

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YANAL BURKULMA ETKİSİNDEKİ İ KESİTLİ KİRİŞLERDE İDEAL
DESTEKLERİN BELİRLENMESİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI YAKLAŞIMI**

DOKTORA TEZİ

İnş. Yük. Müh. Selahattin ALBAYRAK

**OCAK 2011
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YANAL BURKULMA ETKİSİNDEKİ İ KESİTLİ KİRİŞLERDE İDEAL
DESTEKLERİN BELİRLENMESİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI YAKLAŞIMI**

DOKTORA TEZİ

İnş. Yük. Müh. Selahattin ALBAYRAK

**OCAK 2011
TRABZON**

ÖNSÖZ

“Yanal Burkulma Etkisindeki I Kesitli Kirişlerde İdeal Desteklerin Belirlenmesi ve Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı” konulu doktora tezime bilime katkı sağlamayı amaçlamış bulunmaktayım.

Bu çalışma konusunu bana öneren, çalışmam sırasında kıymetli vakitlerini ve büyük desteklerini benden esirgemeyen, tezimin her aşamasında bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Ümit UZMAN’a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Vakitlerini ayırarak tezimi değerlendirme zahmetinde bulunan ve yol gösterici fikirleriyle çalışmama katkıda bulunan Jüri Üyesi Hocalarım Prof. Dr. Ragıp ERDÖL, Doç. Dr. Levent GÜMÜŞEL, Doç. Dr. Ahmet BİRİNCİ ve Prof. Dr. Mehmet ÜLKER’e ayrıca şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmam süresince Yurt İçi Doktora Burs Programı kapsamında maddi destek sağlayan TÜBİTAK-BİDEB’e müteşekkir olduğumu da belirtmek isterim.

Bu çalışmamı, hayatımın her anında olduğu gibi yoğun çalışmalarım sırasında da desteğini benden esirgemeyen eşim Matematik Öğretmeni Serpil ALBAYRAK’a, çalışmalarım nedeniyle çoğu zaman kendisine vakit ayıramadığım biricik kızım Fatıma Zehra’ya ve her türlü zorluklara göğüs gererek ve hiçbir fedakârlıktan kaçınmayarak bu günlere gelmemi sağlayan anneme ve merhum babama ithaf ediyorum.

Selahattin ALBAYRAK
Trabzon 2011

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| ÖNSÖZ | II |
| İÇİNDEKİLER..... | III |
| ÖZET..... | VI |
| SUMMARY..... | VII |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | VIII |
| TABLolar DİZİNİ..... | XIII |
| SEMBOLLER DİZİNİ..... | XVI |
| 1. GENEL BİLGİLER..... | 1 |
| 1.1. Giriş..... | 1 |
| 1.2. Kaynak Araştırması..... | 4 |
| 1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı..... | 23 |
| 1.4. Burulma ve Yanal Burkulma..... | 25 |
| 1.4.1. Yapı Elemanlarının Burulma Yüğü-Şekil Değiştirme Karakteristikleri..... | 25 |
| 1.4.1.1. St. Venant Burulması..... | 26 |
| 1.4.1.2. Çarpımalı Burulma..... | 27 |
| 1.4.2. Yanal Burkulma Davranışı..... | 29 |
| 1.4.2.1. Uçlarından Tekil Eğilme Momenti Etkisindeki Basit Mesnetli Kirişin Yanal Burkulması..... | 31 |
| 1.4.2.2. Tekil Yüğü Etkisindeki Konsol Kirişin Yanal Burkulması..... | 33 |
| 1.4.2.3. Ortasından Tekil Yüğü Etkisindeki Basit Mesnetli Kirişin Yanal Burkulması..... | 35 |
| 1.4.2.4. Yanal Burkulmada Emniyet Gerilmesi..... | 37 |
| 1.5. Yapay Zekâ ve Yapay Zekâ Teknikleri..... | 39 |
| 1.5.1. Yapay Zekâ..... | 39 |
| 1.5.1.1. Yapay Sinir Ağları..... | 39 |
| 1.5.1.1.1. Yapay Sinir Ağları Genel Tanımı..... | 39 |
| 1.5.1.1.2. Yapay Sinir Ağları'nın Özellikleri..... | 40 |
| 1.5.1.1.3. Yapay Sinir Hücresi..... | 41 |

| | | |
|--------------|--|----|
| 1.5.1.1.4. | Yapay Sinir Ağları'nda Katmanlar..... | 43 |
| 1.5.1.1.5. | Yapay Sinir Ağları'nda Öğrenme..... | 44 |
| 1.5.1.1.5.1. | Danışmanlı Öğrenme..... | 45 |
| 1.5.1.1.5.2. | Danışmansız Öğrenme..... | 45 |
| 1.5.1.1.5.3. | Takviyeli Öğrenme..... | 45 |
| 1.5.1.1.6. | Çok Katmanlı Algılayıcı Modeli..... | 46 |
| 1.5.1.1.7. | Genelleştirilmiş Delta Kuralı..... | 47 |
| 1.5.1.1.7.1. | İleri Doğru Hesaplama..... | 47 |
| 1.5.1.1.7.2. | Geriye Doğru Hesaplama..... | 48 |
| 1.5.1.1.8. | Ara Katman ile Çıktı Katmanı Arasındaki Ağırlıkların Değiştirilmesi..... | 49 |
| 1.5.1.1.9. | Ara Katmanlar Arası / Ara Katman Girdi Katmanı Arasındaki Ağırlıkların Değiştirilmesi..... | 50 |
| 1.5.1.1.10. | Çok Katmanlı Algılayıcı Ağının İşlem Sırası..... | 51 |
| 1.5.1.1.11. | Yapay Sinir Ağlarının Test Edilmesi..... | 51 |
| 2. | YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME..... | 53 |
| 2.1. | Yapılan Çalışmalar..... | 53 |
| 2.1.1. | BASP Programı..... | 59 |
| 2.1.1.1 | Sonlu Eleman Yöntemi ve Yanal Burkulma Analizi..... | 59 |
| 2.1.1.2. | BASP Programının Tanıtımı..... | 60 |
| 2.1.1.3. | BASP Programından Hesaplanan Yanal Burkulma Yüklerinin Karşılaştırılması..... | 66 |
| 2.1.1.4. | BASP Programı İçin Sonlu Eleman Ağ Modelinin Seçilmesi..... | 68 |
| 2.2. | Bulgular ve İrdeleme..... | 70 |
| 2.2.1. | İnce Cidarlı Elemanlarda Tekil Yükün Uygulama Yerinin Yanal Burkulma Yüküne Etkisi..... | 70 |
| 2.2.2. | İnce Cidarlı Elemanlarda Desteklerin Yanal Burkulma Yüküne Etkisi..... | 73 |
| 2.2.2.1. | I Kesitli Kirişler İçin Yanal Desteğin Yanal Burkulma Yüküne Etkisi..... | 74 |
| 2.2.2.1.1. | Yanal Desteğin Ortasından Tekil Yük Etkisindeki Basit Mesnetli Kirişte Yanal Burkulma Yüküne Etkisi..... | 75 |
| 2.2.2.1.2. | Yanal Desteklenmiş Tekil Eğilme Momenti Etkisindeki Basit Mesnetli Kiriş..... | 84 |
| 2.2.2.1.2.1. | İdeal Destek Yay Sabitinin Belirlenmesi..... | 84 |

| | | |
|--------------|---|-----|
| 2.2.2.1.2.2. | Yanal Desteğin Yanal Burkulma Momentine Etkisi..... | 88 |
| 2.2.2.1.3. | Yanal Desteğin Uç Noktasından Tekil Yük Etkisindeki Konsol Kirişte Yanal Burkulma Yüküne Etkisi..... | 98 |
| 2.2.2.2. | I Kesitli Kirişler İçin Burulma Desteğinin Kritik Yanal Burkulma Yüküne Etkisi..... | 105 |
| 2.2.2.2.1. | Burulma Desteğinin Ortasından Tekil Yük Etkisindeki Basit Mesnetli Kirişte Yanal Burkulma Yüküne Etkisi..... | 106 |
| 2.2.2.2.2. | Burulma Desteğinin Tekil Eğilme Momenti Etkisindeki Kirişte Yanal Burkulma Momentine Etkisi..... | 113 |
| 2.2.2.2.2.1 | İdeal Destek Yay Sabitinin Belirlenmesi..... | 113 |
| 2.2.2.2.2.2. | Burulma Desteğinin Yanal Burkulma Momentine Etkisi..... | 115 |
| 2.2.2.2.3. | Burulma Desteğinin Uç Noktasından Tekil Yük Etkisindeki Konsol Kirişte Yanal Burkulma Yüküne Etkisi..... | 123 |
| 2.2.2.3. | Tekil Yük Etkisindeki Konsol Kirişte Değişik Yanal Destek Modellerinin Uygulanması | 130 |
| 2.2.3. | Açıklığında Elastik Mesnet Bulunan Kolonun Kritik Burkulma Yükünün Yapay Sinir Ağları ile Hesabı..... | 132 |
| 2.2.4. | Yanal Burkulma Yükünün Yapay Sinir Ağları ile Hesabı..... | 138 |
| 2.2.4.1. | Yapay Sinir Ağları'nda Eğitimdeki Örnek Sayısının Sonuçlara Etkisi..... | 138 |
| 2.2.4.2. | Yanal Desteklenmiş Ortasından Tekil Yük Etkisindeki Basit Kirişin Yanal Burkulma Yükünün Yapay Sinir Ağları ile Hesabı..... | 140 |
| 2.2.4.3. | Yanal Desteklenmiş Uçlarından Eğilme Momenti Etkisindeki Basit Kirişin Yanal Burkulma Momentinin Yapay Sinir Ağları ile Hesabı..... | 142 |
| 2.2.4.4. | Ucundan Tekil Yük Etkisindeki Konsol Kirişin Yanal Burkulma Yükünün Yapay Sinir Ağları ile Hesabı..... | 143 |
| 2.2.4.5. | Yapay Sinir Ağları'nın Yeniden Uyarlanabilme Özelliğinin Yanal Burkulma Yükünün Çözümüne Katkıları | 145 |
| 2.2.4.5.1. | Yapay Sinir Ağları'nın Girdi Kısımındaki Verilerin Değiştirilmesinin Çözümlere Katkısı..... | 146 |
| 2.2.4.5.2. | Yapay Sinir Ağları'nın Girdi Kısımının Değiştirilerek Yeni Problemlere Uygulanması | 147 |
| 3. | SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... | 151 |
| 4. | KAYNAKLAR..... | 159 |

ÖZGEÇMİŞ

ÖZET

Bu çalışmada, yanal ve burulma destekleri eklenmiş değişik mesnet ve yük durumlarına sahip I kesitli kirişlerin yanal burkulması ve desteklerin ideal yay sabitleri incelenmiş olup elde edilen sonuçlar ile yanal desteklenmiş I kesitli kirişlerin yanal burkulma yükü hesabına Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi uygulanmıştır.

İnce cidarlı I kesitli kirişler eğilme rijitliklerinin büyük olmasına karşın burulma rijitlikleri küçük yapı elemanlarıdır. Bu özelliklerinden dolayı ince cidarlı I kesitli kirişler yanal burkulma problemi ile karşı karşıyadırlar. Kiriş kesitine uygulanan yük ve kirişin mesnetlenme durumu yanal burkulma yükünü önemli ölçüde etkilemektedir.

20. yüzyılın ikinci yarısında temelleri atılan ve günümüzde büyük bir kitlenin üzerinde çalıştığı yapay zekâ tekniği, pek çok problemin analizinde başarı ile kullanılmış ve klasik programlamaya alternatif olmuştur. YSA ve diğer mantıksal programlama tekniklerinin ispatlanmış teorilerinin ortaya çıkartılması nedeniyle konu pek çok bilim adamının ilgisini çekmiş ve değişik problemlere uygulamaları yapılmıştır.

Bu çalışma üç ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde yanal burkulma davranışı ve YSA hakkında kısa tanıtıcı bilgi verilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde yapılan çalışmalar, bulgular ve irdeleme sunulmuştur. Bu bölümde ilk olarak, ince cidarlı I kesitli kirişlerin kendilerine uygulanan yük ve mesnetlenme durumuna göre yanal burkulma davranışı sonlu eleman modeline dayalı çözüm yapan BASP programı yardımı ile analiz edilmiştir. İkinci olarak, yanal ve burulma desteklerinin I kesitli kirişin yanal burkulma davranışına etkisi BASP programı yardımı ile incelenmiş ve ideal destek yay sabitlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada son olarak, yanal desteklenmiş ince cidarlı I kesitli kirişlerin yanal burkulma problemlerinde YSA yaklaşımı, kiriş kesit özellikleri, kiriş boyu ve desteğin yay sabiti ve konumuna göre incelenmiştir. YSA ile çözümde danışmanlı öğrenme algoritmasına dayalı bilgisayar programı kullanılmıştır. YSA yaklaşımının yanal burkulma probleminde uygun çözümler ürettiği görülmektedir. Çalışmanın son bölümünde elde edilen sonuçlar ve öneriler özetlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yanal Burkulma, Yanal Destek, Burulma Desteği, BASP, Yapay Sinir Ağları.

SUMMARY

Determination of Ideal Bracings of I Beams Subjected to Lateral Buckling and Artificial Neural Networks Approach

In this study, lateral buckling of I beams having different supports and loads with lateral and torsional bracings and ideal spring constants of bracings were investigated and Artificial Neural Networks (ANN) method was applied to the lateral buckling load calculation of lateral bracing I beams by using obtained results.

Thin-walled I beams are structural elements with very small torsional rigidities although their flexural rigidities are sufficiently big. Due to these characteristics, thin-walled I beams encounter a lateral buckling problem. The load applied to the beam cross-section and the support condition of the beam significantly affect lateral buckling load.

Artificial intelligence method, which appeared in the second half of the XXth century and on which a great number of people study nowadays, was successfully used in the analyses of many problems and turned to be an alternative to classical programming. By reason of revealing the proved theories of ANN and other logical programming methods, the subject aroused numerous scientists' interest and was applied to various problems.

This study consists of three main chapters. Literature review, some brief introductory information about lateral buckling behaviour and ANN was given in the first chapter. In the second chapter, the studies carried out, findings and observation were presented. Firstly, the lateral buckling behaviour was analysed by the help of BASP program based on finite element model according to the load and support condition applied to thin-walled I beams. Secondly, the effect of lateral and torsional bracings to lateral buckling behaviour of I beams was studied by the help of BASP program, in this way determination of ideal spring constants of bracings was aimed. And finally, ANN approach was investigated according to cross-section properties of beam, beam length and spring constant and location of bracing in lateral buckling problems of thin-walled I beams with lateral bracing. In solution with ANN, computer programming based on supervised learning rule algorithm was used. It is seen that ANN produced appropriate solutions in lateral buckling problem. In the last chapter of the study, the results obtained and recommendations were summarised.

Key Words: Lateral Buckling, Lateral Bracing, Torsional Bracing, BASP, Artificial Neural Networks

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| Şekil 1.1. Burulma etkisindeki eleman | 26 |
| Şekil 1.2. Burulma etkisinde bir ucunun dönmesi engellenmiş eleman..... | 27 |
| Şekil 1.3. Yanal burkulmuş kiriş ve kullanılan eksen takımları..... | 30 |
| Şekil 1.4. Uçlarından tekil eğilme momenti etkisindeki basit mesnetli kiriş..... | 31 |
| Şekil 1.5. Konsol kiriş için yan al burkulma hali..... | 33 |
| Şekil 1.6. Ortasından tekil yük etkisindeki basit mesnetli kirişin yan al burkulma hali.... | 36 |
| Şekil 1.7. M_1 / M_2 oranının işareti..... | 38 |
| Şekil 1.8. YSA elemanları..... | 42 |
| Şekil 1.9. Genel olarak bir YSA yapısı..... | 44 |
| Şekil 1.10. Çok katmanlı algılayıcı modeli..... | 47 |
| Şekil 2.1. Konsol ve basit mesnetli kiriş için yükün uygulama yeri..... | 53 |
| Şekil 2.2. Yanal ve burulma destekli kiriş modelleri..... | 55 |
| Şekil 2.3. Açıklık ortasından yan al ve burulma desteği ile desteklenmiş kiriş..... | 56 |
| Şekil 2.4. Konsol kiriş için yan al destek modelleri..... | 54 |
| Şekil 2.5. Açıklığında elastik mesnet bulunan kolon..... | 57 |
| Şekil 2.6. a) BASP modeli kesit, b) birleşim noktaları yuvarlak kesit..... | 58 |
| Şekil 2.7. I kesitli kiriş için iki boyutlu ağ sistemi..... | 59 |
| Şekil 2.8. BASP modeli için kullanılan elemanlar..... | 61 |
| Şekil 2.9. Kesit özelliklerinin girilmesi..... | 62 |
| Şekil 2.10. Malzeme özelliklerinin ve sistemin ağırlımın girilmesi..... | 63 |
| Şekil 2.11. Kiriş gövdesinin yeniden boyutlandırılması..... | 63 |
| Şekil 2.12. BASP programında yük ve mesnetlenme durumları..... | 64 |
| Şekil 2.13. BASP analizi için iterasyon seçenekleri..... | 65 |
| Şekil 2.14. Miscellaneous seçenekleri..... | 65 |
| Şekil 2.15. Initial Buckled Shape seçenekleri..... | 66 |
| Şekil 2.16. BASP ile elde edilen özdeğer..... | 66 |
| Şekil 2.17. I kesitli kirişin kesit görünüşü..... | 66 |
| Şekil 2.18. Değişik başlık genişlikleri için yan al burkulma yükleri..... | 67 |

| | |
|--|----|
| Şekil 2.19. Kirişe etkileyen tekil kuvvet ve uygulama yerinin BASP modeli..... | 70 |
| Şekil 2.20. Konsol kirişe etkileyen tekil kuvvetin uygulama yerinin yanal burkulma yüküne etkisi..... | 71 |
| Şekil 2.21. Basit mesnetli kirişe etkileyen tekil kuvvetin uygulama yerinin kritik yanal burkulma yüküne etkisi..... | 72 |
| Şekil 2.22. I kesitli kirişler için yanal destek..... | 74 |
| Şekil 2.23. I kesitli kirişler için burulma desteği..... | 74 |
| Şekil 2.24. İki ucu basit mesnetli kiriş için yanal desteğin uygulama yeri..... | 74 |
| Şekil 2.25. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 600$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi..... | 77 |
| Şekil 2.26. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 1200$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi..... | 78 |
| Şekil 2.27. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 1800$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi..... | 78 |
| Şekil 2.28. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 2400$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi..... | 79 |
| Şekil 2.29. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 3000$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi..... | 79 |
| Şekil 2.30. Tekil yük etkisindeki basit kirişte yanal desteğin yay sabitlerine göre en büyük yanal burkulma yükleri..... | 80 |
| Şekil 2.31. Tekil yük etkisindeki basit kirişin yanal burkulmuş hali..... | 81 |
| Şekil 2.32. Tekil yük etkisindeki basit kirişin $\beta_y = 600$ kN/m için yanal burkulmuş hali (üstten ve önden görünüş)..... | 81 |
| Şekil 2.33. Tekil yük etkisindeki basit kirişin $\beta_y = 3000$ kN/m için yanal burkulmuş hali (üstten ve önden görünüş)..... | 82 |
| Şekil 2.34. Tekil yük etkisindeki basit kirişin $\beta_y = 3600$ kN/m için yanal burkulmuş hali (üstten ve önden görünüş)..... | 83 |
| Şekil 2.35. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 600$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi..... | 90 |
| Şekil 2.36. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 1200$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi..... | 91 |
| Şekil 2.37. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 1800$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi..... | 91 |
| Şekil 2.38. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 2400$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi..... | 92 |
| Şekil 2.39. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 3000$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi..... | 92 |

| | |
|--|-----|
| Şekil 2.40. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte en büyük yanal burkulma momentleri ve ideal yay sabitleri..... | 93 |
| Şekil 2.41. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte yanal desteğin yay sabitlerine ve konumlarına göre yanal burkulma momentine etkisi..... | 93 |
| Şekil 2.42. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişin yanal burkulmuş hali..... | 95 |
| Şekil 2.43 Eğilme momenti etkisindeki basit kirişin $\beta_y = 600$ kN/m için yanal burkulmuş hali..... | 96 |
| Şekil 2.44. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişin $\beta_y = 3000$ kN/m için yanal burkulmuş hali (destek kesit merkezinde)..... | 96 |
| Şekil 2.45. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişin $\beta_y = 6250$ kN/m için yanal burkulmuş hali (destek kesit merkezinde)..... | 97 |
| Şekil 2.46. Yanal desteğin yay sabitine göre yanal burkulma anında A noktasının yer değiştirmesi..... | 97 |
| Şekil 2.47. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_y = 50$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi..... | 99 |
| Şekil 2.48. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_y = 300$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi..... | 100 |
| Şekil 2.49. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_y = 600$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi..... | 100 |
| Şekil 2.50. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_y = 1200$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi..... | 101 |
| Şekil 2.51. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte yanal desteğin yay sabitine göre en büyük yanal burkulma yükleri..... | 101 |
| Şekil 2.52. Tekil yük etkisindeki konsol kirişin yanal burkulmuş hali..... | 103 |
| Şekil 2.53. Tekil yük etkisindeki konsol kirişin $\beta_y = 50$ kN/m için yanal burkulması.... | 103 |
| Şekil 2.54 Tekil yük etkisindeki konsol kirişin $\beta_y = 300$ kN/m için yanal burkulması.. | 104 |
| Şekil 2.55. Tekil yük etkisindeki konsol kirişin $\beta_y = 1200$ kN/m için yanal burkulması...104 | 104 |
| Şekil 2.56. Ortasından tekil yüke maruz basit mesnetli kirişte burulma desteğinin yeri.. | 105 |
| Şekil 2.57. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 150$ kNm/rad için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi..... | 108 |
| Şekil 2.58. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 300$ kNm/rad için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi..... | 108 |
| Şekil 2.59. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 450$ kNm/rad için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi..... | 109 |
| Şekil 2.60. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 600$ kNm/rad için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi..... | 109 |
| Şekil 2.61. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 750$ kNm/rad için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi..... | 110 |

| | |
|---|-----|
| Şekil 2.62. Tekil yük etkisindeki basit kirişte burulma desteğinin yay sabitine göre en büyük yanal burkulma yükleri..... | 110 |
| Şekil 2.63. Tekil yük etkisindeki basit kirişin yanal burkulmuş hali (üstten görünüş)..... | 112 |
| Şekil 2.64. Tekil yük etkisindeki kirişin $\beta_b = 750$ kNm/rad için yanal burkulmuş hali (üstten görünüş)..... | 112 |
| Şekil 2.65. Ortasından tekil yüke maruz basit mesnetli kirişin $\beta_b = 900$ kNm/rad için yanal burkulmuş hali (üstten)..... | 113 |
| Şekil 2.66. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 150$ kNm/rad için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi..... | 117 |
| Şekil 2.67. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 300$ kNm/rad için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi..... | 118 |
| Şekil 2.68. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 450$ kNm/rad için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi..... | 118 |
| Şekil 2.69. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 600$ kNm/rad için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi..... | 119 |
| Şekil 2.70. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 750$ kNm/rad için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi..... | 119 |
| Şekil 2.71. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte burulma desteğinin yay sabitine göre en büyük yanal burkulma momentleri (destek alt başlıkta)..... | 120 |
| Şekil 2.72. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte burulma desteğinin yay sabitine göre yanal burkulma momentleri (destek gövde merkezinde)..... | 120 |
| Şekil 2.73. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişin yanal burkulmuş hali (üstten görünüş)..... | 122 |
| Şekil 2.74. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişin $\beta_b = 750$ kNm/rad için yanal burkulmuş hali (üstten görünüş)..... | 122 |
| Şekil 2.75. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişin $\beta_b = 900$ kNm/rad için yanal burkulmuş hali (üstten görünüş)..... | 123 |
| Şekil 2.76. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_b = 10$ kNm/rad için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi..... | 125 |
| Şekil 2.77. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_b = 50$ kNm/rad için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi..... | 126 |
| Şekil 2.78. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_b = 150$ kNm/rad için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi..... | 126 |
| Şekil 2.79. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_b = 600$ kNm/rad için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi..... | 127 |
| Şekil 2.80. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte burulma desteğinin yay sabitine göre en büyük yanal burkulma yükleri..... | 127 |
| Şekil 2.81. Tekil yüklü konsol kirişin yanal burkulmuş hali (üstten görünüş)..... | 129 |

| | |
|---|-----|
| Şekil 2.82. Tekil yüklü konsol kirişin $\beta_b = 600$ kNm/rad için yanal burkulmuş hali (üstten görünüş)..... | 129 |
| Şekil 2.83. Tekil yüklü konsol kirişin $\beta_b = 1200$ kNm/rad için yanal burkulmuş hali (üstten görünüş)..... | 129 |
| Şekil 2.84. Desteğin alt ve üst başlıkta olması durumunda yanal burkulma yükleri (kN)..... | 132 |
| Şekil 2.85. IPE 450 profili için yanal burkulma yükleri..... | 147 |

TABLULAR DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|--|-----------------|
| Tablo 1.1. ξ , η ve ζ eksenleri ile x , y ve z eksenleri arasındaki ilişki..... | 30 |
| Tablo 1.2. Tekil eğilme momenti için m değerleri..... | 32 |
| Tablo 1.3. Tekil yüklü konsol kiriş için m değerleri..... | 34 |
| Tablo 1.4. Tekil yüklü basit kiriş için m değerleri..... | 37 |
| Tablo 1.5. Biyolojik sinir sistemi ile yapay sinir sistemi arasındaki benzerlikler..... | 41 |
| Tablo 2.1. Değişik başlık genişlikleri için yanal burkulma yükleri..... | 67 |
| Tablo 2.2. Değişik kiriş uzunlukları için yanal burkulma yükleri..... | 68 |
| Tablo 2.3. BASP analizi için ağ ve hata değerleri (tekil yüklü basit mesnet)..... | 69 |
| Tablo 2.4. Konsol kirişe etkileyen tekil yükün uygulama yeri için yanal burkulma yükleri (kN)..... | 71 |
| Tablo 2.5. İki ucu basit mesnetli kirişe etkileyen tekil yükün uygulama yeri için yanal burkulma yükleri (kN)..... | 71 |
| Tablo 2.6. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 600$ kN/m için yanal burkulma yükleri (kN)..... | 75 |
| Tablo 2.7. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 1200$ kN/m için yanal burkulma yükleri (kN)..... | 76 |
| Tablo 2.8. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 1800$ kN/m için yanal burkulma yükleri (kN)..... | 76 |
| Tablo 2.9. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 2400$ kN/m için yanal burkulma yükleri (kN)..... | 76 |
| Tablo 2.10. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 3000$ kN/m için yanal burkulma yükleri (kN)..... | 77 |
| Tablo 2.11. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 600$ kN/m için yanal burkulma momentleri (kNm)..... | 89 |
| Tablo 2.12. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 1200$ kN/m için yanal burkulma momentleri (kNm)..... | 89 |
| Tablo 2.13. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 1800$ kN/m için yanal burkulma momentleri (kNm)..... | 89 |
| Tablo 2.14. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 2400$ kN/m için yanal burkulma momentleri (kNm)..... | 90 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| Tablo 2.15. | Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 3000$ kN/m için yanal burkulma momentleri (kNm)..... | 90 |
| Tablo 2.16. | Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_y = 50$ kN/m için yanal burkulma yükleri (kN)..... | 98 |
| Tablo 2.17. | Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_y = 300$ kN/m için yanal burkulma yükleri (kN)..... | 98 |
| Tablo 2.18. | Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_y = 600$ kN/m için yanal burkulma yükleri (kN)..... | 99 |
| Tablo 2.19. | Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_y = 1200$ kN/m için yanal burkulma yükleri (kN)..... | 99 |
| Tablo 2.20. | Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 150$ kNm/rad için yanal burkulma yükleri (kN)..... | 106 |
| Tablo 2.21. | Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 300$ kNm/rad için yanal burkulma yükleri (kN)..... | 106 |
| Tablo 2.22. | Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 450$ kNm/rad için yanal burkulma yükleri (kN)..... | 107 |
| Tablo 2.23. | Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 600$ kNm/rad için yanal burkulma yükleri (kN)..... | 107 |
| Tablo 2.24. | Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 750$ kNm/rad için yanal burkulma yükleri (kN)..... | 107 |
| Tablo 2.25. | Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 150$ kNm/rad için yanal burkulma momentleri (kNm)..... | 115 |
| Tablo 2.26. | Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 300$ kNm/rad için yanal burkulma momentleri (kNm)..... | 116 |
| Tablo 2.27. | Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 450$ kNm/rad için yanal burkulma momentleri (kNm)..... | 116 |
| Tablo 2.28. | Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 600$ kNm/rad için yanal burkulma momentleri (kNm)..... | 116 |
| Tablo 2.29. | Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 750$ kNm/rad için yanal burkulma momentleri (kNm)..... | 117 |
| Tablo 2.30. | Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_b = 10$ kNm/rad için yanal burkulma yükleri (kN)..... | 124 |
| Tablo 2.31. | Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_b = 50$ kNm/rad için yanal burkulma yükleri (kN)..... | 124 |
| Tablo 2.32. | Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_b = 150$ kNm/rad için yanal burkulma yükleri (kN)..... | 124 |
| Tablo 2.33. | Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_b = 600$ kNm/rad için yanal burkulma yükleri (kN)..... | 125 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| Tablo 2.34. | Rijit yanal destekli kirişin yanal burkulma yükleri (destek üst başlıkta)..... | 131 |
| Tablo 2.35. | Rijit yanal destekli kirişin yanal burkulma yükleri (destek alt ve üst başlıkta)..... | 131 |
| Tablo 2.36. | Yanal destek yay sabitine göre yanal burkulma yükleri [kN] (yanal destek alt ve üst başlıkta)..... | 131 |
| Tablo 2.37. | Açıklığında elastik mesnet bulunan kolonun kritik burkulma yükü için λ değerleri..... | 136 |
| Tablo 2.38. | Açıklığında elastik mesnet bulunan kolon için YSA test seti..... | 137 |
| Tablo 2.39. | Eğitim setindeki örnek sayısına göre kritik yanal burkulma yükleri için YSA test seti girdileri..... | 139 |
| Tablo 2.40. | Eğitim setindeki örnek sayısına göre kritik yanal burkulma yükleri için YSA test seti çıktıları..... | 139 |
| Tablo 2.41. | Yanal desteklenmiş tekil yük etkisindeki basit kiriş için yanal burkulma yükleri YSA test seti..... | 141 |
| Tablo 2.42. | Yanal desteklenmiş eğilme momenti etkisindeki basit kiriş için yanal burkulma momentleri YSA test seti..... | 143 |
| Tablo 2.43. | Yanal desteklenmiş tekil yük etkisindeki konsol kiriş için yanal burkulma yükleri YSA test seti..... | 145 |
| Tablo 2.44. | IPE 450 profili için yanal burkulma yükleri..... | 147 |
| Tablo 2.45. | Yanal desteklenmiş örnekler için YSA test seti..... | 149 |

SEMBOLLER DİZİNİ

- A : Kesit alanı
- A,B : Yanal burkulmada mesnetlenme durumu
- A_i : i. girdinin ağırlık değeri
- A_{kj} : k. girdi katmanını j. ara katman elemanına bağlayan bağlantının ağırlık değeri
- a,b : Burkulmada mesnetlenme durumu
- B_m : Ağın beklenen çıktıları
- b : Başlık genişliği
- C,D : Diferansiyel denklem çözüm sabitleri
- C_w : Çarpılma katsayısı
- \dot{C} : Çıkış (YSA)
- \dot{C}_k^i : k. İşlem elemanının çıktısı
- \dot{C}_m : Ağa sunulan girdi için ağın ürettiği çıktı
- d : Başlıklar arası dıştan dışa mesafe
- d : Yanal desteğin bulunduğu noktanın yanal yer değiştirmesi
- $\frac{d^n}{dz^n} u^n$: n. dereceden türev
- E : Elastisite modülü
- e : Yanal desteğin kesit gövde merkezine uzaklığı
- E_m : n. işlem elemanı için oluşan hata
- F_b : Basınç başlığının enkesit alanı
- F : Yanal desteğin uyguladığı kuvvet
- $f'(\dot{IE\dot{C}})$: Aktivasyon fonksiyonunun türevi
- G : Kayma modülü
- G_i, x_m : i. ve m. girdi
- h : Kesit yüksekliği
- h_p : P yükünün üst başlık merkezine uzaklığı
- h_y, h_b : Yanal ve burulma desteğin üst başlık merkezine uzaklığı
- i_y : Atalet yarıçapı
- $\dot{IE\dot{C}}$: İşlem elemanı çıktısı

- I_f : Başlık atalet momenti
 J : Polar atalet momenti
 K_c : Konvansiyonel elastik yapısal rijitlik matrisi
 K_g : Geometrik rijitlik matrisi
 L_P : P yükünün sol mesnede uzaklığı
 l, L : Kiriş boyu
 M_b : Burulma momenti
 M_f : Başlıktaki eğilme momenti
 M_{kr} : Yanal burkulma momenti
 M_0 : Kirişe etkiyen tekil moment
 M_x, M_y, M_z : x, y, z eksenlerindeki momentler
 M_η, M_ξ, M_ζ : η, ξ, ζ eksenlerindeki momentler
 O : Kesit merkezi
 P : Kirişe etkiyen yük
 P_{kr} : Yanal burkulma yükü
 R_i : Düzlem içi yükleme durumu için nodal kuvvetleri
 r : Sistemin burkulma halindeki yer değiştirme vektörü
 s : Özdeğer için değişim miktarı
 s : Kirişin yanall mesnetleri arasındaki mesafe
 t : Başlık kalınlığı
 TH : Toplam hata
 t_g, t_b : Kesit gövdesi ve başlığının kalınlığı
 T_{sv} : St. Venant kayma kuvveti
 T_w : Çarpılmadan oluşan kayma kuvveti
 u, v : Yer değiştirme miktarları
 w_{1-j} : 1. elemanı j. elemana bağlayan ağırlık değeri
 x, y, z : Kartezyen eksen takımları
 x : Yanal yer değiştirme (yanal destek için)
 V_f : Ara kesitteki kayma kuvveti
 YSA : Yapay Sınır Ağları
 a : P yükünün kesit merkezine uzaklığı
 α : Momentum katsayısı (YSA)

- α : Elastik desteğin yerini belirten katsayı
 β_b : Burulma desteğinin yay sabiti
 β_y, c : Yanal desteğin yay sabiti
 ΔA^a_{jm} : m. işlem elemanını ara katmandaki j. işlem elemana bağlayan ağırlığın değişim miktarı
 ΔA^i : Değişim miktarı
 δ : Kesitte en fazla yer değiştirme miktarı
 δ_m : m. çıktı ünitesinin hatası
 Φ : Dönme miktarı (burulma)
 ϕ_j : Ara katmanda bulunan j. elemana bağlanan eşik değer elemanının ağırlığı
 ϕ^e : Eşik değer ağırlıkları (YSA)
 $\phi_m^e(t)$: t. iterasyondaki ağırlığın yeni değeri
 $I_{x,y,z}$: x, y, z eksenine göre atalet momenti
 I_η, I_ξ : η, ξ eksenleri atalet momentleri
 ξ, η, ζ : Yanal burkulma eksenleri
 λ : Öğrenme oranı (YSA)
 ξ : Elastik desteğin yay sabitine bağlı boyutsuz katsayı
 λ : Özdeğer ifadesi
 σ_a : Basınç başlığının akma gerilmesi
 σ_B : Yanal burkulma göz önüne alındığında basınç emniyet gerilmesi
 ν : Poisson oranı
 ω : Yanal burkulma momentine bağlı değişken

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnce cidarlı elemanlar günümüz yapı tekniğinde sıkça kullanılan yapı elemanlarıdır. Bu elemanlar kalınlığı diğer kesitlerdeki yönlerle karşılaştırıldığında oldukça küçük ince plaklardan oluşurlar. Bu tür yapılar çoğunlukla çelik ve beton köprüler, gemiler, hava araçları, madencilikte kullanılan başlık çerçeveleri, makas vinçleri vb. yapılarda kullanılırlar. Genellikle kutu kiriş, kutu kolon, plak kiriş, aşık (Z ve kanal kesit), yatak bacası şeklindedirler. Burulma rijitlikleri zayıf olan ince cidarlı elemanların burulmaya karşı dayanımları bir takım desteklerle artırılabilir. Örneğin kutu kirişler, plak kirişlerde olduğu gibi çok küçük burulma rijitliğine sahiptirler. Bununla beraber alternatif yapılara göre çok hafiftirler. Bu nedenle uzun açıklıklı köprüler, ağırlık ve maliyetin düşük olması istenen yapılarda kullanılmaları yaygındır. İnce cidarlı elemanlar sadece çelik malzemesinden oluşmaz, kutu kiriş ve kutu kolon örnekleri gibi betondan da imal edilebilirler. İnce cidarlı eleman betondan yapılacaksa kullanılan betonun yüksek kaliteli olması gerekir (Murray, 1984). Kabuklar da ince cidarlı yüzeysel taşıyıcı sistemlerdir. Genellikle çatı yapıları, nükleer reaktörler, basınç kapları, uzay gemileri ve füzeler gibi uygulamaları dikkate değerdir (Bull, 1990).

Yanal burkulma genellikle burulma veya yatay hareket yapması engellenmemiş ince cidarlı kirişlerde meydana gelir. Kesit düzlemi düşey simetri eksene sahip ince cidarlı bir kirişe simetri düzleminde düşey yük veya eğilme momenti uygulandığında, yük belli bir değerin altında kaldığı müddetçe, sistemde sadece düşey yer değiştirmeler meydana gelir, kesit gövdesi düzleminden sapmaz. Yük kritik değere ulaştığında, sistemde yanal yer değiştirmeler meydana gelirken kesitler çubuk ekseni etrafında dönerler. Bu duruma sistemin stabilitesinin bozulması denir ve yanal burkulma olarak adlandırılır. Sistemin stabilitesini bozan yüke de kritik yanal burkulma yükü denmektedir. Kirişin yanal burkulma davranışında eğilme ile birlikte burulma da oluşmaktadır.

Yanal burkulma, yükleme belli bir kritik değeri aştığında meydana gelir. Yükleme kritik değerin altında kaldığı müddetçe elemanda sadece eğilme oluşur. Kiriş sadece eğilme momenti etkisinde iken taşıyabileceği yükleme değeri kritik yüklemenden az ise bu kiriş narin değildir. Yanal burkulma ortaya çıkmadan kiriş harabolmaktadır. Yanal

burkulma narin kirişlerde oluşabilen bir durumdur. Yanal destekler, kiriş gövdesini gövdeye dik yönde destekleyen yaylardır. Bu yayların sabitleri büyütüldükçe yanal burkulma zorlaşır. Yanal burkulma için gerekli kritik yükleme artar. Bu kritik yükleme değeri, artarak kirişin burulmasız eğilme kapasitesini aştığında, kiriş artık göçmüş olacağı için, yay sabitlerini bundan sonra artırmaya gerek kalmaz. Yanal burkulma oluşmadan kiriş eğilme ile geçer. Yayları kiriş gövdesinde konulacağı yerlerin ve yay sabiti değerlerinin etkisinin incelendiği bu çalışmada en uygun yerler ve yay sabiti değerleri araştırılmıştır.

Yanal burkulma davranışının teorik esasları geçen yüzyılın başlarında ortaya konulmuş ve günümüzde ise, gelişmiş bilgisayar teknolojisi ile yanal burkulma davranışı ve nedenleri daha sağlıklı bir şekilde incelenebilmektedir. Kirişin sınır şartları, yanal mesnetler ve yükün uygulama şekli yanal burkulma davranışını belirler. Çelik bir kirişte, yük uygulanan noktalardaki düşey kesitte, profilin ağırlık merkezinin yükün uygulama noktasına olan düşey uzaklığı yanal burkulma kritik yükünün değerini etkilemektedir. Yükün, profilin üst başlığı ya da alt başlığından uygulanması kritik yükün değerini değiştirmektedir. Yanal burkulma özellikle yüksek gövdeli ve ince dikdörtgen kesitli çelik kirişlerde meydana gelebilecek bir davranıştır.

Bilimin ve teknolojinin birbirini etkilediği günümüz bilgi çağındaki dinamizm, yeni hesap ve analiz tekniklerinin doğmasına neden olmuştur. Gerek ihtiyaçların farklılaşması ve gerekse yeni malzeme ve yapım tekniklerinin ortaya çıkması, ortaya çıkan karmaşık yapıların hesabında çeşitli zorluklara neden olmuştur. Böylece; mühendislik çalışmaları bir yandan kıt kaynakların optimum kullanılması zorunluluğunu doğururken, öte yandan ortaya çıkan hesap işlemleri için gerekli zaman ve hesap yöntemi ihtiyacını artırmıştır (Civalek, 2004).

Bilgisayar tekniğindeki gelişmelere paralel olarak ortaya çıkan sayısal hesap yöntemleri, analitik çözümün mümkün olmadığı durumlarda büyük avantaj sağlamaktadır. Yeter yaklaşıklıkta çözümler veren; sonlu farklar, sonlu elemanlar, sınır elemanlar gibi sayısal yöntemler günümüzde etkin olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler; sürekli bir sistemi, çeşitli noktalarda biri birine bağlı düğümlerden teşkil edilmiş kabul ederek, polinom ya da seri yaklaşımıyla türev denklemlerin lineer denklem takımı veya çözümü kolayca elde edilebilen bir forma indirgenmesi esasına dayanır (Civalek, 2004).

20. yüzyılın ikinci yarısında temelleri atılan ve günümüzde büyük bir kitlenin üzerinde çalıştığı yapay zekâ tekniği, pek çok problemin analizinde başarı ile kullanılmış ve klasik programlamaya alternatif olmuştur (Civalek, 2004). Geçen zaman içinde Yapay

Sinir Ağları (YSA) ve diğer mantıksal programlama tekniklerinin ispatlanmış teorilerinin ortaya çıkartılması nedeniyle konu pek çok bilim adamının ilgisini çekmiştir (Öztemel, 2003).

Bilgisayar tekniğindeki bu gelişmeler teorik ve pratik çalışmalar yapan yapı mühendislerinin de ilgisini çekmiş ve yapay zekâ genel adıyla bilinen yöntemler; bir çok tasarım parametresi arasından etkin çözüme ulaşma, taşıyıcı sistem seçme, standartların kontrolü, deprem riski altındaki yapıların hasar görebilirliği, zemin özelliklerinin belirlenmesi ve sınıflandırılması, şevlerde stabilite analizi, şantiye yönetimi ve organizasyonu, malzeme kalite kontrolü, şehir içi trafik sinyalizasyonu ve optimum sinyal süreleri belirlenmesi, üst yapı malzeme karışım hesabı, hava trafik kontrolü, ulaşım sistemlerinin planlanması, trafik akışının kontrolü ve kaza analizi, yol alt yapısı sırasında tahmini maliyet gibi uzman sistem; yapıların optimum boyutlandırılmasında genetik algoritmalar, betonun karmaşık davranışının modellenmesi, yapıların statik ve dinamik analizi, risk analizi, plak ve kabukların çözümü, depreme dayanıklı yapı tasarımı, hasar tespiti, köprülerin dinamik analizi gibi uygulamalarda yapay sinir ağları uygulamaları, zemin sıvılaşması ve zemin parametrelerinin analizi, optimizasyon ve kontrol uygulamalarında bulanık mantık uygulamaları bu alanda yapılmış çalışmalardan bazılarıdır (Civalek, 2004).

Yapay sinir ağları konusu, insan beyninin çalışma prensibinin matematik modeli ile bilimsel uygulama alanı bulmuştur. Yapay sinir ağları ile devre gerçekleştirme ve bu devreyi eğiterek istenen fonksiyonun sentezini elde etme bilimin hedef aldığı ilerlemelerdendir. Yapay sinir ağları temel olarak sınıflandırma, veri elde etme, ses tanıma, görüntü işleme, gibi alanlarda uygulama alanı bulmuş ve etkin olarak kullanılmaktadır (Ülker, 2002).

Bu çalışmada yanal burkulma etkisindeki kirişlere eklenen desteklerin yanal burkulma davranışını nasıl etkilediği ve elemana eklenecek olan desteklerin ideal yay sabitlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapay Zekâ ve bir alt kolu olan Yapay Sinir Ağları'ndan bahsedilecek ve YSA hakkında genel bilgiler verildikten sonra, ince cidarlı elemanların yanal veya burulma destekli halleri için yanal burkulma yükleri incelenecektir. Çalışmada, giriş boyunun, yanal destek ve burulma desteklerinin durumlarının (yay sabiti ve konumlarının) yanal burkulma yükünü nasıl etkiledikleri incelenerek, daha sonra YSA'nın yanal burkulma problemlerine uygulanması amaçlanmaktadır. YSA eğitilmesinde, ilk olarak H. U. Akay ve J. P. Johnson tarafından geliştirilen, daha sonra H.

J. Kim ve J.A. Yura tarafından program haline getirilen Buckling Analysis of Stiffened Plates (BASP) sonlu elemanlar programından faydalanılacaktır. BASP programı ile ilgili bilgiler “Yapılan Çalışmalar” kısmında ayrıyeten sunulmaktadır.

1.2. Kaynak Araştırması

Medland (1979), iç içe destekli kolonların burkulmasını incelemiştir. Çalışmada destekler tarafından birbirine bağlı paralel kolonlar tarafından oluşturulmuş genel bir yapının analizi sunulmuş, sonuçlar kolonun burkulmasına yol açacak eksenel kolon yükünün tahminine göre sağlanmıştır. Sistemdeki destekler, desteğin eksantrikliği de dikkate alınarak, kesitin makaslanmasını ve düzlemdeki yanal ve dairesel yer değiştirmeleri önleyecek şekilde tasarlanmıştır. Sonuçlardan elde edilen grafikler sunulmuş ve çözümün sağlandığı matris denklemi oluşturulmuştur.

Medland (1980), iç içe destekli kiriş sistemlerinin burkulmasını incelemiştir. Çalışmada, düzgün yayılı moment ve düzgün dağılmış yükler altında taban destek sistemli burulma ve yanal destekli paralel kirişlerin analizi gerçekleştirilmiş, farklı rijitlikteki ve farklı eksantrisitedeki desteklere göre birbirine bağlı sistemin burkulma yükü değişimi grafiksel olarak gösterilmiş, özellikle tam destekli durum için rijitliğin derecesinin gösterilimi araştırılmıştır. Çalışmada, düzgün yayılı momenti hesaplamaya yarayan matris denklemi basitçe hazırlanmıştır.

Lenz vd. (1980), kolonların burkulması için tasarım kurallarının güvenilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada çelik kolonlar için birinci merteye teorisine dayalı yük faktörü tasarım kuralı elde edilmiş, mevcut veri ve test sonuçlarından yük faktörleri ve dayanım faktörleri sunulmuştur.

Wakabayashi ve Nakamura (1983), yanal destekli kirişlerin burkulmasını incelemiştir. Teorik ve deneysel çalışmalarının sonucunda şu sonuçlara varmışlardır:

- Moment dağılımının H kesitli kirişlerin yanal burkulma dayanımı üzerindeki etkisi oldukça belirgindir,
- Çatı aşıklarının oluşturduğu destekler yanal burkulmayı önlemede etkilidir,
- Çatı aşıklarının bulunduğu durum için normal narinlikte ($L/I_y \leq 500$) kirişin dayanımı M_p 'ye ulaşır,
- Komşu elemanların kısıtlama etkisi ve yardımcı kiriş tarafından oluşturulan destek etkisi önerilen efektif uzunluk faktörü tarafından tahmin edilebilir.

Ings ve Trahair (1984), desteklenmiş çatı aşıklarının yanal burkulmasını incelemiştir. Çalışmada üst başlıkları yanal yer değiştirmeye karşı desteklenmiş çatı aşıklarının elastik yanal burkulması için basit bir model geliştirilmiştir. Model sonlu eleman modeline dayalı bilgisayar programı yardımı ile analiz edilmiş ve elastik burkulma altındaki maksimum moment tahminleri grafik şeklinde sunulmuştur. Kullanılan yöntemin yanal burkulmalı çatı aşıklarının tasarımında oldukça ekonomik olduğu gözlemlenmiştir.

Hopfield ve Tank (1985), belirli problemlerin çözümü için ağ yapılandırma ile ilgili genel prensipleri incelemiştir. YSA'nın hesapları iyi yaptığını göstermek için, biraz zor fakat iyi tanımlanmış bir optimizasyon probleminin çözümü için tasarlanmış bir YSA'nın bilgisayar benzetiminin sonuçları verilmiştir.

Svensson (1985), çeşitli eksenel yüklere maruz elastik destekli kolonlar gibi kirişlerin yanal burkulma analizini incelemiştir. Çalışmada problem çeşitlerine bağlı olarak değişik örnekler için sayısal çözümler elde edilerek tablo ve şekillerle beraber sunulmuştur. Burulma desteği dikkate alındığında, önerilen yöntemin sonuçlarının deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında benzerliği, teorinin biraz daha geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Bradford (1988), gövdeleri çarpılmış elastik mesnetli kirişlerin burkulmasını incelemiştir. Çalışmada tek simetrikli ve sürekli mesnetli I kirişinin elastik yanal burkulmasına, gövdesinin çarpılmasının etkisini içeren yaklaşık bir enerji yöntemi sunulmuştur. Yöntem başlıkların burkulmaya karşı rijit fakat gövdenin bir elastik plak burkulmasına benzer bir şekilde çarpılmasını içermektedir. Gövdenin çarpılması engellendiğinde, söz konusu yöntem elastik mesnetli kirişlerin rijit gövdesinin burkulma momentlerini yaklaşık olarak tahmin edebilmektedir. Çalışmada, döndürme ve zayıf eksenin dönmesinin engellenmesi durumu için kullanılan mesnedin rijitliği arttıkça çarpılmalı durumdaki ve kapalı formdaki elastik kritik moment arasındaki farkın arttığı gözlemlenmektedir. Çalışmada son olarak, çekme başlığından elastik burulma mesnetli kirişin kritik moment değerinin burulma mesnedinin rijitliği arttıkça maksimum bir noktaya asimptot şeklinde uzandığı ispatlanmaktadır.

Shu ve Fun (1988), basit mesnetli ve düzgün yayılı momente maruz, tek ve çift simetrikli, yanal ve burulmalı destekli kirişlerin burkulmasını incelemiştir. Çalışmada kapalı çözümü elde edilerek, burkulma momenti ve destek rijitliği arasındaki ilişki ve desteğin kritik rijitliği için bir formül sunulmuştur.

Bradford (1989), kısmen tutulmuş I-kirişlerinin burkulma dayanımını incelemiştir. Çalışmada kompozit kirişlerde olduğu gibi üst başlığı boyunca destekli I kirişinin elastik

olmayan çarpılmalı burkulmasının analizinin sonuçları değerlendirilmiştir. Bulgular artık gerilme ve sünekliğin stabilite üzerindeki olumsuz etkilerinin çarpılmalı burkulma ve yanal burkulma için birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Bradford (1990), elastik mesnetli tek simetrikli I kirişlerinin çarpılmalı burkulma dayanımını incelemiştir. Yazar daha önceki çalışmalarında elastik mesnedin; döndürme, zayıf eksenin dönmesi, burulma ve eğilme üzerindeki etkisini içeren tek simetrikli I kirişleri için çarpılmalı burkulma analizinin elastik olmayan yöntemi geliştirmiştir. Çalışmada hazır üretim tek simetrikli kirişlerin elastik olmayan eğilmeli-burulmalı burkulması ve tek simetrikli I kirişlerinin elastik çarpılmalı burkulmasının bilgisayar modeli ile tahmin edilen değerler, sunulan çözümlerle örtüşmektedir. Çalışmada tek simetrikli kısa kirişlerin elastik olmayan burkulmasının incelenmesinin sonucunda, çekme başlıklarına döndürme, dönme ve burulma mesnetleri yerleştirildiğinde; elastik olmayan eğilmeli-burulmalı burkulma momenti hemen hemen elastik olmayan çarpılmalı burkulma momentine benzer çıkmaktadır.

Vanluchene ve Sun (1990), mühendislik problemlerine sinir ağı tekniğini uygulamışlardır. Değişik ağ tipleri üzerinde durmuşlar ve geriye yayılma öğrenme algoritması ile üç (3) yapı problemi üzerinde çalışmışlardır. Birinci problemde, birim kuvvet uygulanan basit mesnetli bir kirişin moment diyagramından yararlanarak yükün yerini belirlemeye çalışmışlardır. 10-6-6-1 (10, girdi katmanındaki işlem elemanı sayısı; 6-6, iki gizli katmandaki işlem elemanı sayısı (toplam 12); 1, çıktı katmanındaki işlem elemanı sayısı) yapısında bir ağ ve eğitim için 4 örnek kullanmışlardır. Girdi katmanındaki 10 işlem elemanı, 9 eşit parçaya bölünmüş kirişte birim kuvvetten oluşan 10 moment değerini, çıktı katmanındaki işlem elemanı ise, kuvvetin uygulandığı mesafeyi göstermektedir. İkinci problemde, öngerilmeli beton kiriş elemanın boyutlandırılması üzerinde çalışmışlardır. 5-6-6-1 yapısında bir ağ, eğitim için 21 örnek ve test için 10 örnek kullanmışlardır. Girdi katmanındaki 5 işlem elemanı, eğilme momentini, çeliğin öngerilme dayanımını, betonun öngerilme dayanımını, öngerilme oranını ve kirişin genişlik/yükseklik oranını, çıktı katmanındaki işlem elemanı ise, kiriş genişliğini göstermektedir. Üçüncü problemde ise, birim kuvvet uygulanan sabit mesnetli bir plakta oluşan en büyük eğilme momentinin değerini ve yerini belirlemeye çalışmışlardır. 4-6-6-6 yapısında bir ağ, eğitim için 30 örnek, test için 12 örnek kullanmışlardır. Girdi katmanındaki 4 işlem elemanı, plağın x-y doğrultusundaki boyutlarını ve yükün koordinatlarını, çıktı katmanındaki 6 işlem elemanı ise, x-y doğrultusundaki eğilme

momentlerini ve momentlerin koordinatlarını göstermektedir. Her 3 problemde de oldukça iyi sonuçlar almışlardır. Eğitim sürelerinin uzun olmalarına karşın, sinir ağı bir kez eğitildikten sonra sonlu elemanlar yöntemlerine göre daha hızlı sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Wang ve Nethercot (1990), yanal olarak mesnetlenmemiş kirişlerin destek gereksinimi problemini belirlemek için, sonlu eleman programı kullanarak basit bir parametrik çalışma hazırlamışlar ve çalışmalarının sonunda şu sonuçları elde etmişlerdir:

- Tek destekli sistemlerde göçme anı için, tasarımda eksenel yükün %1'i gerekli destek dayanımı olarak alınabilir.
- Çoklu destekli sistemler için, bu değer bazı durumlarda, özellikle çok narin kirişlerde, güvenli olmayabilir.
- Her bir destek için %1 değeri dikkate alınırsa sistemde %2 değerinin alınması daha uygun olarak düşünülebilir.

Xykis ve Galambos (1990), büyük açıklıklı çerçeve sistemlerin yanal burkulma stabilitesini sonlu elemanlar teorisine göre incelemişlerdir. Stabilitate analizi için eleman rijitlik matrisini küçük yer değiştirme teorisi altında üç boyutlu olarak burulma ve eğilme davranışlarının aynı anda etkidiği düşünülerek açık kesitli ince cidarlı eleman teorisine göre formüle etmişlerdir. Statik analiz elemana düzgün yayılı eksenel yükün hesaplanması durumu için yapılmış, elemanın kritik yükünün hesaplanmasında global stabilite rijitlik matrisinin determinantının sıfır olması bir kriter olarak kullanılmıştır. Çalışmalarının sonuçlarını deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında aşağıdaki sonuçlara varmışlardır:

- Çalışmada geliştirilen sayısal yöntem, özellikle ince cidarlı kiriş sistemine sahip büyük rijitlikli çerçeve sistemlerin elastik burkulma analizi için oldukça kullanışlıdır. Çarpılmayı hesaba katmamasına rağmen sunulan yöntem herhangi bir zorluk ortaya çıkarmamaktadır.
- Mesnet koşullarındaki değişimler yatay köprü kurulumunda, bütün yapının burkulma yükünü önemli ölçüde etkilemektedir. Daha rijit bağlamalar köprü hattının desteklerini zorlamakta, böylece daha büyük kritik yükler oluşmaktadır.
- Köprü hattının uzunluğu önemli ölçüde yapının kritik yükünü etkilemektedir.
- Köprü hattının yapım şekli (X veya yatay olması) kritik yükü etkilemektedir.
- Düzlemdeki momente ek olarak kayma merkezinin yeri yapının kritik yükünü az da olsa etkilemektedir.

- Kritik yük düzlem dışı yer değiştirmelere karşı oldukça hassastır.

Galambos ve Xykis (1991), yanal desteklerin çelik sistemlerdeki stabiliteye etkisini incelemiştir. Çalışmalarında üç boyutlu olarak rijit elemanın iki analitik çalışmasının sonuçlarını deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. İki ve üç destekli elemanlarda olduğu gibi tekil elemanlar için sistemin elastik burkulma dayanımı sonlu eleman modeli ile araştırmışlardır. Çalışmada; desteğin eksenel ve eğilme rijitliği, destek uç koşulları, eleman sayısı ve destek üst bağ kirişinin etkileri incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Sistemin uçlarındaki bağlama durumları burkulma kapasitesinin önemli ölçüde etkilememektedir.
- Sistem elemanlarının eğilme rijitliği burkulma yükünü önemli oranda etkilemektedir.
- Üst bağ kirişinin desteklenmesi az da olsa burkulma yükünü azaltmaktadır.
- Elde edilen değerler deneysel çalışmaya göre daha düşüktür.
- Üst bağ kirişi için Euler burkulma yükü sonlu eleman modeline göre hesaplandıktan sonra bazen düşük bazen de yüksek hesaplanmaktadır.
- İki sonlu eleman modeli için elde edilen değerler kapalı sonuçlarla karşılaştırıldığında üst üste çakışmaktadır.
- İkili ve üçlü bağlantılı kiriş sistemleri için yatay elemanlardaki sonuçlar birbirine yakın fakat diyagonal elemanlar için fark biraz daha belirgindir.
- Diyagonal elemanlar burkulma yükü artışında yatay elemanlara göre daha etkilidirler.

Hajela ve Berke (1991), sinirsel hesaplama stratejilerinin yapı analizi ve tasarımındaki rolünü araştırmışlardır. Başlıca odak noktaları, statik yapı analizindeki kuvvet-yer değiştirme ilişkisini sinir ağları kullanarak ifade etmektir. Çalışmada, sinirsel hesaplama yaklaşımına genel bir bakıştan sonra, sayısal doğruluk ve etkinlik üzerine direkt etkisi olan bu tür öğrenme stratejilerinin özellikleri, temsili yapısal optimizasyon problemleri yoluyla incelenmiştir.

Erbatur (1993), yapısal optimizasyon alanındaki en son gelişmeleri ve yenilikleri ele almıştır. Yapısal optimizasyon araştırmalarının yeni yöntemlere açık olduğundan ve bu yeni yöntemlerden olan YSA'dan bahsetmiştir.

Adeli ve Park (1995), deneme ve interpolasyon tabakaları olan, sayaç yayılma sinir ağlarını yapı mühendisliğine uygulamışlardır. Sayaç yayılım algoritmasında öğrenme oranları rastgele seçilmektedir. Çalışmada, öğrenme oranları için iterasyon sayısının bir

fonksiyonu olan basit bir formül önerilmiştir ve mükemmel yakınsama sağladığı görülmüştür. Bu algoritma; W şeklindeki çelik çubukların elastik kritik burkulma momenti, uç momentlere maruz çift ve tek yönlü simetrik çelik çubukların moment değişim sabiti ve bileşik stabilite analiz problemlerine uygulanmıştır.

