

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜK GARI STATİK HESABI VE DÜĞÜM NOKTALARININ ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Fatih YILMAZ

HAZİRAN 2010

TRABZON

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜK GARI STATİK HESABI VE DÜĞÜM NOKTALARININ ANALİZİ

İnş. Müh. Fatih YILMAZ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İnşaat Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Teslim Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20.05.2010
Tezin Savunma Tarihi : 22.06.2010**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Hasan SOFUOĞLU
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Süleyman ADANUR**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2010

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tezim boyunca ilgi, teşvik ve alakalarını esirgemeyen değerli hocam ve tez danışmanım sayın Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

Trabzon'da ve Almanya'da değerli vakitlerini ayırıp 'bir ucundan da biz tutalım' diyen tüm arkadaşlarıma sevgiyle teşekkürü bir borç bilirim.

İnşaat Mühendisliği'ni seçmemde çok büyük etkileri olan, maddi ve manevi desteklerini her an hissettiğim aileme saygıyla teşekkürlerimi sunarım.

Tanık olduğum destanın çınarı, Zühre Nine'me...

Fatih YILMAZ

Trabzon 2010

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|------------------------|
| ÖNSÖZ | II |
| İÇİNDEKİLER..... | III |
| ÖZET | VI |
| SUMMARY | VII |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | VIII |
| TABLolar DİZİNİ..... | X |
| SEMBOLLER DİZİNİ..... | XII |
| 1. GENEL BİLGİLER..... | 1 |
| 1.1. Giriş | 1 |
| 1.2. Çelik Yapıların Tarihçesi..... | 1 |
| 1.3. Kafes Sistemin Analizi | 2 |
| 1.3.1. Matris Deplasman Yöntemi | 2 |
| 1.3.1.1. Düzlem Kafes Sistemler | 2 |
| 1.3.1.1.1. Çubuk Eksen Takımına Göre Rijitlik Matrisi | 3 |
| 1.3.1.1.2. Dönüştürme Matrisi..... | 4 |
| 1.3.1.1.3. Sistem Rijitlik Matrisinin Tayini..... | 6 |
| 1.3.1.1.4. Yükleme Matrisinin Tayini..... | 6 |
| 1.3.2. Statik Analiz Formülasyonu..... | 6 |
| 1.4. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı | 7 |
| 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR | 9 |
| 2.1. Sabit Yüklerin Hesaplanması..... | 9 |
| 2.1.1. Tali Taşıyıcılardaki Öz Ağırlık | 9 |
| 2.1.2. Ana Taşıyıcılardaki Öz Ağırlık | 11 |
| 2.1.2.1. Birinci Tip Ana Taşıyıcıdaki Öz Ağırlık | 11 |
| 2.1.2.2. İkinci Tip Ana Taşıyıcıdaki Öz Ağırlık..... | 12 |
| 2.2. Hareketli Yüklerin Hesaplanması | 12 |
| 2.2.1. Kar Yüğü (DIN 1055 Kısım 5, 07.2005)..... | 12 |
| 2.2.2. Kar Yüğü (DIN 1055 Kısım 5, 06.1975)..... | 13 |
| 2.2.3. Rüzgar Yüğü (DIN 1055 Kısım 4, 03.2005)..... | 14 |

| | | |
|----------|---|----|
| 2.2.4. | Rüzgar Yüğü (DIN 1055 Kısım 4, 08.1986)..... | 20 |
| 2.3. | Tali Taşıyıcıların Statik Hesabı..... | 23 |
| 2.3.1. | Güncel Standartlara Göre Tali Taşıyıcıların Hesabı (DIN 1055- DIN 18800) | 23 |
| 2.3.1.1. | Yükleme Durumları..... | 23 |
| 2.3.1.2. | Yükleme Grupları ve Kombinasyonları..... | 25 |
| 2.3.1.3. | İç Kuvvetler..... | 25 |
| 2.3.1.4. | Tali Taşıyıcıda Elastik-Elastik Denetleme Metodu..... | 27 |
| 2.3.1.5. | Tali Taşıyıcıda Elastik-Plastik Denetleme Metodu..... | 28 |
| 2.3.1.6. | Basınç Elemanları İçin Burkulma Hesabı..... | 28 |
| 2.3.1.7. | Basınç Elemanları İçin Yanal Burkulma Hesabı..... | 29 |
| 2.3.2. | Yapının İnşa Edildiği Dönemdeki Standartlara Göre Tali Taşıyıcıların Hesabı (DIN 1055) | 30 |
| 2.3.2.1. | Yükleme Durumları..... | 30 |
| 2.3.2.2. | Yükleme Grupları ve Kombinasyonları..... | 31 |
| 2.3.2.3. | İç Kuvvetler..... | 31 |
| 2.3.2.4. | Tali Taşıyıcıda Elastik-Elastik Denetleme Metodu..... | 32 |
| 2.3.2.5. | Tali Taşıyıcıda Elastik-Plastik Denetleme Metodu..... | 33 |
| 2.3.2.6. | Basınç Elemanları İçin Burkulma Hesabı..... | 33 |
| 2.3.2.7. | Basınç Elemanları İçin Yanal Burkulma Hesabı..... | 34 |
| 2.4. | Birinci Tip Ana Taşıyıcının Statik Hesabı..... | 34 |
| 2.4.1. | Güncel Standartlara Göre Birinci Tip Ana Taşıyıcının Hesabı (DIN 1055- DIN 18800) | 35 |
| 2.4.1.1. | Yükleme Durumları..... | 35 |
| 2.4.1.2. | Yükleme Grupları ve Kombinasyonları..... | 36 |
| 2.4.1.3. | İç Kuvvetler..... | 37 |
| 2.4.1.4. | Birinci Tip Ana Taşıyıcıda Elastik-Elastik Denetleme Metodu..... | 38 |
| 2.4.1.5. | Birinci Tip Ana Taşıyıcıda Elastik-Plastik Denetleme Metodu..... | 39 |
| 2.4.1.6. | Basınç Elemanları İçin Burkulma Hesabı..... | 39 |
| 2.4.1.7. | Basınç Elemanları İçin Yanal Burkulma Hesabı..... | 40 |
| 2.4.2. | Yapının İnşa Edildiği Dönemdeki Standartlara Göre Birinci Tip Ana Taşıyıcının Hesabı (DIN 1055)..... | 41 |
| 2.4.2.1. | Yükleme Durumları..... | 41 |
| 2.4.2.2. | Yükleme Grupları ve Kombinasyonları..... | 42 |

| | | |
|----------|---|----|
| 2.4.2.3. | İç Kuvvetler..... | 42 |
| 2.4.2.4. | Birinci Tip Ana Taşıyıcıda Elastik-Elastik Denetleme Metodu..... | 43 |
| 2.4.2.5. | Birinci Tip Ana Taşıyıcıda Elastik-Plastik Denetleme Metodu..... | 44 |
| 2.4.2.6. | Basınç Elemanları İçin Burkulma Hesabı..... | 44 |
| 2.4.2.7. | Basınç Elemanları İçin Yanal Burkulma Hesabı..... | 45 |
| 2.5. | İkinci Tip Ana Taşıyıcının Statik Hesabı..... | 45 |
| 2.5.1. | Güncel Standartlara Göre İkinci Tip Ana Taşıyıcının Hesabı (DIN 1055- DIN 18800) | 45 |
| 2.5.1.1. | Yükleme Durumları, Yükleme Grupları ve Kombinasyonları..... | 46 |
| 2.5.1.2. | İç Kuvvetler..... | 46 |
| 2.5.1.3. | İkinci Tip Ana Taşıyıcıda Elastik-Elastik Denetleme Metodu | 47 |
| 2.5.1.4. | İkinci Tip Ana Taşıyıcıda Elastik-Plastik Denetleme Metodu | 47 |
| 2.5.1.5. | Basınç Elemanları İçin Burkulma Hesabı..... | 48 |
| 2.5.1.6. | Basınç Elemanları İçin Yanal Burkulma Hesabı..... | 48 |
| 2.5.2. | Yapının İnşa Edildiği Dönemdeki Standartlara Göre İkinci Tip Ana Taşıyıcının Hesabı (DIN 1055) | 49 |
| 2.5.2.1. | Yükleme Durumları, Yükleme Grupları ve Kombinasyonları..... | 49 |
| 2.5.2.2. | İç Kuvvetler..... | 49 |
| 2.5.2.3. | İkinci Tip Ana Taşıyıcıda Elastik-Elastik Denetleme Metodu | 50 |
| 2.5.2.4. | İkinci Tip Ana Taşıyıcıda Elastik-Plastik Denetleme Metodu | 50 |
| 2.5.2.5. | Basınç Elemanları İçin Burkulma Hesabı..... | 51 |
| 2.5.2.6. | Basınç Elemanları İçin Yanal Burkulma Hesabı..... | 51 |
| 2.6. | Tali ve Ana Taşıyıcılar İçin Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması | 52 |
| 2.7. | Düğüm Noktalarının Denetlenmesi | 55 |
| 2.7.1. | Tali Taşıyıcılardaki Düğüm Noktalarının Denetlenmesi..... | 55 |
| 2.7.2. | Birinci Tip Ana Taşıyıcının Düğüm Noktalarının Denetlenmesi | 71 |
| 2.7.3. | İkinci Tip Ana Taşıyıcının Düğüm Noktalarının Denetlenmesi | 86 |
| 3. | SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 96 |
| 4. | KAYNAKLAR..... | 99 |

ÖZGEÇMİŞ

ÖZET

Yakın geçmişte inşa edilen bir yük garında meydana gelen çatlakların oluşum nedeninin araştırılması, yapılan çalışmanın ana temasıdır. Çalışmaya konu olan yük garı 76 m genişliğinde ve 137 m uzunluğundaki bir alanda inşa edilmiştir. Ana yapı, dış kolonlardan, iç temel kafes kirişlerine uzanan tali kafes kirişlerini içeren 2 bölümlü çelik bir yapıdır.

Bilindiği gibi, bir yapı kullanım ömründeki tüm koşullar altında güvenli olmak için tasarlanmalıdır ve kullanım ömrü boyunca ‘kullanılmaz’ hale gelmemelidir. Bu şu anlama gelir ki, yapı çökme, çatlak ve diğer göçme risklerinden arınmış olmalıdır. Bu çalışma için seçilen yapının, kafes kirişlerinde çatlaklar meydana gelmiştir. Bu çatlaklar ağırlıklı olarak bağlantı levhalarında gözlemlenmiştir. Bu tez çalışması kapsamında, aşağıdaki sorunlar detaylı olarak tartışılmıştır:

- Yapının yapıldığı dönemdeki standartlar göz önüne alınarak, çelik yapının statik tasarımının denetlenmesi.
- Çelik yapının güncel standartlara göre tasarımı ve sonuçların yapının yapıldığı dönemdeki standartlar ile karşılaştırılması.
- Genel tasarım modelleri kullanılarak kafes kirişlerin bağlantılarının analizi ve yetersiz düğüm noktalarının geliştirilmesi için önerilerin sunulması.

Anahtar Kelimeler: Çelik Yapılar, Çelik Yapıların Tasarımı, Kafes Kiriş, Bağlantı, Düğüm Noktası Tasarımı

SUMMARY

STATICAL ANALYSES OF A FREIGHT TERMINAL AND CONNECTIONS

The main theme of the study carried out is to investigate the reasons of the cracks having occurred in a freight terminal which has been built recently. The freight terminal in the study in question has been built in 76 m wide and 137 m long area. The main structure is a two bay steel construction consisting of secondary lattice girders, which span from outer columns to inner main lattice girders.

It is well known that, the structure should be designed to be safe under all conditions of its useful life and it should not become ‘unserviceable’ during its lifetime. That means, structure should be free from risk of collapse, cracks and the other failures. The construction chosen for this study has lead to failures (cracks) in the lattice girders. These failures can mainly be recognized in the junction plates. In the scope of this thesis, following issues are discussed in detail:

- Verification of a static design of the main steel structure with regard to the standards which were to be applied at the time the structure was build.
- Design of the steel structure taking the current standards into account and comparison with the result of the calculation using the older standards.
- Analysis of the connections of the lattice girders using common design models and proposals for the improvement of the insufficient joint design.

Key Words: Steel Structures, Design of Steel Structures, Lattice Girder, Connection, Joint Design

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| Şekil 1. Düzlem kafes sistem | 3 |
| Şekil 2. (a) Çubuk eksenleri ve (b) ortak eksenler | 3 |
| Şekil 3. Çubuk eksenleri dönüşümü | 4 |
| Şekil 4. Yapının üstten görünüşü | 8 |
| Şekil 5. Tali taşıyıcının görünümü | 10 |
| Şekil 6. Birinci tip ana taşıyıcının görünümü | 11 |
| Şekil 7. İkinci tip ana taşıyıcının görünümü | 12 |
| Şekil 8. Düz çatılarda kar yükü hesabı | 13 |
| Şekil 9. Plan görünüşü | 14 |
| Şekil10. Yük garının A cephesinden görünüşü..... | 15 |
| Şekil 11. Düz çatılarda sınıflandırma (A cephesi) | 15 |
| Şekil 12. Düz çatının bölümlendirilmesi (A cephesi) | 16 |
| Şekil 13. Yapıya etkiyen rüzgar basıncı (A cephesi) | 17 |
| Şekil 14. Yük garının B cephesinden görünüşü..... | 18 |
| Şekil 15. Düz çatının bölümlendirilmesi (B cephesi) | 18 |
| Şekil 16. Yapıya etkiyen rüzgar basıncı (B cephesi) | 19 |
| Şekil 17. Düz çatılarda boyutlandırma standardı | 20 |
| Şekil 18. Yapının düz çatısının boyutlandırılması (A cephesi) | 21 |
| Şekil 19. Yapının düz çatısının boyutlandırılması (B cephesi) | 22 |
| Şekil 20. Üçüncü yükleme durumunun gösterimi..... | 24 |
| Şekil 21. Dördüncü yükleme durumunun gösterimi | 24 |
| Şekil 22. Güncel standartlara göre tali taşıyıcılarda meydana gelen normal kuvvetler .. | 26 |
| Şekil 23. Güncel standartlara göre tali taşıyıcılarda meydana gelen deformasyon | 26 |
| Şekil 24. Kesme panelinin gösterimi..... | 29 |
| Şekil 25. Tali taşıyıcılarda meydana gelen normal kuvvetler..... | 31 |
| Şekil 26. Tali taşıyıcılarda meydana gelen deformasyon | 32 |
| Şekil 27. Birinci yükleme durumu | 35 |
| Şekil 28. İkinci yükleme durumu | 36 |
| Şekil 29. Güncel standartlara göre 1.tip ana taşıyıcıda meydana gelen normal kuvvet.. | 37 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Şekil 30. | Güncel standartlara göre 1.tip ana taşıyıcıda meydana gelen deformasyon | 38 |
| Şekil 31. | 1.tip ana taşıyıcıda meydana gelen normal kuvvetler..... | 43 |
| Şekil 32. | Güncel standartlara göre 2.tip ana taşıyıcıda meydana gelen normal kuvvet.. | 46 |
| Şekil 33. | Güncel standartlara göre 2.tip ana taşıyıcıda meydana gelen deformasyon | 46 |
| Şekil 34. | 2. tip ana taşıyıcıda meydana gelen normal kuvvetler..... | 49 |
| Şekil 35. | Tali taşıyıcılarda düğüm noktasının gösterimi | 55 |
| Şekil 36. | Diyagonal kafes kirişin ölçüleri | 56 |
| Şekil 37. | Kaynak dikişlerdeki gerilmeler | 58 |
| Şekil 38. | Bağlantı levhasının basınç ve çekme diyagonalleri ile birlikte görünümü | 59 |
| Şekil 39. | Bağlantı levhasının kontrol bölgeleri..... | 60 |
| Şekil 40. | Kontrol bölgesi 1 | 60 |
| Şekil 41. | Kontrol bölgesi 2 | 61 |
| Şekil 42. | Kontrol bölgesi 3 | 63 |
| Şekil 43. | Kontrol bölgesi 4 ve 5..... | 64 |
| Şekil 44. | Kontrol bölgesi 7 | 66 |
| Şekil 45. | Tali taşıyıcılar için modellenen düğüm noktasının görünümü..... | 70 |
| Şekil 46. | Birinci tip ana taşıyıcıda ikinci düğüm noktasının gösterimi | 71 |
| Şekil 47. | Diyagonal kafes kirişin ölçüleri | 72 |
| Şekil 48. | Dikdörtgen en kesitlerde kaynak gerilmelerinin gösterilişi | 74 |
| Şekil 49. | Birinci tip ana taşıyıcıda dördüncü düğüm noktasının gösterimi..... | 76 |
| Şekil 50. | Birinci tip ana taşıyıcıda altıncı düğüm noktasının gösterimi..... | 79 |
| Şekil 51. | Birinci tip ana taşıyıcıda sekizinci düğüm noktasının gösterimi..... | 82 |
| Şekil 52. | İkinci tip ana taşıyıcıda ikinci düğüm noktasının gösterimi | 86 |
| Şekil 53. | İkinci tip ana taşıyıcıda dördüncü düğüm noktasının gösterimi | 89 |
| Şekil 54. | İkinci tip ana taşıyıcıda altıncı düğüm noktasının gösterimi | 92 |

TABLULAR DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|--|-----------------|
| Tablo 1. Tali taşıyıcılarda kullanılan profillerin enkesit özellikleri | 10 |
| Tablo 2. Tali taşıyıcılardaki sabit yükler | 10 |
| Tablo 3. Birinci tip ana taşıyıcıda kullanılan profillerin enkesit özellikleri | 11 |
| Tablo 4. Birinci tip ana taşıyıcıdaki sabit yükler | 12 |
| Tablo 5. Yapının duvarları için dış basınç katsayıları | 16 |
| Tablo 6. Yapının çatısı için dış basınç katsayıları | 16 |
| Tablo 7. A cephesi için rüzgar basınç değerleri $w_{e,10}$ | 17 |
| Tablo 8. B cephesi için rüzgar basınç değerleri $w_{e,10}$ | 19 |
| Tablo 9. Yapı yüksekliğine göre etkiyen bileşik basınçlar | 20 |
| Tablo 10. Düz çatılar için basınç katsayısı c_p | 20 |
| Tablo 11. Düz çatılar için basınç katsayısı c_p | 21 |
| Tablo 12. Çatıdaki c_p değerleri (A ve B cephesi) | 22 |
| Tablo 13. Güncel standartlara göre tali taşıyıcıların yükleme grupları | 25 |
| Tablo 14. Güncel standartlara göre tali taşıyıcıların yükleme kombinasyonları | 25 |
| Tablo 15. Güncel standartlara göre tali taşıyıcılarda meydana gelen iç kuvvetler | 26 |
| Tablo 16. Elastik-elastik denetleme metodu maksimum dizayn değerleri | 27 |
| Tablo 17. Güncel standartlara göre tali taşıyıcıların burkulma analizi sonuçları | 29 |
| Tablo 18. Güncel standartlara göre tali taşıyıcıların yanal burkulma analizi sonuçları ... | 30 |
| Tablo 19. Tali taşıyıcıların yükleme grupları | 31 |
| Tablo 20. Tali taşıyıcıların yükleme kombinasyonları | 31 |
| Tablo 21. Tali taşıyıcılarda iç kuvvetler | 32 |
| Tablo 22. Elastik-elastik denetleme metodu maksimum dizayn değerleri | 32 |
| Tablo 23. Tali taşıyıcıların burkulma analizi sonuçları | 34 |
| Tablo 24. Tali taşıyıcıların yanal burkulma analizi sonuçları | 34 |
| Tablo 25. Tali taşıyıcıların mesnet reaksiyonları | 35 |
| Tablo 26. Yükleme durumları ve tekil yükler | 36 |
| Tablo 27. Güncel standartlara göre 1. tip ana taşıyıcının yükleme grupları | 37 |
| Tablo 28. Güncel standartlara göre 1. tip ana taşıyıcının yükleme kombinasyonları | 37 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Tablo 29. | Güncel standartlara göre 1. tip ana taşıyıcıda meydana gelen iç kuvvetler | 38 |
| Tablo 30. | Elastik-elastik denetleme metodu maksimum dizayn değerleri | 38 |
| Tablo 31. | Güncel standartlara göre 1. tip ana taşıyıcının burkulma analizi sonuçları | 30 |
| Tablo 32. | Güncel standartlara göre 1. tip ana taşıyıcının yanal burkulma analizi sonuçları | 40 |
| Tablo 33. | Tali taşıyıcıların mesnet reaksiyonları | 41 |
| Tablo 34. | Yükleme durumları ve tekil yükler | 41 |
| Tablo 35. | 1. tip ana taşıyıcının yükleme grupları | 42 |
| Tablo 36. | 1. tip ana taşıyıcının yükleme kombinasyonları | 42 |
| Tablo 37. | 1. tip ana taşıyıcıda meydana gelen iç kuvvetler | 43 |
| Tablo 38. | Elastik-elastik denetleme metodu maksimum dizayn değerleri | 43 |
| Tablo 39. | 1. tip ana taşıyıcının burkulma analizi sonuçları | 40 |
| Tablo 40. | 1. tip ana taşıyıcının yanal burkulma analizi sonuçları | 45 |
| Tablo 41. | Güncel standartlara göre 2. tip ana taşıyıcıda meydana gelen iç kuvvetler | 47 |
| Tablo 42. | Elastik-elastik denetleme metodu maksimum dizayn değerleri | 47 |
| Tablo 43. | Güncel standartlara göre 2. tip ana taşıyıcının burkulma analizi sonuçları | 48 |
| Tablo 44. | Güncel standartlara göre 2. tip ana taşıyıcının yanal burkulma analizi sonuçları | 48 |
| Tablo 45. | 2. tip ana taşıyıcıda meydana gelen iç kuvvetler | 50 |
| Tablo 46. | Elastik-elastik denetleme metodu maksimum dizayn değerleri | 50 |
| Tablo 47. | 2. tip ana taşıyıcının burkulma analizi sonuçları | 51 |
| Tablo 48. | 2. tip ana taşıyıcının yanal burkulma analizi sonuçları | 51 |
| Tablo 49. | Tali taşıyıcılarda meydana gelen iç kuvvetler | 52 |
| Tablo 50. | Tali taşıyıcılarda meydana gelen iç kuvvetlerin karşılaştırılması | 53 |
| Tablo 51. | Birinci tip ana taşıyıcıda meydana gelen iç kuvvetler | 53 |
| Tablo 52. | Birinci tip ana taşıyıcıda meydana gelen iç kuvvetlerin karşılaştırılması | 53 |
| Tablo 53. | İkinci tip ana taşıyıcıda meydana gelen iç kuvvetler | 53 |
| Tablo 54. | İkinci tip ana taşıyıcıda meydana gelen iç kuvvetlerin karşılaştırılması | 54 |
| Tablo 55. | Deformasyonların karşılaştırılması | 54 |
| Tablo 56. | Elastik-plastik metoda göre gerilme analizi sonuçları | 54 |
| Tablo 57. | Burkulma analizi sonuçları | 54 |
| Tablo 58. | Yanal burkulma analizi sonuçları | 54 |

SEMBOLLER DİZİNİ

| | |
|--------------|--|
| A | : Çelik profil enkesit alanı, cm^2 |
| a | : Kaynak kalınlığı, mm |
| A_w | : Kaynak alanı, cm^2 |
| b | : Yapının genişliği, m |
| c_{pe} | : Aerodinamik dış basınç katsayısı |
| c_{pi} | : Aerodinamik iç basınç katsayısı |
| d | : Yapının uzunluğu, m |
| $f_{y,d}$ | : Çelik malzemenin akma dayanımı, kN/cm^2 |
| h | : Kolon yüksekliği, m |
| H_1 | : Birinci diyagonale gelen normal kuvvet yatay bileşeni, kN |
| H_2 | : İkinci diyagonale gelen normal kuvvet yatay bileşeni, kN |
| I_w | : Kesit atalet momenti, cm^4 |
| k_s | : İndirgeme faktörü |
| l | : Kaynak uzunluğu, mm |
| $M_{pl,y,d}$ | : Eğilme momenti plastik limit değeri, kNcm |
| M_y | : Eğilme momenti, kNcm |
| N | : Normal kuvvet, kN |
| $N_{1,d}$ | : Birinci diyagonal üzerine gelen normal kuvvet, kN |
| $N_{2,d}$ | : İkinci diyagonal üzerine gelen normal kuvvet, kN |
| $N_{pl,d}$ | : Normal kuvvet plastik limit değeri, kN |
| q | : Yapı yüksekliğine göre etkiyen bileşik basınç, kN/m^2 |
| q_{ref} | : Referans basınç değeri, kN/m^2 |
| s | : Profil gövde kalınlığı, mm |
| \hat{s} | : 1 m^2 'ye düşen kar yükü, kN/m^2 |
| s_0 | : Kar yükü, kN/m^2 |
| s_k | : Karakteristik kar yükü değeri, kN/m^2 |
| t | : Levha kalınlığı, mm |
| t_{min} | : En küçük levha kalınlığı, mm |
| u | : Deformasyon, mm |
| V_1 | : Birinci diyagonale gelen normal kuvvet dikey bileşeni, kN |

| | |
|------------------|--|
| V_2 | : İkinci diyagonale gelen normal kuvvet dikey bileşeni, kN |
| $V_{pl,z,d}$ | : Kesme kuvveti plastik limit değeri, kN |
| V_z | : Kesme kuvveti, kN |
| w_e | : Dış basınç, kN/m^2 |
| $w_{e,10}$ | : Rüzgar basınç değeri, kN/m^2 |
| w_i | : İç basınç, kN/m^2 |
| α | : Diyagonal ile alt kiriş arasındaki açı |
| γ_M | : Emniyet katsayısı |
| κ | : İndirgeme faktörü |
| ρ | : Özgül Ağırlık, kN/m^3 |
| σ | : Normal gerilme, kN/cm^2 |
| $\sigma_{w,R,d}$ | : Kaynak limit gerilmesi, kN/cm^2 |
| τ | : Kayma gerilmesi, kN/cm^2 |
| u_{ref} | : Referans rüzgar hızı, m/s |

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Betonarme veya ahşap ile geçilemeyen açıklıklar, kesitlerinin küçük olması ve buna bağlı olarak ağırlığının az olması nedeniyle çelik ile rahatlıkla geçilebilir. Beton ve ahşaba göre daha homojen ve izotrop olan çelik malzeme ile yapılmış yapılar diğer sistemlere göre daha sünektir. Yüksek mukavemetli ve hafif bir malzeme olan çelikle birlikte daha küçük kesitlerle daha büyük yüklerin taşınması sağlanır.

Depremlere karşı gösterdiği yüksek dayanım gücü, fabrikasyon olanaklarının gelişmesi ve montajının hızlı olması çeliğin günümüzde daha yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. İskele gereksimi duyulmadan montaj yapılabilen, yapının sökülmesi gerektiğinde hızlıca sökülebilen ve az bir kayıpla tekrar kullanılabilen çelik, yapı bakım ve onarımı açısından da avantajlı bir malzemedir.

1.2. Çelik Yapıların Tarihçesi

Demir ve çelik insanlık tarihinde çok eski devirlerden beri bilinmekle beraber, geniş ölçüde üretilmediği için, iki yüzyıl öncesine kadar sadece silah ve eşya yapımında kullanılmıştır. Ahşap ve kargir yol köprülerinin tarihçesi 2500 yıl öncesine kadar gitmektedir. Demir malzemenin mühendislik yapılarında kullanılması ise iki yüzyıl öncesine dayanır [1].

Demirin yapı malzemesi olarak kullanabilme olanağı 18. yüzyılda İngiltere’de yüksek fırın yöntemiyle geniş ölçüde ham demir ve font (pik) üretiminin başlaması sonucunda ortaya çıkmıştır. Demir malzemesi kullanılarak inşa edilen ilk mühendislik yapıları köprülerdir. Font kullanılarak inşa edilen yol köprüleri de vardır ve günümüzde hala kullanılmaktadır. Kargir gibi fontunda basınç mukavemetinin yüksek olmasına karşın çekme mukavemeti az olduğundan, ilk köprüler ile daha sonra inşa edilen köprüler, kemer tarzında yapılmıştır. Font kemer köprülerin dönemi yaklaşık olarak 1875 yılında kapanmıştır. Bunun nedeni ise, çekme mukavemeti büyük olan ve mühendislere yeni

olanaklar sağlayan dövme çeliğin, daha sonrada dökme çeliğin yapı malzemesi piyasasına çıkmasıdır [1].

1784 yılından itibaren İngiltere’de, 1824 yılından itibaren de Almanya’da pudralama fırını metodu ile dövme çelik üretimi sağlanmış ve dövme çelikler kullanılarak dolu gövdeli ana kirişli, kafes ana kirişli köprülerin yapımına başlanmıştır. Dövme çelik üretiminden sonra ilk asma köprüler yapılmaya başlanmıştır [1].

Bessemer, Siemens-Martin ve Thomas yöntemlerinin bulunmasıyla ham demirin sıvı halindeyken arıtılması sağlanabilmiş ve geniş ölçüde dökme çelik olanağı ortaya çıkmıştır. Dökme çelik üretimin artması ise 20. yüzyılın başlarından itibaren kullanılan elektrik fırınları ile olmuştur. Dökme çelik üretimi arttıktan sonra dövme çelik yerini tamamen dökme çeliğe bırakmıştır. Dökme çeliklerin kullanılmaya başlanmasıyla da modern çelik yapı tekniği ortaya çıkmış ve bu alanda büyük ilerlemeler meydana gelmiştir. Günümüzde kullanılan çelikler de dökme çeliklerdir [1].

Kaynaklı birleşimler, 20. yüzyılın başlarından itibaren, ilk önce yüksek yapılarda (çelik karkas yapılar, hal yapıları) kullanılmaya başlanmıştır. II. Dünya harbini takip eden yıllarda ise kaynaklı birleşimler köprü yapımında kullanılmaya başlanmıştır. Bu suretle bugünkü modern çelik konstrüksiyon anlayışı ortaya çıkmıştır. Günümüzde bir çelik konstrüksiyon kısımları, ulaşım olanaklarına bağlı olarak, olabildiğince büyük parçalar halinde, kaynaklı birleşim yapmak suretiyle hazırlanır. Bu kısımlar şantiyelerde genellikle bulonlu (civatalı) montaj birleşimleriyle birleştirilerek çelik konstrüksiyonlar hazırlanır. Perçinli birleşimler ise günümüzde artık kullanılmamakla beraber, eskiden yapılmış olan perçinli birleşimler için yeni yüklere göre tahkiki ve gerektiğinde takviyesi yapılmaktadır [1].

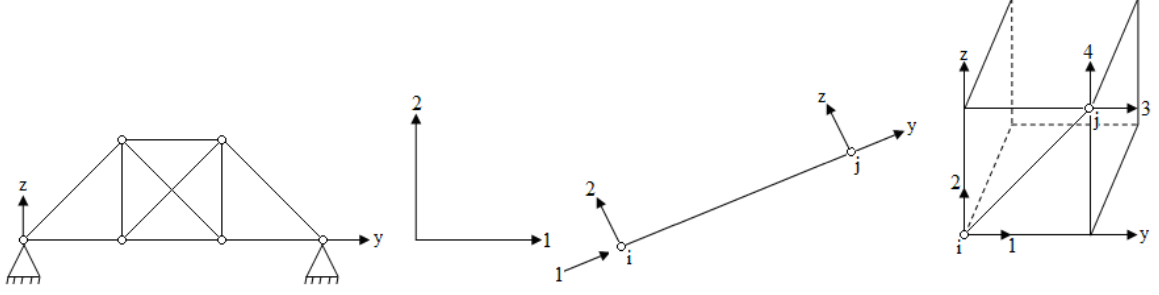
1.3. Kafes Sistemlerin Analizi

1.3.1. Matris Deplasman Yöntemi

1.3.1.1. Düzlem Kafes Sistemler

Taşıyıcı sistemin YZ düzleminde bulunduğu ve kuvvetlerin bu düzlem içinde etkiği kabul edilen kafes sistemlerde bütün çubuklar birbirine mafsallı olarak bağlıdır. Her düğüm noktasında biri yatay diğer dişey yer değiştirme olmak üzere iki serbestlik

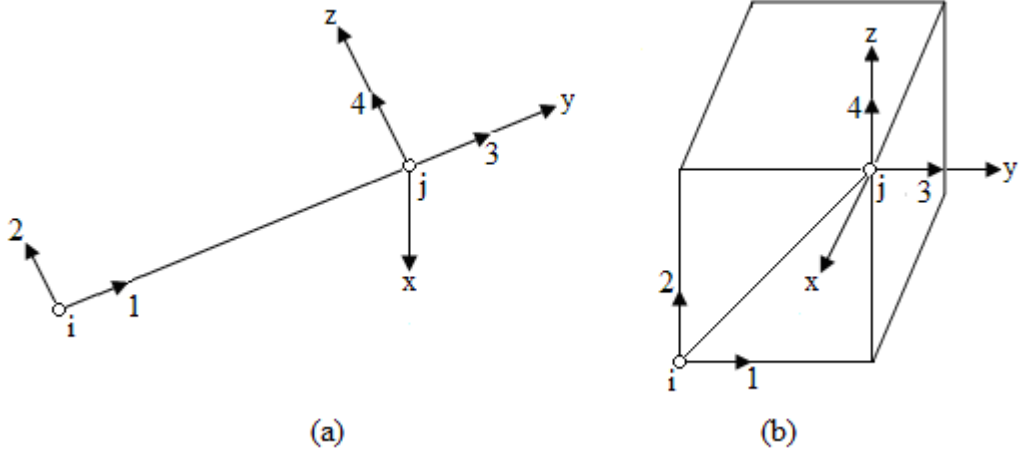
derecesi vardır (Şekil 1). Sistemin dış yükleri hem düğüm noktalarına hem de çubuk üzerine etkiyebilir. Üzerinde yük olmayan çubuklarda sadece aksenal kuvvet, üzerinde yük olan çubuklarda aksenal kuvvete ilaveten eğilme momentleri doğar. Çubukların rijitlik matrisleri (4x4) boyutundadır.



Şekil 1. Düzlem kafes sistem

1.3.1.1 Çubuk Eksen Takımına Göre Rijitlik Matrisi

Çubuk eksen takımına göre rijitlik matrisleri denklem 1 ve 2'de oluşturularak Şekil 2'de çubuk eksen takımları gösterilmiştir.



Şekil 2. (a) Çubuk eksenleri ve (b) ortak eksenler

$$[k] = \begin{bmatrix} [k]_{ii} & [k]_{ij} \\ [k]_{ji} & [k]_{jj} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$[k]_{ii} = [k]_{jj} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 \\ L & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} ; [k]_{ij} = [k]_{ji} = \begin{bmatrix} -\frac{EA}{L} & 0 \\ L & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Bu ifadeye,

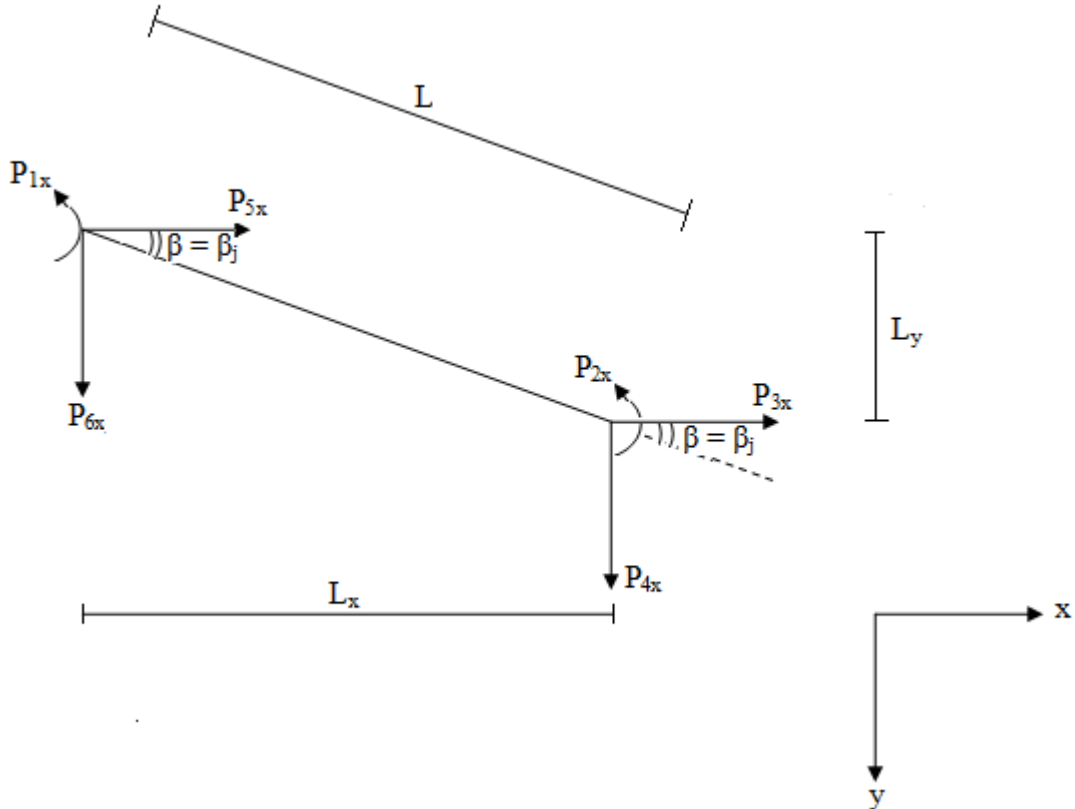
E : Elastisite modülü,

A : Enkesit alanı,

L : Çubuk boyunu göstermektedir.

