.97	778.17	806.82	816.15
39	279	760.81	771.06	804.22	773.12
40	280	741.92	769.28	752.31	719.81
41	281	708.92	724.69	698.85	672.49
42	282	691.04	658.63	636.32	629.15
43	283	614.31	583.49	582.26	571.48
44	284	529.21	-519.11	-519.7	-515.01
45	285	-543.97	-541.67	-538.52	-529.05
46	286	-560.81	-559.59	-552.4	-536.45
47	287	-579.52	-578.73	-567.19	-545.37
48	288	-603.66	-601.35	-584.04	-556.54
49	12	-633.83	-625.17	-601.93	-577.28
50	174	-509.23	-505.39	-511.35	-528.78
51	175	-475.54	-478.17	-486.68	553.57
52	176	-450.82	468.5	548.04	649.32
53	177	506.5	572.85	660.15	770.42
54	178	645.79	697.4	776.2	869.72
55	179	766.98	813.46	881.54	957.42
56	180	873.63	919.35	973.19	1030.42
57	181	952.24	1013.11	1058.01	1101.88
58	182	1053.75	1085.88	1115.8	1142.31
59	183	1119.08	1140.96	1155.47	1164.41
60	184	1167.19	1177.39	1175.31	1171.07
61	185	1167.99	1196.37	1190.52	1177.37
62	186	1201.01	1196.16	1177.09	1149.72
63	187	1194.08	1176.58	1143.26	1102.52
64	188	1166.33	1135.72	1088.2	1035.83
65	189	1078.01	1076.05	1022.71	965.01
66	190	1039.09	988.35	927.5	882.52
67	191	938.21	879.89	832.06	791.74
68	192	815.31	769.38	725.87	686.39
69	193	666.48	649.64	612.41	560.96
70	194	543.05	509.39	463.73	428.1
71	195	378.14	342.69	315.81	284.26
72	196	0	0	0	0

Tablo 20. Kesme kuvvetleri dördüncü I-kirişinde (Z) eksenî yönünde.