Kim vd. (1996), ince cidarlı uzaysal çerçeve sistemlerinin üç boyutlu stabilite analizini incelemiştir. Çalışmalarında uyguladıkları sistem için Vlasov varsayımını dikkate alarak virtüel iş prensibini lineerleştirerek sonlu eleman formülasyonu sunmuşlardır. Simetrik olmayan ince cidarlı kesitler için geliştirilmiş yer değiştirme bölgesi ve yarı teğet momente karşılık gelen potansiyel enerjiyi, virtüel iş prensibinin lineer hali uygulanarak sonlu dönmelerin ikinci derece terimlerinden Vlasov varsayımı yardımı ile yeni bir biçimde türetmişlerdir. Sunulan formülasyon kütle merkezi ve kayma merkezinde tanımlı yer değiştirme parametrelerini içeren simetrik olmayan kesitler için dönmeli burulma etkilerini tam olarak karşılamaktadır. Sınır şartlarının dört cinsi ile ilgili eğilebilen kirişlerin Hermitian Polinomları, dönme açısı ve yanal yer değiştirmelerin şekil fonksiyonu olarak kullanılmaktadır. Çalışmada kiriş-kolonların ve uzaysal çerçevelerin yanal burulmalı burkulma analizi için sonlu eleman çözümleri, çeşitli çalışmalardaki çözümlerle ve analitik çözümlerle karşılaştırılmıştır.

Sanad ve Saka (1996), aksenal yüke maruz tekil temel problemi ile betonarme kiriş ve kolon kesitlerinin optimum boyutlandırılması problemlerini YSA kullanarak çözmüşlerdir. Sonuçların yeterli doğruluk değerine sahip olduğunu göstermişleridir.

Dall'asta ve Leoni (1997), içten tutulmamış kabloları sahip ince cidarlı kirişlerin Ritz yöntemi ile analizini yapmışlardır. Çalışmada sunulan ve önceki modeller kullanılarak, uçları boşta, diğer yönlerden sürtünmesiz iç gerilme kabloları içerinden geçirilen ince cidarlı kirişlerin davranışı analiz edilmiştir. En genel şekilde stabilite analizleri ve lineer elastik problemin sayısal çözümü için esas noktalar sunulmuş ve teknik yönden ilginç olan problemlerin bir kısmına uygulanmıştır. Sayısal analiz, simetri yüzeyinde düzgün veya parabolik yönlerde yerleştirilen kablolu, simetrik açık kesitli basit mesnede sahip kiriş durumları için incelenmiş, problem değişkenleri olarak eleman rijitliği, kablo yönünü tanımlayan parametreler ve kablo çekme kuvveti alınmıştır. Çalışmada, dış yükler altında kiriş ve kablonun gerilme artışları arasındaki ilişkiyi ve daha karmaşık olan stabilite analizindeki kiriş eğilmesi, burulma ve kayma rijitlikleri, kablo yönü, kablo çekme kuvveti ve dış yük artışlarını göstererek yapı mühendisliği ile ilgili problemlerin bazı yönleri açıklanmaktadır.

Dere (1997), Yapı Analizi ve Tasarımında YSA konulu bir yüksek lisans tezi hazırlamıştır. Tezde deneysel verilerden yararlanılarak bir eğitim seti oluşturmuş ve YSA bu eğitim seti ile eğitilerek çözümler karşılaştırılmıştır. Çalışmada ara katman eleman sayısının sonuçlara etkisi de incelenmiştir. Sonuçta YSA'nın uygun sonuçlar verdiği ve bir kez eğitildikten sonra çok hızlı sonuçlar üretebildiği vurgulanmıştır.

Dere ve Kaltakçı (1997), YSA'nın İnşaat Mühendisliği alanında kullanımının getirdiği yenilikleri, mevcut çalışmaların ışığı altında ortaya koymaya çalışmışlardır. Hasar tespiti, optimizasyon, yapıların aktif kontrolü ve malzeme modellemesi gibi alanlarda, YSA artık alternatif bir yöntem olarak ele alınmaktadır. YSA'nın, modellenmesi çok güç olan doğrusal olmayan ilişkileri bile modelleyebilmesi, çok hızlı sonuçlar üretebilmesi ve sonradan elde edilen verilerin etkisini hesaba katabilmek için kendini yeniden ayarlayabilmesi, yani adaptif olması, onu çok güçlü bir modelleme aracı haline getirmektedir. YSA'yı diğer modelleyicilerden ayırt eden en önemli özellik ise, gözlemsel verilerden yola çıkarak giriş-çıkış verileri arasındaki ilişkiyi öğrenebilmesidir. Çalışmada ayrıca, yapay zekâ uygulamaları arasında YSA'dan daha köklü bir geçmişe sahip bulunan Uzman Sistemler ile YSA karşılaştırmalı bir şekilde ele alınmış, birbirlerine göre üstünlükleri ve dezavantajlarından bahsedilmektedir.

Kaltakçı ve Dere (1997), bir çeşit doğrusal olmayan malzeme davranışı modellemesinin gerçekleştiği bu çalışmada YSA kullanımı ile yüksek kırılgan kesme mukavemetinin belirlenmesini incelemişlerdir. Çalışmada çok katmanlı, ileri yayımlı, YSA modelini kullanmışlar ve eğitime işlemi için Hatanın Geriye Yayılımı Algoritmasını kullanmışlardır. Turbo Pascal Programlama dilinde geliştirilen bir bilgisayar programı ile oluşturulan YSA modeli Siao (1993) tarafından yapılan çalışmadan alınan deneysel verilerden faydalanılarak eğitilmiştir. Eğitilen YSA, daha önce eğitime sırasında kullanılmayan numunelere ait verilerle test edildiğinde sonuçların oldukça uygun olduğu görülmüştür. Farklı gizli düğüm sayılarına sahip YSA modelleri denenmiş ve en uygun model, ortalama hatalara ve standart sapmalara bakılarak seçilmiştir. Ayrıca, deneysel verilerin alındığı kaynakta kullanılmış olan 'strut-and-tie' modeline ait sonuçlar, YSA modelinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve YSA'nın rölatif performansı daha yüksek bulunmuştur.

Valentino ve Trahair (1998), elastik yanal burkulmayı engelleyen burulma desteklerini incelemişlerdir. Çalışmada iki ucu basit mesnetli durum için moment, düzgün yayılı yük ve eksenel yük durumları için incelemeler yapılmış, eleman tasarımı için

yaklaşık durumlar incelenmiş ve Avustralya ile U.S. tasarım kodlarına göre de örnekler çalışılmıştır.

Bradford (1998), I kirişlerinin enerji metodu ile elastik olmayan burkulmasını incelemiştir. Çalışma üniform eğilme ile yüklü, başlığında çekme mesnetleri olan I kirişinin burkulmasına sürekli burulma mesnetlerinin etkisini de içermektedir. Genel olarak, burulma mesnedinin derecesi arttıkça büyük burkulma değerleri için en küçük burkulma yükü meydana gelir. Bu davranış yanal çarpılmalı burkulmadan ziyade daha çok bölgesel burkulma ile ilgilidir. Çalışmada, elastik olmayan burkulma gerilmesi U-çerçeve modelinden ve AS4100 çelik standartlarından yararlanılarak tahmin edilerek, tasarım yöntemi ile elde edilen formülasyon arasındaki çelişkiler irdelenmiştir.

Gil ve Yura (1999), elastik olmayan kolonlar için destek gereksinimlerinin incelemiştir. Deneysel ve sayısal çözümlerle karşılaştırmalar yapmışlardır. Çalışmada Winter tarafından sunulan basit yöntemin elastik elemanların yanında elastik olmayan elemanlar için de oldukça kullanışlı olduğu gösterilmiştir.

Jönsson (1999), ince cidarlı kirişlerin çarpılma teorisini incelemiştir. Açık ve kapalı kesitler için ince cidarlı klasik kiriş teorisi, şekil değiştirmenin çarpılmalı bir modunu içerecek şekilde geliştirilebilmektedir. Çalışmada çarpılmalı kesit parametreleri tanıtılmıştır. Yeni ortogonalite şartları, aksenal yer değiştirme modlarının ayrılması için verilmiştir. Çarpılma modları için normalizasyon tekniği tek çarpılmalı kesit özelliklerine yol göstericidir. Burulma ve çarpılma teorik formülasyonları oldukça benzerdir. Çalışmada çözüm tiplerine bağlı olarak açık ve kapalı kesitler için burulma ve çarpılma parametrelerinin farkları sunulmaktadır. Ayrıca geçerli ara kesit parametrelerinin büyüklük düzenindeki farklılık, çözüm teknikleri için yol göstericidir. Örneklerde üç ara kesitli elemanları teorik parametrelerin değişimini göstermek için kullanılmıştır. Çalışmada açık ince cidarlı kesitler için çarpılma rijitlik dönmesinin diğer rijitliklerden daha büyük, kapalı kesitler için daha küçük olduğu vurgulanmaktadır.

Helwig ve Yura (1999), kolonlar için burulma desteklerini incelemiştir. Yapılan çalışmalar yanal desteğin konumunun burulma burkulması kapasitesini önemli derecede etkilediğini göstermiştir. Çalışmada sonlu eleman modeli sonuçlarından faydalanılarak burulma desteğinin rijitlik ve dayanımının sistemi nasıl etkilediği araştırılmıştır. Sürekli burulma destekleri modifiye edilerek ayırık destekler için modellemeler oluşturulmuş, burkulmada burulma modlarının kontrolü için gerekli burulma rijitlikleri incelenmiştir.

Gosowski (1999), ayırık destekli ince cidarlı çelik elemanların uzaysal stabilitesini incelemiştir. Çalışmada stabilitenin diferansiyel denklemleri oluşturulmuş, bunların kapalı çözümleri Laplace dönüşümü yardımı ile elde edilmiştir. Gosowski, çalışmasında eğilme ve basınca maruz, uzunluğu boyunca elastik mesnetleri bulunan ince cidarlı elemanın eğilmeli burulma burkulması için çözüm üretmiştir. Sayısal çözümler bilgisayarda yazılan program yardımı ile elde edilmiş ve deneysel çözümlerle karşılaştırılmıştır.

Kim ve Kim (2000), kiriş kesitlerinin topoloji optimizasyonunu incelemiştir. Topolojik olarak ince cidarlı kirişin kesiti rijitleştiricilerin yeri ve yönünü tanımlamada çok faydalı olan mevcut yaklaşımla elde edilebilmektedir. Topoloji optimizasyon problemleri formülasyon olarak basit enerji kuralı elemanın mekanik özellikleri ve boşluklu elemanın yoğunluğu arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılır. Burulma rijitliği hassasiyeti Saint-Venant burulma probleminin sonlu eleman modeli kullanılarak elde edilir, aynı zamanda Euler kiriş teorisi de eğilme rijitliğinin hassasiyet analizi için kullanılır. Sonuçta elde ettikleri yaklaşımla kirişin kesit optimizasyonunu yapmışlardır.

Waszczyszyn ve Ziemanski (2001), malzeme ve yapı mekaniğindeki yeni gelişmeler ve araştırmaları YSA ile incelemiştir. Bu çalışmada elastoplastik kirişlerin eğilme analizi, elastoplastik düzlem gerilme problemi, yapıların temel titreşim periyotlarının tahmini, çelik kirişlerdeki maliyet tespiti ve elastoplastik kirişlerde uygulanan yüklerin belirlenmesi araştırmalarını yapmışlardır.

Yura (2001), kirişler için temel destekleri incelemiştir. Çalışmada yanal destek ve burulma destekli durumlar ayrı ayrı incelenmiştir. Çalışmada desteklerin konumlarını da değiştirerek farklılıklar araştırılmıştır.

Budak ve Can (2002), bileşik eğilme altındaki betonarme kolonların taşıma gücüne göre donatı hesabı yapabilen bir YSA geliştirmeye çalışmışlardır. Çalışma, bu donatı hesabını abak ya da tablo kullanmadan çözmeyi amaçlamaktadırlar. Böylelikle abak ve tablo kullanımından doğan sakıncaları ortadan kaldırmak mümkündür. Bunu sağlamak için bileşik eğilme altındaki donatı hesabının bir takım basit formüllerle verilebileceğini düşünmüşler, bu doğrultuda öncelikle bileşik eğilme altındaki kolonların taşıma gücüne göre hesabında kullanılan değişik çözüm yöntemlerini incelemiştir. Çalışmada, bu yöntemlerden denge denklemlerinin çözümü ile sonuca giden bir yöntemi ve bu yöntemle oluşturulan veri yığınlarını kullanarak YSA eğitilmiş, böylece bileşik eğilme altındaki betonarme kolonların taşıma gücüne göre donatı hesabını, donatıların dört kenarda eşit yayılı olmaları hali için formüle edilmiştir.

Cortinez ve Piotan (2002), kayma şekil değiştirmesi yapabilen ince cidarlı kompozit kirişlerin titreşimini ve burkulmasını incelemiştir. Çalışmada hem açık kesitli hem de kapalı kesitli elemanlar için teorik bir model geliştirilmiştir. Söz konusu model, eğilme ve çarpılma kaymasını başlangıç gerilme durumu için bir tek formda birleştirebilmekte ve serbest titreşim ile burkulma problemlerinin birleştirilmiş şekilde analizini yapmaya imkân sağlayabilmektedir. Geliştirilen analitik çözüm için basit mesnetli durum ele alınmıştır. Çalışmada, sayısal örneklerle söz konusu yapılar için titreşim ve burkulma analizinde kayma eğilmesinin önemini gösterilmesi amaçlanmaktadır.

Kim ve Kim (2002), düzlem dışı eğilme ve burulma etkisindeki ince cidarlı eğrisel dikdörtgen kutu kesitlerin tek boyutlu teorisini incelemiştir. Çalışmaları korunumlu üç kinematik değişkene ek olarak, kiriş ara kesitinin eğilmeli ve çarpılmalı şekil değiştirmeleri için iki değişkeni de içermektedir. Çalışmada doğrusal kirişlerin aksine, çarpılma ve eğilmenin etkileri bölgeseldir ve eğrisel kutu kirişin rijitliğini önemli ölçüde etkilemektedirler. Çalışmada çarpılmalı veya eğilmeli durumlar tek başlarına kesin çözümleri sağlayamadığı gösterilmiştir.

Lee ve Kim (2002), ince cidarlı tabakalı kanal kesitli kirişlerin yanal burkulmasını incelemiştir. Değişik yükleme tiplerine maruz kompozit bir kirişin yanal burkulmasına uygulanabilen genel bir analitik model geliştirilmiştir. Bu model, rasgele tabaka dizilimi ve çeşitli sınır koşullarını içeren klasik tabaka teorisine dayanır. Analizde aynı zamanda uygulanan yükün yerinin burulma kapasitesine etkisi de incelenmiş, kritik yükü, rasgele sınır koşulları ve kompozit kirişin burkulma modlarının uygunluğunu tahmin etmek için tek boyutlu sonlu eleman modeline bağlı yer değiştirme modeli geliştirilmiştir. İnce cidarlı kirişin merkezden etkiyen yüke, düzgün yayılı yüke ve eğilme etkisi altındaki sonuçları elde edilmiştir. Lif durumu, uygulanan yükün yeri ve yükleme tiplerinin kritik burkulma yüküne etkisi incelenmiştir. Sonuçlarda, eğilmeye maruz eksen dışı lif dağılımının olduğu kirişler için ortotropik kapalı formdaki çözüm, yanal burkulma yükünü bağlama rijitliklerinin varlığından dolayı uygun çözümler vermemektedir. Enine yüklere maruz kirişin yanal burkulma kapasitesi lif dağılımından olduğu gibi yükün uygulama yerinden de etkilenir. Kirişin açıklık-yükseklik oranı lif dağılımı için yanal burkulma hassasiyetini etkiler. Uzun açıklıklı kirişler için burkulma yükü $\theta = 0^0$ de maksimuma ulaşırken, kısa açıklıklı kirişlerde $\theta = 45^0$ civarında maksimuma ulaşmaktadır.

Lee vd. (2002), I kesitli kompozit kirişlerin yanal burkulmasını incelemiştir. Çalışmada, I kesitli kompozit kirişlerin yanal burkulması hesabı için, değişik tipler için

yanal burkulma yükünü ve momentini tam olarak hesaplayabilen tek boyutlu bir sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Çalışmada, uygulanan yükün durumu, uygulama yeri ve lif açısının kompozit elemanın burkulma yükü ve momentine etkisi incelenmiştir.

Liu vd. (2002), sayısal yöntemler ve YSA ile çatlakların belirlenmesi üzerine araştırma yapmışlardır. Uygun bir eğitim seti ile YSA'nın çok iyi sonuçlar verdiğini çalışmalarında vurgulamışlardır. YSA'nın karmaşık problemlerde pratik uygulamalar için tercih edilebilen bir yöntem olduğunu sunmuşlardır.

Ülker ve Civalek (2002), yapay zekâ uygulamalarının bir alt kolu olan YSA'yı kullanarak çeşitli mesnet koşulu için aksenel yüklü kolonların burkulma analizini sunmuşlar ve şu sonuçlara varmışlardır:

- Daha önceki çalışmalar da dikkate alınarak söylenebilir ki yapay zekâ tekniği, yapı mühendisliğinde kullanılabilir bir yöntem olma yolundadır.
- Gerek sonuçlarının duyarlılığı ve gerekse ağırlık eğitimi hariç yapılan işlemlerin klasik programlamaya göre daha basit oluşu tekniğin avantajıdır.
- Ancak kullanım potansiyeli ve uygulama alanının geniş olması nedeniyle klasik programlama ve sayısal analiz teknikleri halen pek çok araştırmacı tarafından kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu problem için sayısal analiz yöntemleri ile de çok kısa sürede sonuca ulaşmak mümkündür.
- YSA'nın uygun eğitim setiyle eğitildiği zaman çözebilecekleri problem çeşidinin bir hayli fazla olduğu söylenebilir.
- Eğitim evresi dışında yapay zekâ tekniği konvansiyonel programlamaya göre hızlıdır.

Çalışmalarında buldukları sonuçlar, gerekli hesaplayıcı ihtiyacı ve süre açısından değerlendirildiğinde, bir hayli başarılı bulunmuştur. Yapay zekâ veya bunun alt kolları olan uygulamalarda programa sonradan veri girişi yapılarak veya küçük değişiklikler ile farklı karakterde örnekler çözmek mümkündür. Bununla beraber sayıların sadece mühendise fikir vermek için var olduğunu düşünürsek elde edilen sonuçların değerlendirilmesi daha da önem kazanmaktadır. Yani bilginin elde edilmesi kadar kullanılması da önemlidir.

Dario Aristazabal-Ochoa (2003), elastik zemine oturan yarı rijit bağlantılı, uçlarından yüklü ve uçlarının yer değiştirmeleri engellenmemiş, kısmen engellenmiş ve tamamen engellenmiş giriş kolonların stabilitesini incelemiştir. Stabilitate analizi 4X4 ve 3X3 matris formundaki öz değer problem çözümleri içermektedir. Uç noktadaki yanal desteklerin

her ikisinin olması ve sadece birinin olması durumları için yanal desteğin etkisi sunularak analiz yapılmıştır. Çalışmada, 5 farklı durum için yarı rijit bağlantıların burkulma yüküne etkisini incelenerek elde edilen sonuçlar diğer analitik modellerle karşılaştırılmıştır.

Gosowski (2003), ince cidarlı çelik yapı elemanlarının uzaysal stabilitesini incelemiştir. Çalışmanın birinci bölümünde eğilme ve basınca maruz tek simetrik kolon ve kirişler için çözümler yapılmış, ikinci bölümünde ise herhangi bir noktada yoğunlaşmış kuvvet bulunan yatay destekli ve tek simetrik kirişler için çözüm yapılmıştır. Stabilite probleminin diferansiyel denklemi oluşturulmuş ve bu denklem Bubnov-Galerkin ortogonalite yöntemi yardımı ile yaklaşık olarak çözülmüştür. Sayısal çözümler için kendi yazdığı bilgisayar programını kullanan Gosowski, bimoment desteklerinin kritik burkulma yüküne etkisini incelemiştir. Çalışmada, teorik ve sayısal çözümler karşılaştırılmış ve bu sonuçlar arasında iyi bir uyumun olduğu görüldüğü belirtilmektedir.

Wang (2003), ince cidarlı simetrik elemanların yanal burkulması için basit bir çözümü incelemiştir. Çalışmada örnek olarak basit mesnetli simetrik ince cidarlı eleman kullanılmıştır. Burulma ve eğilme hesaba katılarak, elemanın yanal burkulmasına ait enerji denklemleri sunulmuş, uygun sınır koşulları ile geliştirilen diferansiyel denklemi varyasyon yöntemi kullanılarak türetilmiştir. Yanal burkulma yükleri, ağırlıklı kalıntıların Galerkin yöntemi kullanılarak diferansiyel denklemlerin sayısal çözümleri ile elde edilen çalışmada, karmaşık sistemlerin pratik bir analitik yöntemle kolaylıkla basit şekle getirilebileceğini gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlar diğer yöntemlerle bulunan sonuçlarla benzerlik gösterdiği belirtilmektedir.

Xie ve Chapman (2003), eksenel yükler altında gövde destekleyicilerinin tasarımını incelemiştir. Destekler için mevcut tasarımlar, desteğin büyüklüğü ve kullanım amacına göre çeşitlilik arz etmektedirler. Bu çalışma enine destekler için mantıklı, kullanılabilir ve geçerli bir yöntem sunmayı amaçlamaktadır. Çalışmada çekme bölgesi teorisinin amacı kullanılarak, panel yer değiştirme ve desteğin sıkışabilirliği hesaba katılmış ve çeşitli dönüşümlerle, eksenel yük altındaki desteğin tasarımı için basit bir yöntem geliştirilmiştir.

Rust ve Schweizerhof (2003), ANSYS, LS-DYNA ve bunların ortak kullanımı ile ince cidarlı kirişlerin sonlu eleman limit yük analizini incelemiştir. Bir geçiş analizi ile bu programların bir arada kullanılmasının faydalarını çalışmalarında göstermişlerdir.

Civalek ve Ülker (2004), YSA'yı kullanarak plak taşıyıcı sistemlerin lineer ve lineer olmayan analizini sunmuşlardır. YSA'nın eğitim aşaması bittikten sonra klasik programlama tekniklerinden hız ve gerektirdikleri kapasite açısından bazı avantajlarının

olduğunu belirtmişlerdir. Ancak sayısal analiz teknikleri hala uygulama potansiyelinin geniş ve araştırmacılar tarafından tercih edilir olması nedeniyle popülaritesini korumaktadır. İnşaat mühendisliği problemlerinin gerçekli karar verme durumuna sahip olması yani istenen sonuca farklı birkaç teknikle ulaşılabilmesi ve kullanılan malzemenin çoğu kez homojen ve izotrop olması nedeniyle yapay zekâ tekniği için büyük bir potansiyel teşkil etmektedir. Buna ilaveten deney sonuçları ile ağı eğitilmesi deneysel çalışmalar ile birlikte kullanılması halinde sonuçların bir hayli sağlıklı olacağını düşündürmektedir. Tekniğin klasik programlamadan üstün olacağını söylemek her zaman mümkün değildir. Ancak klasik programlama ile çok uzun sürede çözülebilecek problemlerin daha hızlı ve eğitim tamamlandıktan sonra daha seri bir şekilde çözülebileceğini göstermişlerdir. Yapılan çalışma; ön boyutlandırma problemlerinde, gerilme kısıtlayıcısı altında optimizasyon tipi problemlerde ya da ön tasarım gerektiren mühendislik ve mimari tasarımlarda kullanılabilecek türdedir. Ağ yapısında yapılacak bazı değişikliklerle farklı özelliklere sahip yapı sistemleri için de çözümler sunulabilir. Böylelikle YSA'nın önemli bir özelliği olan yeni durumlara uyum gösterme (adaptasyon) özelliğini sunmuşlardır.

İnce (2004), YSA'yı kullanarak betonun çatlama parametrelerinin tahminini incelemiştir. Çalışmasında YSA'nın direkt olarak bilgilerini deneysel sonuçlardan alması ve bunlarla kendini eğitmesinin üstünlüğünden bahsetmiştir.

Kumar ve Paik (2004), çatlak plakların hiyerarşik tanjant fonksiyonlarını kullanarak burkulma analizini yapmışlardır. Hiyerarşik tanjant fonksiyonlar, çeşitli tiplerdeki sınır koşullarını tanımlamada ve çatlak plakların tam olarak analizini yapmakta kullanılmaktadır. Köşe ve merkez yerlerinde çatlaklar olan plakların burkulma analizi, tek eksenli basınç kuvveti, iki eksenli basınç kuvveti ve düzlem içi kesme kuvveti durumları için gerçekleştirilmiş, sonuçlar sonlu eleman modelleri ile karşılaştırılmıştır.

Ling ve Liu (2004), Singapurdaki yapı-tasarım projelerinin performanslarını YSA kullanarak tahmin etmişlerdir. Yöntemin hızlı ve kaliteli bir şekilde çözüm üretmesinden bahsetmişlerdir.

Rendek ve Balaz (2004), ince cidarlı kirişlerin çarpılmasını incelemiştir. Çalışmada genelleştirilmiş kiriş teorisinin adi diferansiyel denklem sistemlerini kullanarak ince cidarlı prizmatik yapı elemanlarının davranışını tanımlamasından bahsedilmiştir. Çözüm, yük bileşenlerinin dağılımına, gerilme ve şekil değiştirmelerin müteakip bileşenlerine yol göstermektedir. Çalışmada simetrik olmayan kompleks açık kesitli, soğuk

haldeki ince cidarlı ankastre çelik kirişe genelleştirilmiş kiriş teorisinin uygulaması sunulmuştur. Teorik sonuçlarla deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmada, ince cidarlı kiriş farklı 3 yöndeki büyüklük ile tanımlanabilmektedir. Uzunluk kesit genişliği ile karşılaştırıldığında oldukça büyüktür. Kesit genişliği de eleman kalınlığından büyüktür. Bu durum plak elemanların enine eksen şekil değiştirmelerinin ve boyuna momentlerin ihmal edilebileceğini göstermektedir (Euler-Bernoulli kiriş teorisi). Bu yaklaşımlara göre, boyuna normal gerilme eleman kesiti boyunca düzgün dağılı olmaktadır. Böylece 3 boyutlu ince cidarlı eleman tek boyutlu modele (enine kesit özellikleri ile) indirgenebilmektedir. Çalışma sonunda teorik sonuçlarla deneysel sonuçlar benzer çıkmıştır. En büyük toplam gerilmenin olduğu kesitte (mesnette) çarpılma momenti (bimoment) çok küçük olduğundan çarpılmanın verilen konsol kirişin kapasitesine etkisi ihmal edildiği düşünülmektedir. Çalışmada genelleştirilmiş kiriş teorisinin sonlu eleman modeli gibi sayısal yöntemlere alternatif olduğu sonuçlarla ilişkili olarak gösterilmiştir.

Magnucki vd. (2004), tek simetrikli açık kesitli ince cidarlı bir kirişin elastik burkulmasını ve gerilme durumunu incelemişlerdir. Çalışmada enine yayılı yüklerle yüklü basit bir kiriş problemini ele alınmıştır. Kirişin uzama ve stabilite problemini Vlasov'un teorisine dayanarak tekrardan çözdüler. Çalışmada, bölgesel stabilite, ince kiriş ve kabuk teorisine göre tanımlanmıştır. Analitik sonuçların doğrulaması, sonlu eleman yönteminden elde edilen çözümlere göre yapılmıştır. Sonuçlarda maksimum gerilmeler arasındaki fark çok büyük olmamasına rağmen gerilme dağılımındaki farkların açıkça belli olduğu gözlemlenmiştir.

Kotelko (2004), ince cidarlı kiriş ve kolonların yük kapasite tahmini çökme analizini incelemiştir. Çalışma, ince cidarlı kiriş ve kolonların kırılma sonrası davranışını ve yük kapasitesini belirlemek için yapılmıştır. Çalışma aynı zamanda, kiriş-kolonların düzlem kanal kesitleri ve kenarları gibi eğilme etkisinde farklı ara kesitlerde kutu kesitli tüplerin çökmesi ve nihai yükü ile ilgilidir. Çalışma, belirtilen ince cidarlı kesitlerin çökme davranışı, kırılmada plastik mekanizmanın deneysel araştırması ve teorik analizlerin sunumunu içermektedir. Kırılma sonrası davranış problemi eleman malzemesinin dayanımının sertleşmesi düşüncesi ile elde edilen çözüme göre şekillendirilmiş ve uyarlanmış rijit plastik teori kullanılarak çözülmüştür. Deneysel araştırmaların temelinde farklı kesitler için üretilen kırılmanın plastik mekanizması modeli vardır. Teorik çözümler virtüel iş ilkesine dayanır. Problem analitik-sayısal bir yöntemle çözümlenerek, çalışmada önemli olan noktalar, yapısal davranışın çökmesi üzerinde yerleşmeden sonra malzemenin

dayanım sertleşmesinin etkili olması, ayrıca ara kesitin şekline etkisi ve kırılma etkilerinin yönlerine etkili olmasının önemi sunulmaktadır. Kotelko, sonuçları sonlu eleman modelinden elde edilen sonuçlarla grafik yardımı ile karşılaştırmış, rijit plastik teoriye bağlı olarak kinematik yöntem kullanımını tekrardan sunmuştur. Sonuçlar tahmin edilenden %10–30 daha yüksek çıkmıştır. Dayanım sertleşmesinin kırılma analizi ve yük taşıma kapasitesinin sınır dışı tahminleri üzerinde ihmal edilemeyecek etkisi olduğu gösterilmiştir.

Borowiec (2005), ince cidarlı kirişler için nihai uzama yüzeylelerinin uygulamasını incelemiştir. Çalışma ince cidarlı kirişlerin nihai yük taşıma kapasitesi ile ilgilidir. Çalışmada ince cidarlı yapıların boyutlandırılması ve tasarımından bazı uygulamalara yer verilmiştir. Çözümler yapıların plastik analiz teorisine bağlı nihai uzama yöntemi ile gerçekleştirilmiş, elastik gerilmelerin plastik gerilmeler yanında ihmal edildiğini düşünülerek uygulamalar tam plastik model kullanılarak yapılmıştır. Boyutlandırma ve tasarımdan önce yük vektörleri, yük bileşenleri, plastik tarafsız eksenin yeri ve nihai gerilim yüzeyi problemleri takip edilmiştir. Çalışmasında en önemli olarak, plastik tarafsız eksenin yeri için bir gelişme sunulmuştur. Şimdiye kadar plastik eksenin yeri elastik modelden faydalanılarak iterasyon yardımı ile bulunabiliyordu. Bu, bazı durumlarda statikçe belirsizliğe ve simetrik olmayan kesit ve yüklemelerde eşitsizliklere sebep olmaktaydı. Çalışmada uç kuvveti P , eğilme momentleri M_1 , M_2 , kesme kuvvetleri Q_1 , Q_2 ve döndürme kuvveti T olmak üzere 6 yük bileşeni için uygulama yapılmış, ancak bunlardan sadece ilk ikisi önemli olarak düşünülmüştür (Neal BG 1974). Geriye kalan 4 yük bileşeni analizi basitleştirmek için ihmal edilmiştir. Çalışma CATIA (3D) ve MSC/NASTRAN FEM (3D) içeren TWSAP algoritmasının otomatik linklerini içermektedir. Çalışmada kullanılan yöntem ve TWSAP ile elde edilen kesme kuvveti sonuçları arasında %9.7 fark olduğu gözlenmiştir.

Chu vd. (2005), soğuk şekillendirilmiş çelik kirişlerin yanal burulmalı burkulmasına yanal kısıtlamaların etkisini incelemiştir. Analiz, enerji yöntemini kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aralıklı olarak eğilmeyi önleyici çubuklar varken ve yokken kritik yük üzerindeki yanal kısıtlamanın etkisi farklı sınır koşulları ve yükleme şekillerine sahip kirişler için araştırılmıştır. Genelde yanal kısıtlama Z-aşık kirişinin yanal burulmalı burkulma kritik yükünü artırabilmektedir. Bununla beraber artış, eğilmeyi önleyici kirişler olsun veya olmasın yükün yeri ve sınır koşulları tarafından engellenebilir. Basit mesnetli kirişlerde yanal kısıtlamadan dolayı kritik yük artışı yavaş olur, ankastre kirişler için ise bu

artış oldukça belirgindir. Çalışmada yanal kısıtlamanın kritik yük üzerindeki etkisi eğilmeyi önleyici kirişlerin varlığı ile önemli ölçüde azaltılabilir sonucuna varılmıştır.

Güneş vd. (2005), ince cidarlı yapı elemanlarında yanal burkulma kritik yükü hesabı için farklı bir yöntemi incelemişlerdir. Çalışmada ince cidarlı yapı elemanlarında bir stabilite problemi olan yanal burkulma davranışı incelenmiştir. Çalışma iki bölümde oluşmaktadır. İlk bölümde yanal burkulma probleminin teorik esaslarına değinilmiş, ikinci bölümde ise yanal burkulma problemi, eşdeğer çerçeve sistem elemanları ile modelleme yöntemine göre incelenmiştir. Farklı sınır şartları ve yükleme durumlarında I kesitli bir kiriş, başlıklar ve gövde olmak üzere ayrı ayrı kabuk elemanlar olmak üzere ele alınmıştır. Yapılan modelin ikinci mertebeye etkiler göz önüne alınarak nonlineer analiz yapılmış ve yanal burkulma kritik yükü için yaklaşık bir değer elde edilmiştir. Sayısal sonuçlar analitik sonuçlarla karşılaştırılarak incelenmiştir. İnce cidarlı bir kirişin nihai kesit ve malzeme özellikleri aynı olacak şekilde üç boyutlu eşdeğer çerçeve sistem elemanları ile modellenirse benzer davranış sergilemekte ve modelin göçme yükü kirişin göçme yüküne yakın bir değer almakta olduğu sonucuna varılmıştır.

Lorenzis ve Tegola (2005), izotropik ve enine izotropik ince cidarlı elemanların global burkulması üzerine uygulana gerilmelerin gerçek dağılımının etkisini incelemişleridir. Lif katkılı polimerlerden yapılmış profil çekme yöntemi ile elde edilen ince cidarlı elemanlar yapı endüstrisi alanında birincil ve ikincil yük taşıma elemanları olarak kullanımları artmaktadır. Bu profiller ince kalınlıkları nedeni ile tasarımlarında sıklıkla bölgesel ve genel burkulmaya rastlanmaktadır. Çalışmada sonuçlar göstermiştir ki; kirişlerin kendi dengelerini ayarlamalarının bir sonucu olarak uçlarındaki bölgesel gerilmelerin artması burkulma yükü/momentinin azalmasına sebep olabilmektedir. Bu etki kısa eleman uzunlukları için daha da önemlidir.

Machado ve Cortinez, (2005) burkulmadan önce ve kayma şekil değiştirmesine maruz ince cidarlı kompozit bisimetrik kirişlerin yanal burkulmasını incelemişlerdir. Çalışmada kesme eğilmesi gibi klasik olmayan birçok durumu içeren geometrik nonlineer kiriş teorisini sunulmaktadır. Farklı tabaka durumları için yanal burkulmada yük yüksekliği (uygulama yeri) ve açıklık uzunluğunun etkisi incelenmektedir. Analizi gerçekleştirmek için Ritz varyasyonel yöntemi kullanılmış, uçları basit mesnetli durumda kritik yükler için basit bir analitik formül elde edilmiştir. Bulunan sonuçlar lineerleştirilmiş teoriden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çalışmada büyük yer değiştirme ve dönme içeren durumlar için teori geliştirmiş, Ritz yöntemini burkulma öncesi yer değiştirme durumunda

kritik yükleri belirlemeye yarayan yaklaşık bir tanjant matrisi elde etmek için kullanılmaktadır. Kısa kiriş durumlarında etkili olabilecek kesme şekil değiştirme etkilerini incelenmiş, yanal burkulmada, yükün uygulama yeri önemli derecede etkili olduğu belirtilmiştir.

Yu vd. (2005), kompozit kirişler için geliştirilmiş Vlasov teorisini incelemiştir. Çalışmada geliştirilmiş Vlasov teorisi Varyasyonel Asimptotik Kiriş Kesit Analizine (VABS) bağlı olarak geliştirilmiştir.

Güzelbey vd. (2006), geniş başlıklı kirişlerin çelik elemanların plastik davranışında önemli bir rol oynayan dönme kapasitelerinin tahmini için yeni bir yaklaşım olarak YSA'da bir çalışma yapmışlardır. Bu amaçla YSA'nın eğitiminde literatürdeki deneysel sonuçlar kullanılmıştır. YSA'dan elde edilen sonuçlar bilgisayar programından elde edilen sayısal sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çalışmada aynı zamanda dönme kapasitesi için YSA'yı kullanarak kapalı formda bir çözüm üretilmiştir. Çalışmanın sonunda elde edilen verilerin, sonlu eleman modeline göre daha hızlı, pratik ve sayısal sonuçlara daha yakın olduğunu belirtilmiştir.

Kim vd. (2006), uç moment etkisi altında ince cidarlı kompozit kirişin tam yanal burkulmasını incelemiştir. Eleman rijitlik matrisinin tam olarak hesaplandığı geliştirilmiş sayısal yöntemi, uç momente maruz keyfi tabakalı ve simetrik I ve kanal kesitli ince cidarlı kompozit kirişlerin yanal burkulma analizi için önerilmektedir. Bunun için, enerji fonksiyonlarına bağlı olarak basit eğilmeye maruz ince cidarlı kompozit kiriş için iki tip yanal burkulma teorisi geliştirilmiştir. Stabilite denklemleri ve kuvvet-yer değiştirme bağıntıları enerji ilkesinden elde edilen ve yer değiştirme parametreleri için kesin ifadeleri yer değiştirme bileşenlerinin kuvvet serilerine açılımına bağlı olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, özel bir durum olarak değişik sınır koşullarında tek yönlü yanal burkulma momentleri ve çapraz tabakalı kompozit kirişler için analitik çözümler geliştirilmiştir. Sonuçta Hermitian enterpolasyon polinomlarına bağlı sonlu eleman prosedürü geliştirilmiştir. Çalışmanın doğruluğunu göstermek için sayısal çözümler sunulmuş ve analitik çözümler bir de Hermitian kiriş eleman ABAQUS's kabuk eleman ve araştırmacılar tarafından elde edilen sonuçları sonlu eleman sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda çalışmada lif doğrultusunun etkisi ve yanal burkulma üzerindeki Wagner etkisi incelenmiştir.

Chroscielewski vd. (2006), ince cidarlı I kiriş kolunun burulmalı burkulmasının bazı yönlerini incelemiştir. Çalışmaları iki kısımda oluşmaktadır. Birinci bölümde ince

cidarlı I kiriş kolonunun burulmalı burkulmasında başlangıç yön değiştirmesi (yer değiştirmesini, dönmesini) incelenmiştir. Başlangıç olarak, kinematığın gerilme ve şekil değiştirme tanımlarından, potansiyel enerjinin sabit kalması ilkesi yardımı ile burulmalı burkulmanın diferansiyel denklemleri elde edilmiştir. Sayısal uygulama olarak basit mesnetli I kirişi çalışılmıştır. Sonuçlar (tek yönlü kolon modelinin sonuçlarını) 6 parametrelili nonlinear kabuk teorisinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çalışmada, sonuçların birbirleri ile oldukça uyum sağladığını gösterilmektedir. İlkel kusurların artması ile kritik yükün azaldığı görölmektedir. Kritik analiz sonrasında görölmektedir ki, tek doğrultulu kolon modeli, belli bir orana kadar, kabul edilebilir sonuçlar vermektedir. İkinci bölümde, bölgesel burkulma modlarının sınırlamasını çalışılmıştır. Bu modelleme kabuk teorisi yardımı ile yapılmıştır. Bu durumun daha çok geniş başlıklı I kiriş kolonlarının davranışına önemli derecede etki ettiği gözlemlenmektedir.

Erkmen ve Mohareb (2006), kayma şekil değiştirmesi içeren ince cidarlı kirişlerin burulma analizini incelemişlerdir. Çalışmada çarpılmalı eğilme için kayma etkilerini içeren ince cidarlı kirişin burulma analizinde sınır koşulları ve gerekli denklemler geliştirilmiştir. Formölasyon, kabul edilebilir statik gerilme durumuna bağlı olarak enerji fonksiyonlarını tamamlayacak şekildedir.

Pala (2006), soğuk işlenmiş C kesitli sadece basınca ve/veya eğilmeye maruz elik elemanlarda elastik çarpılmalı burkulma gerilmeleri için yeni bir formölasyon geliştirmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar deneysel, sayısal ve analitik çözümlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçta YSA'nın elastik çarpılmalı burkulma için pratik bir çözüm yöntemi olduğu belirtilmiştir.

Saade vd. (2006), ince cidarlı elastik kirişlerin çarpılmalı kesme modellemesini yapmışlardır. Çalışmada deforme olmayan arakesit hipotezine dayalı geliştirilmiş sonlu eleman modelinin sayısal analizi ve teorik alt bilgisi sunulmuş, çarpılmış modlar olarak adlandırılan uygun yeni modlar klasik ince cidarlı kirişin davranışını tanımlayan modlara eklenmiştir.. Kirişin ara kesit yüzeyine etkiyen bir yük, sadece eğilmeye ve burulmaya neden olmaz, aynı zamanda çarpılmaya da neden olur. Çarpılma ara kesitin düzgün olmayan eğilmesiyle birlikte düzgün olmayan kesme ve aksenal gerilmeleri üretir. Bu sonuçlar açık profile sahip birçok ince cidarlı elemanlarda ve yüksek çarpılma etkisi oluşturan yüklere maruz kapalı profilli ince cidarlı elemanlarda önemli derecede etkilidir.

Bu sonuçlarla çalışmada basit yükleme durumlarında bile eğilme ve burulma gerilmeleriyle karşılaştırmanın önemini göstermişleridir.

Vo ve Lee (2006), ince cidarlı kapalı kesitli kompozit kutu kirişlerin eğilmeli burulmasını incelemiştir. Düşey ve burulma yüküne maruz ince cidarlı kutu kesitli kompozit kirişe uygulanabilen genel bir analitik model geliştirdiler. Bu model klasik tabaka teorisine bağlı ve rasgele dizilmiş tabaka düzenleri için eğilmeyi ve burulmayı hem statik hem de statik olmayan durum için bir arada içerir. İlgili bağıntıları toplam potansiyel enerjinin sabit kalması ilkesinden elde ederek, sayısal sonuçları tabaka yerleşim düzeni ve lif açısının etkisini ifade ederek düşey ve burulma yüküne maruz kompozit kirişler için elde etmişlerdir. Çalışmada düzlem gerilme kabulü yapılarak elde edilen sonuçlar düzlem şekil değiştirme kabulüne göre gerçeğe daha yakın elde edilmiştir.

Çevik (2007), geniş başlıklı kirişlerin çelik elemanların plastik davranışında önemli bir rol oynayan dönme kapasitelerinin formülasyonuna dayalı yeni bir yaklaşım olarak Genetik Programlamayı sunmuştur. Çalışmada önceden elde edilen sonuçlar kullanılarak Genetik Programlama için bir veri bankası oluşturulmuştur. Çalışmanın sonucunda elde edilen sonuçlar sayısal sonuçlarla karşılaştırılarak, Genetik Programlamanın dönme kapasitelerinin elde edilmesinde yeter yaklaşıpta bir çözüm ürettiği belirtilmiştir.

Liang vd. (2007), ince cidarlı çelik borudan imal edilmiş kiriş kolonlarla yapılı içi beton dolu çelik plakların bölgesel burkulmasını incelemiştir. Yüksek dayanımlı çelik ve betonun varlığı ince çelik plakların kullanılmasına olanak sağlar. Bununla beraber ince çelik plakların kullanımı bölgesel burkulmanın artmasına dolayısıyla da elemanın gevşeme performansını ve dayanımını azaltır. Bu çalışmada sonlu eleman sonlu eleman modeli kullanılarak ince cidarlı elemanın kritik ve burkulma sonrası bölgesel burkulma davranışı incelenmektedir. Çelik plaklarda oluşan artan gerilmeler ve geometrik kusurlar, malzeme yerleşimi ve dayanım sertleşmesi ile lineer olmayan analizde hesaba katılır. Çalışmada nonlineer sonlu eleman modelinden elde edilen sonuçlara bağlı olarak tasarım formülasyonunun oluşturulması kritik burkulma yükünün belirlenmesinde ve betonla dolu boru şeklindeki çelik plağın nihai gerilmesinin hesabında belirleyiciliğini tartıştılar. Ek olarak düzgün olmayan basınç altında sıkıştırılmış çelik plağın nihai gerilme tasarımı için efektif genişlik formüllerini geliştirdiler. Önerdikleri tasarım formüllerinin doğruluğunu mevcut çözümlerle karşılaştırarak sundular. Formüllerin kompozit kiriş kolonların tasarımında doğrudan kullanılabilir ve bölgesel burkulma etkileri için hesapta ince cidarlı

çelik boru şeklindeki kiriş kolonların daha sonraki analizlerine uyum sağlatılabilir olduğunu belirttiler.

Lei ve Shu (2008), trapez gövdeli I-kesitli elemanların yanal burkulmasını incelemiştir. Çalışmalarında ankastre ve basit mesnetli elemanlar için geliştirdikleri toplam potansiyel enerji ifadelerini sonlu eleman modeli ile karşılaştırdılar. Çalışmadaki yeni teorilerin daha önceden verilen ifadelerle uyum sağladığı gözlemlenmiştir. Sunulan teori genel durumlar içinde genişletilebilir.

Zhang ve Tong (2008), ince cidarlı konsol elemanların elastik eğilmeli burulma burkulmasını incelemiştir.

1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

İnce cidarlı elemanlar günümüz yapı tekniğinde sıkça kullanılan yapı elemanlarıdır. Bu elemanlar kalınlığı diğer kesitlerdeki yönlerle karşılaştırıldığında oldukça küçük ince plaklardan yapılırlar. İnce cidarlı elemanlar büyük burulma rijitliğini karşılayacak şekilde tasarlanabilirler veya kendilerine eklenen elastik desteklerle rijitlikleri artırılabilir.

Yanal burkulma genellikle burulma veya yatay hareket yapması engellenmemiş ince cidarlı elemanlarda meydana gelir. İnce cidarlı bir kirişe düşey düzlemde bir yük veya eğilme momenti uygulandığında, yük kritik değerin altında kaldığı müddetçe, sistemde sadece düşey yer değiştirmeler meydana gelir. Yük kritik değere ulaştığında, artık sistemde yanal yer değiştirmeler ve sistemin kendi eksenine etrafında bir dönme meydana gelecek ve sistemin stabilitesi bozulacaktır. Sistemin stabilitesini bozan bu yüke kritik yanal burkulma yükü denmektedir. Sistemin çeşitli yönlerdeki yer değiştirme ve dönmelerini içeren yanal burkulma hali kirişin farklı düzlemlerinde meydana gelecek eğilme, burulma ve çarpılma etkisinin bileşkesinden meydana gelen bir davranıştır.

Yanal burkulma davranışının teorik esasları geçen yüzyılın başlarında ortaya konulmuş ve günümüzde ise, gelişmiş bilgisayar teknolojisi ile yanal burkulma davranışı ve nedenleri daha sağlıklı bir şekilde incelenebilmektedir. Kirişin sınır şartları, kullanılan destekler ve yükün uygulama şekli yanal burkulma davranışını belirlemektedir.

Bilgisayar tekniğindeki gelişmelere paralel olarak ortaya çıkan sayısal hesap yöntemleri, analitik çözümün mümkün olmadığı durumlarda büyük avantaj sağlamaktadır. Yeter yaklaşıklıkta çözümler veren; sonlu farklar, sonlu elemanlar, sınır elemanlar gibi sayısal yöntemler günümüzde etkin olarak kullanılmaktadır.

20. yüzyılın ikinci yarısında temelleri atılan ve günümüzde büyük bir kitlenin üzerinde çalıştığı yapay zekâ tekniği, pek çok problemin analizinde başarı ile kullanılmış ve klasik programlamaya alternatif olmuştur. Yapay zekânın bir alt kolu olan YSA, insan beyninin çalışma prensibinin matematik modeli ile bilimsel uygulama alanı bulmuştur. Yapay sinir ağları ile devre gerçekleştirme ve bu devreyi eğiterek istenen fonksiyonun sentezini elde etme bilimin hedef aldığı ilerlemelerdendir.

Bu çalışmada önce sonlu eleman modeline dayalı geliştirilen BASP programı yardımı ile basit mesnetli ve konsol kirişlerde uygulanan yükün yerinin yanal burkulmaya etkisi tablo ve şekiller yardımı ile incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında, kirişe, yanal burkulma yükünü artırmak için eklenen yanal ve burulma desteklerinin konum ve yay sabitlerinin yanal burkulma yükü ve davranışına etkileri araştırılmıştır. Bunun için seçilen kiriş elemanına değişik yay sabitlerindeki yanal ve burulma destekleri farklı noktalardan eklenerek BASP programı ile yanal burkulma davranışı incelenmiş ve sonuçlar tablo ve şekiller yardımı ile karşılaştırılmıştır. BASP ile oluşturulan modelin elastik bölgede sonuçlar ürettiği göz önüne alınarak grafikler yardımı ile ideal destek yay sabitlerine karar verilmiştir. Çalışmada ayrıca, kirişlerin yanal burkulma yüklerini artırmak için en ideal yay sabitini ve konumunu bulmak için basit mesnetli elemanlar için değişik kapalı çözümler üretilmiş ve tekil eğilme etkisindeki kiriş örneği için çözüm üretilerek bulunan değerler sonlu eleman yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Sistem çözümlenirken yapılan kabuller desteğin orta noktaya ve üst noktalara konulmasına göre yapılmaktadır. Desteğin alt başlığa konulmasında yazılan sınır şartları farklılık göstermektedir. Konsol kirişlerde ise bu durumun diferansiyel denklemini çıkarmak oldukça karmaşıktır. Çalışmada aynı zamanda ucundan tekil yüklü konsol kirişte, yanal desteğin değişik uygulamaları için ideal destek yay sabiti ve konumu araştırılarak en uygun yay sabiti ve konumu belirlenmiştir.

Çalışmada ideal destek yay sabitleri ikinci burkulma moduna göre belirlenmiştir. Yanal destekler için ortaya çıkan yanal burkulma yükleri büyük çıkmakta ve ikinci burkulma moduna karşılık gelmektedir. Bu nedenle ideal destek yay sabitlerinin azaltılarak tekrardan belirlenmeleri gerekmektedir. Çalışmada aynı zamanda gövde plağının plak olarak eğilmesinden dolayı aynı kesitteki kiriş gövdesinin bütün noktaları aynı dönmeyi yapmayacağından burulma desteği kiriş gövdesindeki yerine göre farklı etki yapacaktır. Çalışmada bu durum dikkate alınmıştır.

Çalışmanın son bölümde stabilite problemlerinde YSA yaklaşımı incelenmiştir. YSA önce, açıklığında elastik mesnet bulunan bir kolonun kritik burkulma yükü, elastik mesnedin yay sabiti, yayın konumu, kirişin boyu ve sınır şartlarına göre YSA ile hesaplanmıştır. YSA ile hesaplamada beş değişik sınır şartına sahip stabilite problemi tek eğitim seti altında incelenmiştir. Bu çalışmadan sonra değişik kesit ve yanal destek elemanlarına sahip ince cidarlı kirişlerin yanal burkulma yüklerinin kesit özellikleri ve desteklerin durumlarına göre yanal burkulma yükleri YSA ile hesaplanmıştır. Bu çalışma yapılırken YSA'nın nasıl bir çözüm ürettiği, YSA modeli oluşturulurken nelere dikkat edilmesi gerektiği (YSA topolojisinin seçimi ve kullanılacak örneklerin problemi yansıtmayı yansıtmadığı) ve YSA'nın yanal burkulma yükünün hesabında ne tür kolaylıklar sağladığının araştırılması amaçlanmaktadır. Yapılan çalışmalarla, YSA'nın kullanılan diğer yöntemlerle karşılaştırılması ve YSA ile çözümlerde nelere dikkat edilmesi gerektiğinin de vurgulanması ve ileride yapılacak çalışmalar için çeşitli önerilerde bulunulması amaçlanmaktadır.

1.4. Burulma ve Yanal Burkulma

Mukavemet konularında, burkulma işlenirken sisteme etkiyen yükün daima basınç kuvveti olduğu dikkate alınır ve elemanın eksen düzlemindeki eğilmeden dolayı oluşan şekil değiştirme sonucunda burkulma meydana geldiği ifade edilir. Bunun yanında, burulma rijitliği düşük olan elemanlarda burulmadan veya burulma ve eğilmenin beraber etki etmesinden dolayı da burkulma olabilir. İnce cidarlı elemanlar genelde çok düşük burulma rijitliğine sahiptirler. Bu elemanlarda burulma ve eğilmenin beraber etki etmesi durumunda, ağırlık merkezi ile kayma merkezi üst üste gelmez. Enine yüklü kirişlerde basınç bölgesi kararsız hale gelir ve yanal burkulma yapmak ister, bu olay esnasında çekme bölgesi kararlı durumdadır ve düzgün kalmaya çalışır.

1.4.1. Yapı Elemanlarının Burulma Yükü-Şekilde Değiştirme Karakteristikleri

Burulma etkisi oluşturan yüklere sahip elemanlarda ara kesit burulmaya ek olarak çarpılabilir. Elemanda çarpılmaya izin verildiğinde, elemandaki burulmaya sadece St. Venant kayma gerilmeleri ile karşı konulur, bu durumda düzgün burulma davranışı meydana gelir. Eleman burulması kısıtlanmışsa bu durumda da, St. Venant kayma gerilmesi ve çarpılma burulması beraber dönmeye karşı koyarlar.

1.4.1.1. St. Venant Burulması

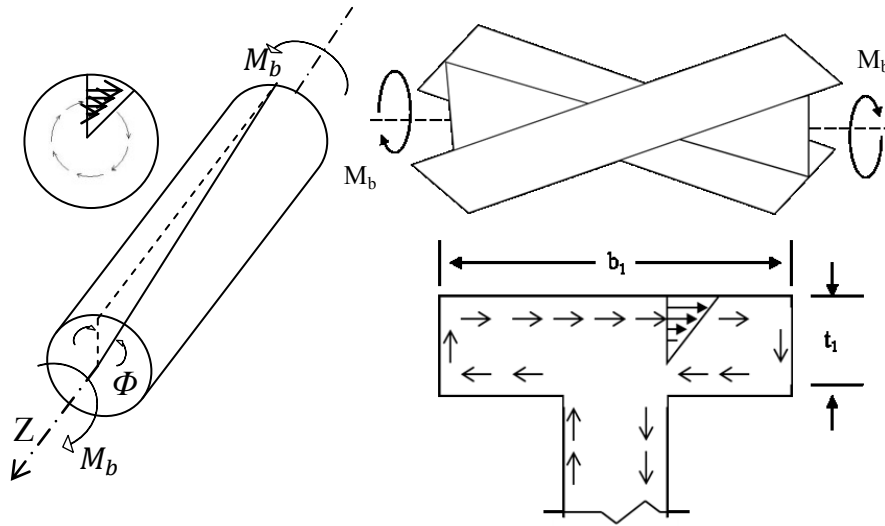
Sabit dairesel kesitli bir çubukta burulma momenti etkisi ile dönme oluşsun, bu durumda, Şekil 1.1’de gösterildiği gibi, şiddetleri çubuğun merkezine uzaklığına göre değişen dairesel kayma gerilmeleri dış yük tarafından oluşan dönmeyi engellemeye çalışır. Böylece bu kayma gerilmeleri dairesel kesitin bir noktasının diğer noktasına göre dönmelerini kısıtlamış olur. Bir elemanda, burulma açısı Φ ise buna bağlı olarak burulma yükü M_b ,

$$M_b = GJ \frac{d\Phi}{dz} \quad (1.1)$$

olarak ifade edilir. Burada G kayma modülü, J burulma sabiti ve z ise elemanın boyuna eksen takımı. GJ çarpımı eksenin burulma jiritleğini ifade eder.

$$J = \frac{1}{3} \sum_i b_i (t_i)^3 \quad (1.2)$$

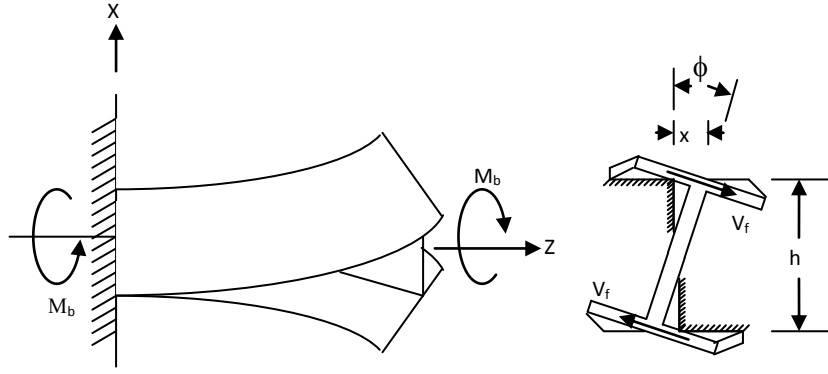
Burada b_i ve t_i elemanın herhangi bir kesitinin sırasıyla boy ve kalınlıklarını göstermektedir.



Şekil 1.1. Burulma etkisindeki eleman

1.4.1.2. Çarpımalı Burulma

Eğilme oluşturan boyuna yer değiştirmelerin serbest bırakılması durumunda, boyuna yer değiştirme olmadığı için herhangi bir eğilmeden dolayı boyuna gerilmeler oluşmaz. Eleman herhangi bir noktadan tutulursa veya özel bir yükleme durumu varsa sistemdeki yer değiştirmeler kısıtlanmış olur. Örneğin ankastre mesnetli bir kirişin, ankastre ucu dönmeye karşı tutulmuşken, serbest uç rahatlıkla dönebilmektedir. Böylece, elemenda uzunluk boyunca kesit değişir ve aksenal gerilmeler meydana gelir. Şekil 1.1 ve Şekil 1.2 karşılaştırıldığında, dönmenin kısıtlanması durumunda başlıklarda farklı yönlerde dönmeler meydana gelir. Bir başlık sağa doğru dönerken diğeri sola doğru dönmektedir.