1.3.1.1.2. Dönüştürme Matrisi

Çubuk özel eksenlerinin β dönme açıları Şekil 3'te görüldüğü gibi 3x ve 5x'den itibaren saat akrebi yönünde ölçülmektedir. Bu yeni durumda rijitlik matrisleri şu formu alırlar (Denklem 3-9).



Şekil 3. Çubuk eksenleri dönüşümü

$$L_x = x_j - x_i$$

$$L_y = y_j - y_i$$

$$L = \sqrt{L_x^2 + L_y^2} \quad (\text{Eleman uzunluğu})$$

$$m = \frac{L_x}{L}, \quad n = \frac{L_y}{L} \quad (\text{Doğrultma kosinüsleri})$$

$$[k]_{ix\ ix} = [T]_i [k]_{ii} [T]_i^T \quad (3)$$

$$[k]_{ix\ jx} = [T]_i [k]_{ij} [T]_j^T \quad (4)$$

$$[k]_{jx\ ix} = [T]_j [k]_{ji} [T]_i^T \quad (5)$$

$$[k]_{jx\ jx} = [T]_j [k]_{jj} [T]_j^T \quad (6)$$

Yukarıda görüldüğü gibi çubuk eksenlerinin ortak eksenlere döndürülmesinde [T] dönüştürme matrisine gereksinim duyulur. Dönüştürme matrisi ;

$$[T]_i^{-1} = [T]_i^T \quad (7)$$

özelliğini sağlayan bir ortogonal matristir. Burada;

$$[T] = \begin{bmatrix} m & n \\ -n & m \end{bmatrix} \quad (8)$$

olarak alınır. Sonuç olarak,

$$[k]_{ix\ ix} = [k]_{jx\ jx} = -[k]_{ix\ jx} = -[k]_{jx\ ix} = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} m^2 & mn \\ mn & n^2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

elde edilir.

1.3.1.1.3. Sistem Rijitlik Matrisinin Tayini

Çubuk rijitlik matrisi elde edildikten sonra, sistem rijitlik matrisi [K] tayin edilir. Düğüm noktalarının sayısı n olduğunu göre, [K] matrisi için her biri düğüm noktasına ait olmak üzere n tane satır n tane de sütun ayrılır. Ancak her satır ve sütun kendisine ait olan düğüm noktasındaki yer değiştirme bileşenleri sayısına eşit sayıda alt satır ve sütundan oluşmaktadır.

Her eleman teker teker alınır, düğüm noktalarındaki ortak koordinat sistemlerine ait daha önce tayin edilen rijitlik matrisleri ilk indisleri satıra ikinci indisleri de sütuna gelecek şekilde [K] matrisindeki yerlerine yerleştirilir. [K] matrisindeki bir yere, birkaç elemandan rijitlik matrisi gelmesi halinde bu matrisler toplanır. Bu şekilde bütün elemanlar sıra ile elden geçirildikten sonra [K] matrisi elde edilmiş olur.

1.3.1.1.4.Yükleme Matrisinin Tayini

[P_o] yükleme matrisi için bir sütun ve her biri bir düğüm noktasına ait olmak üzere n tane satır ayrılır. Ancak her satır kendisine ait olan düğüm noktasındaki yer değiştirme bileşenlerinin sayısına eşit sayıda alt satırdan oluşmaktadır. Her eleman teker teker alınırken düğüm noktalarındaki ortak koordinat sistemlerine ait yükleme matrisleri tayin edilir ve bunların her biri kendisine ait olan satıra yerleştirilir. Bir yere birkaç elemandan gelen matrisler toplanır. Bütün elemanlar sırayla elden geçirildikten sonra [P_o] sütun matrisi elde edilmiş olur.

1.3.2.Statik Analiz Formülasyonu

$$\{F\}=[K]\{U\} \quad (10)$$

Bu denklemden,

{F}: Dış yüklerden dolayı oluşan sistem eksen takımındaki yük vektörünü,

[K]: Sistem eksen takımındaki sistem rijitlik matrisini,

{U}: Sistem eksen takımında eleman uç yer değiştirme vektörünü,

göstermektedir.

(10) denkleminde yer değiştirmeler bulunduktan sonra;

$$\{f\}=[k]\{u\} \quad (11)$$

denkleminde eleman çubuk kuvvetleri bulunur. Bu denkleminde;

$\{f\}$: Eleman eksen takımındaki eleman uç kuvvetleri vektörünü,

$[k]$: Eleman eksen takımındaki eleman rijitlik matrisini,

$\{u\}$: Eleman eksen takımındaki yer değiştirme vektörünü,

göstermektedir.

1.4. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, çelik konstrüksiyon olarak imal edilen bir yük garının çatısında meydana gelen çatlaklardan dolayı statik hesaplanmasının kontrol edilmesi ve çatlakların oluşma nedenlerinin araştırılmasıdır.

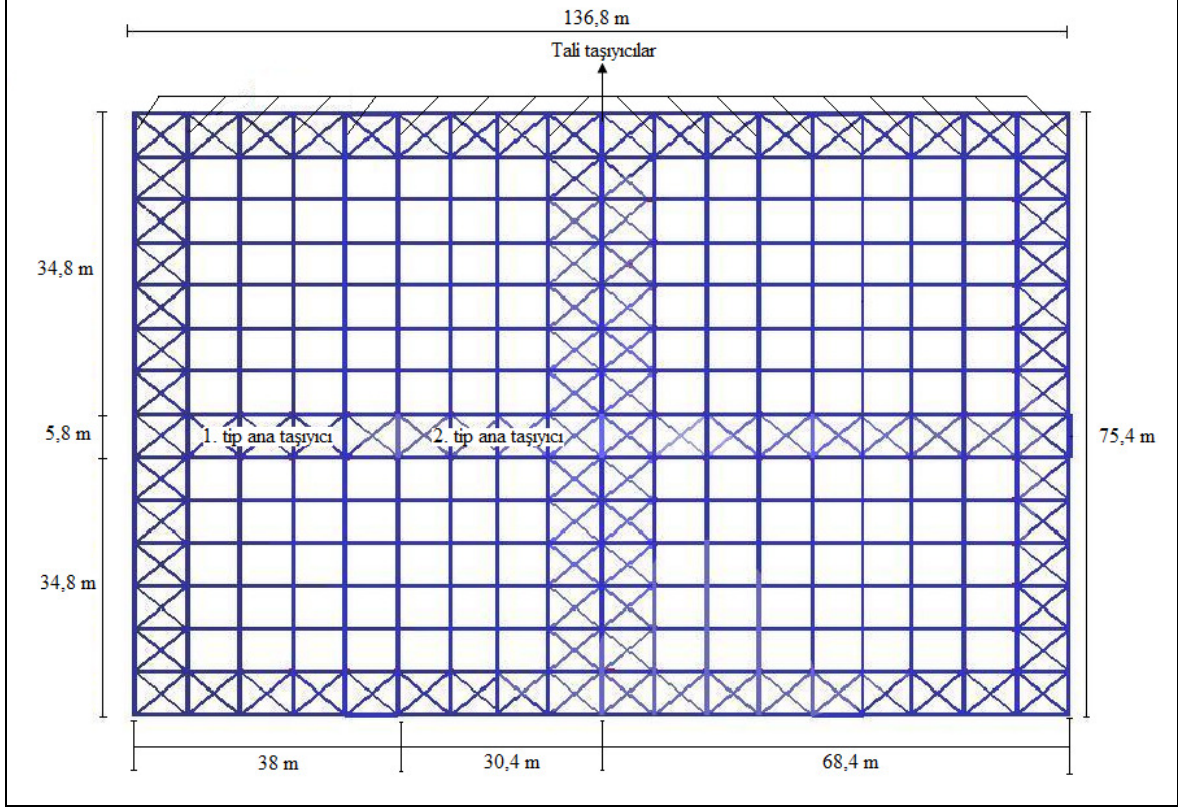
Yapının çatısında meydana gelen çatlakların, ana taşıyıcıların veya tali taşıyıcıların elemanlarının tasarımından mı yoksa taşıyıcıların düğüm noktalarının güvenli bir şekilde projelendirilmediğinden mi meydana geldiği, cevaplanması gereken en önemli sorudur.

Çatlaklar, taşıyıcı elemanların proje hatasından dolayı meydana gelmiş ise yeni bir çatı tasarımının yapılması uygun görülebilir. Çatlakların sadece düğüm noktalarının yetersiz oluşundan meydana geldiği tespit edilirse, düğüm noktaları için yeni öneriler sunulacak, yapı çatısının şekli ise korunacaktır.

Tez çalışmasına konu olan yük garı simetrik olarak yapılmış olup yapıdaki geniş açıklıklar ve yapı üzerine gelen büyük yüklerden dolayı, yapı çelik konstrüksiyon olarak projelendirilmiştir. Yapının uzunluğu 137 m, genişliği ise 76 m'dir. Yapıdaki kolon yükseklikleri 11 m olup, yapı 10412 m²'lik alan üzerine kurulmuştur. Yapının çatısı 5%'den küçük bir eğimle inşa edilmiştir.

Yapı çatısında iki ayrı tip ana taşıyıcı kullanılmıştır. Birinci tip ana taşıyıcı, dış kolondan başlayıp ikinci tip ana taşıyıcıya kadar devam eder ve 37,8 m açıklığa sahiptir. İkinci tip ana taşıyıcının açıklığı ise 30,4 m'dir. Tali taşıyıcılar, ana taşıyıcıların her iki tarafına mesnetlenmiştir. Tali taşıyıcılar arasındaki mesafe 7,6 m'dir. Yapıda toplam 40 tali

taşıyıcı bulunmaktadır. Yapı simetrik olarak inşa edildiğinden tali taşıyıcıların 20 tanesi ana taşıyıcıların sağ tarafında diğer 20 tanesi ise sol tarafında yer almaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Yapının üstten görünüşü

Çalışma içinde yapının yapıldığı dönemdeki standartlara göre çözümün yanı sıra, yenilenen günümüz standartları ile çözümün yapılmasına yer verilecektir. Bu şekilde iki ayrı standardın karşılaştırılması yapılmış olacaktır.

Çalışmanın kapsamı bir yük garının statik denetlenmesiyle sınırlıdır. Meydana gelen çatlaklar, yapının çatısındaki ana ve tali taşıyıcıların alt başlık bölgesinde olduğu tespit edildiğinden, çalışma bu taşıyıcıların denetlenmesi üzerine yapılacaktır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yeterli rijitliğe ve mekanik dayanıma sahip olması gereken çelik yapılar, beklenen kullanımlarına uygun ve stabil olmalıdırlar. Yapının stabil olması durumu ise yeterli yük taşıma kapasitesine ve statik olarak dengede olmasına bağlıdır. Bu açıklamalardan hareketle, bu bölümde tali taşıyıcıların ve ana taşıyıcıların yapının yapılmış olduğu zamanda kullanılan eski standartlara göre ve güncel standartlara göre ayrı ayrı statik hesaplamaları yapılacak ve sonuçların birbiri ile karşılaştırılması yer alacaktır.

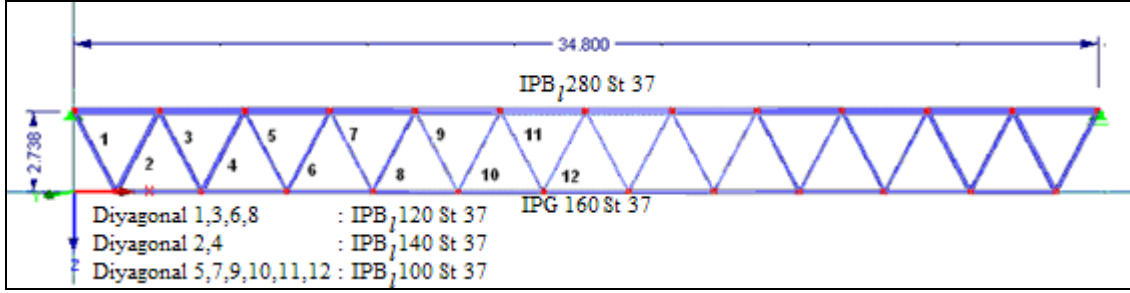
Bir mühendislik yapısının tasarımında yapılması gereken ilk işlem, yapıya etkiyebilecek muhtemel yüklerin hesaplanmasıdır. Bu yükler sabit yükler ve hareketli yükler olmak üzere iki ana grupta incelenir.

2.1. Sabit Yüklerin Hesaplanması

Ölü yük olarak da bilinen sabit yükler, yapının ömrü boyunca yapıya etkileyen yüklerdir. Bir çelik yapıda, yapıyı yağmur, kar, sıcak ve soğuk gibi etmenlerden koruyan çatının, modelleme açısından önemi büyüktür. Bu yüzden çatıdaki yükler, ana ve tali taşıyıcılar için ayrı ayrı irdelenecektir.

2.1.1. Tali Taşıyıcılardaki Öz Ağırlık

Öz ağırlık, yapıyı meydana getiren elemanların hacim ve özgül ağırlıklarından hareketle hesaplanır. Yapının tümünde kullanılan çeliğin özgül ağırlığı $78,5 \text{ kN/m}^3$ 'tür. Tali taşıyıcıların üst başlığında IPB₇ 280 St 37 profili, alt başlığında IPG 160 St 37 profili kullanılmıştır. Üst başlık ile alt başlık arasındaki diyagonaller ise IPB₇ 100 St 37, IPB₇ 120 St 37 ve IPB₇ 140 St 37 profilleri ile meydana getirilmiştir. Tali taşıyıcının görünümü Şekil 5'deki gibi olup, tali taşıyıcılarda kullanılan profillerin enkesit özellikleri Tablo 1 yardımıyla açıklanmıştır.



Şekil 5. Tali taşıyıcının görünümü

Tablo 1. Tali taşıyıcılarda kullanılan profillerin enkesit özellikleri [1]

| Kesit | Çeliğin özgül ağırlığı (kN/m ³) | Enkesit alanı (cm ²) |
|--------------|---|----------------------------------|
| Üst Başlık | 78,5 | 97,26 |
| Alt Başlık | 78,5 | 54,25 |
| Diyagonaller | 78,5 | 26,00 |

Tali taşıyıcıların sabit yüklerinin hesaplanmasında çatı kaplamasının öz yükünün hesaba katılması gerekmektedir. Her bir tali taşıyıcı arasındaki mesafe projede 7,6 m olarak verilmiştir. Buradan hareketle çatı üzerindeki sabit yükler aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

Üst başlıktaki öz yük toplamı : $0,009726 \text{ m}^2 \cdot 78,5 \text{ kN/m}^3 = 0,764 \text{ kN/m}$

$0,10 \text{ kN/m}^2$ (Çatı kaplaması) + $0,25 \text{ kN/m}^2$ (Folyo) + $0,10 \text{ kN/m}^2$ (Trapez saç tabaka) = $0,45 \text{ kN/m}^2$ olarak belirlenmiştir. $0,45 \text{ kN/m}^2 \cdot 7,6 \text{ m} = 3,42 \text{ kN/m}$ olduğuna göre üst başlıktaki yükler toplamı $3,42 + 0,764 = 4,184 \text{ kN/m}$ olarak bulunur.

Alt başlıktaki yükler toplamı : $0,005425 \text{ m}^2 \cdot 78,5 \text{ kN/m}^2 = 0,426 \text{ kN/m}$

Diyagonallerin öz yük toplamı : $0,0026 \text{ m}^2 \cdot 78,5 \text{ kN/m}^2 = 0,20 \text{ kN/m}$

Tablo 2. Tali taşıyıcılardaki sabit yükler

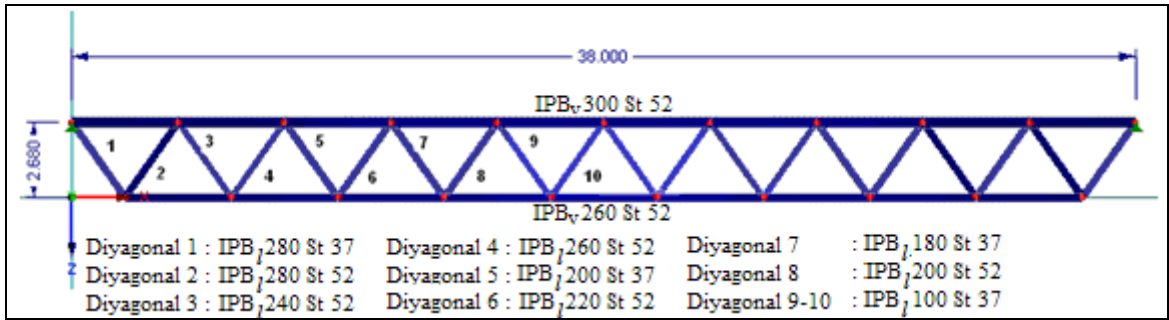
| Kesit | Sabit yükler (kN/m) |
|--------------|---------------------|
| Üst Başlık | 4,184 |
| Alt Başlık | 0,426 |
| Diyagonaller | 0,20 |

2.1.2. Ana Taşıyıcılardaki Öz Ağırlık

Yapıda iki farklı çeşit ana taşıyıcı bulunmaktadır. Birinci tip ana taşıyıcının uzunluğu 38 m olup, ikinci tip ana taşıyıcı 30,4 m'dir. Bu bölümde ana taşıyıcılardaki yükler birinci ve ikinci tip taşıyıcılar için ayrı ayrı irdelenecektir.

2.1.2.1. Birinci Tip Ana Taşıyıcıdaki Öz Ağırlık

Birinci tip ana taşıyıcının üst başlığında IPB_v 300 St 52JR profili, alt başlığında IPB_v 260 St 52JR profili kullanılmıştır. Üst başlık ile alt başlık arasındaki diyagonaller ise IPB_i 280 St 37, IPB_i 240 St 52JR, IPB_i 260 St 52JR, IPB_i 220 St 52JR, IPB_i 180 St 37, IPB_i 100 St 37 ve IPB_i 200 St 37 profilleri ile meydana getirilmiştir. Birinci tip ana taşıyıcının görünümü Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 6. Birinci tip ana taşıyıcının görünümü

Tablo 3. Birinci tip ana taşıyıcıda kullanılan profillerin enkesit özellikleri [1]

| Kesit | Çeliğin özgül ağırlığı (kN/m ³) | Enkesit alanı (cm ²) |
|--------------|---|----------------------------------|
| Üst Başlık | 78,5 | 303,1 |
| Alt Başlık | 78,5 | 219,6 |
| Diyagonaller | 78,5 | 57,32 |

Üst başlıktaki öz yük toplamı : $0,03031 \text{ m}^2 \cdot 78,5 \text{ kN/m}^3 = 2,379 \text{ kN/m}$

$0,10 \text{ kN/m}^2$ (Çatı kaplaması) + $0,25 \text{ kN/m}^2$ (Folyo) + $0,10 \text{ kN/m}^2$ (Trapez saç tabaka) = $0,45 \text{ kN/m}^2$ olarak belirlenmiştir.

$0,45 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,8 \text{ m} = 2,61 \text{ kN/m}$ olduğuna göre üst başlıktaki yükler toplamı $2,61+2,379 = 4,989 \text{ kN/m}$ olarak bulunur.

Alt başlıktaki yükler toplamı : $0,02196 \text{ m}^2 \cdot 78,5 \text{ kN/m}^2 = 1,723 \text{ kN/m}$

Diyagonallerin öz yük toplamı : $0,005732 \text{ m}^2 \cdot 78,5 \text{ kN/m}^2 = 0,45 \text{ kN/m}$

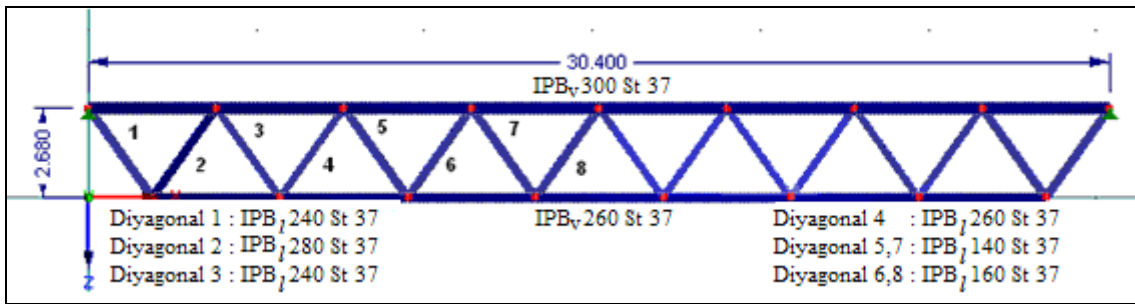
Tablo 4. Birinci tip ana taşıyıcıdaki sabit yükler

| Kesit | Sabit yükler (kN/m) |
|--------------|---------------------|
| Üst Başlık | 4,989 |
| Alt Başlık | 1,723 |
| Diyagonaller | 0,45 |

Birinci tip ana taşıyıcının statik hesabında sabit yüklere ek olarak, tali taşıyıcılardan gelen yükler de tekil yük olarak her bir yükleme durumu için ayrı ayrı hesaba katılacaktır.

2.1.2.2. İkinci Tip Ana Taşıyıcıdaki Öz Ağırlık

İkinci tip ana taşıyıcının üst başlığında $IPB_v, 300 \text{ St } 37$ profili, alt başlığında $IPB_v, 260 \text{ St } 37$ profili kullanılmıştır. Üst başlık ile alt başlık arasındaki diyagonaller ise $IPB_l, 280 \text{ St } 37$, $IPB_l, 240 \text{ St } 37$, $IPB_l, 260 \text{ St } 37$, $IPB_l, 140 \text{ St } 37$ ve $IPB_l, 160 \text{ St } 37$ profilleri ile meydana getirilmiştir.



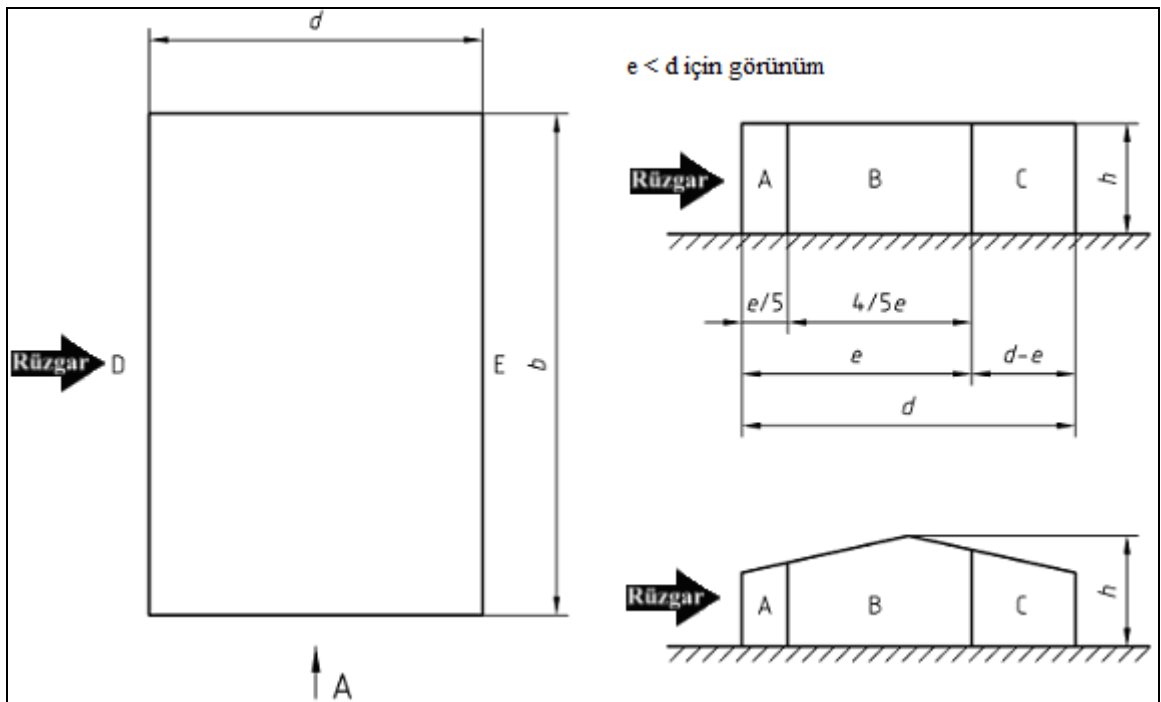
Şekil 7. İkinci tip ana taşıyıcının görünümü

2.2. Hareketli Yüklerin Hesaplanması

2.2.1. Kar Yüğü (DIN 1055 Kısım 5, 07.2005)

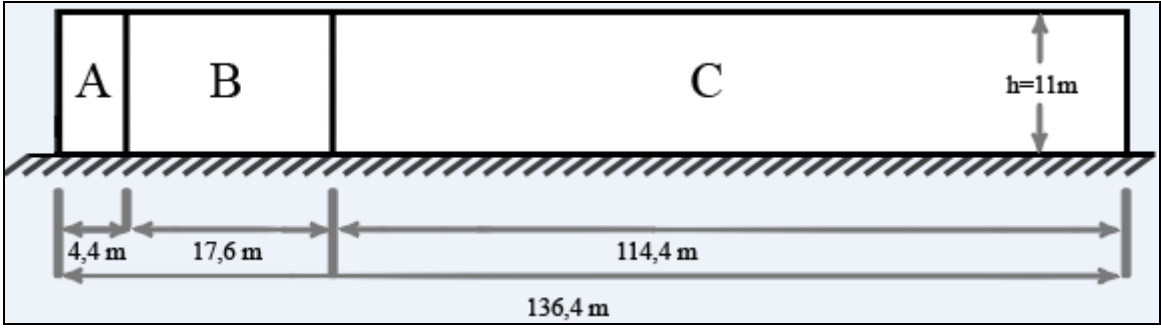
2.2.3. Rüzgar Yüğü (DIN 1055 Kısım 4, 03.2005)

2005 yılı DIN 1055 Kısım 4'e göre yapı rüzgar yüğü bölgeleri bakımından 1. bölgede olduğu için işlemler 1. bölgeye göre yapılacaktır. Referans rüzgar hızı 22,5 m/s, rüzgar basıncı ise $0,32 \text{ kN/m}^2$ olarak alınacaktır [2]. Rüzgar yüğü hesapları yapının her iki cephesi için ayrı ayrı hesaba katılacak olup, A cephesi ve B cephesi olarak ayrı ayrı irdelenecektir. Daha önce de belirtilmiş olduğu üzere yapının yüksekliği 11 m olup, bu değer için verilen en yüksek rüzgar basıncı $0,65 \text{ kN/m}^2$ dir [2].



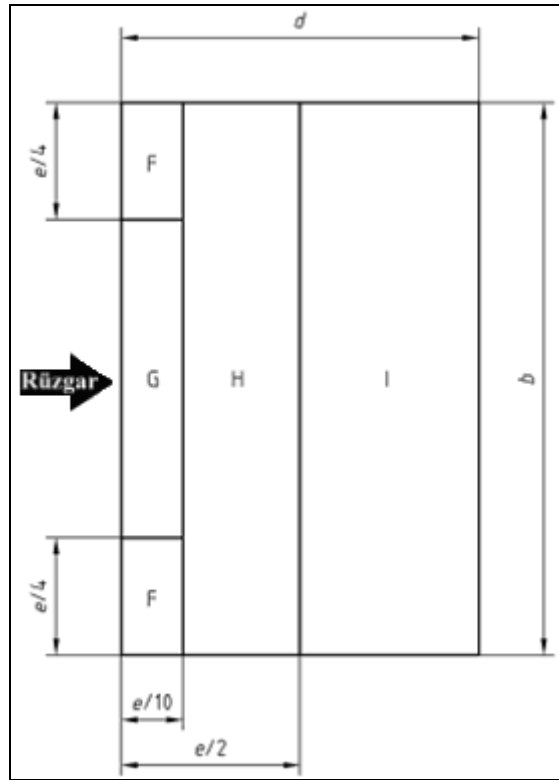
Şekil 9. Plan görünüşü [2]

Yukarıdaki şekildeki değerler yapı için $d=136,4 \text{ m}$, $b=75,4 \text{ m}$, $h=11 \text{ m}$ 'dir. e değeri h değerinin iki katına eşit olup 22 m 'dir. Bu durumda $e < d$ olacağından, buna uygun veriler standartlardan alınarak işlemler yapılacaktır.



Şekil 10. Yük garının A cephesinden görünüşü

Yük garındaki tüm alanlar 10 m^2 'den büyük olduğundan, iç basınçlar hesaba katılmayacaktır. Ayrıca alan = $A > 10 \text{ m}^2$ olması, duvarlar için dış basınç değerinin $c_{pe} = c_{pe,10}$ olarak ilgili standartlardan alınması anlamına gelmektedir [2].



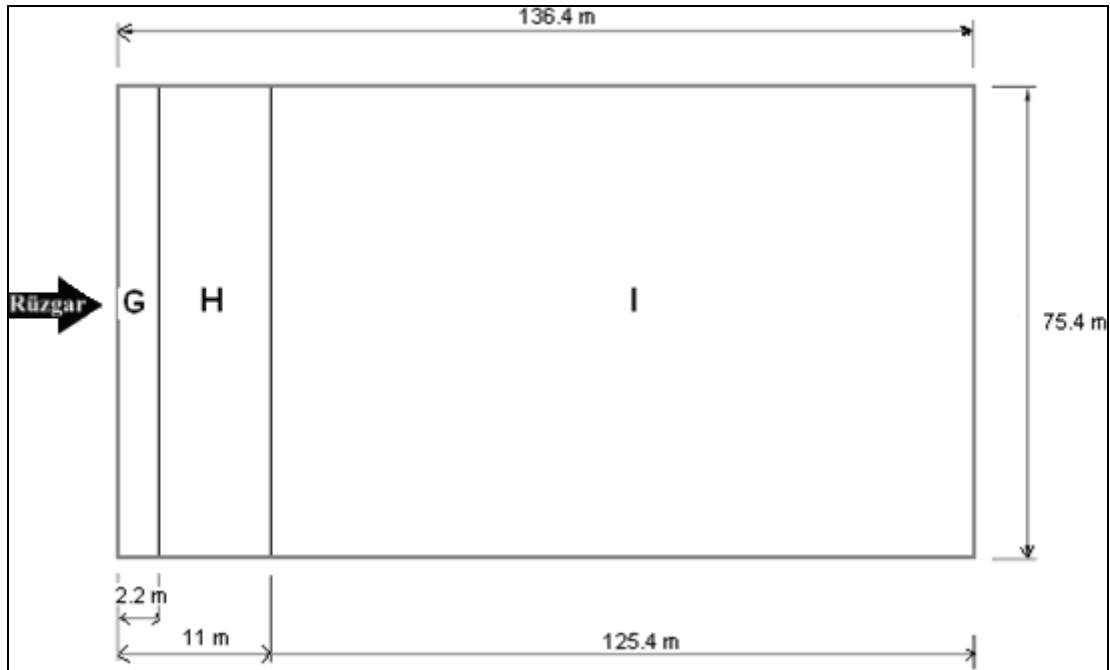
Şekil 11. Düz çatılarda sınıflandırma (A cephesi) [2]

Düz çatıların sınıflandırılması ilgili standarda göre F,G,H ve I bölümlerinden oluşur. Yapının ebatları A cephesi yönünden $h=11 \text{ m}$, $d=136,4 \text{ m}$, $e=22 \text{ m}$ ve $b=75,4 \text{ m}$ 'dir.

$h/d < 0,1$ olduğundan F bölümü hesaba katılmayacaktır. Buna göre yapı çatısının bölümleri Şekil 12’de görüldüğü gibi olacaktır.

Tablo 5. Yapının duvarları için dış basınç katsayıları [2]

| Alan | $h/d \leq 0,25$ | $C_{pe,10}$ |
|------|-----------------|-------------|
| A | | -1,2 |
| B | | -0,8 |
| C | | -0,5 |
| D | | +0,7 |
| E | -0,3 | |



Şekil 12. Düz çatının bölümlendirilmesi (A cephesi)

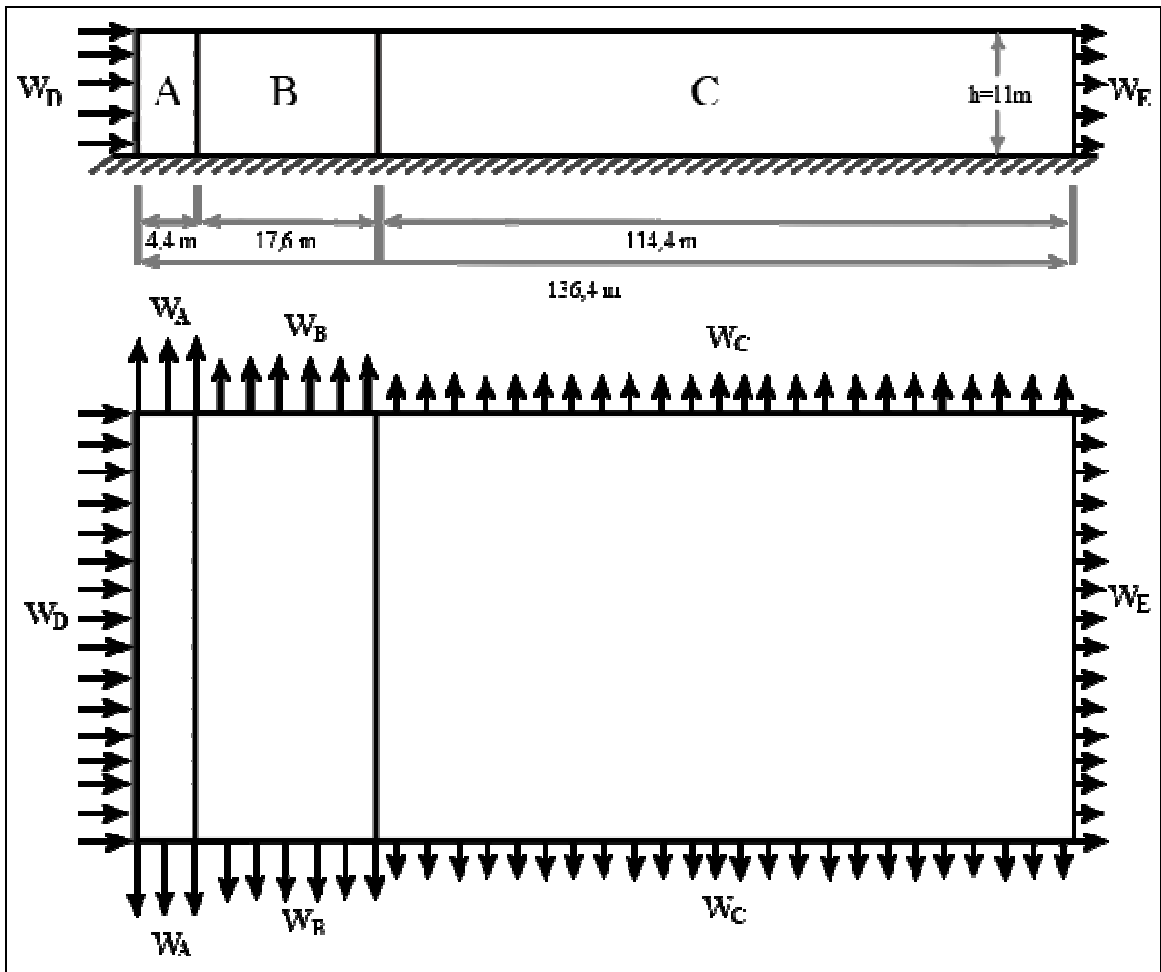
Yapının çatısı için dış basınç katsayıları ilgili standartlardan alınarak en yüksek rüzgar basıncı olan $0,65 \text{ kN/m}^2$ ile çarpılarak, A cephesi için rüzgar basınç değerleri hesaplanabilir.