Açıklık (m)	Eleman	Kesme Kuvveti (KN)-0°	Kesme Kuvveti (KN)-21°	Kesme Kuvveti (KN)-37.6°	Kesme Kuvveti (KN)-49°
1	10	-101.68	-117.89	-135.53	-156.3
2	151	-97.37	-111.84	-127.25	-145.21
3	152	-95.35	-108.51	-122.59	-138.83
4	153	-94.73	-107.16	-120.68	-136.39
5	154	-97.8	-108.06	-120.7	-128.58
6	155	-98.9	-109.72	-115.76	-116.1
7	156	-100.69	-105.46	-104.57	-105.19
8	157	-84.74	-94.1	-93.87	-95.13
9	158	-98.61	-93.21	-91.92	-91.94
10	159	-86.55	-83.87	-83.35	-84.02
11	160	-76.52	-75.21	82.77	86.13
12	161	68.45	89.1	90.3	91.9
13	162	70.73	90.31	92.28	94.06
14	163	95.84	99.42	100.17	103.48
15	164	106.2	107.82	111.76	110.61
16	165	118.11	121.37	120.39	117.36
17	166	102.82	121.43	120.78	118.23
18	167	129.03	130.39	128.13	123.49
19	168	139.69	138.62	134.7	128.15
20	169	152.15	147.02	141.56	132.61
21	170	132.43	144.2	138.69	129.66
22	171	152.48	152.29	144.55	132.88
23	172	162.3	159.57	149.87	137.51
24	173	173.88	167.16	157.35	144.06
25	11	-171.75	-175.59	-178.73	-178.45
26	266	-159.67	-167.55	-169.75	-172.86
27	267	-149.57	-159.72	-163.54	-166.92
28	268	-131.59	-150.12	-156.66	-159.24
29	269	-151.57	-153.18	-157.95	-153.97
30	270	-140.79	-147.07	-147.73	-144.8
31	271	-133.97	-139.7	-136.18	-136.19
32	272	-116.25	-126.98	-124.28	-135.01
33	273	-131.1	-124.27	-126.23	-130.75
34	274	-117.07	-112.87	-120.86	-121.44
35	275	-104.89	-110.75	-111.06	-112.46
36	276	-92.99	-100.01	-101.15	-103.75
37	277	-101.38	-97.09	-98.89	-101.57
38	278	91.96	95.92	98.66	102.56
39	279	100.36	103.84	108.13	108.52
40	280	112.23	114.65	116.54	114.6
41	281	105.25	124.24	120.79	116.02
42	282	133.92	131.87	126.16	121.48
43	283	141.81	138.3	133.4	122.15
44	284	151.85	144.52	137.11	121.68
45	285	146.46	145.42	130.05	111.8
46	286	160.74	149	130.3	108.41
47	287	167.22	151.39	129.79	108.2
48	288	174.93	153.78	133.87	111.71
49	12	-240.44	-239.56	-231.49	-219.19
50	174	-228.38	-230.01	-221.23	-208.7
51	175	-217.13	-218.77	-209.25	-196.56
52	176	-192.9	-204.96	-195.09	-183.03
53	177	-207.99	-199.18	-188.36	-176.2
54	178	-191.62	-184.86	-173.99	-162.58
55	179	-176.99	-170.2	-159.4	-148.64
56	180	-148.25	-154.15	-144.06	-136.02
57	181	-157.78	-146.23	-136.35	-130.58
58	182	-140.94	-131.81	-123.2	-119.09
59	183	-125.86	-117.85	-111.48	-104.8
60	184	-97.03	-102.77	-97.03	-93.26
61	185	-104.93	-94.34	-91.44	-87.46
62	186	-88.17	84.63	91.37	95.43
63	187	87.08	95.88	101.63	104.34
64	188	98.91	107.71	112.46	113.23
65	189	115.6	123.3	122.74	120.24
66	190	132.93	133.77	130.74	127.24
67	191	143.33	143.01	138.75	134.76
68	192	155.81	153.17	148.35	142.77
69	193	165.23	162.88	154.42	140.9
70	194	184.03	171.85	155.22	143.96
71	195	193.93	172.99	159.34	143.96
72	196	195.88	177.89	159.34	143.96

Tablo 21. Eğilme gerilmeleri dördüncü I-kirişinde (+Z) eksen yönünde.