Şekil 1.2. Burulma etkisinde bir ucunun dönmesi engellenmiş eleman

Başlıklardaki eğilme momenti serbest uca minimum (0) iken, ankastre uca maksimuma ulaşır. Bu nedenle, herhangi bir ara kesitte oluşan kayma kuvveti her bir başlık için V_f kadardır. Burada M_f başlıktaki eğilme momentidir. – işareti z' 'nin azalmasıyla M_f 'nin arttığını göstermektedir. Başlıklar farklı yönlerde dönmeye çalıştıklarından bunlarda oluşan kayma kuvvetleri de zıt yönlerde olur ve kuvvet çifti oluştururlar. Bu kuvvet çifti uygulanan burulma momentine direnç gösterir ve eğilme burulması olarak adlandırılır. Eğilmeli burulma oluşturan aksenal gerilmeler elemanın ara kesitinin serbest dönmesine karşı koyarlar. Buna St. Venant burulmasının iki komşu ara kesitin birbirine göre bağıl dönmelerini önlediği örneği verilebilir.

$$V_f = - \frac{dM_f}{dz} \quad (1.3)$$

Hareket serbestliği verilmeyen bir elemanda St. Venant ve çarpılma burulması uygulanan burulma yüküne beraber karşı koyarlar. arpılmalı burulma olarak adlandırılan bu durumda kayma kuvveti aşağıdaki gibidir.

$$M_b = T_{sv} + T_w \quad (1.4)$$

Burada T_{sv} St. Venant burulmasından kaynaklanan kayma kuvvetini, T_w ise çarpılmadan kaynaklanan kayma kuvvetini göstermektedir. St. Venant burulmasından kaynaklanan kuvvet $T_{sv} = GJ \frac{d\phi}{dz}$ olarak önceden de verilmişti. Benzer ifadeler çarpılma burulması için de kullanılırsa, çarpılma burulmasından dolayı oluşacak kuvvet de,

$$T_w = V_f h \quad (1.5)$$

olarak ifade edilebilir. Aynı ifade benzer şekilde;

$$T_w = -\frac{dM_f}{dz} \quad (1.6)$$

olarak da yazılabilir. Eleman başlıklarının burulmadan sonra merkeze olan uzaklıkları x olarak alınırsa; üst başlıktaki eğilme momenti;

$$M_f = EI_f \frac{d^2x}{dz^2} \quad (1.7)$$

olarak belirlenir. Burada I_f başlık kesitinin maksimum atalet momentidir. $x = \phi \frac{h}{2}$ olduğu dikkate alınırsa (1.7) denklemi,

$$M_f = EI_f \frac{h}{2} \frac{d^2\phi}{dz^2} \quad (1.8)$$

şeklini alır. (1.8) ifadesi (1.6)'da yerine konulursa,

$$T_w = -\frac{EI_f h^2}{2} \frac{d^3\phi}{dz^3} \quad (1.9)$$

şeklini alır. $I_f h^2 / 2$ ara kesite ait bir ifadedir ve çarpılma sabiti olarak adlandırılır ve C_w olarak simgelendirilir.

$$C_w = \frac{I_f h^2}{2} \quad (1.10)$$

(1.9) ifadesi tekrar yazılırsa (1.11) eşitliği elde edilir.

$$T_w = -EC_w \frac{d^3\phi}{dz^3} \quad (1.11)$$

Burada GJ olarak adlandırılan St. Venant rijitliğine benzer olarak EC_w çarpılma rijitliği ifadesi kullanılmaktadır. Yukarıda belirtilen ifadeler açık kesitli ince cidarlı elmanlar için çarpılma rijitliği değiştirilerek başarılı bir şekilde kullanılabilir. Burada, çarpılma rijitliği simetrik I kesitli ince cidarlı elemanlar için verilmiştir. Diğer kesitler için çarpılma rijitlikleri için (Timoshenko 1936) kaynağına bakılabilir. Çarpılmalı burulma için (1.1) ve (1.11) ifadeleri (1.4)'te yerine yazılırsa;

$$M_b = GJ \frac{d\phi}{dz} - EC_w \frac{d^3\phi}{dz^3} \quad (1.12)$$

genel denklemi yazılmış olur. Burada birinci terim dönmeye karşı direnci, ikinci terim ise çarpılmaya karşı direnci ifade etmektedir. İç kuvvetler olarak adlandırılan bu iki terim beraber burulma kuvvetine karşı direnç göstermektedir.

1.4.2. Yanal Burkulma Davranışı

İnce cidarlı I kesitli kirişlerde, basınç başlığı kesit gövdesine dik yönde gereken aralıklarla desteklenmelidir. Yeterli desteklenme yapılmamışsa belli bir gövde doğrultusundaki yükte (kritik yanal burkulma yükünde), basınç başlığının basınç kuvveti etkisinde kararsız duruma geçişi ancak kesitin burulmasıyla gerçekleşebilir. Kesit dönerek gövde düzleminden sapar. Elemanın bu davranışına yanal burkulma davranışı denir. Burulma sırasında ince cidarlı kesitlerde, dik kesitin düzlemliliğini koruyamaması olan kesit çarpılması meydana gelir.

Yanal burkulma, özellikle yanal desteklerden yoksun çelik kirişlerde çok önemli bir problemdir. Bu tür kirişlerin tasarımında yanal burkulma probleminin mutlaka göz önüne alınması gerekmektedir. Yanal burkulma ile ilgili ilk çalışma ince dikdörtgen kesitler için (Prandtl, 1899) ve (Michell, 1899), I kesitli elemanlar için de (Timoshenko, 1910) tarafından gerçekleştirilmiştir. Daha sonra (Winter, 1943), (Hill, 1954) ve

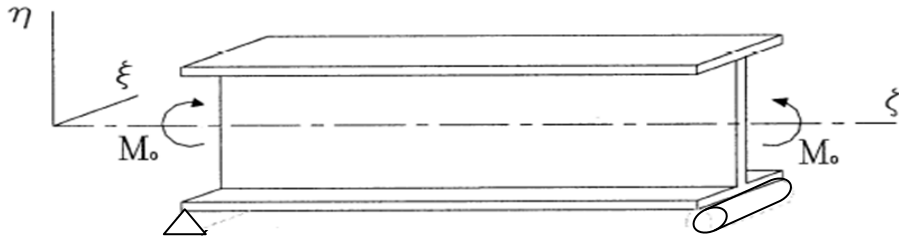
$$EI_{\eta} \frac{d^2 u}{dz^2} = M_{\eta} \quad (1.13)$$

$$EI_{\xi} \frac{d^2 v}{dz^2} = -M_{\xi} \quad (1.14)$$

$$GJ \frac{d\Phi}{dz} - EC_w \frac{d^3 \Phi}{dz^3} = M_{\zeta} \quad (1.15)$$

Burada, E ve G sırasıyla, kullanılan malzemenin elastisite ve kayma modülleri; M_{η} ve M_{ξ} sırasıyla η ve ξ eksenleri etrafındaki eğilme momentleri; M_{ζ} , ζ eksenini etrafındaki burulma momenti; I_{η} ve I_{ξ} sırasıyla η ve ξ eksenlerine göre atalet momentleri; M_{η} , M_{ξ} ve M_{ζ} sırasıyla η , ξ ve ζ eksenlerindeki eğilme momentleri, J kutupsal (burulma) atalet momenti ve C_w ise kesitin çarpılması ile ilgili bir büyüklüktür. (1.13)~(1.15) denklemleri bir kirişin yanal burkulma davranışını temsil eden temel denklemlerdir (Timoshenko, 1961).

1.4.2.1. Uçlarından Tekil Eğilme Momenti Etkisindeki Basit Mesnetli Kirişin Yanal Burkulması



Şekil 1.4. Uçlarından tekil eğilme momenti etkisindeki basit mesnetli kiriş

Şekil 1.4'te gösterilen, uçlarından tekil M_0 eğilme momenti ile yüklü basit mesnetli kiriş için ξ , η ve ζ eksenlerindeki eğilme ve burulma momentleri Tablo 1.1'deki ifadelere bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılabilirler.

$$M_{\eta} = \Phi M_0 \quad (1.16)$$

$$M_{\xi} = -M_0 \quad (1.17)$$

$$M_{\zeta} = -\frac{du}{dz} M_0 \quad (1.18)$$

(1.16)~(1.18) denklemleri sırası ile (1.13)~(1.15) denklemlerinde yerlerine yazılırsa yanal burkulmuş kirişin diferansiyel denklemleri u , v ve Φ 'ye bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılabilirler.

$$EI_{\eta} \frac{d^2 u}{dz^2} = \Phi M_0 \quad (1.19)$$

$$EI_{\xi} \frac{d^2 v}{dz^2} = M_0 \quad (1.20)$$

$$GJ \frac{d\Phi}{dz} - EC_w \frac{d^3 \Phi}{dz^3} = -\frac{du}{dz} M_0 \quad (1.21)$$

(1.21) denkleminin z 'ye göre türevi alınıp (1.19) denkleminde $d^2 u/dz^2$ ifadesi çekilirse burulma açısı Φ için (1.22) denklemi elde edilir.

$$EC_w \frac{d^4 \Phi}{dz^4} - GJ \frac{d^2 \Phi}{dz^2} - \frac{M_0^2}{EI_{\eta}} = 0 \quad (1.22)$$

(1.22) denkleminin çözümü sınır şartları dikkate alınarak yapılırsa yanal burkulma momenti aşağıdaki gibi bulunur (Timoshenko, 1961).

$$M_{kr} = \frac{m \sqrt{EI_{\eta} GJ}}{l} \quad (1.23)$$

Bu durumda en büyük eğilme gerilmesi,

$$\sigma_{kr} = M_{kr} \frac{h}{2I_x} \quad (1.24)$$

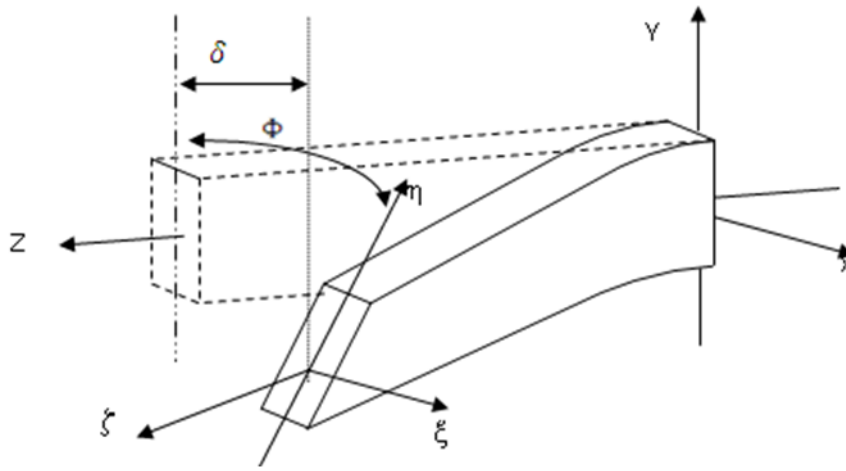
olarak elde edilir. Burada m kesitin çarpılma rijitliği, burulma rijitliği ve kirişin uzunluğuna bağlı bir katsayıdır. Değişik kesit ve kiriş boyları için m değerleri Tablo 1.2'de verilmektedir (Timoshenko, 1961).

Tablo 1.2. Tekil eğilme momenti için m değerleri

| | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| $\frac{l^2 GJ}{EC_w}$ | 0.1 | 1 | 4 | 8 | 16 | 32 | 40 | 100 |
| m | 31.40 | 10.36 | 5.85 | 4.70 | 4.00 | 3.59 | 3.51 | 3.29 |

1.4.2.2. Tekil Yük Etkisindeki Konsol Kirişin Yanal Burkulması

Şekil 1.4'te gösterildiği gibi konsol bir kirişin boş ucunun ağırlık merkezinden bir P kuvveti uygulansın. Uygulanan P kuvveti kritik bir değere ulaştığında kirişte yanal burkulma meydana gelecektir. Kirişte bu yanal burkulmayı meydana getiren kritik yanal burkulma durumu için (1.13)~(1.15) denklemleri kullanılır. Kirişin C noktasının sağ tarafındaki denge düşünüldüğünde P kuvvetinin x, y ve z eksenlerinde meydana getireceği momentler (1.25)~(1.27) denklemlerinde verilmektedir (Timoshenko, 1961).



Şekil 1.5. Konsol kiriş için yanal burkulma hali

$$M_x = -P(l - z) \quad (1.25)$$

$$M_y = 0 \quad (1.26)$$

$$M_z = P(-\delta + u) \quad (1.27)$$

Burada δ kirişin uç noktasının yatay yer değiştirmesidir. Yukarıdaki moment ifadeleri Tablo 1.1 kullanılarak ξ , η ve ζ eksenlerine göre (1.28)~(1.30) denklemleri elde edilir.

$$M_\xi = -P(l - z) \quad (1.28)$$

$$M_\eta = -P\Phi(-\delta + u) \quad (1.29)$$

$$M_\zeta = P(l - z) \frac{du}{dz} - P(\delta - u) \quad (1.30)$$

(1.28)~(1.30) denklemleri (1.13)~(1.15) denklemlerinde yerlerine konulursa aşağıdaki diferansiyel denklemler elde edilir (Timoshenko, 1961).

$$EI_{\xi} \frac{d^2 v}{dz^2} + P(l - z) = 0 \quad (1.31)$$

$$EI_{\eta} \frac{d^2 u}{dz^2} + P\Phi(l - z) = 0 \quad (1.32)$$

$$EC_w \frac{d^3 \Phi}{dz^3} - GJ \frac{d\Phi}{dz} + P(l - z) \frac{du}{dz} - P(\delta - u) = 0 \quad (1.33)$$

(1.33) denkleminin z 'ye göre türevi alınıp (1.32) denkleminden $\frac{d^2 u}{dz^2}$ ifadesi çekilirse, burulma açısı Φ için (1.34) denklemi elde edilir.

$$EC_w \frac{d^4 \Phi}{dz^4} - GJ \frac{d^2 \Phi}{dz^2} - \frac{P^2}{EI_{\eta}} (l - z)^2 \Phi = 0 \quad (1.34)$$

(1.34) eşitliği kiriş uç noktalarındaki sınır şartları kullanılarak çözümlerse kritik burkulma yükü aşağıdaki gibi hesaplanır (Timoshenko, 1961).

$$P_{kr} = \frac{m}{l^2} \sqrt{EI_{\eta} GJ} \quad (1.35)$$

Bu durumda en büyük eğilme gerilmesi,

$$\sigma_{kr} = P_{kr} l \frac{h}{2I_x} \quad (1.36)$$

Burada m kesitin çarpılma rijitliği, burulma rijitliği ve kirişin uzunluğuna bağlı bir katsayıdır. Değişik kesit ve kiriş boyları için m değerleri Tablo 1.3'te verilmektedir (Timoshenko, 1961).

Tablo 1.3. Tekil yüklü konsol kiriş için m değerleri

| $\frac{l^2 GJ}{EC_w}$ | 0.1 | 1 | 2 | 4 | 8 | 16 | 32 | 40 |
|-----------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| m | 44.30 | 15.70 | 12.20 | 9.76 | 8.03 | 6.73 | 5.87 | 6.64 |

Buraya kadar hesaplanan değerlerde, P yükü konsol kirişin uç noktasının kesitinin merkezinden uygulanmaktaydı. P yükü kesit merkezinden a kadar mesafeden uygulanırsa yanal burkulma yükü (1.36) denklemindeki gibi hesaplanır.

$$P_{kr} = \frac{m}{l^2} \sqrt{EI_{\eta} GJ} \left(1 - \frac{a}{l} \sqrt{\frac{EI_{\eta}}{GJ}} \right) \quad (1.37)$$

Burada a'nın işareti kesit merkezinden yukarıda pozitiftir, aşağıda negatiftir. Denklemden görüleceği gibi P yükü kesit merkezinin yukarisından uygulandığı zaman yanal burkulma yükü azalmakta, kesit merkezinden aşağıda uygulandığı zaman ise artmaktadır.

1.4.2.3. Ortasından Tekil Yük Etkisindeki Basit Mesnetli Kirişin Yanal Burkulması

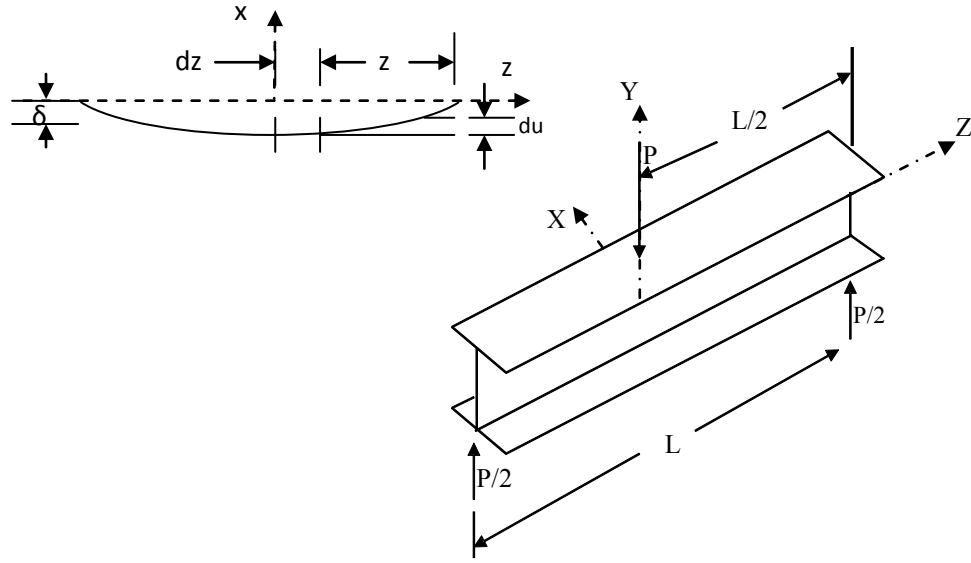
Şekil 1.6'da gösterildiği gibi kiriş orta noktasında yz düzleminde bir P kuvveti, kesite gövdenin merkezinde uygulandığında yz düzleminde eğilme oluşur. P kuvveti kritik bir değere ulaştığında kirişte yanal burkulma yapacaktır. Yanal burkulmaya neden olan P yükü hesaplanırken kirişin çok az bir yanal burkulma yaparak denge sağlandığı hesaba katılır ve bu durum diferansiyel denklemlerle tanımlanarak P yükünün kritik değeri hesaplanır.

Kirişin sağ tarafındaki herhangi bir noktadaki x, y ve z eksenlerinde P kuvvetinden dolayı oluşacak moment değerleri (1.25)~(1.27) denklemlerinde verilmektedir.

$$M_x = -\frac{P}{2} \left(\frac{l}{2} - z \right) \quad (1.38)$$

$$M_y = 0 \quad (1.39)$$

$$M_z = -\frac{P}{2} (\delta - u) \quad (1.40)$$



Şekil 1.6. Ortasından tekil yük etkisindeki basit kirişin yanıl burkulma hali

Burada δ kirişin orta noktasının yaptığı yanıl yer değıştirme, u ise herhangi bir noktanın yaptığı yanıl yer değıştirmedir. (1.38)~(1.40) denklemlerindeki moment ifadeleri ξ , η ve ζ eksen takımlarında tekrar yazılırsa (1.41)~(1.43) denklemleri elde edilir.

$$M_{\xi} = -\frac{P}{2} \left(\frac{l}{2} - z \right) \quad (1.41)$$

$$M_{\eta} = \frac{P}{2} \left(\frac{l}{2} - z \right) \Phi \quad (1.42)$$

$$M_{\zeta} = -\frac{P}{2} \left(\frac{l}{2} - z \right) \frac{du}{dz} + \frac{P}{2} (\delta - u) \quad (1.43)$$

(1.41)~(1.43) denklemleri (1.13)~(1.15) denklemlerinde yerlerine konulursa aşağıdaki diferansiyel denklemler elde edilir (Timoshenko, 1961).

$$EI_{\xi} \frac{d^2v}{dz^2} - \frac{P}{2} \left(\frac{l}{2} - z \right) = 0 \quad (1.44)$$

$$EI_{\eta} \frac{d^2u}{dz^2} - \frac{P}{2} \left(\frac{l}{2} - z \right) \Phi = 0 \quad (1.45)$$

$$GJ \frac{d\Phi}{dz} - EC_w \frac{d^3\Phi}{dz^3} + \frac{P}{2} \left(\frac{l}{2} - z \right) \frac{du}{dz} - \frac{P}{2} (\delta - u) \Phi = 0 \quad (1.46)$$

(1.46) denkleminin z 'ye göre türevi alınıp u çekilirse (1.47) denklemleri elde edilir.

$$EC_w \frac{d^4\Phi}{dz^4} - GJ \frac{d^2\Phi}{dz^2} - \frac{P^2}{4EI_\eta} \left(\frac{l}{2} - z\right)^2 \Phi = 0 \quad (1.47)$$

Kirişin uç noktalarının sınır şartları dikkate alındığında, (1.47) denkleminin çözümünden kritik yanal burkulma yükü için (1.35) denklemi elde edilir (Timoshenko, 1961). Bu durumda en büyük eğilme gerilmesi,

$$\sigma_{kr} = \frac{P_{kr}l}{4} \frac{h}{2I_x} \quad (1.48)$$

olarak elde edilir. Basit mesnetli durum için (1.35) denklemindeki m değerleri konsol kiriştekinden farklıdır ve Tablo 1.4'te bazı m değerleri verilmektedir.

Tablo 1.4. Tekil yüklü basit kiriş için m değerleri

| | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\frac{l^2 GJ}{EC_w}$ | 0.4 | 8 | 16 | 32 | 64 | 96 | 240 | 400 |
| m | 86.40 | 25.60 | 21.80 | 19.60 | 18.30 | 17.90 | 17.40 | 17.20 |

Kirişlerin yanal burkulması ile ilgili daha detaylı bilgi (Timoshenko, 1961; Chajes, 1974 ve Galambos, 2008) kaynaklarından elde edilebilir.

1.4.2.4. Yanal Burkulmada Emniyet Gerilmesi

Eksenel simetrisi olan ve gövde yönünde yüklenen kirişlerde ve büyük asal eksenine göre yüklenen U kesitli kirişlerde basınç emniyet gerilmesi daha kesin hesap yöntemleriyle belirlenmediği müddetçe aşağıdaki formüllerden elde edilen gerilmelerden büyüğü emniyet gerilmesi olarak alınır. Yalnız bu değer $0.60\sigma_a$ değerinin aşamaz. Narinliğin küçük olduğu durum olan $\frac{s}{i_y} \leq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_a}}$ için (1.49) denklemi ve narinliğin büyük olduğu durum olan $\frac{s}{i_y} \geq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_a}}$ için (1.50) denklemleri emniyet gerilmesi olarak kullanılır. Narinliğin büyük olması durumuna karşılık gelen (1.50) denklemindeki σ_B ifadesi, (1.24), (1.36) ve (1.48)'de verilen σ_{kr} değerinin güvenlik katsayısına oranına karşılık gelmektedir.

$$\sigma_B = \left[\frac{2}{30} - \frac{\sigma_a \left(\frac{s}{i_y}\right)^2}{900000000C_b} \right] \sigma_a \leq 0.60\sigma_a \quad (1.49)$$

$$\sigma_B = \frac{1000000C_b}{\left(\frac{s}{i_y}\right)^2} \quad (1.50)$$

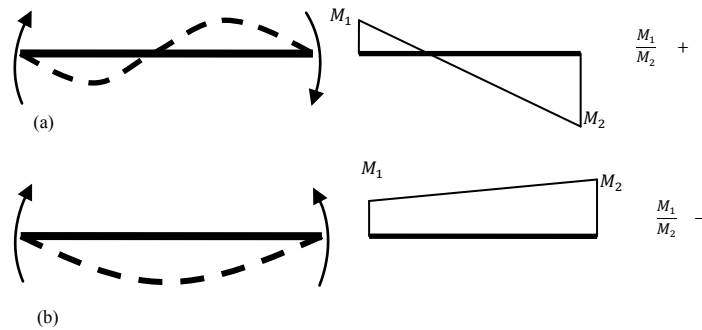
Eğer basınç başlığı dolu ve yaklaşık olarak dikdörtgen enkesite sahip ve enkesitin çekme başlığı enkesitinden daha küçük değilse emniyet gerilmesi olarak (1.51) denklemi kullanılır.

$$\sigma_B = \frac{84000C_b}{s\left(\frac{d}{F_b}\right)} \quad (1.51)$$

(1.49)~(1.51) denklemlerinde; s kirişin basınç başlığında dönmeye ve yanal yer değiştirmeye karşı mesnetleri arasındaki mesafe (cm), i_y basınç başlığı ve gövdenin basınç bölgesinin 1/3'ünün gövde eksenine göre atalet yarıçapı (cm), F_b basınç başlığının enkesit alanı (cm²), d başlıklar arası dıştan dışa mesafe (cm), σ_B yanal burkulma göz önüne alındığında basınç emniyet gerilmesi (N/cm²), σ_a basınç başlığının akma gerilmesi (N/cm²) ve C_b ise bir katsayıdır. C_b aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$C_b = 1.75 + 1.05 \left(\frac{M_1}{M_2}\right) + 0.3 \left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2 \leq 2.3 \quad (1.52)$$

Burada, M_1 kirişin yanal desteklerinin olduğu noktadaki uç momentlerinin küçüğü, M_2 ise kirişin yanal desteklerinin olduğu noktadaki uç momentlerinin büyüğüdür. Momentlerin oranı $\left(\frac{M_1}{M_2}\right)$, eğer M_1 ve M_2 aynı işarete sahipse (iki yönlü eğilme) pozitif (Şekil 1.7a), ayrı işarete sahipse (tek yönlü eğilme) negatiftir (Şekil 1.7b). Yanal mesnetler arasında herhangi bir noktadaki moment, uç momentlerinden fazlaysa $C_b = 1$ olarak alınmalıdır (TS 648).



Şekil 1.7. M_1 / M_2 oranının işareti

1.5. Yapay Zekâ ve Yapay Zekâ Teknikleri

1.5.1. Yapay Zekâ

Yapay zekâ, insan tarafından yapıldığında zekâ olarak adlandırılan davranışların makina tarafından da yapılmasıdır. Yapay zekânın insan aklının nasıl çalıştığını gösteren bir kuram olduğu da söylenebilir. Yapay zekânın amacı, makinaları daha akıllı hale getirmek, zekânın ne olduğunu anlamak ve makinaları daha faydalı hale getirmektir.

Yapay zekâ; zekâ ve düşünme gerektiren işlemlerin bilgisayarlar tarafından yapılmasını sağlayacak araştırmaların yapılması ve yeni yöntemlerin geliştirilmesi alanında çalışan bir bilim dalıdır.

Yapay zekânın amacı insanın zekâsını bilgisayar aracılığı ile taklit ederek bilgisayarlara öğrenme yeteneği kazandırabilmektir. Yapay zekâ çoğunlukla insanın düşünme kabiliyetini, beynin çalışma sistemini, çevredeki doğal olayları veya doğanın biyolojik evrimini modellemeye çalışan yöntemlerden oluşur.

Bilgisayar teknolojisindeki gelişime paralel olarak sezgisel olarak çözülebilen ya da çözülmesi matematik teknikler ile mümkün olmayan problemleri çözmeye yönelik ileri teknikler yapay zekâ teknikleri olarak adlandırılır. Bunların başlıcaları:

- I. Uzman Sistemler
- II. Bulanık Mantık
- III. Genetik Algoritma
- IV. Yapay Sinir Ağlarıdır.

1.5.1.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin nöronlardan oluşan yapısını ve öğrenme yöntemlerini inceler. 19. yüzyıldaki psikolog ve nöropsikologların insan beynini anlamaya çalışmaları YSA'ların temelini oluşturur. Fakat bu konulardaki ilk modern çalışmalar McCulloch ve W.Pitts ile başlar (Öztemel, 2003).

1.5.1.1.1. Yapay Sinir Ağları Genel Tanımı

Beynin üstün özellikleri, bilim adamlarını üzerinde çalışmaya zorlamış ve beynin nörofiziksel yapısından esinlenerek matematiksel modeli çıkarılmaya çalışılmıştır. Beynin

bütün davranışlarını tam olarak modelleyebilmek için fiziksel bileşenlerinin doğru olarak modellenmesi gerektiği düşüncesi ile çeşitli yapay hücre ve ağ modelleri geliştirilmiştir. Böylece YSA denen yeni ve günümüz bilgisayarlarının algoritmik hesaplama yönteminden farklı bir bilim alanı ortaya çıkmıştır. YSA; yapısı, bilgi işleme yöntemindeki farklılık ve uygulama alanları nedeniyle çeşitli bilim dallarının da kapsam alanına girmektedir.

Genel anlamda YSA, beynin bir işlevi yerine getirme yöntemini modellemek için tasarlanan bir sistem olarak tanımlanabilir. YSA, yapay sinir hücrelerinin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmasından oluşur ve genellikle katmanlar şeklinde düzenlenir. Donanım olarak elektronik devrelerle ya da bilgisayarlarda yazılım olarak gerçekleştirilebilir. Beynin bilgi işleme yöntemine uygun olarak YSA, bir öğrenme sürecinden sonra bilgiyi toplama, hücreler arasındaki bağlantı ağırlıkları ile bu bilgiyi saklama ve genelleme yeteneğine sahip paralel dağılmış bir işlemcidir. Öğrenme süreci, arzu edilen amaca ulaşmak için YSA ağırlıklarının yenilenmesini sağlayan öğrenme algoritmalarını ihtiva eder (Öztemel, 2003).

Günümüzde, beynin örnekler yardımı ile bilgi depoladığını gösteren biyolojik araştırmalardaki gelişmeler, doğal düşünce mekanizmasının anlaşılmasında gelecek için ümit vericidir. Örneklerle bilginin depolanması süreci, örneklerin alınması ve daha sonra yeni hesaplamada problem çözümlerinde kullanılmasıdır. Bu çözüm yolu geleneksel programlamalardan faydalanmaz, ancak daha çok paralel ağların oluşturulmasını ve bu ağların özel problemlerin çözümü için eğitilmesini içerir. Bu çözüm yolu ayrıca geleneksel hesaplama yöntemlerine göre çok daha farklı olarak, davranış, tepki, kendini düzenleme, öğrenme, genelleştirme ve unutma ifadelerinden faydalanır (Öztemel, 2003; Elmas, 2003).

1.5.1.1.2. Yapay Sinir Ağları'nın Özellikleri

Yukarıda verilen açıklamalardan, YSA'nın hesaplama ve bilgi işleme gücünü, paralel dağılmış yapısından, öğrenebilme ve genelleme yeteneğinden aldığı söylenebilir. Genelleme, eğitim ya da öğrenme sürecinde karşılaşılmayan girişler için de YSA'nın uygun tepkileri üretmesi olarak tanımlanır. Bu üstün özellikleri, YSA'nın karmaşık problemleri çözebilme yeteneğini gösterir. Günümüzde birçok bilim alanında YSA, aşağıdaki özellikleri nedeniyle etkin olmuş ve uygulama yeri bulmuştur (URL 1, 2002).

- Doğrusal Olmama,
- Öğrenme,

- Genelleme,
- Uyarlanabilirlik,
- Hata Toleransı,
- Donanım ve Hız,
- Analiz ve Tasarım Kolaylığı,

Bu özelliklerle alakalı detaylı bilgiler (URL 1, 2002) kaynağından elde edilebilir.

1.5.1.1.3. Yapay Sinir Hücresi

YSA'lar birbirine bağlı doğrusal/doğrusal olmayan birçok elemandan oluşurlar ve genellikle paralel işlerler. YSA'daki işlem elemanları (düğümler) basit sinirler olarak adlandırılırlar. Bir YSA, birbirleriyle bağlantılı, çok sayıda düğümlerinden oluşur.

Biyolojik sinir sistemi ile yapay sinir sistemi arasındaki benzerlik Tablo 1.5'te verilmektedir..

Tablo 1.5. Biyolojik sinir sistemi ile yapay sinir sistemi arasındaki benzerlikler

| Biyolojik Sinir Sistemi | Yapay Sinir Sistemi |
|-------------------------|---------------------|
| Sinir Hücresi(Nöron) | İşlemci Eleman |
| Sinaps | Ağırlıklar |
| Dendrit | Toplama Fonksiyonu |
| Hücre Gövdesi | Transfer Fonksiyonu |
| Akson | Yapay Nöron Çıkışı |

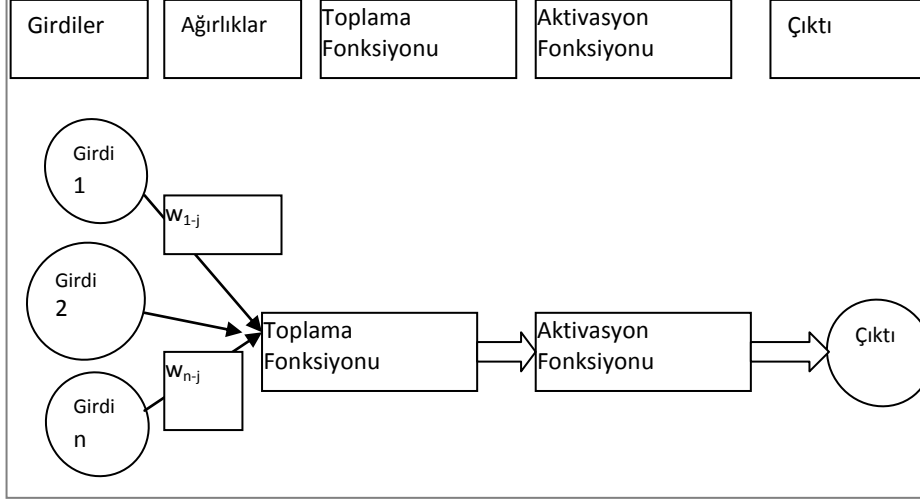
YSA, insan beyni gibi, öğrenme, hatırlama ve genelleştirme kabiliyetlerine sahiptirler. İnsan beyninde öğrenme; yeni akson üretme, aksonları uyarma veya varolan aksonların güçlerini değiştirme şeklinde olur.

Her akson, üzerinden geçecek işaretleri değerlendirebilecek kabiliyettedir. Aksonun bu özelliği, bir işaretin belli bir sinir için ne kadar önemli olduğunu gösterir.

Bir yapay sinir hücresi genel anlamda beş kısımdan oluşur;

- i. Girdiler,
- ii. Ağırlıklar,
- iii. Toplama Fonksiyonu,

- iv. Aktivasyon (Transfer) Fonksiyonu ve
- v. Çıktılar.



Şekil 1.8. YSA elemanları

Girdiler, diğer hücrelerden ya da dış ortamdan hücreye gelen bilgilerdir. Bilgiler, bağlantılar üzerindeki ağırlıklar üzerinden hücreye girer.

Ağırlıklar, bir yapay hücreye gelen bilginin önemini ve bu bilginin hücre üzerindeki etkisini belirleyen uygun katsayılardır. Her bir girişin kendine ait bir ağırlığı vardır. Ağırlıkların büyük ya da küçük olması önemli veya önemsiz olduğu anlamına gelmez. Ağırlığın değerinin eksi olması o girdinin negatif bir etki oluşturduğu, artı olması pozitif bir etki oluşturduğu anlamına gelir. Bir girdinin ağırlığının sıfır olması, o girdinin bir etkisi olmayacağı anlamına gelir, ancak ağırlığın sıfır çıkması artı veya eksi değer çıkmasından önemsiz değildir. Belki de bu ağ için en önemli sonuçlardan biridir.

Toplama Fonksiyonu, bir hücreye gelen net girdiyi hesaplar. Bunun için değişik fonksiyonlar kullanılmaktadır. En yaygın olanı ağırlıklı toplamı bulmaktır. Girdiler kendi ağırlıkları ile çarpılarak toplanır. Bu şekilde ağa gelen net girdi bulunmuş olur.

$$İEÇ = \sum_{i=1}^n G_i A_i \quad (1.53)$$

Burada; G girdileri, A ağırlıkları ve n toplam girdi sayısını, İEÇ işlem elemanı çıktısını göstermektedir.

Literatürde YSA'lar değişik toplama fonksiyonları da kullanılmaktadır. Bir YSA'da bulunan işlem elemanlarının tamamının aynı toplama fonksiyonuna sahip olmaları gerekmez. Her işlem elemanı bağımsız olarak farklı toplama fonksiyonlarına sahip olabilecekleri gibi hepsi aynı toplama fonksiyonuna sahip olabilirler. İşlem elemanları grup halinde de toplama fonksiyonuna sahip olabilirler. Bu tamamen tasarımcıya bağlıdır.

Toplama fonksiyonunda girdi ve ağırlıklar kullanılarak işlemler yapıldıktan sonra bilgiler aktivasyon fonksiyonuna gönderilir.

Aktivasyon Fonksiyonu, hücreye gelen net girdi işlenerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirler. Aktivasyon fonksiyonunda bu çıktıyı belirlemek için değişik formüller kullanılır. YSA'larda en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonları sigmoid aktivasyon fonksiyonu, doğrusal aktivasyon fonksiyonu, tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu ve keskin sınırlayıcı aktivasyon fonksiyonu olarak gösterilmiştir (Öztemel, 2003).

Bir YSA elemanında çıkış değeri aktivasyon fonksiyonuna bağlı olarak aşağıdaki gibi verilebilir.

$$\zeta = \frac{1}{1 + e^{-IE\zeta}} \text{ (Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu İçin)} \quad (1.54)$$

1.5.1.1.4. Yapay Sinir Ağları'nda Katmanlar

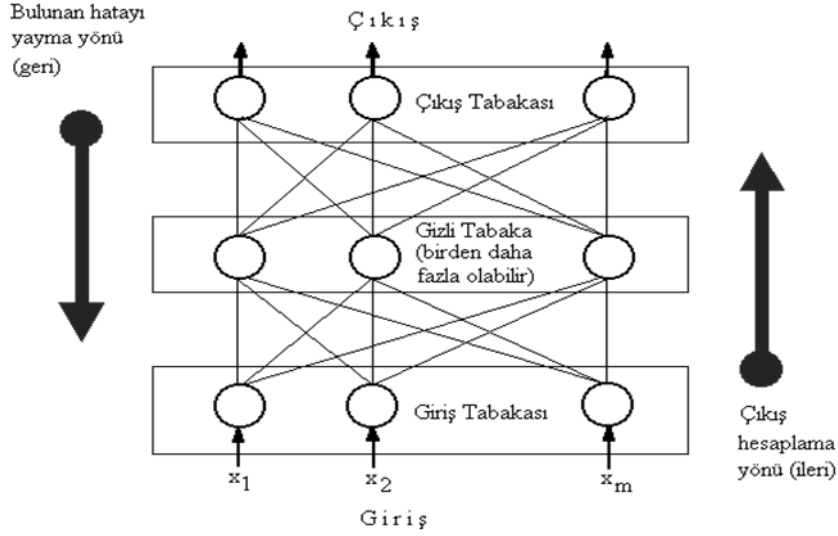
YSA, hücrelerin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmalarından oluşur. Hücre çıkışları, ağırlıklar üzerinden diğer hücrelere ya da kendisine giriş olarak bağlanabilir ve bağlantılarda gecikme birimi de kullanılabilir. Hücrelerin bağlantı şekillerine, öğrenme kurallarına ve aktivasyon fonksiyonlarına göre çeşitli YSA yapıları geliştirilmiştir.

Genel olarak hücreler, üç (3) katman halinde ve her katman içinde paralel şekilde bir araya gelerek ağı oluştururlar. Bu katmanlar; girdi katmanı, ara (gizli) katman ve çıktı katmanlarıdır.

Girdi katmanı, dış dünyadan veya diğer hücrelerden almış oldukları bilgileri ara katmanlara iletmekle sorumludurlar.

Ara katmanda, girdi katmanından gelen bilgiler işlenerek çıktı katmanına iletilir. Bir YSA yapısında birden fazla ara katman bulunabilir.

Çıktı katmanında, işlem elemanları ara katmandan gelen bilgileri işleyerek ağın girdi katmanında sunulan örnek için üretmesi gereken çıktıyı üreterek dış dünyaya veya diğer hücrelere gönderirler.



Şekil 1.9. Genel olarak bir YSA yapısı

1.5.1.1.5. Yapay Sinir Ağları'nda Öğrenme

Bilindiği gibi YSA önceden verilen örnekler yardımı ile sonuçları tahmin eden bir çözüm yöntemidir. YSA'da işlem elemanları arasındaki bağlantı ağırlık değerlerinin değiştirilmesi işlemine ağıın eğitilmesi denir. Amaç, ağırlıkları değiştirerek çözüm için en uygun ağırlık değerlerini belirlemektir. Uygun olan ağırlık değerleri elde edilmesi ağıın genelleme yapabilme yeteneğini kazanması anlamına gelir. İşte ağıın hiç görmediği bir örnek için daha önceden görmüş olduğu örnekler yardımı ile genelleme yaparak çözüm üretebilme yeteneğini kazanmasına adaptif öğrenme denir. Ağırlıkların değiştirilmesi öğrenme kuralları olarak bilinen belirli kurallara göre yapılır.

Ağıın eğitimi tamamlandıktan sonra ağıın öğrenip öğrenmediğini kontrol etmek (ağıın performansını ölçmek) için yapılan denemelere ise ağıın test edilmesi denir. Test aşamasında ağına hiç görmediği örnekler gösterilir ve ağıın bu örneklere karşı ürettiği çıktı ile olması gereken çıktı karşılaştırılarak ağıın performansı ölçülür, başka bir deyişle; ağıın öğrenip öğrenmediği kontrol edilir.

Gözlem, eğitim ve hareketin doğal yapıda meydana getirdiği davranış değişikliği öğrenme olarak tanımlanmaktadır. Bir takım yöntem, algoritma, yaklaşım veya gözlem ile

bir ağın ağırlıklarının bir probleme göre değiştirilmesi ile öğrenme sağlanır. Genel anlamda üç (3) tip öğrenme şekli vardır:

Danışmanlı öğrenme, danışmansız öğrenme ve takviyeli öğrenme.

1.5.1.1.5.1. Danışmanlı Öğrenme

Bu öğrenme şeklinde ağa girdilerle beraber bu girdilere karşılık çıktılar da gösterilir. İstenilen çıkışla ağın ürettiği çıktı arasındaki fark, ağdaki işlem elemanları arasındaki ağırlıklar uygun bir şekilde değiştirilerek istenilen düzeye indirilir. Böylece ağın öğrenmesi sağlanır. Widrow-Hoff tarafından geliştirilen delta kuralı veya geri yayılım algoritması danışmanlı öğrenme algoritmalarına örnek olarak verilebilir (Sağıroğlu, 2003).

1.5.1.1.5.1.2. Danışmansız Öğrenme

Girişe verilen örnekten elde edilen çıkış bilgisine göre, ağ sınıflandırma kurallarını kendi kendine geliştirmektedir. Bu öğrenme şeklinde, istenilen çıkış değerinin bilinmesine gerek yoktur. Öğrenme süresince sadece giriş bilgileri ağa uygulanır. Uygulanan girişe göre, bu giriş verileri arasındaki matematiksel ilişkilere göre bağlantı ağırlıkları ayarlanır. Aynı özellikleri gösteren desenlere aynı çıkışlar, farklı çıkışlarda ise yeni çıkışlar oluşturulur. Grossberg tarafından geliştirilen ART ve Kohonen tarafından geliştirilen SOM öğrenme kuralı danışmansız öğrenmeye örnek olarak verilebilir (Sağıroğlu, 2003).

1.5.1.1.5.1.3. Takviyeli Öğrenme

Bu öğrenme kuralı aslında danışmanlı öğrenme kuralının özel bir şeklidir. Burada giriş değerlerine karşılık çıkış değerlerinin bilinmesine gerek yoktur. Ağ her hangi bir çıkış verilmemekte ancak çıkışın verilen girişe karşılık uygunluğunu değerlendiren bir kıstas kullanılmaktadır. Optimizasyon problemlerini çözmek için Hinton ve Sejnowski'nin geliştirdiği Boltzman kuralı veya Genetik Algoritma takviyeli öğrenmeye örnek olarak verilebilir (Sağıroğlu, 2003).

Yukarıda bahsedilen öğrenme şekillerinin yanında YSA'larda uygulamaya göre iki çeşit öğrenme şekli vardır. Bunlar, çevrimdışı öğrenme ve çevrimiçi öğrenmedir.

Uygulama problemine göre bu yaklaşımlardan birisi seçilir. Sistem bilgilerini öğrenmek ve ağırlıklarını değiştirmek için giriş verilerini kullandığında buna eğitim veya

öğrenme modu denir. YSA'ya uygulanan girişlere göre, ağın hemen cevap vermesi durumundaki moda, çalışma veya çoğu kez hatırlama modu da denir.

Çevrimdışı Öğrenme: Ağların çoğu için çevrimdışı çalışma modu kullanılır. Bu yaklaşımda ağ farklı bir ortamda eğitilir. Eğitim sonucu elde edilen ağırlıklar ile ağın yapısı, daha sonra çevrimiçi uygulamalarda kullanılabilir. Bu aşamada hiçbir öğrenme algoritması kullanılmaz, sadece mevcut ağ parametreleri kullanılarak ileri yönde bir hesaplama yapılarak çıkış hesaplanır (Öztemel, 2003).

Çevrimiçi Öğrenme: Çevrimiçi veya gerçek zamanlı öğrenmede, sistem üzerinde bir öğrenme algoritması ve bu yapıyı destekleyen donanım ve yazılımlar mevcuttur. Bu yaklaşım daha çok farklı uygulamaların sıkça kullanıldığı ve öğretilecek sistemin devamlı olarak farklı davranışlar sergilediği uygulamalarda kullanılır. Bu ağ çalışma modunda öğrenme sürekli dir. Bu tip öğrenme daha karmaşık yapıların tasarımı için kullanılır ve maliyetleri yüksektir (Öztemel, 2003).

1.5.1.1.6. Çok Katmanlı Algılayıcı Modeli

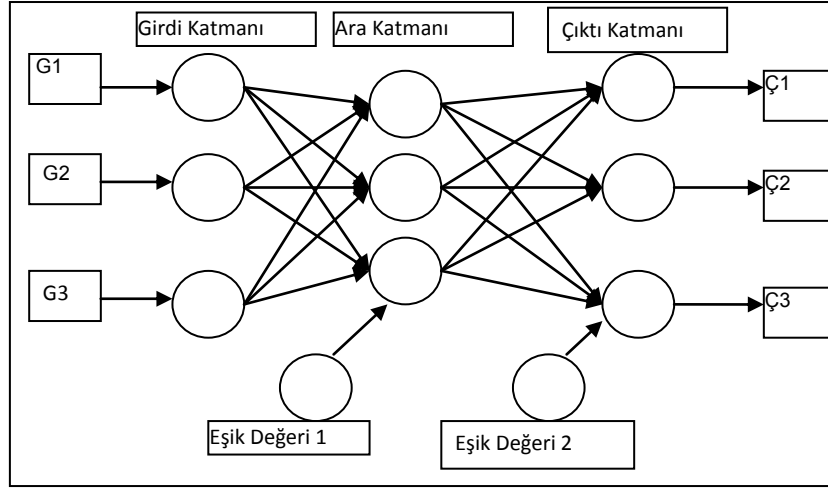
Bilindiği gibi YSA ile çözülmek istenen problemler, genellikle girdileri ve çıktıları arasındaki bağlantı lineer olmayan özelliğe sahip problemlerdir. Bu problemleri de tek katmanlı algılayıcı modeline sahip YSA'larla çözmek mümkün olmamakta veya çok zor olmaktadır. İşte çok katmanlı algılayıcı (ÇKA) modeli bu tip problemlerin çözümü için geliştirilmiş bir YSA modelidir (Öztemel, 2003).

Daha önce de anlatıldığı gibi, lineer olmayan bir özelliğe sahip XOR problemini çözmeye çalışmaları sonucu bu model oluşturulmuştur. Rumelhart ve arkadaşları tarafından geliştirilen bu modele hata yayma modeli veya geri yayım modeli de denmektedir.

ÇKA modeli danışmanlı öğrenme yöntemini kullanır. Girdilere karşılık çıktılar da ağa sunulur. Bu model genellikle üç (3) katmandan oluşur:

Girdi katmanı, ara katman (1'den fazla olabilir) ve çıktı katmanı. Bunlar daha önceden anlatıldığı için burada detaylarına inilmeyecektir.

Buradaki işlem elemanı sayısı tamamen uygulanan problemlerin giriş sayısına bağlıdır. Ara katman sayısı ve ara katmanlardaki işlem elemanı sayısı ise, deneme-yanılma yolu ile bulunur. Çıkış katmanındaki eleman sayısı ise yine uygulanan probleme dayanılarak belirlenir.



Şekil 1.10. Çok katmanlı algılayıcı modeli

Şekil 1.10'da öncekilere ek olarak bir eşik değeri görülmektedir. Eşik değeri işlem elemanları değerlerinin, dolayısıyla ağıın çıktısının sıfır (0) olmasını önleyen bir değerdir. Genellikle değeri sabit ve 1'e eşittir. Kullanılması tamamen program kullanıcıasına bağlıdır. Problemlerde işlem elemanı çıktısına eklenerek işleme konur, eşik değeri ϕ olarak ifade edilirse sisteme katkısı (1.55) denkleminde olduğu gibidir.

$$\zeta = \frac{1}{1 + e^{-IE\zeta + \phi}} \quad (1.55)$$

1.5.1.1.7. Genelleştirilmiş Delta Kuralı

Genelleştirilmiş Delta Kuralı (GDK) bir danışmanlı öğrenme algoritmasıdır. Ağıın öğrenmesi için ağıın bir eğitim setine ihtiyacı vardır. Bu eğitim setinde hem girdiler hem de girdilere karşılık gelen çıktılar mevcuttur.

GDK iki safhadan oluşur; çıktılarının hesaplandığı İleri Doğru Hesaplama ve hatanın hesaplandığı Geriye Doğru Hesaplama.

1.5.1.1.7.1. İleri Doğru Hesaplama

Bu safhada bilgi işleme eğitim setindeki bilgilerin girdi katmanından ağı gösterilmesi ile başlar. Girdi katmanında herhangi bir bilgi işleme olmaz. Gelen girdiler

değişiklik yapılmadan ara katmana gönderilir. Girdi katmanındaki k . İşlem elemanının çıktısı (1.56) denkleminde gösterilmektedir.

$$C_k^i = G_k \quad (1.56)$$

Ara katmandaki işlem elemanlarına gelen net girdi (1.57) denkleminde verilmektedir.

$$(\text{İEÇ}_j^a) = A_{kj} \cdot C_k^i \quad (1.57)$$

Burada, A_{kj} : k . girdi katmanını j . ara katman elemanına bağlayan bağlantının ağırlık değeri. j . ara katman elemanının çıktısı bu net girdinin aktivasyon fonksiyonundan geçirilmesiyle hesaplanır. Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu için bu değer (1.58) denklemi ile verilmektedir.

$$(C_j^a) = \frac{1}{1 + e^{-(\text{İEÇ}_j^a + \phi_j^a)}} \quad (1.58)$$

Burada ϕ_j ara katmanda bulunan j . elemana bağlanan eşik değer elemanının ağırlığıdır. Bu eşik değer ünitesinin çıktısı sabit olup 1'e eşittir. Ara katmanın bütün işlem elemanları ve çıktı katmanının işlem elemanlarının çıktıları aynı şekilde kendilerine gelen İEÇ, girdinin hesaplanması ve sigmoid aktivasyon fonksiyonundan geçirilmesi sonucu belirlenir (Öztemel, 2003).

1.5.1.1.7.2. Geriye Doğru Hesaplama

Ağa sunulan girdi için ağın ürettiği çıktı (C_m) ile ağın beklenen çıktıları (B_1, B_2, \dots) karşılaştırılır. Bunlar arasındaki fark hata olarak kabul edilir. Amaç bu hatanın istenilen hata değerinden daha düşük olmasını sağlamaktır. Geriye hesaplamada bu hata ağın ağırlık değerlerine dağıtılarak bir sonraki adımda hatanın azaltılması sağlanır. Çıktı katmanındaki n . işlem elemanı için oluşan hata E_m , (1.59) denkleminde verilmektedir.

$$E_m = B_m - C_m \quad (1.59)$$

(1.40) denklemi bir işlem elemanı için oluşan hatadır. Çıktı katmanı için oluşan toplam hatayı (TH) bulmak için bütün hataların toplanması gerekir. Bazı hata değerleri

negatif olacağından toplamın sıfır (0) olmasını önlemek amacı ile ağırlıkların kareleri hesaplanarak işlemler yapılır.

$$TH = \frac{1}{2} \sum_m E_m^2 \quad (1.60)$$

Bu hataya neden olan işlem elemanlarına hatayı dağıtarak bu hatanın azaltılmasını sağlamak gerekir. Bu ise işlem elemanlarının ağırlıklarının değiştirilmesi anlamına gelir. Ağırlıkların değiştirilmesi iki aşamada yapılır:

1. Ara katman ile çıktı katmanı arasındaki ağırlıkların değiştirilmesi.
2. Ara katmanlar arası veya ara katman girdi katmanı arasındaki ağırlıkların değiştirilmesi.

1.5.1.1.8. Ara Katman ile Çıktı Katmanı Arasındaki Ağırlıkların Değiştirilmesi

Çıktı katmanındaki m. işlem elemanını ara katmandaki j. işlem elemana bağlayan ağırlığın değişim miktarı ΔA^a_{jm} olursa; herhangi bir t. iterasyonda ağırlığın değişim miktarı (1.61) denklemi ile belirlenmektedir.

$$\Delta A^a_{jm}(t) = \lambda \delta_m \zeta_j^a + \alpha \Delta A^a_{jm}(t-1) \quad (1.61)$$

Burada λ öğrenme oranını, α momentum katsayısını göstermektedir. Öğrenme oranını ağırlıkların değişim miktarını, momentum katsayısı ise ÇKA ağırlığının öğrenme esnasında ıraksamayı önlemek için ağırlık değişim değerinin belirli bir oranda bir sonraki değişime eklenmesini sağlar. δ_m m. çıktı ünitesinin hatasını göstermektedir.

$$\delta_m = f'(IEÇ) * E_m \quad (1.62)$$

$f'(IEÇ)$ aktivasyon fonksiyonunun türevidir. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu için (1.63) şeklini alır. Gerekli hesaplar yapıldıktan sonra t. iterasyondaki ağırlığın yeni değeri (1.64) denklemi ile verilmektedir.

$$\delta_m = \zeta_m (1 - \zeta_m) E_m \quad (1.63)$$

$$A_{jm}^a(t) = A_{jm}^a(t-1) + \Delta A_{jm}^a(t) \quad (1.64)$$

Eşik değeri kullanılmışsa, eşik değer biriminin de ağırlıkları benzer şekilde değiştirilir. Çıktı katmanında bulunan işlem elemanlarının eşik değer ağırlıkları ϕ^c ile gösterilirse; bu birimin çıkıtsı sabit ve 1 olması ile aşağıdaki işlemler yapılır:

$$\Delta \phi_m^c(t) = \lambda \delta_m + \alpha \Delta \phi_m^c(t-1) \quad (1.65)$$

t. iterasyondaki ağırlığın yeni değeri (1.66) şeklini alır (Öztemel, 2003).

$$\phi_m^c(t) = \phi_m^c(t-1) + \Delta \phi_m^c(t) \quad (1.66)$$

1.5.1.1.9. Ara Katmanlar Arası/Ara Katman Girdi Katmanı Arasındaki Ağırlıkların Değiştirilmesi

Ara katman ile çıktı katmanı arasındaki ağırlıklar değiştirilirken her ağırlık için sadece çıktı katmanındaki ilgili işlem elemanının hatası dikkate alınmaktadır. Bu kısımdaki hataların oluşmasında ise girdi katmanı ve ara katman arasındaki ağırlıkların da payı vardır. Çünkü en son ara katmana gelen bütün bilgiler girdi katmanı veya önceki ara katmandan gelmektedir. O nedenle burada anlatılan ağırlıkların değişiminde, çıktı katmanındaki bütün işlem elemanlarının hataları dikkate alınacaktır. Değişim miktarı ΔA^i (1.67) ile verilmektedir.

$$\Delta A_{kj}^i(t) = \lambda \delta_j^a C_{\zeta_k}^i + \alpha \Delta A_{kj}^i(t-1) \quad (1.67)$$

$$\delta_j^a = f'(IEC) \sum_m \delta_m A_{jm}^a \quad (1.68)$$

(1.68) denklemini sigmoid aktivasyon fonksiyonu için (1.69) şeklini almaktadır.

$$\delta_j^a = C_j^a (1 - C_j^a) \sum_m \delta_m A_{jm}^a \quad (1.69)$$

Ağırlıkların yeni değerleri (1.70)'de verilmektedir.

$$A_{kj}^i(t) = A_{kj}^i(t-1) + \Delta A_{kj}^i(t) \quad (1.70)$$

Eşik değeri için (1.70) denkleminin yerine (1.71) ve (1.72) denklemleri verilmektedir.

$$\Delta\phi_j^a(t) = \lambda\delta_j^a + \alpha\Delta\phi_j^a(t-1) \quad (1.71)$$

$$\phi_j^a(t) = \phi_j^a(t-1) + \Delta\phi_j^a(t) \text{ olur.} \quad (1.72)$$

Böylelikle t. iterason için ağırlıklar değiştirilmiş olmaktadır. İleri doğru çıktının hesaplanması ve geriye doğru ağırlıkların değiştirilmesi işlemi, sonuçlar için izin verilen hata payına ulaşıncaya kadar devam etmektedir. (Öztemel, 2003).

1.5.1.1.10. Çok Katmanlı Algılayıcı Ağının İşlem Sırası

- I. Örneklerin hazırlanması: Ağın öğrenmesini istediğimiz problemin çözümü için, daha önceden yapılan çözümlerin toplanması işlemidir. Hem eğitim hem de test seti için bu örnekler toplanır. Test seti için toplanan örneklerin sonuçları ağa gösterilmez.
- II. Ağ yapısının belirlenmesi: Kaç tane girdi ünitesi, kaç tane ara katman, ara katman/katmanlarda ne kadar işlem elemanı olacağına karar verilir.
- III. Öğrenme parametrelerinin belirlenmesi: Öğrenme oranı, momentum katsayısı (bu çalışmada kullanılmamaktadır), aktivasyon fonksiyonu ve toplama fonksiyonlarına karar verilir. Bunların belirlenmesinde herhangi bir formülasyon yoktur, deneme yanılma veya eski bilgilerden faydalanılarak belirlenmektedirler.
- IV. Ağırlık başlangıç değerlerinin atanması: İşlem elemanlarını birbirine bağlayan ağırlıkların değerleri rastgele verilmektedir.
- V. Gösterilecek örneklerin seçilmesi: Ağa örneklerin gösterilmesi aşamasıdır.
- VI. Hatanın bulunması: İstenilen çıktı ile gerçekleşen çıktının karşılaştırılmasıdır.
- VII. Ağırlıkların değiştirilmesi: Geri hesaplama ile ağırlıklar değiştirilmektedir. Ağırlıkların değiştirilmesi hata kabul edilebilir duruma gelinceye kadar devam eder.

1.5.1.1.11. Yapay Sinir Ağlarının Test Edilmesi

Ağın öğrenmesi tamamlandıktan sonra örnek uzayından daha önce ağa gösterilmeyen örneklerin, sadece girdiler kısmı ağa gösterilerek ağın bu girdilere karşılık çıktı üretmesi

istenir. Bu çıktıları ile bilinen gerçek çıktıları arasındaki fark ağın performansını belirler. Bu fark ne kadar az olursa ağın performansı o kadar iyidir anlamına gelir.

Ancak her zaman ağın performansı iyi olmayabilir. Bunun başlıca nedenleri:

- I. Problem eğitilirken bulunan örnekler problem uzayını tam anlamı ile temsil edemeyebilirler.
- II. Oluşturulan ÇKA ağı için doğru parametreler seçilmemiş olabilir.
- III. Ağın ağırlıkları başlangıçta tam istenildiği şekilde belirlenmemiş olabilir.
- IV. Ağın topolojisi yetersiz seçilmiş olabilir.

Bu gibi durumlarda örnek uzayı değiştirilebilir veya genişletilebilir, başlangıç ağırlıkları değiştirilebilir, öğrenme oranı ve/veya momentum katsayısı değiştirilebilir, katman sayısı veya katmanlardaki işlem elemanı sayısı değiştirilebilir. Bu yapıların yanında problemin ağa gösterimi de değiştirilebilir. Bunlardan biri veya birkaçı yapılarak ağın performansının en iyi veya en iyiye yakın çıkması sağlanabilmektedir.

YSA ile bulunan çözümler ‘her zaman en iyi çözümdür’ denilemez. Çünkü YSA belli bir hata değeri kabul edilerek bu hataya göre çözümler üretir. Belki de başka bir yöntem bu hata değerinin çok altında çözüm üretebilir. Mesela, % 5 hata ile çözüm yapan bir YSA için % 4.9’luk hataya sahip bir değer çözüm olarak sunulmaktadır. Ancak, başka bir yöntemle bulunan hata değeri % 4.9’un altında olabilir ki, bu daha iyi bir çözüm demektir. YSA en iyi çözümü de üretebilir. Fakat çözümün en iyi çözüm olduğunu bilmek de zordur. Başka bir deyişle YSA’lar, en iyi çözümün dışında kalan yerel çözümleri de hata toleransının içinde kalmasından dolayı çözüm olarak kabul etmektedirler.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

2.1. Yapılan Çalışmalar

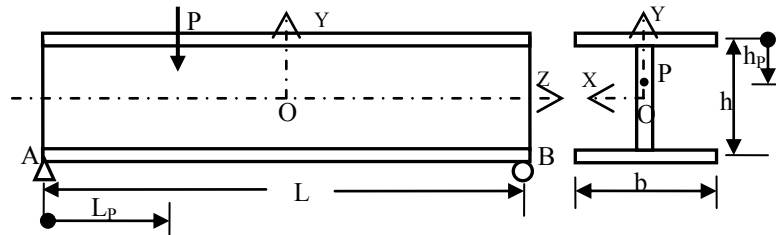
İnce cidarlı kirişler, eğilme rijitliklerinin büyük olmasından dolayı mühendislikte sıkça kullanılan yapı elemanlarıdır. Bu yapı elemanlarının eğilme rijitliklerinin büyük olmasına karşın, burulma rijitlikleri küçüktür. Uygulanan yükün artmasıyla elemanda yanal bir ötelenme ve kendi eksenini etrafında dönmenin başlamasıyla elemanda dengenin kararlılığı kritik hale gelmektedir. Elemandaki kararlılığı artırmak için kiriş kesitinin bazı noktalarına bu noktanın kesit düzlemindeki yer değiştirmesi ile orantılı kuvvet uygulayan elastik doğrultu yayları (yanal destek) veya kesitin kendi eksenini etrafında dönme açısı ile orantılı moment uygulayan elastik dönme yayları (burulma desteği) olarak bazı destekler konulmaktadır.