Tablo 6. Yapının çatısı için dış basınç katsayıları [2]

| Alan | $C_{pe,10}$ |
|------|-------------|
| G | -1,2 |
| H | -0,7 |
| I | +0,2 |

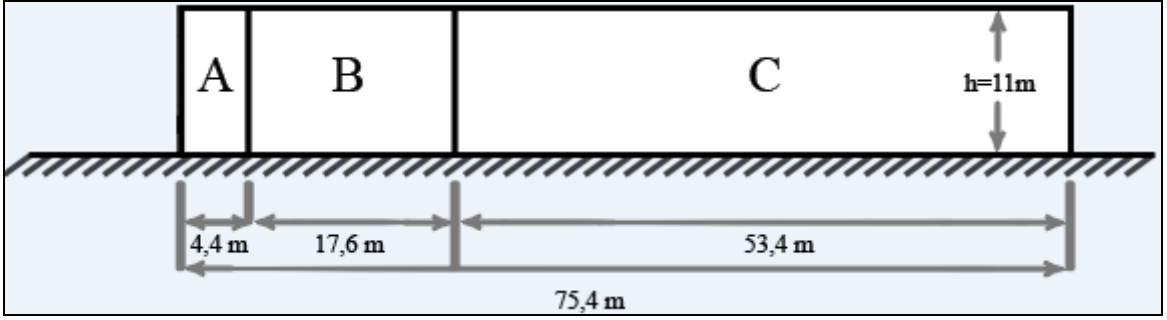
Tablo 7. A cephesi için rüzgar basınç değerleri $w_{e,10}$ (kN/m^2)

| Alan | $C_{pe,10}$ | $w_{e,10}$ |
|------|-------------|------------|
| A | -1,2 | -0,78 |
| B | -0,8 | -0,52 |
| C | -0,5 | -0,33 |
| D | +0,7 | +0,46 |
| E | -0,3 | -0,20 |
| G | -1,2 | -0,78 |
| H | -0,7 | -0,46 |
| I | +0,2 | +0,13 |



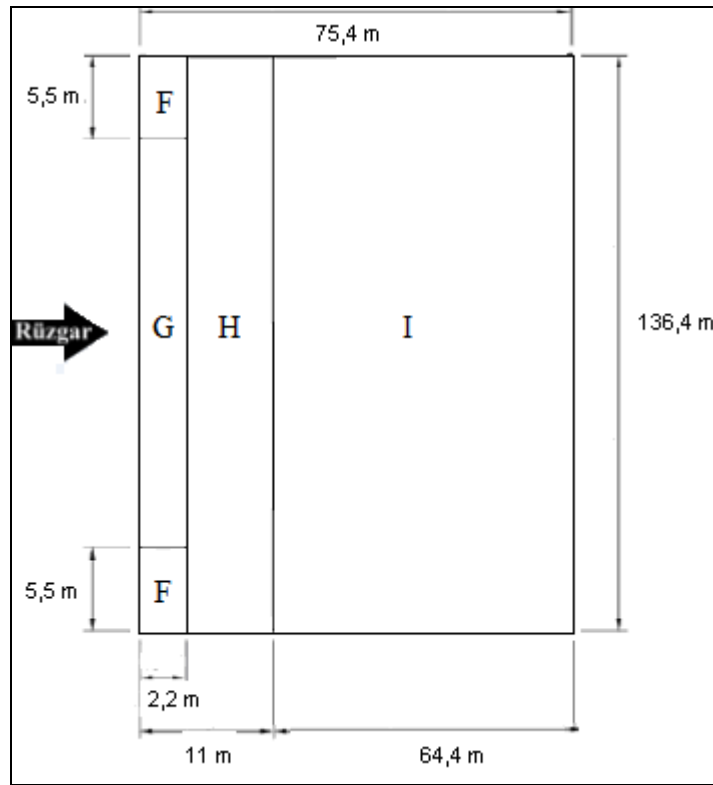
Şekil 13. Yapıya etkiyen rüzgar basıncı (A cephesi)

Yapıya A cephesinden etkiyebilecek rüzgar yüklerinin değerleri belirlendikten sonra, aynı işlemler B cephesi için yapılmalıdır. Yapının B cephesi için ebatlar; $d=75,4\text{ m}$, $b=136,4\text{ m}$, $h=11\text{ m}$ ve $e=2h=22\text{ m}$ 'dir.



Şekil 14. Yük garının B cephesinden görünüşü

Yapının ebatları B cephesinde $h/d=11 / 75,4 = 0,14 > 0,1$ olduğundan F bölümü hesaba katılacaktır. Tablo 6'da verilen değerlere ek olarak F bölümü için $c_{pe,10}$ değeri -1,8 olarak alınacaktır [2]. Buna göre yapı çatısının bölümleri Şekil 15'de görüldüğü gibi olacaktır.

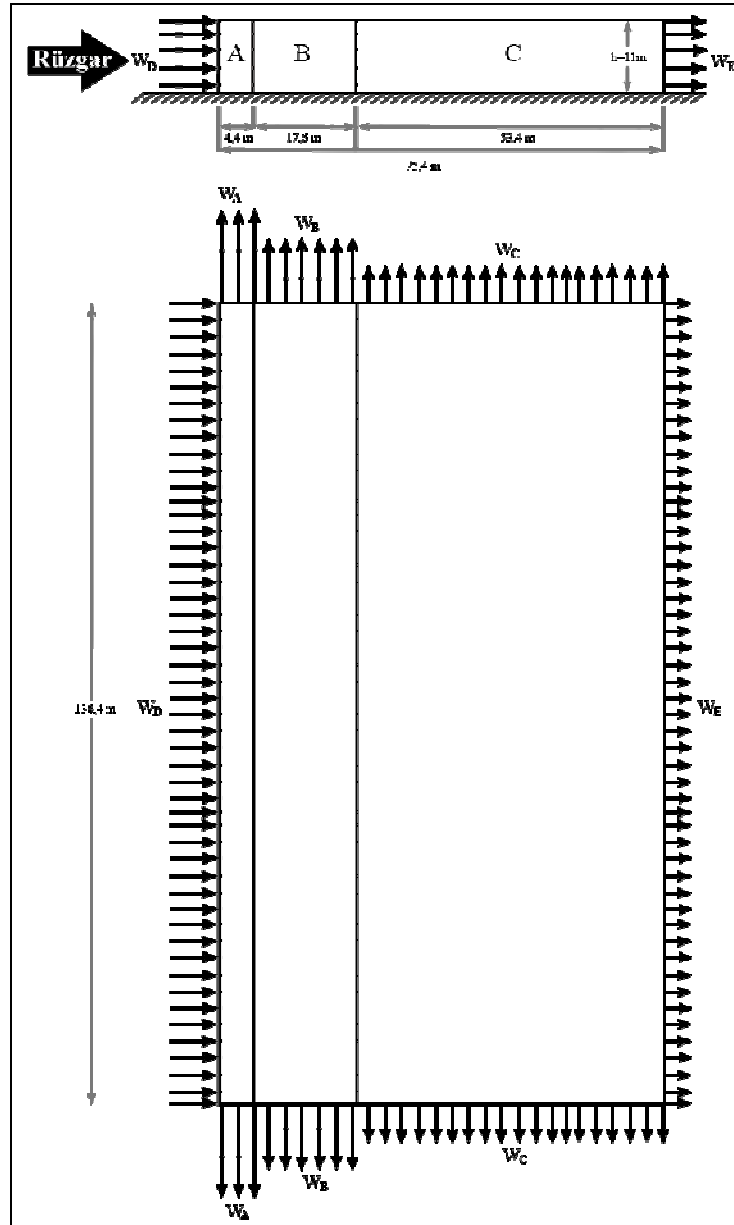


Şekil 15. Düz çatının bölümlendirilmesi (B cephesi)

Yapının B cephesine etkiyebilecek olan rüzgar basıncı Şekil 16 vasıtası ile açıklanmış olup, Tablo 8'de değerleri sunulmuştur.

Tablo 8. B cephesi için rüzgar basınç değerleri $w_{e,10}$ (kN/m²)

| Alan | $C_{pe,10}$ | $w_{e,10}$ |
|------|-------------|------------|
| A | -1,2 | -0,78 |
| B | -0,8 | -0,52 |
| C | -0,5 | -0,33 |
| D | +0,7 | +0,46 |
| E | -0,3 | -0,2 |
| F | -1,8 | -1,17 |
| G | -1,2 | -0,78 |
| H | -0,7 | -0,46 |
| I | +0,2 | +0,13 |



Şekil 16. Yapıya etkiyen rüzgar basıncı (B cephesi)

2.2.4. Rüzgar Yükü (DIN 1055 Kısım 4, 08.1986)

1986 DIN normlarına göre rüzgar yükü hesapları için bir harita oluşturulmamıştır. İlgili standartlarda yapıya uygun özellikler ve değerler seçilerek rüzgar yükü hesabı yapılacaktır. Yapının yapıldığı dönemde bu standartlar geçerli olduğundan, rüzgar yükü hesabı 1986 standartlarına uygun yapılmıştır.

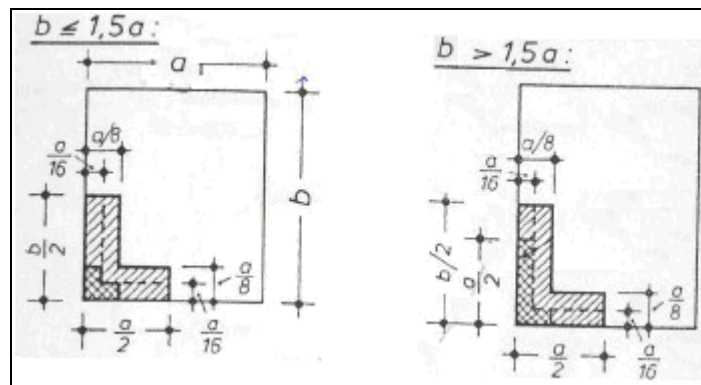
Yapı yüksekliğine göre etkiyen bileşik basınçlar ve düz çatılar için basınç katsayısı (c_p) ilgili standarttan alınarak işlemler yapılmalıdır. Yapının yüksekliği 11 m olduğundan, dolayısı 8. m yükseklikten sonra yapıya etkiyen bileşik basınçta artma meydana gelecektir. Yapı çatısının eğimi 5° 'den az olduğundan basınç katsayısı -0,6 olarak alınacaktır. Şekil 17 ile ifade edilen boyutlandırma standardı göz önüne alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 9. Yapı yüksekliğine göre etkiyen bileşik basınçlar [8]

| Yerden yükseklik (m) | q (kN/m ²) |
|----------------------|------------------------|
| $0 < h < 8$ | 0,5 |
| $8 \leq h < 20$ | 0,8 |

Tablo 10. Düz çatılar için basınç katsayısı c_p [8]

| Çatı eğimi α | c_p |
|---------------------|-------|
| $< 25^\circ$ | -0,6 |



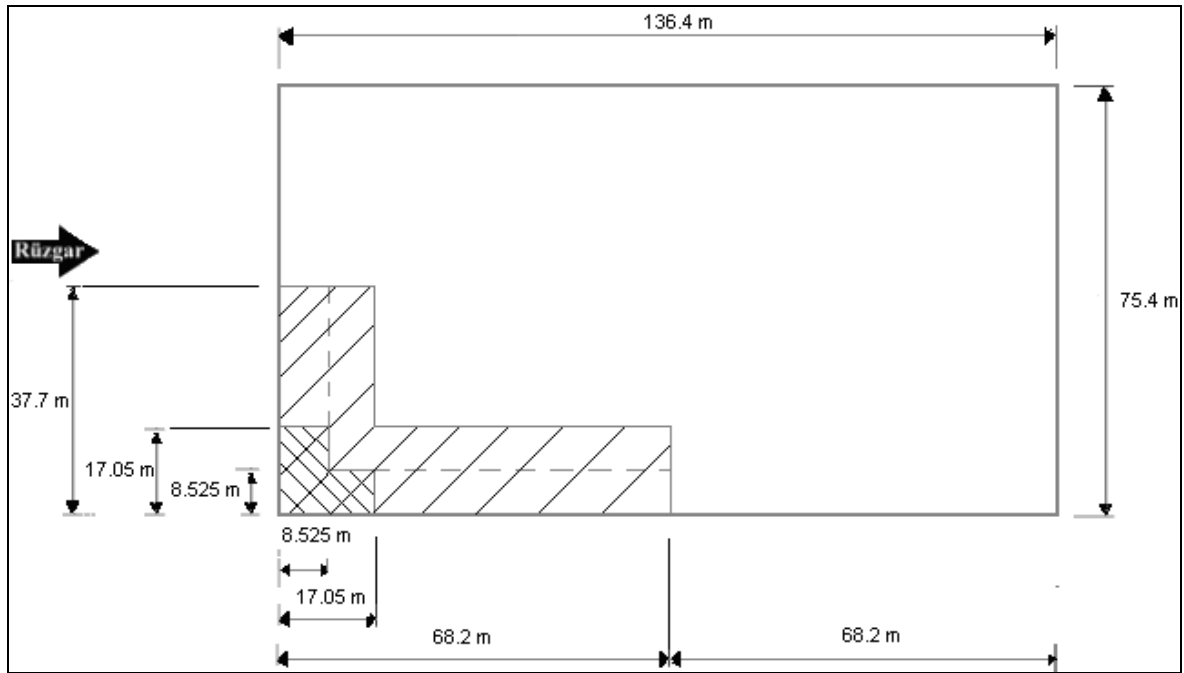
Şekil 17. Düz çatılarda boyutlandırma standardı [8]

Yapının A cephesi için boyutlar $a=136,4$ m, $b=75,4$ m ve $h= 11$ m olduğundan ilgili standarda göre $b \leq 1,5a$ seçilmelidir. Buna göre yapının çatısı için basınç katsayısı aşağıdaki tablodaki gibi olacaktır.

Tablo 11. Düz çatılar için basınç katsayısı c_p [8]

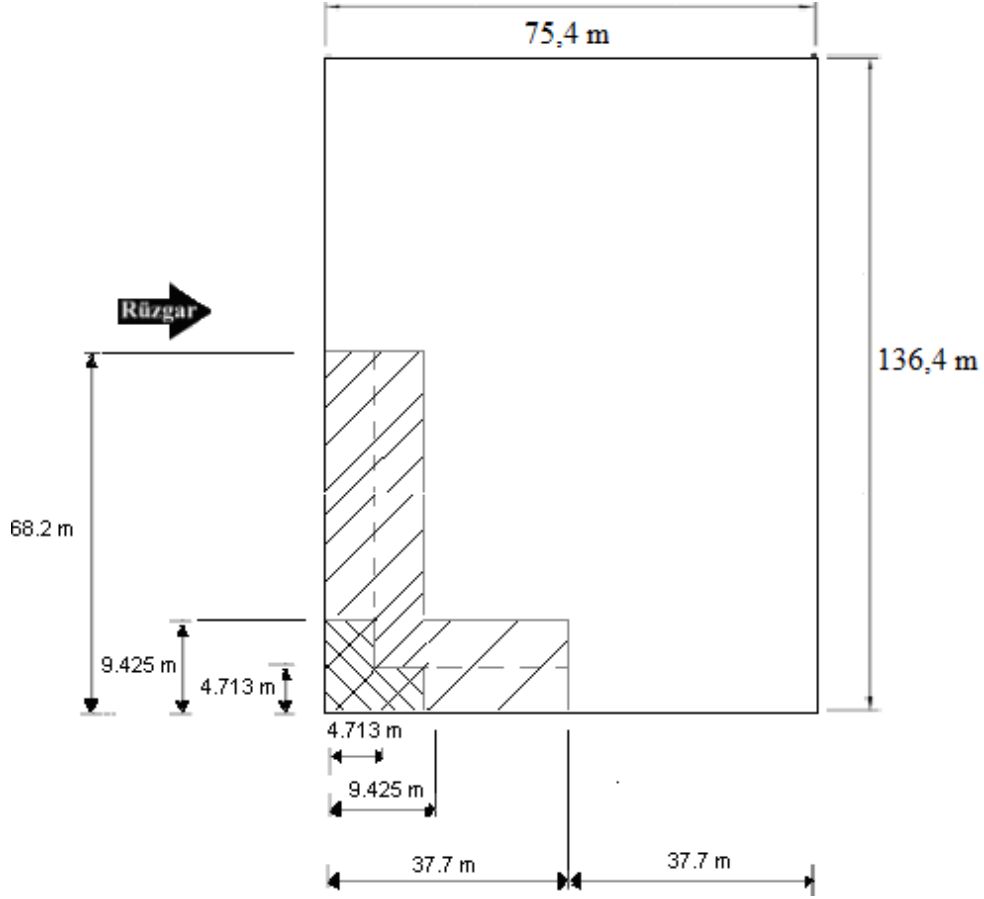
| h/a | b/a | Köşe bölgesi c_p | Kenar bölgesi c_p |
|------------|------------|--------------------|---------------------|
| $\leq 1,5$ | $\leq 0,4$ | 2,0 | 1,0 |
| | $> 0,4$ | 2,8 | 1,5 |
| $> 1,5$ | $\leq 0,4$ | 2,5 | 1,0 |
| | $> 0,4$ | 3,0 | 1,7 |

Yapının A cephesinin boyutları ve Tablo 11'deki verilerden hareketle yapının köşe bölgesi için, $c_p = 2,0$, kenar bölgesi için ise $c_p = 1,0$ seçilmelidir.



Şekil 18. Yapının düz çatısının boyutlandırılması (A cephesi)

Yapının B cephesi için boyutlar $a=75,4$ m, $b=136,4$ m ve $h= 11$ m olduğundan ilgili standarda göre $b \leq 1,5$ a seçilmelidir. Yapı çatısının B cephesi için boyutlandırılması Şekil 19 ile gösterilmiştir.



Şekil 19. Yapının düz çatısının boyutlandırılması (B cephesi)

Yapının B cephesinin boyutları ve Tablo 11'deki verilerden hareketle yapının köşe bölgesi için, $c_p = 2,5$, kenar bölgesi için ise $c_p = 1,0$ seçilmelidir.

Tablo 12. Çatıdaki c_p değerleri (A ve B cephesi)

| Cephe | c_p Köşe bölgesi | c_p Kenar bölgesi |
|-------|--------------------|---------------------|
| A | 2,0 | 1,0 |
| B | 2,5 | 1,0 |

$w = c_p \cdot q$ olduğundan,

A cephesi için:

Köşe bölgesi : $w_c = 2,0 \cdot 0,8 = 1,6 \text{ kN/m}^2$

Kenar bölgesi : $w_e = 1,0 \cdot 0,8 = 0,8 \text{ kN/m}^2$

B cephesi için:

Köşe bölgesi : $w_c = 2,5 \cdot 0,8 = 2,0 \text{ kN/m}^2$

Kenar bölgesi : $w_e = 1,0 \cdot 0,8 = 0,8 \text{ kN/m}^2$

Taşıyıcıların tasarımı açısından; $w = c_p \cdot q = -0,6 \cdot 0,8 = -0,48 \text{ kN/m}^2$ değeri göz önüne alınacaktır.

2.3. Tali Taşıyıcıların Statik Hesabı

Tali taşıyıcılar, 25 düğüm noktası ve 47 çelik profilin birleşiminden meydana gelmiştir. Tali taşıyıcıların projelendirilmesinde 5 ayrı en kesitli profil kullanılmıştır. Tali taşıyıcıların uzunluğu 34,8 m olup, yüksekliği 2,738 m'dir.

2.3.1. Güncel Standartlara Göre Tali Taşıyıcıların Hesabı (DIN 1055-DIN 18800)

2.3.1.1. Yükleme Durumları

Yükleme Durumu 1 Öz Yük :

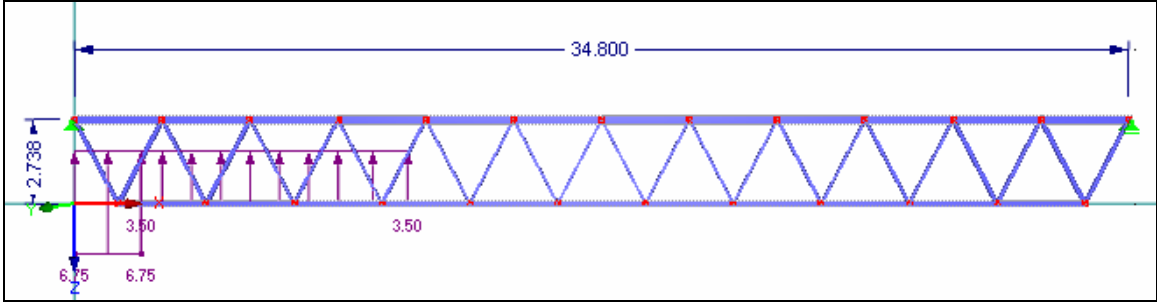
Yapının statik hesabında kullanılan program, veriler girildikten sonra yapının öz yükünü otomatik olarak hesaplamaktadır. Bunlara ek olarak çatının üzerindeki yükler, aşıkların öz yükleri ve radyatör ile ısıtma borularının oluşturduğu teknik yükler de hesaba katılmalıdır.

| | |
|-------------------------|--|
| Çatı üzerindeki yükler: | $0,45 \text{ kN/m}^2 \cdot 7,6 \text{ m} = 3,42 \text{ kN/m}$ |
| Aşıkların öz yükü | $: 0,12 \text{ kN/m}^2 \cdot 7,6 \text{ m} = 0,912 \text{ kN/m}$ |
| Teknik yükler | $: 0,70 \text{ kN/m}^2 \cdot 7,6 \text{ m} = 5,32 \text{ kN/m}$ |
| Toplam yük | $: 9,652 \text{ kN/m}$ |

Yükleme Durumu 2 Kar yükü = $0,68 \text{ kN/m}^2 \cdot 7,6 \text{ m} = 5,168 \text{ kN/m}$

Yükleme Durumu 3 +Y yönünde rüzgar yükü (Emme kuvveti) :

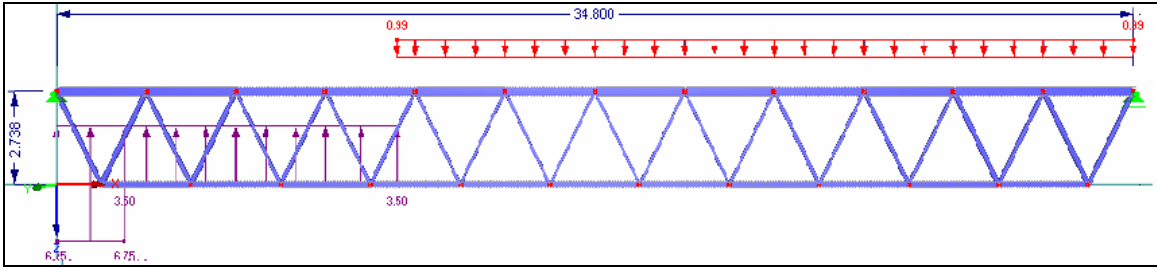
Taşıyıcının 2,2. metresine kadar : $(7,6 \text{ m} - 5,5 \text{ m}) \cdot -1,17 \text{ kN/m}^2 + 5,5 \text{ m} \cdot -0,78 \text{ kN/m}^2 = 6,747 \text{ kN/m}$ olup, 2,2 m ile 11 m arası : $-0,46 \text{ kN/m}^2 \cdot 7,6 \text{ m} = -3,496 \text{ kN/m}$ 'dir.



Şekil 20. Üçüncü yükleme durumunun gösterimi

Yükleme Durumu 4 +Y yönünde rüzgar yükü (Basınç kuvveti) :

Tali taşıyıcı 11. metreye kadar emme kuvvetinin etkisindedir. Bu noktadan sonra tali taşıyıcının tümünde $0,13 \text{ kN/m}^2 \cdot 7,6 \text{ m} = 0,988 \text{ kN/m}$ değerinde basınç kuvveti oluşacaktır.



Şekil 21. Dördüncü yükleme durumunun gösterimi

Yükleme Durumu 5 +Y yönünde rüzgar yükü (Basınç kuvveti-2) :

Bu yükleme durumunda taşıyıcının üst başlığında basınç kuvveti oluşacaktır ve değeri $0,988 \text{ kN/m}$ 'dir.

Yükleme Durumu 6 +X yönünde rüzgar yükü (Emme kuvveti) :

Taşıyıcının üst başlığında oluşacak emme kuvveti : $-0,46 \text{ kN/m}^2 \cdot 7,6 \text{ m} = 3,496 \text{ kN/m}$ 'dir.

Yedinci yükleme durumu, +X yönünde rüzgar yükü (basınç kuvveti) olup bu yükleme durumu, 5. yükleme ile aynı özelliklere ve değere sahiptir.

2.3.1.2. Yükleme Grupları ve Kombinasyonları

Güncel DIN standartlarına göre yükleme grupları ve yükleme kombinasyonları Tablo 13 ve 14'te gösterilmiştir. Yükleme durumları LC, yükleme grupları LG ve yükleme kombinasyonları CO ile belirtilecektir.

Tablo 13. Güncel standartlara göre tali taşıyıcıların yükleme grupları

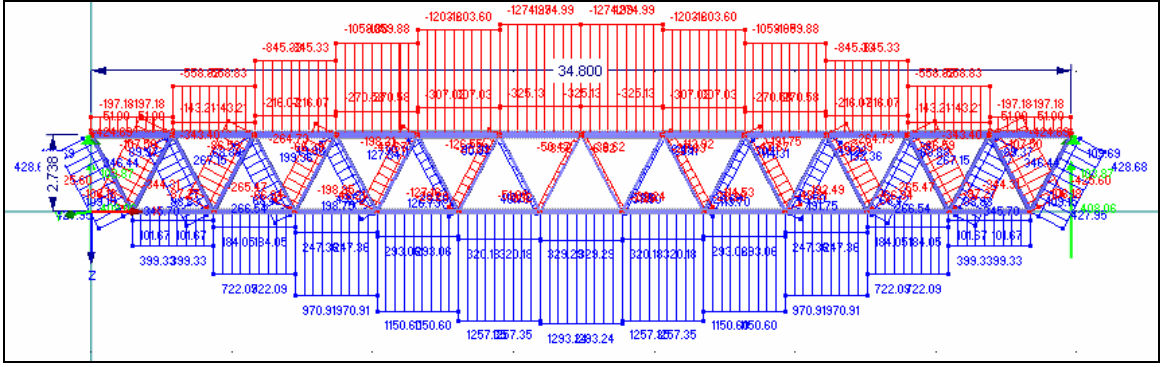
| Yükleme grupları | Grubun açıklanması |
|------------------|------------------------------------|
| LG-1 | $1,35*LC1+1,5*LC2$ |
| LG-2 | $1,35*LC1+1,5*LC4$ |
| LG-3 | $1,35*LC1+1,5*LC6$ |
| LG-4 | $1,35*LC1+1,5*0,9*LC2+1,5*0,9*LC5$ |
| LG-5 | $1.35*LC1+1.5*0.9*LC2+1.5*0.9*LC7$ |
| LG-6 | $1.35*LC1+1.5*0.9*LC2+1.5*0.9*LC4$ |
| LG-7 | $LC1+1.5*LC3$ |
| LG-8 | $LC1+1.5*LC3$ |
| LG-9 | $LC1+LC2+LC4$ |
| LG-10 | $LC1+LC2+LC5$ |

Tablo 14. Güncel standartlara göre tali taşıyıcıların yükleme kombinasyonları

| Yükleme kombinasyonları | Kombinasyon kriteri |
|-----------------------------------|--|
| CO-1 Ana yük kombinasyonları | LG1/P veya LG2/P veya LG3/P veya LG4/P veya LG5/P veya LG6/P veya LG7/P veya LG8/P |
| CO-2 Kullanım yük kombinasyonları | LG9/P veya LG10/P |

2.3.1.3. İç Kuvvetler

Statik hesaplamının sonucunda meydana gelen minimum ve maksimum normal kuvvetler aşağıdaki Şekil 22 ve Tablo 15 yardımıyla açıklanmıştır.



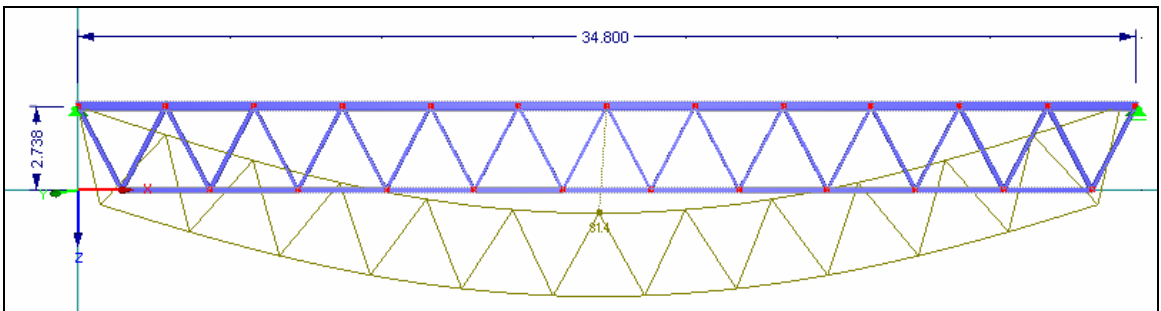
Şekil 22. Güncel standartlara göre tali taşıyıcılarda meydana gelen normal kuvvetler (N)

Tablo 15. Güncel standartlara göre tali taşıyıcılarda meydana gelen iç kuvvetler

| İç kuvvetler | Maksimum değer | Minimum değer |
|---------------------|----------------|---------------|
| Normal kuvvet (N) | 1293,24 (kN) | -1274,99 (kN) |
| Kesme kuvveti (Vz) | 35,92 (kN) | -35,92 (kN) |
| Eğilme momenti (My) | 30,89 (kNm) | -9,07 (kNm) |

Kullanım koşulları esnasında meydana gelebilecek deformasyonlar statik hesaba katılmış olup, Şekil 23 yardımı ile gösterilmiştir. Maksimum deformasyon değeri 81,4 mm'dir. Tali taşıyıcı için ;

$$\frac{l}{250} = \frac{34800}{250} = 139,2 > 81,4 \text{ mm olduğundan deformasyonlar izin verilebilir seviyededir.}$$



Şekil 23. Güncel standartlara göre tali taşıyıcılarda meydana gelen deformasyon (u)

2.3.1.4. Tali Taşıyıcıda Elastik-Elastik Denetleme Metodu

Yeterli yük taşıma kapasitesinin irdelenmesi için elastik-elastik, elastik-plastik ve plastik-plastik denetleme metotları bulunmaktadır. Yapı malzemesinin elastik davranışı, yüklemeye kaldırıldığında malzemenin orijinal pozisyonuna geri dönmesidir. Elastik teoriye göre denetleme, DIN 18800 Standardı'nda aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$\sigma \leq f_{y,d} \quad (12)$$

$$\tau \leq f_{y,d} / \sqrt{3} \quad (13)$$

$$\text{gerekli ise ; } \sigma_v \leq f_{y,d} \quad (14)$$

Gerilme analizi için ana yük kombinasyonları programda seçilir. Tali taşıyıcılardaki tüm profiller St 37 olduğundan, DIN 18800 Kısım 1'e göre emniyet katsayısı $\gamma_M=1,1$ ve akma dayanımı $=24 \text{ kN/cm}^2$ olarak alınır. Gerilme analizi için maksimum dizayn değerleri Tablo 16'da sunulduğu gibidir. Maksimum dizayn değeri birimsiz olup, $\frac{\sigma}{\sigma_{em}}$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 16. Elastik-elastik denetleme metodu maksimum dizayn değerleri

| Enkesit | Maksimum dizayn değeri | Dizayn kriteri |
|----------------------|------------------------|----------------|
| IPB _I 280 | 0,74 | 1 |
| IPG 160 | 1,16 | 1 |
| IPB _I 100 | 0,58 | 1 |
| IPB _I 120 | 0,78 | 1 |
| IPB _I 140 | 0,63 | 1 |

Daha önceden de açıklandığı üzere gerilme analizinin sağlanması için $\sigma \leq f_{y,d}$ denkleminin sağlanması şarttır yani maksimum dizayn değerinin (σ_{eq}) 1'den küçük olması gerekmektedir. Sonuçlara göre IPG 160 profilinde gerilmeler plastik bölgeye geçmiştir. Bu yüzden elastik-plastik denetimin yapılması gerekmektedir.

2.3.1.5. Tali Taşıyıcıda Elastik-Plastik Denetleme Metodu

Tali taşıyıcılar için elastik-plastik denetleme aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. I profilleri için gerekli olan etkileşim koşulları DIN 18800 Standardı'nın 1. bölümü 16. tablosundan alınmıştır.

$$\begin{array}{lllll} \text{Enkesit :} & \text{IPG 160} & N_{pl,d}=1184 \text{ kN} & V_{pl,z,d}=148 \text{ kN} & M_{pl,y,d}=7723 \text{ kNcm} \\ \text{İç kuvvetler :} & & N=1293,24 \text{ kN} & V_z=0,80 \text{ kN} & M_y=4,51 \text{ kNm} \end{array}$$

Denetleme : $\frac{N}{N_{pl,d}} = \frac{1293,24}{1184} = 1,092 > 1$ olduğundan sistem güvenli değildir fakat DIN standartları güvenlik faktörünü 1,0 değerine indirmeye izin vermiştir. Buna göre ;

$$N_{pl,d}=1302 \text{ kN} \quad V_{pl,z,d}=163 \text{ kN} \quad M_{pl,y,d}=8495 \text{ kNcm} \text{ olarak hesaplanır.}$$

$$\frac{N}{N_{pl,d}} = \frac{1293,24}{1302} = 0,993 \Rightarrow 0,1 < \frac{N}{N_{pl,d}} \leq 1 \text{ olarak hesaplanır. Kesme kuvveti için;}$$

$$\frac{V_z}{V_{pl,z,d}} = \frac{0,8}{163} = 0,005 \leq 0,33 \text{ sonucu bulunur. Buradan gerekli etkileşim koşulu ;}$$

$$0,9 \cdot \frac{M}{M_{pl,d}} + \frac{N}{N_{pl,d}} \leq 1 \Rightarrow 0,9 \cdot 100 \cdot \frac{4,51}{8495} + \frac{1293,24}{1302} = 1,04 > 1 \text{ olduğundan sağlanamamıştır.}$$

Etkileşim koşulu 4% oranında aşılmıştır ve bu oran arazi koşulları için izin verilmiş bir orandır fakat açıkça belirtilmesi gerekir ki ; IPG 160 profilinin yani ana taşıyıcının alt başlığının yük taşıma kapasitesi limit seviyededir.

2.3.1.6. Basınç Elemanları İçin Burkulma Hesabı

Basınç elemanları için burkulma hesabı DIN 18800 Standardı'nın 2. kısmında verilen etkin uzunluk metoduna göre yapılmaktadır. Denetleme metodu aşağıdaki formülle belirtildiği gibidir :

$$\frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}} \leq 1 \quad (15)$$

Tali taşıyıcının üst başlığı için etkin uzunluk 5,8 m'dir. Burkulma analizinin sonuçları ise aşağıdaki tabloda verildiği gibidir.

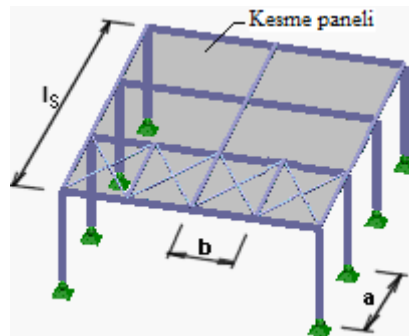
Tablo 17. Güncel standartlara göre tali taşıyıcıların burkulma analizi sonuçları

| Enkesit | Maksimum dizayn değeri | Dizayn kriteri |
|----------------------|------------------------|----------------|
| IPB _l 280 | 0,850 | 1 |
| IPG 160 | 0,000 | 1 |
| IPB _l 120 | 0,681 | 1 |
| IPB _l 140 | 0,787 | 1 |
| IPB _l 100 | 0,474 | 1 |

Burkulma analizi sonuçlarına göre tali taşıyıcının elemanları güvenli bölgede yer almaktadır. Yapıdaki bağlantılar yeterince rijit olduğundan genel burkulma analizine gerek yoktur, lokal burkulma analizinin yapılması yeterli görülmüştür.

2.3.1.7. Basınç Elemanları İçin Yanal Burkulma Hesabı

Yanal burkulma hesabı için tali taşıyıcılara için 1. yük kombinasyonu yüklemesi yapılmıştır. Diyagonallerin mesnet tipi mafsalı mesnettir ve dönme ankrajı yoktur. Tali taşıyıcıların üst başlığının üstünde, her 5,8 m'de aşıklar olduğundan, üst başlık için etkin uzunluk değeri 5,8 m'dir. Aşıklar nedeniyle, dönme ankrajı ve kesme paneli tali taşıyıcının üst başlığı için dikkate alınacaktır.



Şekil 24. Kesme panelinin gösterimi

Yapıda $a=7,6$ m, $b=5,8$ m uzunluğundadır. Kesme paneli yapının uzunluğunun yarısına yani $68,2$ m'ye eşittir. Kesme panelinde kullanılan diyagonaller L 110*10 olup destekler IPB_I 260 profilinden meydana gelmiştir. Bu bilgiler ışığında, yanal burkulma analizinin sonuçları aşağıdaki tabloda açıkça ifade edilmiştir.

Tablo 18. Güncel standartlara göre tali taşıyıcıların yanal burkulma analizi sonuçları

| Enkesit | Maksimum dizayn değeri | Dizayn kriteri |
|-------------|------------------------|----------------|
| IPB_I 280 | 1,025 | 1 |
| IPG 160 | 0,187 | 1 |
| IPB_I 100 | 0,623 | 1 |
| IPB_I 120 | 0,944 | 1 |
| IPB_I 140 | 1,013 | 1 |

Yukarıdaki tablodan da görüldüğü üzere, dizayn kriteri IPB_I 280 profili için $2,5\%$ ve IPB_I 140 profili için $1,3\%$ aşılmıştır. Bu sonuca göre tali taşıyıcının yanal burkulma analizi açısından yeterli olmadığı düşünülebilir fakat bu aşım oranları arazi koşulları için kabul görülebilir sınırlardadır. Yapıda kesme kuvvetlerinin az olmasından ve tali taşıyıcının üzerindeki aşıklardan dolayı yanal burkulma sorunu gözlenmemiştir. Sonuç olarak, yeni standartlara göre yapılan yapısal dizayn, yapının tali taşıyıcılarının güvenli bölgede oldukları sonucunu vermiştir.

2.3.2. Yapının İnşa Edildiği Dönemdeki Standartlara Göre Tali Taşıyıcıların Hesabı (DIN1055)

2.3.2.1. Yükleme Durumları

Yükleme Durumu 1 Öz Yük : 2.3.1.1'de anlatıldığı gibidir.