Açıklık (m)	Eleman	Gerilme (KN/m ²)-0°	Gerilme (KN/m ²)- 21°	Gerilme (KN/m ²)- 37.6°	Gerilme (KN/m ²)-49°
1	10	0	0	0	0
2	151	-152	-175	-199	-223
3	152	-310	-357	-404	-454
4	153	-466	-534	-604	-679
5	154	-624	-708	-796	-890
6	155	-786	-888	-997	-1060
7	156	-952	-1070	-1150	-1160
8	157	-1120	-1200	-1220	-1230
9	158	-1170	-1260	-1270	-1280
10	159	-1280	-1300	-1300	-1340
11	160	-1300	-1310	-1350	-1350
12	161	-1310	-1340	-1350	-1340
13	162	-1290	-1340	-1350	-1340
14	163	-1320	-1320	-1320	-1310
15	164	-1290	-1280	-1280	-1270
16	165	-1230	-1220	-1210	-1210
17	166	-1090	-1140	-1140	-1150
18	167	-1060	-1050	-1060	-1070
19	168	-952	-946	-955	1030
20	169	-852	-853	911	1070
21	170	835	882	962	1120
22	171	865	923	1010	1160
23	172	904	973	1060	1210
24	173	954	1030	1120	1260
25	11	1010	1100	1190	1320
26	266	871	933	1050	1210
27	267	826	858	977	1120
28	268	793	815	911	1040
29	269	768	778	861	976
30	270	-744	-789	-896	-985
31	271	-856	-925	-1010	-1070
32	272	-965	-1050	-1090	-1150
33	273	-1020	-1130	-1170	-1330
34	274	-1170	-1190	-1280	-1350
35	275	-1220	-1260	-1360	-1380
36	276	-1260	-1380	-1370	-1410
37	277	-1270	-1370	-1390	-1470
38	278	-1360	-1360	-1420	-1430
39	279	-1340	-1350	-1410	-1360
40	280	-1300	-1350	-1320	-1260
41	281	-1240	-1270	-1230	-1180
42	282	-1210	-1160	-1120	-1100
43	283	-1080	-1020	-1020	-1000
44	284	-926	908	909	901
45	285	949	945	940	923
46	286	976	973	961	933
47	287	1010	1000	984	946
48	288	1050	1040	1010	964
49	12	1100	1080	1040	999
50	174	882	875	885	915
51	175	825	830	844	-960
52	176	784	-815	-953	-1130
53	177	-884	-999	-1150	-1340
54	178	-1130	-1220	-1360	-1520
55	179	-1340	-1430	-1550	-1680
56	180	-1530	-1610	-1710	-1810
57	181	-1670	-1780	-1860	-1940
58	182	-1850	-1910	-1960	-2010
59	183	-1960	-2000	-2030	-2040
60	184	-2050	-2070	-2060	-2050
61	185	-2050	-2100	-2090	-2060
62	186	-2110	-2100	-2060	-2020
63	187	-2090	-2060	-2010	-1930
64	188	-2050	-1990	-1910	-1820
65	189	-1890	-1890	-1800	-1690
66	190	-1820	-1740	-1630	-1550
67	191	-1650	-1550	-1460	-1390
68	192	-1430	-1350	-1270	-1200
69	193	-1170	-1140	-1070	-983
70	194	-950	-891	-811	-749
71	195	-660	-598	-551	-496
72	196	0	0	0	0