Bu çalışmada ince cidarlı I kesitli kirişlerin yanal burkulması değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme dört aşamada gerçekleştirilmiştir.

İlk aşamada, düşey tekil yükün gövdedeki yerine bağlı olarak,

- 1) Basit kirişin
- 2) Konsol kirişin

yanal burkulması incelenmiştir (Şekil 2.1.). Uygulanan yükün, yanal burkulma yükü denilen belli bir değere ulaşması halinde ortaya çıkan yanal burkulma olayında kiriş kesiti eğilme ile birlikte aynı zamanda burulmaktadır. İlk aşamada bu burkulmanın hangi yük değerlerinde başladığı yükün gövdedeki ve çubuk uzunluğundaki yerine göre incelenerek değerlendirilmiştir. Bu incelemede kiriş kesitine herhangi bir destekleme yapılmamıştır. Mesnet durumu, BASP programı ve sonlu eleman ağının tanıtıldığı Şekil 2.12'de verilmiştir. İlk aşama Bölüm 2.2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Konsol ve basit mesnetli kiriş için yükün uygulama yeri

İkinci aşamada yanal burkulma yükünün artmasını sağlamak için kiriş kesitinin gövdesine uygulanan yay destekler değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme

- 1) Ortada düşey tekil yük uygulanan basit kiriş
- 2) Uç kesitlerinde gövde düzleminde moment uygulanan basit kiriş
- 3) Uç kesitinde düşey tekil yük uygulanan konsol kiriş

örneklerinde yapılmıştır. Çalışmada iki farklı yay desteği kullanılmıştır.

- 1) Uzama ile orantılı kuvvet uygulayan yay (yanal destek). Kirişe sol mesnetten L_y kadar mesafede ve kiriş kesitine üst başlık ekseninden h_y kadar aşağıda gövdeye dik olarak yerleştirilen yay desteğidir. Bu durumda kirişe uzama ile orantılı aşağıdaki F kuvveti etki eder.

$$F = \beta_y x \quad (2.1)$$

Burada x yaydaki uzama miktarı, β_y ise yay sabitidir.

- 2) Dönme açısı ile orantılı moment uygulayan yay (burulma desteği). Kirişe sol mesnetten L_b kadar mesafede ve kiriş kesitine üst başlık ekseninden h_b kadar aşağıda gövdeye dik olarak yerleştirilen yay desteğidir. Bu durumda kirişe dönme açısı ile orantılı aşağıdaki M kuvveti etki eder.

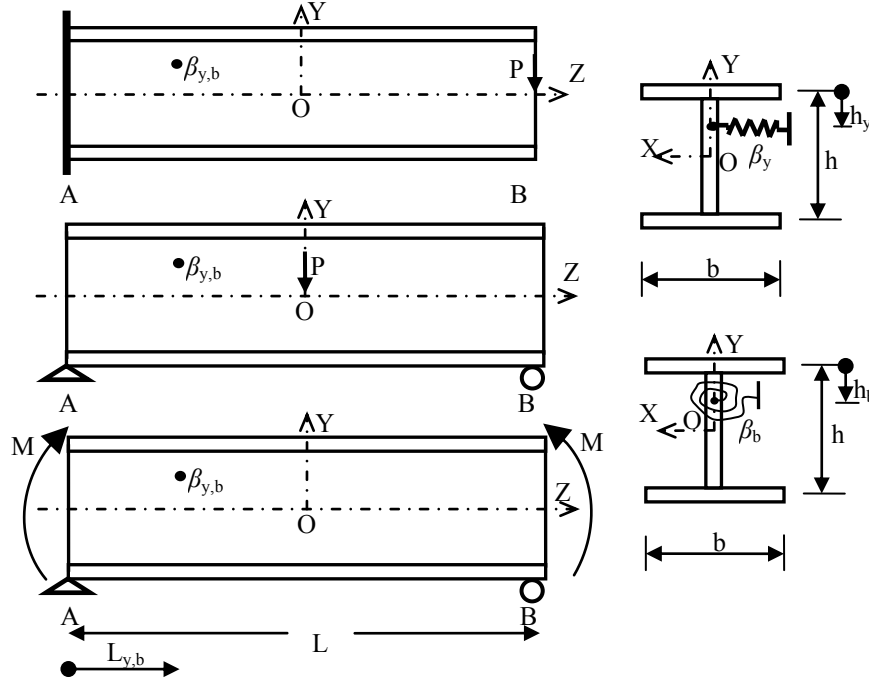
$$M = \beta_b \Phi \quad (2.2)$$

Burada Φ kesitteki noktanın dönme açısı, β_b ise yay sabitidir.

Yanal destek için y ve burulma desteği için kullanılan indis b olmak üzere, desteklerin sol mesnede uzaklığı L_y , L_b ve üst başlığın merkezinden aşağı doğru uzaklığı h_y , h_b olarak alınmıştır. $(L_y, L_b)/L=0\sim 1$ aralığında 0.1 artımla ve $(h_y, h_b)/h=0\sim 1$ aralığında 0.25 artımla alınmıştır. Yanal destek yay sabiti için $0 < \beta_y < 3000$ (kN/m) ve burulma desteği yay sabiti için de $0 < \beta_b < 750$ (kNm/rad) değerleri arasında değişik yay sabitleri kullanılmıştır. Bu örneklerde yanal destek ve burulma destekleri ayrı olarak uygulanmışlardır.

Her iki aşamada da yanal burkulma davranışını inceleyen BASP programından faydalanılmıştır. BASP programı kiriş gövdesine konulan yay desteklerini dikkate almaktadır. BASP ile ilgili bilgiler sonraki bölümlerde sunulacaktır. Bu bölümde desteğin gövdedeki uygulama yerinin ve yay sabiti değerinin yanal burkulma yüküne etkisi

değerlendirilmiştir (Bölüm 2.2.2). BASP ile elde edilen yanal burkulma değerleri bir sonraki aşamada YSA yönteminde kullanılmıştır.



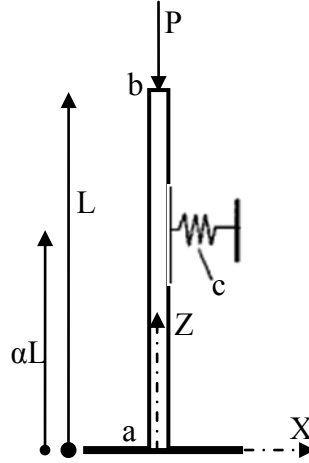
Şekil 2.2. Yanal ve burulma destekli kiriş modelleri

Şekil 2.2’de L kiriş boyunu, h kiriş kesitinin başlık merkezleri arasındaki mesafeyi, β_y , β_b sırasıyla yanal desteğin ve burulma desteğinin yay sabitlerini, L_y , L_b , h_y ve h_b sırasıyla yanal desteğin ve burulma desteğinin A mesnedine mesafesi ve başlık merkezinden uzaklığını, P ve M uygulanan kuvveti ve momenti, X , Y , Z koordinatları ve O ise kirişin ağırlık merkezini göstermektedir.

İkinci aşamada aynı zamanda, Şekil 2.3’te verilen tekil eğilme momenti etkisindeki I kesitli kirişin açıklık ortasında gövde merkezine veya basınç başlığına yerleştirilen yanal desteğin ve gövde merkezine yerleştirilen burulma desteğinin ideal en büyük yay sabitini hesaplamak için bir model oluşturulmuştur. Yanal destek ve burulma desteği eklemeleri ayrı ayrı yapılmıştır. Oluşturulan model yardımı ile ideal yay sabiti hesaplanmış ve BASP ile elde edilen verilerle oluşturulan grafik üzerinde değerlendirmesi yapılmıştır.

programdan elde edilen verilerle, beş mesnetlenme durumu için YSA eğitilmiş ve sonuçta bu beş problem tek bir probleme indirgenmiştir. Elde edilen sonuçlar (Wang, 2003) çalışması ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 2.5'te αL elastik mesnedin yerini, a ve b mesnet durumunu ve c ise elastik mesnedin yay sabitini ifade etmektedir. Bulgular ve değerlendirme Bölüm 2.2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.5. Açıklığında elastik mesnet bulunan kolon

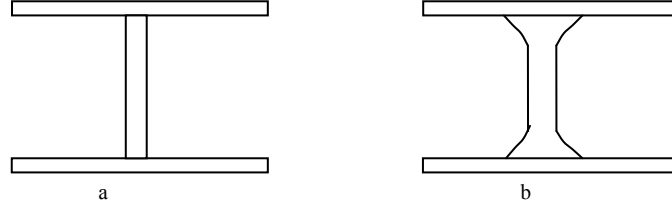
Çalışmanın son bölümünde Şekil 2.2'de gösterilen yanal ve burulma destekli kiriş modellerinin yanal burkulma yükleri, desteğin en büyük yanal burkulma yükünü veren gövde düzleminde, BASP programı ile elde edilen sonuçlarla eğitilerek "1. Genel Bilgiler" bölümünde algoritması ayrıntılı olarak anlatılan, C++ dilinde kodlanmış, YSA programı ile hesaplanmıştır. Bu aşamada YSA yöntemiyle

- 1) Kiriş ortasında gövde düzleminde düşey tekil yükle yüklü basit kirişin yanal burkulması
- 2) Uçlarından gövde düzleminde moment yüklü basit kirişin yanal burkulması
- 3) Ucunda gövde düzleminde düşey tekil yük bulunan konsol kirişin yanal burkulması

problemleri her biri için ayrı eğitim seti kullanılarak yanal burkulma yükü hesabında başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bu bölümde aynı zamanda, YSA'nın değişik problemlere uyarlanabilme özelliğinden faydalanılarak BASP programında kesitin gövde ve başlık birleşim yerlerindeki eğriliğin verilememesinden kaynaklanan eksikliklerin giderilmesi de amaçlanmıştır. Zira programda

gövde ve başlık birleşim yerlerine verilemeyen eğrilik durumu için kesitin burulma rijitliğinde yaklaşık %20 civarında bir eksiklik olmakta, bu da yanal burkulma yükünü etkilemektedir. BASP programında birleşim yerlerinin eğri olmadığı durum için çözümler alınarak bunlar YSA'da eğitilmiş ve birleşim yerlerinin eğrisel olduğu durumlar için test edilerek başarılı sonuçlar üretilmiştir.



Şekil 2.6. a) BASP modeli kesit, b) birleşim noktaları yuvarlak kesit

YSA'nın yanal burkulma davranışına uygulanmasında

- 1) Ortada gövde düzleminde tekil düşey yüklü basit kiriş
- 2) Uçlarından gövde düzleminde moment yüklü basit kiriş
- 3) Tekil yüklü konsol kiriş

problemleri YSA ile birleştirilerek tek set olarak ele alınmıştır. Sonuçlar problemlerin tek başlarına ele alınmasında olduğu gibi yine başarılıdır.

Belirtilen çalışmalara ait sonuçlar ve bunların değerlendirilmesi bu bölümde ele alınarak irdelenmektedir.

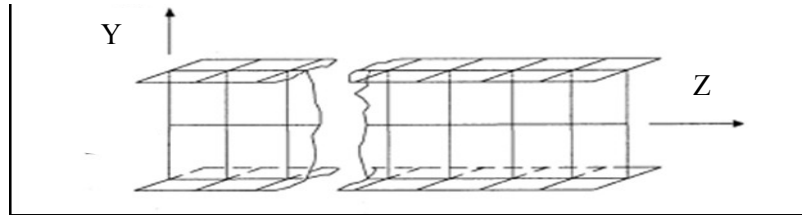
İnce cidarlı kesitlerden I kesitli basit kirişin tekil yük etkisinde veya uç momentleri etkisinde yanal burkulması ve konsol kirişin tekil yük etkisinde yanal burkulması gövdeye eklenen yay desteklerinin etkisi incelenmiştir. Bunun için bir sonlu eleman programı olan BASP kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarla eğitilen YSA ile I kesitli kirişin yanal burkulma problemi çözümlenmektedir.

Yanal burkulma davranışını sonlu eleman modeline dayalı çözen, ülkemizde kullanımı yaygın olmayan fakat literatürde sıkça kullanılan BASP programı hakkında kısa tanıtıcı bilgi verilmektedir.

2.1.1. BASP Programı

2.1.1.1 Sonlu Eleman Yöntemi ve Yanal Burkulma Analizi

Genellikle klasik yöntemleri kullanarak kesin burkulma analizi yapmak oldukça karmaşıktır. Bundan dolayı, bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak burkulma analizlerinde yaklaşık sonuçlar üreten sonlu eleman modelini kullanmak oldukça yaygın hale gelmiştir. Sonlu eleman yönteminde, sistemin oldukça küçük seçilen ve eleman adı verilen çok sayıda parçacıktan meydana geldiği düşünülür. Her eleman için yazılan denklemler birleştirilerek bütün sistem için elde edilen denklem çözülür. Sonuç olarak elemanlara ait bilinmeyen hesaplanmış olur. Bu yöntem Timoshenko (1961)'de belirtilen diferansiyel denklemlerle çözüm yöntemini içermemektedir. Yapı mühendisliğinde, sonlu eleman modeli, ince cidarlı elemanlar için kritik burkulma yükünün hesabının tahmininde Akay vd. (1977) tarafından etkili bir yöntem olarak kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 2.7. I kesitli kiriş için iki boyutlu ağ sistemi

Şekil 2.7'de I kesitli kiriş için BASP programında kullanılan bir sonlu eleman modeli gösterilmiştir. Bu şekilde örnekte gövde 7X2 elemana bölünmüştür. Bu çalışmada sonuçların alınmasında 50X16 ve 48X4 sonlu eleman ağları kullanılmıştır. BASP programında başlıklar sadece boyuna doğrultuda elemanlara bölünmektedir. Eleman sayısı gövdedeki boyuna doğrultudaki eleman sayısı kadardır.

Elastik yanal burulmalı burkulma problemlerinde sonlu eleman modeli için Powell ve Klinger (1970) ve Barsoum ve Gallagher (1970) tarafından gerekli çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalarında sonlu eleman modeli ile çözümün sağlanabilmesi için aşağıdaki ifadelerin uygun şekilde dönüştürülmeleri gerektiğine işaret etmişlerdir:

1. Kirişin ara kesitleri ve mesnetlenme durumu.
2. Rastgele seçilmiş yükler ve konumları.
3. Kirişe eklenen desteklerin durumu.

4. Elastik stabilite analizine ek olarak elastik olmayan etkiler (Liu, 2003).

Johnson ve Will (1974), burkulma analizi için sonlu eleman modelini, geniş başlıklı kesitler için iki boyutlu model hazırlayarak, biraz daha geliştirmişlerdir. Modellerinde, gövdeyi küçük elemanlara bölerek başlıklardan dolayı arakesitin çarpılmasını hesaba katabilmektedirler. Çalışmalarında (2.3) denklemini ile elastik yanal burkulma analizi için bir sonlu eleman modeli geliştirmişlerdir.

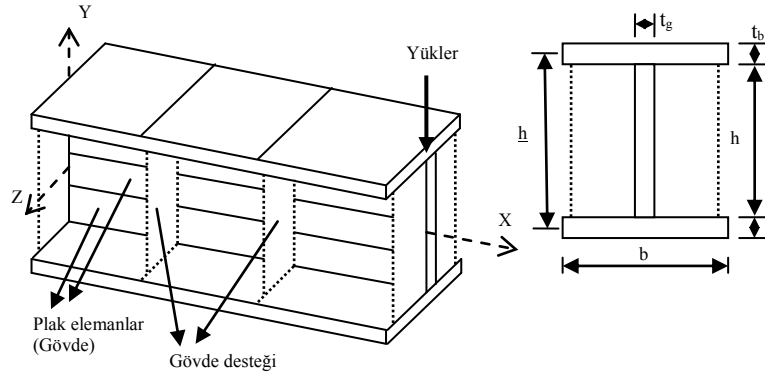
$$[K_c]\{r\} + \lambda[K_g]\{r\} = \{0\} \quad (2.3)$$

Burada, K_c konvansiyonel elastik yapısal rijitlik matrisi, K_g geometrik rijitlik matrisi, r sistemin burkulma halindeki yer değiştirme vektörü ve λ ise uygulanan yüke bağlı olarak kritik burkulma yükü hesabında kullanılan özdeğer ifadesidir. Kirişlerde kritik yükün artı veya eksi çıkması önemlidir. Artı çıkması yükün düşey yönde olmasına ve üst başlığın burkulmasıyla yanal burkulmanın oluşmasına karşılık gelir. Eksi çıkması halinde yükün düşey yukarı yönde olmasına ve alt başlığın burkulmasından dolayı yanal burkulmanın ortaya çıkmasına karşılık gelir. Simetrik olmayan I kirişlerinde alt başlık diğerine göre oldukça küçükse, negatif kritik yük, gerekli pozitif kritik yükten çok daha küçük olabilir (Liu, 2003).

Yukarıda anlatılanlar ışığında, sonlu eleman modeline dayanan BASP programı, ilk olarak H. U. Akay ve J. P. Johnson (1977) tarafından geliştirilmiş, daha sonra H. J. Kim ve J.A. Yura tarafından program haline getirilmiştir. BASP daha çok kiriş ve çubukların elastik yanal burkulma davranışını sonlu eleman modeli ile düzlem içi gerilmelerin hesabına bağlı olarak analiz eden bir programdır.

2.1.1.2. BASP Programının Tanıtımı

Yukarıda anlatılanlar ışığında, sonlu eleman modeline dayanan BASP programı, ilk olarak H. U. Akay ve J. P. Johnson (1977) tarafından geliştirilmiş, daha sonra H. J. Kim ve J.A. Yura tarafından program haline getirilmiştir. BASP daha çok kiriş ve çubukların elastik yanal burkulma davranışını sonlu eleman modeli ile düzlem içi gerilmelerin hesabına bağlı olarak analiz eden bir programdır. Şekil 2.8'de programda kullanılan bir kiriş modeli sunulmaktadır.



Şekil 2.8. BASP modeli için kullanılan elemanlar

Programda kesit ölçüleri b , t_b , t_g , ve h olarak girilmektedir. Program elemanları oluştururken gövde yüksekliğini $\underline{h} = h + t_b$ olarak istenilen sayıda elemana bölmektedir.

BASP programı gövde elemanlarına ait sonuçları hesaplamaktadır. Başlık elemanlarını sadece rijitlik hesaplarında kullanmaktadır.

BASP programı I kesitli kirişi üç dikdörtgen levhadan meydana gelmiş düşünmektedir. Gövde ve başlık dik olarak bağlanmış olmaktadır. Gerçekte ise I profillerinde arada yuvarlak geçişler vardır. Bir örnek verilecek olursa IPE 400 kirişine ait kesit atalet momentleri ve BASP programında geçişler yuvarlatmasız olarak verilmesi halinde atalet momentleri aşağıda karşılaştırılmıştır.

| | | | |
|-------|-----------------------------------|------|-----------------------------------|
| I_y | : $1318 \times 10^4 \text{ mm}^4$ | BASP | : $1310 \times 10^4 \text{ mm}^4$ |
| J | : $5108 \times 10^2 \text{ mm}^4$ | BASP | : $3850 \times 10^2 \text{ mm}^4$ |
| C_w | : $490 \times 10^9 \text{ mm}^6$ | BASP | : $489 \times 10^9 \text{ mm}^6$ |

Program bir kere çalıştırıldıktan sonra yanal burkulma yükünü elde ederken sayısal değerlerde değişiklik yapmaya izin vermektedir.

YSA'da girdi olarak I_y , J ve C_w kesit özellikleri kullanıldığı için eğitimi yapılmış ve test edilmiş bir YSA ile gerçek profillere ait yanal burkulma yükleri de hesaplanabilmektedir.

Programda kullanılan birimler US birim sistemine göre yapılmıştır. Bundan dolayı başka bir birim sistemi kullanılacaksa, kullanılan birim sistemi US'ye dönüştürüldükten sonra ancak kullanılabilir. Kullanıcıların tercihine göre sonuçlar başka birim sistemlerine daha sonra dönüştürülebilir. Bu çalışmada SI birim sistemine göre hazırlanmış veriler US birim sistemine dönüştürülerek sonuçlar alındıktan sonra tekrar SI birim sistemine aktarılmaktadır.

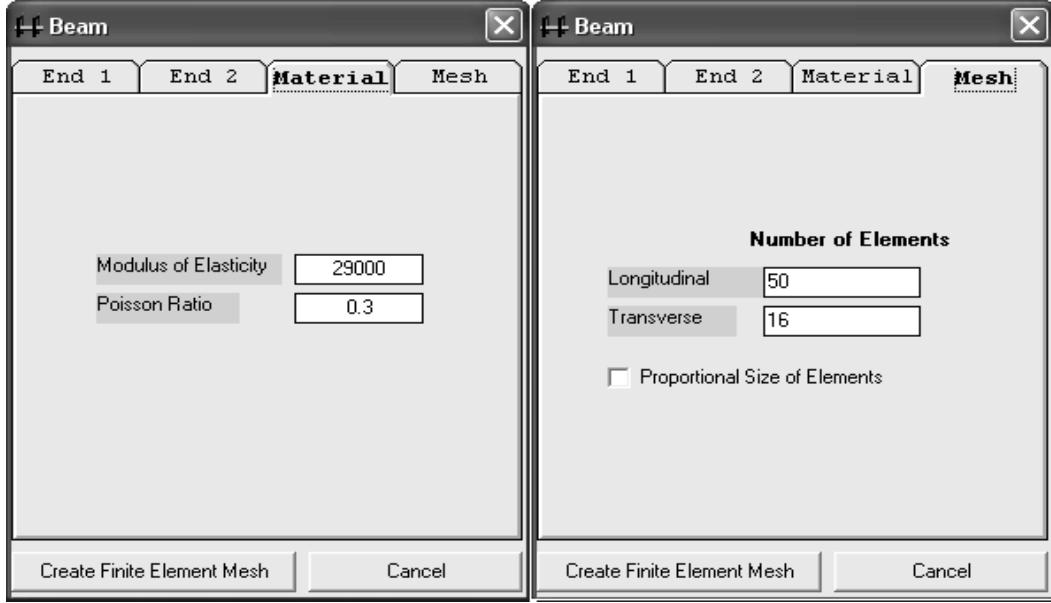
BASP programının hesap işlemi, kiriş gövdesinin düzlem içi kuvvetleri için, (2.4) denklemi ile tanımlanır:

$$[K_i]\{r_i\} = \{R_i\} \quad (2.4)$$

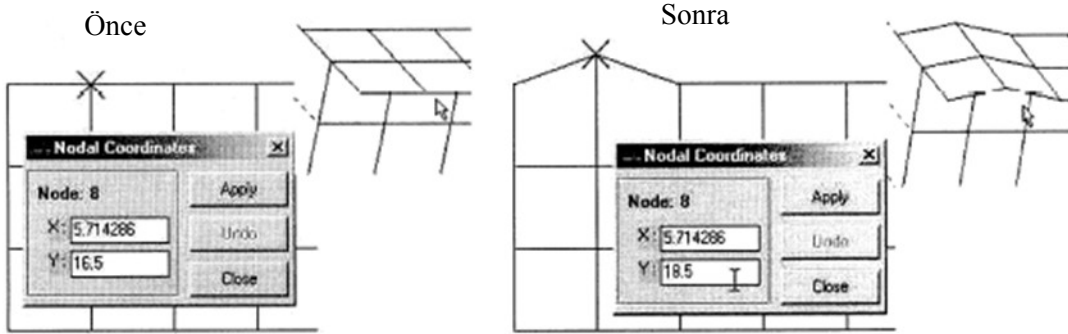
Burada K_i ara kesitin düzlem içi yapısal rijitlik matrisini, r_i hesabı yapılan noktanın yer değiştirmesini ve R_i de düzlem içi yükleme durumu için nodal kuvvetleri göstermektedir. r_i yardımı ile daha sonra düzlem içi gerilmeler hesaplanır. Kritik yanıl burkulma yükünün hesabında ilk olarak, düzlem içi analiz tamamlanır, daha sonra program sonlu eleman modelindeki her bir köşenin r_i yer değiştirmelerine bağlı olarak düzlem dışı, K_c , yapısal rijitlik matrislerini elde eder. BASP programı düzlem dışı kritik burkulma yükünü hesaplamak için düzlem içi gerilmelere bağlı olarak geometrik rijitlik matrisini, K_g , oluşturur. (2.6) denklemi yardımı ile kirişin özdeğerleri hesaplanarak kritik burkulma yükü elde edilir (Liu, 2003).

BASP programı çalıştırıldığında veri olarak, kirişin başlıklarının ve gövdesinin boyutlarını içeren kesit özellikleri, kirişin uzunluğu ve varsa kirişin uç noktaları arasındaki düşey yönde sapma değerleri kullanıcı tarafından girilmelidir (Şekil 2.9). Daha sonra malzeme özellikleri ve sistem için seçilen uygun ağ sistemi programa girilir (Şekil 2.10). Bu sistem oluşturulduktan sonra eleman üzerinde gerekirse gövdenin geometrisi değiştirilebilir. Bu da yapım hataları olan kirişlerde bir bakıma çözümü kolaylaştırır (Şekil 2.11).

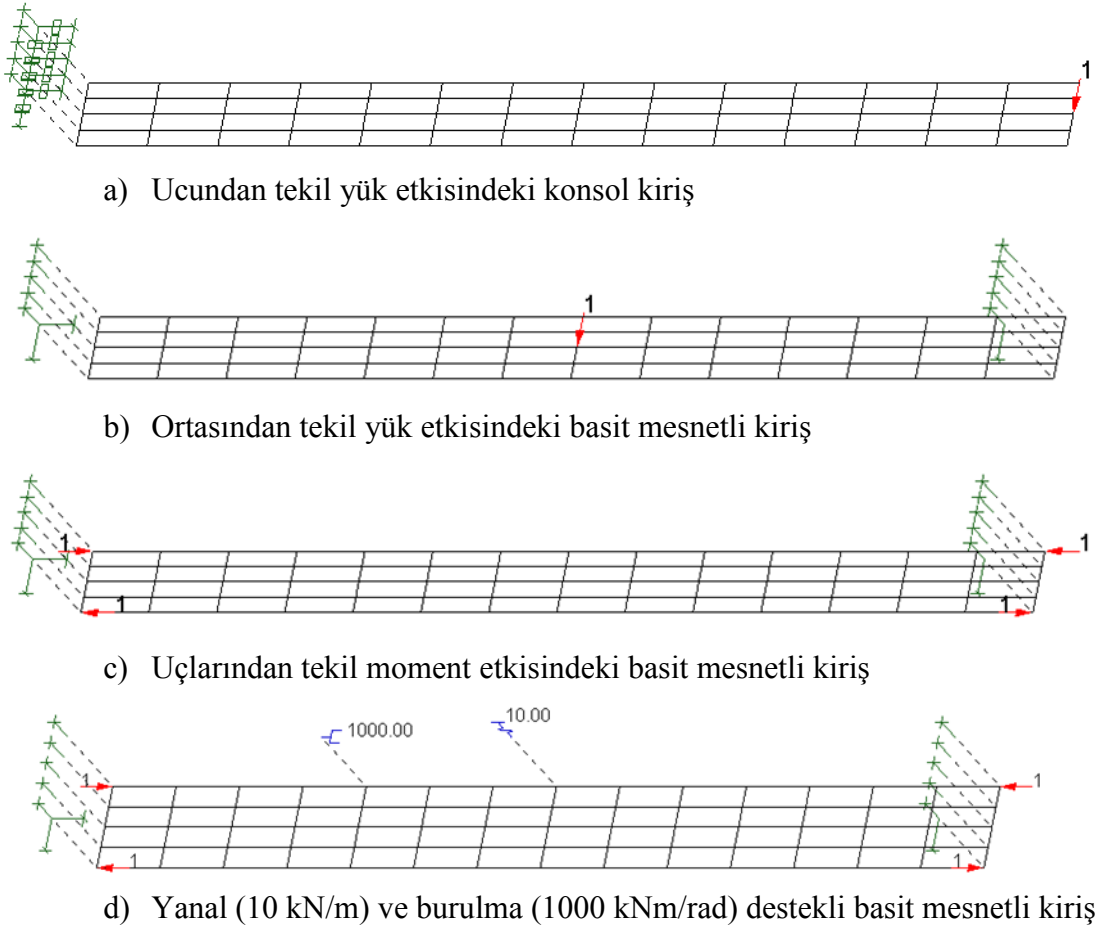
Şekil 2.9. Kesit özelliklerinin girilmesi



Şekil 2.10. Malzeme özelliklerinin ve sistemin ağırlığının girilmesi



Şekil 2.11. Kiriş gövdesinin yeniden boyutlandırılması



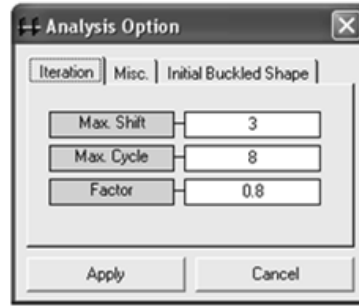
- A-----B B noktasının yer değiştirmesi engellenmiş
A---□---B B noktasının AB eksenindeki dönmesi engellenmiş

Şekil 2.12. BASP programında yük ve mesnetlenme durumları

BASP programının ilk halinde verilen çözüm seçenekleri birçok kullanıcı için uygundur (Şekil 2.13). 2.1 bölümünde anlatıldığı gibi kritik burkulma yükü pozitif veya negatif çıkabilir. Negatif burkulma yükü burkulma modunda belirtilen kritik yük ile uygulanan yükün ters yönde olduğuna işaret etmektedir. Negatif kritik yük değeri yalnızca simetrik kesitler için uygundur. Elde edilen bir negatif özdeğer ifadesi en küçük pozitif özdeğer ifadesinden daha küçüktür. Bu durumda, BASP programı en küçük pozitif özdeğeri, sıfırdan pozitif değere doğru değiştirerek elde etmeye yardımcı olur. Bu değişim miktarına s denilirse, bu durumda (2.1) denklemi aşağıdaki şekli alır:

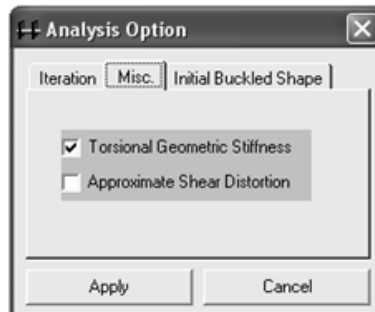
$$[K_c]\{r\} + (\lambda' + s)[K_g]\{r\} = \{0\} \quad (2.5)$$

(2.5) denklemi çözümlenerek iterasyon işlemi ile güvenli bir λ değeri elde edilebilir. BASP analizinde belirtilen en fazla döngüye gelindiğinde hesaplama tamamlanmış olur (Şekil 2.12). Hesaplanan özdeğer Factor ile çarpılarak bir sonraki iterasyonda kullanılır. Bu işlem, sonuçlar uygun bir hal alana veya belirtilen en fazla iterasyona kadar devam eder. Şimdiye kadarki uygulamalar göstermiştir ki Şekil 2.13'te verilen değerler kabul edilebilir sınırlar içinde kalmaktadır (Liu 2003).

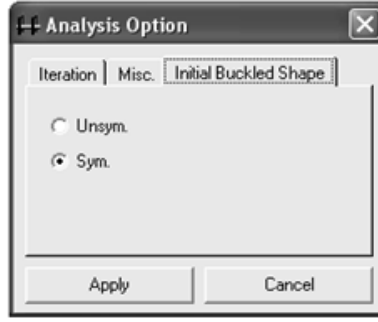


Şekil 2.13. BASP analizi için iterasyon seçenekleri

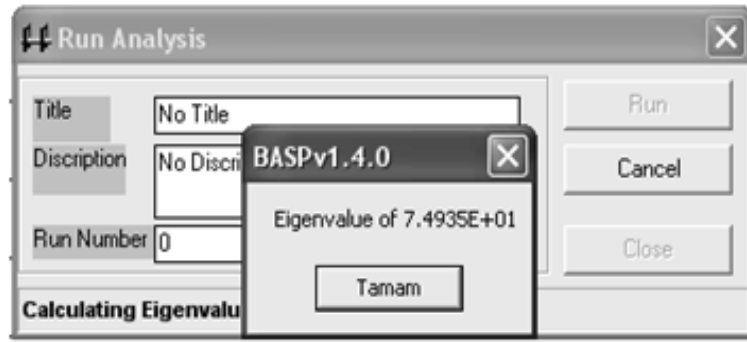
BASP programında ikinci analiz seçeneği Miscellaneous'dur (Şekil 2.14). Sistemde bir yersel başlık burkulması oluşacaksa Torsional Geometric Stiffness, gövdede herhangi bir zayıflatıcı durum varsa Aproximate Shear Distortion seçenekleri kullanılmalıdır. İlk burkulma şeklinin simetrik veya asimetrik olması durumları da Şekil 2.15'te verilmektedir. (Liu, 2003). BASP analizinde çözümün başlaması kritik burkulma yükü önceden tahmini olarak verilmelidir. Çıkacak olan özdeğer ifadesi pozitif oluncaya dek önceden verilen tahmini değer artırılmalıdır (Şekil 2.16).



Şekil 2.14. Miscellaneous seçenekleri



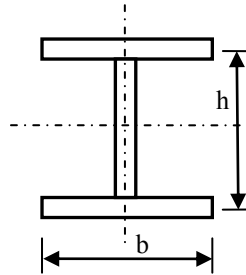
Şekil 2.15. Initial Buckled Shape seçenekleri



Şekil 2.16. BASP ile elde edilen özdeğer

2.1.1.3. BASP Programından Hesaplanan Yanal Burkulma Yüklerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde BASP programının yanal burkulma problemi için uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bunun için Şekil 2.17’de verilen gövdesinin boyutları sabit bir I kirişinin başlık uzunluğu değiştirilerek BASP ve (1.22) denkleminde elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır (Tablo 2.1).



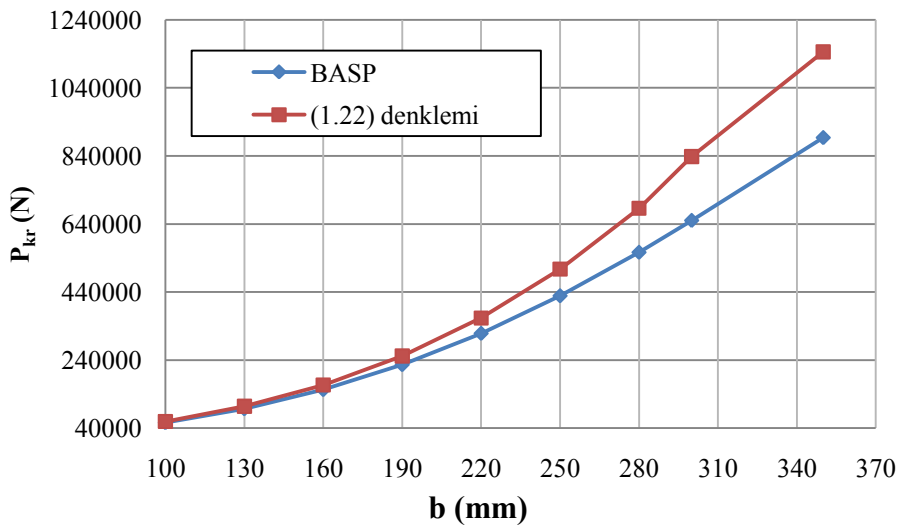
Şekil 2.17. I kesitli kirişin kesit görünüşü

Örnek olarak 6 m uzunluğunda, ortasından tekil yük uygulanan uçları basit mesnetli IPE 450 profil boyutları seçilmiş ve b genişliği değişken tutulmuştur.

Tablo 2.1. Değişik başlık genişlikleri için yanal burkulma yükleri

| b (mm) | P_{kr} (kN) [(1.22) denklemi] | P_{kr} (kN) BASP | Hata (%) |
|---------------|---|---|-----------------|
| 100 | 59.591 | 56.030 | -5.98 |
| 130 | 104.139 | 96.820 | -7.03 |
| 160 | 166.913 | 152.980 | -8.35 |
| 190 | 252.049 | 226.430 | -10.16 |
| 220 | 363.543 | 318.280 | -12.45 |
| 250 | 507.288 | 428.750 | -15.48 |
| 280 | 686.078 | 556.600 | -18.87 |
| 300 | 838.205 | 650.280 | -22.42 |
| 350 | 1145.729 | 893.730 | -21.99 |

Tablo 2.1’de görüldüğü gibi b genişliği arttıkça BASP ile elde edilen sonuçlardaki hata miktarları da artmaktadır. IPE 450 profili (b=190 mm) için BASP tarafından elde edilen kritik yanal burkulma yükünün hata değeri yaklaşık %-10.16 olarak bulunmaktadır. Tablo 2.1’e göre I profillerinde kiriş uzunluğu sabit kalmak şartı ile kirişin başlık uzunluğu arttıkça BASP ile bulunan sonuçların hata değerinin arttığı, başlık genişliği küçüldükçe hatanın da önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. Değişik başlık genişlikleri için yanal burkulma yükleri

Bu bölümde aynı zamanda kiriş uzunluğunun değişmesi ile BASP programının hata yüzdeleri hesaplanmıştır. Bunun için 4, 6, 8 ve 10 m uzunluğunda ortasından tekil yüklü basit mesnetli, çelik IPE 400 kirişi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar ve irdeleme Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Değişik kiriş uzunlukları için yanal burkulma yükleri

| L(m) | P_{kr} (kN) [(1.22) denklemi] | P_{kr} (kN) BASP | Hata (%) |
|------|------------------------------------|-----------------------|----------|
| 4 | 520.00 | 427.56 | -17.78 |
| 6 | 182.07 | 166.45 | -8.58 |
| 8 | 91.77 | 85.72 | -6.59 |
| 10 | 55.05 | 51.95 | -5.63 |

Enerji yönteminden (1.22) ifadesi ile elde edilen ve BASP programından elde edilen yanal burkulma yük değerleri Tablo 2.1~2.2’de karşılaştırılmıştır. BASP programının vermiş olduğu yanal burkulma yükleri daima daha küçük kalmaktadır. Bu da sonuçların güvenli tarafta kaldığını göstermektedir. Tablo 2.1’de başlık genişliği büyütüldükçe, Tablo 2.2’de kiriş boyu artırıldıkça (1.22) denklemi ile farklılık miktarı yüzde olarak gösterilmiştir. Kirişte narinlik arttıkça sonuçlardaki farklılığın azalarak %28’lerden %5’lere kadar düştüğü görülmektedir. Narinliği düşük kirişlerde, bu yüzde değeri BASP programını kullanmanın iyi bir yaklaşım olduğunu göstermese de yanal burkulma yüklerini hesaplamada çok büyük bir kolaylığı vardır. Bu özelliği BASP programının kullanılmasını tercih ettirmiştir.

2.1.1.4. BASP Programı İçin Sonlu Eleman Ağ Modelinin Seçilmesi

Bu bölümde kullanılacak olan BASP programı için uygun ağ sisteminin seçilmesi amaçlanmaktadır. Örnek olarak çelik malzemesinden imal edilen 6 m. uzunluğunda bir IPE 400 profili seçilmiştir. Çalışmada kullanılacak olan üç tip problem (tekil yük etkisindeki basit mesnetli kiriş, tekil uç momenti etkisindeki basit mesnetli kiriş ve ucundan tekil yük etkisindeki konsol kiriş) için sonlu eleman ağ seçimi yapılmış ve bunlar gerçek değerlerle karşılaştırılmıştır.

BASP ve enerji çözümleri arasındaki farklılığın narinliğe bağlı olarak %28'lerden %5'lere kadar değişebildiği Bölüm 2.1.1.4'te görüldü. Burada BASP programında gövdenin sonlu eleman ağının nasıl seçileceği değerlendirilmiştir.

Kullanılan çeliğin ve IPE 400 profilinin kesit özellikleri aşağıda verilmektedir:

$$I_y = 1318 \times 10^{-8} \text{ m}^4, J = 51.08 \times 10^{-8} \text{ m}^4, C_w = 490 \times 10^{-6} \text{ m}^6, \\ A = 42.69 \times 10^{-2} \text{ m}^2, E = 2 \times 10^{14} \text{ N/m}^2, \nu = 0.3$$

BASP programına girilen verilerde I_y ve C_w değerlerinde çok farklılık olmamakta, ancak J değeri başlık ve gövde kısmının birleşme şekline bağlı olarak değişmekte ve $38.50 \times 10^{-8} \text{ m}^4$ değerini almaktadır. Önceki bölümde elde edilen (1.22) denklemi ve Tablo 1.2~1.4 yardımı ile;

- Ortasından tekil yüklü basit mesnetli durum için yanal burkulma yükü, 182.07 kN,
- Uçlarından tekil momentle yüklü basit mesnetli kirişin yanal burkulma momenti, 202.46 kNm,
- Ucundan tekil yüklü konsol kiriş için yanal burkulma yükü de, 57.25 kN olarak elde edilmektedir.

Aşağıdaki tabloda BASP ile bulunan değerlerin yukarıdaki değerlerle karşılaştırılması verilmektedir.

Tablo 2.3. BASP analizi için ağ ve hata değerleri (tekil yüklü basit mesnet)

| Seçilen Ağ | Özdeğer | P_{kr} (BASP) (kN) | P_{kr} (1.22) (kN) | Hata (%) |
|------------|---------|----------------------|----------------------|----------|
| 50 x 4 | 166.45 | 166.45 | 182.07 | -8.58 |
| 50 x 8 | 166.99 | 166.99 | 182.07 | -8.28 |
| 50 x 12 | 166.94 | 166.94 | 182.07 | -8.31 |
| 50 x 16 | 168.01 | 168.01 | 182.07 | -7.72 |
| 48 x 4 | 166.45 | 166.45 | 182.07 | -8.56 |

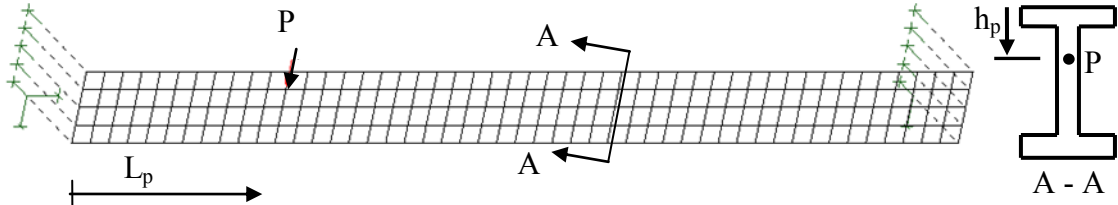
Tablo 2.3'ten de görüldüğü üzere sonuçlar %8 civarında yaklaşmaktadır. Bu da BASP programını genel yaklaşımı içinde kalmaktadır (Liu, 2003). Burada seçilen örnek için ağ seçiminin BASP programında önemli bir değişiklik yapmadığı görülmektedir. Bu çalışmada yanal burkulma yükü hesaplanırken gövdede 50X16 ağ sistemi kullanılmıştır. Gövdede 48X4 ağ kullanılması da sonuçlarda önemli bir değişiklik yapmadığı için bu ağ YSA'nın eğitiminde kullanılmıştır.

50x16 sonlu eleman ağı kullanıldığında konsol kiriş için BASP tarafından bulunan $P_{kr} = 52.67$ kN, buradan hata miktarı %–8, tekil momentle yüklü basit mesnetli kiriş için bulunan yanal burkulma momenti $M_{kr} = 194.81$ kNm ve hata miktarı da %–3.93 olarak elde edilmiştir.

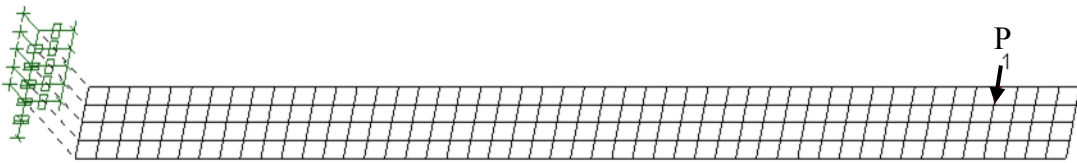
2.2. Bulgular ve İrdeleme

2.2.1. İnce Cidarlı Elemanlarda Tekil Yükün Uygulama Yerinin Yanal Burkulma Yüküne Etkisi

Bu bölümde basit mesnetli kiriş ve konsol kirişe tekil kuvvet uygulanmakta ve bu tekil kuvvetin hem düşey yönde hem de kiriş uzunluğu boyunca uygulama noktası değiştirilmektedir. Çalışmada $L=6$ m uzunluğunda, IPE 400 profili bir kiriş seçilmiştir. Konsol kirişe ve iki ucu basit mesnetli kirişe etkiyen tekil kuvvetin uygulama noktası değiştirilerek yanal burkulma yükünün nasıl ve hangi oranda değiştiği incelenmiştir. Şekil 2.19’da sırasıyla basit mesnetli ve konsol kirişe uzunluk boyunca L_p noktasından, düşey yönde de h_p mesafesinden etki eden bir P kuvveti gösterilmektedir. BASP programı ile elde edilen sonuçlar Tablo 2.4~2.5 de verilmektedir.



a) Tekil yük etkisindeki basit mesnetli kiriş



b) Tekil yük etkisindeki konsol kiriş

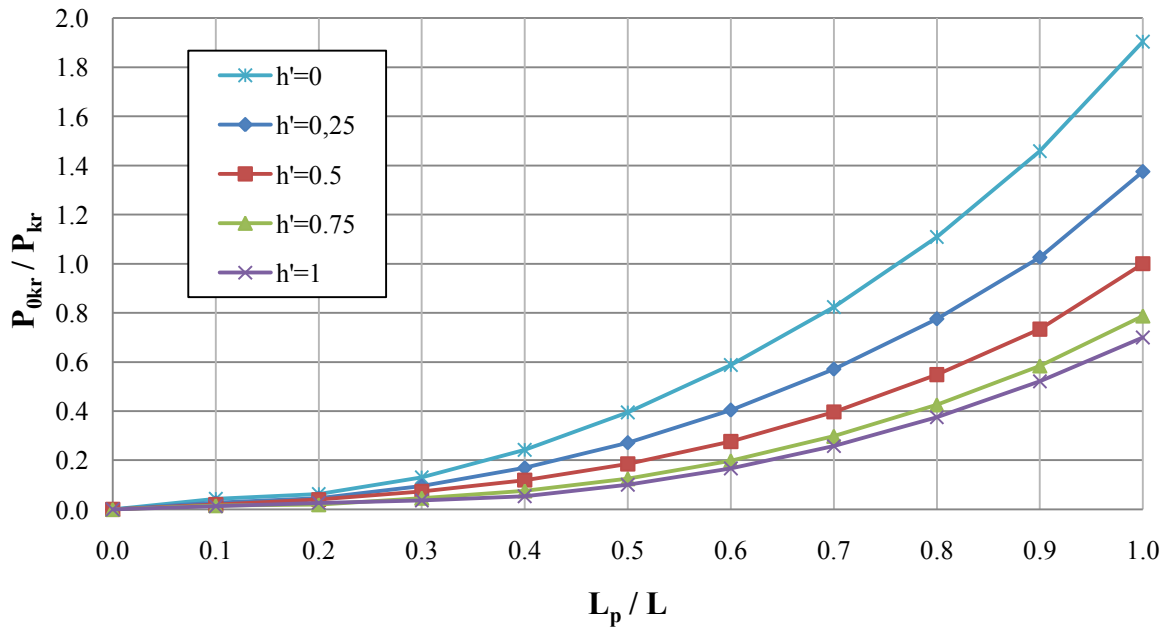
Şekil 2.19. Kirişe etkiyen tekil kuvvet ve uygulama yerinin BASP modeli

Tablo 2.4. Konsol kirişe etkileyen tekil yükün uygulama yeri için yanal burkulma yükleri (kN)

| h_p/h | L_p/L | | | | | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|
| | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 |
| 0 | 1232.20 | 837.56 | 403.85 | 217.70 | 133.49 | 89.63 | 63.97 | 47.51 | 36.12 | 27.67 |
| 0.25 | 1965.40 | 1145.06 | 556.03 | 311.55 | 194.03 | 130.20 | 92.21 | 67.88 | 51.33 | 38.30 |
| 0.5 | 2683.48 | 1326.06 | 726.66 | 442.33 | 284.33 | 190.47 | 132.78 | 96.08 | 71.75 | 52.67 |
| 0.75 | 3435.54 | 1848.90 | 1147.60 | 697.84 | 421.60 | 265.78 | 176.91 | 123.70 | 90.17 | 66.90 |
| 1 | 4172.30 | 1988.67 | 1442.29 | 986.66 | 524.04 | 315.51 | 204.57 | 140.56 | 101.02 | 75.26 |

Tablo 2.5. İki ucu basit mesnetli kirişe etkileyen tekil yükün uygulama yeri için yanal burkulma yükleri (kN)

| h_p/h | L_p/L | | | | | | | | | | |
|---------|----------|--------|--------|--------|--------|---------------|----------|-----|-----|-----|---|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 1374.41 | 487.66 | 227.97 | 154.31 | 126.64 | 119.17 | SİMETRİK | | | | |
| 0.25 | 1476.32 | 533.56 | 258.66 | 179.49 | 149.19 | 140.88 | | | | | |
| 0.5 | 2162.72 | 573.46 | 292.69 | 209.60 | 177.04 | 168.01 | | | | | |
| 0.75 | 6912.53 | 627.02 | 340.64 | 253.06 | 217.92 | 208.09 | | | | | |
| 1 | ∞ | 673.33 | 388.55 | 301.50 | 266.98 | 257.42 | | | | | |

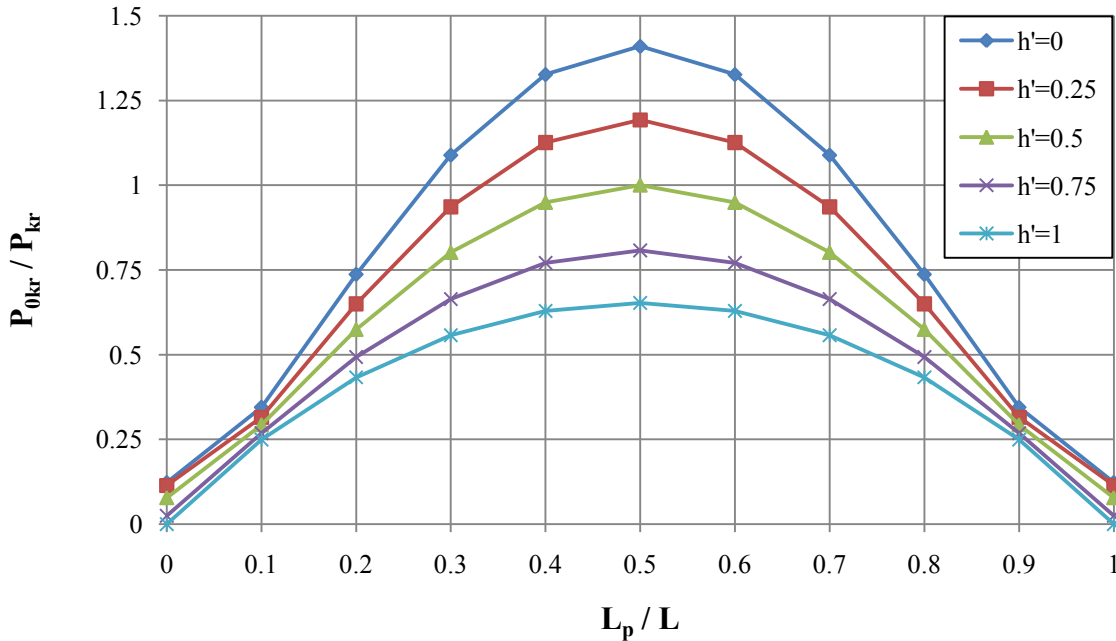


Şekil 2.20. Konsol kirişe etkileyen tekil kuvvetin uygulama yerinin yanal burkulma yüküne etkisi

Grafiklerde h' değeri yükün uygulama yerinin kesitin yüksekliğine oranını (h_p/h) göstermektedir.

Konsol bir kirişe uygulanan P kuvvetinin uygulama yerinin değiştirilmesi ile yanal burkulma yükünün nasıl değiştiği Şekil 2.20'de gösterilmektedir. Burada P_{0kr} konsol kirişin uç ve kesitin orta noktasından etki eden tekil yük için yanal burkulmayı ifade etmektedir. P yükü kiriş kesitinin basınç başlığından (üst başlığa) uygulandığında, $L_p/L=1$ için yanal burkulma yükü $P_{kr}=27.67$ kN ile en küçük değerini almakta, yük çekme başlığına (alt başlığa) yaklaştırıldığında ise yanal burkulma yükü artmakta ve $P_{kr}=75.26$ kN olarak en büyük değerine ulaşmaktadır. Yük kiriş kesitinin ortasından etki ettirildiğinde ise $P_{kr}=52.67$ kN olarak hesaplanmaktadır. Yükün kirişin orta noktasına uygulanmasına göre, kesitin üst başlığına uygulanması durumunda, yanal burkulma yükü %47.47 azalmakta, yükün kesitin alt başlığına uygulanması durumunda ise %42.89 artmaktadır.

Yapılan incelemede, P yükü mesnete yaklaştırıldığında yanal burkulma yükünün hızlı bir şekilde arttığı gözlemlenmektedir. Şekil 2.19'da, P_{0kr}/P_{kr} değerinin 0 (sıfır) olması, sistemin yanal burkulma yapmadığını göstermektedir.



Şekil 2.21. Basit mesnetli kirişe etkiyen tekil kuvvetin uygulama yerinin kritik yanal burkulma yüküne etkisi

Basit mesnetli bir kirişe uygulanan P kuvvetinin uygulama yerinin değiştirilmesi ile yanal burkulma yükünün nasıl değiştiği Şekil 2.21'de gösterilmektedir. Şekilde verilen P_{0kr}

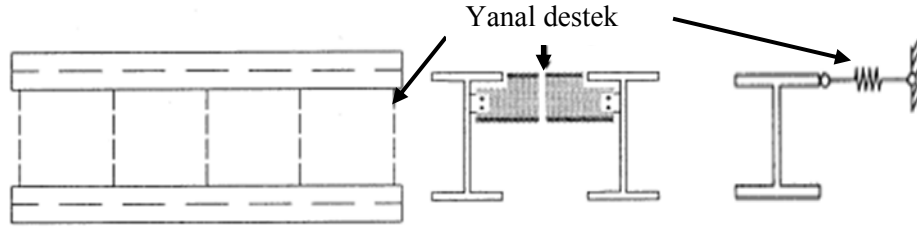
kiriş uzunluğunun ve kesitin orta noktasından uygulanan tekil yük için yanal burkulma yükünü ifade etmektedir. P yükü kiriş kesitinin basınç başlığından (üst başlığa) uygulandığında, $L_p/L=0.5$ için yanal burkulma yükü konsol kiriş örneğine benzer olarak $P_{kr}=119.17$ kN ile en küçük değerini almakta, yük çekme başlığına (alt başlığa) yaklaştırıldığında ise yanal burkulma yükü artmakta ve $L_p/L=0.5$ uygulama mesafesi için $P_{kr}=257.42$ kN değerine ulaşmaktadır. Çalışmada, tekil yük $L_p/L=0.5$ uygulama mesafesi için kiriş kesitinin orta noktasına yerleştirildiğinde $P_{kr}=168.01$ kN olarak hesaplanmaktadır. Yükün kirişin orta noktasına uygulanmasına göre, kesitin üst başlığına uygulanması durumunda, yanal burkulma yükü %29.07 azalmakta, kesitin alt başlığına uygulanması durumunda ise %53.22 artmaktadır.

Yapılan incelemede, P yükü mesnede yaklaştırıldığında yanal burkulma yükünün hızlı bir şekilde arttığı gözlemlenmektedir. Şekil 2.20'de, P_{0kr}/P_{kr} değerinin 0 (sıfır) olması, sistemin yanal burkulma yapmadığını göstermektedir.

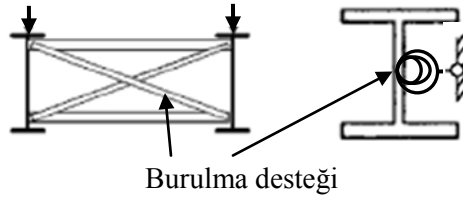
2.2.2. İnce Cidarlı Elemanlarda Desteklerin Yanal Burkulma Yüküne Etkisi

İnce cidarlı elemanlarda daha önce de belirtildiği gibi yanal burkulma önemli bir problem teşkil etmektedir. Bu yapılarda elemanın kesit boyutlarını değiştirmeden sistemin yanal burkulma yükünü artırmak için sisteme bazı yardımcı elemanlar eklemek gerekebilir. Sistemin yanal burkulma yükünü artıran bu yardımcı elemanlara destekler denmektedir. Genel anlamda destekler yanal destekler ve burulma destekleri olarak iki kısma ayrılır. Yanal destek, elemana bağlı olduğu noktadaki, elemanın yanal olarak yer değiştirmesini etkileyerek sistemin yanal olarak burkulacağı yük değerini artırır, burulma destekleri de kesitin kendi etrafında dönmesini (burulmasını) kısıtlayarak sistemin yanal burkulma yükünü artırır.

Yanal burkulmuş bir elemanda her noktanın yer değiştirmesi veya dönmesi eşit değildir. Bu sebeple yanal burkulma yükünü artırmak için elemana yerleştirilecek desteğin konumu önemli bir etkidir. Yapıda engelleyici bir durum yoksa (destekler istenildiği noktalara rahatlıkla bağlanabiliyorlarsa), elemanın yanal burkulma davranışı iyi analiz edilmeli ve destek öyle bir konumlandırılmalı ki daha küçük destek yay sabitlerinde istenilen yanal burkulma yükü elde edilebilsin. Desteğin yeri sabitse (yapının durumundan dolayı destek sadece bir noktaya yerleştirilebiliyorsa), desteğin yay sabiti ekonomik şartlar gereği en uygun (optimum) şekilde seçilmelidir.



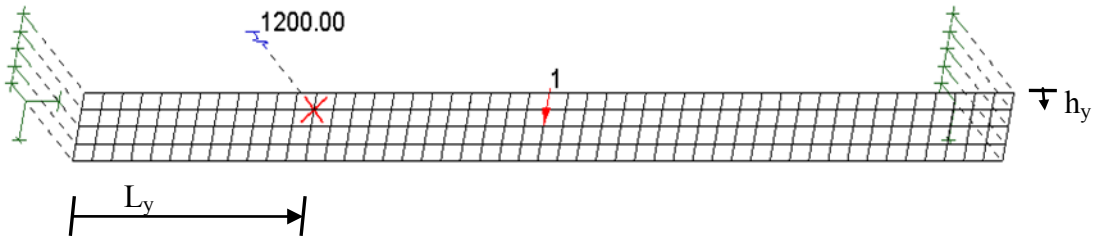
Şekil 2.22. I kesitli kirişler için yanal destek



Şekil 2.23. I kesitli kirişler için burulma desteği

2.2.2.1. I Kesitli Kirişler İçin Yanal Desteğin Yanal Burkulma Yüküne Etkisi

Bu bölümde değişik yay sabitlerine sahip yanal desteğin, I kesitli kirişte uzunluk ve yükseklik doğrultusunda farklı noktalara yerleştirilerek, yanal burkulma yüküne etkisi incelenmiştir. Uygulama için 6 m uzunluğunda I kesitli, iki ucu basit mesnetli ortasından tekil yük etkisindeki kiriş, ucundan tekil yük etkisindeki konsol kiriş ve iki ucundan eğilme momentine maruz basit mesnetli kiriş olmak üzere üç farklı model seçilmiştir.