Yükleme Durumu 2 Kar yükü : $0,75 \text{ kN/m}^2 \cdot 7,6 \text{ m} = 5,7 \text{ kN/m}$

Yükleme Durumu 3 Rüzgar yükü : Yapının yapıldığı dönemdeki DIN 1055 Standartları, çatıda sadece emme yükünün olduğunu kabul etmiştir. Buna göre ;

$w = c_p \cdot q = -0,6 \cdot 0,8 = -0,48 \text{ kN/m}^2$ olduğundan rüzgar yükü $-0,48 \cdot 7,6 = -3,648 \text{ kN/m}$ olarak hesaba katılacaktır.

2.3.2.2. Yükleme Grupları ve Kombinasyonları

Yapının yapıldığı dönemdeki DIN standartlarına göre yükleme grupları ve yükleme kombinasyonları Tablo 19 ve 20'de gösterilmiştir.

Tablo 19. Tali taşıyıcıların yükleme grupları

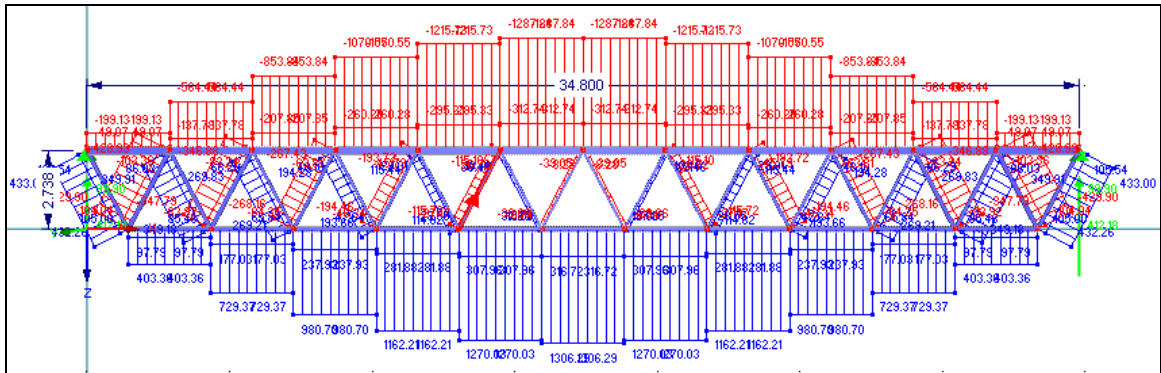
| Yükleme grupları | Grubun açıklanışı |
|------------------|----------------------------------|
| LG-1 | 1,35*LC1+1,5*LC2 |
| LG-2 | LC1+1,5*LC4 |
| LG-3 | 1,35*LC1+1,5*0,9*LC2+1,5*0,9*LC3 |
| LG-4 | LC1+LC2 |

Tablo 20. Tali taşıyıcıların yükleme kombinasyonları

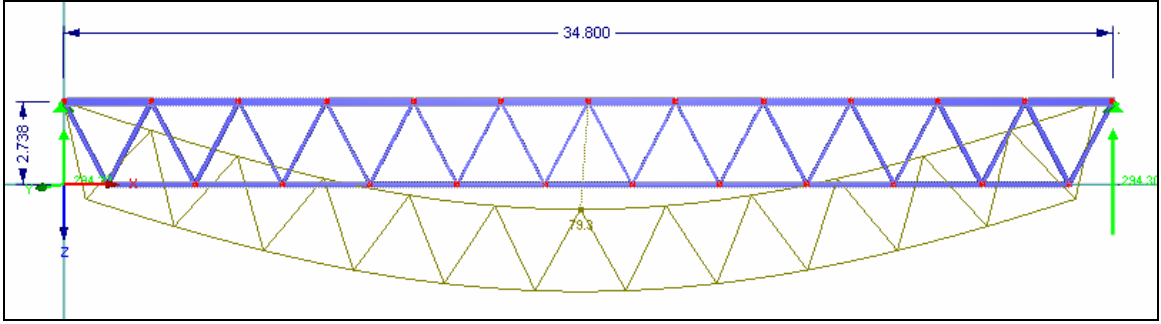
| Yükleme kombinasyonları | Kombinasyon kriteri |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| CO-1 Ana yük kombinasyonları | LG1/P veya LG2/P veya LG3/P |
| CO-2 Kullanım yük kombinasyonları | LG4/P |

2.3.2.3. İç Kuvvetler

Statik hesaplamaların sonucunda meydana gelen minimum ve maksimum normal kuvvetler Şekil 25 ve Tablo 21 yardımıyla açıklanmıştır.



Şekil 25. Tali taşıyıcılarda meydana gelen normal kuvvetler (N)



Şekil 26. Tali taşıyıcılarda meydana gelen deformasyon (u)

Tablo 21. Tali taşıyıcılarda iç kuvvetler

| İç kuvvetler | Maksimum değer | Minimum değer |
|--------------------------|----------------|---------------|
| Normal kuvvet (N) | 1306,29 (kN) | -1287,84 (kN) |
| Kesme kuvveti (V_z) | 36,30 (kN) | -36,30 (kN) |
| Eğilme momenti (M_y) | 31,21 (kNm) | -8,98 (kNm) |

Kullanım koşulları esnasında meydana gelebilecek deformasyonlar statik hesaba katılmış olup, deformasyonlar Şekil 26'da gösterilmiştir. Maksimum deformasyon değeri 79,3 mm'dir. Buna göre tali taşıyıcı için ;

$$\frac{l}{250} = \frac{34800}{250} = 139,2 > 79,3 \text{ mm olduğundan deformasyonlar izin verilebilir seviyededir.}$$

2.3.2.4. Tali Taşıyıcıda Elastik-Elastik Denetleme Metodu

Tali taşıyıcıların elastik-elastik yöntemle denetlenmesinde, gerilme analizi için elde edilen maksimum dizayn değerleri Tablo 22'de sunulduğu gibidir.

Tablo 22. Elastik-elastik denetleme metodu maksimum dizayn değerleri

| Enkesit | Maksimum dizayn değeri | Dizayn kriteri |
|----------------------|------------------------|----------------|
| IPB _I 280 | 0,75 | 1 |
| IPG 160 | 1,17 | 1 |
| IPB _I 100 | 0,59 | 1 |
| IPB _I 120 | 0,79 | 1 |
| IPB _I 140 | 0,63 | 1 |

Sonuçlara göre IPG 160 profilindeki gerilmelerin plastik bölgeye geçmesinden dolayı elastik-plastik denetimin yapılması gerekmektedir.

2.3.2.5. Tali Taşıyıcıda Elastik-Plastik Denetleme Metodu

Tali taşıyıcılar için elastik-plastik denetleme aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

| | | | | |
|----------------|---------|--------------------|---------------------|------------------------|
| Enkesit : | IPG 160 | $N_{pl,d}=1184$ kN | $V_{pl,z,d}=148$ kN | $M_{pl,y,d}=7723$ kNcm |
| İç kuvvetler : | | $N=1306,29$ kN | $V_z=0,83$ kN | $M_y=4,57$ kNm |

Denetleme : $\frac{N}{N_{pl,d}} = \frac{1306,29}{1184} = 1,103 > 1$ olduğundan sistem güvenli değildir fakat DIN standartları güvenlik faktörünü 1,0 değerine indirmeye izin vermiştir. Buna göre ;

$N_{pl,d}=1302$ kN $V_{pl,z,d}=163$ kN $M_{pl,y,d}=8495$ kNcm olarak hesaplanır.

$\frac{N}{N_{pl,d}} = \frac{1306,29}{1302} = 1,002 \approx 1 \Rightarrow 0,1 < \frac{N}{N_{pl,d}} \leq 1$ olarak hesaplanır. Kesme kuvveti için;

$\frac{V_z}{V_{pl,z,d}} = \frac{0,83}{163} = 0,005 < 0,33$ sonucu bulunur. Buradan gerekli etkileşim koşulu ;

$0,9 \cdot \frac{M}{M_{pl,d}} + \frac{N}{N_{pl,d}} \leq 1 \Rightarrow 0,9 \cdot 100 \cdot \frac{4,45}{8495} + \frac{1306,29}{1302} = 1,05 > 1$ olduğundan sağlanamamıştır.

Etkileşim koşulu 5% oranında aşılmıştır ve bu oran arazi koşulları için izin verilmiş bir orandır fakat açıkça belirtilmesi gerekir ki ; IPG 160 profilinin yani ana taşıyıcının alt başlığının yük taşıma kapasitesi limit seviyededir.

2.3.2.6. Basınç Elemanları İçin Burkulma Hesabı

Burkulma analizinin sonuçları aşağıdaki tabloda verildiği gibidir.

Tablo 23. Tali taşıyıcıların burkulma analizi sonuçları

| Enkesit | Maksimum dizayn değeri | Dizayn kriteri |
|----------------------|------------------------|----------------|
| IPB _l 280 | 0,857 | 1 |
| IPG 160 | 0,000 | 1 |
| IPB _l 120 | 0,687 | 1 |
| IPB _l 140 | 0,793 | 1 |
| IPB _l 100 | 0,436 | 1 |

Burkulma analizi sonuçlarına göre tali taşıyıcının elemanları güvenli bölgede yer almaktadır.

2.3.2.7. Basınç Elemanları İçin Yanal Burkulma Hesabı

Yanal burkulma analizinin sonuçları aşağıdaki tabloda açıkça ifade edilmiştir.

Tablo 24. Tali taşıyıcıların yanal burkulma analizi sonuçları

| Enkesit | Maksimum dizayn değeri | Dizayn kriteri |
|----------------------|------------------------|----------------|
| IPB _l 280 | 1,015 | 1 |
| IPG 160 | 0,185 | 1 |
| IPB _l 100 | 0,616 | 1 |
| IPB _l 120 | 0,934 | 1 |
| IPB _l 140 | 1,003 | 1 |

Yukarıdaki tablodan da görüldüğü üzere, dizayn kriteri IPB_l 280 profili için 1,5% aşılmıştır. Bu sonuç arazi koşulları için kabul görülebilir sınırlardadır ve yapıda yanal burkulma sorunu gözlenmemiştir. Sonuç olarak, yapının yapıldığı dönemdeki standartlar yardımı ile denetlenmesi sonucunda, yapının tali taşıyıcılarının güvenli bölgede oldukları sonucu ortaya çıkmıştır.

2.4. Birinci Tip Ana Taşıyıcının Statik Hesabı

Birinci tip ana taşıyıcı, 21 düğüm noktası ve 39 çelik profilin birleşiminden meydana gelmiştir. Projede 11 ayrı enkesitli profil kullanılmıştır. Taşıyıcının uzunluğu 38 m olup, yüksekliği 2,680 m'dir.

2.4.1. Güncel Standartlara Göre Birinci Tip Ana Taşıyıcının Hesabı (DIN 1055 - DIN 18800)

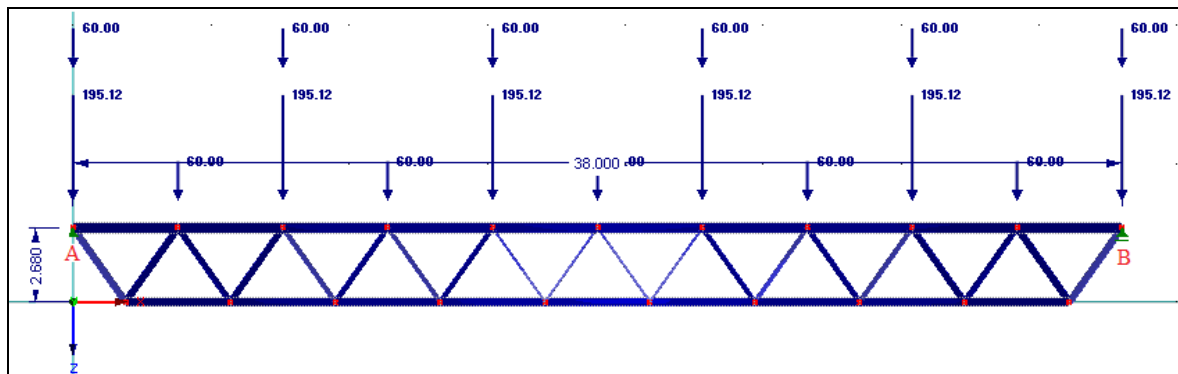
Ana taşıyıcıların hesabında, tali taşıyıcılardan gelen yükler mesnet reaksiyonları ana taşıyıcılara tekil yük olarak yüklenecektir. Yapı çatısı her 7,6 m'de ana taşıyıcılara tali taşıyıcıların mesnetlenmesi şeklinde düzenlenmiştir. Bu yüzden tali taşıyıcıların mesnet reaksiyonlarının belirtilmesi gerekmektedir ve bu yükler Tablo 25'de gösterilmiştir.

Tablo 25. Tali taşıyıcıların mesnet reaksiyonları

| Yön(↓+z) | Mesnet reaksiyonları | |
|-------------------|----------------------|----------------|
| | A mesneti (kN) | B Mesneti (kN) |
| Yükleme durumları | | |
| Yükleme durumu 1 | -195,12 | -195,12 |
| Yükleme durumu 2 | -89,92 | -89,92 |
| Yükleme durumu 3 | 39,30 | 6,30 |
| Yükleme durumu 4 | 31,26 | -9,17 |
| Yükleme durumu 5 | -17,23 | -17,23 |
| Yükleme durumu 6 | 60,83 | 60,83 |
| Yükleme durumu 7 | -17,23 | -17,23 |

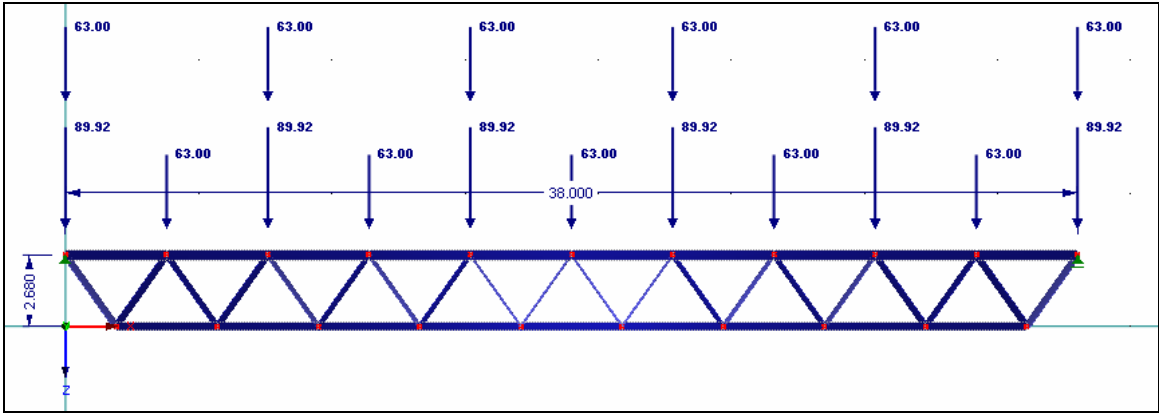
2.4.1.1. Yükleme Durumları

Yükleme Durumu 1 Öz yük : Ana taşıyıcılar için yapılan hesaplamalarda taşıyıcının öz yüküne ek olarak, ana taşıyıcıların üst başlığının üstünde yer alan ışıklandırma gereçleri ve su kanallarının öz yükleri de hesaba katılacaktır ve bunların toplam değeri 60 kN'dur. Bu yükler ve tali taşıyıcılardan gelen yüklerin, ana taşıyıcıların üst başlığındaki düğüm noktalarına tekil yük olarak yüklenmesi aşağıdaki şekilde gibidir.



Şekil 27. Birinci yükleme durumu

Yükleme durumu 2 Kar yükü ve ışıklandırma ve su kanalından gelen değişken yükler : Projedeki bilgilerden hareketle değişken yükler, her bir düğüm noktasına yüklenecek şekilde 63 kN olarak verilmiştir. Kar yükü, tali taşıyıcıların ikinci yükleme durumundaki kar yükü yüklemesinin mesnet reaksiyonlarının, ana taşıyıcının üst başlığına her 7,6 m'de tekil yük olarak etkimesi şeklinde hesaplanacaktır ve bu yükleme durumu Şekil 28'de belirtildiği gibidir.



Şekil 28. İkinci yükleme durumu

Diğer yükleme durumları tali taşıyıcıların mesnet reaksiyonları olup Tablo 26'da verilmiştir.

Tablo 26. Yüklemeler ve tekil yükler

| Yüklemeler | Tekil yükler |
|---------------------|--------------|
| Yüklemeler durumu 1 | Şekil 27 |
| Yüklemeler durumu 2 | Şekil 28 |
| Yüklemeler durumu 3 | -6,30 |
| Yüklemeler durumu 4 | 9,17 |
| Yüklemeler durumu 5 | 17,23 |
| Yüklemeler durumu 6 | -60,83 |
| Yüklemeler durumu 7 | 17,23 |

2.4.1.2. Yüklemeler Grupları ve Kombinasyonları

Güncel DIN standartlarına göre yüklemeler grupları ve yüklemeler kombinasyonları Tablo 27 ve 28'de gösterilmiştir.

Tablo 27. Güncel standartlara göre 1. tip ana taşıyıcının yükleme grupları

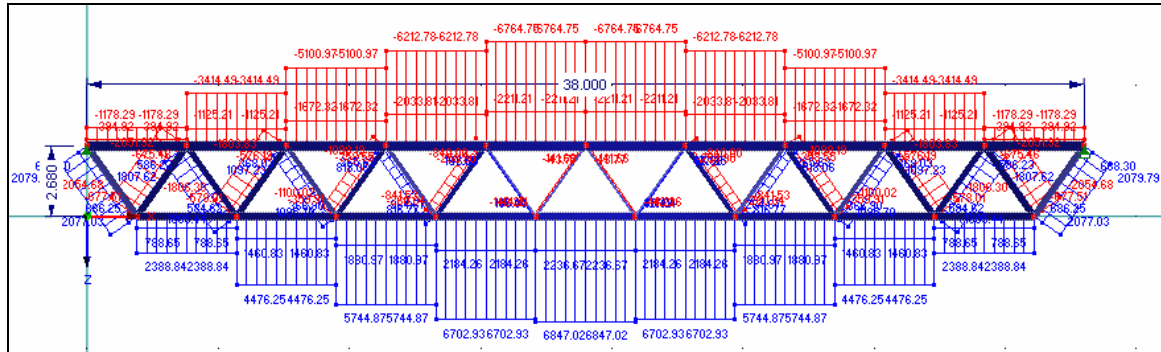
| Yükleme grupları | Grubun açıklanışı |
|------------------|----------------------------------|
| LG-1 | 1,35*LC1+1,5*LC2 |
| LG-2 | 1,35*LC1+1,5*LC4 |
| LG-3 | 1,35*LC1+1,5*LC6 |
| LG-4 | 1,35*LC1+1,5*0,9*LC2+1,5*0,9*LC5 |
| LG-5 | 1,35*LC1+1,5*0,9*LC2+1,5*0,9*LC7 |
| LG-6 | 1,35*LC1+1,5*0,9*LC2+1,5*0,9*LC4 |
| LG-7 | LC1+1,5*LC3 |
| LG-8 | LC1+1,5*LC3 |
| LG-9 | LC1+LC2+LC4 |
| LG-10 | LC1+LC2+LC5 |

Tablo 28. Güncel standartlara göre 1. tip ana taşıyıcının yükleme kombinasyonları

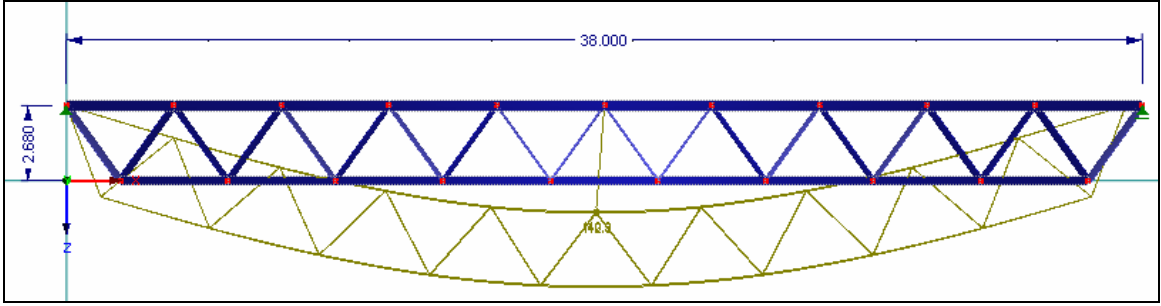
| Yükleme kombinasyonları | Kombinasyon kriteri |
|-----------------------------------|--|
| CO-1 Ana yük kombinasyonları | LG1/P veya LG2/P veya LG3/P veya LG4/P veya LG5/P veya LG6/P veya LG7/P veya LG8/P |
| CO-2 Kullanım yük kombinasyonları | LG9/P veya LG10/P |

2.4.1.3. İç Kuvvetler

Statik hesaplamının sonucunda meydana gelen minimum ve maksimum normal kuvvetler Şekil 29'da gösterilmiş olup, deformasyonlar Şekil 30'da sunulduğu gibidir. Tablo 29 yardımıyla normal kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momentinin maksimum ve minimum değerleri açıklanmıştır.



Şekil 29. Güncel standartlara göre 1. tip ana taşıyıcıda meydana gelen normal kuvvetler (N)



Şekil 30. Güncel standartlara göre 1. tip ana taşıyıcıda meydana gelen deformasyon (u)

Tablo 29. Güncel standartlara göre 1. tip ana taşıyıcıda meydana gelen iç kuvvetler

| İç kuvvetler | Maksimum değer | Minimum değer |
|--------------------------|----------------|---------------|
| Normal kuvvet (N) | 6847,02 (kN) | -6764,75 (kN) |
| Kesme kuvveti (V_z) | 37 (kN) | -37 (kN) |
| Eğilme momenti (M_y) | 167,57 (kNm) | - |

Maksimum deformasyon değeri 142,8 mm'dir. Birinci tip ana taşıyıcı için ;

$$\frac{l}{250} = \frac{38000}{250} = 152 > 142,8 \text{ mm olduğundan deformasyonlar izin verilebilir seviyededir.}$$

2.4.1.4. Birinci Tip Ana Taşıyıcıda Elastik-Elastik Denetleme Metodu

Gerilme analizi için hesaplamalar ana yük kombinasyonuna göre yapılmıştır. Ana taşıyıcılardaki profiller St 37 ve St 52 olduğundan, emniyet katsayısı $\gamma_M=1,1$, akma dayanımları $=24 \text{ kN/cm}^2$ ve 36 kN/cm^2 olarak alınır. Gerilme analizi için maksimum dizayn değerleri Tablo 30'da sunulduğu gibidir.

Tablo 30. Elastik-elastik denetleme metodu maksimum dizayn değerleri

| Enkesit | Materyal | Maksimum dizayn değeri | Dizayn kriteri |
|----------------------|----------|------------------------|----------------|
| IPB _v 300 | St 52 | 0,83 | 1 |
| IPB _v 260 | St 52 | 1,08 | 1 |
| IPB _l 280 | St 37 | 0,98 | 1 |
| IPB _l 280 | St 52 | 0,65 | 1 |
| IPB _l 240 | St 52 | 0,72 | 1 |
| IPB _l 260 | St 52 | 0,64 | 1 |
| IPB _l 200 | St 37 | 0,94 | 1 |

Tablo 30'un devamı

| | | | |
|----------------------|-------|------|---|
| IPB _l 220 | St 52 | 0,53 | 1 |
| IPB _l 180 | St 37 | 0,83 | 1 |
| IPB _l 200 | St 52 | 0,48 | 1 |
| IPB _l 100 | St 37 | 0,32 | 1 |

Sonuçlara göre IPB_v 260 profilinde, ana taşıyıcının alt başlığında gerilmeler plastik bölgeye geçmiştir ve bu yüzden elastik-plastik denetimin yapılması gerekmektedir.

2.4.1.5. Birinci Tip Ana Taşıyıcıda Elastik-Plastik Denetleme Metodu

Birinci tip ana taşıyıcı için elastik-plastik denetleme aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\begin{array}{lllll} \text{Enkesit :} & \text{IPB}_v, 260 & N_{pl,d}=7188 \text{ kN} & V_{pl,z,d}=876 \text{ kN} & M_{pl,y,d}=82592 \text{ kNcm} \\ \text{İç kuvvetler :} & & N=6847,02 \text{ kN} & V_z= 13,38 \text{ kN} & M_y=90,08 \text{ kNm} \end{array}$$

$$\text{Denetleme : } \frac{N}{N_{pl,d}} = \frac{6847,02}{7188} = 0,952 \Rightarrow 0,1 < \frac{N}{N_{pl,d}} \leq 1$$

$$\frac{V_z}{V_{pl,z,d}} = \frac{13,38}{876} = 0,015 \Rightarrow \frac{V_z}{V_{pl,z,d}} < 0,33 \text{ sonucu bulunur. Buradan gerekli etkileşim koşulu ;}$$

$$0,9 \cdot \frac{M}{M_{pl,d}} + \frac{N}{N_{pl,d}} \leq 1 \Rightarrow 0,9 \cdot 100 \cdot \frac{90,08}{82592} + \frac{6847,02}{7188} = 1,05 > 1 \text{ olduğundan sağlanamamıştır.}$$

Etkileşim koşulu 5% oranında aşılmıştır. Emniyet katsayı 1,0 olarak belirlendiğinde sonuç 0,972 olacaktır ve gerekli şartların sağlandığı söylenebilir.

2.4.1.6. Basınç Elemanları İçin Burkulma Hesabı

Birinci ana taşıyıcı için etkin uzunluk 3.8 m'dir. Burkulma analizinin sonuçları ise aşağıdaki tabloda verildiği gibidir.

Tablo 31. Güncel standartlara göre 1. tip ana taşıyıcının burkulma analizi sonuçları

| Enkesit | Maksimum dizayn değeri | Dizayn kriteri |
|----------------------|------------------------|----------------|
| IPB _v 300 | 0,867 | 1 |
| IPB _v 260 | 0,000 | 1 |
| IPB _l 280 | 0,000 | 1 |
| IPB _l 280 | 0,714 | 1 |
| IPB _l 240 | 0,000 | 1 |
| IPB _l 260 | 0,716 | 1 |
| IPB _l 200 | 0,000 | 1 |
| IPB _l 220 | 0,629 | 1 |
| IPB _l 180 | 0,000 | 1 |
| IPB _l 200 | 0,601 | 1 |
| IPB _l 100 | 0,550 | 1 |

Burkulma analizi sonuçlarına göre tali taşıyıcının elemanları güvenli bölgede yer almaktadır.

2.4.1.7. Basınç Elemanları İçin Yanal Burkulma Hesabı

Yanal burkulma hesabı için ana taşıyıcılara, ana yük kombinasyonu yüklemesi yapılmıştır. Diyagonallerin mesnet tipi mafsallı mesnettir ve dönme ankraji yoktur. Üst başlık için etkin uzunluk değeri 3,8 m'dir. Yanal burkulma hesabı için aşağıdaki denklemin sağlanması gerekmektedir:

$$\frac{M_y}{K_m \cdot M_{pl,y,d}} \leq 1 \quad (16)$$

Yanal burkulma analizinin sonuçları aşağıdaki tabloda ifade edildiği gibidir.

Tablo 32. Güncel standartlara göre 1. tip ana taşıyıcının yanal burkulma analizi sonuçları

| Enkesit | Maksimum dizayn değeri | Dizayn kriteri |
|----------------------|------------------------|----------------|
| IPB _v 300 | 1,013 | 1 |
| IPB _v 260 | 0,261 | 1 |
| IPB _l 280 | 0,003 | 1 |
| IPB _l 280 | 0,836 | 1 |
| IPB _l 240 | 0,003 | 1 |
| IPB _l 260 | 0,855 | 1 |

Tablo 32'nin devamı

| | | |
|----------------------|-------|---|
| IPB _l 200 | 0,004 | 1 |
| IPB _l 220 | 0,782 | 1 |
| IPB _l 180 | 0,005 | 1 |
| IPB _l 200 | 0,774 | 1 |
| IPB _l 100 | 0,897 | 1 |

Yukarıdaki tablodan da görüldüğü üzere, dizayn kriteri IPB_v 300 profili için 1,3% aşılmıştır. Bu sonuç arazi koşulları için kabul görülebilir sınırlardadır ve yapıda yanıl burkulma sorunu gözlenmemiştir. Sonuç olarak, yeni standartlar yardımı ile denetlenme sonucunda, yapının birinci tip ana taşıyıcısının güvenli bölgede olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

2.4.2. Yapının İnşa Edildiği Dönemdeki Standartlara Göre Birinci Tip Ana Taşıyıcının Hesabı (DIN 1055)

Hesap prosedürü 2.4.1.'de anlatıldığı gibi olup, tali taşıyıcıların mesnet reaksiyonları Tablo 33'te verildiği gibidir.

Tablo 33. Tali taşıyıcıların mesnet reaksiyonları

| Yön(↓+z) | Mesnet reaksiyonları | |
|-------------------|----------------------|----------------|
| Yükleme durumları | A mesneti (kN) | B Mesneti (kN) |
| Yükleme durumu 1 | -195,12 | -195,12 |
| Yükleme durumu 2 | -99,18 | -99,18 |
| Yükleme durumu 3 | 63,48 | 63,48 |

2.4.2.1. Yükleme Durumları

Birinci ve ikinci yükleme durumu için 2.4.1.1.'de verilen değerler alınacak olup yükleme durumu 3 için (rüzgar yükü) 63,48 kN değeri ile hesaplamalar yapılacaktır.

Tablo 34. Yükleme durumları ve tekil yükler

| | |
|-------------------|--------------|
| Yükleme durumları | Tekil yükler |
| Yükleme durumu 1 | Şekil 27 |

Tablo 34'ün devamı

| | |
|------------------|----------|
| Yükleme durumu 2 | Şekil 28 |
| Yükleme durumu 3 | -63,48 |

2.4.2.2. Yüklemeler Grubları ve Kombinasyonları

DIN 1055 standartlarına göre yüklemeler grubları ve yüklemeler kombinasyonları Tablo 35 ve 36'da verilmiştir.

Tablo 35. 1. tip ana taşıyıcının yüklemeler grubları

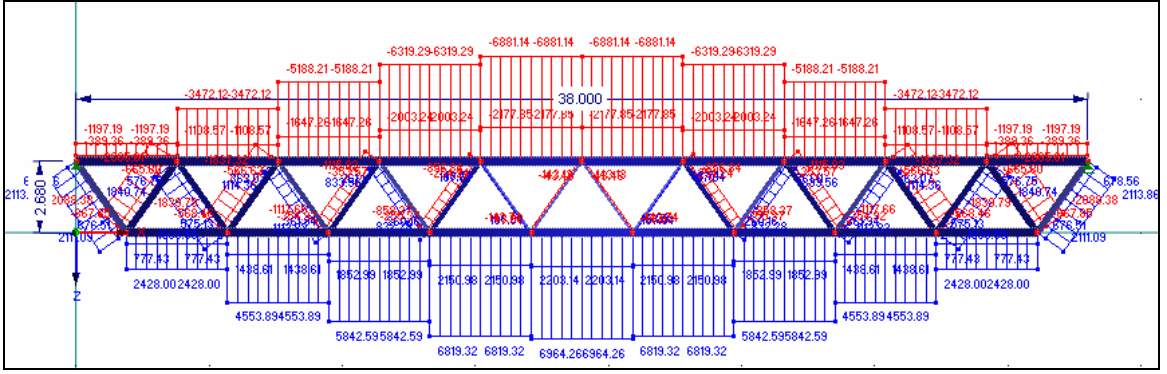
| Yüklemeler grubları | Grubun açıklanışı |
|---------------------|------------------------------------|
| LG-1 | $1,35*LC1+1,5*LC2$ |
| LG-2 | $LC1+1,5*LC3$ |
| LG-3 | $1,35*LC1+1,5*0,9*LC2+1,5*0,9*LC3$ |
| LG-4 | $LC1+LC2$ |

Tablo 36. 1. tip ana taşıyıcının yüklemeler kombinasyonları

| Yüklemeler kombinasyonları | Kombinasyon kriteri |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| CO-1 Ana yük kombinasyonları | LG1/P veya LG2/P veya LG3/P |
| CO-2 Kullanım yük kombinasyonları | LG4/P |

2.4.2.3. İç Kuvvetler

Statik hesaplamasının sonucunda meydana gelen minimum ve maksimum normal kuvvetler, kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri Şekil 31 ve Tablo 37 yardımıyla açıklanmıştır. Maksimum deformasyon değeri 140,9 mm olup, 152 mm'den küçük olduğundan birinci tip ana taşıyıcı için izin verilebilir seviyededir.



Şekil 31. 1. tip ana taşıyıcıda meydana gelen normal kuvvetler (N)

Tablo 37. 1. tip ana taşıyıcıda meydana gelen iç kuvvetler

| İç kuvvetler | Maksimum değer | Minimum değer |
|--------------------------|----------------|---------------|
| Normal kuvvet (N) | 6964,26 (kN) | -6881,14 (kN) |
| Kesme kuvveti (V_z) | 37,75 (kN) | -37,75 (kN) |
| Eğilme momenti (M_y) | 170,66 (kNm) | - |

2.4.2.4. Birinci Tip Ana Taşıyıcıda Elastik-Elastik Denetleme Metodu

Gerilme analizi için maksimum dizayn değerleri Tablo 38’de sunulduğu gibidir.

Tablo 38. Elastik-elastik denetleme metodu maksimum dizayn değerleri

| Enkesit | Materyal | Maksimum dizayn değeri | Dizayn kriteri |
|----------------------|----------|------------------------|----------------|
| IPB _v 300 | St 52 | 0,84 | 1 |
| IPB _v 260 | St 52 | 1,10 | 1 |
| IPB _l 280 | St 37 | 1,00 | 1 |
| IPB _l 280 | St 52 | 0,66 | 1 |
| IPB _l 240 | St 52 | 0,73 | 1 |
| IPB _l 260 | St 52 | 0,65 | 1 |
| IPB _l 200 | St 37 | 0,95 | 1 |
| IPB _l 220 | St 52 | 0,53 | 1 |
| IPB _l 180 | St 37 | 0,85 | 1 |
| IPB _l 200 | St 52 | 0,49 | 1 |
| IPB _l 100 | St 37 | 0,32 | 1 |

Sonuçlara göre IPB_v 260 profilinde, ana taşıyıcının alt başlığında gerilmeler plastik bölgeye geçmiştir bu yüzden elastik-plastik denetimin yapılması gerekmektedir.

2.4.2.5. Birinci Tip Ana Taşıyıcıda Elastik-Plastik Denetleme Metodu

Birinci tip ana taşıyıcı için elastik-plastik denetleme aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\begin{array}{lllll} \text{Enkesit :} & \text{IPB}_v, 260 & N_{pl,d}=7188 \text{ kN} & V_{pl,z,d}=876 \text{ kN} & M_{pl,y,d}=82592 \text{ kNm} \\ \text{İç kuvvetler :} & & N=6964,26 \text{ kN} & V_z= 13,98 \text{ kN} & M_y=91,79 \text{ kNm} \end{array}$$

$$\text{Denetleme : } \frac{N}{N_{pl,d}} = \frac{6964,26}{7188} = 0,968 \Rightarrow 0,1 < \frac{N}{N_{pl,d}} \leq 1$$

$$\frac{V_z}{V_{pl,z,d}} = \frac{13,98}{876} = 0,015 \Rightarrow \frac{V_z}{V_{pl,z,d}} < 0,33 \text{ sonucu bulunur. Buradan gerekli etkileşim koşulu ;}$$

$$0,9 \cdot \frac{M}{M_{pl,d}} + \frac{N}{N_{pl,d}} \leq 1 \Rightarrow 0,9 \cdot 100 \cdot \frac{91,79}{82592} + \frac{6964,26}{7188} = 1,06 > 1 \text{ olduğundan sağlanamamıştır.}$$

Etkileşim koşulu 6% oranında aşılmıştır. Emniyet katsayı 1,0 olarak belirlendiğinde sonuç 0,971 olacaktır ve gerekli şartların sağlandığı söylenebilir.

2.4.2.6. Basınç Elemanları İçin Burkulma Hesabı

Burkulma analizinin sonuçları ise aşağıdaki tabloda verildiği gibidir.

Tablo 39. 1. tip ana taşıyıcının burkulma analizi sonuçları

| Enkesit | Maksimum dizayn değeri | Dizayn kriteri |
|----------------------|------------------------|----------------|
| IPB _v 300 | 0,880 | 1 |
| IPB _v 260 | 0,000 | 1 |
| IPB _l 280 | 0,000 | 1 |
| IPB _l 280 | 0,725 | 1 |
| IPB _l 240 | 0,000 | 1 |
| IPB _l 260 | 0,728 | 1 |
| IPB _l 200 | 0,000 | 1 |
| IPB _l 220 | 0,638 | 1 |
| IPB _l 180 | 0,000 | 1 |
| IPB _l 200 | 0,612 | 1 |
| IPB _l 100 | 0,555 | 1 |

Burkulma analizi sonuçlarına göre birinci tip ana taşıyıcının elemanları güvenli bölgede yer almaktadır.

2.4.2.7. Basınç Elemanları İçin Yanal Burkulma Hesabı

Yanal burkulma analizinin sonuçları Tablo 40'da sunulduğu gibidir.