Tablo 22. Eğilme gerilmeleri dördüncü I-kirişinde (-Z) eksen yönünde.

Açıklık (m)	Eleman	Gerilme (KN/m ²)-0°	Gerilme (KN/m ²)-21°	Gerilme (KN/m ²)- 37.6°	Gerilme (KN/m ²)-49°
1	10	0	0	0	0
2	151	513	592	673	755
3	152	1040	1200	1360	1530
4	153	1560	1790	2020	2270
5	154	2080	2360	2650	2970
6	155	2610	2950	3310	3530
7	156	3150	3540	3790	3850
8	157	3690	3950	4020	4060
9	158	3840	4130	4180	4200
10	159	4190	4250	4270	4370
11	160	4260	4270	4410	4400
12	161	4280	4380	4390	4380
13	162	4200	4370	4390	4380
14	163	4310	4320	4320	4290
15	164	4210	4190	4180	4150
16	165	4020	3990	3970	3960
17	166	3580	3760	3770	3780
18	167	3500	3490	3500	3530
19	168	3170	3150	3180	-3420
20	169	2850	2860	-3050	-3580
21	170	-2810	-2970	-3240	-3760
22	171	-2920	-3120	-3400	-3920
23	172	-3070	-3300	-3590	-4090
24	173	-3240	-3510	-3790	-4290
25	11	-3450	-3750	-4040	-4480
26	266	-2960	-3170	-3580	-4130
27	267	-2800	-2910	-3310	-3800
28	268	-2680	-2750	-3080	-3510
29	269	-2590	-2620	-2900	-3290
30	270	2490	2640	3000	3300
31	271	2850	3080	3360	3560
32	272	3200	3490	3600	3830
33	273	3350	3730	3850	4380
34	274	3850	3910	4200	4450
35	275	3980	4120	4470	4510
36	276	4110	4500	4480	4610
37	277	4150	4480	4540	4780
38	278	4460	4460	4620	4670
39	279	4370	4430	4620	4440
40	280	4280	4440	4340	4150
41	281	4110	4200	4050	3900
42	282	4020	3830	3700	3660
43	283	3590	3410	3400	3340
44	284	3100	-3040	-3050	-3020
45	285	-3190	-3180	-3160	-3110
46	286	-3300	-3290	-3250	-3160
47	287	-3410	-3410	-3340	-3210
48	288	-3550	-3540	-3440	-3280
49	12	-3730	-3680	-3540	-3400
50	174	-3000	-2980	-3010	-3110
51	175	-2800	-2810	-2860	3260
52	176	-2650	2760	3220	3820
53	177	2970	3360	3880	4530
54	178	3780	4090	4550	5100
55	179	4480	4750	5150	5590
56	180	5080	5350	5660	6000
57	181	5520	5870	6130	6380
58	182	6080	6260	6430	6590
59	183	6430	6550	6640	6690
60	184	6690	6740	6730	6710
61	185	6680	6850	6810	6740
62	186	6880	6850	6740	6580
63	187	6850	6750	6550	6320
64	188	6700	6530	6250	5950
65	189	6210	6200	5900	5560
66	190	6010	5720	5360	5100
67	191	5450	5110	4830	4600
68	192	4750	4480	4230	4000
69	193	3900	3800	3580	3280
70	194	3180	2990	2720	2510
71	195	2220	2010	1860	1670
72	196	0	0	0	0