Şekil 2.24. İki ucu basit mesnetli kiriş için yanal desteğin uygulama yeri

Şekil 2.24'te gösterildiği gibi konsol kiriş ve tekil eğilmeye maruz basit mesnetli kiriş için de yanal desteğin yeri aynı şekilde ifade edilebilir. Burada L_y yanal desteğin sol mesnede uzaklığını, h_y yanal desteğin üst başlığın merkezinden uzaklığını ve β_y ise yanal desteğin yay sabitini temsil etmektedirler. Yukarıda belirtilen üç farklı örnek için de elde edilen sonuçlar tablolar yardımı ile ifade edilmiştir. Uygulama sonunda, değişik konum ve

yay sabitlerine sahip destekler için grafikler çizilerek, ifade edilen üç model için de desteklerin, yanal burkulma yükünü nasıl etkiledikleri incelenmiştir.

2.2.2.1.1. Yanal Desteğin Ortasından Tekil Yük Etkisindeki Basit Mesnetli Kirişte Yanal Burkulma Yüküne Etkisi

Yanal desteklerin tekil yük etkisindeki basit mesnetli kirişlerde yanal burkulmaya etkisini incelemek için 6 m. uzunluğunda IPE 400 kesitli çelik kiriş kullanılmıştır. Desteğin yay sabiti ve uygulama noktasının yanal burkulma yüküne etkisinin belirlenmesi için seçilen elemana değişik yay sabitlerine sahip destek elemanları farklı noktalara uygulanmışlardır. Bu uygulama sonucunda elde edilen kritik yanal burkulma değerleri Tablo 2.6~2.10'da verilmektedir. Tablolarda verilen değerler haricinde, ortasından tekil yüklü basit mesnetli kirişte, $L_y/L=0.5$ ve $h_y/h=0$, $\beta_y = 3600$ kN/m ve $\beta_y = 4200$ kN/m yanal destek yay sabitleri için yanal burkulma değeri de hesaplanmıştır. Bu sonuçların, desteksiz haldeki yanal burkulma yükü (P_{0kr}) ile grafiklerle karşılaştırılmıştır.

$L_y/L=0.5$ ve $h_y/h=0$ için $\beta_y = 3600$ kN/m ve $\beta_y = 4200$ kN/m rijitliklerine sahip yanal destekler kullanıldığında yanal burkulma yükleri her iki durum için de değişmemekte ve 733.91 kN olarak hesaplanmaktadır.

Tablo 2.6. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 600$ kN/m için yanal burkulma yükleri (kN)

| h_y/h | L_y/L | | | | | | | | | | |
|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-----|-----|-----|---|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 168.01 | 185.00 | 223.92 | 275.70 | 335.75 | 371.74 | SİMETRİK | | | | |
| 0.25 | 168.01 | 177.35 | 200.70 | 232.11 | 267.34 | 303.10 | | | | | |
| 0.5 | 168.01 | 172.24 | 183.49 | 198.61 | 215.03 | 238.60 | | | | | |
| 0.75 | 168.01 | 169.43 | 173.26 | 178.42 | 183.93 | 189.94 | | | | | |
| 1 | 168.01 | 168.14 | 168.54 | 169.17 | 169.88 | 170.28 | | | | | |

Tablo 2.7. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 1200$ kN/m için yanal burkulma yükleri (kN)

| h_y/h | L_y/L | | | | | | | | | | |
|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-----|-----|-----|---|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 168.01 | 198.79 | 258.53 | 335.31 | 439.04 | 529.07 | SİMETRİK | | | | |
| 0.25 | 168.01 | 184.65 | 221.48 | 269.52 | 329.79 | 424.89 | | | | | |
| 0.5 | 168.01 | 175.39 | 192.92 | 215.47 | 241.41 | 288.20 | | | | | |
| 0.75 | 168.01 | 170.50 | 176.33 | 183.67 | 191.54 | 201.10 | | | | | |
| 1 | 168.01 | 168.23 | 168.81 | 169.70 | 170.63 | 171.12 | | | | | |

Tablo 2.8. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 1800$ kN/m için yanal burkulma yükleri (kN)

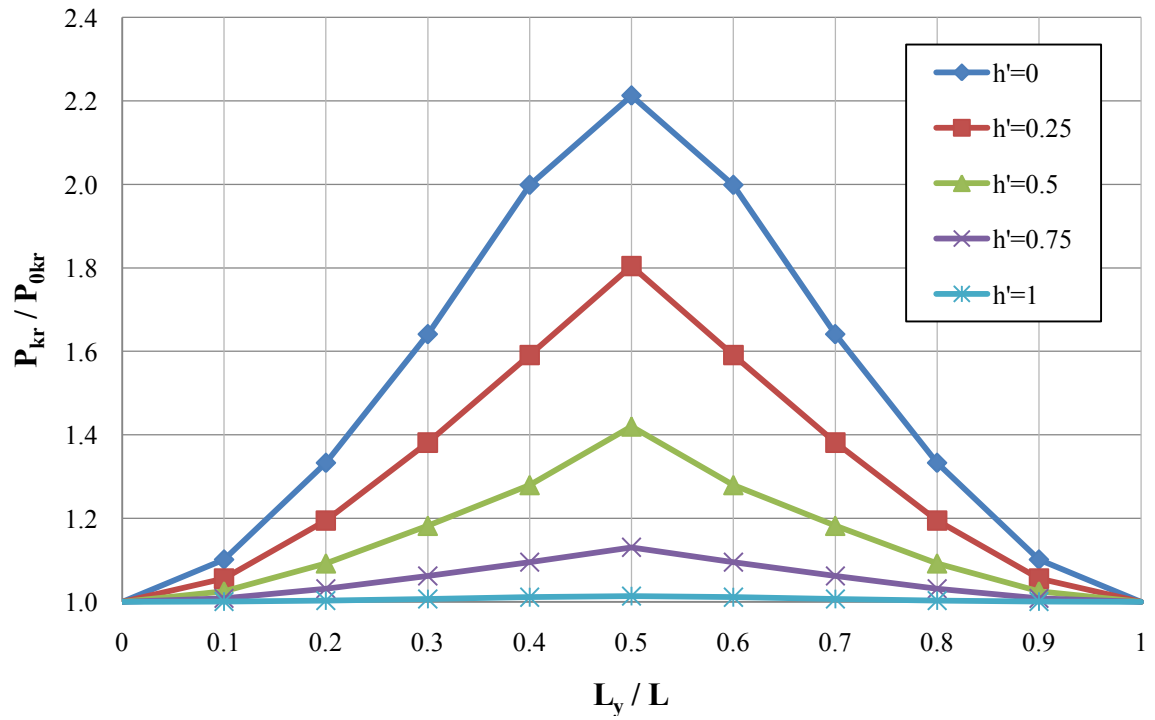
| h_y/h | L_y/L | | | | | | | | | | |
|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-----|-----|-----|---|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 168.01 | 210.09 | 281.26 | 370.09 | 498.69 | 652.73 | SİMETRİK | | | | |
| 0.25 | 168.01 | 190.47 | 235.71 | 293.54 | 371.60 | 502.92 | | | | | |
| 0.5 | 168.01 | 177.84 | 199.28 | 226.24 | 258.58 | 326.99 | | | | | |
| 0.75 | 168.01 | 171.39 | 178.42 | 186.87 | 196.08 | 208.00 | | | | | |
| 1 | 168.01 | 168.32 | 168.99 | 169.97 | 171.03 | 171.57 | | | | | |

Tablo 2.9. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 2400$ kN/m için yanal burkulma yükleri (kN)

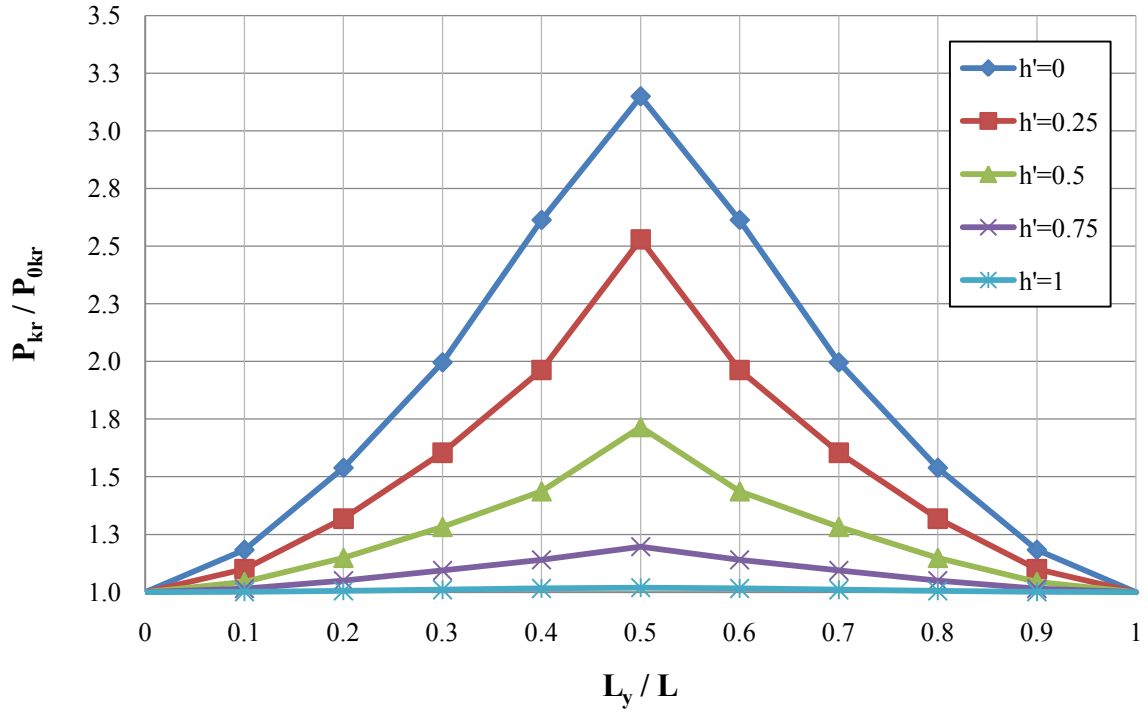
| h_y/h | L_y/L | | | | | | | | | | |
|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-----|-----|-----|---|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 168.01 | 219.52 | 297.05 | 392.02 | 533.12 | 750.68 | SİMETRİK | | | | |
| 0.25 | 168.01 | 195.23 | 246.08 | 310.04 | 400.83 | 581.47 | | | | | |
| 0.5 | 168.01 | 179.75 | 203.86 | 233.67 | 270.67 | 358.79 | | | | | |
| 0.75 | 168.01 | 172.06 | 179.84 | 189.00 | 199.06 | 212.71 | | | | | |
| 1 | 168.01 | 168.37 | 169.12 | 170.14 | 171.26 | 171.83 | | | | | |

Tablo 2.10. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 3000 \text{ kN/m}$ için yanal burkulma yükleri (kN)

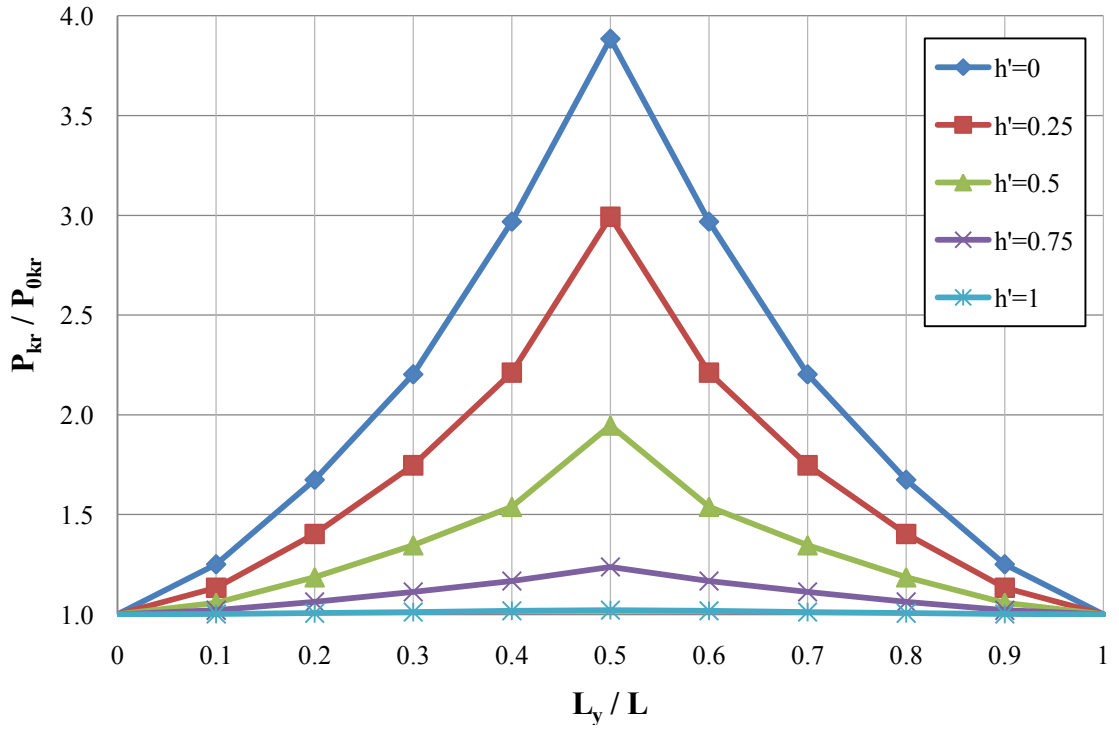
| h_y/h | L_y/L | | | | | | | | | | |
|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-----|-----|-----|---|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 168.01 | 227.48 | 308.57 | 406.79 | 554.07 | 828.61 | SİMETRİK | | | | |
| 0.25 | 168.01 | 199.24 | 253.86 | 322.05 | 422.09 | 649.62 | | | | | |
| 0.5 | 168.01 | 181.35 | 207.29 | 239.18 | 279.66 | 385.71 | | | | | |
| 0.75 | 168.01 | 172.64 | 180.95 | 190.56 | 201.24 | 216.18 | | | | | |
| 1 | 168.01 | 168.45 | 169.21 | 170.28 | 171.43 | 172.01 | | | | | |



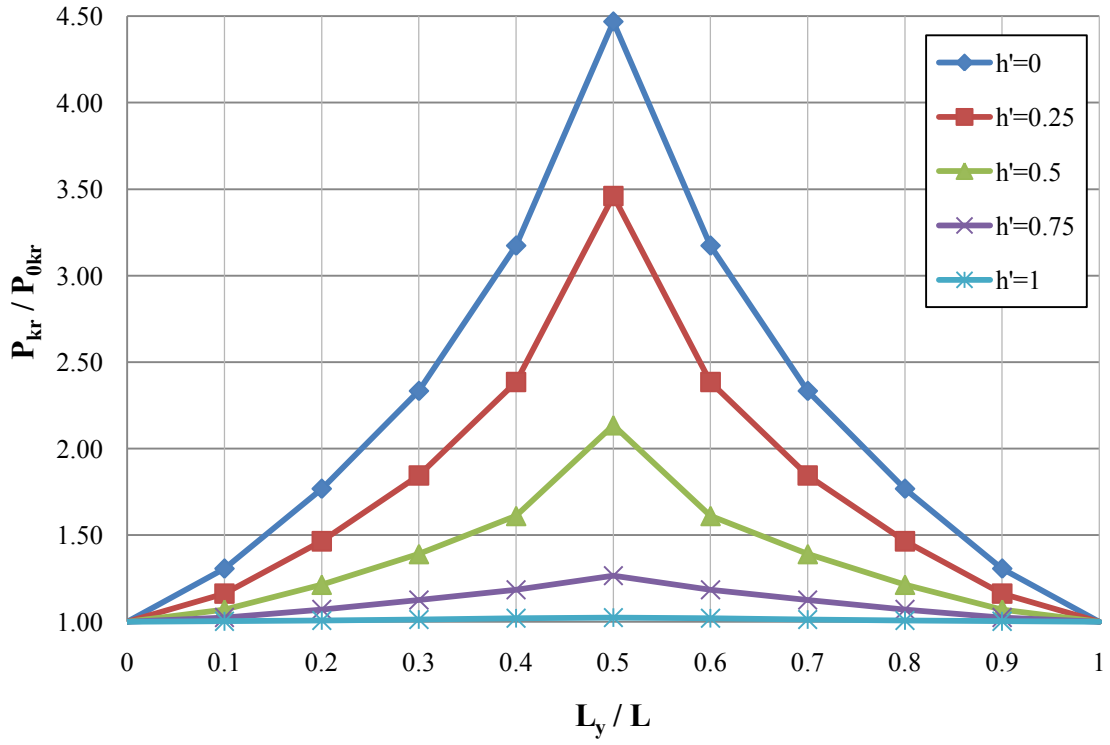
Şekil 2.25. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 600 \text{ kN/m}$ için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi



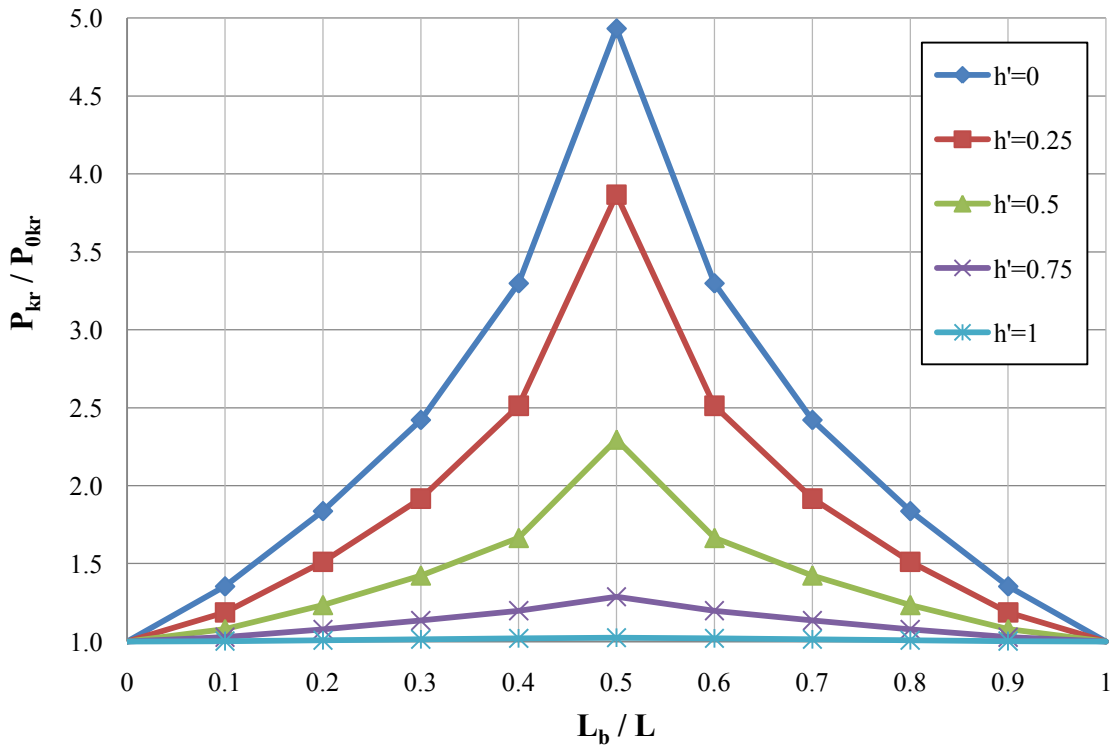
Şekil 2.26. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 1200$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi



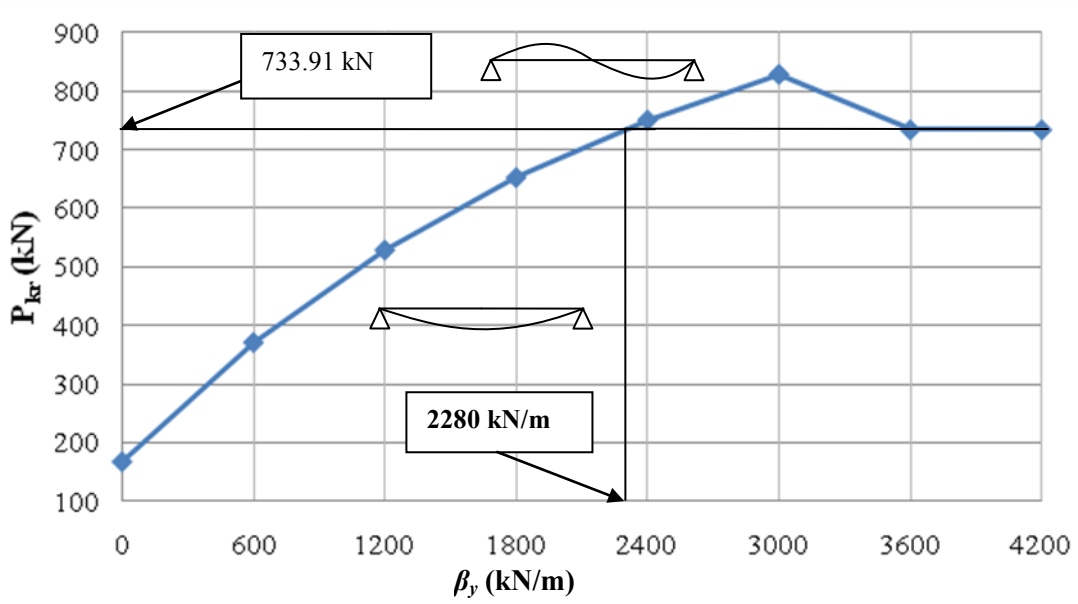
Şekil 2.27. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 1800$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi



Şekil 2.28. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 2400$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi



Şekil 2.29. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 3000$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi

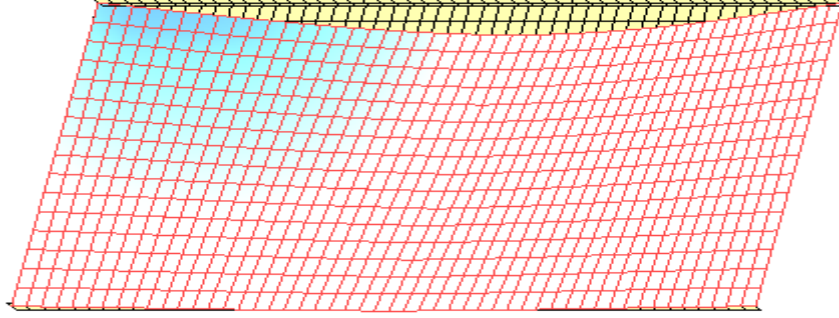


Şekil 2.30. Tekil yük etkisindeki basit kirişte yanal desteğin yay sabitlerine göre en büyük yanal burkulma yükleri

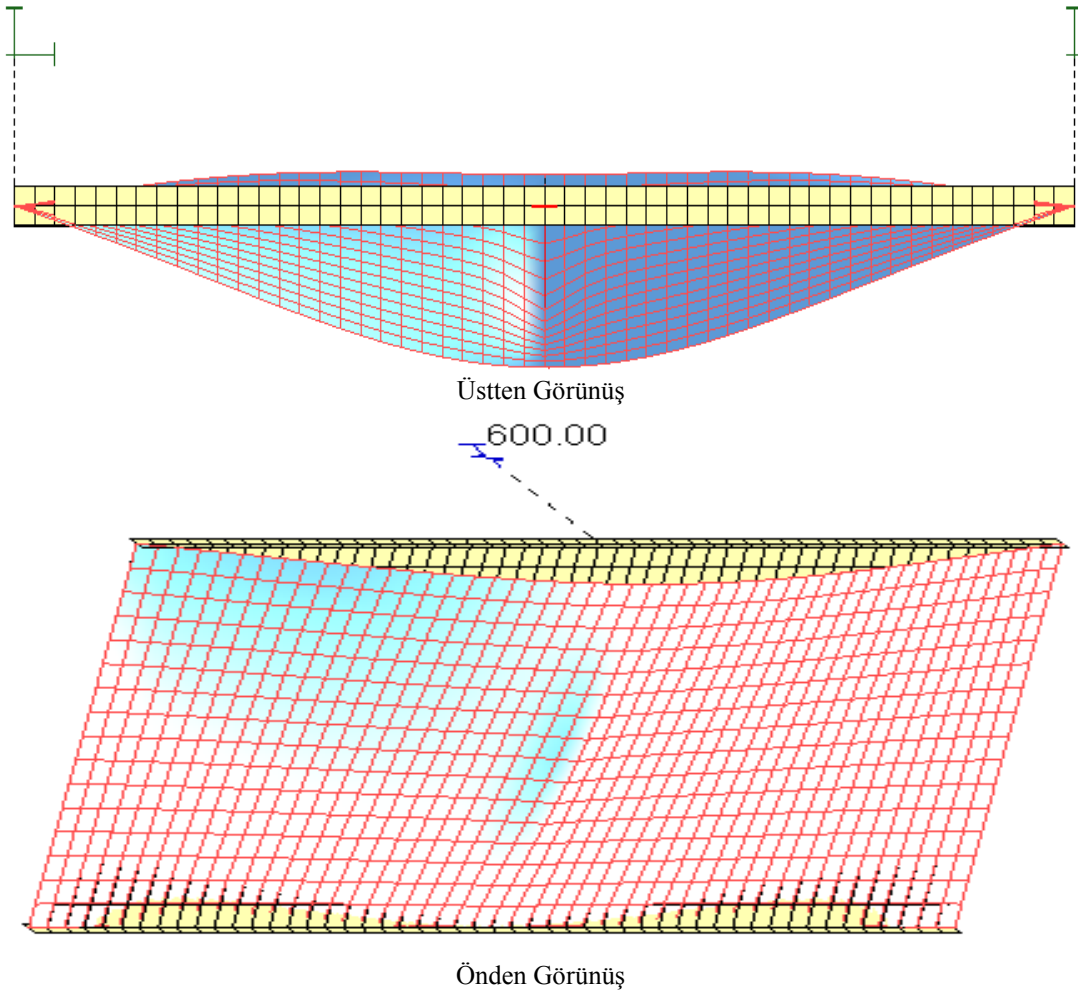
Bu bölümde yanal desteğin ortasından tekil yük etkisindeki basit mesnetli kirişin yanal burkulma yüküne etkisi incelenmiş ve bulunan değerler tablo ve grafiklerle karşılaştırılmıştır. Desteğin, kiriş uzunluğunun orta noktasında olması durumunda, üst başlığa, $0.25h$, $0.5h$, $0.75h$ ve alt başlığa yerleştirilmesi durumlarında oluşan en büyük yanal burkulma yükleri sırasıyla $\beta_y = 600$ kN/m için 371.74, 303.10, 238.60, 189.94 ve 170.28 kN; $\beta_y = 1200$ kN/m için, 529.07, 424.84, 288.20, 201.10 ve 171.12 kN; $\beta_y = 1800$ kN/m için 652.73, 502.92, 326.99, 208.00 ve 171.57 kN; $\beta_y = 2400$ kN/m için 750.68, 581.47, 358.79, 212.71 ve 171.83 kN; $\beta_y = 3000$ kN/m için 828.61, 649.62, 385.71, 216.18 ve 172.01 kN olarak hesaplanmaktadır. Bu değerler dikkate alındığında yanal destek yay sabitleri 600, 1200, 1800, 2400, 3000 ve 3600 kN/m için kirişteki yanal burkulma yükleri en fazla, sırasıyla 2.21, 3.15, 3.89, 4.47, 4.93 ve 4.37 kat artmaktadır.

Yapılan incelemelerde, yanal destek üst başlık ve üst başlığa yakın noktalara yerleştirildiğinde desteğin yay sabiti artırıldıkça yanal burkulma yükü belirgin bir şekilde artmakta, destek, alt başlığa veya alt başlığa yakın bölgelere yerleştirildiğinde ise yanal burkulma yükün destek yay sabiti artması ile pek de artmamaktadır. Yanal burkulma yükü, destek kirişin orta noktası ve üst başlığına yerleştirildiğinde $\beta_y = 3000$ kN/m için en büyük değeri olan 828.61 kN'a ulaşmaktadır. Aynı noktaya yerleştirilen $\beta_y = 3600$ kN/m ve $\beta_y = 4200$ kN/m yanal destek yay sabitlerinde ise yanal burkulma yükleri bir miktar

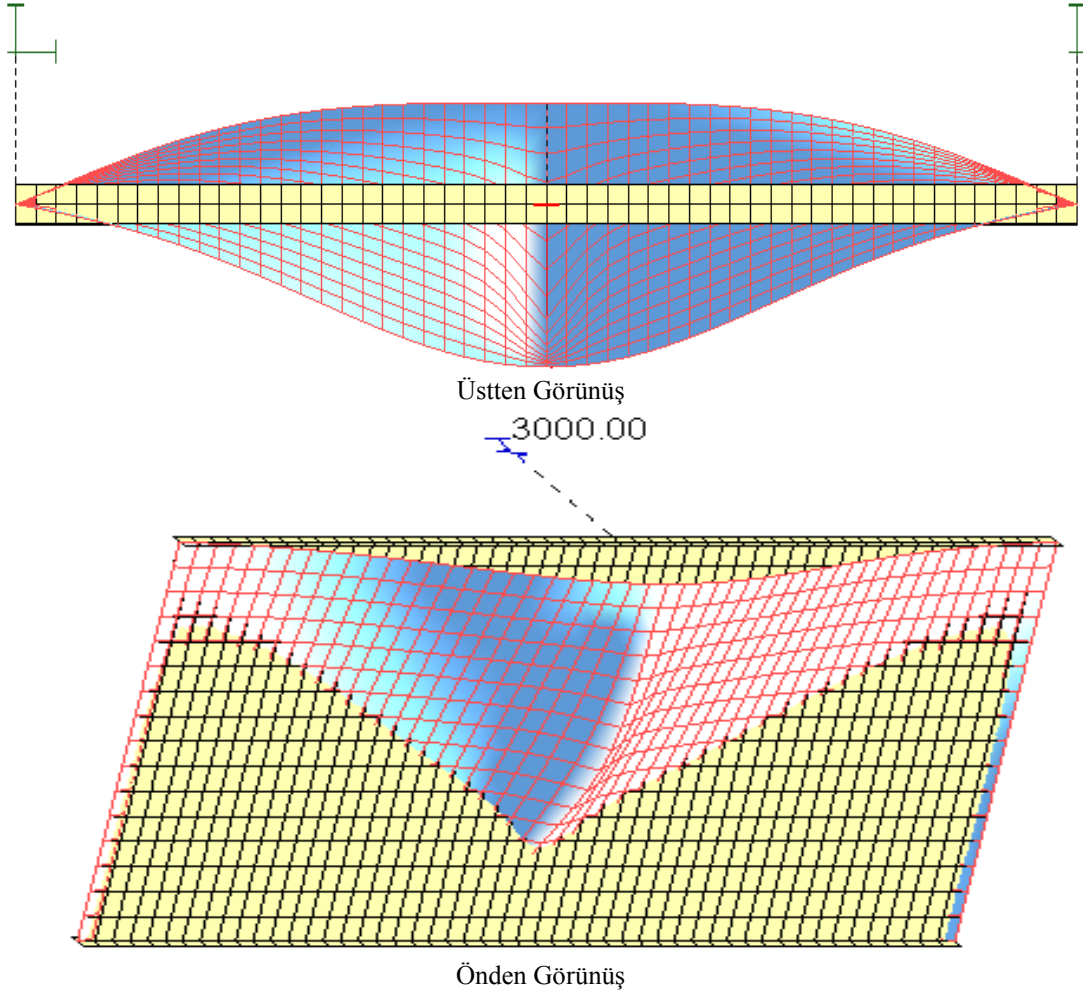
azalmakta ve 733.91 kN'a inmektedir. Bu durumun Şekil 2.31~2.34 yardımı ile açıklanmıştır. Şekillerde burkulma öncesi kiriş sarı renkle gösterilmekte, yanal burkulmuş halini ise diğer renkler ifade etmektedir.



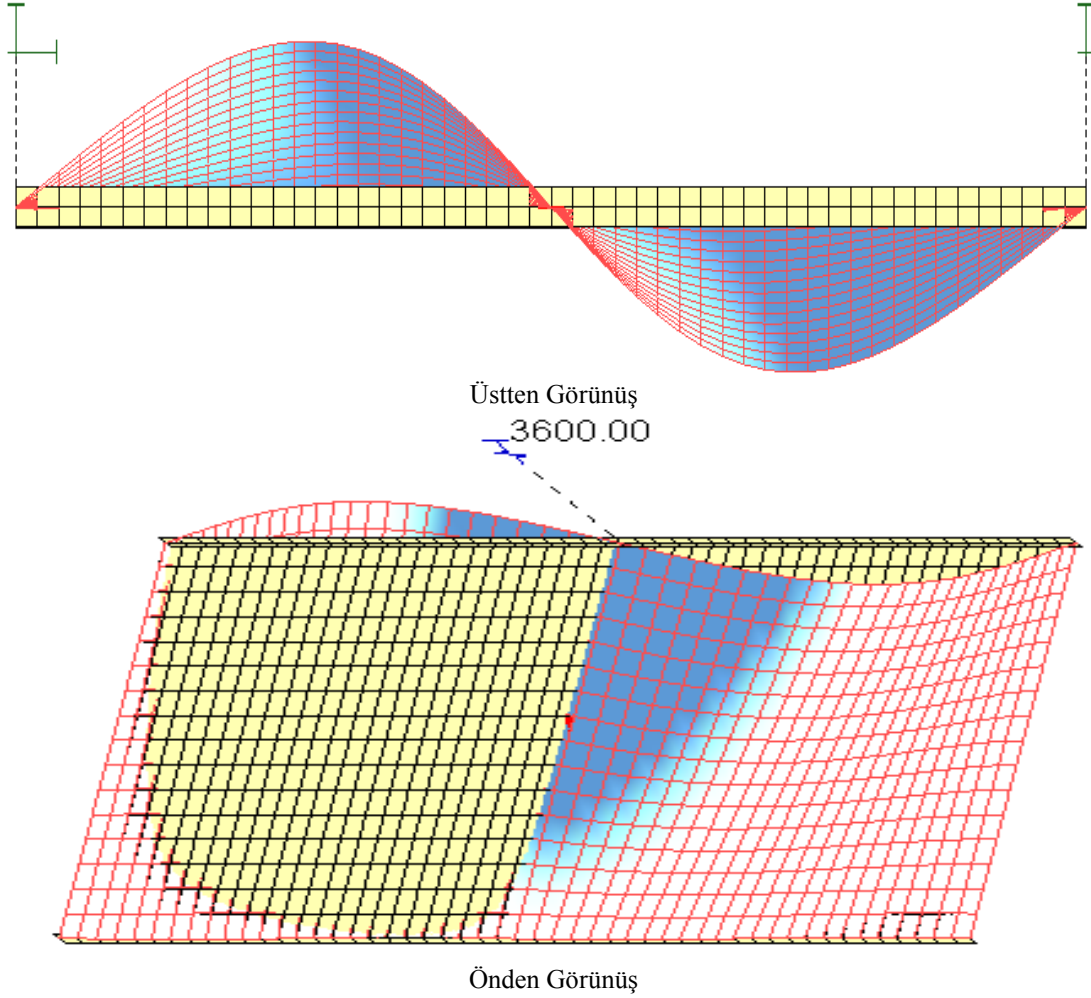
Şekil 2.31. Tekil yük etkisindeki basit kirişin yanal burkulmuş hali



Şekil 2.32. Tekil yük etkisindeki basit kirişin $\beta_y = 600$ kN/m için yanal burkulmuş hali (üstten ve önden görünüş)



Şekil 2.33. Tekil yük etkisindeki basit kirişin $\beta_y = 3000$ kN/m için yanıl burkulmuş hali (üstten ve önden görünüş)



Şekil 2.34. Tekil yük etkisindeki basit kirişin $\beta_y = 3600 \text{ kN/m}$ için yanal burkulmuş hali (üstten ve önden görünüş)

Şekil 2.31’de görüldüğü gibi ortasından tekil yüklü basit mesnetli kirişin yanal burkulma durumunda kirişin bütün noktaları aynı yönde yanal yer değiştirme yapmıştır. $\beta_y = 600 \text{ kN/m}$ yay sabitinde bir destek kullanıldığında kirişin üst başlığında yanal yer değiştirmeler bir miktar engellenmiş ve kritik yanal burkulma yükü artmıştır. Ancak Şekil 2.32’de de görüleceği üzere kirişin yanal burkulma halinde, alt başlığında bazı noktaların yer değiştirmeleri üst başlıktaki yer değiştirmelerle farklı yöndedir. Yanal desteğin yay sabiti arttıkça farklı yönde yanal yer değiştirme yapan nokta sayısı da artmaktadır (Şekil 2.33). Öyle ki, yanal destek yay sabiti biraz daha artırıldığında kirişin uzunluk boyunca orta noktasına göre sol tarafındaki yanal yer değiştirmelerin sağ taraftaki yer değiştirmelerle farklı yönde olduğu görülmektedir (Şekil 2.34). Bu şekil, kirişin yanal burkulmadaki ikinci moda karşılık gelmektedir. İkinci moddaki yer değiştirmelerde Şekil 2.34’ten de görüleceği üzere artık en büyük yer değiştirme kirişin orta noktasının üst

başlığında değil, kiriş uzunluğunun çeyreğinin üst başlığında meydana gelmektedir. Destek yerleştirmedeki amaç, kirişin yanal yer değiştirmesini azaltarak yanal burkulmasını önlemek olduğu için belli bir yanal destek yay sabitinden sonra yanal burkulma yükünün artmadığı söylenebilir. Sonuçta kiriş birinci modda burkulacağından kritik burkulma yükü aşılmış demektir. Bu çalışmada ortasından tekil yük etkisindeki 6 m uzunluğundaki IPE 400 kirişi için tam desteklenme durumunda (ikinci moda burkulma) yanal burkulma yükü $M_{kr}=733.91$ kN olarak elde edilmiş, buna karşılık basınç başlığına konulan ideal yay sabiti ise $\beta_y=2280$ kN/m olarak belirlenmiştir. Üst başlığa konulan bu yay sabitinden sonraki değerler kirişin burkulmada ikinci moda denk gelmektedir.

2.2.2.1.2. Yanal Desteklenmiş Tekil Eğilme Momenti Etkisindeki Basit Mesnetli Kiriş

2.2.2.1.2.1. İdeal Destek Yay Sabitinin Belirlenmesi

Şekil 2.3'te açıklığı ortasında, gövde merkezinden e mesafesinde yanal desteklenmiş L boyunda kiriş verilmiştir. Yanal desteğin yay sabiti β_y 'dir. Kiriş yarısından itibaren iki bölgeye ayrılmıştır. Birinci bölge $0 < z < l$ ve ikinci bölge ise $l < z < 2l$ aralığındadır. Her bir bölge için yer değiştirme ve dönmenin diferansiyel denklemleri (2.6)~(2.9) denklemlerinde verilmiştir.

1. Bölge:

$$EI_y u'' + M\Phi - \frac{1}{2}Fz = 0 \quad (2.6)$$

$$EC_w \Phi''' - GJ\Phi' + Mu' - \frac{1}{2}Fe = 0 \quad (2.7)$$

2. Bölge

$$EI_y u'' + M\Phi - \frac{1}{2}F(2l - z) = 0 \quad (2.8)$$

$$EC_w \Phi''' - GJ\Phi' + Mu' + \frac{1}{2}Fe = 0 \quad (2.9)$$

Denklemlerdeki F kuvveti yanal desteğin yanal yer değiştirme ile orantılı olarak kiriş gövdesine uyguladığı kuvvettir. (2.10) denkleminde F kuvvetinin değeri verilmiştir.

$$F = \beta_y(u + e \Phi) \quad (2.10)$$

(2.7) ve (2.9)'un z 'ye göre türevi alınıp sırasıyla (2.6) ve (2.8) denklemlerindeki (u'')' de yerlerine yazılırsa, 1. ve 2. bölgenin Φ açısına bağlı olarak diferansiyel denklemleri (2.11) ve (2.12) bağıntılarında verildiği gibi olur.

$$\Phi_1^{IV} - B^2 \Phi_1^{II} - k^4 \Phi_1 + \frac{1}{2} k^4 \frac{F}{M} z = 0 \quad (2.11)$$

$$\Phi_2^{IV} - B^2 \Phi_2^{II} - k^4 \Phi_2 + \frac{1}{2} k^4 \frac{F}{M} (2l - z) = 0 \quad (2.12)$$

Denklemlerde; $B^2 = (GJ)/(EC_w)$ ve $k^4 = M^2/(EI_y EC_w)$ dır.

(2.11) ve (2.12) denklemlerinin çözümü yapılırsa;

$$a_1 = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{\sqrt{B^4 + 4k^4} + B^2} \text{ ve } a_2 = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{\sqrt{B^4 + 4k^4} - B^2} \text{ olmak üzere;}$$

$$\Phi_1 = C_1 \cosh(a_1 z) + C_2 \sinh(a_1 z) + C_3 \sin(a_2 z) + C_4 \cos(a_2 z) + \frac{F}{2M} z \quad (2.13)$$

$$\Phi_2 = D_1 \cosh(a_1 z) + D_2 \sinh(a_1 z) + D_3 \sin(a_2 z) + D_4 \cos(a_2 z) + \frac{F}{2M} (2l - z) \quad (2.14)$$

(2.13) denkleminde $z = 0$ için $\Phi_1 = \Phi_2 = 0$ olduğundan $C_1 = C_4 = 0$ olarak elde edilir. Geriye bilinmeyen olarak 6 sabit kalmaktadır. Söz konusu kiriş için 6 tane sınır şartı yazılırsa bu sabitler de elde edilmiş olur. Sabitlerin elde edilmesiyle Φ_1 ve Φ_2 dönme açıları da z 'ye bağlı bulunmuş olurlar. Bulunan Φ ifadeleri (2.7) ve (2.9) denklemlerinde $z = 0$; $u_1 = 0$ ve $z = 2l$; $u_2 = 0$ sınır şartları yerlerine yazıldığında u_1 ve u_2 yanal yer değiştirme ifadeleri (2.15) ve (2.16) denklemlerinde $C_2 \sim D_4$ sabitlerine bağlı olarak ifade edilirler.

$$u_1 = \frac{F}{2M} \left(e + \frac{GJ}{M} \right) z + \frac{GJ}{M} \left[\left(1 - \frac{a_1^2}{B^2} \right) C_2 \sinh(a_1 z) + \left(1 + \frac{a_2^2}{B^2} \right) C_3 \sin(a_2 z) \right] \quad (2.15)$$

$$u_2 = \frac{F}{2M} \left(e + \frac{GJ}{M} \right) (2l - z) + \frac{GJ}{M} \left[\left(1 - \frac{a_1^2}{B^2} \right) (D_1 \cosh(a_1 z) + D_2 \sinh(a_1 z)) + \left(1 + \frac{a_2^2}{B^2} \right) (D_3 \sin(a_2 z) + D_4 \cos(a_2 z)) \right] \quad (2.16)$$

(2.13)~(2.16) denklemlerinde 6 adet bilinmeyen sabit bulunmaktadır. Bu sabitlerin bulunabilmesi için desteğin bulunduğu noktada 4 sınır şartı ve çubuk uzunluğunun sonunda (sağ mesnette) 2 sınır şartı yazılmalıdır. Bu sınır şartları aşağıda verilmiştir.

$$z=l \quad ; \quad \Phi_1 = \Phi_2, \Phi_1^I = \Phi_2^I, u_1 = u_2, u_1^I = u_2^I$$

$$z=2l \quad ; \quad \Phi_2 = 0, \Phi_2^{II} = 0.$$

Yazılan 6 adet sınır şartına bağlı olarak denklemlerdeki sabitlere bağlı 6 bilinmeyenli 6 denklem oluşmaktadır. Bu denklemler matris formunda yazılırsa (2.17) denklemi elde edilir.

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & \cosh(2a_1l) & \sinh(2a_1l) & \sin(2a_2l) & \cos(2a_2l) \\ 0 & 0 & a_1^2 \cosh(2a_1l) & a_1^2 \sinh(2a_1l) & -a_2^2 \sin(2a_2l) & -a_2^2 \cos(2a_2l) \\ \sinh(a_1l) & \sin(a_2l) & -\cosh(a_1l) & -\sinh(a_1l) & -\sin(a_2l) & -\cos(a_2l) \\ a_1 \cosh(a_1l) & a_2 \cosh(a_2l) & -a_1 \sinh(a_1l) & -a_1 \cosh(a_1l) & -a_2 \cos(a_2l) & a_2 \sin(a_2l) \\ Y_2 \sinh(a_1l) & Y_3 \sin(a_2l) & -Y_2 \cosh(a_1l) & -Y_2 \sinh(a_1l) & -Y_3 \sin(a_2l) & -Y_3 \cos(a_2l) \\ Y_2 a_1 \cosh(a_1l) & Y_3 a_2 \cos(a_2l) & -Y_2 a_1 \sinh(a_1l) & -Y_2 a_1 \cosh(a_1l) & -Y_3 a_2 \cos(a_2l) & -Y_3 a_2 \sin(a_2l) \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} C_2 \\ C_3 \\ D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ D_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{F}{2M} \\ 0 \\ 0 \\ \frac{-F}{M} \\ 0 \\ -2Y_1 \end{pmatrix} \quad (2.17)$$

$$\text{Burada } Y_1 = \frac{F}{2M} \left(e + \frac{GJ}{M} \right), Y_2 = \frac{GJ}{M} \left(1 - \frac{a_1^2}{\beta^2} \right), Y_3 = \frac{GJ}{M} \left(1 + \frac{a_2^2}{\beta^2} \right).$$

Bilgisayar programı yardımı ile bu 6 bilinmeyenli denklem takımı çözümlerse en sade şekli ile C_2 ve C_3 sabitleri aşağıdaki gibi bulunurlar (Shu, 1988).

$$C_2 = -\frac{F}{2M} \frac{a_2^2 - \frac{Me}{EC_w}}{2a_1(a_1^2 + a_2^2)} \frac{1}{\cosh(a_1l)} \quad (2.18)$$

$$C_3 = -\frac{F}{2M} \frac{a_1^2 + \frac{Me}{EC_w}}{a_2(a_1^2 + a_2^2)} \frac{1}{\cos(a_2l)} \quad (2.19)$$

(2.18) ve (2.19) eşitliklerine (2.10) eşitliği eklenerek (2.13) ve (2.15) denklemlerinde yerlerine yazılırsa dönme ve yanal yer değiştirmenin açıklık ortasındaki yeni ifadeleri (2.20) ve (2.21) denklemleri olarak yazılırlar.

$$\Phi_1 = \left(-\frac{\beta_y(u+e \Phi)}{2M} \frac{a_2^2 - \frac{Me}{EC_w}}{2a_1(a_1^2 + a_2^2)} \frac{1}{\cosh(a_1l)} \right) \sinh(a_1l) + \left(-\frac{\beta_y(u+e \Phi)}{2M} \frac{a_1^2 + \frac{Me}{EC_w}}{a_2(a_1^2 + a_2^2)} \frac{1}{\cos(a_2l)} \right) \sin(a_2l) + \frac{\beta_y(u+e \Phi)}{2M} l \quad (2.20)$$

$$u_1 = \frac{\beta_y(u + e \Phi)}{2M} \left(e + \frac{GJ}{M} \right) l + \frac{GJ}{M} \left[\left(1 - \frac{a_1^2}{B^2} \right) \left(-\frac{\beta_y(u+e \Phi)}{2M} \frac{a_2^2 - \frac{Me}{EC_w}}{2a_1(a_1^2+a_2^2)} \frac{1}{\cosh(a_1 l)} \right) \sinh(a_1 l) + \left(1 + \frac{a_2^2}{B^2} \right) \left(-\frac{\beta_y(u+e \Phi)}{2M} \frac{a_1^2 + \frac{Me}{EC_w}}{a_2(a_1^2+a_2^2)} \frac{1}{\cos(a_2 l)} \right) \sin(a_2 l) \right] \quad (2.21)$$

(2.20) ve (2.21) denklemlerindeki u ve Φ ifadeleri 1. bölge için yazılan yer değiştirme ve dönme değerleridir ve indisleri de 1'dir. Bu denklemlerdeki değerler eşitliğin bir yanında toplanırsa u_1 ve Φ_1 ifadelerinin katsayılarını içeren bir denklem takımı ortaya çıkar. Yanal burkulmanın çözümü olabilmesi için bu katsayıları içeren matrisinin determinantının 0'a eşit olması gerekir. Gerekli düzenleme ve kısaltmalar yapılırsa içerisinde M ve β_y 'ye bağlı (2.22) denklem takımı oluşur.

$$\left[1 - \frac{\beta_y l e}{2M} \left(d_1 + \frac{GJ d_2}{Me} \right) \right] = \frac{\beta_y l e}{2M} \left(d_1 + \frac{eM}{GJ d_3} \right) \quad (2.22)$$

Burada,

$$d_1 = 1 - \frac{a_2^2}{a_1^2 + a_2^2} \frac{\tanh(a_1 l)}{a_1 l} \quad (2.23)$$

$$d_2 = 1 + \frac{a_2^4}{B^2(a_1^2 + a_2^2)} \frac{\tanh(a_1 l)}{a_1 l} \quad (2.24)$$

$$d_3 = \frac{B^2}{(a_1^2 + a_2^2)} \left(\frac{\tanh(a_1 l)}{a_1 l} - \frac{\tan(a_2 l)}{a_2 l} \right) \text{ ifadelerine karşılık gelir.} \quad (2.25)$$

Kirişin açıklık ortasından tam desteklendiği düşünülürse, yanal burkulma durumunda elastik destek sabit bir mesnet görevi yapacak ve kirişin yanal burkulması uzunluğunun her iki yarısında oluşacaktır. Bu burkulma halinde; $a_1 l = \frac{\pi}{2} \sqrt{4 + \omega^2}$ ve $a_2 l = \pi$ 'dir (Shu, 1988). Burada $\omega^2 = \frac{GJ(2l)^2}{\pi^2 EC_w}$ dır.

Bu durumda kirişin burkulma boyu l 'dir. Yanal burkulma için moment ifadesi h kiriş kesiti toplam yüksekliği olmak üzere (2.26) ve (2.27) eşitliklerinde verilmiştir (Timoshenko, 1961; Cahjes, 1974; Galambos, 2008; Shu, 1988).

$$M_{kr} = \frac{\pi}{l} \sqrt{EI_y \left(GJ + EC_w \frac{\pi^2}{l^2} \right)} \quad (2.26)$$

$$M_{kr} = \frac{\pi^2 EI_y h}{l^2} \sqrt{4 + \omega^2} \quad (2.27)$$

(2.27) eşitliğinde h ifadesi karşı tarafa geçirilirse (2.28) eşitliği elde edilir.

$$\frac{M_{kr}}{h} = \frac{\pi^2 EI_y}{l^2} \sqrt{4 + \omega^2} \quad (2.28)$$

(2.22) denklemini düzenlenirse gerekli yay sabiti değeri (2.29) eşitliği ile bulunur.

$$\beta_y = \frac{1}{\frac{Ld_1 e}{2M_{kr}} + \frac{LGJd_2}{4M_{kr}^2} + \frac{Ld_3 e^2}{4GJ}} \quad (2.29)$$

6 m uzunluğunda IPE 400 profilli kiriş için destek basınç başlığına yerleştirilirse ($e=186.5$ mm) β_y değeri 1007 kN/m, destek gövde merkezine yerleştirilirse ($e=0$) gerekli yay sabiti değeri 6168 kN/m olarak hesaplanmaktadır.

2.2.2.1.2.2. Yanal Desteğin Yanal Burkulma Momentine Etkisi

Yanal desteklerin, uçlarından tekil eğilme momentine maruz basit mesnetli kirişlerde yanal burkulmaya etkisini incelemek için 6 m uzunluğunda IPE 400 kesitli çelik kiriş kullanılmıştır. Desteğin yay sabiti ve uygulama noktasının yanal burkulma momentine etkisinin belirlenmesi için seçilen elemana değişik yay sabitlerindeki destek elemanları farklı noktalara uygulanmışlardır. Bu uygulama sonucunda elde edilen kritik yanal burkulma değerleri Tablo 2.11~2.15'de verilmiştir. Bu sonuçlar, desteksiz haldeki kritik yanal burkulma momenti (M_{0kr}) ile grafikler yardımıyla karşılaştırılmıştır. Tablolarda gösterilen destek yay sabitlerinin yanı sıra $L_y/L=0.5$ ve $h_y/h=0$ için, $\beta_y = 3600$ kN/m, $\beta_y = 4800$ kN/m ve $\beta_y = 6000$ kN/m yay sabitlerine sahip yanal destek kullanılması durumunda kritik yanal burkulma momenti değerleri sırasıyla 1087.63 kNm, 1124.34 kNm ve 1142.50 kNm, olarak hesaplanmaktadır. Kesit merkezine konulan rijit destek durumunda yanal burkulma momenti 610 kNm olarak bulunmuştur. Destek yay sabitinin 6000, 6250 ve 6500 kN/m değerleri için yanal burkulma momenti sırasıyla, 587.20, 601.50 ve 602.50 kNm olarak bulunmuştur.