Tablo 40. 1. tip ana taşıyıcının yanal burkulma analizi sonuçları

| Enkesit | Maksimum dizayn değeri | Dizayn kriteri |
|----------------------|------------------------|----------------|
| IPB _v 300 | 1,031 | 1 |
| IPB _v 260 | 0,265 | 1 |
| IPB _l 280 | 0,003 | 1 |
| IPB _l 280 | 0,849 | 1 |
| IPB _l 240 | 0,002 | 1 |
| IPB _l 260 | 0,871 | 1 |
| IPB _l 200 | 0,004 | 1 |
| IPB _l 220 | 0,795 | 1 |
| IPB _l 180 | 0,005 | 1 |
| IPB _l 200 | 0,790 | 1 |
| IPB _l 100 | 0,906 | 1 |

Yukarıdaki tablodan da görüldüğü üzere, dizayn kriteri IPB_v 300 profili için 3,1% aşılmıştır. Bu sonuç arazi koşulları için kabul görülebilir sınırlardadır ve yapıda yanal burkulma sorunu gözlenmemiştir. Sonuç olarak, yapının yapıldığı dönemdeki standartlar yardımı ile denetlenme sonucunda, yapının birinci tip ana taşıyıcının güvenli bölgede olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

2.5. İkinci Tip Ana Taşıyıcının Statik Hesabı

İkinci tip ana taşıyıcıda, 17 düğüm noktası ve 31 eleman bulunmaktadır. Projede 8 ayrı enkesitli profil kullanılmıştır. Kafes kiriş açıklığı 30,4 m olup, yüksekliği 2,680 m'dir.

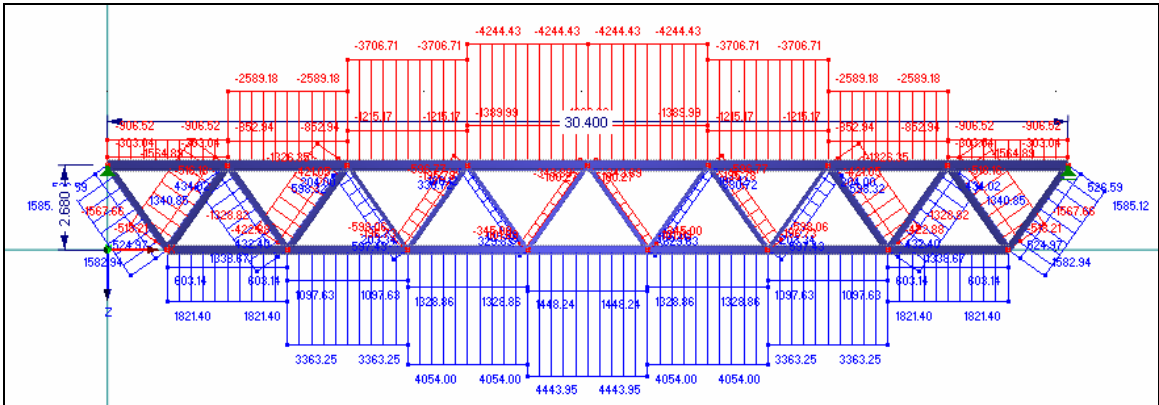
2.5.1. Güncel Standartlara Göre İkinci Tip Ana Taşıyıcının Hesabı (DIN 1055-DIN 18800)

2.5.1.1. Yükleme Durumları, Yükleme Grupları ve Kombinasyonları

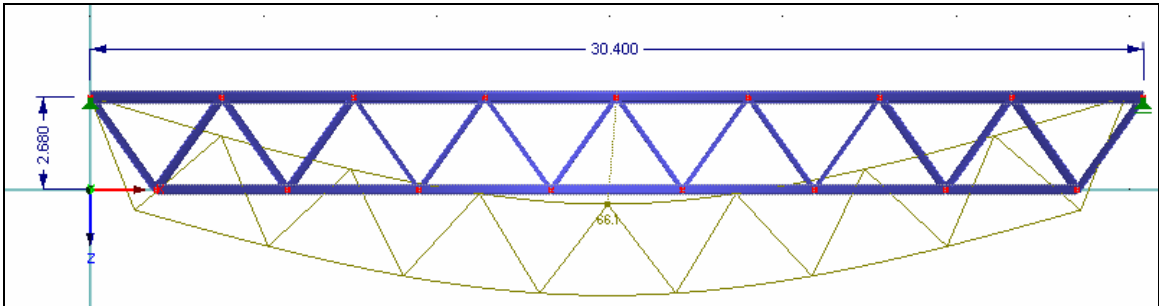
Tali taşıyıcıdan gelen mesnet reaksiyonları, gerekli olan yükleme durumları, yükleme grupları ve kombinasyonları yeni standartlara göre çözümü yapılan birinci ana taşıyıcı ile aynı olduğundan ikinci tip ana taşıyıcı için bu değerler aynen geçerlidir. Tek farklılık bu ana taşıyıcının açıklığının farklı olması ve farklı profillerden meydana gelmesidir. Bu yüzden meydana gelecek olan iç kuvvetler farklı değerlerde olacaktır.

2.5.1.2. İç Kuvvetler

Statik hesaplamaların sonucunda meydana gelen minimum ve maksimum normal kuvvetler Şekil 32 yardımıyla sunulmuştur. Normal kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momentinin maksimum ve minimum değerleri Tablo 41 yardımıyla açıklanmıştır. Deformasyonlar ise Şekil 33'de gösterildiği gibidir.



Şekil 32. Güncel standartlara göre 2. tip ana taşıyıcıda meydana gelen normal kuvvetler



Şekil 33. Güncel standartlara göre 2. tip ana taşıyıcıda meydana gelen deformasyon (u)

Tablo 41. Güncel standartlara göre 2. tip ana taşıyıcıda meydana gelen iç kuvvetler

| İç kuvvetler | Maksimum değer | Minimum değer |
|--------------------------|----------------|---------------|
| Normal kuvvet (N) | 4443,95 (kN) | -4244,43 (kN) |
| Kesme kuvveti (V_z) | 37,28N (kN) | -37,28 (kN) |
| Eğilme momenti (M_y) | 158,83 (kNm) | - |

Maksimum deformasyon değeri 66,1 mm'dir. Buna göre ikinci tip ana taşıyıcı için;

$$\frac{l}{250} = \frac{30400}{250} = 121,6 > 66,1 \text{ mm olduğundan deformasyonlar izin verilebilir seviyededir.}$$

2.5.1.3. İkinci Tip Ana Taşıyıcıda Elastik-Elastik Denetleme Metodu

İkinci tip ana taşıyıcı tamamen St 37 çeliğinden meydana gelmiş olup gerilme analizi için maksimum dizayn değerleri Tablo 42'de sunulmuştur.

Tablo 42. Elastik-elastik denetleme metodu maksimum dizayn değerleri

| Enkesit | Maksimum dizayn değeri | Dizayn kriteri |
|----------------------|------------------------|----------------|
| IPB _l 280 | 0,74 | 1 |
| IPB _l 240 | 0,95 | 1 |
| IPB _l 140 | 0,88 | 1 |
| IPB _l 180 | 0,61 | 1 |
| IPB _l 160 | 0,41 | 1 |
| IPB _l 260 | 0,71 | 1 |
| IPB _l 300 | 0,85 | 1 |
| IPB _l 260 | 1,06 | 1 |

Sonuçlara göre IPB_v 260 profilindeki gerilmelerin plastik bölgeye geçmesinden dolayı elastik-plastik denetimin yapılması gerekmektedir.

2.5.1.4. İkinci Tip Ana Taşıyıcıda Elastik-Plastik Denetleme Metodu

İkinci tip ana taşıyıcı için elastik-plastik denetleme aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

| | | | | |
|----------------|----------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Enkesit : | IPB _v 260 | $N_{pl,d}=4792 \text{ kN}$ | $V_{pl,z,d}=584 \text{ kN}$ | $M_{pl,y,d}=55061 \text{ kNcm}$ |
| İç kuvvetler : | | $N=4443,95 \text{ kN}$ | $V_z= 4,41 \text{ kN}$ | $M_y=65,36 \text{ kNm}$ |

$$\text{Denetleme : } \frac{N}{N_{pl,d}} = \frac{4443,96}{4792} = 0,927 \Rightarrow 0,1 < \frac{N}{N_{pl,d}} \leq 1$$

$$\frac{V_z}{V_{pl,z,d}} = \frac{4,41}{584} = 0,007 \Rightarrow \frac{V_z}{V_{pl,z,d}} < 0,33 \text{ sonucu bulunur. Buradan gerekli etkileşim koşulu,}$$

emniyet katsayısı 1,0 alınarak hesaplandığında sonuç ;

$$0,9 \cdot \frac{M}{M_{pl,d}} + \frac{N}{N_{pl,d}} \leq 1 \Rightarrow 0,9 \cdot 100 \cdot \frac{65,36}{60567} + \frac{4443,95}{5271} = 0,94 < 1 \text{ olduğundan sağlanmıştır.}$$

2.5.1.5. Basınç Elemanları İçin Burkulma Hesabı

İkinci ana taşıyıcı için etkin uzunluk 3.8 m'dir. Burkulma analizinin sonuçları ise aşağıdaki tabloda verildiği gibidir.

Tablo 43. Güncel standartlara göre 2. tip ana taşıyıcının burkulma analizi sonuçları

| Enkesit | Maksimum dizayn değeri | Dizayn kriteri |
|----------------------|------------------------|----------------|
| IPB _I 280 | 0,783 | 1 |
| IPB _I 240 | 0,000 | 1 |
| IPB _I 140 | 0,000 | 1 |
| IPB _I 180 | 0,720 | 1 |
| IPB _I 160 | 0,530 | 1 |
| IPB _I 260 | 0,755 | 1 |
| IPB _I 300 | 0,844 | 1 |
| IPB _I 260 | 0,000 | 1 |

Burkulma analizi sonuçlarına göre ikinci tip ana taşıyıcının elemanları güvenli bölgede yer almaktadır.

2.5.1.6. Basınç Elemanları İçin Yanal Burkulma Hesabı

Yanal burkulma analizinin sonuçları aşağıdaki tabloda ifade edildiği gibidir.

Tablo 44. Güncel standartlara göre 2. tip ana taşıyıcının yanal burkulma analizi sonuçları

| Enkesit | Maksimum dizayn değeri | Dizayn kriteri |
|----------------------|------------------------|----------------|
| IPB _I 280 | 0,882 | 1 |

Tablo 44'ün devamı

| | | |
|----------------------|-------|---|
| IPB _l 240 | 0,004 | 1 |
| IPB _l 140 | 0,007 | 1 |
| IPB _l 180 | 0,904 | 1 |
| IPB _l 160 | 0,677 | 1 |
| IPB _l 260 | 0,861 | 1 |
| IPB _v 300 | 0,946 | 1 |
| IPB _v 260 | 0,175 | 1 |

Yapının ikinci tip ana taşıyıcısında yanal burkulma sorunu gözlenmemiş olup, yeni standartlar yardımı ile denetleme sonucunda, yapının ikinci tip ana taşıyıcısının güvenli bölgede olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

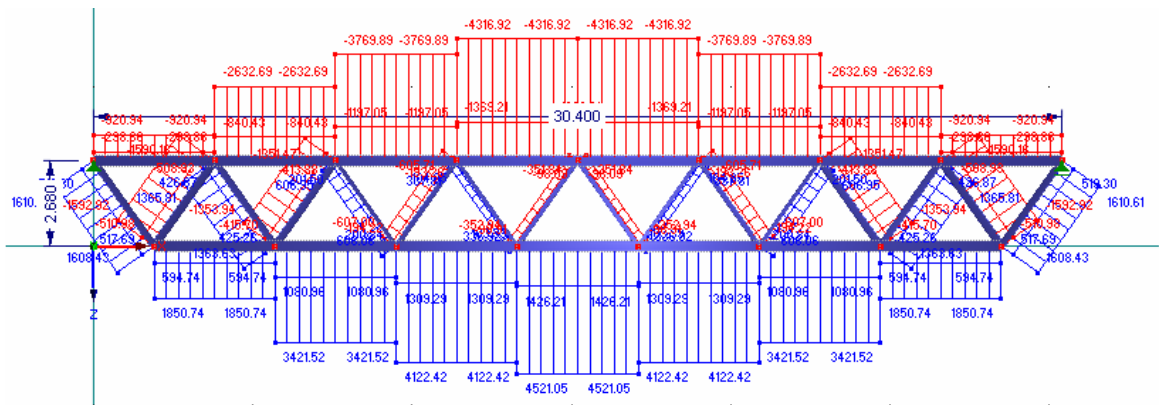
2.5.2. Yapının İnşa Edildiği Dönemdeki Standartlara Göre İkinci Tip Ana Taşıyıcının Hesabı (DIN 1055)

2.5.2.1. Yükleme Durumları, Yükleme Grupları ve Kombinasyonları

Birinci tip ana taşıyıcının, yapının projelendirilmesinde kullanılan standartlara göre incelenmesinde açıklanan yükleme esaslarının tümü, ikinci tip ana taşıyıcı için geçerlidir.

2.5.2.2. İç Kuvvetler

Meydana gelen minimum ve maksimum normal kuvvetler, kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri Şekil 34 ve Tablo 45 yardımıyla açıklanmıştır.



Şekil 34. 2. tip ana taşıyıcıda meydana gelen normal kuvvetler (N)

Tablo 45. 2. tip ana taşıyıcıda meydana gelen iç kuvvetler

| İç kuvvetler | Maksimum değer | Minimum değer |
|--------------------------|----------------|---------------|
| Normal kuvvet (N) | 4521,05 (kN) | -4316,92 (kN) |
| Kesme kuvveti (V_z) | 37,93 (kN) | -37,93 (kN) |
| Eğilme momenti (M_y) | 162,41 (kNm) | - |

Maksimum deformasyon değeri 65,2 mm olup 121,6 mm'den küçük olduğundan ikinci tip ana taşıyıcı için izin verilebilir seviyededir.

2.5.2.3. İkinci Tip Ana Taşıyıcıda Elastik-Elastik Denetleme Metodu

Gerilme analizi için maksimum dizayn değerleri Tablo 46'da sunulduğu gibidir.

Tablo 46. Elastik-elastik denetleme metodu maksimum dizayn değerleri

| Enkesit | Maksimum dizayn değeri | Dizayn kriteri |
|----------------------|------------------------|----------------|
| IPB _I 280 | 0,75 | 1 |
| IPB _I 240 | 0,96 | 1 |
| IPB _I 140 | 0,89 | 1 |
| IPB _I 180 | 0,62 | 1 |
| IPB _I 160 | 0,42 | 1 |
| IPB _I 260 | 0,72 | 1 |
| IPB _V 300 | 0,87 | 1 |
| IPB _V 260 | 1,08 | 1 |

Sonuçlara göre IPB_V 260 profilinde, ana taşıyıcının alt başlığında gerilmeler plastik bölgeye geçmiştir bu yüzden elastik-plastik denetimin yapılması gerekmektedir.

2.5.2.4. İkinci Tip Ana Taşıyıcıda Elastik-Plastik Denetleme Metodu

İkinci tip ana taşıyıcı için elastik-plastik denetleme aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Enkesit : IPB_V 260 $N_{pl,d}=4792$ kN $V_{pl,z,d}=584$ kN $M_{pl,y,d}=55061$ kNcm
İç kuvvetler : $N=4521,05$ kN $V_z= 4,73$ kN $M_y=66,65$ kNm

$$\text{Denetleme : } \frac{N}{N_{pl,d}} = \frac{4521,05}{4792} = 0,943 \Rightarrow 0,1 < \frac{N}{N_{pl,d}} \leq 1$$

$$\frac{V_z}{V_{pl,z,d}} = \frac{4,73}{584} = 0,008 \Rightarrow \frac{V_z}{V_{pl,z,d}} < 0,33 \text{ sonucu bulunur. Buradan gerekli}$$

etkileşim koşulu, emniyet katsayısı 1,0 alınarak hesaplandığında sonuç ;

$$0,9 \cdot \frac{M}{M_{pl,d}} + \frac{N}{N_{pl,d}} \leq 1 \Rightarrow 0,9 \cdot 100 \cdot \frac{66,65}{60567} + \frac{4521,05}{5271} = 0,956 < 1 \text{ olduğundan sağlanmıştır.}$$

2.5.2.5. Basınç Elemanları İçin Burkulma Hesabı

Burkulma analizinin sonuçları ise aşağıdaki tabloda verildiği gibidir.

Tablo 47. 2. tip ana taşıyıcının burkulma analizi sonuçları

| Enkesit | Maksimum dizayn değeri | Dizayn kriteri |
|----------------------|------------------------|----------------|
| IPB _I 280 | 0,795 | 1 |
| IPB _I 240 | 0,000 | 1 |
| IPB _I 140 | 0,000 | 1 |
| IPB _I 180 | 0,730 | 1 |
| IPB _I 160 | 0,541 | 1 |
| IPB _I 260 | 0,769 | 1 |
| IPB _V 300 | 0,859 | 1 |
| IPB _V 260 | 0,000 | 1 |

Burkulma analizi sonuçlarına göre ikinci tip ana taşıyıcının elemanları güvenli bölgede yer almaktadır.

2.5.2.6. Basınç Elemanları İçin Yanal Burkulma Hesabı

Yanal burkulma analizinin sonuçları aşağıdaki tabloda ifade edildiği gibidir.

Tablo 48. 2. tip ana taşıyıcının yanal burkulma analizi sonuçları

| Enkesit | Maksimum dizayn değeri | Dizayn kriteri |
|----------------------|------------------------|----------------|
| IPB _I 280 | 0,896 | 1 |
| IPB _I 240 | 0,004 | 1 |

Tablo 48'in devamı

| | | |
|----------------------|-------|---|
| IPB _I 140 | 0,006 | 1 |
| IPB _I 180 | 0,918 | 1 |
| IPB _I 160 | 0,692 | 1 |
| IPB _I 260 | 0,877 | 1 |
| IPB _V 300 | 0,963 | 1 |
| IPB _V 260 | 0,178 | 1 |

Yapının ikinci tip ana taşıyıcısında yanal burkulma sorunu gözlenmemiş olup, yapının inşa edilmiş olduğu dönemdeki standartlara göre, yapının ikinci tip ana taşıyıcısının güvenli bölgede olduğu sonucuna varılmıştır.

2.6. Tali ve Ana Taşıyıcılar İçin Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

Yapı çatısını oluşturan tali taşıyıcılar ile iki farklı tipteki ana taşıyıcıların statik denetlemesi sonucunda, taşıyıcıların elemanlarının projelendirilmesinin güvenli bir şekilde yapıldığı kanısına varılmıştır. Yapı çatısında meydana gelen çatlaklar, taşıyıcı elemanların modellenmesindeki bir hatadan dolayı meydana gelmemiştir. Bu sonuca göre, çatının yeniden modellenmesine gerek duyulmamıştır. Bunun yerine, makasların düğüm noktalarının kontrolü yapılacaktır. Aşağıda sunulan tablolar, çalışmanın bu bölümüne kadar elde edilen sonuçları ve bu sonuçların karşılaştırılmasını içermektedir. Taşıyıcılarda meydana gelen iç kuvvetler, deformasyonlar ve gerilmelerin sonuçları yapının yapılmış olduğu dönemdeki ve yeni standartlara göre tablolar halinde özetlenmiş olup daha kapsamlı bilgi çalışmanın sonuçlar bölümünde sunulacaktır.

Tablo 49. Tali taşıyıcılarda meydana gelen iç kuvvetler

| İç kuvvetler | Eski DIN 1055 standardına göre sonuçlar | Güncel DIN 1055-DIN 18800 standardına göre sonuçlar |
|--------------------------|---|---|
| N max (kN) | 1306,29 | 1293,24 |
| N min (kN) | -1287,84 | 1274,99 |
| V _z max (kN) | 36,30 | 35,92 |
| V _z min (kN) | -36,30 | -35,92 |
| M _y max (kNm) | 31,21 | 30,89 |
| M _y min (kNm) | -8,98 | -9,07 |

Tablo 50. Tali taşıyıcılarda meydana gelen iç kuvvetlerin karşılaştırılması

| İç kuvvetler | Eski DIN 1055 standardına göre sonuçlar | Güncel DIN 1055-DIN 18800 standardı için sapma (%) |
|--------------------------|---|--|
| N max (kN) | 1306,29 | -0,99 |
| N min (kN) | -1287,84 | -0,99 |
| V _z max (kN) | 36,30 | -1,04 |
| V _z min (kN) | -36,30 | -1,04 |
| M _y max (kNm) | 31,21 | -1,02 |
| M _y min (kNm) | -8,98 | -1,00 |

Tablo 51. Birinci tip ana taşıyıcıda meydana gelen iç kuvvetler

| İç kuvvetler | Eski DIN 1055 standardına göre sonuçlar | Güncel DIN 1055-DIN 18800 standardına göre sonuçlar |
|--------------------------|---|---|
| N max (kN) | 6964,26 | 6847,02 |
| N min (kN) | -6881,14 | -6764,75 |
| V _z max (kN) | 37,75 | 37 |
| V _z min (kN) | -37,75 | -37 |
| M _y max (kNm) | 170,66 | 167,57 |
| M _y min (kNm) | 0 | 0 |

Tablo 52. Birinci tip ana taşıyıcıda meydana gelen iç kuvvetlerin karşılaştırılması

| İç kuvvetler | Eski DIN 1055 standardına göre sonuçlar | Güncel DIN 1055-DIN 18800 standardı için sapma (%) |
|--------------------------|---|--|
| N max (kN) | 6964,26 | -1,68 |
| N min (kN) | -6881,14 | -1,68 |
| V _z max (kN) | 37,75 | -1,98 |
| V _z min (kN) | -37,75 | -1,98 |
| M _y max (kNm) | 170,66 | -1,81 |
| M _y min (kNm) | 0 | 0 |

Tablo 53. İkinci tip ana taşıyıcıda meydana gelen iç kuvvetler

| İç kuvvetler | Eski DIN 1055 standardına göre sonuçlar | Güncel DIN 1055-DIN 18800 standardına göre sonuçlar |
|-------------------------|---|---|
| N max (kN) | 4521,05 | 4443,95 |
| N min (kN) | -4316,92 | -4244,43 |
| V _z max (kN) | 37,93 | 37,28 |
| V _z min (kN) | -37,93 | -37,28 |

Tablo 53'ün devamı

| | | |
|-----------------|--------|--------|
| M_y max (kNm) | 162,41 | 158,83 |
| M_y min (kNm) | 0 | 0 |

Tablo 54. İkinci tip ana taşıyıcıda meydana gelen iç kuvvetlerin karşılaştırılması

| İç kuvvetler | Eski DIN 1055 standardına göre sonuçlar | Güncel DIN 1055-DIN 18800 standardı için sapma (%) |
|-----------------|---|--|
| N max (kN) | 4521,05 | -1,70 |
| N min (kN) | -4316,92 | -1,70 |
| V_z max (kN) | 37,93 | -1,71 |
| V_z min (kN) | -37,93 | -1,71 |
| M_y max (kNm) | 162,41 | -2,20 |
| M_y min (kNm) | 0 | 0 |

Tablo 55. Deformasyonların karşılaştırılması

| Taşıyıcı tipi | DIN 1055 | DIN1055 - DIN 18800 | Sapma (%) |
|----------------|----------|---------------------|-----------|
| Tali taşıyıcı | 79,3 | 81,4 | 2,65 |
| Ana taşıyıcı 1 | 140,9 | 142,8 | 1,34 |
| Ana taşıyıcı 2 | 65,2 | 66,1 | 1,38 |

Tablo 56. Elastik-plastik metoda göre gerilme analizi sonuçları

| Taşıyıcı tipi | DIN 1055 | DIN1055 - DIN 18800 |
|----------------|----------|---------------------|
| Tali taşıyıcı | 1,05 | 1,04 |
| Ana taşıyıcı 1 | 0,97 | 0,96 |
| Ana taşıyıcı 2 | 0,95 | 0,94 |

Tablo 57. Burkulma analizi sonuçları

| Taşıyıcı tipi | DIN 1055 | DIN1055 - DIN 18800 |
|----------------|----------|---------------------|
| Tali taşıyıcı | 0,857 | 0,850 |
| Ana taşıyıcı 1 | 0,880 | 0,867 |
| Ana taşıyıcı 2 | 0,859 | 0,844 |

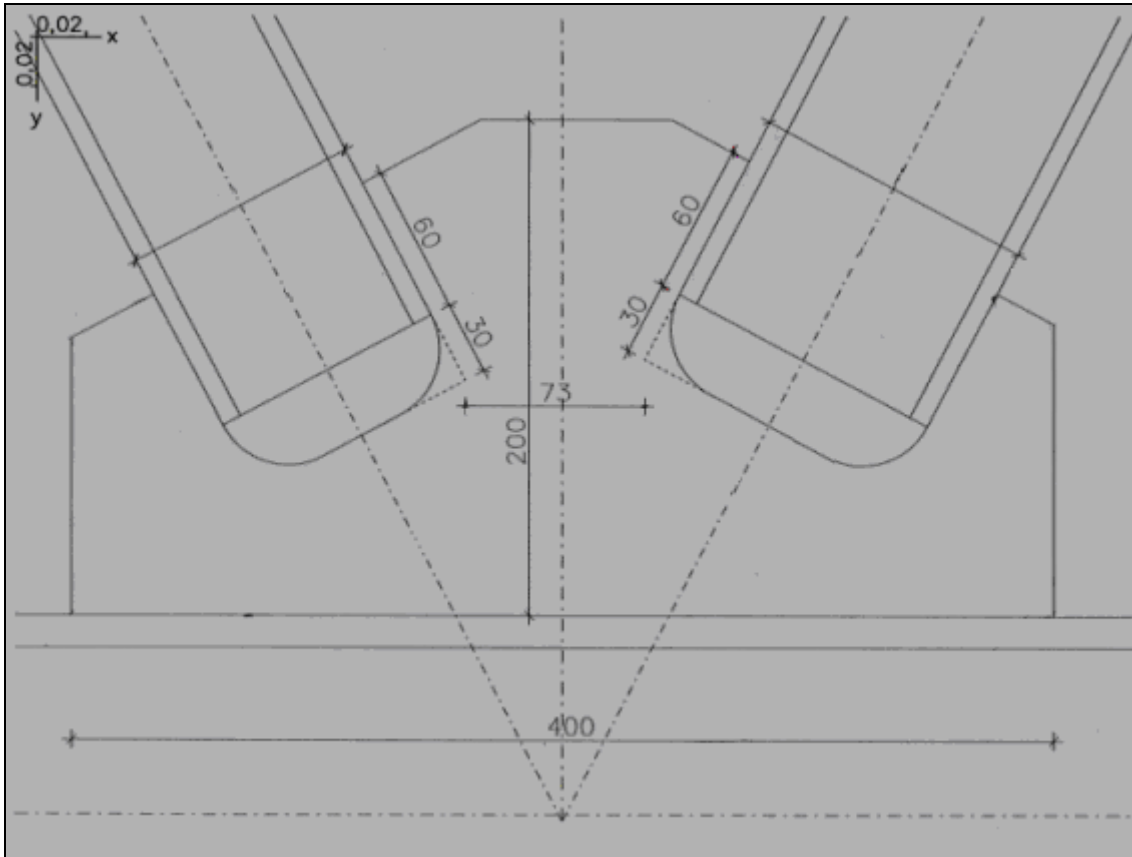
Tablo 58. Yanal burkulma analizi sonuçları

| Taşıyıcı tipi | DIN 1055 | DIN1055 - DIN 18800 |
|----------------|----------|---------------------|
| Tali taşıyıcı | 1,025 | 1,015 |
| Ana taşıyıcı 1 | 1,031 | 1,013 |
| Ana taşıyıcı 2 | 0,963 | 0,946 |

2.7. Dügüm Noktalarının Denetlenmesi

Bundan önceki bölümlerde yer alan çalışmaların neticesinde, yapıda meydana gelen çatlakların yapı elemanlarının dizaynından dolayı meydana gelmediği saptanmıştır yani yapılan hesaplamalar güvenli bölgede yer almıştır. Bu bölümde yapıda görülen çatlakların nedenini araştırmak için, ana ve tali taşıyıcıların makas düğüm noktalarının yük taşıma kapasiteleri açısından yeterli olup olmadıkları incelenecektir. Gerekli görülen düğüm noktaları için yeni modelleme oluşturulacaktır. Çatlakların tali taşıyıcıların alt başlığındaki düğüm noktalarında daha yoğun olarak görülmesinden dolayı tali taşıyıcılar için detaylı denetlemelere yer verilecektir.

2.7.1. Tali Taşıyıcılardaki Dügüm Noktalarının Denetlenmesi



Şekil 35. Tali taşıyıcılarda düğüm noktasının gösterimi

Tali taşıyıcılardaki tüm düğüm noktaları eşit boyutlarda projelendirilmiştir. Tali taşıyıcının kenarlarında yer alan diyagonallerin düğüm noktalarında meydana gelen iç kuvvetler, orta kısımlarda meydana gelen iç kuvvetlere nazaran daha büyük olduğundan, en dıştaki düğüm noktası için denetleme ve hesaplamalar yapılacaktır. Bu düğüm noktasının ölçüleri ve kullanılan profillerin özellikleri Şekil 35’de belirtildiği gibidir.

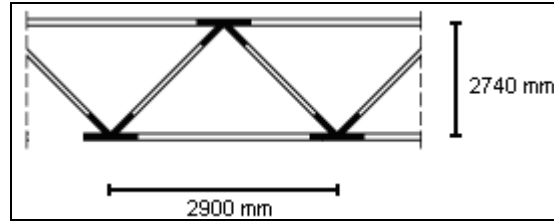
Düğüm noktasında kullanılan bağlantı levhasının kalınlığı 20 mm’dir. Diyagonaller üzerine gelen normal kuvvetler, yapılan statik hesap sonucunda, $N_{1,d} = 360,51$ kN ve $N_{2,d} = -360,7$ kN olarak bulunmuştur. Yapının tamamında, tüm düğüm noktalarında köşe kaynak kullanılmış olup, kaynak denetlemesi DIN 18800 Kısım 1’e göre yapılmıştır. Bu bilgiler ışığında hesaplamalar aşağıdaki gibi yapılmıştır.

Ölçüler:

Yatay : 2900 mm (İki düğüm noktası arası yatay mesafe)

Düşey : 2740 mm (Tali taşıyıcının yüksekliği)

Açı : $62,11^\circ$



Şekil 36. Diyagonal kafes kirişin ölçüleri

Birinci diyagonal için normal kuvvet bileşenleri :

Yatay bileşen : $H_1 = 360,51 \cdot \cos 62,11 = 168,63$ kN (\leftarrow)

Düşey bileşen : $V_1 = 360,51 \cdot \sin 62,11 = 318,63$ kN (\uparrow)

İkinci diyagonal için normal kuvvet bileşenleri :

Yatay bileşen : $H_2 = -360,70 \cdot \cos 62,11 = -168,73$ kN (\leftarrow)

Düşey bileşen : $V_2 = -360,70 \cdot \sin 62,11 = -318,80$ kN (\downarrow)

Alt başlık için dizayn değerleri :

$N_{,d} = 318,63 - 318,80 = 0,17$ kN

$V_{,d} = 168,63 + 168,73 = 337,36$ kN

Kaynak kalınlığının denetlenmesi :

$$2 \text{ mm} \leq a \leq 0,7 t_{\min} \Rightarrow t = 20 \text{ mm} \Rightarrow 2 \text{ mm} \leq a \leq 14$$

$a \geq \sqrt{\max t} - 0,5 \Rightarrow t = 20 \text{ mm} \Rightarrow a \geq 3,97 \text{ mm}$ olmalıdır. Projede kullanılan kaynak kalınlığı 5 mm olduğundan kaynak kalınlığı için gereken koşullar sağlanmıştır.

Diyagonaller için kaynak uzunluğunun denetlenmesi :

$$30 \leq l \leq 150 \cdot a \quad a = 5 \text{ mm} \Rightarrow 30 \leq l \leq 750 \text{ mm} \text{ olmalıdır. Kaynak uzunluğu } l = 60 \text{ mm'dir.}$$

$$\sigma_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{24}{1,1} = 21,82 \text{ kN/cm}^2$$

Kaynaklardaki sınır gerilme değerini aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanabilir :

$$\sigma_{w,R,d} = \frac{f_{y,k} \cdot \alpha_w}{\gamma_M} \quad (17)$$

α_w değerini DIN Standartları'nda kaynaklar için verilen bir indirgeme faktörü olup, tali taşıyıcılar için $\alpha_w = 0,95$ olarak alınacaktır (DIN 18800-Kısım 1-Tablo 19). Buradan :

$$\sigma_{w,R,d} = \frac{f_{y,k} \cdot \alpha_w}{\gamma_M} = \frac{24 \cdot 0,95}{1,1} = 20,73 \text{ kN/cm}^2 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Kullanılan kaynağın toplam alanı $A_w = l \cdot \sum a = 6 \cdot 4 \cdot 0,5 = 12 \text{ cm}^2$ 'dir. Bu bilgilerden hareketle kaynak uzunluğunun aşağıdaki denklemini sağlaması gerekmektedir :

$$\frac{N}{l \cdot \sum a} \leq \sigma_{w,R,d} \quad (18)$$

$$N = N_{1,d} = 360,51 \text{ kN olduğundan; } \frac{N}{l \cdot \sum a} \leq \sigma_{w,R,d} \Rightarrow \frac{360,51}{l \cdot 4 \cdot 0,5} \leq 20,73 \Rightarrow l \geq 8,69 \text{ cm}$$

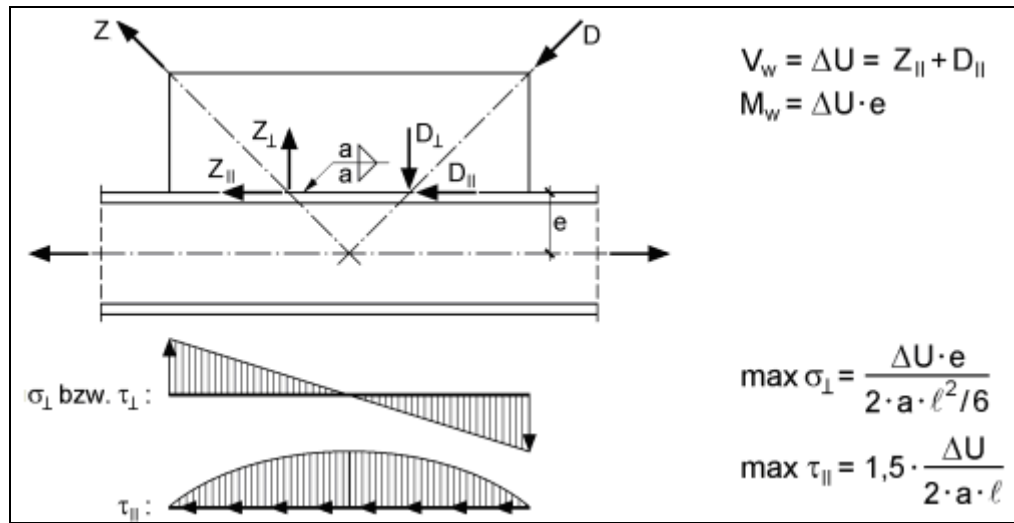
koşulunun sağlanması gerekmektedir.

Birinci diyagonalde kullanılan kaynak uzunluğu 60 mm olduğundan ilgili standartlarda belirtilen şartlar sağlanamamıştır. İkinci diyagonale gelen normal kuvvet $N = N_{2,d} = -360,7$ kN olup, kaynak uzunluğu ve hesaplamalar aynı olduğundan sonuçta bir farklılık gözlenmeyecektir. Bu sebepten, ikinci diyagonalin kaynak uzunluğunun da yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır.

Alt başlıktaki kaynak uzunluğunun denetlenmesi :

$30 \leq l \leq 150 \cdot a$ $a = 5$ mm $\Rightarrow 30 \leq l \leq 750$ mm olmalıdır. Kaynak uzunluğu $l = 400$ mm'dir.

Tali taşıyıcının alt başlığının üstündeki kaynakta eksantrik yükleme durumu oluşup, bu eksantrik yükleme etkisinin de hesaba katılması gerekmektedir. Bu hesaplanmanın yapılmasında Şekil 37'den yararlanılacaktır.