Tablo 23. Burulma momentleri dördüncü I-kirişinde.

Açıklık (m)	Eleman	Burulma (KN.m)-0°	Burulma (KN.m)-21°	Burulma (KN.m)-37.6°	Burulma (KN.m)-49°
1	10	22.68	31.14	37.92	46.48
2	151	40.57	48.2	56.81	69.66
3	152	50.21	54.57	63.73	74.89
4	153	54.31	54.72	61.63	71.47
5	154	58.58	65.62	75.24	86.98
6	155	57.74	61.58	68.94	78
7	156	56.34	56.88	61.67	71
8	157	54.52	49.61	55.65	63.69
9	158	42	45.78	52.85	62.56
10	159	39.4	41.33	46.93	55.62
11	160	36.77	36.29	40.61	50.23
12	161	33.74	-30.68	-36.88	44.64
13	162	29.31	28.27	35.16	44.06
14	163	25.12	25.84	32.44	41.98
15	164	-24.1	-27.68	-32.31	39.54
16	165	-28.9	-30.51	-33.48	36.81
17	166	32.56	29.83	-32.63	38.92
18	167	-29.98	-31.73	-34.13	38.94
19	168	-33.96	-34.19	-34.73	38.66
20	169	-39.82	-36.34	-35.24	37.68
21	170	39.89	38.65	39.17	43.89
22	171	-38.76	-36.39	38.48	47.22
23	172	-40.42	-37.45	41.37	46.05
24	173	-46.6	-37.66	39.24	43.88
25	11	47.07	48.55	51.85	56.3
26	266	41.9	44.99	48.72	52.34
27	267	40.47	42.13	46.28	48.83
28	268	-41.34	38.93	42.73	44.29
29	269	43.85	44.13	46.38	47.43
30	270	38.39	39.09	41.06	42.31
31	271	34.7	-35.56	-37.23	-39.86
32	272	-37.34	-35.46	-38.02	-40.51
33	273	35.94	34.66	-36.36	-40.91
34	274	30.97	-32.89	-37.95	-42.07
35	275	-31.25	-34.51	-38.43	-42.85
36	276	-35.5	-35.27	-39.7	-43.62
37	277	32.28	-32.79	-39.14	-44.77
38	278	-31.29	-35.68	-41.1	-45.56
39	279	-34.67	-37.8	-42.07	-45.65
40	280	-39.3	-39.75	-42.93	-45.34
41	281	-39.06	-39.92	-42.48	-45.55
42	282	-40.63	-40.63	-43.31	-44.25
43	283	-43.03	-42.47	-42.57	-42.42
44	284	-48.84	-43.33	-41.9	-40.4
45	285	-42	-42.73	-42.23	-42.42
46	286	-42.76	-41.14	-40.58	-40.38
47	287	-44.76	-39.89	-38.36	-40.19
48	288	-49.88	-38.98	-37.41	-39.71
49	12	44.92	44.79	46.08	47.39
50	174	38.78	39.94	41.85	43.93
51	175	35.4	35.97	38.9	40.21
52	176	-38.66	-34.85	-35.62	-37.58
53	177	39.81	37.63	38.06	-39.94
54	178	33.91	31.97	-33.48	-37.76
55	179	29.8	-30.41	-33.16	-38.14
56	180	-29.84	-29.77	-33.74	-38.9
57	181	28.83	24.79	-30.96	-40.25
58	182	24.98	-26.38	-32.95	-40.91
59	183	-22.74	-27.86	-34.64	-41.85
60	184	-25.78	-29.92	-36.25	-42.48
61	185	32.73	-32.43	-39.63	-45.29
62	186	31.28	-33.88	-40.39	-45.07
63	187	-32.49	-35.99	-42.52	-42.77
64	188	-34.63	-39.19	-41.42	-42.8
65	189	-43.61	-46.27	-46.94	-44.58
66	190	-45.3	-45.36	-43.09	-40.42
67	191	-46.66	-43.8	-39.31	-36.09
68	192	-47.8	-41.35	-34.7	-31.26
69	193	-42.98	-36.56	-26.47	-15.7
70	194	-39.75	-26.37	-14.42	12.2
71	195	-31.85	-13.19	12.78	12.18
72	196	-17.31	13.13	12.78	12.14