Tablo 2.11. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 600$ kN/m için yanal burkulma momentleri (kNm)

| h_y/h | L_y/L | | | | | | | | | | |
|-------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-----|-----|-----|---|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 194.81 | 220.22 | 276.72 | 345.88 | 420.65 | 468.95 | SİMETRİK | | | | |
| 0.25 | 194.81 | 210.38 | 246.83 | 291.23 | 333.02 | 352.52 | | | | | |
| 0.5 | 194.81 | 203.03 | 222.04 | 244.03 | 262.16 | 269.44 | | | | | |
| 0.75 | 194.81 | 198.23 | 205.69 | 213.60 | 219.50 | 221.68 | | | | | |
| 1 | 194.81 | 195.48 | 196.84 | 198.18 | 199.11 | 199.43 | | | | | |

Tablo 2.12. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 1200$ kN/m için yanal burkulma momentleri (kNm)

| h_y/h | L_y/L | | | | | | | | | | |
|-------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-----|-----|-----|---|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 194.81 | 241.26 | 327.06 | 419.79 | 523.64 | 704.66 | SİMETRİK | | | | |
| 0.25 | 194.81 | 222.92 | 282.28 | 352.35 | 427.73 | 477.58 | | | | | |
| 0.5 | 194.81 | 209.35 | 240.33 | 275.09 | 305.16 | 318.07 | | | | | |
| 0.75 | 194.81 | 200.95 | 212.72 | 224.22 | 232.56 | 235.64 | | | | | |
| 1 | 194.81 | 196.01 | 198.02 | 199.76 | 200.89 | 201.29 | | | | | |

Tablo 2.13. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 1800$ kN/m için yanal burkulma momentleri (kNm)

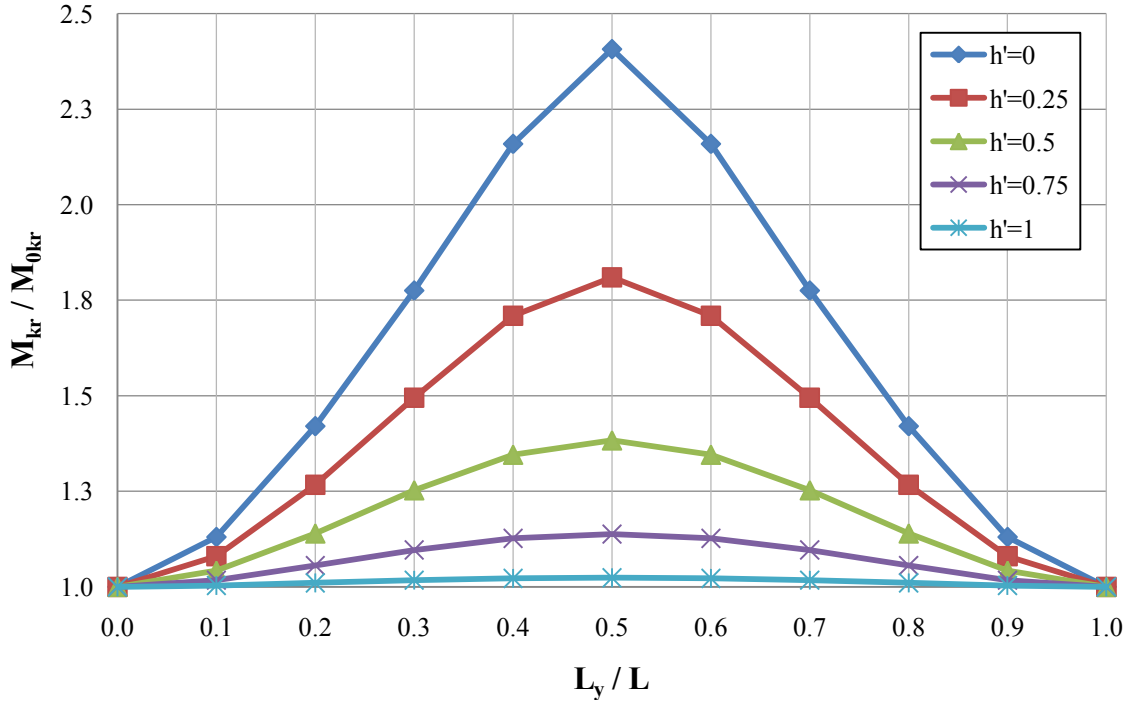
| h_y/h | L_y/L | | | | | | | | | | |
|-------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-----|-----|-----|---|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 194.81 | 258.62 | 357.09 | 451.66 | 550.66 | 820.24 | SİMETRİK | | | | |
| 0.25 | 194.81 | 233.18 | 307.00 | 390.05 | 484.44 | 579.60 | | | | | |
| 0.5 | 194.81 | 214.39 | 253.48 | 296.63 | 335.71 | 358.72 | | | | | |
| 0.75 | 194.81 | 203.16 | 217.69 | 231.19 | 240.85 | 244.42 | | | | | |
| 1 | 194.81 | 196.44 | 198.80 | 200.67 | 201.87 | 202.29 | | | | | |

Tablo 2.14. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 2400$ kN/m için yanal burkulma momentleri (kNm)

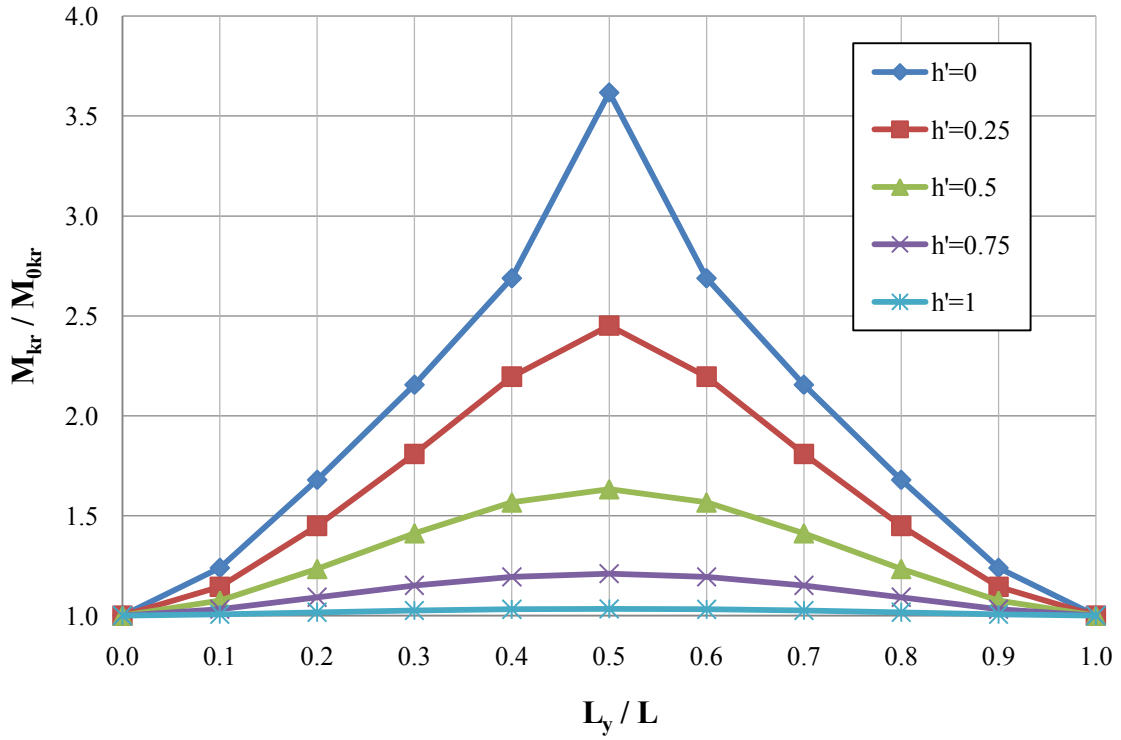
| h_y/h | L_y/L | | | | | | | | | | |
|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-----|-----|-----|---|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 194.81 | 272.98 | 375.78 | 467.44 | 560.50 | 990.75 | SİMETRİK | | | | |
| 0.25 | 194.81 | 241.71 | 324.72 | 413.63 | 514.53 | 663.02 | | | | | |
| 0.5 | 194.81 | 218.48 | 263.38 | 312.41 | 358.62 | 397.38 | | | | | |
| 0.75 | 194.81 | 204.99 | 221.40 | 236.10 | 246.62 | 250.51 | | | | | |
| 1 | 194.81 | 196.80 | 199.36 | 201.27 | 202.49 | 202.92 | | | | | |

Tablo 2.15. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 3000$ kN/m için yanal burkulma momentleri (kNm)

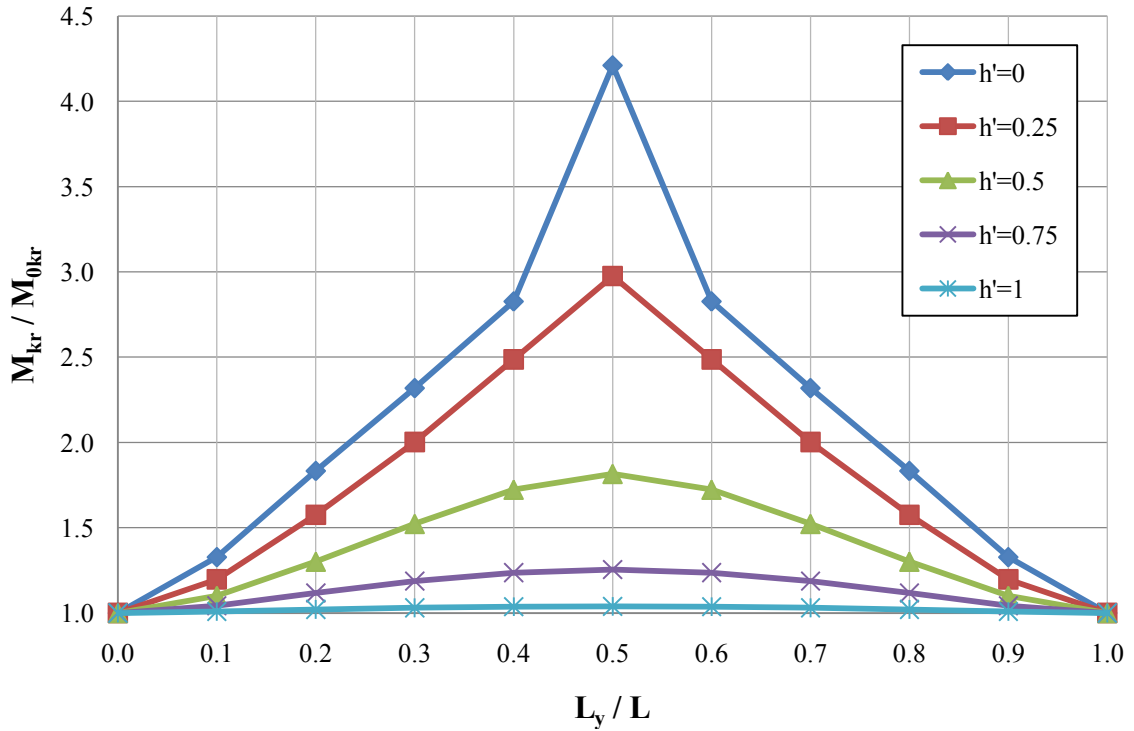
| h_y/h | L_y/L | | | | | | | | | | |
|---------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|-----|-----|-----|---|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 194.81 | 285.54 | 388.69 | 476.95 | 565.59 | 1054.79 | SİMETRİK | | | | |
| 0.25 | 194.81 | 249.25 | 338.46 | 429.79 | 531.37 | 734.50 | | | | | |
| 0.5 | 194.81 | 222.06 | 271.52 | 325.07 | 377.31 | 449.78 | | | | | |
| 0.75 | 194.81 | 206.62 | 224.41 | 239.99 | 253.57 | 255.24 | | | | | |
| 1 | 194.81 | 197.13 | 199.79 | 201.74 | 202.96 | 203.37 | | | | | |



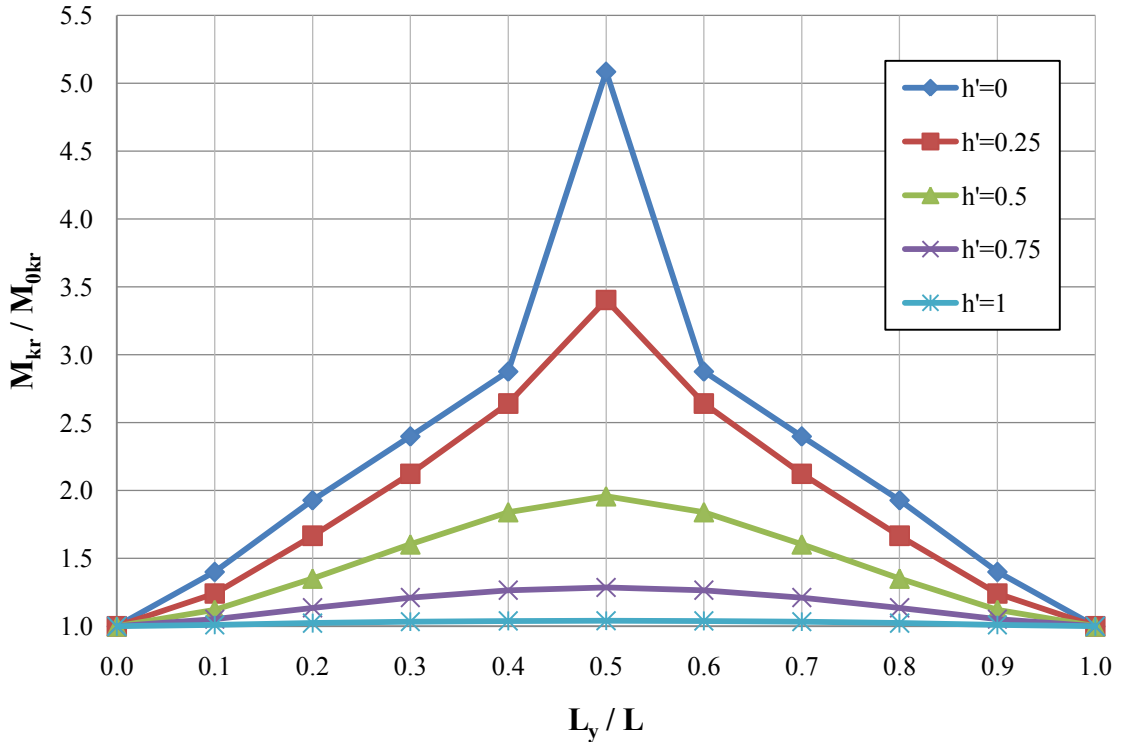
Şekil 2.35. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 600$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi



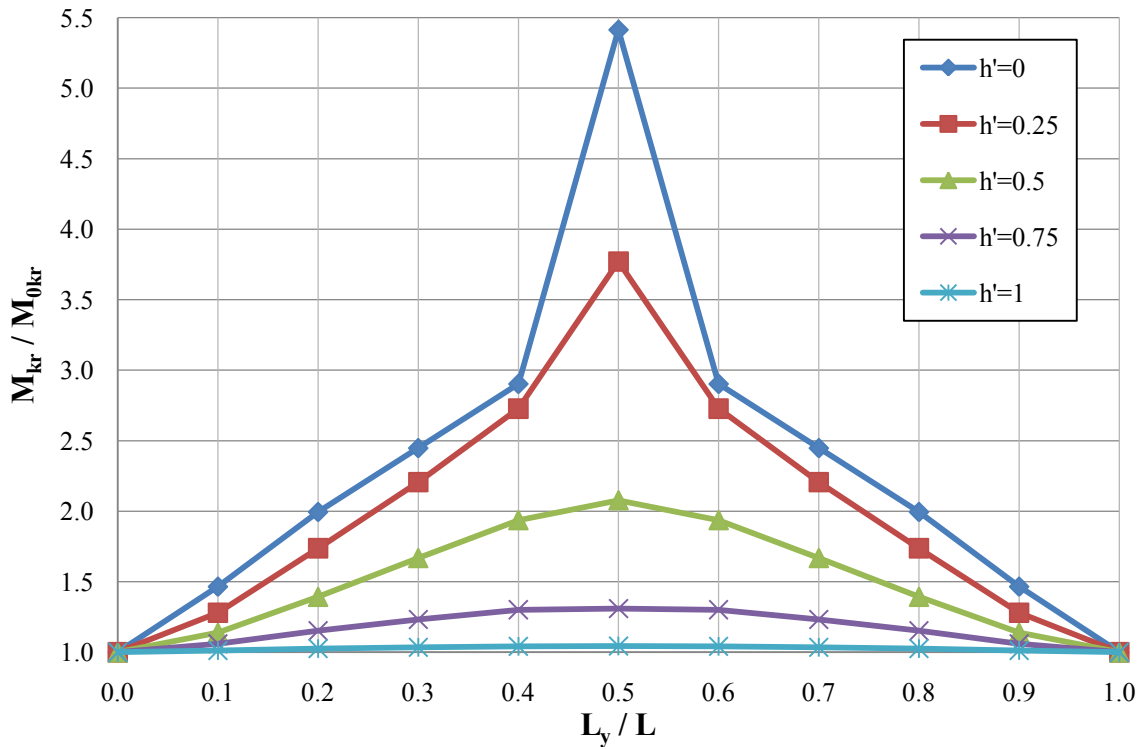
Şekil 2.36. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 1200$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi



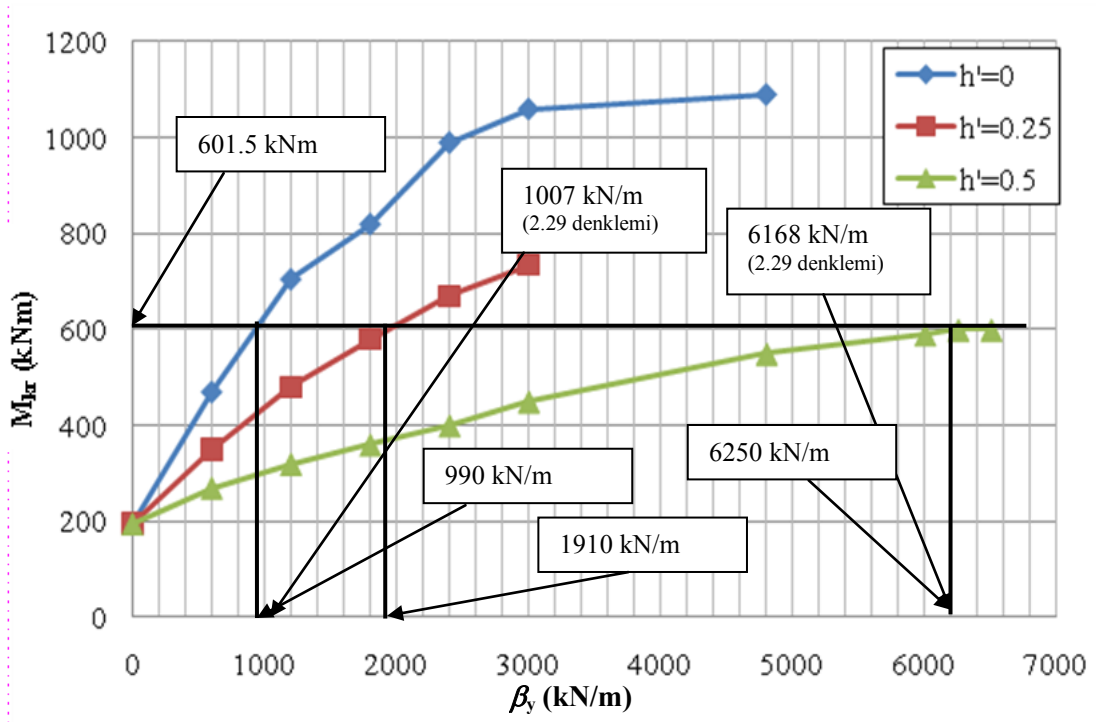
Şekil 2.37. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 1800$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi



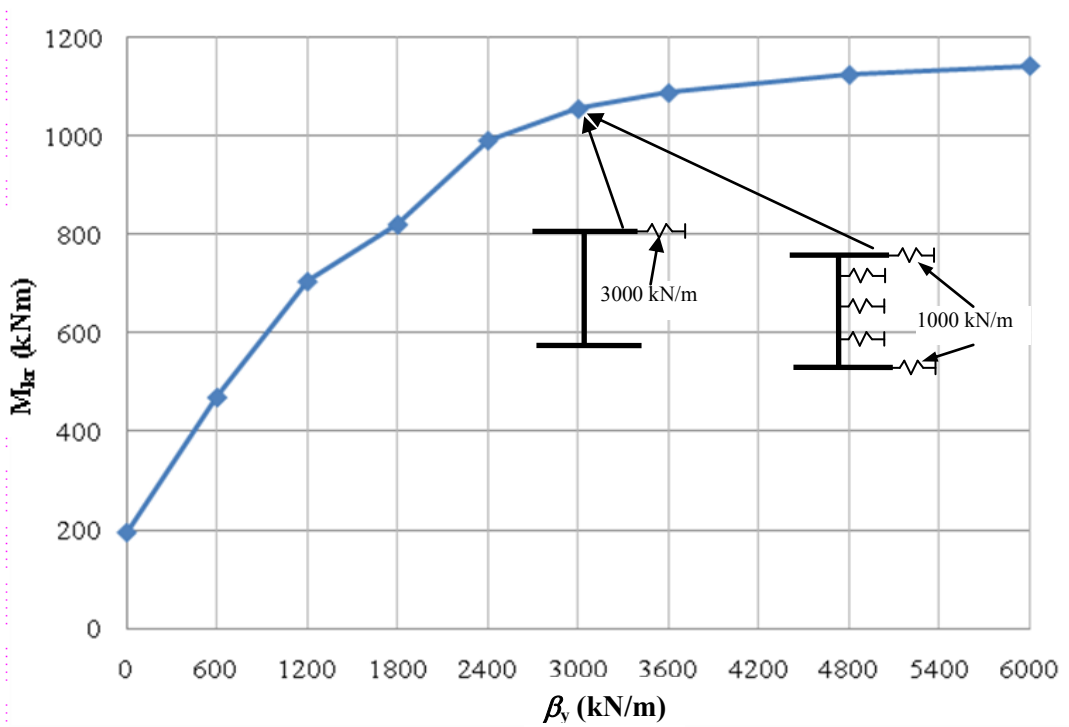
Şekil 2.38. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 2400$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi



Şekil 2.39. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_y = 3000$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi



Şekil 2.40. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte en büyük yanal burkulma momentleri ve ideal yay sabitleri



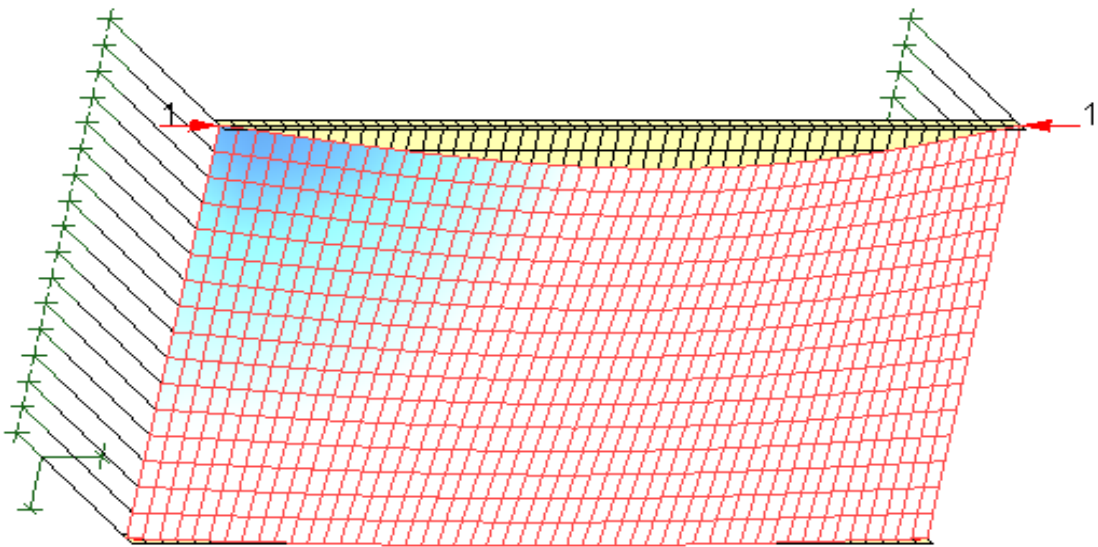
Şekil 2.41. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte yanal desteğin yay sabitlerine ve konumlarına göre yanal burkulma momentine etkisi

Bu bölümde yanal desteğin, uçlarından tekil eğilme momenti ile yüklü basit mesnetli kirişte yanal burkulma momentine etkisi incelenmiş ve bulunan değerler tablo ve grafiklerle karşılaştırılmıştır. Desteğin, kiriş uzunluğunun orta noktasında olması durumunda, üst başlığa, 0.25h, 0.5h, 0.75h ve alt başlığa yerleştirilmesi durumlarında oluşan en büyük yanal burkulma momentleri sırasıyla $\beta_y = 600$ kN/m için 468.95, 352.52, 269.44, 221.68 ve 199.43 kNm; $\beta_y = 1200$ kN/m için, 704.66, 477.58, 318.07, 235.64 ve 201.29 kNm; $\beta_y = 1800$ kN/m için 820.24, 579.60, 353.72, 244.42 ve 202.29 kNm; $\beta_y = 2400$ kN/m için 990.75, 663.02, 381.38, 250.51 ve 202.92 kNm; $\beta_y = 3000$ kN/m için 1054.79, 734.50, 404.78, 255.24 ve 203.37 kNm olarak hesaplanmaktadır. Bu değerler dikkate alındığında yanal destek yay sabitleri 600, 1200, 1800, 2400, 3000, 3600, 4800 ve 6000 kN/m için kirişteki yanal burkulma momentleri en fazla, sırasıyla 2.41, 3.62, 4.21, 5.09, 5.41, 5.58, 5.77 ve 5.86 kat artmaktadır.

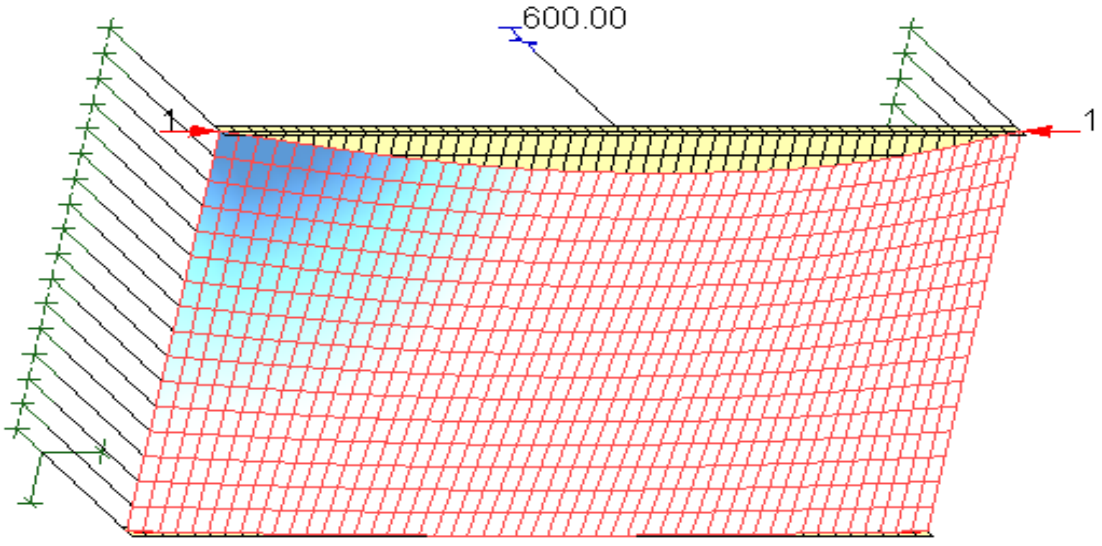
Yapılan incelemelerde, yanal destek üst başlık ve üst başlığa yakın noktalara yerleştirildiğinde desteğin yay sabiti artırıldıkça yanal burkulma momenti belirgin bir şekilde artmaktadır. Uygulamada, yanal destek kiriş uzunluğunun orta noktasına ve üst başlığa yerleştirildiğinde yanal burkulma momenti önemli ölçüde artmakta, yanal destek, bu noktadan uzaklaştırıldığında ise yanal burkulma momentindeki artım hızlı bir şekilde azalarak yanal burkulma momenti yaklaşık sabit kalmaktadır. Destek, alt başlığa veya alt başlığa yakın bölgelere yerleştirildiğinde ise yanal burkulma momenti destek yay sabitinin artması ile pek de artmamaktadır.

Yapılan çalışmada, yanal desteğin yay sabiti artırıldıkça yanal burkulma momentindeki artım giderek azalmaktadır. Bu durum Şekil 2.40'da gösterilmiştir. Yanal burkulma momenti, destek kirişin orta noktası ve üst başlığına yerleştirildiğinde $\beta_y = 3000$ kN/m için bu değer 1054.79 kNm'ye, $\beta_y = 6000$ kN/m için ise 1142.50 kNm'ye ulaşmaktadır. Destek yay sabiti arttıkça yanal burkulma momentinin daha fazla artmaması belli bir destek yay sabitinden sonra sisteme yerleştirilecek desteklerin ekonomi açısından faydalı olmayacağını göstermektedir. Bu durumda en ideal destek yay sabiti bulunarak sisteme eklenmelidir. Yapılan çalışmada seçilen örnek için ideal destek yay sabiti üst başlığa konulması için 3000 kN/m civarında olduğu görülmüştür. Ancak bu değerle elde edilen yanal burkulma momentinde kiriş ikinci modda burkulmaktadır. Bu nedenle belli bir yay sabitinden sonra yanal burkulma momentindeki artım devam etse de aslında sistem ikinci moda burkulacağından kirişin birinci moduna karşılık gelen moment

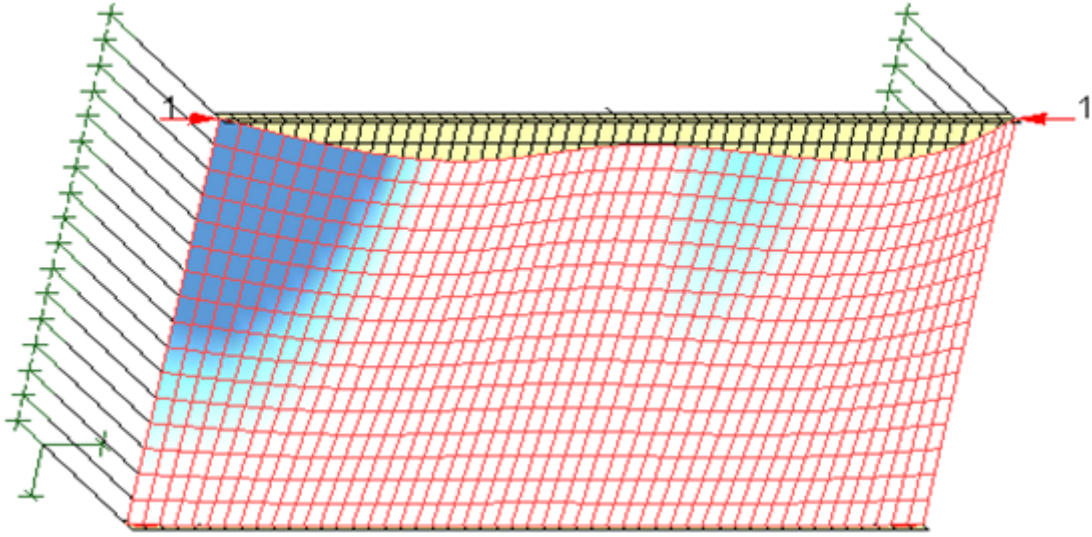
değeri bulunup yay sabiti ile eşleştirilmesi gerekmektedir. BASP programı plastik moment kapasitesi azaltma faktörü kullanmamakta ve yanal burkulma momenti artmaya devam etmektedir. Zira bu değerden sonraki destek yay sabitlerinin elastik bölgede bulunacak yanal burkulma momentine katkısı bulunmamaktadır. Yapılan çalışma sonucunda, BASP ve (2.29) denkleminde elde edilen sonuçlar Şekil 2.40'da karşılaştırılmıştır. Sonlu eleman modeli ile elde edilen sonuçlar yardımı ile çizilen grafik birinci modda burkulmaya göre düzenlenirse, bulunan değerlerin (2.29) denklemi ile bulunan değerlere yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. İdeal yay sabitleri yapılan çalışmada, desteğin orta noktaya ve üst başlığa yerleştirilmesinde sırasıyla, 6250 ve 990 kN/m bulunurken, (2.29) denkleminde bu değerler 6168 ve 1007 kN/m olarak elde edilmiştir. Bu da bulunan sonuçların birbirine yakın çıktığını göstermektedir. (2.26) denkleminde yanal burkulma momenti 630 kNm iken yapılan çalışmada bu değer 610 kNm olarak bulunmuştur. Basınç başlığı ve kesit merkezinin ortasına konulacak ideal yay sabiti ise 1910 kN/m olarak bulunmuştur. Ayrıca Şekil 2.41'de ise desteğin konumunun önemini belirtmek için bir karşılaştırma yapılmıştır. Şekil 2.41'de uygun noktaya konulacak bir destek ile farklı noktalara konulacak olan desteklerin etkisinin aynı olacağı vurgulanmıştır. Kesitin üst başlığına konulan 3000 kN/m'lik bir destek, aynı kesitte tüm noktalara konulacak olan 1000 kN/m'lik destekle aynı sonucu vermektedir. Şekil 2.41 elastik bölge varsayımı ile değerlendirilmiştir. Burada destek yay sabitleri karşılaştırılmış, elde edilecek momentin elastik veya plastik bölgede olup olmadığı araştırılmamıştır.



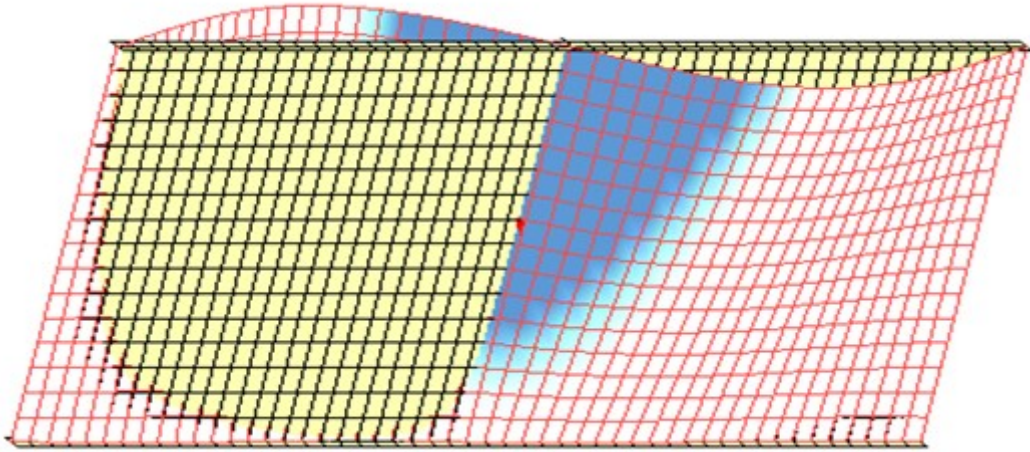
Şekil 2.42. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişin yanal burkulmuş hali



Şekil 2.43 Eğilme momenti etkisindeki basit kirişin $\beta_y = 600 \text{ kN/m}$ için yanal burkulmuş hali

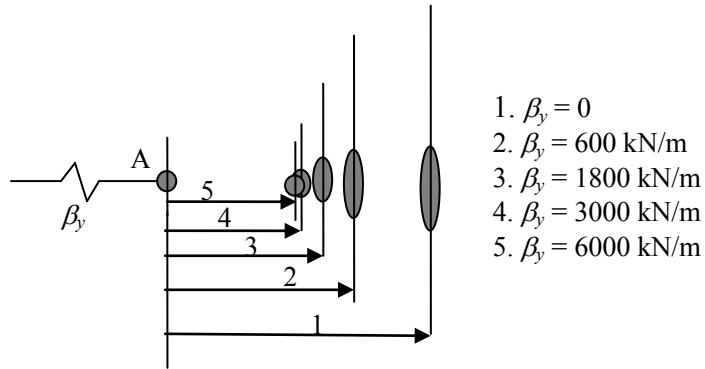


Şekil 2.44. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişin $\beta_y = 3000 \text{ kN/m}$ için yanal burkulmuş hali (destek kesit merkezinde)



Şekil 2.45. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişin $\beta_y = 6250$ kN/m için yanal burkulmuş hali (destek kesit merkezinde)

Şekil 2.42'de eğilme momentine maruz bir kirişin yanal burkulmuş hali gösterilmektedir. Şekil 2.43~2.45'te ise değişik yanal destek yay sabitlerinde kirişin yanal burkulmuş halleri verilmektedir. Destek yay sabiti arttıkça kirişin orta kesitinin yanal yer değiştirmesi sifira yaklaşmakta ve kiriş ikinci moda burkulmaktadır. Şekil 2.46, ikinci mod değerine karşılık gelen yanal yer değiştirmeye ulaşıldığında, yanal destek yay sabiti değeri ne kadar artırılırsa artırılınsın kirişin yanal burkulmuş şeklinde, yanal destek yerleştirilen noktanın yer değiştirmesi yaklaşık sabit kaldığını göstermektedir. Bu durum ikinci mod ve sonrası burkulmalarda, destek yay sabiti artsa da kirişin birinci moddaki yanal burkulma momentine etkisi olmayacağını göstermektedir.



Şekil 2.46. Yanal desteğin yay sabitine göre yanal burkulma anında A noktasının yer değiştirmesi

2.2.2.1.3. Yanal Desteğin Uç Noktasından Tekil Yük Etkisindeki Konsol Kirişte Yanal Burkulma Yüküne Etkisi

Yanal desteklerin, uç noktasından tekil yük etkisindeki konsol kirişlerde yanall burkulmaya etkisini incelemek için 6 m uzunluğunda IPE 400 kesitli çelik kiriş kullanılmıştır. Desteğin yay sabiti ve uygulama noktasının yanall burkulma momentine etkisinin belirlenmesi için seçilen elemana değişik yay sabitlerindeki destek elemanları farklı noktalara uygulanmışlardır. Bu uygulama sonucunda elde edilen yanall burkulma değerleri Tablo 2.14~2.17'de verilmiştir. Bu sonuçlar, desteksiz haldeki yanall burkulma yükü (P_{0kr}) ile grafikler yardımıyla karşılaştırılmıştır.

Tablo 2.16. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_y = 50$ kN/m için yanall burkulma yükleri (kN)

| h_y/h | L_y/L | | | | | | | | | | |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 52.67 | 52.67 | 52.80 | 53.20 | 54.05 | 55.56 | 57.87 | 60.99 | 64.86 | 69.39 | 74.15 |
| 0.25 | 52.67 | 52.67 | 52.71 | 52.84 | 53.20 | 53.91 | 55.20 | 57.12 | 59.78 | 63.08 | 67.79 |
| 0.5 | 52.67 | 52.67 | 52.67 | 52.67 | 52.76 | 52.98 | 53.47 | 54.49 | 56.00 | 58.14 | 61.92 |
| 0.75 | 52.67 | 52.67 | 52.71 | 52.71 | 52.71 | 52.67 | 52.71 | 53.02 | 53.73 | 54.85 | 56.63 |
| 1 | 52.67 | 52.67 | 52.76 | 52.93 | 53.07 | 53.07 | 52.89 | 52.71 | 52.76 | 53.07 | 53.69 |

Tablo 2.17. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_y = 300$ kN/m için yanall burkulma yükleri (kN)

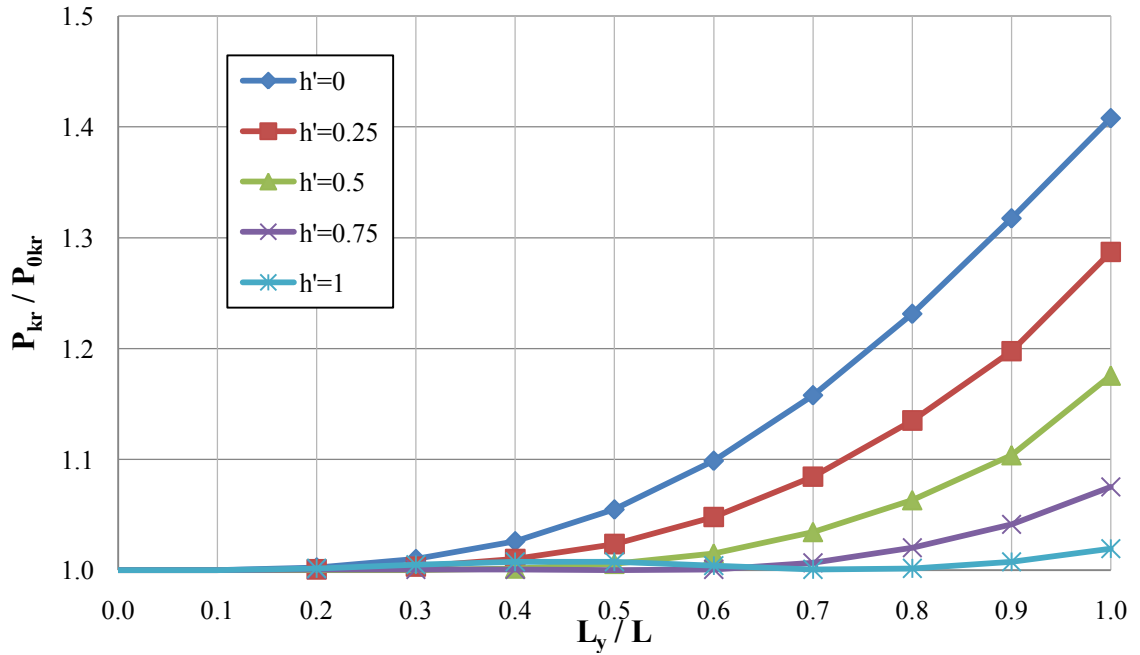
| h_y/h | L_y/L | | | | | | | | | | |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 52.67 | 52.76 | 53.33 | 55.20 | 58.36 | 62.59 | 67.57 | 73.22 | 79.40 | 85.67 | 91.32 |
| 0.25 | 52.67 | 52.71 | 52.84 | 53.47 | 54.80 | 56.98 | 59.92 | 63.61 | 67.97 | 72.91 | 79.93 |
| 0.5 | 52.67 | 52.67 | 52.67 | 52.71 | 52.93 | 53.65 | 54.98 | 56.98 | 59.70 | 62.94 | 68.86 |
| 0.75 | 52.67 | 52.71 | 52.80 | 52.89 | 52.84 | 52.67 | 52.80 | 53.47 | 54.76 | 56.54 | 59.21 |
| 1 | 52.67 | 52.71 | 53.20 | 53.96 | 54.31 | 53.91 | 53.16 | 52.71 | 52.80 | 53.38 | 54.27 |

Tablo 2.18. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_y = 600$ kN/m için yanal burkulma yükleri (kN)

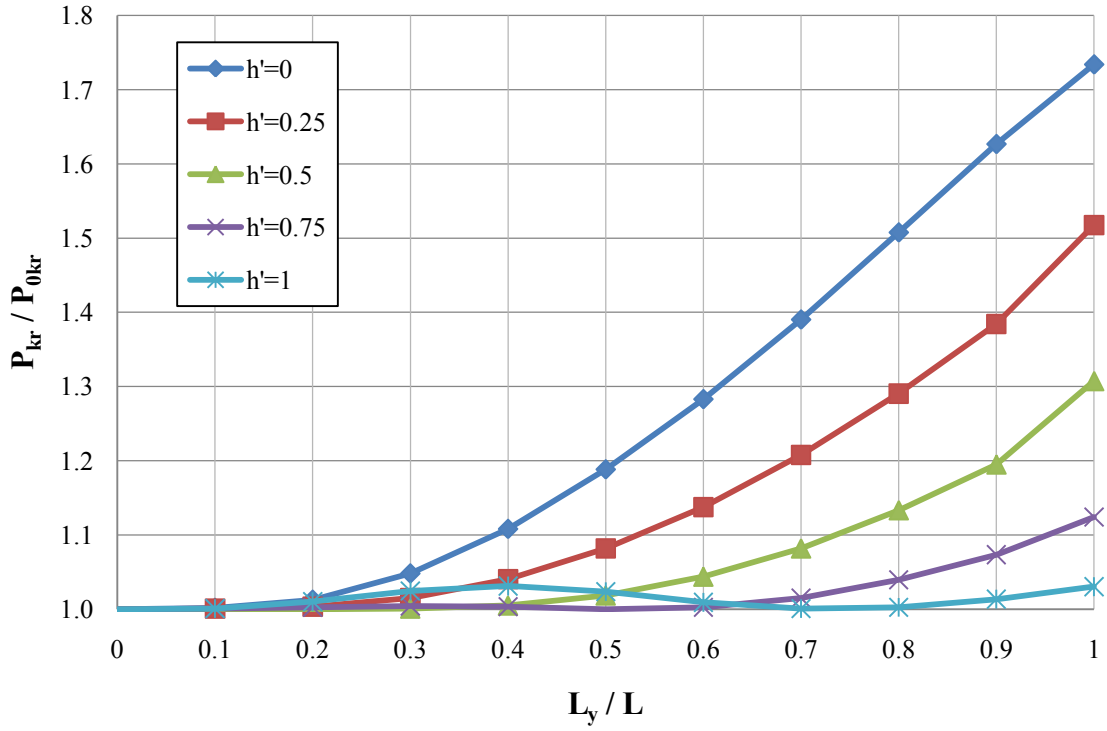
| h_y/h | L_y/L | | | | | | | | | | |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 52.67 | 52.80 | 53.91 | 56.80 | 60.90 | 65.70 | 70.95 | 76.69 | 82.83 | 89.10 | 94.52 |
| 0.25 | 52.67 | 52.71 | 52.98 | 53.96 | 55.78 | 58.36 | 61.61 | 65.48 | 69.93 | 74.95 | 82.25 |
| 0.5 | 52.67 | 52.67 | 52.67 | 52.76 | 53.07 | 53.96 | 55.47 | 57.69 | 60.54 | 63.92 | 70.19 |
| 0.75 | 52.67 | 52.71 | 52.89 | 53.07 | 52.89 | 52.71 | 52.84 | 53.60 | 54.98 | 56.85 | 59.65 |
| 1 | 52.67 | 52.80 | 53.60 | 54.80 | 55.07 | 54.27 | 53.29 | 52.71 | 52.80 | 53.42 | 53.91 |

Tablo 2.19. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_y = 1200$ kN/m için yanal burkulma yükleri (kN)

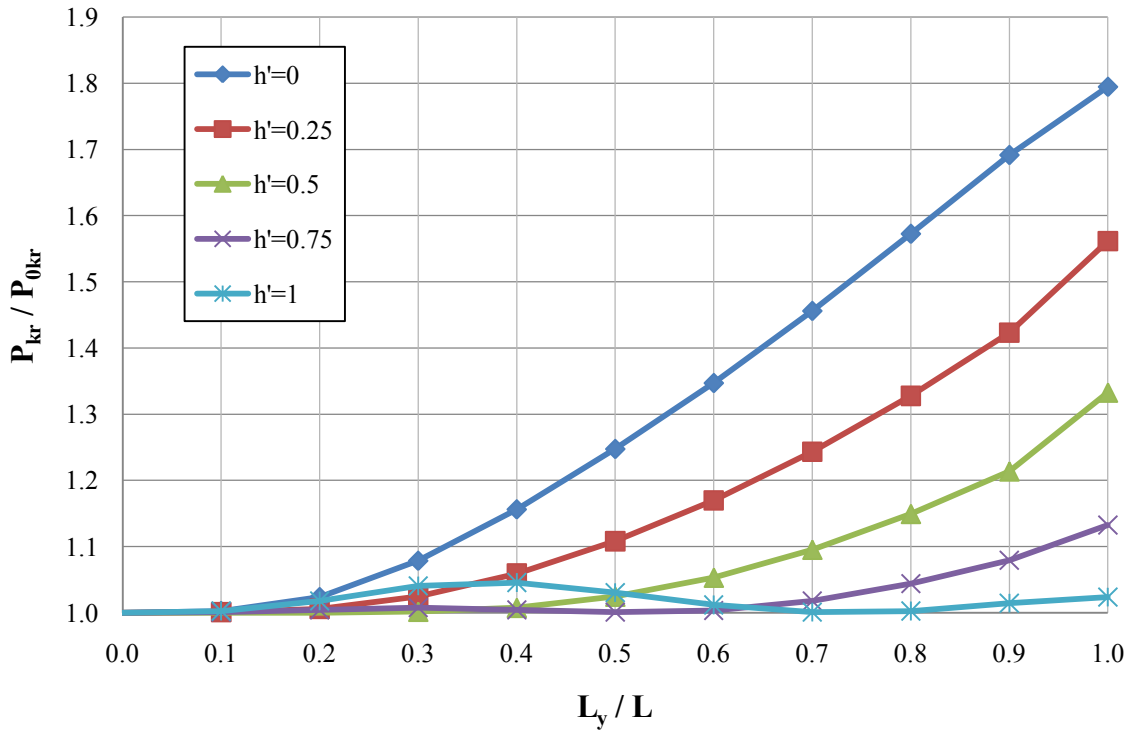
| h_y/h | L_y/L | | | | | | | | | | |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 52.67 | 52.89 | 54.80 | 58.72 | 63.30 | 68.10 | 73.26 | 78.87 | 84.87 | 91.01 | 96.30 |
| 0.25 | 52.67 | 52.71 | 53.20 | 54.62 | 56.76 | 59.47 | 62.72 | 66.63 | 71.13 | 76.15 | 83.54 |
| 0.5 | 52.67 | 52.67 | 52.67 | 52.76 | 53.20 | 54.18 | 55.83 | 58.14 | 61.03 | 64.50 | 70.90 |
| 0.75 | 52.67 | 52.71 | 53.07 | 53.07 | 52.98 | 52.71 | 52.84 | 53.69 | 55.11 | 57.07 | 59.87 |
| 1 | 52.67 | 52.89 | 54.31 | 54.31 | 55.78 | 54.54 | 53.33 | 52.71 | 52.80 | 53.47 | 54.40 |



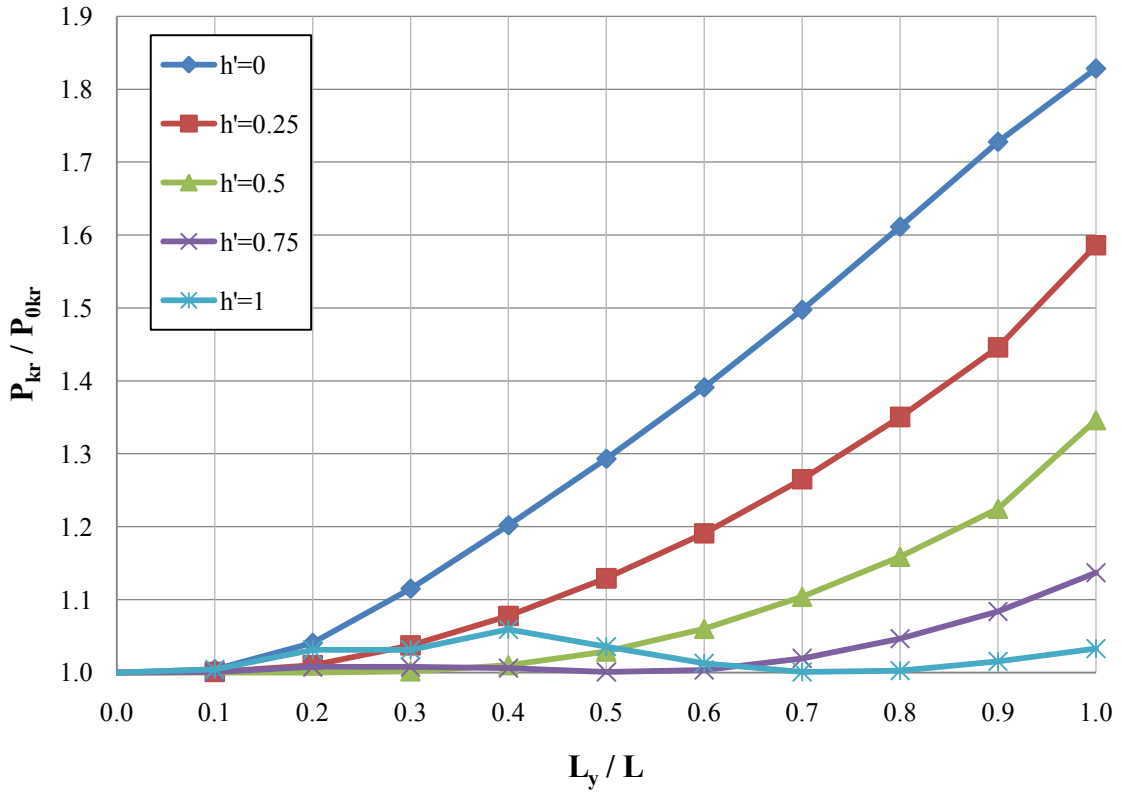
Şekil 2.47. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_y = 50$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi



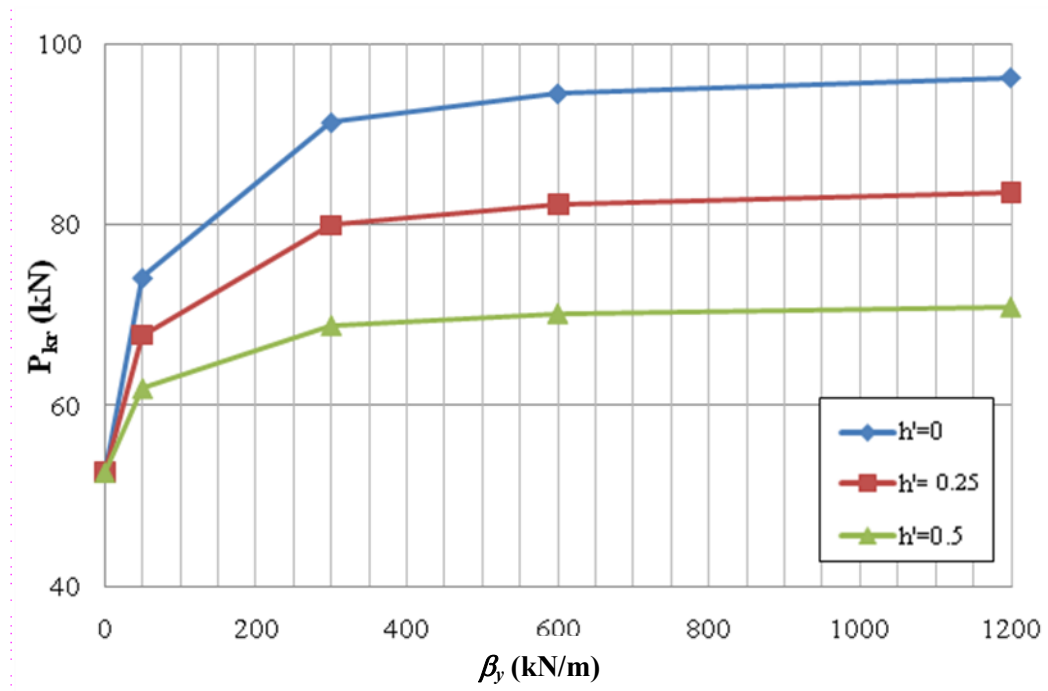
Şekil 2.48. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_y = 300$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi



Şekil 2.49. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_y = 600$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi



Şekil 2.50. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_y = 1200$ kN/m için yanal desteğin yanal burkulmaya etkisi



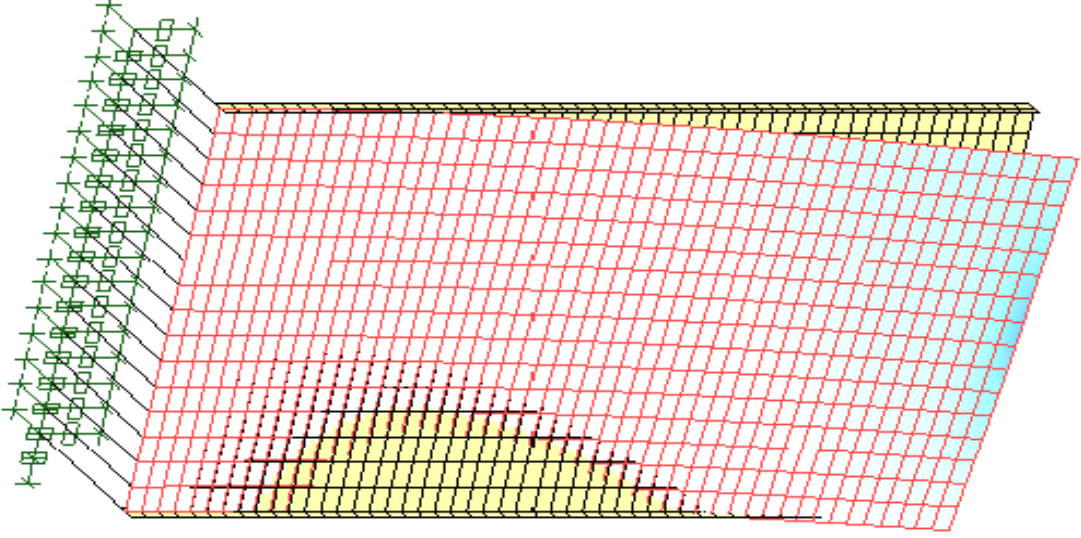
Şekil 2.51. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte yanal desteğin yay sabitine göre en büyük yanal burkulma yükleri

Bu bölümde yanal desteğin, uç noktasından tekil yük etkisindeki konsol kirişin yanal burkulma yüküne etkisi incelenmiş ve bulunan değerler tablo ve grafiklerle karşılaştırılmıştır. Desteğin, $L_y/L=1$ mesafesinde, üst başlığa, 0.25h, 0.5h, 0.75h ve alt başlığa yerleştirilmesi durumlarında oluşan yanal burkulma yükleri sırasıyla, $\beta_y = 50$ kN/m için 74.15, 67.79, 61.92, 56.63 ve 53.69 kN; $\beta_y = 300$ kN/m için, 91.32, 79.93, 68.86, 59.21 ve 54.27 kN; $\beta_y = 600$ kN/m için 94.52, 82.25, 70.19, 59.65 ve 53.91 kN; $\beta_y = 1200$ kN/m için 96.30, 83.54, 70.90, 59.87 ve 54.40 kN olarak hesaplanmaktadır. Bu değerler dikkate alındığında yanal destek yay sabitleri 50, 300, 600 ve 1200 kN/m için kirişteki yanal burkulma yükleri sırasıyla, en fazla 1.41, 1.73, 1.79 ve 1.83 kat artmaktadır.

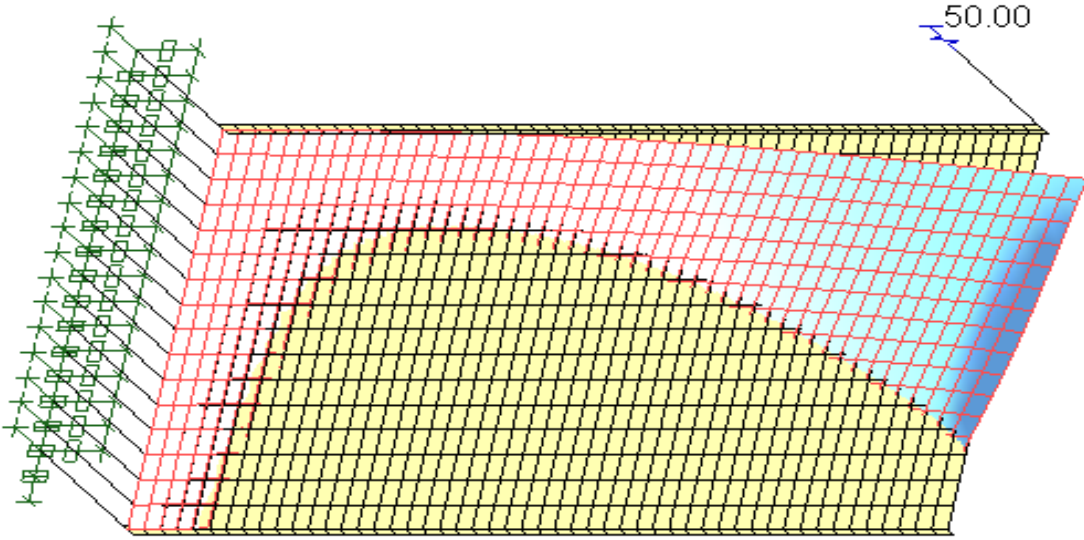
Yapılan incelemelerde, yanal destek üst başlık ve üst başlığa yakın noktalara yerleştirildiğinde, desteğin yay sabiti artırıldıkça yanal burkulma yükünün belirgin bir şekilde arttığı görülmüştür. Buna ek olarak yanal destek, kirişin boş ucuna ve buraya yakın noktalara ve üst başlığa yerleştirildiğinde yanal burkulma yükü önemli ölçüde artmakta, yanal destek, bu noktadan uzaklaştırıldığında ise yanal burkulma yükündeki artım hızlı bir şekilde azalmaktadır. Destek, alt başlığa veya alt başlığa yakın bölgelere yerleştirildiğinde ise yanal burkulma yükü destek yay sabitinin artması ile pek de artmamaktadır. Grafiklerden de görüleceği gibi, yanal desteğin yay sabiti arttıkça yanal burkulma yükündeki artım giderek azalmaktadır. Bu durum Şekil 2.49'da gösterilmiştir. Yanal burkulma yükü, destek, kirişin boş ucuna ve üst başlığına yerleştirildiğinde $\beta_y = 1200$ kN/m için 96.30 kN'a ulaşmaktadır. Destek yay sabiti arttıkça yanal burkulma yükünün daha fazla artmaması belli bir destek yay sabitinden sonra sisteme yerleştirilecek desteklerin yay sabitlerinin belirlenmesinin ekonomi açısından önemli bir yer tuttuğunu göstermektedir. Bu durumda en ideal destek yay sabiti bulunarak sisteme eklenmelidir. Yapılan çalışmada, IPE 400 profilli, 6 m uzunluğundaki bir konsol kirişe üst başlığa eklenecek ideal destek yay sabitinin 600 kN/m civarında olduğu görülmüş buna karşılık gelen yanal burkulma yükü de 94.52 kN olarak hesaplanmıştır.

Yukarıdaki şekillerde, genel anlamda $h'=h_y/h=0$ için bulunan kritik yük değeri diğerlerine göre oldukça küçüktür. Ancak, $h'=0$ ve $L_y/L=0.4$ ve yakın bölgeler için bulunan kritik yük değerleri az da olsa $h'=0.25$ ve $h'=0.5$ için bulunan değerlerden yüksektir. Bu da kirişin yanal burkulmuş halinde, o noktadaki yanal yer değiştirmelerin bahsedilen diğer noktadaki yanal yer değiştirmelerden fazla olduğunu göstermektedir. Şekil 2.52'de söz

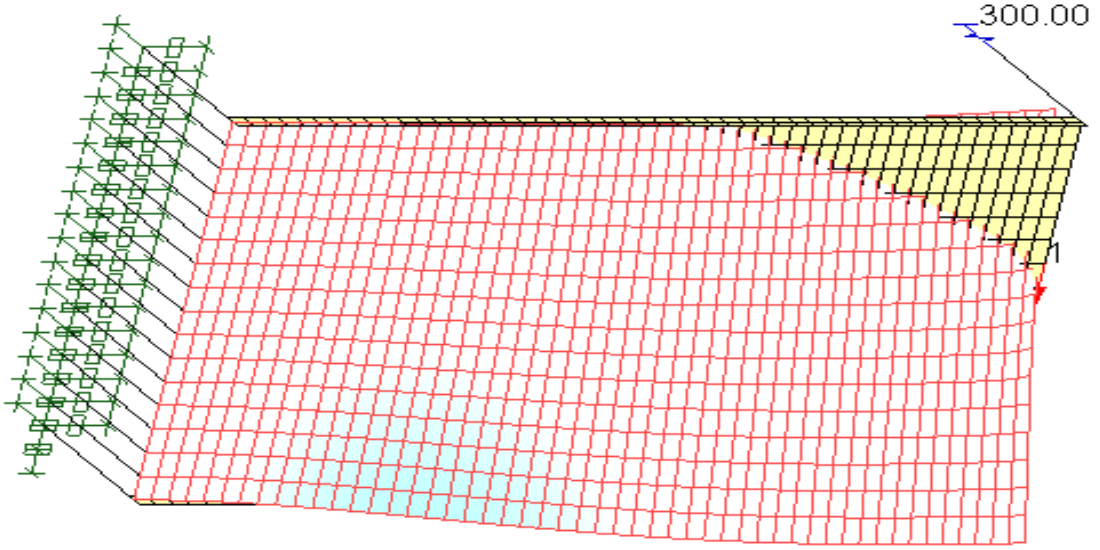
konusu bölgenin sarı renkle gösterilmesi, yanal burkulmadan sonra bu noktadaki yer değiştirmenin burkulma davranışı ile ters yönde olduğunu göstermektedir.