Şekil 37. Kaynak dikişlerindeki gerilmeler [13]

Şekil 37' ye göre maksimum kaynak gerilmesi aşağıdaki gibi hesaplanır :

$$V_w = V_w = \Delta U = Z_{||} + D_{||} = 168,63 + 168,73 = 337,36 = N = V_d$$

$$M_w = \Delta U \cdot e = 337,36 \cdot 8 = 2698,88 \text{ kNcm}$$

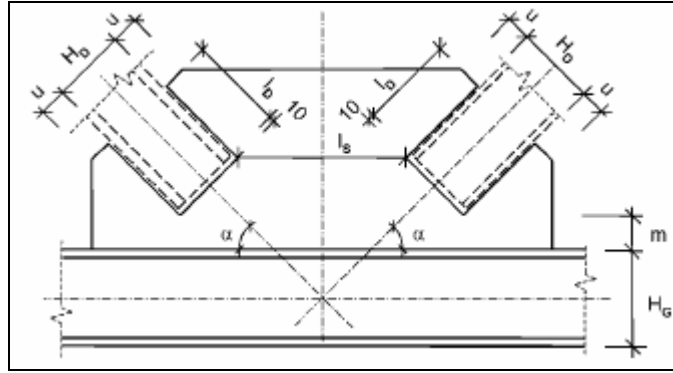
$$\max \sigma_{\perp} = \frac{\Delta U \cdot e}{2 \cdot a \cdot l^2 / 6} = \frac{337,36 \cdot 8}{2 \cdot 0,5 \cdot 40^2 / 6} = 10,09 \text{ kN/cm}^2$$

$$\max \tau_{\parallel} = 1,5 \cdot \frac{\Delta U}{2 \cdot a \cdot l} = 1,5 \cdot \frac{337,36}{2 \cdot 0,5 \cdot 40} = 12,65 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{10,09^2 + 12,65^2} = 16,18 \text{ kN/cm}^2$$

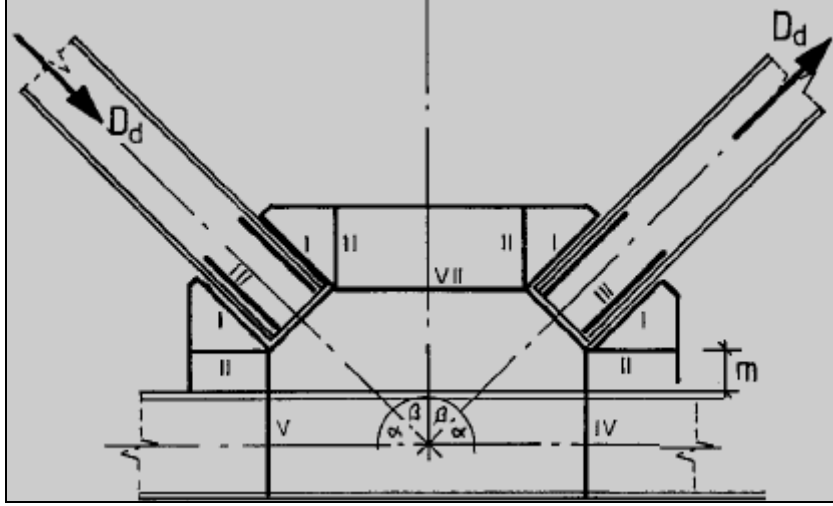
$$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,v}} \leq 1 \Rightarrow \frac{16,18}{20,73} = 0,78 < 1 \text{ olduğundan alt başlıktaki kaynak uzunluğu uygundur.}$$

İlk hesaplamalardan alınan sonuçlara göre diyagonallerdeki kaynak uzunluğu yeterli değildir. Bununla birlikte düğüm noktasının daha detaylı bir şekilde incelenmesinde yarar vardır. Bundan dolayı, bağlantı levhasında çeşitli bölgeler için kesimler yapılarak çeşitli kontrol bölgeleri oluşturulacak ve bu bölgelerin tali taşıyıcıların düğüm noktaları için denetlenmesi yapılacaktır.

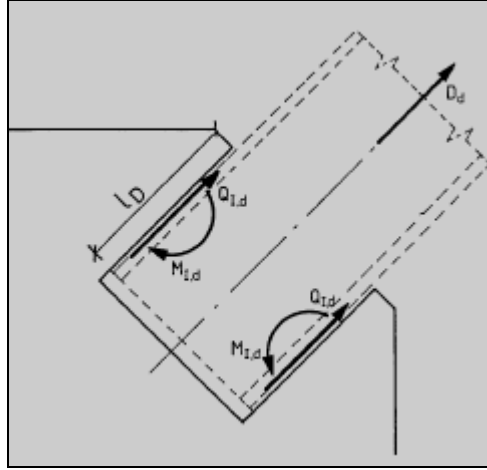


Şekil 38. Bağlantı levhasının basınç ve çekme diyagonalleri ile birlikte görünümü [12]

Yukarıdaki şekilde, düğüm noktalarının denetlenmesine model oluşturan bağlantı levhası ve bu levhanın boyutları sunulmuştur. Bununla birlikte bağlantı levhasının çeşitli kontrol bölgeleri Şekil 39'da verildiği gibidir. Buradan hareketle, gerekli görülen bölgeler tali taşıyıcıların düğüm noktası için alınacak ve daha detaylı bir denetleme ile incelenecektir. Şekil 40 yardımı ile ifade edilen birinci kontrol bölgesinden başlayarak yapılacak olan incelemeler, çatlakların bağlantı levhasının hangi bölgelerinde meydana geldiği hakkında bilgi verecektir.



Şekil 39. Bağlantı levhasının kontrol bölgeleri [12]



Şekil 40. Kontrol bölgesi 1 [12]

Birinci kontrol bölgesi için kesme kuvveti, kesme kuvvetinin plastik limit değeri ile eğilme momenti ve eğilme momentinin plastik limit değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$l_D = l = 60 \text{ mm} = 6 \text{ cm}$$

$$D_d = N_{2,d} = -360,7 \text{ kN}$$

$$f_{y,k} = 240 \text{ N/mm}^2 = 24 \text{ kN/cm}^2$$

$$t = \text{levha kalınlığı} = 20 \text{ mm} = 2 \text{ cm}$$

$$Q_{1,d} = \frac{D_d}{2} \tag{19}$$

$$Q_{pl,1,d} = \frac{l_d \cdot t \cdot f_{y,k}}{1,1 \cdot \sqrt{3}} \quad (20)$$

$$M_{1,d} = 0,21 \cdot \frac{D_d}{2} \cdot l_D \quad (21)$$

$$M_{pl,1,d} = \frac{1}{4} \cdot l_D^2 \cdot t \cdot \frac{f_{y,k}}{1,1} \quad (22)$$

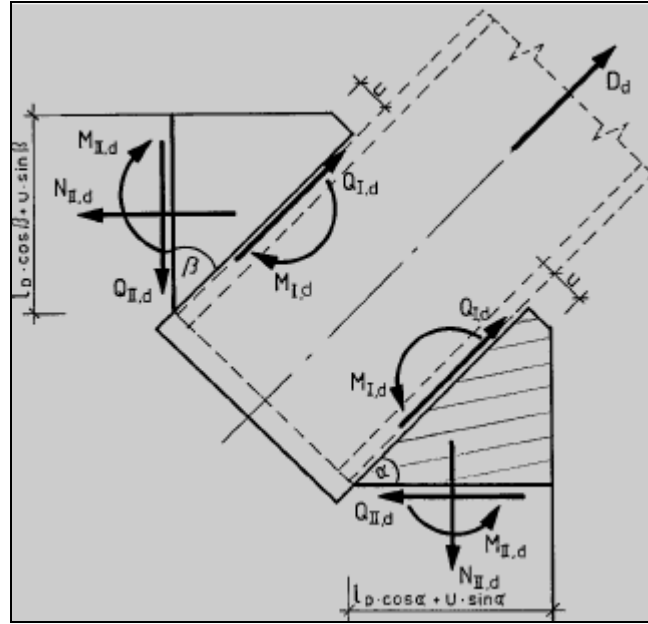
$$Q_{1,d} = \frac{D_d}{2} = \frac{360,7}{2} = 180,35 \text{ kN}$$

$$Q_{pl,1,d} = \frac{l_d \cdot t \cdot f_{y,k}}{1,1 \cdot \sqrt{3}} = \frac{6 \cdot 2 \cdot 24}{1,1 \cdot \sqrt{3}} = 151,16 \text{ kN}$$

$$M_{1,d} = 0,21 \cdot \frac{360,7}{2} \cdot 6 = 227,24 \text{ kNcm}$$

$$M_{pl,1,d} = \frac{1}{4} \cdot 6^2 \cdot 2 \cdot \frac{24}{1,1} = 392,72 \text{ kNcm}$$

Hesaplamalardan da kolayca anlaşılacağı üzere kesme kuvveti plastik limit değerinin üzerindedir ve denetleme sonucunda bağlantı levhasının birinci bölgesinde çatlakların meydana geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 41. Kontrol bölgesi 2 [12]

İkinci kontrol bölgesi yukarıdaki şekil yardımı ile ifade edilmiştir. Bu bölge için kesme kuvveti, kesme kuvvetinin plastik limit değeri, normal kuvvet, normal kuvvetin plastik limit değeri ile eğilme momenti ve eğilme momentinin plastik limit değerinin hesaplanması aşağıda açıklandığı gibidir.

$$l_D = l = 60 \text{ mm} = 6 \text{ cm}$$

$$f_{y,k} = 240 \text{ N/mm}^2 = 24 \text{ kN/c m}^2$$

$$u = 26 \text{ mm}$$

$$D_d = N_{2,d} = -360,7 \text{ kN}$$

$$t = 20 \text{ mm} = 2 \text{ cm}$$

$$\alpha = 62,11^\circ \quad \beta = 27,89^\circ$$

$$Q_{2,d} = Q_{1,d} \cdot \cos \alpha \quad (23)$$

$$Q_{pl,2,d} = \frac{t \cdot f_{y,k}}{1,1 \cdot \sqrt{3}} \cdot (l_D \cdot \cos \alpha + u \cdot \sin \alpha) \quad (24)$$

$$N_{2,d} = Q_{1,d} \cdot \sin \alpha \quad (25)$$

$$N_{pl,2,d} = \frac{t \cdot f_{y,k}}{1,1} \cdot (l_D \cdot \cos \alpha + u \cdot \sin \alpha) \quad (26)$$

$$M_{2,d} = Q_{1,d} \cdot \sin \alpha \cdot \frac{1}{2} \cdot (l_D \cdot \cos \alpha + u \cdot \sin \alpha) - M_{1,d} \quad (27)$$

$$M_{pl,2,d} = \frac{1}{4} \cdot \frac{t \cdot f_{y,k}}{1,1} \cdot (l_D \cdot \cos \alpha + u \cdot \sin \alpha)^2 \quad (28)$$

$$Q_{2,d} = 180,35 \cdot \cos 62,11 = 84,36 \text{ kN}$$

$$Q_{pl,2,d} = \frac{2 \cdot 24}{1,1 \cdot \sqrt{3}} \cdot 5,1 = 128,49 \text{ kN}$$

$$N_{2,d} = 180,35 \cdot \sin 62,11 = 159,40 \text{ kN}$$

$$N_{pl,2,d} = \frac{2 \cdot 24}{1,1} \cdot 5,1 = 222,55 \text{ kN}$$

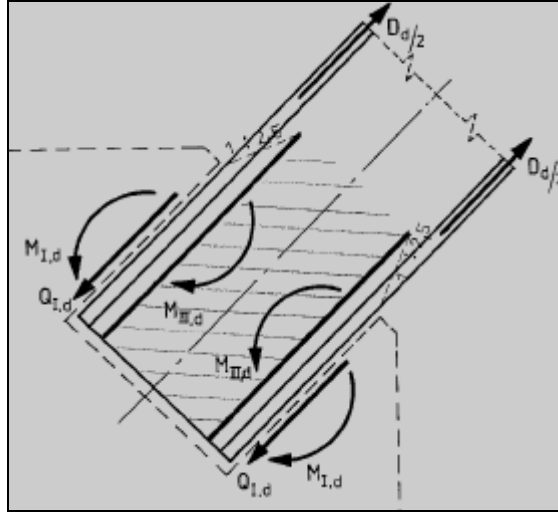
$$M_{2,d} = 180,35 \cdot \sin 62,11 \cdot \frac{1}{2} \cdot 5,1 - 227,24 = 179,23 \text{ kNcm}$$

$$M_{pl,2,d} = \frac{2 \cdot 24}{4 \cdot 1,1} \cdot 5,1^2 = 283,75 \text{ kNcm}$$

$$\text{Denetleme koşulu : } 0,8 \cdot \frac{M_{2,d}}{M_{pl,2,d}} + 0,89 \cdot \frac{N_{2,d}}{N_{pl,2,d}} + 0,33 \cdot \frac{Q_{2,d}}{Q_{pl,2,d}} \leq 1 \quad (\text{DIN 18800, Kısım 1})$$

$$0,8 \cdot \frac{179,23}{283,75} + 0,89 \cdot \frac{159,40}{222,25} + 0,33 \cdot \frac{84,36}{128,49} = 1,36 > 1$$

İkinci kontrol bölgesi için yapılan hesaplama sonucunda denetleme koşulunun sağlanamamış olduğu görülmüştür. Bu sonuca göre, bağlantı levhasının ikinci bölgesinde çatlakların meydana geldiği ifade edilebilir.



Şekil 42. Kontrol bölgesi 3 [12]

Üçüncü kontrol bölgesi Şekil 42'de sunulduğu gibidir. Bu kontrol bölgesi için eğilme momenti ve eğilme momentinin plastik limit değerinin hesaplanması aşağıdaki gibidir.

$$M_{3,d} = M_{1,d} = 227,24 \text{ kNcm}$$

$$M_{pl,3,d} = \frac{1}{4} \cdot l_3^2 \cdot s \cdot \frac{f_{y,k}}{1,1} \quad (29)$$

$$l_3 = l_D + 2,5 \cdot (t_g + r) \quad (30)$$

Formül 29'daki s, et kalınlığı olup aşağıdaki denklemin s için sağlanması gerekmektedir.

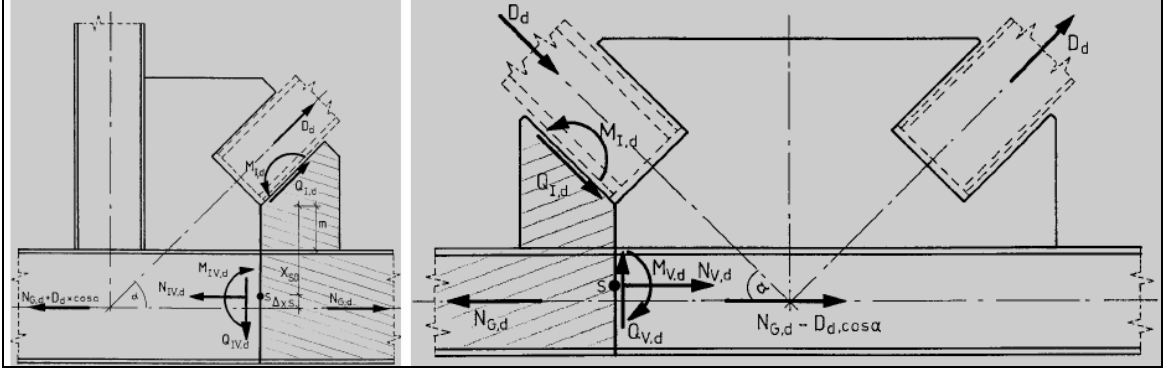
$$s \geq 0,44 \cdot t \cdot \frac{l_D^2}{l_3^2} \quad (31)$$

$$l_3 = l_D + 2,5 \cdot (t_g + r) \Rightarrow l_3 = 60 + 2,5 \cdot (8,5 + 12) = 111,25 \text{ mm}$$

$$s = 5,5 \geq 0,44 \cdot 20 \cdot \frac{60^2}{111,25^2} = 2,56 \text{ mm}$$

$$M_{pl,3,d} = \frac{1}{4} \cdot 11,13^2 \cdot 0,55 \cdot \frac{24}{1,1} = 371,63 \text{ kNcm} \quad N_{3,d} = 0 \quad Q_{3,d} = 0$$

$M_{3,d} < M_{pl,3,d}$ olduğundan üçüncü bölge için gerekli koşullar sağlanmıştır.



Şekil 43. Kontrol bölgesi 4 ve 5 [12]

Bağlantı levhasının kontrol bölgelerinin sunulduğu Şekil 39'dan da anlaşılacağı üzere, bağlantı levhasının simetrik olmasından dolayı dördüncü ve beşinci kontrol bölgeleri aynı bölgeleri temsil eder. Tali taşıyıcıda diyagonallere gelen basınç ve çekme kuvvetlerinin yaklaşık olarak aynı değerlerde olmasından dolayı ve hesap kolaylığı açısından sadece beşinci kontrol bölgesi için denetleme yapılacaktır. Beşinci kontrol bölgesi Şekil 43 yardımıyla gösterilmiştir. Gerekli enkesit değerleri DIN 1025 Standardı'nın 2. kısmından alınmıştır.

Beşinci kontrol bölgesi için kesme kuvveti, kesme kuvvetinin plastik limit değeri ile normal kuvvet ve normal kuvvetin plastik limit değeri hesaplanması aşağıda açıklandığı gibidir.

$$Q_{5,d} = Q_{1,d} \cdot \sin \alpha = 159,40 \text{ kN}$$

$$Q_{pl,5,d} = \frac{(m \cdot t + A_{Web}) \cdot f_{y,k}}{1,1 \cdot \sqrt{3}} \quad (32)$$

$$Q_{pl,5,d} = \frac{(6,2 \cdot 2 + 11,76) \cdot 24}{1,1 \cdot \sqrt{3}} = 304,33 \text{ kN}$$

$$N_{5,d} = -Q_{1,d} \cdot \cos \alpha + N_{G,d} \quad (33)$$

$$N_{pl,5,d} = \frac{(m \cdot t + A) \cdot f_{y,k}}{1,1} \quad (34)$$

$$N_{5,d} = -180,35 \cdot \cos 62,11 + 337,36 = 253 \text{ kN} \quad N_{pl,5,d} = \frac{(6,2 \cdot 2 + 54,25) \cdot 24}{1,1} = 1454,18 \text{ kN}$$

Beşinci kontrol bölgesi için kesme kuvveti ve normal kuvvet plastik limit değerlerini aşmamıştır. Eğilme momenti ve eğilme momentinin plastik limit değerinin ise hesaplanması gerekmektedir. Buna göre, beşinci kontrol bölgesi için eğilme momenti ve eğilme momentinin plastik limit değeri aşağıdaki formüller yardımı ile hesaplanabilir.

$$M_{5,d} = M_{1,d} - Q_{1,d} \cdot \cos \alpha \cdot x_{so} + N_{G,d} \cdot \Delta_{xs} \quad (35)$$

$$\Delta_{xs} = \frac{m \cdot t \cdot (H_G + m)}{2 \cdot (A + m \cdot t)} \quad (36)$$

$$x_{so} = \frac{H_G}{2} + m - \Delta_{xs} \quad (37)$$

$$M_{pl,5,d} = 1,14 \cdot \frac{I_G}{H_G} \cdot 2 \cdot \frac{f_{y,k}}{1,1} \quad (38)$$

$$\Delta_{xs} = \frac{6,2 \cdot 2 \cdot (16 + 6,2)}{2 \cdot (54,25 + 6,2 \cdot 2)} = 2,07 \text{ cm} \quad x_{so} = \frac{16}{2} + 6,2 - 2,07 = 12,13 \text{ cm}$$

$$M_{5,d} = 227,24 - 180,35 \cdot \cos 62,11 \cdot 12,13 + 336,37 \cdot 2,07 = -97,75 \text{ kNcm}$$

$$M_{pl,5,d} = 1,14 \cdot \frac{2492}{16} \cdot 2 \cdot \frac{24}{1,1} = 7747,85 \text{ kNcm}$$

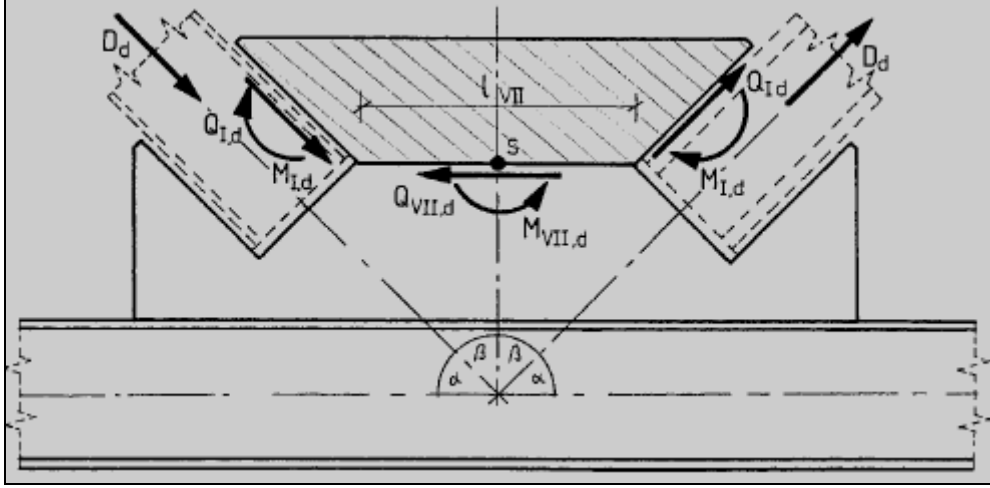
$$\text{Denetleme koşulu : } 0,8 \cdot \frac{M_{5,d}}{M_{pl,5,d}} + 0,89 \cdot \frac{N_{5,d}}{N_{pl,5,d}} + 0,33 \cdot \frac{Q_{5,d}}{Q_{pl,5,d}} \leq 1$$

$$0,8 \cdot \frac{97,75}{7747,85} + 0,89 \cdot \frac{253}{1454,18} + 0,33 \cdot \frac{159,4}{304,33} = 0,34 < 1$$

Yukarıdaki hesaplamalardan çıkan sonuç, gerekli şartların dördüncü ve beşinci bölge için sağlandığı ve bu bölgelerde çatlak probleminin oluşmadığıdır.

Son olarak yedinci kontrol bölgesinin denetlenmesi yapılacak olup bu bölgenin boyutları Şekil 44'deki gibidir. Yedinci kontrol bölgesi için kesme kuvveti, kesme

kuvvetinin plastik limit değeri ile eğilme momenti ve eğilme momentinin plastik limit değeri aşağıdaki formüller yardımı ile hesaplanabilir.



Şekil 44. Kontrol bölgesi 7 [12]

$$Q_{7,d} = 2 \cdot Q_{I,d} \cdot \cos \alpha \quad (39)$$

$$Q_{pl,7,d} = l_7 \cdot t \cdot \frac{f_{y,k}}{1,1 \cdot \sqrt{3}} \quad (40)$$

$$Q_{7,d} = 2 \cdot 180,35 \cdot \cos 62,11 = 168,73 \text{ kN} \quad Q_{pl,7,d} = 7,3 \cdot 2 \cdot \frac{24}{1,1 \cdot \sqrt{3}} = 183,91 \text{ kN}$$

$$M_{7,d} = 2 \cdot M_{I,d} - 2 \cdot Q_{I,d} \cdot 0,5 \cdot l_7 \cdot \sin \alpha \quad (41)$$

$$M_{pl,7,d} = \frac{1}{4} \cdot l_7^2 \cdot t \cdot \frac{f_{y,k}}{1,1} \quad (42)$$

$$M_{7,d} = 2 \cdot 227,24 - 2 \cdot 180,35 \cdot 0,5 \cdot 7,3 \cdot \sin 62,11 = -709,15 \text{ kNcm}$$

$$M_{pl,7,d} = \frac{1}{4} \cdot 7,3^2 \cdot 2 \cdot \frac{24}{1,1} = 581,35 \text{ kNcm}$$

$M_{7,d} > M_{pl,7,d}$ olduğundan yedinci kontrol bölgesi için gerekli koşullar sağlanamamıştır ve bu bölgede çatlaklar meydana gelmiştir. Sonuç olarak, bağlantı levhasının çeşitli bölgelerinde çatlakların meydana geldiği tespit edilmiş olup, düğüm noktası için iyileştirme ve güçlendirme yapılması kaçınılmazdır. Burada, yeterli yük taşıma kapasitesini sağlayabilecek yeni bir dizayn örneği sunulacaktır.

Daha önce elde edilen bilgilere göre diyagonallerdeki kaynak uzunluğunun en az 87 mm olması uygun görülmüştür. Bundan dolayı yeni model, tüm kaynak kalınlıkları ve bağlantı levhasının kalınlığı aynı kalacak şekilde, diyagonaldeki kaynak uzunluğu 90 mm alınarak hesaplanacaktır. Tali taşıyıcıların yükseklikleri sabit olduğundan, diyagonallerde 90 mm kaynak uzunluğuna erişebilmek için düğüm noktasının yüksekliği ve genişliği de aynı oranda arttırılmalıdır. Buna göre, düğüm noktasının yeni boyutları aşağıdaki gibi olup, bu bilgiler ışığında yeni düğüm noktasının denetlenmesi yapılmıştır.

$$b=600 \text{ mm} \quad h=300 \text{ mm} \quad t=20 \text{ mm}$$

$$\text{Diyagonallerde kaynak uzunluğu ve kalınlığı} : l = 90 \text{ mm} \quad a = 5 \text{ mm}$$

$$\text{Alt başlıktaki kaynağın uzunluğu ve kalınlığı} : l = 600 \text{ mm} \quad a = 5 \text{ mm}$$

Kaynak kalınlığının denetlenmesi :

$$2 \text{ mm} \leq a \leq 0,7 t_{\min} \quad \Rightarrow \quad t = 25 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad 2 \text{ mm} \leq a \leq 14 \text{ mm}$$

$a \geq \sqrt{\max t} - 0,5 \quad \Rightarrow \quad t = 25 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad a \geq 3,97 \text{ mm}$ olmalıdır. Yeniden modellenen düğüm noktası için seçilen tüm kaynakların kalınlığı 5 mm olduğundan kaynak kalınlığı için gereken koşullar sağlanmıştır.

Diyagonaller için kaynak uzunluğunun denetlenmesi :

$$A_w = l \cdot \sum a = 9 \cdot 4 \cdot 0,5 = 18 \text{ cm}^2 \text{ olup, denetleme koşulu aşağıdaki gibidir.}$$

$$\sigma_{w,v} = \frac{N_{1,d}}{A_w} = \frac{360,7}{18} = 20,03 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,v}} \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \frac{20,03}{20,73} = 0,97 < 1 \quad \text{olduğundan her iki diyagonalin kaynak}$$

uzunluklarının ve kaynakların üzerine gelen gerilmelerin güvenli bölgede olduğu söylenebilir.

Alt başlıktaki kaynak uzunluğunun denetlenmesi:

$$V_w = V_w = \Delta U = Z_{\parallel} + D_{\parallel} = 168,63 + 168,73 = 337,36 = N = V_d$$

$$M_w = \Delta U \cdot e = 337,36 \cdot 8 = 2698,88 \text{ kNcm}$$

$$\max \sigma_{\perp} = \frac{\Delta U \cdot e}{2 \cdot a \cdot l^2 / 6} = \frac{337,36 \cdot 8}{2 \cdot 0,5 \cdot 60^2 / 6} = 4,498 \text{ kN/cm}^2$$

$$\max \tau_{\parallel} = 1,5 \cdot \frac{\Delta U}{2 \cdot a \cdot l} = 1,5 \cdot \frac{337,36}{2 \cdot 0,5 \cdot 60} = 8,43 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{4,498^2 + 8,43^2} = 9,55 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,v}} \leq 1 \Rightarrow \frac{9,55}{20,73} = 0,46 < 1 \text{ olduğundan alt başlıktaki kaynak uzunluğu uygundur.}$$

Projede kullanılan düğüm noktalarında yapılan denetlemede çatlamların meydana geldiği kontrol bölgelerinin, yeni model için denetlenmesi daha sağlıklı bir sonuç sunacaktır. Buna göre birinci kontrol bölgesinin yeni model için incelenmesi aşağıda sunulmuştur.

$$Q_{1,d} = \frac{D_d}{2} = \frac{360,7}{2} = 180,35 \text{ kN}$$

$$Q_{pl,1,d} = \frac{l_d \cdot t \cdot f_{y,k}}{1,1 \cdot \sqrt{3}} = \frac{9 \cdot 2 \cdot 24}{1,1 \cdot \sqrt{3}} = 226,74 \text{ kN}$$

$$M_{1,d} = 0,21 \cdot \frac{360,7}{2} \cdot 9 = 340,86 \text{ kNcm}$$

$$M_{pl,1,d} = \frac{1}{4} \cdot 9^2 \cdot 2 \cdot \frac{24}{1,1} = 883,63 \text{ kNcm}$$

$$\text{Denetleme koşulu : } 0,8 \cdot \frac{M_{1,d}}{M_{pl,1,d}} + 0,89 \cdot \frac{N_{1,d}}{N_{pl,1,d}} + 0,33 \cdot \frac{Q_{1,d}}{Q_{pl,1,d}} \leq 1$$

$$0,8 \cdot \frac{340,86}{883,63} + 0,33 \cdot \frac{180,35}{226,74} = 0,57 < 1$$

Bu sonuca göre, birinci kontrol bölgesi için yeni düğüm noktası güvenli bölgede yer almaktadır. Projede kullanılan düğüm noktasının ikinci kontrol bölgesinde de çatlakların meydana geldiği görüldüğünden, yeni model için ikinci kontrol bölgesinde yapılan denetimler aşağıda sunulmuştur.

$$l_D \cdot \cos \alpha + u \cdot \sin \alpha = 9 \cdot \cos 62,11 + 2,6 \cdot \sin 62,11 = 6,5 \text{ cm}$$

$$Q_{2,d} = 180,35 \cdot \cos 62,11 = 84,36 \text{ kN}$$

$$Q_{pl,2,d} = \frac{2 \cdot 24}{1,1 \cdot \sqrt{3}} \cdot 6,5 = 163,75 \text{ kN}$$

$$N_{2,d} = 180,35 \cdot \sin 62,11 = 159,40 \text{ kN}$$

$$N_{pl,2,d} = \frac{2 \cdot 24}{1,1} \cdot 6,5 = 283,63 \text{ kN}$$

$$M_{2,d} = 180,35 \cdot \sin 62,11 \cdot \frac{1}{2} \cdot 6,5 - 340,86 = 177,19 \text{ kNcm}$$

$$M_{pl,2,d} = \frac{2 \cdot 24}{4 \cdot 1,1} \cdot 6,5^2 = 460,90 \text{ kNcm}$$

$$\text{Denetleme koşulu : } 0,8 \cdot \frac{M_{d}}{M_{pl,d}} + 0,89 \cdot \frac{N_{d}}{N_{pl,d}} + 0,33 \cdot \frac{Q_{d}}{Q_{pl,d}} \leq 1$$

$$0,8 \cdot \frac{177,19}{460,90} + 0,89 \cdot \frac{159,40}{283,63} + 0,33 \cdot \frac{84,36}{163,75} = 0,98 < 1$$

Elde edilen sonuca göre, denetleme koşulu sağlanmış olup, yeniden dizayn edilen düğüm noktasının ikinci kontrol bölgesi istenen şartları sağlamıştır. Üçüncü, dördüncü ve beşinci kontrol bölgelerinde istenen şartların sağlandığı önceden tespit edilmiş olduğundan yeniden kontrolüne gerek yoktur. Güvenlik şartlarını sağlamayan yedinci kontrol bölgesi, yeni modelde aşağıdaki hesaplarda görüldüğü üzere istenen şartları sağlamıştır.

$$Q_{7,d} = 2 \cdot 180,35 \cdot \cos 62,11 = 168,73 \text{ kN}$$

$$Q_{pl,7,d} = 11 \cdot 2 \cdot \frac{24}{1,1 \cdot \sqrt{3}} = 277,13 \text{ kN}$$

$$M_{7,d} = 2 \cdot 340,86 - 2 \cdot 180,35 \cdot 0,5 \cdot 11 \cdot \sin 62,11 = -1071,7 \text{ kNcm}$$

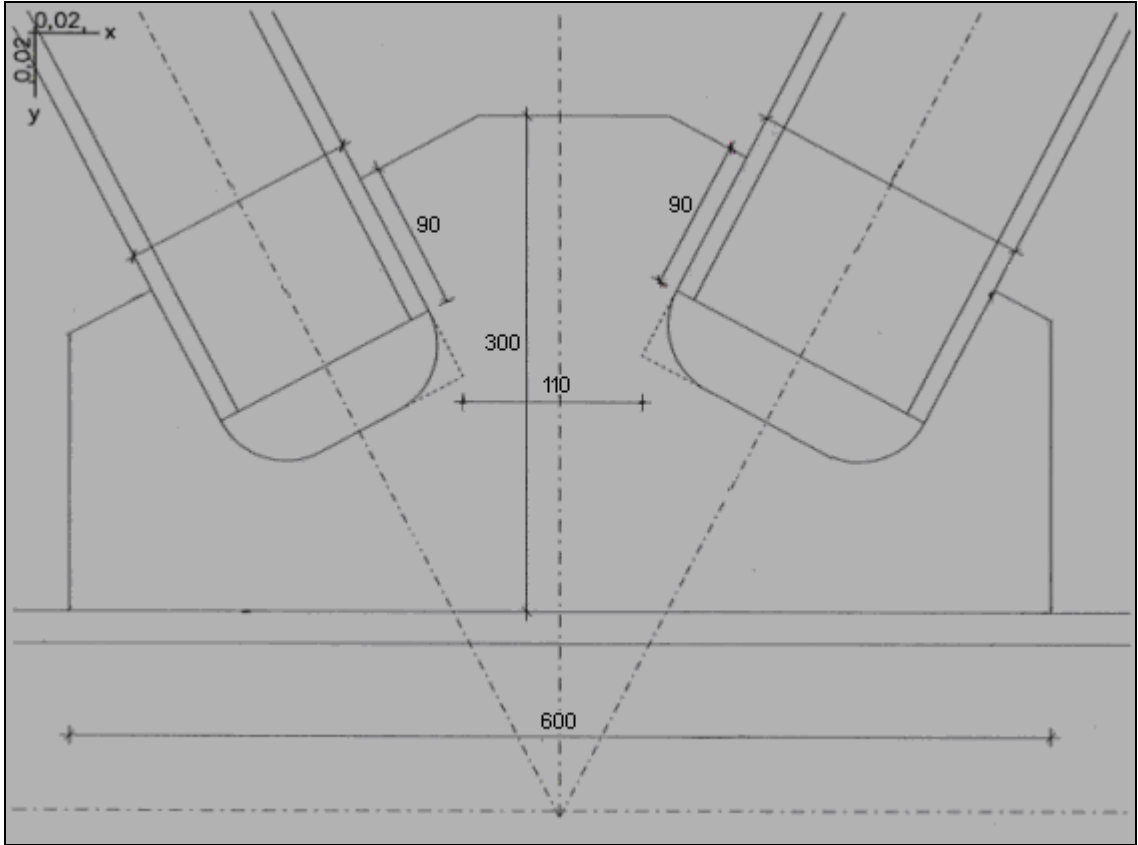
$$M_{pl,7,d} = \frac{1}{4} \cdot 11^2 \cdot 2 \cdot \frac{24}{1,1} = 1320 \text{ kNcm}$$

$$\text{Denetleme koşulu : } 0,8 \cdot \frac{M_{d}}{M_{pl,d}} + 0,89 \cdot \frac{N_{d}}{N_{pl,d}} + 0,33 \cdot \frac{Q_{d}}{Q_{pl,d}} \leq 1$$

$$0,8 \cdot \frac{1071,7}{1320} + 0,33 \cdot \frac{168,73}{277,13} = 0,85 < 1$$

Yeniden boyutlandırılan düğüm noktasının kaynak uzunlukları, kaynak kalınlıkları gerekli şartları sağlamıştır. Bunun yanı sıra, düğüm noktasında araştırma yapılan yedi ayrı

kontrol bölgesi için elde edilen sonuçlar güvenli bölgede yer almaktadır. Yeni boyutlandırılan düğüm noktasının tüm kontrol bölgeleri, üzerine gelen yükler açısından yeterli taşıma kapasitesine sahip olduğundan, düğüm noktasının yapıda kullanılmasında sakınca görülmemiştir. Yeni düğüm noktasının boyutları Şekil 45’de gösterildiği gibidir.



Şekil 45. Tali taşıyıcılar için modellenen düğüm noktasının görünümü

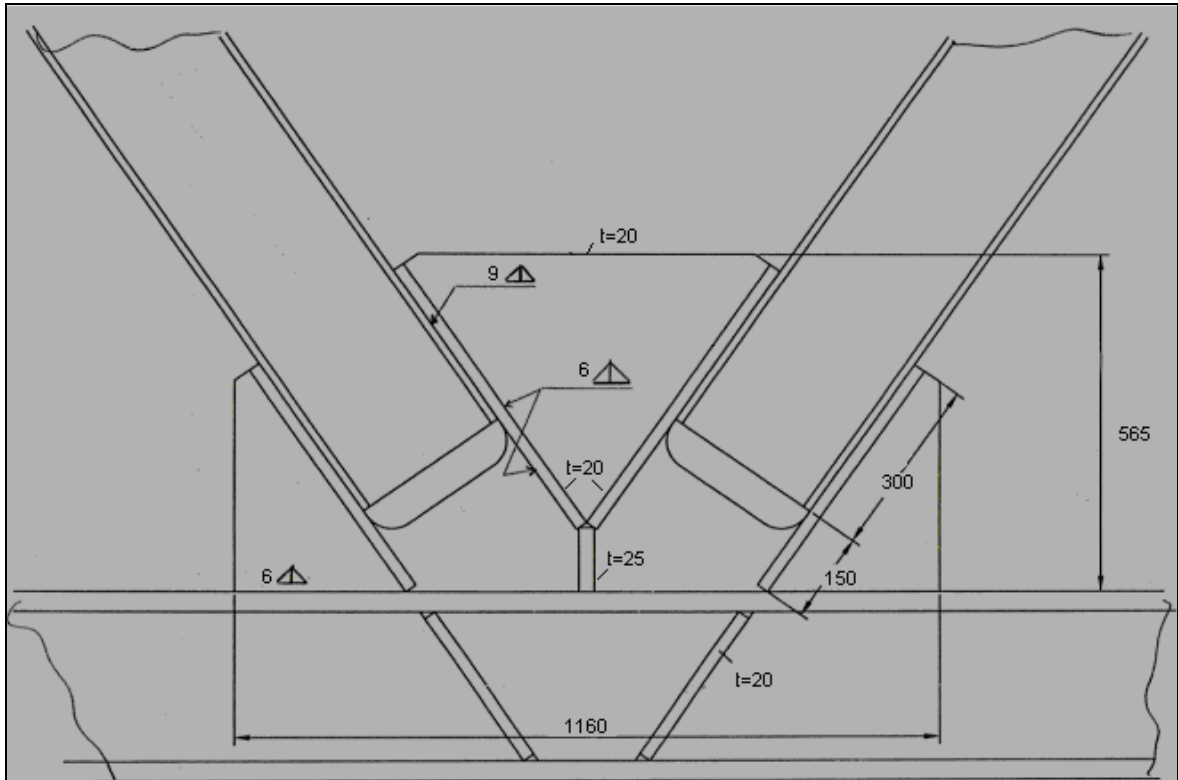
Tali taşıyıcıların tüm düğüm noktalarının aynı boyutlarda projelendirildiğinden yola çıkarak, yapıda tali taşıyıcılar için kullanılan düğüm noktasının yük taşıma kapasitesinin hesaplanması ile birlikte hangi düğüm noktalarının üzerine gelecek yükü güvenli bir biçimde taşıyabileceği hesaplanabilir. Buna göre ;

$$\frac{N}{l \cdot \sum a} \leq \sigma_{w,R,d} \Rightarrow \frac{N}{6 \cdot 4 \cdot 0,5} \leq 20,73 \Rightarrow N \leq 248,76 \text{ kN olmalıdır.}$$

Daha önce hesaplandığı üzere tali taşıyıcının ikinci düğüm noktasına gelen normal kuvvet 360,7 kN'dur. Bu yükün düğüm noktası tarafından taşınamayacağı ispatlanmıştır.