Tablo 24. Yerdeğiştirme dördüncü I-kirişinde (Z) eksenı yönünde

Açıklık (m)	Node	Yerdeğiştirme (m)-0°	Yerdeğiştirme (m)-21°	Yerdeğiştirme (m)-37.6°	Yerdeğiştirme (m)-49°
0	13	-0.000001	-0.000001	-0.000001	-0.000001
1	171	-0.001216	-0.001286	0.001486	0.001966
2	172	-0.002414	-0.00255	0.002957	0.003909
3	173	-0.003578	-0.003778	0.004407	0.005822
4	174	-0.004692	-0.004955	0.005829	0.007696
5	175	-0.005744	-0.006064	0.007217	0.009523
6	176	-0.00673	-0.007095	0.008574	0.011305
7	177	-0.007627	-0.00803	0.009896	0.013038
8	178	-0.008427	-0.008866	0.011178	0.014716
9	179	-0.009119	0.009596	0.01242	0.016338
10	180	-0.009669	0.010531	0.013618	0.017901
11	181	-0.010107	0.01143	0.014772	0.0194
12	182	0.010783	0.012291	0.015876	0.020828
13	183	0.011524	0.013113	0.016927	0.022185
14	184	0.012227	0.013891	0.017922	0.023465
15	185	0.012891	0.014623	0.01886	0.024667
16	186	0.013511	0.015305	0.019733	0.025784
17	187	0.014083	0.015934	0.020542	0.026812
18	188	0.014607	0.016511	0.021283	0.027747
19	189	0.01508	0.017034	0.021951	0.028587
20	190	0.015503	0.017504	0.022543	0.029327
21	191	0.015873	0.017915	0.023055	0.029966
22	192	0.016194	0.018263	0.023488	0.030505
23	193	0.016461	0.018547	0.023841	0.030941
24	14	0.016672	0.018767	0.024112	0.031273
25	286	0.016825	0.018922	0.024301	0.0315
26	287	0.016921	0.019015	0.024413	0.031635
27	288	0.016962	0.019044	0.024452	0.031682
28	289	0.01695	0.019015	0.024419	0.031644
29	290	0.016881	0.018924	0.024317	0.031524
30	291	0.016759	0.018784	0.024157	0.031342
31	292	0.016589	0.018596	0.023945	0.031103
32	293	0.016375	0.018367	0.023692	0.030831
33	294	0.016123	0.01811	0.023416	0.030553
34	295	0.015861	0.017841	0.023145	0.030315
35	296	0.015609	0.017599	0.022932	0.03018
36	297	0.015473	0.017456	0.022823	0.030121
37	298	0.015426	0.017423	0.022792	0.03009
38	299	0.015387	0.017403	0.022768	0.030042
39	300	0.015352	0.017365	0.022722	0.02996
40	301	0.015334	0.017325	0.022646	0.029839
41	302	0.015335	0.017272	0.02255	0.029672
42	303	0.01531	0.017241	0.022422	0.029464
43	304	0.015252	0.017185	0.02227	0.029223
44	305	0.015158	0.017087	0.022117	0.028925
45	306	0.015066	0.016946	0.021927	0.028569
46	307	0.014942	0.016761	0.021681	0.028155
47	308	0.014779	0.016533	0.021377	0.027712
48	15	0.014578	0.016272	0.021015	0.027194
49	194	0.014341	0.015987	0.020582	0.026586
50	195	0.014065	0.015656	0.020091	0.025906
51	196	0.013754	0.01528	0.019545	0.025157
52	197	-0.013733	-0.015249	0.018947	0.024343
53	198	-0.014482	-0.015902	-0.019162	-0.023745
54	199	-0.01514	-0.016481	-0.01953	-0.023845
55	200	-0.015698	-0.016959	-0.019798	-0.023832
56	201	-0.016123	-0.017306	-0.019924	-0.023669
57	202	-0.016417	-0.017496	-0.019904	-0.023356
58	203	-0.016544	-0.01753	-0.019716	-0.022846
59	204	-0.016472	-0.017375	-0.01933	-0.022162
60	205	-0.016221	-0.01702	-0.018763	-0.021308
61	206	-0.015814	-0.016469	-0.018	-0.020268
62	207	-0.015175	-0.015717	-0.017053	-0.019056
63	208	-0.014332	-0.014777	-0.015931	-0.017682
64	209	-0.013301	-0.01366	-0.014644	-0.016155
65	210	-0.012084	-0.012371	-0.013195	-0.014481
66	211	-0.010705	-0.010923	-0.0116	-0.012673
67	212	-0.009177	-0.009334	-0.009877	-0.010749
68	213	-0.007517	-0.007624	-0.008043	-0.008726
69	214	-0.005741	-0.005811	-0.006116	-0.006619
70	215	-0.003877	-0.00392	-0.004119	-0.004447
71	216	-0.001954	-0.001975	-0.002072	-0.002234
72	16	-0.000001	-0.000001	-0.000001	-0.000001



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Osama GHZAYEL

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2010, Sanaa Üniversitesi, Müh. Fakültesi, İnşaat Mühendisliği.
- **Yüksek lisans** : 2016, Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Yapı.

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2011-2010 yılları arasında Sanaa Üniversitesi'nda öğretmen Yardımcısı olarak çalıştı.
- Midas Civil, Staad Pro, Sap2000, Sta4-Cad, AutoCAD ve yollar için geometrik tasarım programı Land Development programların profesyonel olarak kullanabilir.
- İngilizce, Türkçe ve Arapça dilleri çok iyi seviyesinde bilir.
- 2020 yılında Sakarya Üniversitesi Dönemsel Başarı Ödülü'nü kazandı.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Osama GHZAYEL, Muhammet Zeki ÖZYURT 2024. Structural Behavior Of Skewed Prestress Concrete Superstructure, Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 17 (2024) 100785.