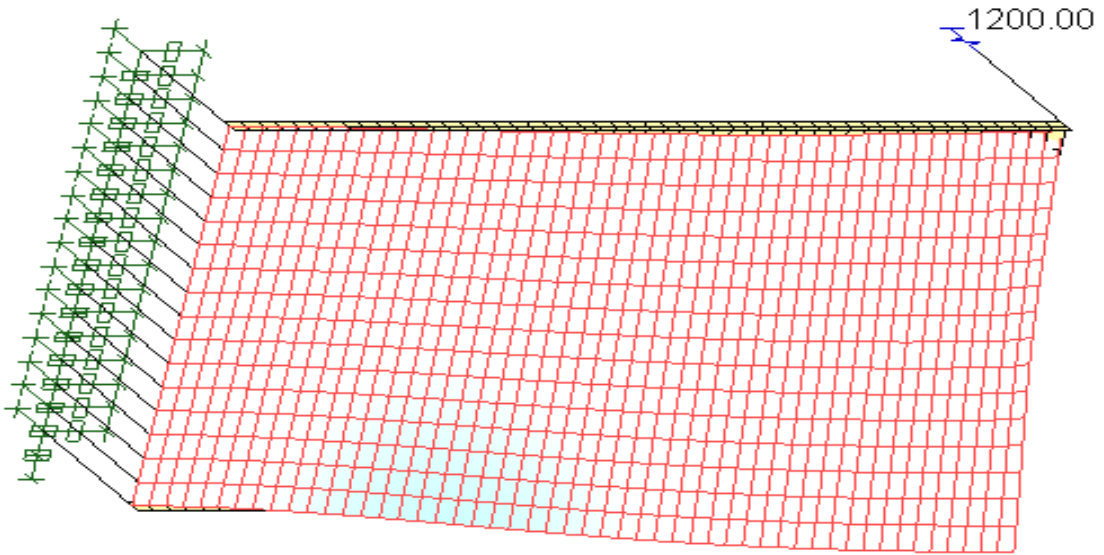
Şekil 2.52. Tekil yük etkisindeki konsol kirişin yanal burkulmuş hali



Şekil 2.53. Tekil yük etkisindeki konsol kirişin $\beta_y = 50 \text{ kN/m}$ için yanal burkulması



Şekil 2.54 Tekil yük etkisindeki konsol kirişin $\beta_y = 300 \text{ kN/m}$ için yanal burkulması



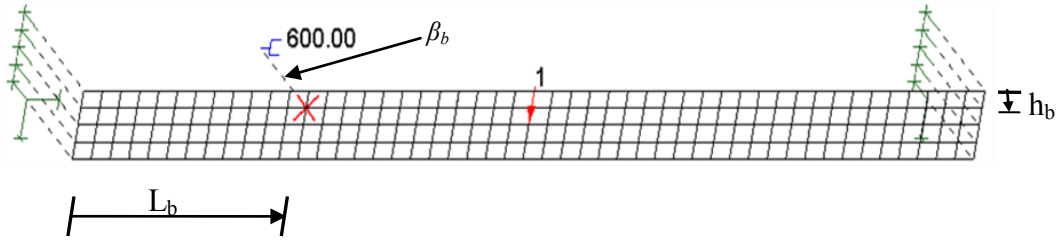
Şekil 2.55. Tekil yük etkisindeki konsol kirişin $\beta_y = 1200 \text{ kN/m}$ için yanal burkulması

Şekil 2.54~2.55'ten de görüleceği üzere, kirişe eklenen yanal desteğin yay sabiti arttıkça kirişin uç noktasının üst başlığındaki yatay yer değiştirme sıfıra (0) yaklaşmaktadır. Bu durum kirişin, desteksiz halde bulunan yanal burkulma yükünden daha büyük bir yükte, üst başlığında meydana gelecek yatay yer değiştirmeden değil de, alt başlıkta meydana gelecek yatay yer değiştirme ve burulmadan dolayı yanal olarak burkulacağını göstermektedir. Şekil 2.52~2.55'te sarı renk kirişin yalın halini, diğer renkler ise kirişin yanal burkulmuş halini ifade etmektedir. Kirişte başlangıçta pozitif yönde yatay yer değiştirme yapan nokta sayısı, sisteme etki eden yanal destek yay sabiti arttıkça

azalmakta ve ters yönde yatay yer değiştirme yapmaktadırlar. Şekil 2.55 kirişin bütün noktalarının ters yönde yatay yer değiştirme yaptığını göstermektedir.

2.2.2.2. I Kesitli Kirişler İçin Burulma Desteğinin Yanal Burkulma Yüğüne Etkisi

Bu bölümde değişik yay sabitlerindeki burulma desteklerinin, I kesitli kirişte uzunluk ve yükseklik doğrultusunda farklı noktalara yerleştirilerek, kritik yanal burkulma yüğüne etkilerinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Bu alışma aynı zamanda BASP programının çözüm üretirken Uygulama için, 6 m uzunluğunda I kesitli, iki ucu basit mesnetli ortasından tekil yüklü kiriş, ucundan tekil yüklü konsol kiriş ve iki ucundan eğilme momentine maruz basit mesnetli kiriş olmak üzere üç farklı örnek seçilmiştir.



Şekil 2.56. Ortasından tekil yüğe maruz basit mesnetli kirişte burulma desteğinin yeri

Şekil 2.56'da gösterildiği gibi konsol kiriş ve tekil eğilmeye maruz basit mesnetli kiriş için de burulma desteğinin yeri aynı Şekilde ifade edilmektedir. Burada L_b burulma desteğinin sol mesnede uzaklığını, h_b burulma desteğinin üst başlığın merkezinden uzaklığını ve β_b ise burulma desteğinin yay sabitini temsil etmektedirler. Yukarıda belirtilen üç farklı örnek için de elde edilen sonuçlar tablolar yardımı ile ifade edilmektedir. Uygulama sonunda, değişik konum ve yay sabitlerine sahip destekler için grafikler çizilmiş ve ifade edilen üç örnek için de desteklerin, kritik yanal burkulma yükünü nasıl etkilediklerinin incelenmesi amaçlanmaktadır.

2.2.2.2.1. Burulma Desteğinin Ortasından Tekil Yük Etkisindeki Basit Mesnetli Kirişte Yanal Burkulma Yüküne Etkisi

Burulma desteklerinin tekil yüklü basit mesnetli kirişlerde yanal burkulmaya etkisini incelemek için 6 m uzunluğunda IPE 400 kesitli çelik kiriş kullanılmıştır. Desteğin yay sabiti ve uygulama noktasının yanal burkulma yüküne etkisinin belirlenmesi için seçilen elemana değişik yay sabitlerindeki destek elemanları farklı noktalara uygulanmışlardır. Bu uygulama sonucunda elde edilen yanal burkulma değerleri Tablo 2.20~2.24'te verilmiştir. Çalışmada, elde edilen sonuçlar, desteksiz haldeki yanal burkulma yükü (P_{0kr}) ile grafikler yardımıyla karşılaştırılmıştır. Tablolarda verilen yay sabitlerinin yanında, burulma desteğinin kiriş uzunluğu orta noktasının alt başlığa yerleştirilmesi durumunda $\beta_b = 900$ kNm/rad için de yanal burkulma yükü 295.63 kN olarak hesaplanmaktadır.

Tablo 2.20. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 150$ kNm/rad için yanal burkulma yükleri (kN)

| h_b/h | L_b/L | | | | | | | | | | |
|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-----|-----|-----|---|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 168.50 | 177.35 | 194.92 | 214.58 | 227.17 | 220.14 | SİMETRİK | | | | |
| 0.25 | 168.01 | 175.30 | 190.74 | 208.93 | 223.39 | 211.60 | | | | | |
| 0.5 | 168.01 | 174.59 | 190.25 | 209.69 | 228.10 | 237.40 | | | | | |
| 0.75 | 168.01 | 173.35 | 187.31 | 205.55 | 224.95 | 259.38 | | | | | |
| 1 | 168.28 | 174.37 | 190.12 | 211.65 | 237.40 | 263.96 | | | | | |

Tablo 2.21. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 300$ kNm/rad için yanal burkulma yükleri (kN)

| h_b/h | L_b/L | | | | | | | | | | |
|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-----|-----|-----|---|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 168.63 | 178.91 | 198.88 | 221.17 | 235.44 | 227.22 | SİMETRİK | | | | |
| 0.25 | 168.01 | 176.33 | 193.50 | 213.83 | 230.15 | 216.81 | | | | | |
| 0.5 | 168.01 | 175.57 | 193.14 | 214.89 | 235.84 | 246.70 | | | | | |
| 0.75 | 168.01 | 174.10 | 189.67 | 209.96 | 231.89 | 271.65 | | | | | |
| 1 | 168.32 | 175.48 | 193.50 | 218.10 | 248.34 | 280.64 | | | | | |

Tablo 2.22. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 450$ kNm/rad için yanal burkulma yükleri (kN)

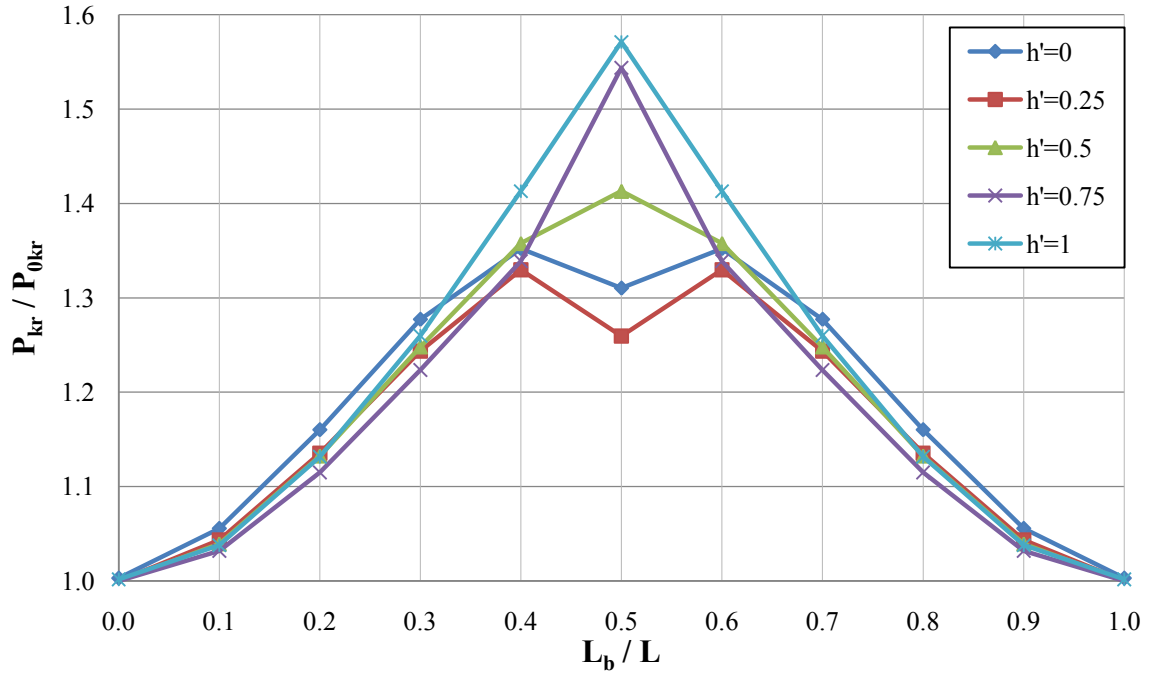
| h_b/h | L_b/L | | | | | | | | | | |
|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-----|-----|-----|---|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 168.68 | 179.57 | 200.48 | 223.75 | 238.74 | 230.02 | SİMETRİK | | | | |
| 0.25 | 168.01 | 176.68 | 194.61 | 215.74 | 232.78 | 218.81 | | | | | |
| 0.5 | 168.01 | 175.97 | 194.25 | 216.94 | 238.91 | 250.43 | | | | | |
| 0.75 | 168.01 | 174.37 | 190.56 | 211.69 | 234.60 | 276.55 | | | | | |
| 1 | 168.37 | 175.93 | 194.88 | 220.68 | 252.84 | 287.62 | | | | | |

Tablo 2.23. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 600$ kNm/rad için yanal burkulma yükleri (kN)

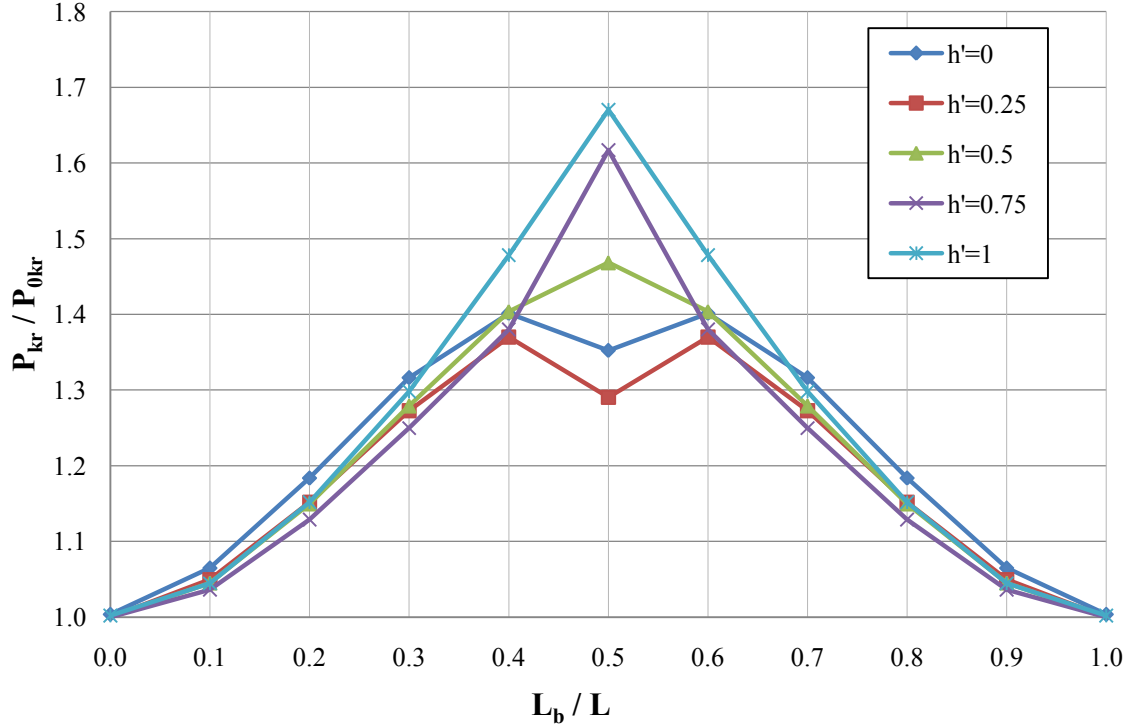
| h_b/h | L_b/L | | | | | | | | | | |
|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-----|-----|-----|---|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 168.72 | 179.93 | 201.33 | 225.17 | 240.52 | 231.53 | SİMETRİK | | | | |
| 0.25 | 168.01 | 176.91 | 195.19 | 216.72 | 234.20 | 219.92 | | | | | |
| 0.5 | 168.01 | 176.15 | 194.88 | 218.01 | 240.56 | 252.39 | | | | | |
| 0.75 | 168.01 | 174.55 | 191.05 | 212.58 | 236.02 | 279.17 | | | | | |
| 1 | 168.37 | 176.19 | 195.63 | 222.10 | 255.28 | 291.49 | | | | | |

Tablo 2.24. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 750$ kNm/rad için yanal burkulma yükleri (kN)

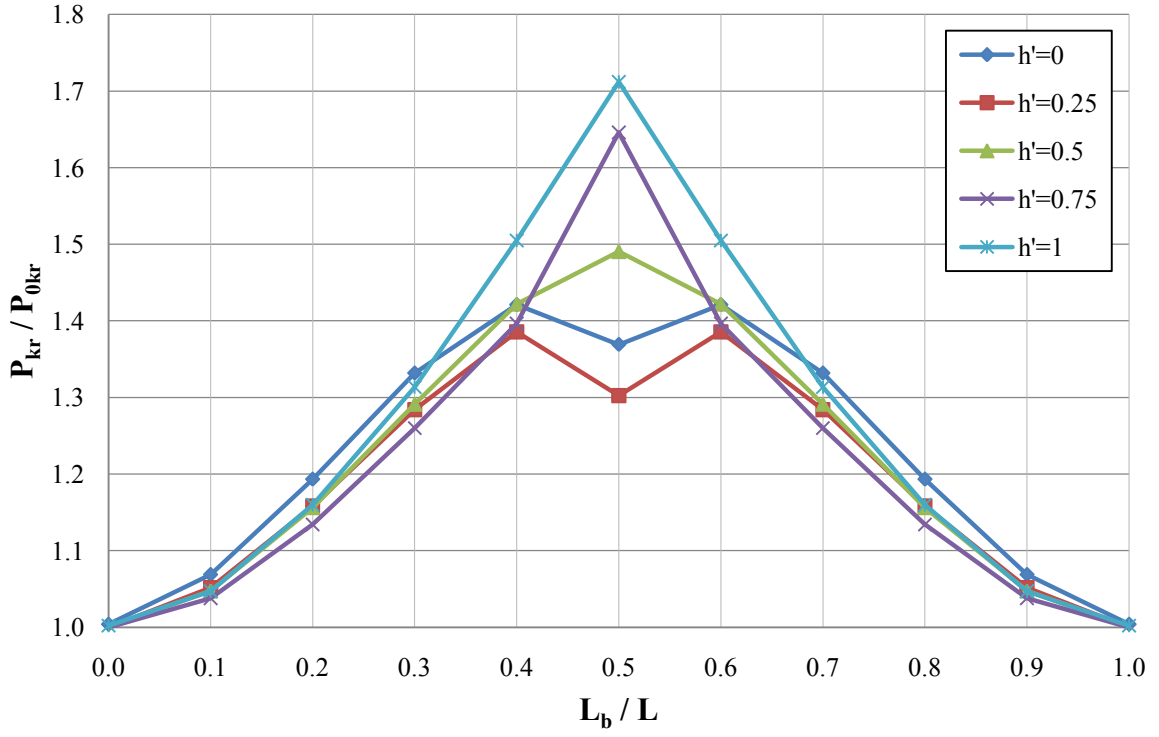
| h_b/h | L_b/L | | | | | | | | | | |
|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-----|-----|-----|---|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 168.72 | 180.15 | 201.86 | 226.06 | 241.63 | 232.46 | SİMETRİK | | | | |
| 0.25 | 168.01 | 177.04 | 195.54 | 217.34 | 235.04 | 220.59 | | | | | |
| 0.5 | 168.01 | 176.28 | 195.23 | 218.67 | 241.58 | 253.64 | | | | | |
| 0.75 | 168.01 | 174.64 | 191.36 | 213.16 | 236.91 | 280.77 | | | | | |
| 1 | 168.37 | 176.33 | 196.08 | 222.99 | 256.80 | 293.94 | | | | | |



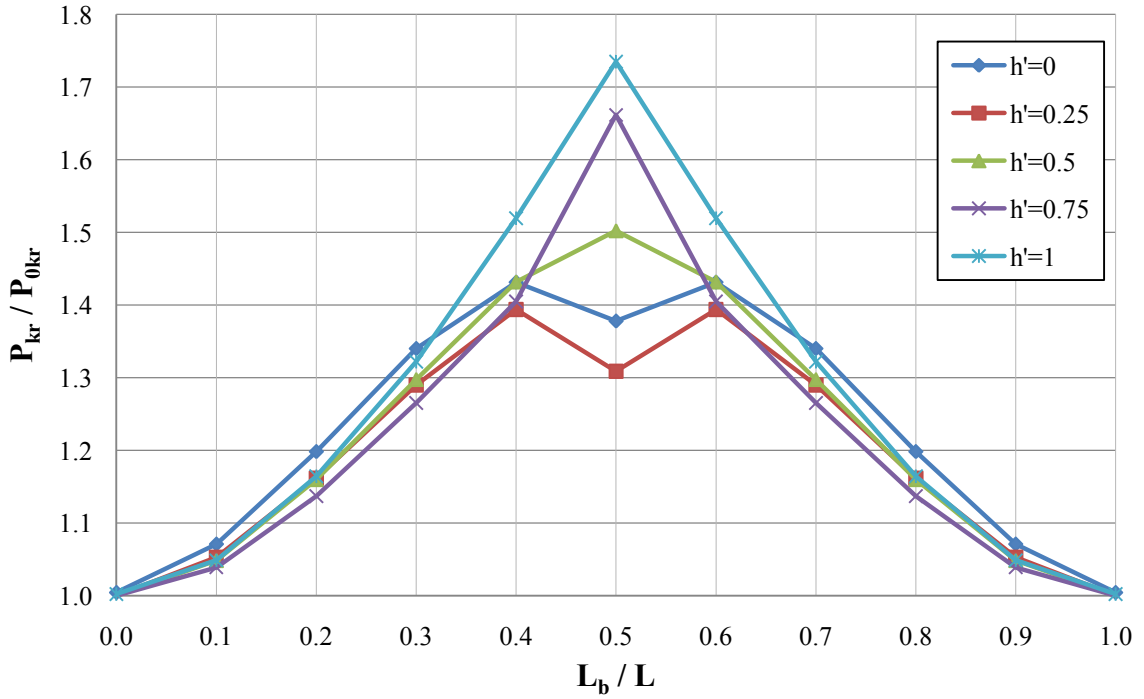
Şekil 2.57. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 150$ kNm/rad için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi



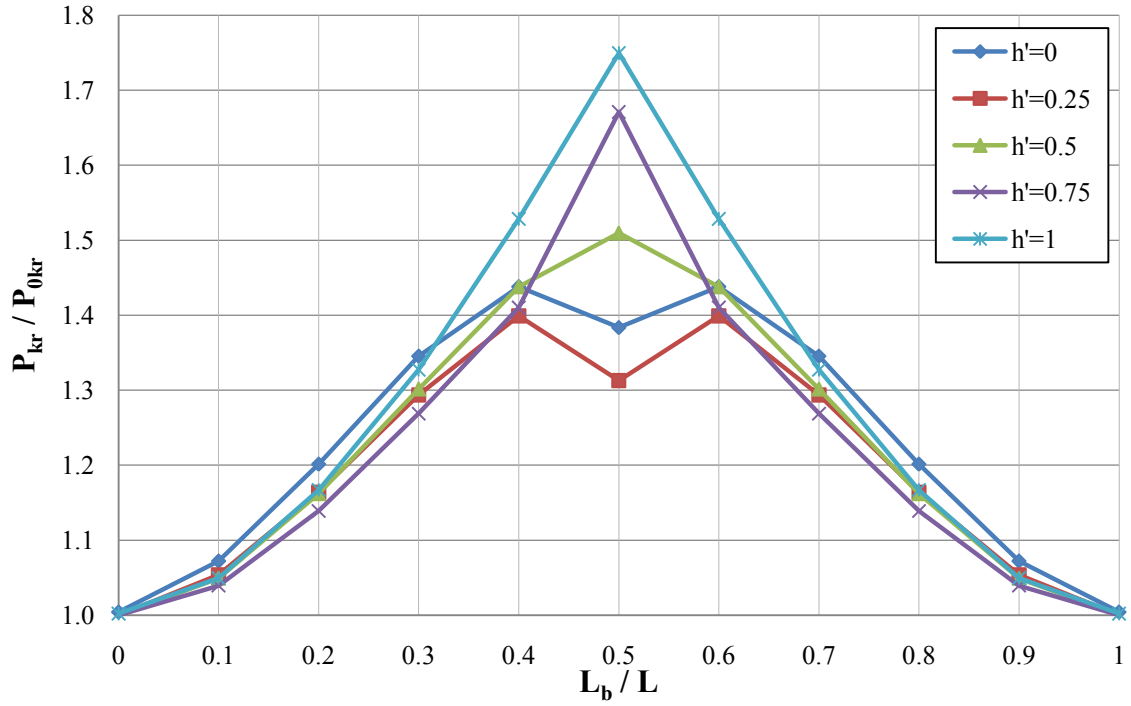
Şekil 2.58. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 300$ kNm/rad için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi



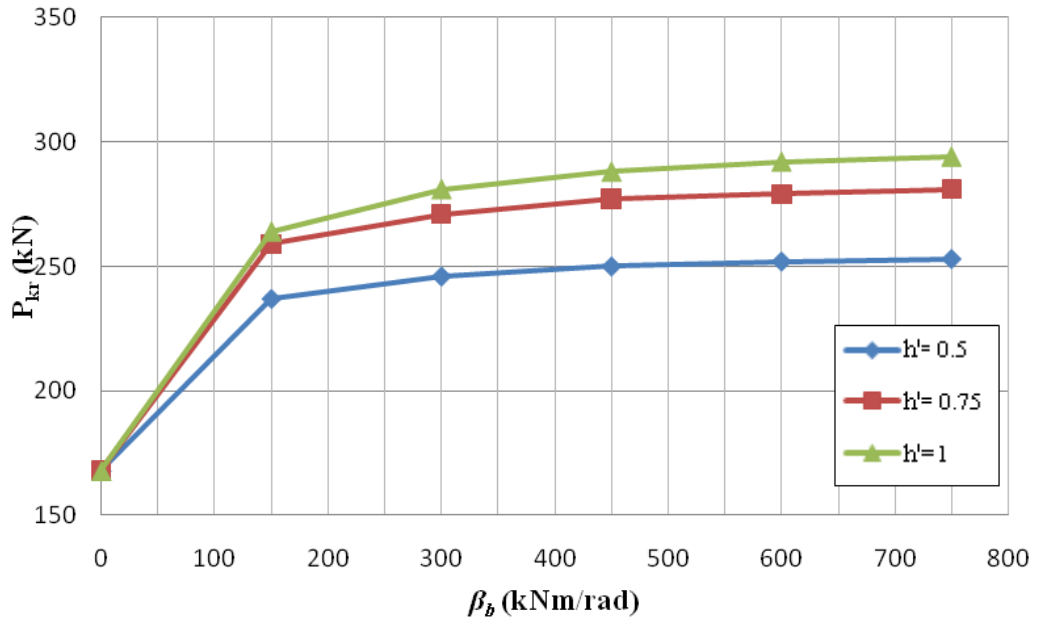
Şekil 2.59. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 450$ kNm/rad için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi



Şekil 2.60. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 600$ kNm/rad için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi



Şekil 2.61. Tekil yük etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 750 \text{ kNm/rad}$ için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi



Şekil 2.62. Tekil yük etkisindeki basit kirişte burulma desteğinin yay sabitine göre en büyük yanal burkulma yükleri

Bu bölümde burulma desteğinin ortasından tekil yük etkisindeki basit mesnetli kirişin yanal burkulma yüküne etkisi incelenmiş ve bulunan değerler tablo ve grafiklerle

karşılaştırılmıştır. Desteğin, kiriş uzunluğunun orta noktasında olması durumunda, üst başlığa, 0.25h, 0.5h, 0.75h ve alt başlığa yerleştirilmesi durumlarında oluşan en büyük yanal burkulma yükleri sırasıyla, $\beta_b = 150$ kNm/rad için 220.14, 211.60, 237.40, 259.38 ve 263.96 kN; $\beta_b = 300$ kNm/rad için, 227.22, 216.81, 246.70, 271.65 ve 280.64 kN; $\beta_b = 450$ kNm/rad için 230.02, 218.81, 250.43, 276.55 ve 287.62 kN; $\beta_b = 600$ kNm/rad için 231.53, 219.92, 252.39, 279.17 ve 291.49 kN; $\beta_b = 750$ kNm/rad için 232.46, 220.59, 253.64, 280.77 ve 293.94 kN olarak hesaplanmaktadır. Destek yay sabitlerinin 150, 300, 450, 600 ve 750 kNm/rad olması durumlarında, kirişteki en büyük yanal burkulma yükleri sırasıyla; 263.96, 280.64, 287.62, 291.49 ve 293.94 kN olarak hesaplanmakta ve yanal burkulma yükleri de sırasıyla, en fazla 1.57, 1.67, 1.71, 1.73 ve 1.75 kat artmaktadır.

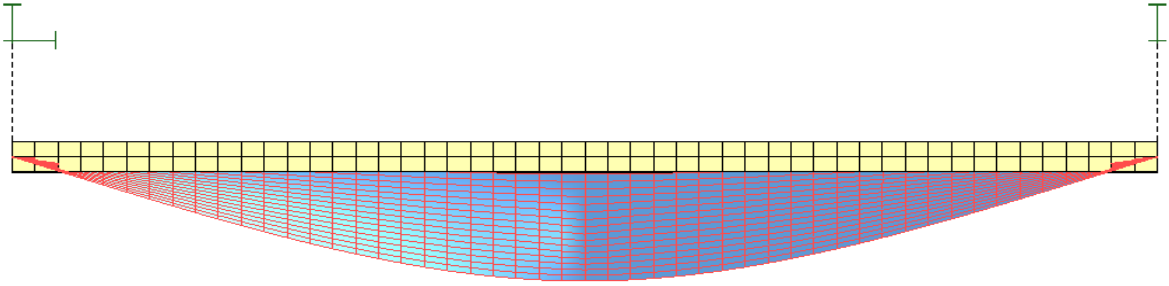
Yapılan incelemelerde, burulma desteği kiriş uzunluğunun yarsına ve alt başlığa yakın bölgelere yerleştirildiğinde desteğin yay sabiti artırıldıkça yanal burkulma yükünün belirgin bir şekilde arttığı görülmüştür. Destek, üst başlığa yerleştirildiğinde ise yanal burkulma yükü artmakta fakat desteğin alt başlığa yerleştirildiği duruma göre daha küçük kalmaktadır. Destek kiriş kesitinin orta noktasına ve alt başlığa doğru yerleştirildiğinde en büyük yanal burkulma yükü desteğin kiriş uzunluğunun ortasına yerleştirilmesi durumunda oluşmaktadır. Burulma desteği üst başlığa ve 0.25h noktasına yerleştirildiğinde destek kiriş boyunca 0.0L-0.4L ve 0.6L-1.0L aralığında açıklık ortasına doğru (0.5L) yaklaştırıldığında yanal burkulma yükü artmakta, 0.4L-0.6L aralığında ise açıklık ortasına doğru yaklaştırıldığında ise yanal burkulma yükü azalmaktadır. Bu durumda yanal burkulma yükünün en büyük değeri 0.4L ve 0.6L'ye yerleştirilen burulma desteğinde ortaya çıkmaktadır.

Burulma desteği kiriş uzunluğu boyunca 0.4L-0.6L dışına yerleştirildiğinde burulma desteğinin düşeydeki yerinin yanal burkulma yükünde fazla bir etkisinin olmadığı, destek 0.4L ve 0.6L arasına yerleştirildiğinde ise burulma desteğinin düşeydeki yerinin yanal burkulma yüküne etkisinin arttığı gözlenmiştir. 0.3L'ye yerleştirilen desteğin kesitin düşeyindeki konumuna göre yanal burkulma yükü farkı $\beta_y = 750$ kNm/rad için 12.9 kN olmakta, 0.5L için ise bu fark 73.35 kN'a kadar çıkmaktadır. Bu sonuç seçilen sonlu elemanlar arasındaki dönmenin farkının büyüdüğünü göstermektedir.

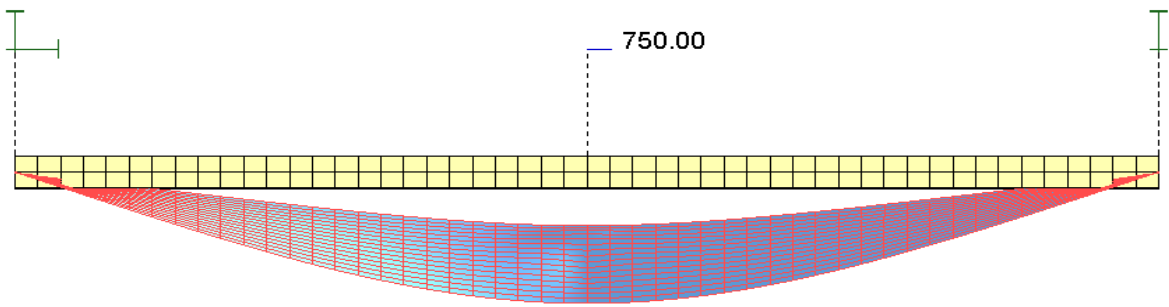
Yapılan çalışmada, yanal burkulma yükü, kirişe burulma desteği eklendiğinde belirgin bir şekilde artmakta, ancak desteğin yay sabitinin artırılmasıyla yanal burkulmadaki artım giderek azalmakta ve belli bir değerden sonra yaklaşık olarak sabit

kalmaktadır. Kirişe eklenen burulma desteğinin yay sabiti $\beta_b = 750$ kNm/rad için yanal burkulma yükü 293.96 kN ve $\beta_b = 900$ kNm/rad için de 295.63 kN olarak hesaplanmaktadır. Bu sonuç alt başlığa konulacak 750 kNm/rad'lık bir burula desteğinin ideal destek olduğunu göstermektedir. Aynı kesit üzerindeki noktalarındaki burulma desteğinin etkisinin farklı olması, BASP ile çözümde aynı kesitte seçilen her sonlu eleman model için dönmenin farklı olduğunu göstermektedir. Seçilen sonlu eleman modeli bu özelliği ile aynı kesitte farklı yüksekliğe konulacak burulma desteklerinin farklı etki yapacağını göstermektedir.

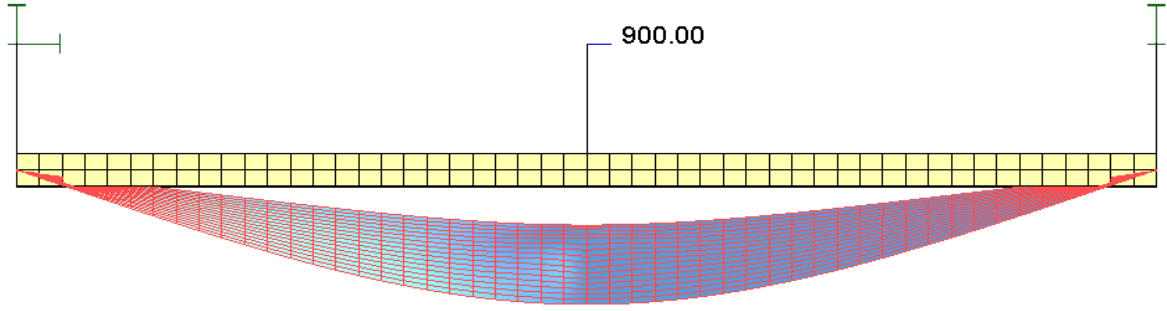
Destek yay sabiti artırıldığında yanal burkulma yükünün yaklaşık olarak sabit kaldığı Şekil 2.63~2.65 yardımı ile açıklanmıştır. Şekillerde yanal burkulmuş kirişin üstten görünüşüne yer verilmekte, burkulma öncesi kiriş sarı renkle gösterilmekte, kirişin yanal burkulmuş hali ise diğer renklerde ifade edilmektedir.



Şekil 2.63. Tekil yük etkisindeki basit kirişin yanal burkulmuş hali (üstten görünüş)



Şekil 2.64. Tekil yük etkisindeki kirişin $\beta_b = 750$ kNm/rad için yanal burkulmuş hali (üstten görünüş)



Şekil 2.65. Ortasından tekil yüke maruz basit mesnetli kirişin $\beta_b = 900$ kNm/rad için yanal burkulmuş hali (üstten görünüş)

Şekil 2.63 kirişin yanal burkulmuş halini üstten göstermektedir. Şekil 2.64~2.65 ise kirişin, burulma desteğinin yay sabitinin artırılmasıyla, yanal burkulmuş halini üstten göstermektedir. Şekil 2.63'teki sarının dışındaki renkler burkulma halini ifade etmekte ve üst başlıkta alt başlık arasındaki dönmenin büyüklüğünü göstermektedir (burulma açısı büyük olduğundan iki nokta arasındaki yatay uzaklık büyüktür). Şekil 2.64~2.65'te ise iki nokta arasındaki yatay uzaklığın azalmasıyla alt başlık ve üst başlık arasındaki burulma miktarının azaldığı görülmektedir. Bu durumun yanal burkulma yükünün arttığına işaret etmektedir. Destek yay sabiti artırıldıkça alt başlık ve üst başlık arasındaki burulma miktarı azalmakta, belli bir yay sabitinden sonra burulma miktarı daha fazla azalmamaktadır. Bu durum belli bir yay sabitinden sonra artık yanal burkulma yükünün yaklaşık olarak sabit kalacağını göstermektedir.

2.2.2.2.2. Burulma Desteğinin Tekil Eğilme Momenti Etkisindeki Kirişte Yanal Burkulma Momentine Etkisi

2.2.2.2.2.1. İdeal Destek Yay Sabitinin Belirlenmesi

Şekil 2.3'te açıklık ortası ve gövde merkezinden burulma desteği eklenmiş kiriş verilmektedir. Kirişin yanal burkulmuş haldeki diferansiyel denklemleri (2.6)~((2.9) denklemlerine benzer olarak (2.30)~(2.33) denklemlerinde verilmiştir.

1. Bölge:

$$EI_y u'' + M\Phi = 0 \quad (2.30)$$

$$EC_w \Phi''' - GJ\Phi' + Mu' - \frac{1}{2}M_0 = 0 \quad (2.31)$$

2. Bölge

$$EI_y u'' + M\Phi = 0 \quad (2.32)$$

$$EC_w \Phi''' - GJ\Phi' + Mu' + \frac{1}{2}M_0 = 0 \quad (2.33)$$

(2.11)~(2.16) denklemleri içerisinde yanal desteğin meydana getirdiği F kuvveti atılırsa burulma desteğinin olması durumunda dönme ve yer değiştirme ifadeleri (2.34)~(2.37) eşitliklerinde verildiği gibi olur.

$$\Phi_1 = C_1 \cosh(a_1 z) + C_2 \sinh(a_1 z) + C_3 \sin(a_2 z) + C_4 \cos(a_2 z) \quad (2.34)$$

$$\Phi_2 = D_1 \cosh(a_1 z) + D_2 \sinh(a_1 z) + D_3 \sin(a_2 z) + D_4 \cos(a_2 z) \quad (2.35)$$

$$u_1 = \frac{M_0}{2M} z + \frac{GJ}{M} \left[\left(1 - \frac{a_1^2}{B^2}\right) C_2 \sinh(a_1 z) + \left(1 + \frac{a_2^2}{B^2}\right) C_3 \sin(a_2 z) \right] \quad (2.36)$$

$$u_2 = \frac{M_0}{2M} (2l - z) + \frac{GJ}{M} \left[\left(1 - \frac{a_1^2}{B^2}\right) (D_1 \cosh(a_1 z) + D_2 \sinh(a_1 z)) + \left(1 + \frac{a_2^2}{B^2}\right) (D_3 \sin(a_2 z) + D_4 \cos(a_2 z)) \right] \quad (2.37)$$

Yanal destek için yazılan sınır koşulları burada da aynen geçerlidir. Sınır şartları yerine yazılırsa; $C_1=C_4=0$ olarak bulunur. Destek noktasındaki sınır şartları yerine yazılırsa ($z=l$); C_2 ve C_3 sabitleri (2.38) ve (2.39) eşitliklerindeki gibi elde edilmiş olur (Shu 1988).

$$C_2 = \frac{M_0}{2M} \frac{\frac{M}{EC_w}}{a_1(a_1^2+a_2^2)} \frac{1}{\cosh(a_1 l)} \quad (2.38)$$

$$C_3 = -\frac{M_0}{2M} \frac{\frac{M}{EC_w}}{a_2(a_1^2+a_2^2)} \frac{1}{\cos(a_2 l)} \quad (2.39)$$

(2.38) ve (2.39) eşitlikleri (2.34) ve (2.36) denklemlerinde yerine yazılırsa, gerekli düzenlemeler yapıldığında, (2.22) denklemini (2.40) şeklinde yeniden yazılır.

$$\left[1 - \frac{\beta_b l}{2} \frac{d_3}{GJ} \right] = 0 \quad (2.40)$$

(2.40) eşitliğinden β_b eşitliğinin diğer tarafına atılırsa (2.41) denklemi elde edilir.

$$\beta_b = \frac{1}{\frac{Ld_3}{2GJ}} \quad (2.41)$$

6 m uzunluğunda IPE 400 profilli kiriş için burulma desteğinin gövde merkezine yerleştirilmesi durumunda gerekli yay sabiti değeri $\beta_b=540$ kNm/rad olarak hesaplanmaktadır.

2.2.2.2.2. Burulma Desteğinin Yanal Burkulma Momentine Etkisi

Burulma desteklerinin eğilme momentine maruz basit mesnetli kirişlerde yanal burkulmaya etkisini incelemek için 6 m uzunluğunda IPE 400 kesitli çelik kiriş kullanılmıştır. Desteğin yay sabiti ve uygulama noktasının yanal burkulma momentine etkisinin belirlenmesi için seçilen elemana değişik yay sabitlerindeki destek elemanları farklı noktalara uygulanmışlardır. Bu uygulama sonucunda elde edilen yanal burkulma değerleri Tablo 2.25~2.29'da verilmiştir. Çalışmada, elde edilen sonuçlar, desteksiz haldeki yanal burkulma yükü (M_{0kr}) ile grafikler yardımıyla karşılaştırılmıştır. Tablolarda verilen yay sabitlerinin yanında burulma desteğinin kiriş uzunluğu orta noktasının alt başlığa yerleştirilmesi durumunda $\beta_b = 900$ kNm/rad için de kritik yanal burkulma momenti 304.13 kNm olarak elde edilmektedir. Kiriş açıklığı ortası ve kesit merkezinin dönmesi tam engellendiğinde bulunan yanal burkulma momenti 290 kNm'dir.

Tablo 2.25. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 150$ kNm/rad için yanal burkulma momentleri (kNm)

| h_b/h | L_b/L | | | | | | | | | | |
|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-----|-----|-----|---|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 195.20 | 204.06 | 223.71 | 246.74 | 266.63 | 274.95 | SİMETRİK | | | | |
| 0.25 | 194.81 | 202.61 | 220.44 | 241.34 | 259.41 | 266.96 | | | | | |
| 0.5 | 194.81 | 203.08 | 222.01 | 244.13 | 263.45 | 271.58 | | | | | |
| 0.75 | 194.81 | 202.65 | 220.30 | 241.00 | 258.88 | 266.32 | | | | | |
| 1 | 195.36 | 204.68 | 225.01 | 249.05 | 270.07 | 278.96 | | | | | |

Tablo 2.26. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 300$ kNm/rad için yanal burkulma momentleri (kNm)

| h_b/h | L_b/L | | | | | | | | | | |
|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-----|-----|-----|---|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 196.01 | 205.59 | 227.87 | 253.83 | 276.59 | 285.89 | SİMETRİK | | | | |
| 0.25 | 195.48 | 203.68 | 223.57 | 246.81 | 267.18 | 275.81 | | | | | |
| 0.5 | 195.48 | 204.28 | 225.53 | 250.27 | 272.22 | 281.64 | | | | | |
| 0.75 | 195.48 | 203.71 | 223.43 | 246.47 | 266.62 | 275.13 | | | | | |
| 1 | 195.48 | 206.45 | 229.76 | 257.23 | 281.74 | 292.39 | | | | | |

Tablo 2.27. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 450$ kNm/rad için yanal burkulma momentleri (kNm)

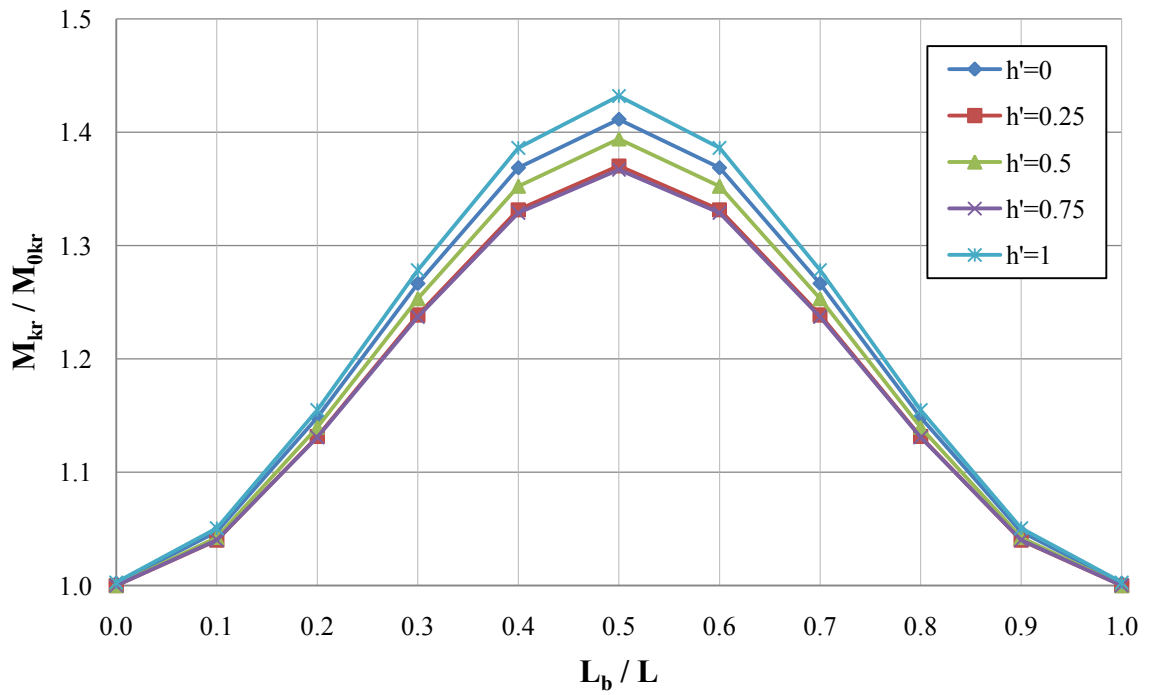
| h_b/h | L_b/L | | | | | | | | | | |
|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-----|-----|-----|---|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 196.06 | 207.12 | 230.08 | 257.04 | 280.97 | 291.37 | SİMETRİK | | | | |
| 0.25 | 194.81 | 204.11 | 224.79 | 248.94 | 270.21 | 279.84 | | | | | |
| 0.5 | 194.81 | 204.76 | 226.90 | 252.67 | 275.68 | 286.18 | | | | | |
| 0.75 | 194.81 | 204.14 | 224.65 | 248.58 | 269.62 | 279.11 | | | | | |
| 1 | 195.48 | 207.27 | 231.89 | 260.81 | 286.87 | 298.45 | | | | | |

Tablo 2.28. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 600$ kNm/rad için yanal burkulma momentleri (kNm)

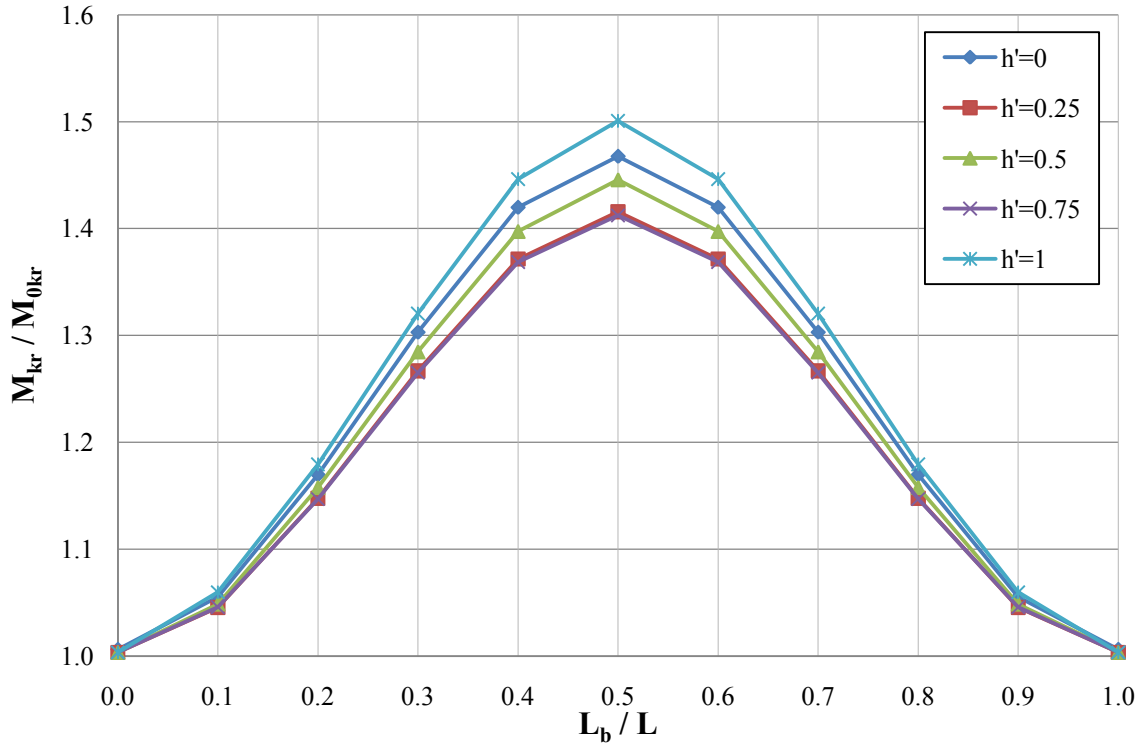
| h_b/h | L_b/L | | | | | | | | | | |
|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-----|-----|-----|---|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 195.36 | 206.55 | 230.43 | 258.14 | 282.69 | 293.28 | SİMETRİK | | | | |
| 0.25 | 194.81 | 204.33 | 225.43 | 250.06 | 271.82 | 281.14 | | | | | |
| 0.5 | 194.81 | 205.02 | 227.64 | 253.95 | 277.51 | 281.57 | | | | | |
| 0.75 | 194.81 | 204.37 | 225.29 | 249.70 | 271.22 | 280.40 | | | | | |
| 1 | 195.57 | 207.58 | 232.73 | 262.32 | 289.10 | 300.93 | | | | | |

Tablo 2.29. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 750 \text{ kNm/rad}$ için yanal burkulma momentleri (kNm)

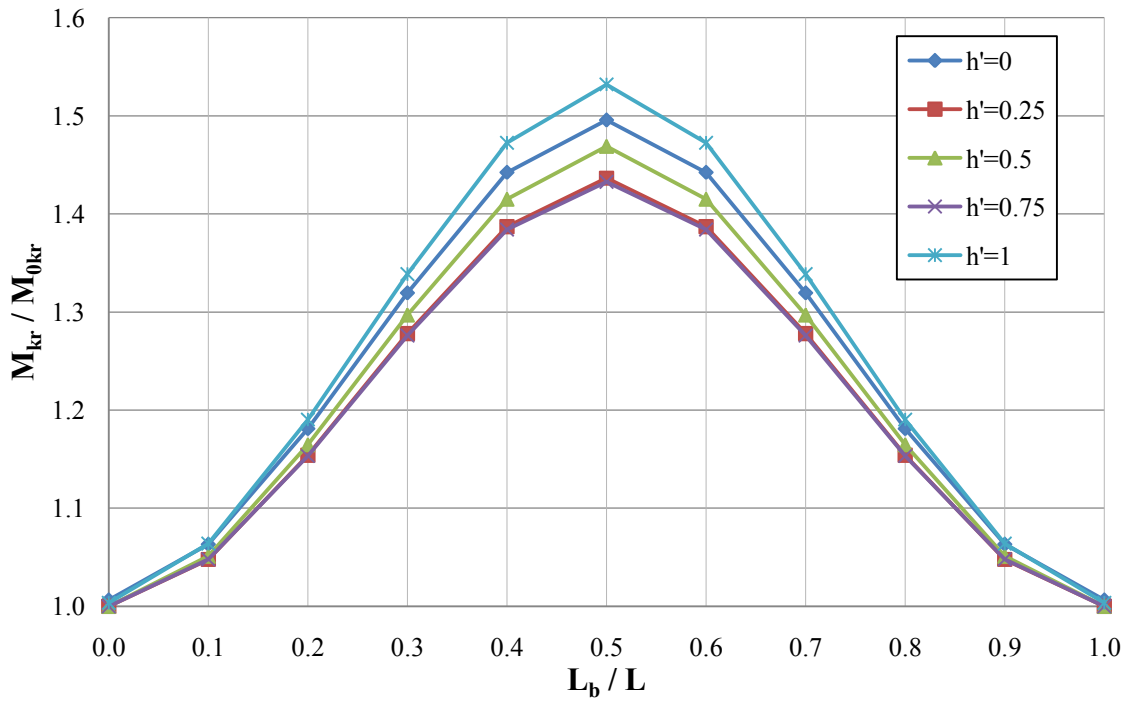
| h_b/h | L_b/L | | | | | | | | | | |
|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-----|-----|-----|---|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 195.38 | 206.77 | 230.98 | 259.09 | 284.01 | 294.81 | SİMETRİK | | | | |
| 0.25 | 194.81 | 204.47 | 225.84 | 250.77 | 272.82 | 282.29 | | | | | |
| 0.5 | 194.81 | 205.19 | 228.11 | 254.74 | 278.67 | 289.08 | | | | | |
| 0.75 | 194.81 | 204.52 | 225.70 | 250.40 | 272.22 | 281.55 | | | | | |
| 1 | 195.58 | 207.84 | 233.39 | 263.44 | 290.73 | 302.84 | | | | | |



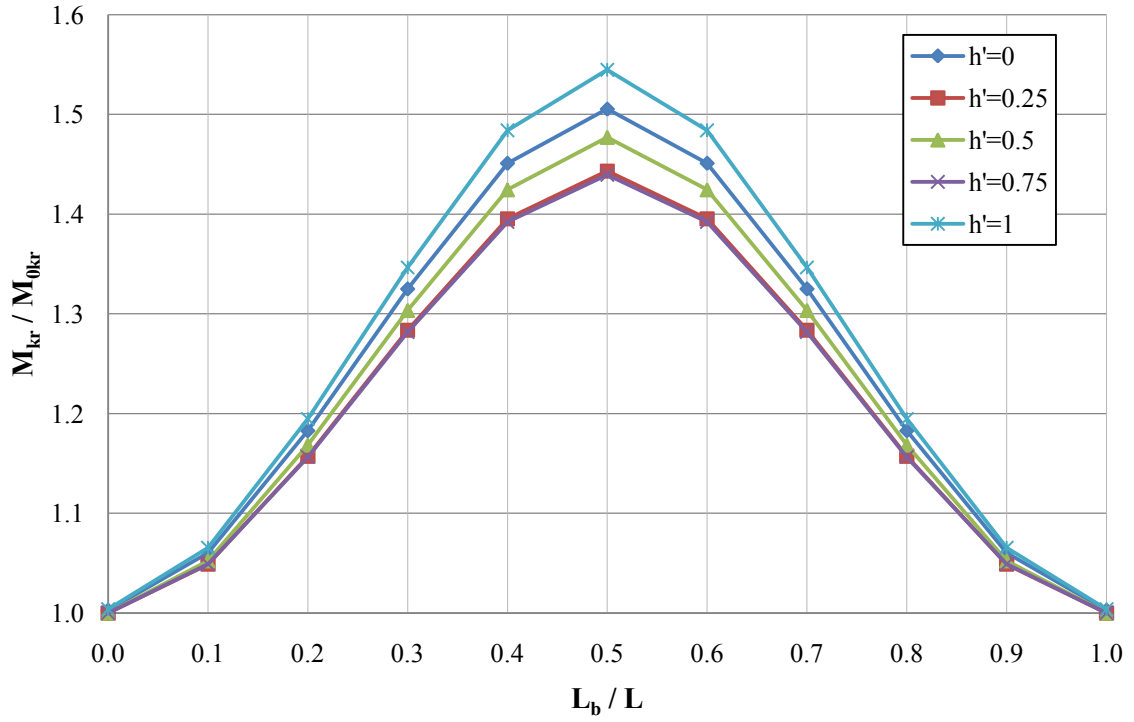
Şekil 2.66. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 150 \text{ kNm/rad}$ için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi



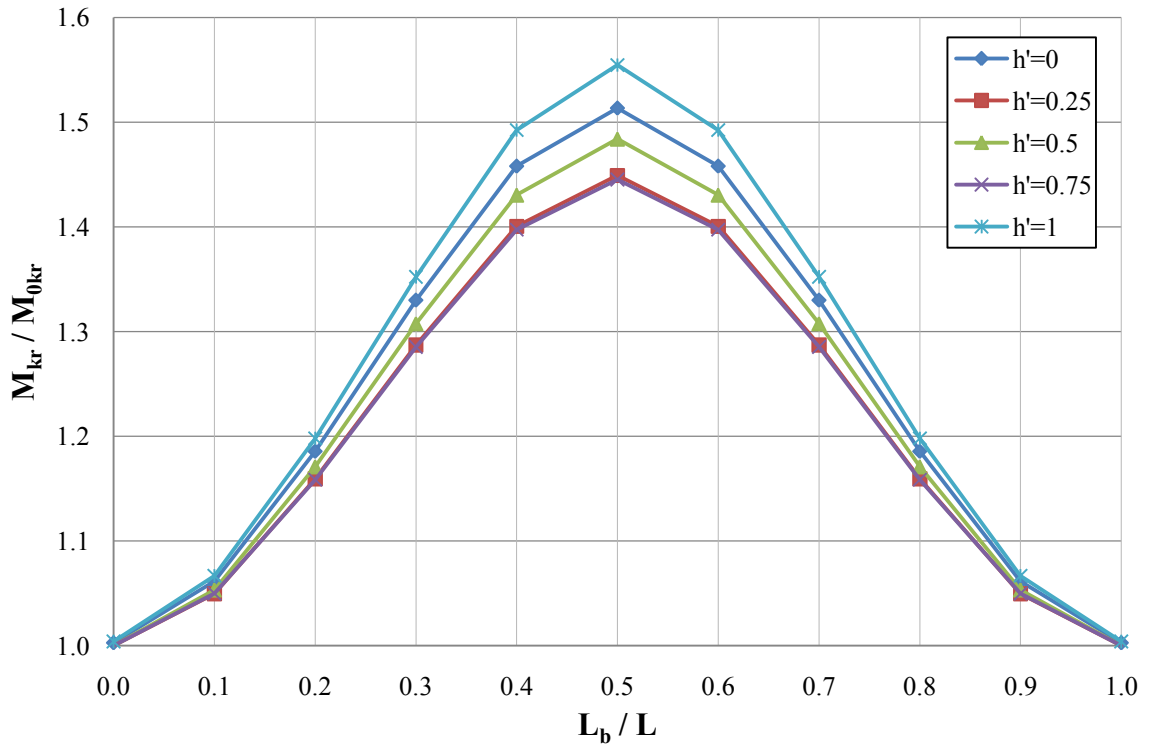
Şekil 2.67. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 300$ kNm/rad için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi



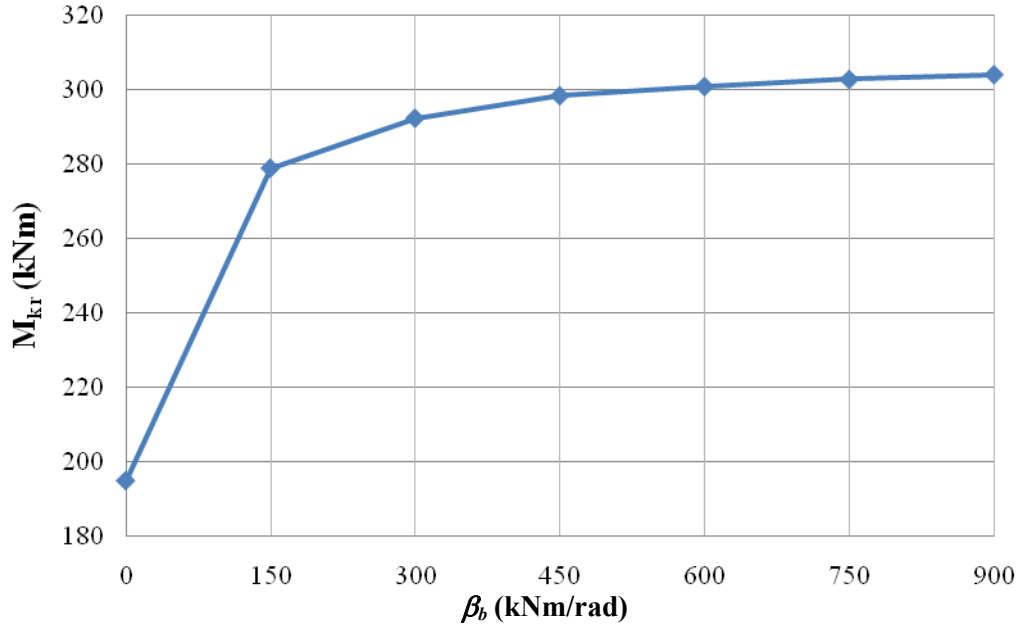
Şekil 2.68. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 450$ kNm/rad için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi



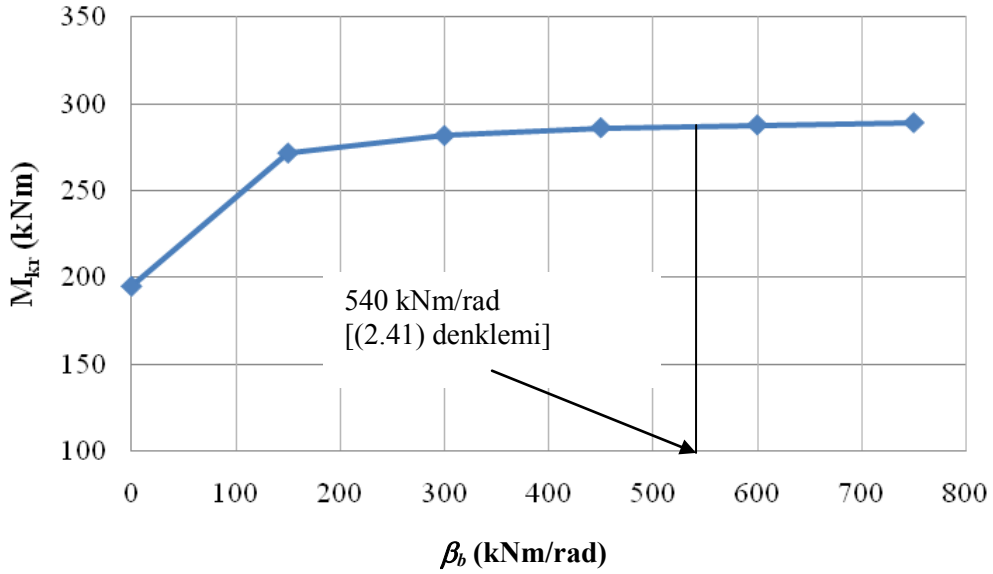
Şekil 2.69. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 600$ kNm/rad için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi



Şekil 2.70. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte $\beta_b = 750$ kNm/rad için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi



Şekil 2.71. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte burulma desteğinin yay sabitine göre en büyük yanıl burkulma momentleri (destek alt başlıkta)



Şekil 2.72. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişte burulma desteğinin yay sabitine göre yanıl burkulma momentleri (destek gövde merkezinde)

Bu bölümde burulma desteğinin eğilme momentine maruz basit mesnetli kirişin yanıl burkulma momentine etkisi incelenmiş ve bulunan değerler tablo ve grafiklerle karşılaştırılmıştır. Yapılan incelemelerde, burulma desteği kiriş uzunluğu ortası ile alt başlığa veya üst başlığa yerleştirildiğinde desteğin yay sabiti artırıldıkça yanıl burkulma

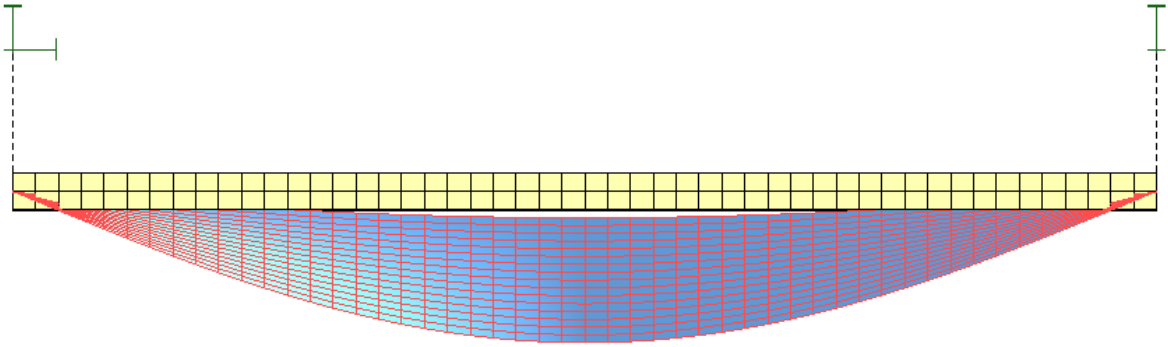
momenti belirgin bir şekilde artmaktadır. Destek, kesit ortası ve çevresine yerleştirildiğinde ise yanal burkulma yükü artmakta fakat desteğin alt başlığa ve üst başlığa yerleştirildiği durumlara göre daha küçük kalmaktadır. Destek kiriş kesitinin orta noktasına yerleştirildiğinde yanal burkulma yükü alt ve üst başlıktaki desteğe göre azalmakta ancak $0.75h$ ve $0.25h$ noktalarındaki desteğe göre daha büyük olmaktadır. $\beta_b = 750$ kNm/rad için $L_b/L=0.5$ 'te $P_{kr}=289.08$ kN iken $L_b/L=0.25$ ve 0.75 'te ise sırasıyla 282.29 ve 281.55 kNm olarak hesaplanmaktadır. Desteğin, kiriş uzunluğunun orta noktasında olması durumunda, üst başlığa, $0.25h$, $0.5h$, $0.75h$ ve alt başlığa yerleştirilmesi durumlarında oluşan en büyük yanal burkulma momentleri sırasıyla $\beta_b = 150$ kNm/rad için 274.95 , 266.96 , 271.58 , 266.32 ve 278.96 kNm; $\beta_b = 300$ kNm/rad için, 285.89 , 275.81 , 281.64 , 275.13 ve 292.39 kNm; $\beta_b = 450$ kNm/rad için 291.37 , 279.84 , 286.18 , 279.11 ve 298.45 kNm; $\beta_b = 600$ kNm/rad için 293.28 , 281.14 , 281.57 , 280.40 ve 300.93 kNm; $\beta_b = 750$ kNm/rad için 294.81 , 282.29 , 289.08 , 281.55 ve 302.84 kNm olarak hesaplanmaktadır. Bu değerler dikkate alındığında burulma desteği yay sabitleri 150 , 300 , 450 , 600 , 750 ve 900 kNm/rad için kirişteki kritik yanal burkulma momenti değerleri 1.43 , 1.50 , 1.53 , 1.54 , 1.55 ve 1.56 kat artmaktadır.