Tali taşıyıcılar için geliştirilen yeni düğüm noktası boyutlandırmasının tüm tali taşıyıcı boyunca uygulanması ekonomik olmayan ve zahmetli bir yöntem olacaktır. Bunun yerine makas düğüm noktasının taşıma kapasitesinin (248,76 kN) aşıldığı bölgelerde yeni modelin uygulanması pratik ve ekonomik bir çözüm olacaktır. Tali taşıyıcıların elemanlarının statik hesabından elde edilen verilere göre dördüncü düğüm noktasına gelen normal kuvvet 270 kN'dur. Buna göre dördüncü düğüm noktasında yeni modelin uygulanması gerekmektedir. Altıncı düğüm noktasına gelen normal kuvvet ise 195 kN olarak hesaplanmıştır. Buna göre bu düğüm noktasında yeni modelin uygulanmasına gerek yoktur. Tali taşıyıcıların düğüm noktaları için çıkarılabilecek sonuç, ikinci ve dördüncü düğüm noktalarının yukarıda bir örneği verilen yeni bir modele ihtiyacı olduğudur. Altıncı ve bundan sonraki düğüm noktalarında düğüm noktasının boyutlarının değiştirilmesine gerek yoktur.

2.7.2. Birinci Tip Ana Taşıyıcının Düğüm Noktalarının Denetlenmesi



Şekil 46. Birinci tip ana taşıyıcıda ikinci düğüm noktasının gösterimi

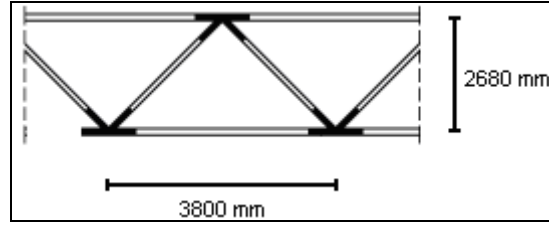
Düğüm noktasının ölçüleri Şekil 46'da belirtildiği gibidir. Düğüm noktasında kullanılan bağlantı levhasının kalınlığı 20 mm'dir. Birinci diyagonal IPB₇ 280 St 37, ikinci diyagonal IPB₇ 280 St 52, alt başlık ise IPB_v 260 St 52 profilinden meydana gelmiştir. Diyagonaller üzerine gelen normal kuvvetler $N_{1,d} = -2109$ kN ve $N_{2,d} = 2109$ kN'dur. Bu bilgiler ışığında hesaplamalar aşağıdaki gibi yapılmıştır.

Ölçüler:

Yatay : 3800 mm (İki düğüm noktası arası yatay mesafe)

Düşey : 2680 mm (Tali taşıyıcının yüksekliği)

Açı : 55°



Şekil 47. Diyagonal kafes kirişin ölçüleri

Birinci diyagonal için normal kuvvet bileşenleri :

Yatay bileşen : $H_1 = 2109 \cdot \cos 55 = 1210$ kN (\rightarrow)

Düşey bileşen : $V_1 = 2109 \cdot \sin 55 = 1728$ kN (\downarrow)

İkinci diyagonal için normal kuvvet bileşenleri :

Yatay bileşen : $H_2 = 2109 \cdot \cos 55 = 1210$ kN (\rightarrow)

Düşey bileşen : $V_2 = 2109 \cdot \sin 55 = 1728$ kN (\uparrow)

Alt başlık için dizayn değerleri :

$$N_{,d} = 1728 - 1728 = 0 \text{ kN}$$

$$V_{,d} = 1210 + 1210 = 2420 \text{ kN}$$

Kaynak kalınlığının denetlenmesi :

$$2 \text{ mm} \leq a \leq 0,7 t_{\min} \Rightarrow t = 20 \text{ mm} \Rightarrow m \leq a \leq 14$$

$a \geq \sqrt{\max t} - 0,5 \Rightarrow t=25 \text{ mm} \Rightarrow a \geq 4,5 \text{ mm}$ olmalıdır. Projede kullanılan kaynak kalınlıkları diyagonaller için mm, alt başlıkta 6 mm ve düğüm noktasını takviye için kullanılan güçlendiriciler için 6 mm olduğundan kaynak kalınlıkları için gereken koşullar sağlanmıştır.

Diyagonaller için kaynak uzunluğunun denetlenmesi :

$30 \leq l \leq 150 \cdot a$ $a=6 \text{ mm} \Rightarrow 30 \leq l \leq 900 \text{ mm}$ olmalıdır. Kaynak uzunluğu $l=300 \text{ mm}$ 'dir. Kullanılan kaynağın toplam alanı $A_w = l \cdot \sum a = 30 \cdot 4 \cdot 0,9 = 108 \text{ cm}^2$ 'dir. $N=2109 \text{ kN}$ olduğundan ;

$$\frac{N}{l \cdot \sum a} \leq \sigma_{w,R,d} \Rightarrow \frac{2109}{l \cdot 4 \cdot 0,9} \leq 20,73 \Rightarrow l \geq 28,27 \text{ cm}$$
 olmalıdır.

Bu bilgilere göre diyagonallerdeki kaynağın uzunluğu için istenen şartlar sağlanmıştır.

Alt başlıktaki kaynak uzunluğunun denetlenmesi :

Şekil 37' ye göre maksimum kaynak gerilmesi aşağıdaki gibi hesaplanır :

$$V_w = V_w = \Delta U = Z_{\parallel} + D_{\parallel} = 1210 + 1210 = 2420 \text{ kN}$$

$$M_w = \Delta U \cdot e = 2420 \cdot 14,5 = 35090 \text{ kNcm}$$

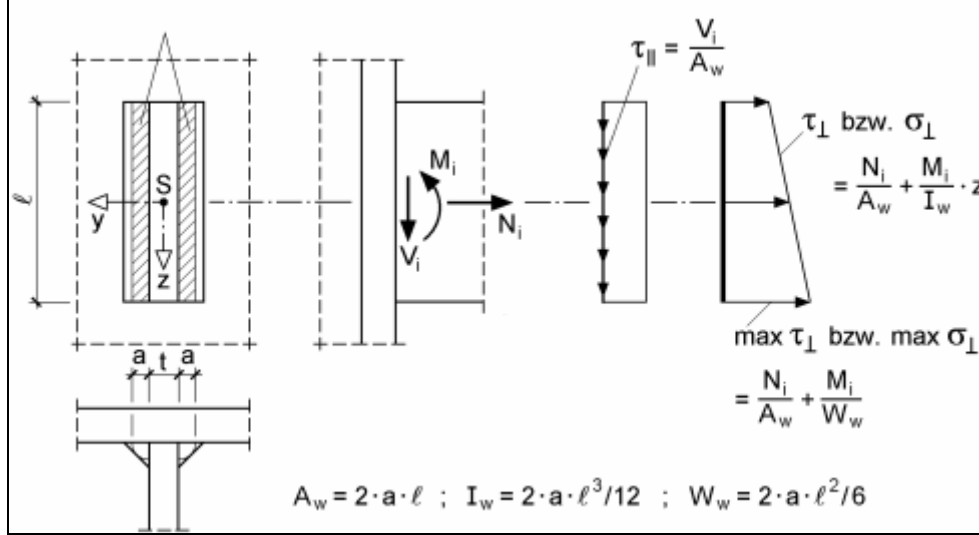
$$\max \sigma_{\perp} = \frac{\Delta U \cdot e}{2 \cdot a \cdot l^2 / 6} = \frac{2420 \cdot 14,5}{2 \cdot 0,6 \cdot 116^2 / 6} = 13,04 \text{ kN/cm}^2$$

$$\max \tau_{\parallel} = \frac{\Delta U}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{2420}{2 \cdot 0,6 \cdot 116} = 17,39 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{13,04^2 + 17,39^2} = 21,74 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,v}} \leq 1 \Rightarrow \frac{21,74}{20,73} = 1,05 > 1$$

Plastik limit değerinin 5% oranında aşılması yapım aşaması için kabul edilebilir bir değer olup, denetlemenin sonucunun güvenli bölgede olduğunu söylemek mümkündür. Güçlendiriciler için kaynak uzunluğunun denetlenmesi için Şekil 48’de yer alan bilgilerden yararlanılacaktır.



Şekil 48. Dikdörtgen enkesitlerde kaynak gerilmelerinin gösterilişi [13]

Şekil 48 yardımıyla denetlemeler aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$$A_w = l \cdot \sum a = 30 \cdot 4 \cdot 0,6 + 15 \cdot 8 \cdot 0,6 = 144 \text{ cm}^2$$

$$\tau_{||} = \frac{V_i}{A_w} = \frac{N}{l \cdot \sum a} = \frac{2109}{144} = 14,64 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{w,R,d} = 20,73 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_i = N/4 \cdot e = 527,25 \cdot 10 = 5272,5 \text{ kNcm}$$

$$I_w = \frac{2 \cdot a \cdot l^3}{12} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 45^3}{12} = 9112,5 \text{ cm}^4$$

$$W_w = \frac{2 \cdot a \cdot l^2}{6} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 45^2}{6} = 405 \text{ cm}^3$$

$$\max \sigma_{\perp} = \frac{M_i}{W_w} = \frac{5272,5}{405} = 13,02 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{||}^2} = \sqrt{13,02^2 + 14,64^2} = 19,59 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,v}} \leq 1 \Rightarrow \frac{19,59}{20,73} = 0,95 < 1$$

Yukarıdaki hesaplamalar ışığında, güçlendiriciler için sonuçların güvenli bölgede olduğu söylenebilir.

Sonuçlara göre, kaynak uzunlarının tümü ve kaynak kalınlıkları uygundur. Dügüm noktasının tümünün denetlenebilmesi için güçlendiricilerin yük taşıma kapasitelerinin de irdelenmesi gerekmektedir. Güçlendirici çelikler, bağlantı levhasının her iki tarafında da bulunmaktadır ve güçlendiriciler için yük taşıma kapasitesi hesabı aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\text{Güçlendirici çeliklerin toplam alanı} : 4 \cdot 2 \cdot 10 = 80 \text{ cm}^2$$

$$\text{Yük taşıma kapasitesi} : A \cdot f_{y,d} = 80 \cdot 21,82 = 1745,6 \text{ kN}$$

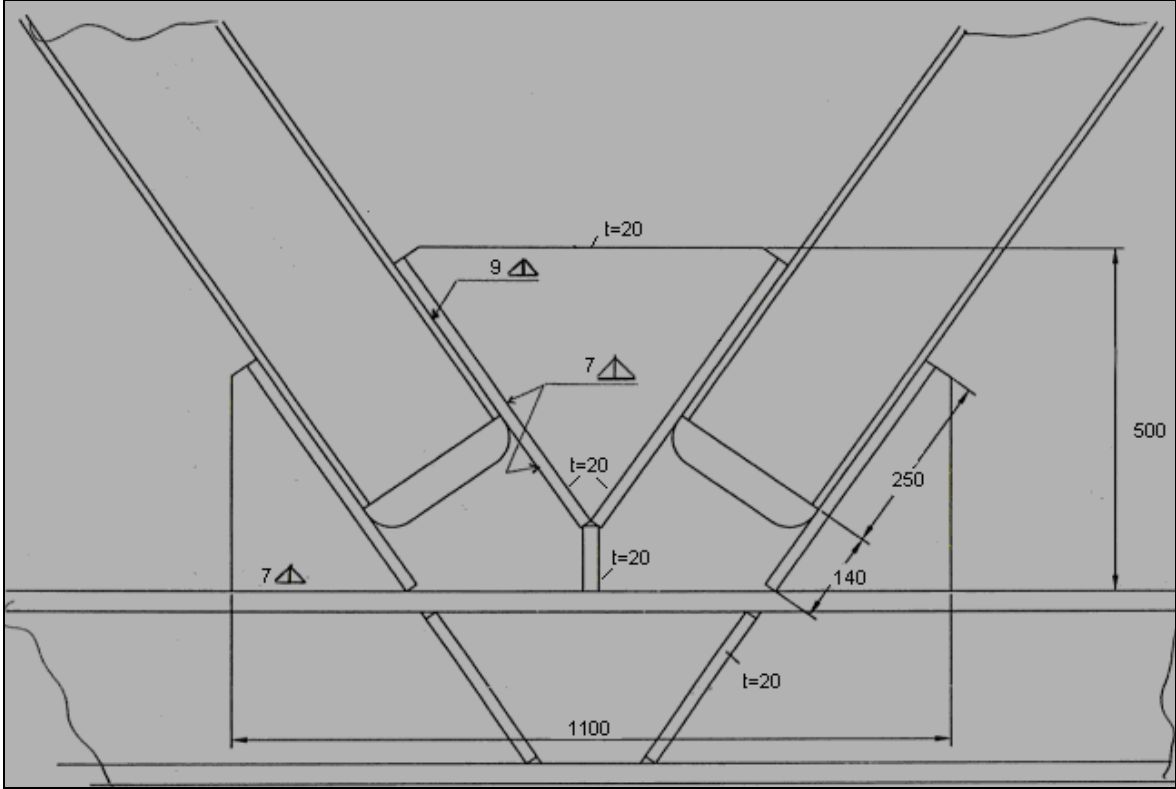
Diyagonaller üzerine gelen normal kuvvet 2109 kN olup, bu kuvvet güçlendirici takviye çeliklerinin yük taşıma kapasitesinden büyük olduğundan, bu güçlendirici çeliklerde çatlamlar meydana gelmiştir. Buna göre alınabilecek ilk önlem, yeni boyutlarıyla birlikte güçlendirici çelikleri dizayn etmektir. Takviye çeliklerinin alanının en az $2109/21,82 = 96,65 \text{ cm}^2$ olması gerekmektedir. Buna göre yapılacak olan yeni dizaynın daha efektif sonuçlar verebilmesi açısından çatlakların yayılımının nasıl olduğunun, dinamik davranışlarının ve çatlak simülasyonunun yapılması gerekmektedir. Fakat bu tez kapsamı içinde çatlakların dinamik davranışlarının incelenmesine yer verilmeyecektir.

Daha farklı bir alternatif olarak güçlendirici çelikleri kullanmadan yeni bir düğüm noktası hesaplaması yapılabilir. Tali taşıyıcılarda önerilen yeni modelde bağlantı levhasının kalınlığı sabit tutulmuş, yetersiz olan kaynak uzunlukları ile birlikte bağlantı levhasının boyutları büyütülmüştü. Ana taşıyıcı için, kaynak uzunlukları ve kalınlıkları yeterli olduğundan, bağlantı levhasının kalınlığının değiştirilmesine karar verilmiştir. Buna göre, üzerine gelen kuvvetleri emniyetli şekilde taşıyacak bağlantı levhasının kalınlığının hesaplanması yeni model için yeterli olacaktır. Formül 19 ve 20'den yola çıkarak, gerekli olan bağlantı levhası kalınlığı aşağıdaki formülle bulunabilir.

$$t = \frac{D_d \cdot 1,1 \cdot \sqrt{3}}{3,6 \cdot l_d \cdot f_{y,k}} \quad (43)$$

$$t = \frac{2109 \cdot 10^3 \cdot 1,1 \cdot \sqrt{3}}{1,8 \cdot 300 \cdot 240} = 31 \text{ mm}$$

alınarak yeni modelleme yapılması bağlantı levhasının emniyetli olması açısından yeterli olacaktır.



Şekil 49. Birinci tip ana taşıyıcıda dördüncü düğüm noktasının gösterimi

İkinci düğüm noktasının hesaplanmasının ardından, dördüncü düğüm noktasının denetlenmesine geçilmiş olup, bu düğüm noktasının ölçüleri Şekil 49 ile gösterilmiştir. Düğüm noktasında kullanılan bağlantı levhasının kalınlığı 20 mm'dir. Birinci diyagonal IPB_I 240 St 37, ikinci diyagonal IPB_I 260 St 52, alt başlık ise IPB_V 260 St 52 profilinden meydana gelmiştir. Diyagonaller üzerine gelen normal kuvvetler $N_{1,d} = -1850$ kN ve $N_{2,d} = 1850$ kN'dur. Alt başlıkta ve güçlendirici çelik profillerde kaynak kalınlığı 7 mm seçilmiş olup, diyagonaller için 9 mm kalınlıkta kaynak kullanılmıştır. Bu bilgiler ışığında hesaplamalar aşağıdaki gibi yapılmıştır.

Birinci diyagonal için normal kuvvet bileşenleri :

$$\text{Yatay bileşen} : H_1 = 1850 \cdot \cos 55 = 1061 \text{ kN} (\rightarrow)$$

$$\text{Düşey bileşen} : V_1 = 1850 \cdot \sin 55 = 1515 \text{ kN} (\downarrow)$$

İkinci diyagonal için normal kuvvet bileşenleri :

$$\text{Yatay bileşen} : H_2 = 1850 \cdot \cos 55 = 1061 \text{ kN } (\rightarrow)$$

$$\text{Düşey bileşen} : V_2 = 1850 \cdot \sin 55 = 1515 \text{ kN } (\uparrow)$$

Alt başlık için dizayn değerleri :

$$N_{,d} = 1515 - 1515 = 0 \text{ kN}$$

$$V_{,d} = 1061 + 1061 = 2122 \text{ kN}$$

Kaynak kalınlığının denetlenmesi:

$$2 \text{ mm} \leq a \leq 0,7 t_{\min} \Rightarrow t = 20 \text{ mm} \Rightarrow 2 \text{ mm} \leq a \leq 14 \text{ mm}$$

$a \geq \sqrt{\max t} - 0,5 \Rightarrow t = 20 \text{ mm} \Rightarrow a \geq 3,97 \text{ mm}$ olmalıdır. Projede kullanılan kaynak kalınlıkları diyagonaller için 9 mm, alt başlıkta 7 mm ve düğüm noktasını takviye için kullanılan güçlendiriciler için 7 mm olduğundan kaynak kalınlıkları için gereken koşullar sağlanmıştır.

Diyagonaller için kaynak uzunluğunun denetlenmesi:

$30 \leq l \leq 150 \cdot a$ $a = 9 \text{ mm} \Rightarrow 30 \leq l \leq 1350 \text{ mm}$ olmalıdır. Kullanılan kaynağın toplam alanı

$A_w = l \cdot \sum a = 25 \cdot 4 \cdot 0,9 = 90 \text{ cm}^2$ 'dir. $N = 1850 \text{ kN}$ olduğundan;

$$\frac{N}{l \cdot \sum a} \leq \sigma_{w,R,d} \Rightarrow \frac{1850}{l \cdot 4 \cdot 0,9} \leq 20,73 \Rightarrow l \geq 24,79 \text{ cm}$$
 olmalıdır.

Kaynak uzunluğu 250 mm olduğundan diyagonallerdeki kaynağın uzunluğu için istenen şartlar sağlanmıştır.

Alt başlıktaki kaynak uzunluğunun denetlenmesi:

$$V_w = V_w = \Delta U = Z_{\parallel} + D_{\parallel} = 1061 + 1061 = 2122 \text{ kN}$$

$$M_w = \Delta U \cdot e = 2122 \cdot 14,5 = 30769 \text{ kNcm}$$

$$\max \sigma_{\perp} = \frac{\Delta U \cdot e}{2 \cdot a \cdot l^2 / 6} = \frac{2122 \cdot 14,5}{2 \cdot 0,7 \cdot 110^2 / 6} = 10,89 \text{ kN/cm}^2$$

$$\max \tau_{\parallel} = \frac{\Delta U}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{2122}{2 \cdot 0,7 \cdot 110} = 13,77 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{10,89^2 + 13,77^2} = 17,55 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,v}} \leq 1 \Rightarrow \frac{17,55}{20,73} = 0,85 < 1$$

Yapılan denetlemeye göre alt başlıktaki kaynak uzunluğu istenen şartlara uygun projelendirilmiştir.

Güçlendiriciler için kaynak uzunluğunun denetlenmesi:

Şekil 48 yardımıyla denetlemeler aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$$A_w = l \cdot \sum a = 25 \cdot 4 \cdot 0,7 + 14 \cdot 8 \cdot 0,7 = 148,4 \text{ cm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_i}{A_w} = \frac{N}{l \cdot \sum a} = \frac{1850}{148,4} = 12,47 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{w,R,d} = 20,73 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_i = N/4 \cdot e = 278,25 \cdot 9 = 2504,75 \text{ kNcm}$$

$$I_w = \frac{2 \cdot a \cdot l^3}{12} = \frac{2 \cdot 0,7 \cdot 39^3}{12} = 6920,55 \text{ cm}^4$$

$$W_w = \frac{2 \cdot a \cdot l^2}{6} = \frac{2 \cdot 0,7 \cdot 39^2}{6} = 354,9 \text{ cm}^3$$

$$\max \sigma_{\perp} = \frac{M_i}{W_w} = \frac{2504,75}{354,9} = 7,05 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{7,05^2 + 12,47^2} = 14,33 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,v}} \leq 1 \Rightarrow \frac{14,33}{20,73} = 0,69 < 1$$

Denetleme sonucuna göre, güçlendiriciler için kaynak uzunluğunun emniyetli bölgede olduğu söylenebilir. Güçlendirici çeliklerin yük taşıma kapasitelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çeliklerin boyutları 20*90 mm boyutunda olduğundan, güçlendirici çelikler için yük taşıma kapasitesi hesabı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Güçlendirici çeliklerin toplam alanı} : 4 \cdot 9 \cdot 2 = 72 \text{ cm}^2$$

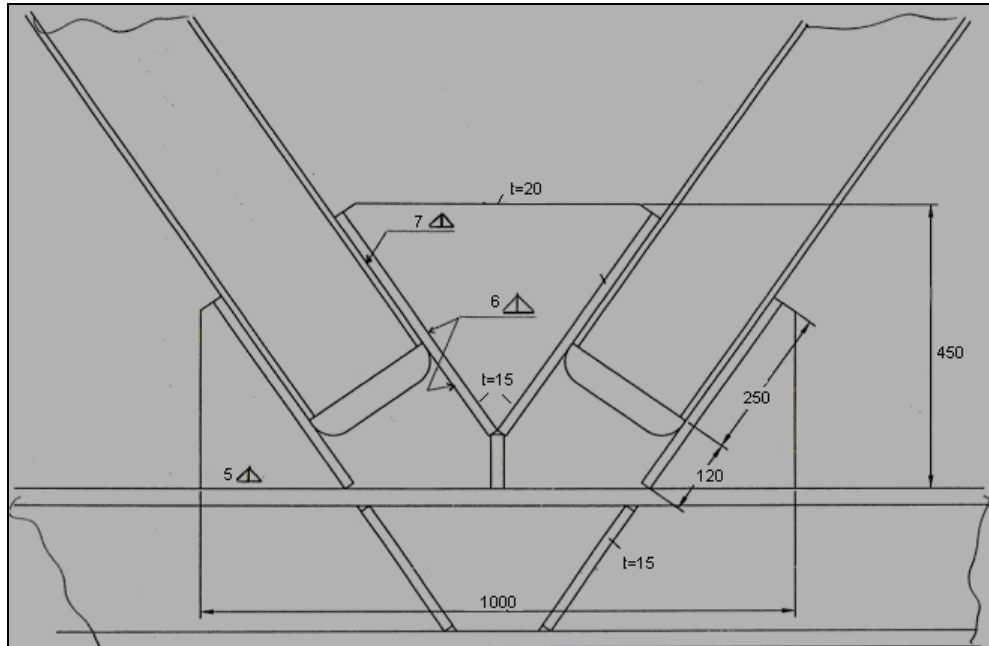
$$\text{Yük taşıma kapasitesi} : A \cdot f_{y,d} = 72 \cdot 21,82 = 1571,04 \text{ kN}$$

Diyagonaller üzerine gelen normal kuvvet 1850 kN olup, bu kuvvet güçlendirici takviye çeliklerinin yük taşıma kapasitesinden büyük olduğundan, bu güçlendirici çeliklerde çatlamlar meydana gelmiştir. İkinci düğüm noktasında belirtildiği gibi, bu durum için alınabilecek ilk önlem, yeni boyutlarıyla birlikte güçlendirici çelikleri dizayn etmektir. Takviye çeliklerinin alanının en az $1850/21,82 = 84,78 \text{ cm}^2$ olması gerekmektedir.

Daha farklı bir alternatif olarak güçlendirici çelikleri kullanmadan yeni bir düğüm noktası hesaplaması için gerekli olan bağlantı levhası kalınlığı aşağıda hesaplanmıştır.

$$t = \frac{1850 \cdot 10^3 \cdot 1,1 \cdot \sqrt{3}}{1,8 \cdot 250 \cdot 240} = 32,63 \text{ mm}$$

emniyetli olması açısından yeterli olacaktır.



Şekil 50. Birinci tip ana taşıyıcıda altıncı düğüm noktasının gösterimi

Birinci tip ana taşıyıcıda kullanılan diğer bir düğüm noktası Şekil 50'de gösterildiği gibidir. Düğüm noktasında kullanılan bağlantı levhasının kalınlığı 20 mm'dir. Birinci diyagonal IPB₁ 200 St 37, ikinci diyagonal IPB₂ 220 St 52, alt başlık ise IPB_v 260 St 52 profilinden meydana gelmiştir. Diyagonaller üzerine gelen normal kuvvetler $N_{1,d} = -1115$ kN ve $N_{2,d} = 1115$ kN'dur. Bu bilgiler ışığında hesaplamalar aşağıdaki gibi yapılmıştır.

Ölçüler :

Yatay : 3800 mm (İki düğüm noktası arası yatay mesafe)

Düşey : 2680 mm (Tali taşıyıcının yüksekliği)

Açı : 55°

Birinci diyagonal için normal kuvvet bileşenleri :

Yatay bileşen : $H_1 = 1115 \cdot \cos 55 = 640$ kN (→)

Düşey bileşen : $V_1 = 1115 \cdot \sin 55 = 913$ kN (↓)

İkinci diyagonal için normal kuvvet bileşenleri :

Yatay bileşen : $H_2 = 1115 \cdot \cos 55 = 640$ kN (→)

Düşey bileşen : $V_2 = 1115 \cdot \sin 55 = 913$ kN (↑)

Alt başlık için dizayn değerleri :

$$N_{,d} = 913 - 913 = 0 \text{ kN}$$

$$V_{,d} = 640 + 640 = 1280 \text{ kN}$$

Kaynak kalınlığının denetlenmesi :

$$2 \text{ mm} \leq a \leq 0,7 t_{\min} \quad \Rightarrow \quad t = 15 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad 2 \text{ mm} \leq a \leq 10,5 \text{ mm}$$

$a \geq \sqrt{\max t} - 0,5 \quad \Rightarrow \quad t = 20 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad a \geq 3,97 \text{ mm}$ olmalıdır. Projede kullanılan kaynak kalınlıkları diyagonaller için 7 mm, alt başlıkta 5 mm ve düğüm noktasını takviye için kullanılan güçlendiriciler için 6 mm olduğundan kaynak kalınlıkları için gereken koşullar sağlanmıştır.

Diyagonaller için kaynak uzunluğunun denetlenmesi :

$$30 \leq l \leq 150 \cdot a \quad a = 7 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad 30 \leq l \leq 1050 \text{ mm} \text{ olmalıdır. Kaynak uzunluğu } l = 250 \text{ mm'dir.}$$

Kullanılan kaynağın toplam alanı $A_w = l \cdot \sum a = 25 \cdot 4 \cdot 0,7 = 70 \text{ cm}^2$ 'dir. $N = 1115 \text{ kN}$ olduğundan ;

$$\frac{N}{l \cdot \sum a} \leq \sigma_{w,R,d} \Rightarrow \frac{1115}{l \cdot 4 \cdot 0,7} \leq 20,73 \Rightarrow l \geq 19,20 \text{ cm olmalıdır.}$$

Bu bilgilere göre diyagonallerdeki kaynağın uzunluğu için istenen şartlar sağlanmıştır.

Alt başlıktaki kaynak uzunluğunun denetlenmesi :

$$V_w = V_w = \Delta U = Z_{\parallel} + D_{\parallel} = 640 + 640 = 1280 \text{ kN}$$

$$M_w = \Delta U \cdot e = 1280 \cdot 14,5 = 18560 \text{ kNcm}$$

$$\max \sigma_{\perp} = \frac{\Delta U \cdot e}{2 \cdot a \cdot l^2 / 6} = \frac{1280 \cdot 14,5}{2 \cdot 0,5 \cdot 100^2 / 6} = 11,14 \text{ kN/cm}^2$$

$$\max \tau_{\parallel} = \frac{\Delta U}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{1280}{2 \cdot 0,5 \cdot 100} = 12,80 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{11,14^2 + 12,80^2} = 16,97 \text{ kN/cm}^2 \quad \frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,v}} \leq 1 \Rightarrow \frac{16,97}{20,73} = 0,82 < 1$$

Yapılan denetlemeye göre alt başlıktaki kaynak uzunluğu istenen şartlara uygun projelendirilmiştir. Güçlendiriciler için kaynak uzunluğunun denetlenmesi Şekil 48 yardımıyla aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$$A_w = l \cdot \sum a = 25 \cdot 4 \cdot 0,6 + 12 \cdot 8 \cdot 0,6 = 117,6 \text{ cm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_i}{A_w} = \frac{N}{l \cdot \sum a} = \frac{1115}{117,6} = 9,48 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{w,R,d} = 20,73 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_i = N/4 \cdot e = 278,25 \cdot 9 = 2508,75 \text{ kNcm}$$

$$I_w = \frac{2 \cdot a \cdot l^3}{12} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 37^3}{12} = 5065,3 \text{ cm}^4$$

$$W_w = \frac{2 \cdot a \cdot l^2}{6} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 37^2}{6} = 273,8 \text{ cm}^3$$

$$\max \sigma_{\perp} = \frac{M_i}{W_w} = \frac{2508,75}{273,8} = 9,16 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{9,16^2 + 9,48^2} = 13,18 \text{ kN/cm}^2$$

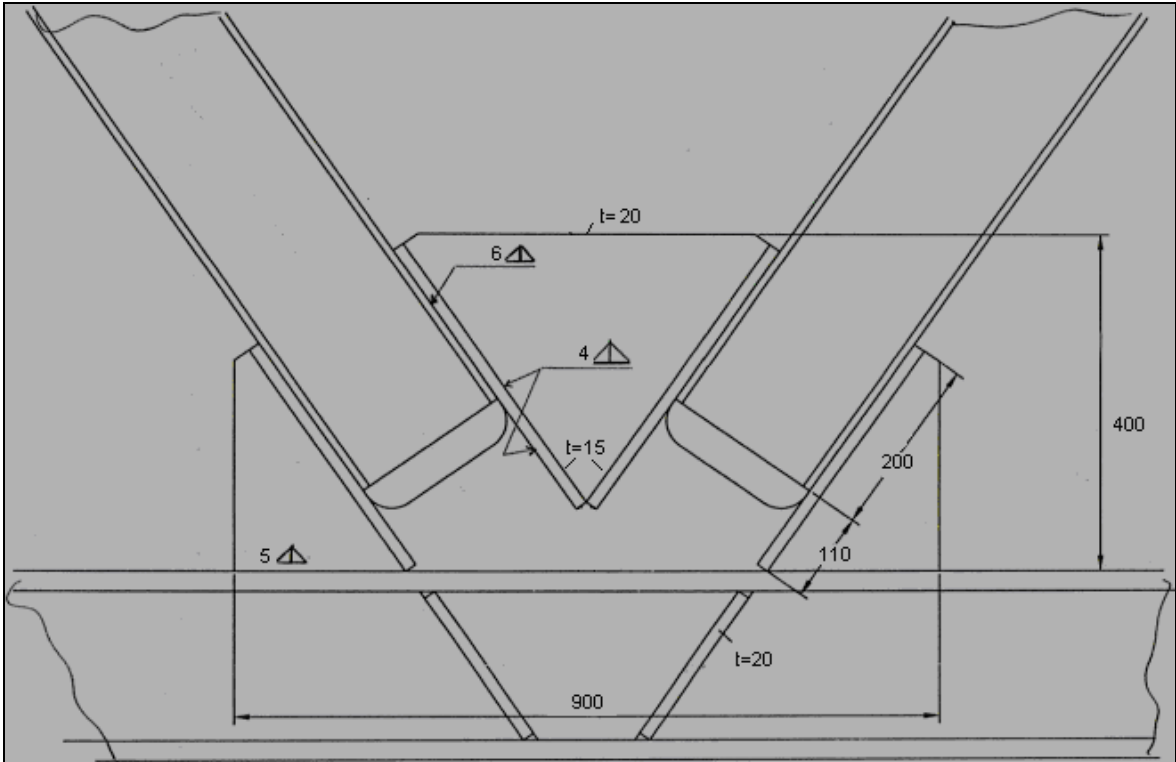
$$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,v}} \leq 1 \Rightarrow \frac{13,18}{20,73} = 0,64 < 1 \text{ olduğundan güçlendiriciler için sonuçların güvenli}$$

bölgede olduğu söylenebilir. Güçlendirici çeliklerin boyutları 15*90 mm boyutundadır. Güçlendirici çelikler için yük taşıma kapasitesi hesabı aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\text{Güçlendirici çeliklerin toplam alanı} : 4 \cdot 9 \cdot 1,5 = 54 \text{ cm}^2$$

$$\text{Yük taşıma kapasitesi} : A \cdot f_{y,d} = 54 \cdot 21,82 = 1178,28 \text{ kN}$$

Altıncı düğüm noktası için yapılan tüm denetlemeler sonucunda, boyutlandırmanın emniyetli olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 51. Birinci tip ana taşıyıcıda sekizinci düğüm noktasının gösterimi

Sekizinci düğüm noktasının ölçüleri Şekil 51’de verilmiştir. Düğüm noktasında kullanılan bağlantı levhasının kalınlığı 20 mm’dir. Birinci diyagonal IPB₁ 180 St 37, ikinci diyagonal IPB₁ 200 St 52, alt başlık ise IPB_v 260 St 52 profilinden meydana gelmiştir. Diyagonaller üzerine gelen normal kuvvetler $N_{1,d} = -871$ kN ve $N_{2,d} = 871$ kN’dur. Bu bilgiler ışığında hesaplamalar aşağıdaki gibi yapılmıştır.

Ölçüler:

Yatay : 3800 mm (İki düğüm noktası arası yatay mesafe)

Düşey : 2680 mm (Tali taşıyıcının yüksekliği)

Açı : 55°

Birinci diyagonal için normal kuvvet bileşenleri :

Yatay bileşen : $H_1 = 871 \cdot \cos 55 = 500$ kN (→)

Düşey bileşen : $V_1 = 871 \cdot \sin 55 = 713$ kN (↓)

İkinci diyagonal için normal kuvvet bileşenleri :

Yatay bileşen : $H_2 = 871 \cdot \cos 55 = 500$ kN (→)

Düşey bileşen : $V_2 = 871 \cdot \sin 55 = 713$ kN (↑)

Alt başlık için dizayn değerleri :

$$N_{,d} = 713 - 713 = 0 \text{ kN}$$

$$V_{,d} = 500 + 500 = 1000 \text{ kN}$$

Kaynak kalınlığının denetlenmesi :

$$2 \text{ mm} \leq a \leq 0,7 t_{\min} \Rightarrow t = 15 \text{ mm} \Rightarrow 2 \text{ mm} \leq a \leq 10,5 \text{ mm}$$

$a \geq \sqrt{\max t} - 0,5 \Rightarrow t = 20 \text{ mm} \Rightarrow a \geq 3,97 \text{ mm}$ olmalıdır. Projede kullanılan kaynak kalınlıkları diyagonaller için 6 mm, alt başlıkta 5 mm ve düğüm noktasını takviye için kullanılan güçlendiriciler için 4 mm olduğundan kaynak kalınlıkları için gereken koşullar sağlanmıştır.

Diyagonaller için kaynak uzunluğunun denetlenmesi :

$$30 \leq l \leq 150 \cdot a \quad a = 6 \text{ mm} \Rightarrow 30 \leq l \leq 900 \text{ mm olmalıdır. Kaynak uzunluğu } l = 200 \text{ mm'dir.}$$

Kullanılan kaynağın toplam alanı $A_w = l \cdot \sum a = 20 \cdot 4 \cdot 0,6 = 48 \text{ cm}^2$ 'dir. $N = 871 \text{ kN}$ olduğundan;

$$\frac{N}{l \cdot \sum a} \leq \sigma_{w,R,d} \Rightarrow \frac{871}{l \cdot 4 \cdot 0,6} \leq 20,73 \Rightarrow l \geq 17,50 \text{ cm olmalıdır.}$$

Bu bilgilere göre diyagonallerdeki kaynağın uzunluğu için istenen şartlar sağlanmıştır.

Alt başlıktaki kaynak uzunluğunun denetlenmesi:

$$A_w = l \cdot \sum a = 90 \cdot 2 \cdot 0,5 = 90 \text{ cm}^2$$

$$V_w = V_w = \Delta U = Z_{\parallel} + D_{\parallel} = 500 + 500 = 1000 \text{ kN}$$

$$M_w = \Delta U \cdot e = 1000 \cdot 14,5 = 14500 \text{ kNcm}$$

$$\max \sigma_{\perp} = \frac{\Delta U \cdot e}{2 \cdot a \cdot l^2 / 6} = \frac{1000 \cdot 14,5}{2 \cdot 0,5 \cdot 90^2 / 6} = 10,74 \text{ kN/cm}^2$$

$$\max \tau_{\parallel} = 1,5 \cdot \frac{\Delta U}{2 \cdot a \cdot l} = 1,5 \cdot \frac{1000}{2 \cdot 0,5 \cdot 90} = 16,67 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{10,74^2 + 16,67^2} = 19,83 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,v}} \leq 1 \Rightarrow \frac{19,83}{20,73} = 0,96 < 1$$

Yapılan denetlemeye göre alt başlıktaki kaynak uzunluğu istenen şartlara uygun projelendirilmiştir.

Güçlendiriciler için kaynak uzunluğunun denetlenmesi:

$$A_w = l \cdot \sum a = 20 \cdot 4 \cdot 0,4 + 10 \cdot 8 \cdot 0,4 = 64 \text{ cm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_i}{A_w} = \frac{N}{l \cdot \sum a} = \frac{871}{64} = 13,61 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{w,R,d} = 20,73 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_i = N/4 \cdot e = 217,75 \cdot 7 = 1524,25 \text{ kNcm}$$

$$I_w = \frac{2 \cdot a \cdot l^3}{12} = \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 30^3}{12} = 1800 \text{ cm}^4$$

$$W_w = \frac{2 \cdot a \cdot l^2}{6} = \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 30^2}{6} = 120 \text{ cm}^3$$

$$\max \sigma_{\perp} = \frac{M_i}{W_w} = \frac{1524,25}{120} = 12,70 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{12,70^2 + 13,61^2} = 18,62 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,v}} \leq 1 \Rightarrow \frac{18,62}{20,73} = 0,90 < 1$$

Güçlendiricilerde uygulanan kaynak uzunluğunun emniyetli bölgede olduğu söylenebilir. Güçlendirici çeliklerin boyutları 15*70 mm boyutunda olduğundan, güçlendirici çelikler için yük taşıma kapasitesi hesabı aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\text{Güçlendirici çeliklerin toplam alanı} : 4 \cdot 7 \cdot 1,5 = 42 \text{ cm}^2$$

$$\text{Yük taşıma kapasitesi} : A \cdot f_{y,d} = 42 \cdot 21,82 = 916,64 \text{ kN}$$

Diyagonaller üzerine gelen normal kuvvet 871 kN olup, bu kuvvet güçlendirici takviye çeliklerinin yük taşıma kapasitesinden küçük olduğundan, bu güçlendirici çeliklerde çatlama meydana gelmemiştir. Yani bu düğüm noktası üzerine gelen yükleri emniyetli bir şekilde taşıyacak şekilde projelendirilmiştir.

2.7.3. İkinci Tip Ana Taşıyıcının Düğüm Noktalarının Denetlenmesi

İkinci tip ana taşıyıcının ikinci düğüm noktasının gösterimi Şekil 52'de belirtildiği gibidir. Düğüm noktasında kullanılan bağlantı levhasının kalınlığı 20 mm'dir. Birinci diyagonal IPB_l 240 St 37, ikinci diyagonal IPB_r 280 St 37, alt başlık ise IPB_v 260 St 37 profilinden meydana gelmiştir. Diyagonaller üzerine gelen normal kuvvetler N_{1,d} = -1601 kN ve N_{2,d} = 1601 kN'dur. Bu bilgiler ışığında hesaplamalar aşağıdaki gibi yapılmıştır.

Kaynak kalınlığının denetlenmesi :

$$2 \text{ mm} \leq a \leq 0,7 t_{\min} \Rightarrow t = 20 \text{ mm} \Rightarrow 2 \text{ mm} \leq a \leq 14$$

$a \geq \sqrt{\max t} - 0,5 \Rightarrow t = 20 \text{ mm} \Rightarrow a \geq 3,97 \text{ mm}$ olmalıdır. Projede kullanılan kaynak kalınlıkları diyagonaller için 8 mm, alt başlıkta 6 mm ve düğüm noktasını takviye için kullanılan güçlendiriciler için 6 mm olduğundan kaynak kalınlıkları için gereken koşullar sağlanmıştır.

Diyagonaller için kaynak uzunluğunun denetlenmesi :

$30 \leq l \leq 150 \cdot a$ $a = 8 \text{ mm} \Rightarrow 30 \leq l \leq 1200 \text{ mm}$ olmalıdır. Kaynak uzunluğu $l = 300 \text{ mm}$ 'dir. Kullanılan kaynağın toplam alanı $A_w = l \cdot \sum a = 30 \cdot 4 \cdot 0,8 = 96 \text{ cm}^2$ 'dir. $N = 1601 \text{ kN}$ olduğundan ;

$$\frac{N}{l \cdot \sum a} \leq \sigma_{w,R,d} \Rightarrow \frac{1601}{l \cdot 4 \cdot 0,8} \leq 20,73 \Rightarrow l \geq 24,13 \text{ cm}$$
 olmalıdır.

Bu bilgilere göre diyagonallerdeki kaynağın uzunluğu için istenen şartlar sağlanmıştır.

Alt başlıktaki kaynak uzunluğunun denetlenmesi:

$$A_w = l \cdot \sum a = 110 \cdot 2 \cdot 0,6 = 132 \text{ cm}^2$$

$$V_w = V_w = \Delta U = Z_{\parallel} + D_{\parallel} = 918 + 918 = 1836 \text{ kN}$$

$$M_w = \Delta U \cdot e = 1836 \cdot 14,5 = 26622 \text{ kNcm}$$

$$\max \sigma_{\perp} = \frac{\Delta U \cdot e}{2 \cdot a \cdot l^2 / 6} = \frac{1836 \cdot 14,5}{2 \cdot 0,6 \cdot 110^2 / 6} = 11 \text{ kN/cm}^2$$

$$\max \tau_{\parallel} = \frac{\Delta U}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{1836}{2 \cdot 0,6 \cdot 110} = 13,91 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{11^2 + 13,91^2} = 17,73 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,v}} \leq 1 \Rightarrow \frac{17,73}{20,73} = 0,86 < 1 \text{ olup sonuç güvenli bölgededir.}$$

Düğüm noktasını güçlendirmek için kullanılan takviye çelikleri için denetlemeler Şekil 48 yardımıyla aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$$A_w = l \cdot \sum a = 30 \cdot 4 \cdot 0,6 + 12 \cdot 8 \cdot 0,6 = 129,6 \text{ cm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_i}{A_w} = \frac{N}{l \cdot \sum a} = \frac{1601}{129,6} = 12,35 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{w,R,d} = 20,73 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_i = N/4 \cdot e = 400,25 \cdot 10 = 4002,5 \text{ kNcm}$$

$$I_w = \frac{2 \cdot a \cdot l^3}{12} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 42^3}{12} = 7408,8 \text{ cm}^4$$

$$W_w = \frac{2 \cdot a \cdot l^2}{6} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 42^2}{6} = 352 \text{ cm}^3$$

$$\max \sigma_{\perp} = \frac{M_i}{W_w} = \frac{4002,5}{352,8} = 11,34 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{11,34^2 + 12,35^2} = 16,77 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,v}} \leq 1 \Rightarrow \frac{16,77}{20,73} = 0,81 < 1 \text{ olduğundan güçlendiriciler için sonuçların güvenli}$$

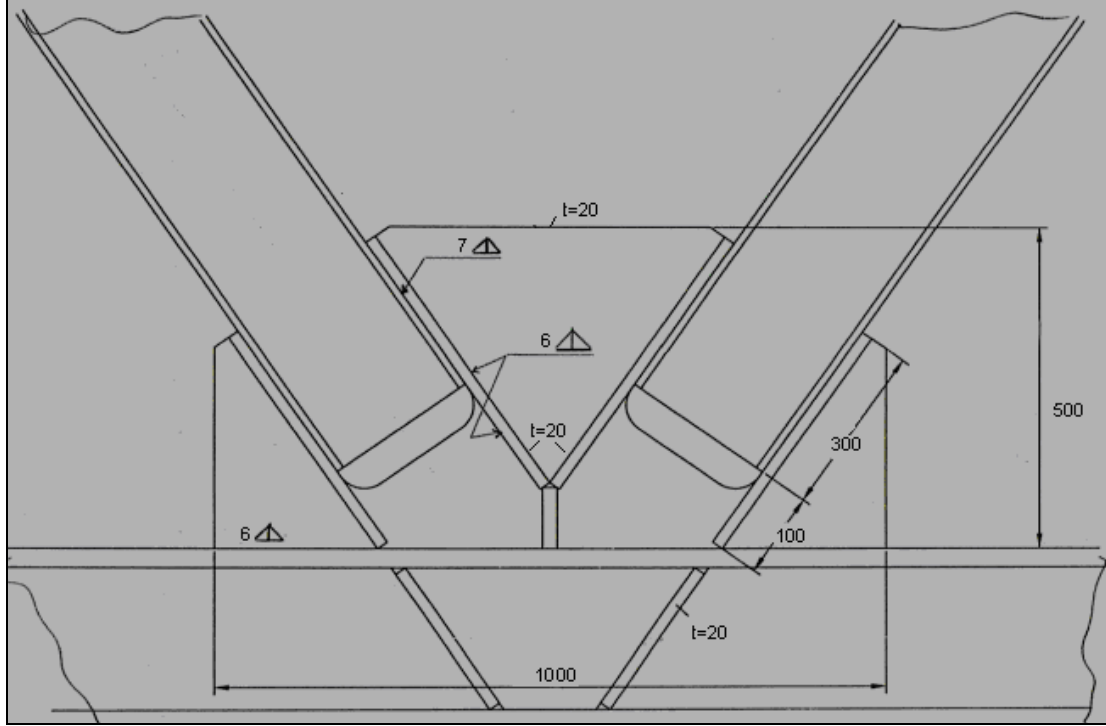
bölgede olduğu söylenebilir.

Sonuçlara göre, kaynak uzunlarının tümü ve kaynak kalınlıkları uygundur. Düğüm noktasının tümünün denetlenebilmesi için güçlendiricilerin yük taşıma kapasitelerinin de irdelenmesi gerekmektedir. Güçlendirici çelikler, bağlantı levhasının her iki tarafında da bulunmaktadır ve güçlendiriciler için yük taşıma kapasitesi hesabı aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\text{Güçlendirici çeliklerin toplam alanı} : 4 \cdot 2 \cdot 10 = 80 \text{ cm}^2$$

$$\text{Yük taşıma kapasitesi} : A \cdot f_{y,d} = 80 \cdot 21,82 = 1745,6 \text{ kN}$$

Diyagonaller üzerine gelen normal kuvvet 1601 kN olup, bu kuvvet güçlendirici takviye çeliklerinin yük taşıma kapasitesinden küçük olduğundan, bu güçlendirici çeliklerde çatlamlar oluşmamıştır.



Şekil 53. İkinci tip ana taşıyıcıda dördüncü düğüm noktasının gösterimi

Düğüm noktasının ölçüleri Şekil 61'de belirtildiği gibidir. Düğüm noktasında kullanılan bağlantı levhasının kalınlığı 20 mm'dir. Birinci diyagonal IPB₇ 240 St 37, ikinci diyagonal IPB₇ 260 St 37, alt başlık ise IPB_v 260 St 37 profilinden meydana gelmiştir. Diyagonaller üzerine gelen normal kuvvetler $N_{1,d} = -1365$ kN ve $N_{2,d} = 1365$ kN'dur. Bu bilgiler ışığında hesaplamalar aşağıdaki gibi yapılmıştır.

Birinci diyagonal için normal kuvvet bileşenleri :

$$\text{Yatay bileşen} : H_1 = 1365 \cdot \cos 55 = 783 \text{ kN} (\rightarrow)$$

$$\text{Düşey bileşen} : V_1 = 1365 \cdot \sin 55 = 1118 \text{ kN} (\downarrow)$$

İkinci diyagonal için normal kuvvet bileşenleri :

$$\text{Yatay bileşen} : H_2 = 1365 \cdot \cos 55 = 783 \text{ kN} (\rightarrow)$$

$$\text{Düşey bileşen} : V_2 = 1365 \cdot \sin 55 = 1118 \text{ kN} (\uparrow)$$

Alt başlık için dizayn değerleri:

$$N_{,d} = 1118 - 1118 = 0 \text{ kN}$$

$$V_{,d} = 783 + 783 = 1566 \text{ kN}$$

Kaynak kalınlığının denetlenmesi:

$$2 \text{ mm} \leq a \leq 0,7 t_{\min} \Rightarrow t = 20 \text{ mm} \Rightarrow 2 \text{ mm} \leq a \leq 14$$

$a \geq \sqrt{\max t} - 0,5 \Rightarrow t = 20 \text{ mm} \Rightarrow a \geq 3,97 \text{ mm}$ olmalıdır. Projede kullanılan kaynak kalınlıkları diyagonaller için 7 mm, alt başlıkta 6 mm ve düğüm noktasını takviye için kullanılan güçlendiriciler için 6 mm olduğundan kaynak kalınlıkları için gereken koşullar sağlanmıştır.

Diyagonaller için kaynak uzunluğunun denetlenmesi :

$30 \leq l \leq 150 \cdot a$ $a = 7 \text{ mm} \Rightarrow 30 \leq l \leq 1050 \text{ mm}$ olmalıdır. Kaynak uzunluğu $l = 300 \text{ mm}$ 'dir. Kullanılan kaynağın toplam alanı $A_w = l \cdot \sum a = 30 \cdot 4 \cdot 0,7 = 84 \text{ cm}^2$ 'dir. $N = 1365 \text{ kN}$ olduğundan ;

$$\frac{N}{l \cdot \sum a} \leq \sigma_{w,R,d} \Rightarrow \frac{1365}{l \cdot 4 \cdot 0,7} \leq 20,73 \Rightarrow l \geq 23,51 \text{ cm}$$
 olmalıdır.

Bu bilgilere göre diyagonallerdeki kaynağın uzunluğu için istenen şartlar sağlanmıştır. Alt başlıktaki kaynak uzunluğunun denetlenmesi Şekil 37'ye göre aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$A_w = l \cdot \sum a = 100 \cdot 2 \cdot 0,6 = 120 \text{ cm}^2$$

$$V_w = V_w = \Delta U = Z_{\parallel} + D_{\parallel} = 783 + 783 = 1566 \text{ kN}$$

$$M_w = \Delta U \cdot e = 1566 \cdot 14,5 = 22707 \text{ kNcm}$$

$$\max \sigma_{\perp} = \frac{\Delta U \cdot e}{2 \cdot a \cdot l^2 / 6} = \frac{1566 \cdot 14,5}{2 \cdot 0,6 \cdot 100^2 / 6} = 11,35 \text{ kN/cm}^2$$

$$\max \tau_{\parallel} = \frac{\Delta U}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{1566}{2 \cdot 0,6 \cdot 100} = 13,05 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{11,35^2 + 13,05^2} = 17,29 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,v}} \leq 1 \Rightarrow \frac{17,29}{20,73} = 0,83 < 1 \text{ olup sonuç güvenli bölgededir.}$$

Düğüm noktasını güçlendirmek için kullanılan takviye çeliklerin boyutları 90*20 mm olup bu çelikler için denetlemeler Şekil 48 yardımıyla aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$$A_w = l \cdot \sum a = 30 \cdot 4 \cdot 0,6 + 10 \cdot 8 \cdot 0,6 = 120 \text{ cm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_i}{A_w} = \frac{N}{l \cdot \sum a} = \frac{1365}{120} = 11,38 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{w,R,d} = 20,73 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_i = N/4 \cdot e = 341,25 \cdot 9 = 3071,25 \text{ kNcm}$$

$$I_w = \frac{2 \cdot a \cdot l^3}{12} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 40^3}{12} = 6400 \text{ cm}^4$$

$$W_w = \frac{2 \cdot a \cdot l^2}{6} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 40^2}{6} = 320 \text{ cm}^3$$

$$\max \sigma_{\perp} = \frac{M_i}{W_w} = \frac{3071,25}{320} = 9,59 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{9,59^2 + 11,38^2} = 14,88 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,v}} \leq 1 \Rightarrow \frac{14,88}{20,73} = 0,72 < 1 \text{ olduğundan güçlendiriciler için sonuçların güvenli}$$

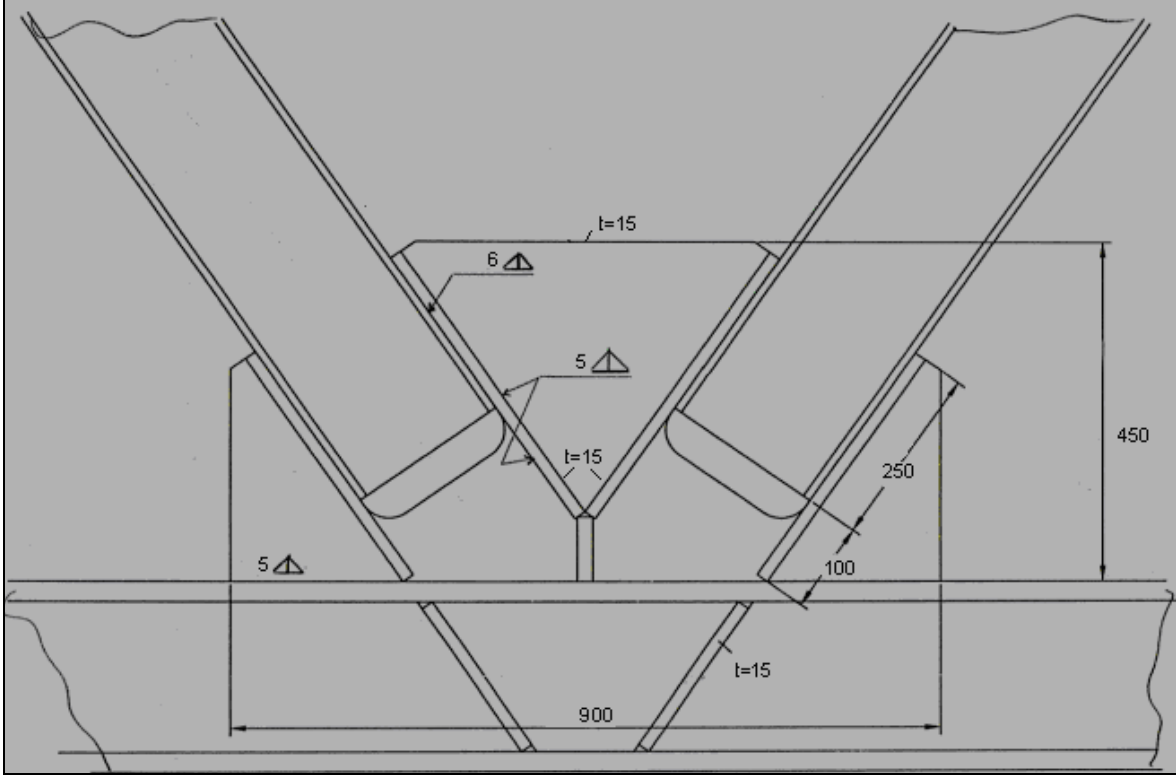
bölgede olduğu söylenebilir.

Sonuçlara göre, kaynak uzunlarının tümü ve kaynak kalınlıkları uygundur. Düğüm noktasının tümünün denetlenebilmesi için güçlendiricilerin yük taşıma kapasitelerinin de irdelenmesi gerekmektedir. Güçlendirici çelikler, bağlantı levhasının her iki tarafında da bulunmaktadır ve güçlendiriciler için yük taşıma kapasitesi hesabı aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\text{Güçlendirici çeliklerin toplam alanı} : 4 \cdot 2 \cdot 9 = 72 \text{ cm}^2$$

$$\text{Yük taşıma kapasitesi} : A \cdot f_{y,d} = 72 \cdot 21,82 = 1571,04 \text{ kN}$$

Diyagonaller üzerine gelen normal kuvvet 1365 kN olup, bu kuvvet güçlendirici takviye çeliklerinin yük taşıma kapasitesinden küçük olduğundan, bu güçlendirici çeliklerde çatlamlar oluşmamıştır.



Şekil 54. İkinci tip ana taşıyıcıda altıncı düğüm noktasının gösterimi

Altıncı düğüm noktasının ölçüleri Şekil 54’de belirtildiği gibidir. Düğüm noktasında kullanılan bağlantı levhasının kalınlığı 15 mm’dir. Birinci diyagonal IPB_I 140 St 37, ikinci diyagonal IPB_I 160 St 37, alt başlık ise IPB_V 260 St 37 profilinden meydana gelmiştir. Diyagonaller üzerine gelen normal kuvvetler $N_{1,d} = -607$ kN ve $N_{2,d} = 607$ kN’dir. Bu bilgiler ışığında hesaplamalar aşağıdaki gibi yapılmıştır.

Birinci diyagonal için normal kuvvet bileşenleri :

$$\text{Yatay bileşen} : H_1 = 607 \cdot \cos 55 = 348 \text{ kN } (\rightarrow)$$

$$\text{Düşey bileşen} : V_1 = 1365 \cdot \sin 55 = 497 \text{ kN } (\downarrow)$$

İkinci diyagonal için normal kuvvet bileşenleri :

$$\text{Yatay bileşen} : H_2 = 607 \cdot \cos 55 = 348 \text{ kN } (\rightarrow)$$

$$\text{Düşey bileşen} : V_2 = 607 \cdot \sin 55 = 497 \text{ kN } (\uparrow)$$

Alt başlık için dizayn değerleri :

$$N_{,d} = 497 - 497 = 0 \text{ kN}$$

$$V_{,d} = 348 + 348 = 696 \text{ kN}$$

Kaynak kalınlığının denetlenmesi:

$$2 \text{ mm} \leq a \leq 0,7 t_{\min} \Rightarrow t = 15 \text{ mm} \Rightarrow 2 \text{ mm} \leq a \leq 10,5$$

$a \geq \sqrt{\max t} - 0,5 \Rightarrow t = 15 \text{ mm} \Rightarrow a \geq 3,37 \text{ mm}$ olmalıdır. Projede kullanılan kaynak kalınlıkları diyagonaller için 6 mm, alt başlıkta 5 mm ve düğüm noktasını takviye için kullanılan güçlendiriciler için 5 mm olduğundan kaynak kalınlıkları için gereken koşullar sağlanmıştır.

Diyagonaller için kaynak uzunluğunun denetlenmesi:

$$30 \leq l \leq 150 \cdot a \quad a = 6 \text{ mm} \Rightarrow 30 \leq l \leq 900 \text{ mm olmalıdır. Kaynak uzunluğu } l = 300 \text{ mm'dir.}$$

Kullanılan kaynağın toplam alanı $A_w = l \cdot \sum a = 30 \cdot 4 \cdot 0,6 = 72 \text{ cm}^2$ 'dir. $N = 607 \text{ kN}$ olduğundan ;

$$\frac{N}{l \cdot \sum a} \leq \sigma_{w,R,d} \Rightarrow \frac{607}{l \cdot 4 \cdot 0,6} \leq 20,73 \Rightarrow l \geq 12,2 \text{ cm olmalıdır.}$$

Bu bilgilere göre diyagonallerdeki kaynağın uzunluğu için istenen şartlar sağlanmıştır. Alt başlıktaki kaynak uzunluğunun denetlenmesi Şekil 37'ye göre aşağıdaki gibi hesaplanır :

$$A_w = l \cdot \sum a = 90 \cdot 2 \cdot 0,5 = 90 \text{ cm}^2$$

$$V_w = V_w = \Delta U = Z_{\parallel} + D_{\parallel} = 348 + 348 = 696 \text{ kN}$$

$$M_w = \Delta U \cdot e = 696 \cdot 14,5 = 10092 \text{ kNcm}$$

$$\max \sigma_{\perp} = \frac{\Delta U \cdot e}{2 \cdot a \cdot l^2 / 6} = \frac{696 \cdot 14,5}{2 \cdot 0,5 \cdot 90^2 / 6} = 7,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\max \tau_{\parallel} = \frac{\Delta U}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{696}{2 \cdot 0,5 \cdot 90} = 7,73 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{7,48^2 + 7,73^2} = 10,76 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,v}} \leq 1 \Rightarrow \frac{10,76}{20,73} = 0,51 < 1 \text{ olup sonuç güvenli bölgededir.}$$

Düğüm noktasını güçlendirmek için kullanılan takviye çeliklerin boyutları 90*15 mm olup bu çelikler için denetlemeler Şekil 48 yardımıyla aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$$A_w = l \cdot \sum a = 25 \cdot 4 \cdot 0,5 + 10 \cdot 8 \cdot 0,5 = 90 \text{ cm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_i}{A_w} = \frac{N}{l \cdot \sum a} = \frac{607}{100} = 6,07 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{w,R,d} = 20,73 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_i = N/4 \cdot e = 151,75 \cdot 9 = 1365,75 \text{ kNcm}$$

$$I_w = \frac{2 \cdot a \cdot l^3}{12} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 35^3}{12} = 3573 \text{ cm}^4$$

$$W_w = \frac{2 \cdot a \cdot l^2}{6} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 35^2}{6} = 204 \text{ cm}^3$$

$$\max \sigma_{\perp} = \frac{M_i}{W_w} = \frac{1365,75}{204} = 6,69 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{6,69^2 + 6,07^2} = 9,03 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,v}} \leq 1 \Rightarrow \frac{9,03}{20,73} = 0,44 < 1 \text{ olduğundan güçlendiriciler için sonuçların güvenli}$$

bölgede olduğu söylenebilir.

Sonuçlara göre, kaynak uzunlarının tümü ve kaynak kalınlıkları uygundur. Düğüm noktasının tümünün denetlenebilmesi için güçlendiricilerin yük taşıma kapasitelerinin de irdelenmesi gerekmektedir. Güçlendirici çelikler, bağlantı levhasının her iki tarafında da bulunmaktadır ve güçlendiriciler için yük taşıma kapasitesi hesabı aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\text{Güçlendirici çeliklerin toplam alanı} : 4 \cdot 1,5 \cdot 9 = 54 \text{ cm}^2$$

$$\text{Yük taşıma kapasitesi} : A \cdot f_{y,d} = 54 \cdot 21,82 = 1178,28 \text{ kN}$$

Diyagonaller üzerine gelen normal kuvvet 607 kN olup, bu kuvvet güçlendirici takviye çeliklerinin yük taşıma kapasitesinden küçük olduğundan, bu güçlendirici çeliklerde çatlamlar oluşmamıştır.

Sonuç olarak, ikinci tip ana taşıyıcı üzerindeki düğüm noktalarında yapılan denetlemelerde, düğüm noktalarının üzerine gelen yükü emniyetli bir şekilde taşıyacak biçimde tasarlandığı görülmüştür. Düğüm noktalarında çatlak problemi meydana gelmediğinden, bu düğüm noktaları için bir yeni modellemeye gerek duyulmamıştır.

Yapı çatısı için yapılan çalışmalar neticesinde, tali taşıyıcıların ve birinci tip ana taşıyıcının belirli düğüm noktalarında çatlak probleminin oluştuğu saptanmış ve bu düğüm noktaları için gerekli tasarım ve öneriler bu çalışma kapsamında sunulmuştur.

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmaya, yapıya etkiyebilecek muhtemel yükler olan sabit yükler, rüzgar yükleri ve kar yüklerinin açıklanması ile başlamıştır. Kar ve rüzgar yükleri DIN Standartları temel alınarak hesaplanmıştır. Yapının yapıldığı dönemdeki DIN Standartları, günümüzde geçerli olan DIN Standartları'ndan farklıdır. .Bu sebepten dolayı, çatı elemanları için yapılan statik inceleme, yapının yapıldığı dönemdeki standartlar ve günümüzde yürürlükte olan standartlar için ayrı ayrı ele alınmıştır.

Rüzgar yükü hesapları yapının yapıldığı dönemde geçerli olan 1986 yılı DIN 1055 Standartları'nın 4. kısmına göre ve günümüzde geçerli olan 2005 yılı 1055 Standartları'nın 4. kısmına göre incelenmiş olup, kar yükü hesapları ise 1975 yılı DIN 1055 Standartları'nın 5. kısmına göre ve 2005 yılı 1055 Standartları'nın 5. kısmına göre hesaplanmıştır.

Her iki standart için statik çözümleme üzerinde durulmuştur. Bu bölümden elde edilen sonuçlar aşağıda belirtildiği gibi özetlenebilir.

- Yapının yapıldığı dönemdeki DIN 1055 Standartları'na göre yapılan statik denetlemenin sonuçları güvenli bölgede yer almaktadır. Tali taşıyıcıların ve iki farklı tipte inşa edilen ana taşıyıcıların elemanları gerekli şartları sağlamıştır.
- Taşıyıcı elemanların tasarımı, taşıma kapasiteleri açısından limit seviyededir. Buna göre, yapı elemanlarının ekonomik bir şekilde seçildiği söylenebilir. Bunun yanı sıra, bu ekonomik durumun yalnız yapı çatısının elemanları için geçerli olduğunu, çatı elemanlarının düğüm noktalarını kapsamadığını belirtmekte yarar vardır.
- Günümüz koşullarında geçerli olan DIN 1055 Standartları'na göre yapılan statik denetlemeye göre, çatı elemanları tasarımı standartlara uygundur.
- Her iki standarda göre düzenlenen sonuçlar arasındaki farklılıklar 1% civarındadır. Bu sonuç, eski ve yeni DIN Standartları'nın uyumunun bir göstergesidir.
- Eski ve yeni standartlara göre yapılan taşıyıcı elemanların statik denetlenmesi sonucunda, yapı çatısında meydana gelen çatlakların, taşıyıcı elemanların tasarımındaki bir hatadan dolayı meydana gelmediği kanısına varılmıştır.

Çalışmanın devamında ise bağlantıların denetlenmesi yapılmıştır. Düğüm noktaları, tali taşıyıcılar ve iki farklı tipteki ana taşıyıcılar için ayrı ayrı incelenmiştir. Tali taşıyıcılardaki düğüm noktaları, bağlantı levhası üzerinde kontrol bölgeleri oluşturularak detaylı bir biçimde incelenmiştir. Çalışmanın bu bölümünden elde edilen sonuçlar ve gerekli öneriler aşağıda belirtildiği gibi özetlenebilir.

- Tüm tali taşıyıcılardaki düğüm noktalarının boyutları eşittir. Taşıyıcının dış kısmında, alt başlık bölgesinde yer alan ikinci ve dördüncü düğüm noktalarının emniyetli olmadığı saptanmıştır. Diyagonallerin kaynak uzunluklarının yük taşıma kapasitesi açısından yetersiz olduğu görülmüştür.
- Alt başlıklardaki kaynak uzunluğu yeterli olup kontrol bölgeleri ile yapılan çalışmada, bağlantıların birinci, ikinci ve yedinci kontrol bölgelerinde çatlakların oluştuğu sonucuna varılmıştır.
- Dördüncü düğüm noktasından sonraki düğüm noktaları yeterli taşıma kapasitesine sahiptir. İkinci ve dördüncü düğüm noktası için yeni bir boyutlandırma yapılmasına karar verilmiştir.
- Yeni boyutlarıyla birlikte incelenen düğüm noktası emniyetli olduğundan, tali taşıyıcıların ikinci ve dördüncü bölgelerinde kullanılması uygun görülmüştür.
- Yapı çatısında 40 tali taşıyıcı mevcut olduğundan, toplam 80 düğüm noktasında çatlaklar meydana gelmiştir. Bu düğüm noktalarının tümünün değiştirilmesi gerekmektedir.
- Birinci tip ana taşıyıcının denetlenmesi sonucunda, ikinci ve dördüncü düğüm noktalarında kullanılan güçlendirici çeliklerin yük taşıma kapasitelerinin yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır.
- Birinci tip ana taşıyıcıda, diyagonallere ve alt başlığa uygulanan kaynağın boyutları uygundur.
- Güçlendirici çeliklerin boyutlarının değiştirilmesi uygun görülmüştür. Bunun yanı sıra, bağlantı levhasının kalınlığı arttırılarak yeni bir modelleme yapılabilir. Bu model için gerekli bağlantı levhası kalınlığı bölüm içinde sunulmuştur.
- İkinci tip ana taşıyıcının denetlenmesi sonucunda, düğüm noktalarının boyutlandırılmasının yük taşıma kapasitesi açısından uygun olduğuna karar verilmiştir.

- Dügüm noktasına uygulanan kaynakların boyutları, bağlantı levhasının ve güçlendirici çeliklerin boyutları üzerine gelen yükleri emniyetli bir şekilde taşıyacak biçimde tasarlanmıştır.
- Çalışma sonucunda, çatlakların oluştuğu düğüm noktaları tespit edilip, gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Çalışmanın genişletilmesi kapsamında, çatlakların yayılması uygun bir program yardımıyla sonlu elemanlar metodu ile incelenebilir.

4. KAYNAKLAR

1. Deren, H., Çelik Yapılar, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1984.
2. DIN 1055, Deutsche Norm Einwirkungen auf Tragwerke-Teil 4 Windlasten, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.,Berlin, März 2005.
3. Kindmann, R., Computer-oriented Design of Steel Structures-Lecture Book, Ruhr University, Bochum, October 2007.
4. DIN 1055, Deutsche Norm Einwirkungen auf Tragwerke-Teil 5 Schnee- und Eislasten, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.,Berlin, April 1994.
5. Martin, L.H. ve Purkiss, J.A., Structural Design of Steelwork, Third Edition, U.K., 2008.
6. DIN 1055, Deutsche Norm Einwirkungen auf Tragwerke-Teil 5 Schnee- und Eislasten, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.,Berlin, Juli 2005.
7. DIN 1055, Deutsche Norm Einwirkungen auf Tragwerke-Teil 5 Schnee- und Eislasten, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.,Berlin, Juni 1975.
8. DIN 1055, Deutsche Norm Einwirkungen auf Tragwerke-Teil 4 Windlasten, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.,Berlin, August 1986.
9. DIN 18800, Deutsche Norm Stahlbauten-Teil 1 Bemessung und Konstruktion, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.,Berlin, November 1990.
10. DIN 18800, Deutsche Norm Stahlbauten-Teil 1 Bemessung und Konstruktion, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.,Berlin, November 2008.
11. Lange, J., Friemann, H. Ve Suppes, A., Tragverhalten und Optimierung von ausgeschnittenen Knotenblechen, Stahlbau 69, (2000) ,112-123.
12. Kindmann, R. ve Stracke, M., Verbindungen im Stahl-und Verbundbau, Ernst&Sohn, Januar 2003.
13. Ardan, F., Çelik Yapı Elemanları, İkinci Baskı, Arı Kitabevi, İstanbul, 1961.
14. Kindmann, R. ve Krahwinkel, M., Stahl-und Verbundkonstruktionen, B.G. Teubner, Stuttgart 1999.

15. Goris, A., Bautabellen für Ingenieure und Architekten-Einwirkungen auf Tragwerke-Ergänzungsheft zur 16. Auflage, Werner, Dezember 2005.
16. Hertle, R., Zur Bemessung und Knotenblechen im Stahlfachwerkkonstruktionen, Stahlbau 73, (2004), 329-337.
17. Kindmann, R. ve Frickel J.,Elastische und Plastische Querschnittstragfähigkeit, Ernst&Sohn, Berlin 2002.
18. Gaylord, E. H. ve Gaylord C. N., Structural Engineering Handbook, McGraw- Hill Book Company, USA, 1979.
19. Bresler, B., Lin, T. Y. ve Scalzi, J. B., Design of Steel Structures,Wiley,New York,1968.
20. Öztürk, Z., Çelik Yapılar Kısa Bilgi ve Çözülmüş Problemler, Beşinci Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2009.
21. Salmon, G. C., Johnson, E. J., Steel Structures Design and Behavior, Third Edition, Harper Collins, New York, 1990.

ÖZGEÇMİŞ

Fatih YILMAZ, 1985 yılında Trabzon'da doğdu. İlköğrenimini Trabzon Fatih İlkokulu'nda, ortaokul ve lise öğrenimini ise Tevfik Serdar Anadolu Lisesi'nde tamamladı ve 2002 yılında mezun oldu.

2002 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde başladığı lisans öğrenimini 2006 yılında tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek lisans eğitimi yaptığı sırada TOKİ Trabzon Akçaabat Yıldızlı 192 Konut, Ticaret Merkezi, İlköğretim Okulu ve Spor Salonu Projesi'nde saha mühendisi olarak görev yaptı. 2007-2008 akademik yılında Erasmus Programı çerçevesinde 1 yıl boyunca Ruhr Üniversitesi'nde eğitim gördü. Çok iyi derecede İngilizce bilmekte olup, halen özel bir şirkette yönetici olarak çalışmaktadır.