Burulma desteği kiriş uzunluğu boyunca $0.4L-0.6L$ dışına yerleştirildiğinde burulma desteğinin düşeydeki yerinin kritik yanal burkulma momentine fazla bir etkisinin olmadığı, destek $0.4L$ ve $0.6L$ arasına yerleştirildiğinde ise burulma desteğinin düşeydeki yerinin burkulma momentine etkisinin arttığı görülmektedir. $0.3L$ 'ye yerleştirilen desteğin kesitin düşeyindeki konumuna göre yanal burkulma yükü farkı $\beta_y = 750$ kNm/rad için 13.04 kNm, $0.5L$ için ise bu fark 20.55 kNm'ye kadar çıkmakta olup bu durum kesit gövdesinin düzlemden sapmasını göstermektedir.

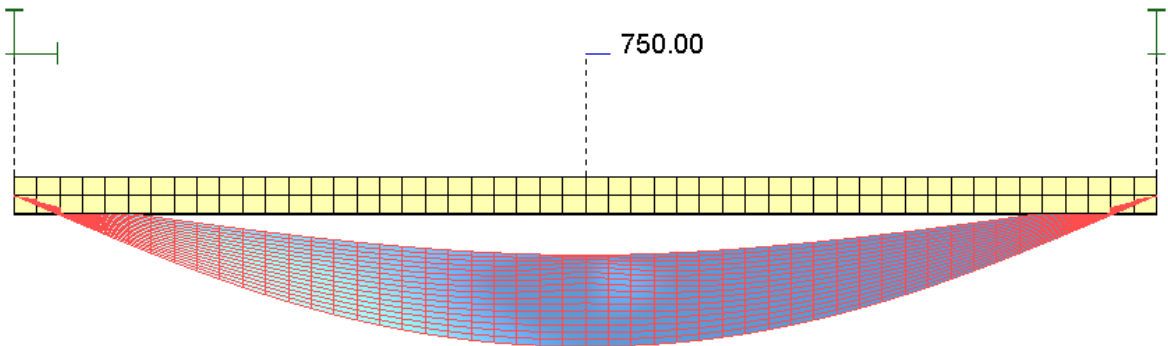
Yapılan çalışmada, yanal burkulma momenti, kirişe burulma desteği eklendiğinde belirgin bir şekilde artmakta, ancak desteğin yay sabitinin artırılmasıyla yanal burkulmadaki artım giderek azalmakta ve belli bir değerden sonra yaklaşık olarak sabit kalmaktadır. Kirişe eklenen burulma desteğinin yay sabiti $\beta_b = 750$ kNm/rad için yanal burkulma momenti 302.84 kN ve $\beta_b = 900$ kNm/rad için de 304.13 kNm olarak hesaplanmaktadır. Bu durum destek yay sabiti artırıldığında yanal burkulma momentinin yaklaşık olarak sabit kaldığını göstermektedir. Bu sonuç Şekil 2.73~2.75 yardımı ile açıklanmıştır. Şekillerde burkulmuş kirişin üstten görünüşüne yer verilmekte, burkulma öncesi kiriş sarı renkle gösterilmekte, yanal burkulmuş hali ise diğer renklerde ifade edilmektedir.

Bu bölümde ayrıca ideal destek yay sabitinin değeri de incelenmiştir. İnceleme sonucunda yapılan çalışma ve (2.41) denkleminde elde edilen sonuçlar Şekil 2.72' de karşılaştırılmıştır. Burulma desteği gövde merkezine uygulanması durumunda yapılan çalışma ve (2.41) denklemleri arasında benzerlik olduğu görülmüştür. Destek kesit ortasına konulduğunda, yapılan çalışma ile bulunan değerlerde yanal burkulma momenti–yay desteği ilişkisini gösteren grafik yaklaşık $\beta_b = 500$ kNm/rad değerinde yatay konum almaya başlarken, (2.41) denkleminde bu değer 540 kNm/rad olarak bulunmuştur.

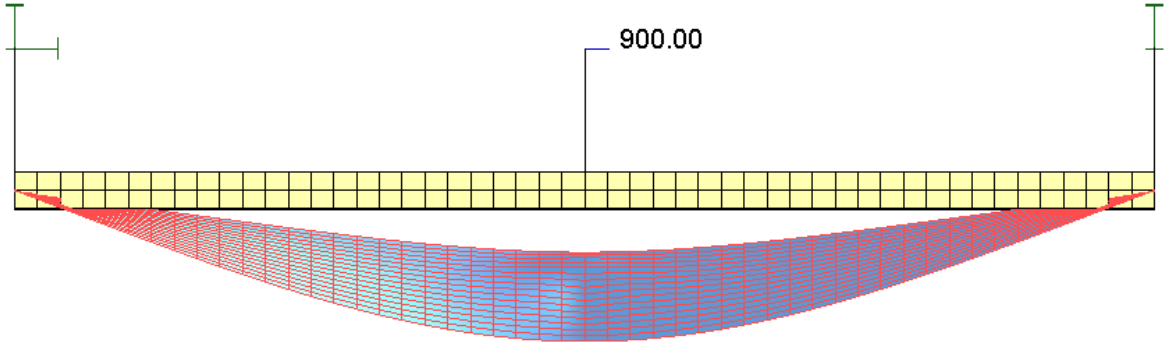
Burulma desteğinin düşeydeki konumuna bağlı olarak yanal burkulma momentinin farklı bulunması bir önceki bölümde anlatıldığı gibi BASP modelinde seçilen sonlu elemanların her birinin dönmesinin farklı olmasıdır. Ancak genel anlamda bakıldığında eğilme momenti için bulunan yanal burkulma momentleri arasındaki fark küçük kalmaktadır.



Şekil 2.73. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişin yanal burkulmuş hali (üstten görünüş)



Şekil 2.74. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişin $\beta_b = 750$ kNm/rad için yanal burkulmuş hali (üstten görünüş)



Şekil 2.75. Eğilme momenti etkisindeki basit kirişin $\beta_b = 900$ kNm/rad için yanal burkulmuş hali (üstten görünüş)

Şekil 2.73 kirişin yanal burkulmuş halini üstten göstermektedir. Şekil 2.74~2.75 ise kirişin, burulma desteğinin yay sabitinin artırılmasıyla, yanal burkulmuş halini üstten göstermektedir. Şekil 2.73'teki sarının dışındaki renkler burkulma halini ifade etmekte ve üst başlıkla alt başlık arasındaki dönmenin büyüklüğünü göstermektedir (burulma açısı büyük olduğundan iki nokta arasındaki yatay uzaklık büyüktür). Şekil 2.74~2.75'te ise alt başlık ve üst başlık arasındaki burulma miktarının azaldığı görülmektedir (iki nokta arasındaki yatay uzaklık azalmakta). Bu durum yanal burkulma momentinin arttığına işaret etmektedir (desteğin yay sabiti arttıkça kritik yanal burkulma yükü artmakta). Destek yay sabitinin artmasıyla Şekil 2.74~2.75'e göre, alt başlık ve üst başlık arasındaki burulmanın daha fazla artmadığından, burulma desteğinin yay sabitinin artırılması yanal burkulma momentini daha fazla artırmamaktadır.

2.2.2.2.3. Burulma Desteğinin Uç Noktasından Tekil Yük Etkisindeki Konsol Kirişte Yanal Burkulma Yüküne Etkisi

Burulma desteklerinin uç noktasından tekil yük etkisindeki konsol kirişlerde yanal burkulmaya etkisini incelemek için 6 m uzunluğunda IPE 400 kesitli çelik kiriş kullanılmıştır. Desteğin yay sabiti ve uygulama noktasının yanal burkulma yüküne etkisinin belirlenmesi için seçilen elemana değişik yay sabitlerindeki (10, 50, 150 ve 600 kNm/rad) destek elemanları farklı noktalara uygulanmışlardır. Bu uygulama sonucunda elde edilen kritik yanal burkulma değerleri Tablo 2.30~2.33'de verilmiştir. Çalışmada, elde edilen sonuçlar, desteksiz haldeki kritik yanal burkulma yükü (P_{0kr}) ile grafikler yardımıyla karşılaştırılmıştır. Tablolarda verilen yay sabitlerinin yanında burulma desteğinin kiriş

uzunluğu $L/L_b=0.7$ için üst başlığa yerleştirilmesi durumunda $\beta_b = 900$ ve 1200 kNm/rad için de yanal burkulma yükleri sırasıyla, 105.16 kN ve 105.60 kN olarak elde edilmektedir.

Tablo 2.30. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_b = 10$ kNm/rad için yanal burkulma yükleri (kN)

| h_b/h | L_b/L | | | | | | | | | | |
|-------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 52.67 | 52.71 | 53.29 | 54.62 | 56.85 | 59.74 | 62.81 | 65.48 | 67.26 | 67.61 | 65.03 |
| 0.25 | 52.67 | 52.71 | 53.20 | 54.49 | 56.67 | 59.47 | 62.45 | 65.08 | 66.90 | 67.66 | 62.94 |
| 0.5 | 52.67 | 52.71 | 53.16 | 54.40 | 56.58 | 59.38 | 62.41 | 65.12 | 67.12 | 68.19 | 66.63 |
| 0.75 | 52.67 | 52.71 | 53.11 | 54.27 | 56.36 | 59.12 | 62.10 | 64.81 | 66.95 | 68.37 | 69.84 |
| 1 | 52.67 | 52.76 | 53.11 | 54.31 | 56.40 | 59.21 | 62.28 | 65.12 | 67.39 | 69.08 | 69.61 |

Tablo 2.31. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_b = 50$ kNm/rad için yanal burkulma yükleri (kN)

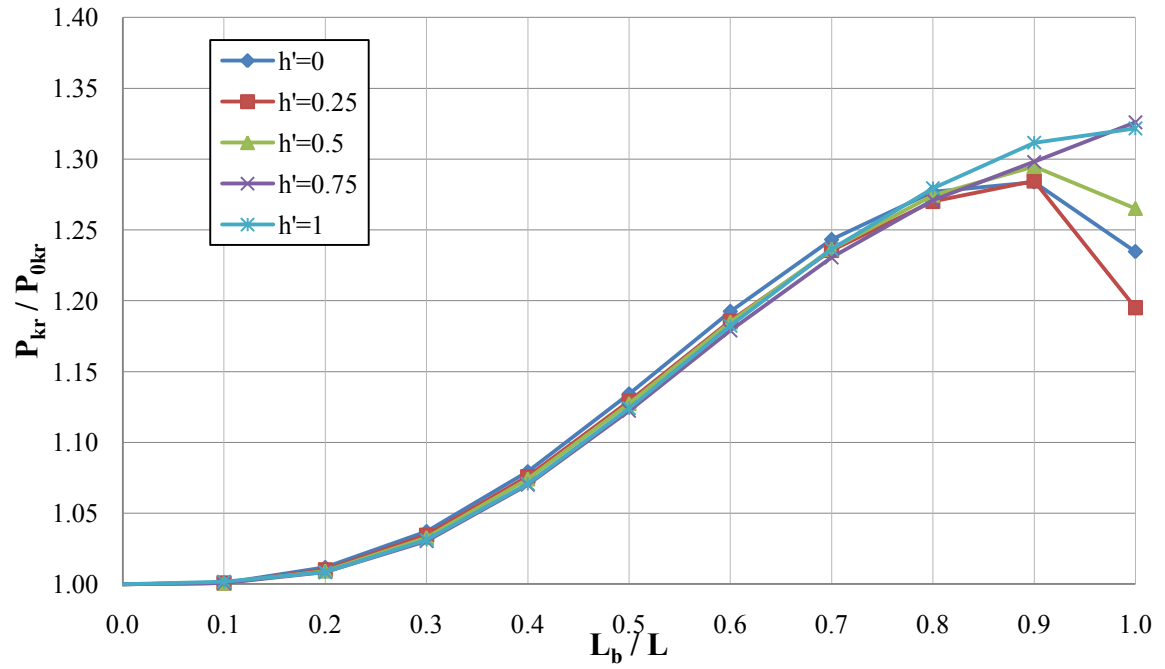
| h_b/h | L_b/L | | | | | | | | | | |
|-------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 52.67 | 52.93 | 54.58 | 58.72 | 65.34 | 73.62 | 81.40 | 85.81 | 85.63 | 82.16 | 74.42 |
| 0.25 | 52.67 | 52.80 | 54.18 | 57.78 | 63.65 | 71.08 | 78.29 | 82.87 | 83.58 | 81.27 | 69.39 |
| 0.5 | 52.67 | 52.80 | 54.09 | 57.65 | 63.61 | 71.17 | 78.69 | 83.67 | 84.65 | 82.60 | 74.46 |
| 0.75 | 52.67 | 52.76 | 53.91 | 57.20 | 62.76 | 69.93 | 77.22 | 82.47 | 84.12 | 82.78 | 77.89 |
| 1 | 52.67 | 52.84 | 54.09 | 57.60 | 63.52 | 71.22 | 79.13 | 84.87 | 86.47 | 84.87 | 80.51 |

Tablo 2.32. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_b = 150$ kNm/rad için yanal burkulma yükleri (kN)

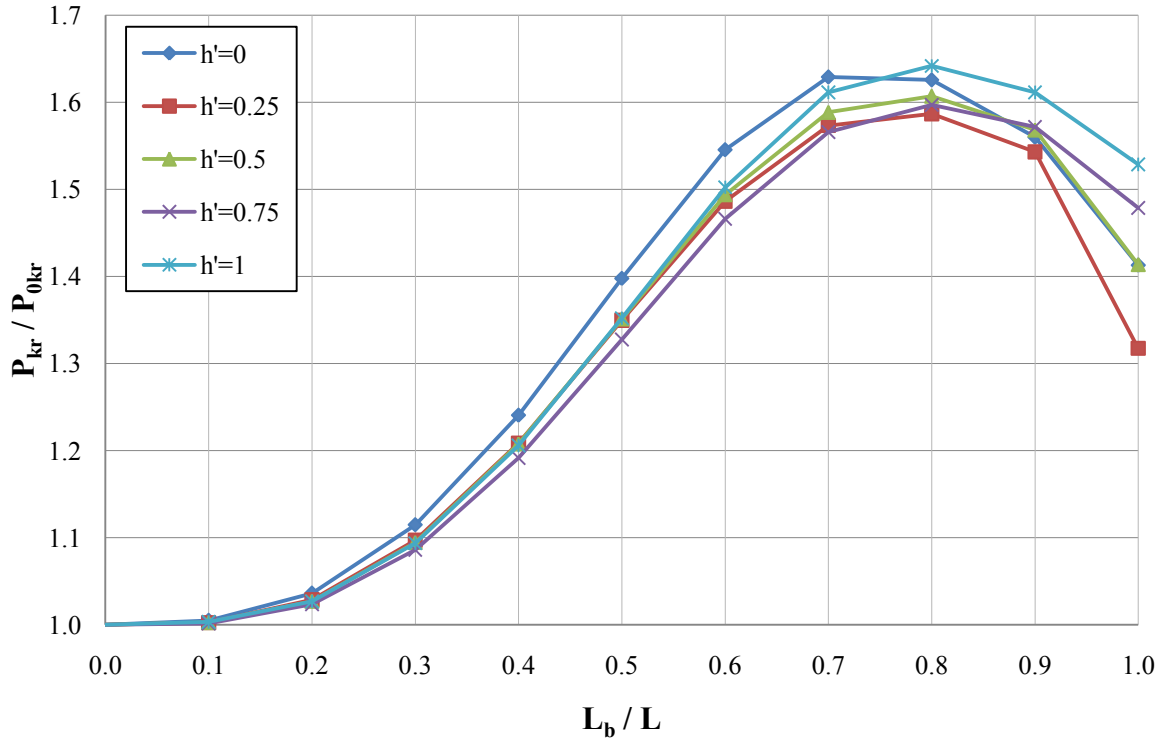
| h_b/h | L_b/L | | | | | | | | | | |
|-------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 52.67 | 53.11 | 55.74 | 62.05 | 71.93 | 84.20 | 94.84 | 97.64 | 93.86 | 87.63 | 77.58 |
| 0.25 | 52.67 | 52.89 | 54.89 | 60.05 | 68.28 | 78.60 | 88.16 | 92.43 | 90.79 | 86.16 | 71.39 |
| 0.5 | 52.67 | 52.84 | 54.76 | 59.96 | 68.41 | 79.09 | 89.28 | 94.08 | 92.48 | 87.81 | 76.69 |
| 0.75 | 52.67 | 52.80 | 54.49 | 59.16 | 66.90 | 76.82 | 86.70 | 92.30 | 91.86 | 87.99 | 79.89 |
| 1 | 52.67 | 52.93 | 54.85 | 60.05 | 68.59 | 79.58 | 90.70 | 96.75 | 95.46 | 90.57 | 83.63 |

Tablo 2.33. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_b = 600 \text{ kNm/rad}$ için yanal burkulma yükleri (kN)

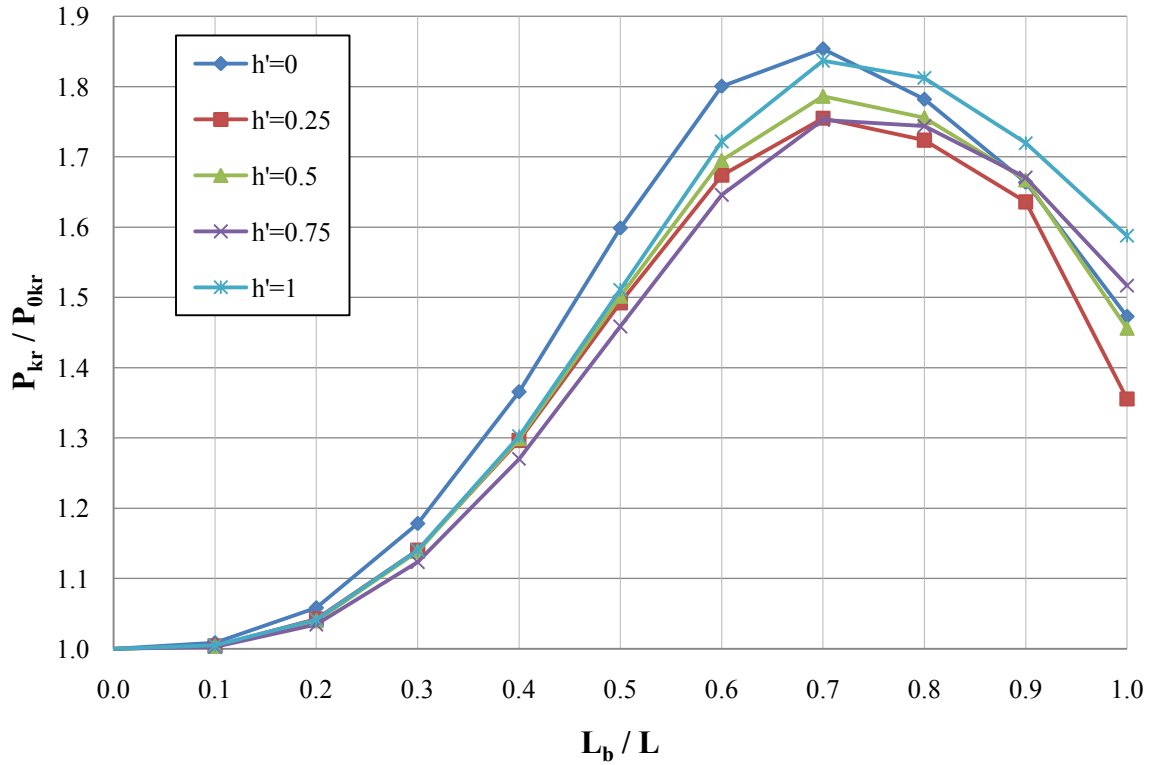
| h_b/h | L_b/L | | | | | | | | | | |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| 0 | 52.67 | 53.25 | 56.63 | 64.45 | 76.64 | 91.86 | 104.04 | 104.31 | 97.91 | 90.12 | 79.00 |
| 0.25 | 52.67 | 52.93 | 55.38 | 61.47 | 71.22 | 83.36 | 94.26 | 97.73 | 94.30 | 88.39 | 71.39 |
| 0.5 | 52.67 | 52.89 | 55.25 | 61.47 | 71.48 | 84.16 | 95.99 | 100.00 | 96.35 | 90.17 | 76.69 |
| 0.75 | 52.67 | 52.84 | 54.89 | 60.45 | 69.53 | 81.14 | 92.57 | 97.91 | 95.73 | 90.30 | 79.89 |
| 1 | 52.67 | 52.98 | 55.42 | 61.74 | 71.97 | 85.14 | 98.31 | 103.78 | 99.95 | 93.15 | 83.63 |



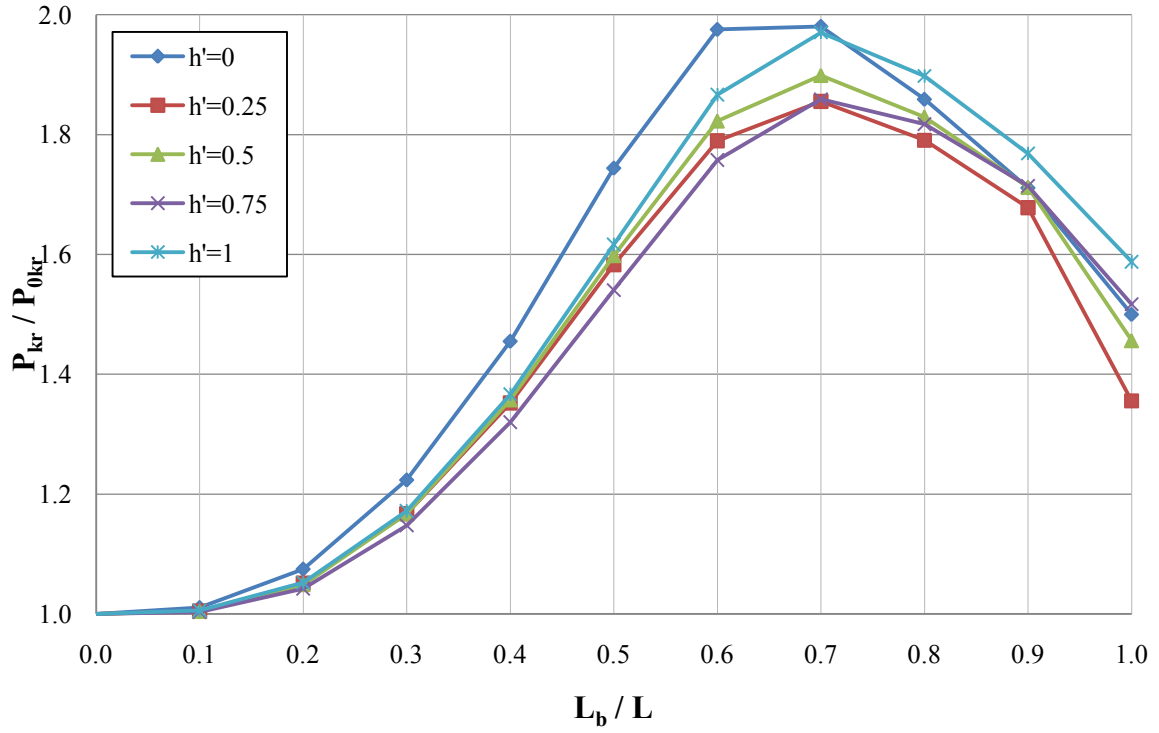
Şekil 2.76. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_b = 10 \text{ kNm/rad}$ için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi



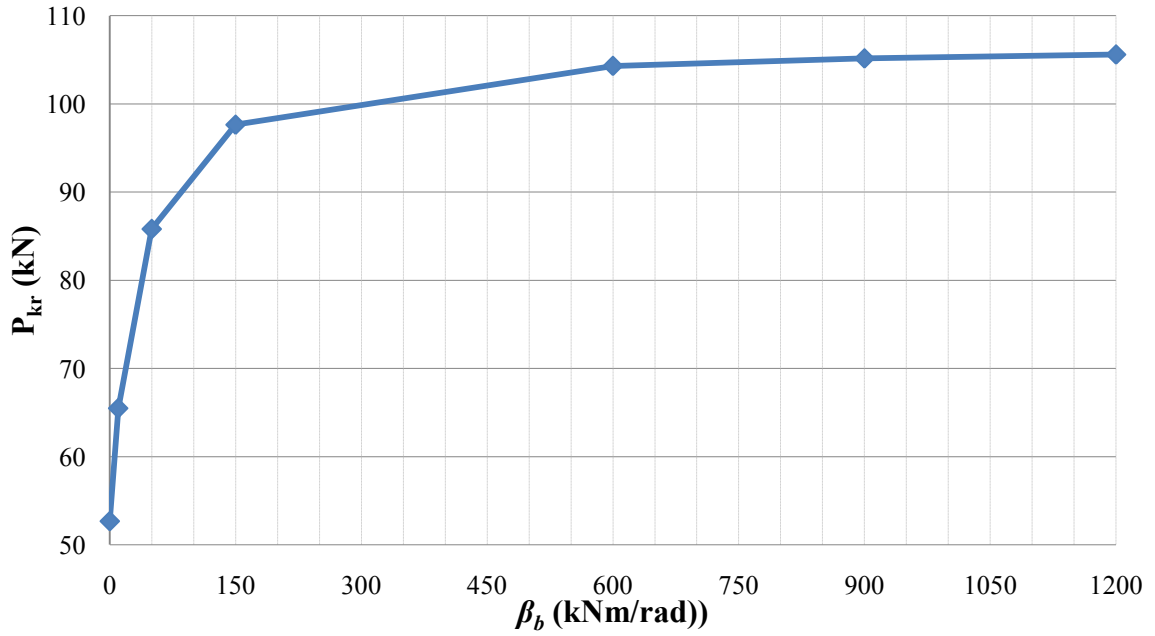
Şekil 2.77. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_b = 50$ kNm/rad için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi



Şekil 2.78. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_b = 150$ kNm/rad için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi



Şekil 2.79. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte $\beta_b = 600 \text{ kNm/rad}$ için burulma desteğinin yanal burkulmaya etkisi



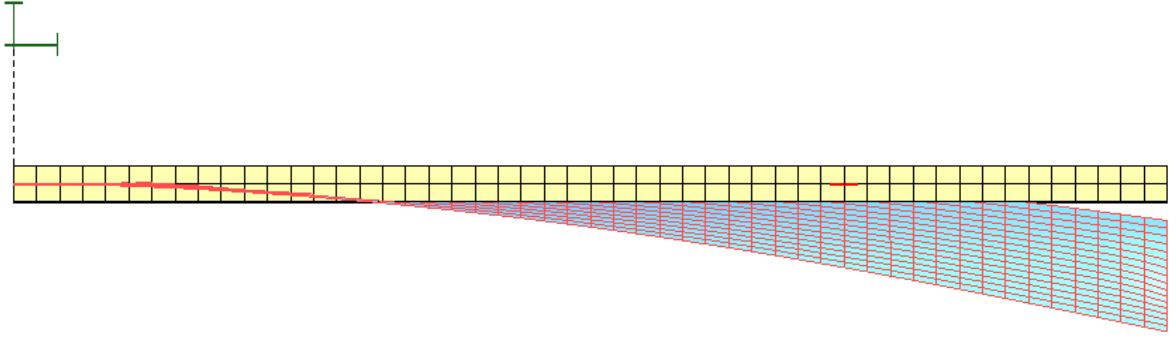
Şekil 2.80. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte burulma desteğinin yay sabitine göre en büyük yanal burkulma yükleri

Bu bölümde burulma desteğinin uç noktasından tekil yük etkisindeki konsol kirişin yanal burkulma yüküne etkisi incelenmiş ve bulunan değerler tablo ve grafiklerle

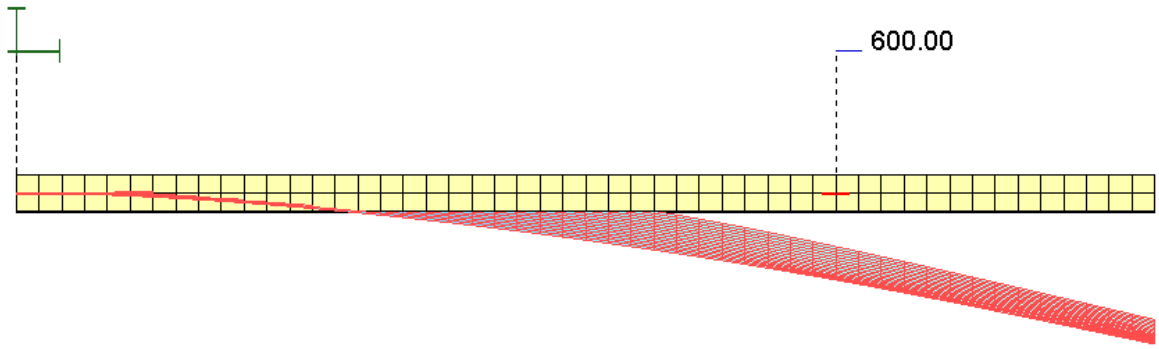
karşılaştırılmıştır. Yapılan incelemelerde, burulma desteği kiriş uzunluğunun 0.7'sine ve üst başlığa yakın bölgelere yerleştirildiğinde desteğin yay sabiti artırıldıkça yanal burkulma yükü belirgin bir şekilde artmaktadır. Destek, alt başlığa yerleştirildiğinde ise yanal burkulma yükü artmakta fakat desteğin üst başlığa yerleştirildiği duruma göre çok fark olmamakla beraber küçük kalmaktadır. Destek kiriş kesitinin orta noktasına yerleştirildiğinde yanal burkulma yükü alt ve üst başlıktaki desteğe göre azalmakta, ancak 0.75h ve 0.25h noktalarındaki desteğe göre daha büyük olmaktadır. Desteğin üst başlığa, 0.25h, 0.5h, 0.75h ve alt başlığa yerleştirilmesi durumlarında oluşan en büyük yanal burkulma yükleri sırasıyla $\beta_b = 10$ kNm/rad için 67.61, 67.66, 68.19, 69.84 ve 69.61 kN; $\beta_b = 50$ kNm/rad için, 85.63, 83.58, 84.65, 84.12 ve 86.47 kN; $\beta_b = 150$ kNm/rad için 97.64, 92.43, 94.08, 92.30 ve 96.75 kN; $\beta_b = 600$ kNm/rad için 104.31, 97.73, 100.00, 97.91 ve 103.78 kN olarak hesaplanmaktadır. Bu değerlerin kendi içlerinde en büyükleri dikkate alındığında burulma desteği yay sabitleri 150, 300, 450, 600, 750 ve 900 kNm/rad için kirişteki yanal burkulma yükleri 1.32, 1.64, 1.85, 1.98, 2.00 ve 2.01 kat artmaktadır.

Burulma desteği küçük yay sabitlerinde (10, 50 kNm/rad) kiriş uzunluğu boyunca 0.9L-0.8L'ye yerleştirildiğinde en büyük yanal burkulma yükü desteğin alt başlıkta olması durumunda hesaplanmakta, destek yay sabiti artırıldıkça (150, 600 kNm/rad) ise destek 0.7L ve üst başlıkta olması durumunda hesaplanmaktadır. Genel anlamda desteğin kirişin aynı uzunlukta olması haline, düşeydeki konumunun yanal burkulma yüküne etkisi fazla olmamaktadır.

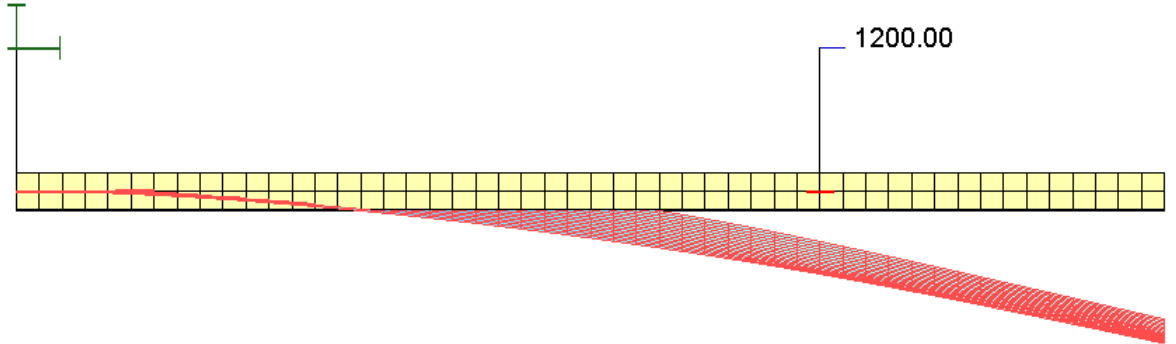
Yapılan çalışmada, yanal burkulma yükü, kirişe burulma desteği eklendiğinde belirgin bir şekilde artmakta, ancak desteğin yay sabitinin artırılmasıyla yanal burkulma yükündeki artım giderek azalmakta ve belli bir değerden sonra yaklaşık olarak sabit kalmaktadır. Kirişe eklenecek ideal burulma desteğinin yay sabiti $\beta_b = 600$ kNm/rad olup bunun için yanal burkulma yükü 104.31 kN, $\beta_b = 750$ kNm/rad için de 105.16 kN ve $\beta_b = 900$ kNm/rad için de 105.60 kN olarak hesaplanmaktadır. Bu durum destek yay sabiti artırıldığında yanal burkulma yükünün yaklaşık olarak sabit kaldığını göstermektedir. Bu sonuç Şekil 2.81~2.83 yardımı ile açıklanmıştır. Şekillerde yanal burkulmuş kirişin üstten görünüşüne yer verilmektedir.



Şekil 2.81. Tekil yüklü konsol kirişin yanal burkulmuş hali (üstten görünüş)



Şekil 2.82. Tekil yüklü konsol kirişin $\beta_b = 600 \text{ kNm/rad}$ için yanal burkulmuş hali (üstten görünüş)



Şekil 2.83. Tekil yüklü konsol kirişin $\beta_b = 1200 \text{ kNm/rad}$ için yanal burkulmuş hali (üstten görünüş)

Şekil 2.81 burulma desteği olmayan kirişin yanal burkulmuş halini üstten göstermektedir. Şekil 2.82~2.83 ise kirişin, burulma desteğinin yay sabitinin artırılmasıyla, yanal burkulmuş halini üstten göstermektedir. Şekillerdeki sarının dışındaki renkler yanal burkulma halini ifade etmekte ve üst başlıkla alt başlık arasındaki dönmenin büyüklüğünü göstermektedir (burulma açısı büyük olduğundan iki nokta arasındaki yatay uzaklık

büyüktür). Şekil 2.82~2.83'te ise alt başlık ve üst başlık arasındaki burulma miktarının azaldığı görülmektedir (iki nokta arasındaki yatay uzaklık azalmakta). Bu durum kritik yanal burkulma momentinin arttığına işaret etmektedir (desteğin yay sabiti arttıkça kritik yanal burkulma yükü artmaktadır). Destek yay sabitinin artmasıyla Şekil 2.82~2.83'te alt başlık ve üst başlık arasındaki burulmanın daha fazla artmadığı, bundan da burulma desteğinin yay sabitinin artırılmasının yanal burkulma yükünü daha fazla artırmayacağı sonucu çıkmaktadır.

2.2.2.3 Tekil Yük Etkisindeki Konsol Kirişte Değişik Yanal Destek Modellerinin Uygulanması

Önceden yapılan çalışmalarda görüldü ki yanal burkulma etkisindeki basit mesnetli kirişlerde alt başlık üst başlığa göre çok daha az yanal yer değiştirme yapmaktadır. Öyle ki, yanal destek alt başlığa yerleştirildiğinde desteğin yay sabitinin yanal burkulma yüküne etkisinin olmadığı görülmüştür. Bu durumda aynı kesit düzlemine (alt başlık ve üst başlığa) konulacak desteklerden sadece üst başlığa yerleştirilen yanal desteğin yanal burkulma yükünü artıracığı açıktır. Konsol kiriş modeli incelendiğinde ise en büyük yanal yer değiştirme çekme başlığında olmakta ancak yanal destek uygulamalarının basit kirişe benzer olduğu görülmüş, burulma desteği uygulamalarının ise farklılık gösterdiği çizilen grafiklerle anlaşılmıştır. Konsol kirişte basınç başlığı alt başlık olduğundan yanal burkulmada etkili olan kısım alt başlıktır. Ancak çekme başlığı olan üst başlık yapmış olduğu yanal yer değiştirme ile destek eklenmesinde yanal burkulmada etkili olduğunu göstermiştir. Bu da konsol kirişlerde yanal desteğin aynı kesitte alt ve üst başlığa yerleştirilmesi durumlarında basit mesnetli kiriş modelinden farklı bir etki oluşturacağını göstermektedir. Bu bölümde konsol kirişe uzunluğunun yarısından itibaren değişik noktaları yanal olarak yer değiştirme yapmayacak şekilde tutulmuş ve yanal burkulma yükünün nasıl değiştiği incelenmiştir. Daha sonra aynı noktalara eklenen yanal desteğin yay sabiti artırılarak hangi yay sabitinde rijit yanal yer değiştirmesinin engellendiği duruma karşılık geldiği araştırılmıştır. Bunun için iki model uygulanmıştır (Şekil 2.4).

1. Yanal destek sadece üst başlığa yerleştirilmesi
2. Yanal destek hem üst başlığa hem de alt başlığa yerleştirilmesi.

Rijit yanal desteğin sadece üst başlığa eklenmesi durumunda yanal burkulma yükündeki değişim Tablo 2.34'te verilmiştir.

Tablo 2.34. Rijit yanal destekli kirişin yanal burkulma yükleri (destek üst başlıkta)

| | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|-------|
| L_y | 0.25L | 0.5L | 0.75L | L |
| P_{kr} (kN) | 65.60 | 71.17 | 84.96 | 97.60 |

Rijit yanal desteğin alt ve üst başlığa aynı anda eklenmesi durumunda yanal burkulma yükündeki değişim Tablo 2.35'te verilmiştir.

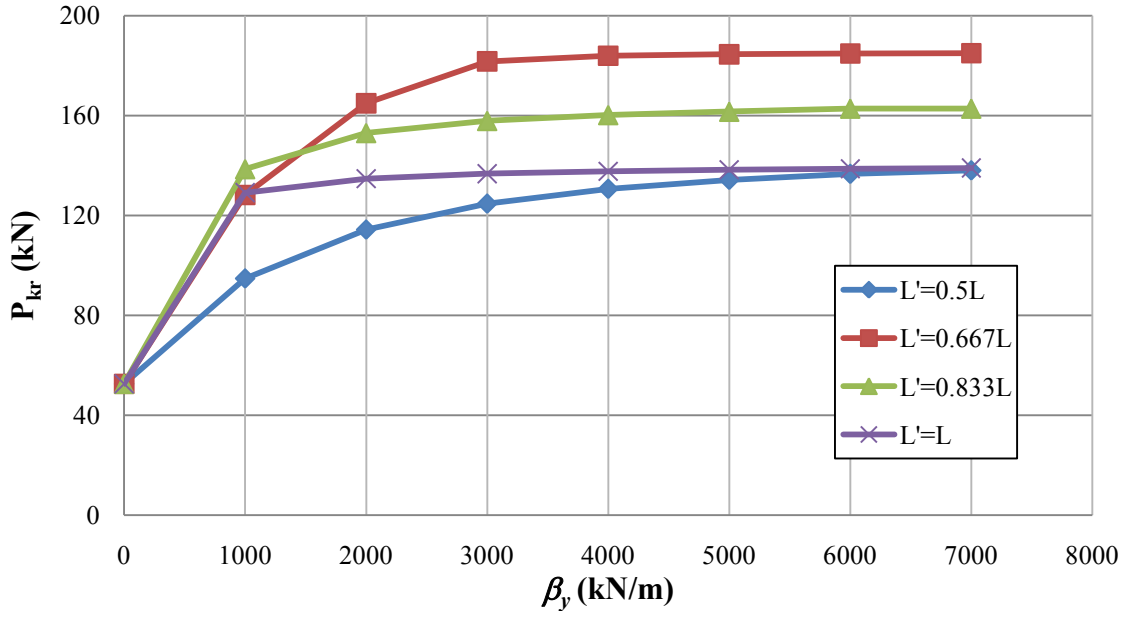
Tablo 2.35. Rijit yanal destekli kirişin yanal burkulma yükleri (destek alt ve üst başlıkta)

| | | | | | | |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| L_y | 0.5L | 0.6L | 0.7L | 0.8L | 0.9L | L |
| P_{kr} (kN) | 147.37 | 167.47 | 185.00 | 180.80 | 164.60 | 140.74 |

Tablo 2.34 ve 3.35 destek yay sabitinin büyük değerleri içinde geçerlidir. Tablo 2.34 ve 2.35'ten görüleceği gibi sadece üst başlığın tutulması durumunda destek eklenmesi açısından en etkili kesit kirişin boş ucudur. Daha önce elde edilen sonuçlar yardımı ile Şekil 2.80'den tam yanal desteğe karşılık gelen destek yay sabiti 1200 kN/m olarak elde edilmiştir. Ancak alt ve üst başlık beraber tutulduğunda ise bu durum değişmekte ve desteğin en etkili olduğu kesit ise kiriş uzunluğunun 0.7L'si olmaktadır. Hangi yanal destek yay sabitinde bu değerlere ulaşılabileceğini araştırmak için değişik yay sabitleri seçilerek incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 2.36'da gösterilmiştir.

Tablo 2.36. Yanal destek yay sabitine göre yanal burkulma yükleri [kN] (yanal destek alt ve üst başlıkta)

| β_y (kN/m) | L_y | | | |
|------------------|--------|---------|---------|--------|
| | 0.5 L | 0.667 L | 0.833 L | L |
| 0 | 52.50 | 52.50 | 52.50 | 52.50 |
| 1000 | 94.70 | 128.15 | 138.56 | 129.09 |
| 2000 | 114.27 | 164.89 | 153.02 | 134.69 |
| 3000 | 124.68 | 181.66 | 157.87 | 136.69 |
| 4000 | 130.60 | 183.93 | 160.22 | 137.67 |
| 5000 | 134.20 | 184.51 | 161.55 | 138.29 |
| 6000 | 136.60 | 184.82 | 162.80 | 138.69 |
| 7000 | 138.00 | 184.95 | 162.80 | 138.96 |



Şekil 2.84. Desteğin alt ve üst başlıkta olması durumunda yanıl burkulma yükleri (kN)

Şekilde L' yanıl desteğin kiriş uzunluğundaki yerinin göstermektedir. Şekil 2.80'de yanıl desteğin yay sabiti artırıldıkça yanıl burkulma yükünün hızlı bir şekilde arttığı, daha sonra ise yay sabitinin artması ile yanıl burkulma yükünün değişmediği görülmektedir. Büyük destek yay sabitlerinde en büyük yanıl burkulma yükü yanıl desteğin alt ve üst başlığa yerleştirilmesi durumunda $0.667L'$ 'de uygulanan destekte ortaya çıkmıştır. Rijit yanıl destek durumuna karşılık gelen destek yay sabiti 7000 kN/m olsa bile, yay sabitinin 3000 kN/m olması durumundan sonra yanıl burkulma yükünün yaklaşık sabit kaldığı görülmüştür. Bu durumda en ideal destek, $0.667L'$ 'ye konulacak olan 3000 kN/m yay sabitine sahip yanıl destektir. Destek yay sabiti artırıldıkça desteğin alt başlığa ve üst başlığa beraber uygulanmalarında, desteğin kiriş yarısına ve kiriş boş ucuna yerleştirilmesi aynı etkiyi göstermektedir.

2.2.3. Açıklığında Elastik Mesnet Bulunan Kolonun Kritik Burkulma Yükünün Yapay Sinir Ağları ile Hesabı

Destekler uygulandıkları noktalarda uygulama şekline göre dönme ve/veya yer değiştirmeleri kısıtlayarak yapı elemanının burkulma dayanımını artırırılar. Kullanılan desteklerin dayanım ve yay sabitleri, yapı elemanının stabilitesini önemli ölçüde etkilemektedirler. Öyle ki, desteğin yay sabitinin değişmesi, mevcut elemanın burkulma

dayanımını da değiştirir. Bununla alakalı olarak birçok deneysel çalışma yapılmıştır (Trahair, 1984; Wong-Chung, 1987; Ales, 1993).

Desteklerin yay sabiti çok düşük olduğu zaman genellikle kolonlar simetrik birinci mod şeklinde burkulurlar. Kullanılan yay sabiti arttıkça kritik burkulma yükü artar ve kolon S şeklinde anti simetrik olarak burkulur. Elastik kolonlarda tam desteklenmiş elemanlar, desteklenmemiş elemanlara göre yaklaşık 4 kat daha fazla dayanıklıdırlar. Kolon tam destekli duruma geldikten sonra burkulma dayanımı daha fazla artmaz. Bu da yapı elemanlarının en ekonomik olarak desteklenmeleri gerektiğine işaret eder. Bu durum, desteklerin niteliklerinin, yay sabitlerinin ve konumlarının iyi ayarlanmalarını gerektirir. Zira fazladan yapılan destekler yapıya artı bir dayanım kazandırmamakta aksine yapının maliyetini artırmaktadır (Gil, 1999).

Çubuk elemanlar uygulanan yüklere karşı dayanımlarını artırmak için desteklendiklerinde, destek kolona bir elastik mesnet olarak eklenebilir. Bu eklenebilme ile elastik mesnetli kolonların burkulma yükünün hesabı bir pratiklik kazanmaktadır. Bu durum literatürde açıkça belirtilmeyen ve standartlarda bulunmayan burkulma problemleri için birçok bilim adamına bir ışık kaynağı olmuştur.

Şekil 2.4'teki gibi bir kolon dikkate alınsın. P basınç yüküne maruz kolon $x = \alpha L$ mesafesinde yay sabiti c olan elastik bir mesnetle desteklenmiştir. Literatürde, elastik mesnetli kolonun, çeşitli mesnet durumları için burkulma ölçütleri aşağıda beş sınır şartı için verilmiştir. Konu ile ilgili daha detaylı bilgi (Wang, 2003)'te mevcuttur.

$$\lambda^2 = \frac{PL^2}{EI} \text{ ve } \xi = \frac{cL^3}{EI} \text{ olmak üzere;}$$

1- Ankastre mesnet – Serbest uç:

$$[2 - \cos(\alpha\lambda)]\sin[(1 - \alpha)\lambda] + \left[\alpha\lambda - \frac{\lambda^3}{\xi} \right] \cos \lambda - \sin \lambda = 0 \quad (2.42)$$

2- Basit mesnet – Basit mesnet:

$$\cos(\alpha\lambda)\cos[(1 - \alpha)\lambda] - \cos \lambda - \left[\alpha\lambda(1 - \alpha) - \frac{\lambda^3}{\xi} \right] \sin \lambda = 0 \quad (2.43)$$

3- Ankastre mesnet – Basit mesnet:

$$\lambda[2(1-\alpha)\cos(\alpha\lambda)]\sin[(1-\alpha)\lambda] + \cos(\alpha\lambda)\cos[(1-\alpha)\lambda] - \left[1 - \alpha\lambda^2(1-\alpha) + \frac{\lambda^4}{\xi}\right]\cos\lambda - \left[\lambda(1-\alpha) - \frac{\lambda^3}{\xi}\right]\sin\lambda = 0 \quad (2.44)$$

4- Ankastre mesnet – Ankastre mesnet:

$$\lambda[2(1-\alpha) - \cos(\alpha\lambda)]\cos[(1-\alpha)\lambda] - 2\sin[(1-\alpha)\lambda] + 2[\alpha\lambda\cos(\alpha\lambda) - \sin(\alpha\lambda)] - \left[\lambda - \frac{2\lambda^3}{\xi}\right]\cos\lambda + \left[\left\{2 - \alpha\lambda^2(1-\alpha)\right\} + \frac{\lambda^4}{\xi}\right]\sin\lambda - \frac{2\lambda^3}{\xi} = 0 \quad (2.45)$$

5- Basit mesnet – Serbest uç.

$$\sin(\alpha\lambda)\sin[(1-\alpha)\lambda] - \left[\alpha\lambda - \frac{\lambda^3}{\xi}\right]\sin\lambda = 0 \quad (2.46)$$

Bu bölümde örnek olarak Wang (2003) çalışmasından elde edilen veriler seçilmiştir. Seçilen veriler kullanılarak, yukarıda beş sınır şartına göre verilen denklemler mühendislik problemlerinin çözümünde yaklaşık çözümler üretebilen Yarım Adım Yöntemi'ne dayalı FORTRAN programlama dilinde yazılan bir program yardımı ile λ 'ya göre çözümlenerek elde edilen sonuçlar YSA'nın eğitilmesi ve test aşamasında kullanılmıştır. Hazırlanan program ile elde edilen λ değerleri Wang (2003) çalışması ile karşılaştırmalı olarak Tablo 2.34'te verilmiştir.

Geriye yayılma algoritmaları ve danışmanlı öğrenmeli YSA modeli kullanılarak, 180 örneğin bulunduğu çalışmada 79 örnek eğitim aşamasında, 49 örnek de test aşamasında kullanılmıştır. Sinir ağı modeli girdi katmanında elastik mesnedin yeri (α), elastik mesnedin rijidliği (ξ), birinci sınır koşulu (a mesnedi) ve ikinci sınır koşulu (b mesnedi); 10 işlem elemanından oluşan bir ara katman ve çıktı katmanında ise kritik burkulma yükü (P) olacak şekilde modellenmiştir. YSA öğrenme oranı 0.5 olarak seçilmiştir. Kullanılan malzemenin elastisite modülü $E=2 \times 10^9$ N/m², kesitin atalet momenti $I=3150 \times 10^{-4}$ m⁴ (I 240 profili) ve kolon boyu 8 m'dir, kolonun küçük atalet momenti olan ekseninde tam destekli olduğu ve büyük atalet momenti olan ekseninde burkulduğu dikkate alınmaktadır. Mesnet şartları, sinir ağına ankastre mesnet için 0.9, basit mesnet için 0.5 ve boş uç için

0.1 olarak ifade edilmiştir. YSA'nın eğitime başlaması için gerekli olan ara katmandaki hücrelerin değerleri ve ağırlık katsayıları rastgele seçilerek oluşturulmuştur. Hata toleransı %5 olarak seçilmiştir. Gerekli işlemler yapıldıktan sonra YSA'nın problemi öğrenmesi amaçlanmaktadır. Öğrenme tamamlanınca test aşamasına geçilerek YSA'nın problemi hangi derecede öğrendiği test edilir. Değerler kabul edilebilirse YSA'nın problemi öğrendiği düşünülerek çözüm işlemi tamamlanmış olmaktadır.

Elde edilen test seti Tablo 2.35'de sunulmaktadır. Tablo 2.35'den de görüleceği gibi test seti ortalama hatası %3.37'dir. Test setindeki hata değerlerinin çok büyük kısmı, eğitimde seçilen %5 hata değerinden küçük çıkmıştır. Bununla beraber %5'ten büyük hata değerleri az da olsa test setinde mevcuttur. Test setinden de görüleceği gibi en büyük hata değerleri $\xi = 100$ ve $\xi = 10$ değerlerine sahip örneklerde çıkmaktadır. $\xi = 20$ ve $\xi = 40$ değerlerinde ise hata değerlerinin tamamına yakını %5 hata değerinin altındadır. 16. örnekte hata değeri %24.15 ile en büyük değerine ulaşmaktadır. 16. örneğe dikkat edildiğinde hem α , hem de ξ değerleri sınırdadır. Bu da YSA'nın sınır içinde kalan örneklerde gerçeğe yakın değerler verdiği, sınırda veya sınıra yakın değerlerde ise gerçeğe yakın sonuçlar verebilmekle beraber hata değerinin yüksek çıkma olasılığının da olduğunu göstermektedir. Bu sebepten dolayı YSA için eğitim seti oluşturulurken problemi en geniş anlamda kapsayan bir örnek uzayı seçilmelidir. Çalışmada beş ayrı problem YSA ile tek set kullanılarak çözülmüştür.

YSA ile çözümde ırraksamayı önlemek için kullanılan değerler 0.1-0.9 aralığına indirgenebilir. Bu indirgeme (normalizasyon) kullanıcıya göre değişmektedir. Bu çalışmada her girdi tabakası kendi içindeki en büyük ve en küçük değerler kullanılarak normalize edilmiştir.

Tablo 2.37. Açıklığında elastik mesnet bulunan kolonun kritik burkulma yükü için λ değerleri

| α | ξ | Ankastre-Ankastre | | Ankastre-Basit | | Ankastre-Boş | | Basit-Basit | | Basit-Boş | |
|----------|-------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|
| | | Yarım Adım Yöntemi | Wang (2003) | Yarım Adım Yöntemi | Wang (2003) | Yarım Adım Yöntemi | Wang (2003) | Yarım Adım Yöntemi | Wang (2003) | Yarım Adım Yöntemi | Wang (2003) |
| 0.1 | 10 | 6.2846 | 6.2846 | 4.4944 | 4.4944 | 1.5712 | 1.5712 | 3.1720 | 3.1720 | 0.3120 | 0.3120 |
| 0.2 | 10 | 6.3022 | 6.3022 | 4.5068 | 4.5068 | 1.5742 | 1.5768 | 3.2490 | 3.2491 | 0.5875 | 0.6063 |
| 0.3 | 10 | 6.3508 | 6.3508 | 4.5453 | 4.5452 | 1.6016 | 1.5996 | 3.3428 | 3.3427 | 0.8313 | 0.8813 |
| 0.4 | 10 | 6.4128 | 6.4128 | 4.6086 | 4.6087 | 1.6563 | 1.6538 | 3.4189 | 3.4187 | 1.1359 | 1.1449 |
| 0.5 | 10 | 6.4423 | 6.4423 | 4.6735 | 4.6735 | 1.7656 | 1.7520 | 3.4482 | 3.4481 | 1.4102 | 1.4086 |
| 0.6 | 10 | 6.4128 | 6.4128 | 4.7035 | 4.7034 | 1.9023 | 1.9033 | 3.4189 | 3.4187 | 1.6844 | 1.6853 |
| 0.7 | 10 | 6.3508 | 6.3508 | 4.6753 | 4.6752 | 2.1211 | 2.1151 | 3.3428 | 3.3427 | 1.9891 | 1.9893 |
| 0.8 | 10 | 6.3022 | 6.3022 | 4.6021 | 4.6018 | 2.3945 | 2.3947 | 3.2490 | 3.2491 | 2.3395 | 2.3341 |
| 0.9 | 10 | 6.2847 | 6.2846 | 4.5259 | 4.5258 | 2.7500 | 2.7461 | 3.1699 | 3.172 | 2.7203 | 2.7281 |
| 0.1 | 20 | 6.2861 | 6.2861 | 4.4951 | 4.4954 | 1.5469 | 1.5716 | 3.1992 | 3.2015 | 0.5875 | 0.4354 |
| 0.2 | 20 | 6.3206 | 6.3207 | 4.5200 | 4.5199 | 1.5469 | 1.5826 | 3.3516 | 3.3493 | 0.5875 | 0.8228 |
| 0.3 | 20 | 6.4156 | 6.4156 | 4.5940 | 4.5941 | 1.6563 | 1.6250 | 3.5273 | 3.5256 | 1.1969 | 1.1602 |
| 0.4 | 20 | 6.5379 | 6.5378 | 4.7156 | 4.7157 | 1.7109 | 1.7192 | 3.6680 | 3.6704 | 1.4406 | 1.4664 |
| 0.5 | 20 | 6.5974 | 6.5973 | 4.8423 | 4.8423 | 1.8750 | 1.8772 | 3.7266 | 3.7275 | 1.7758 | 1.7644 |
| 0.6 | 20 | 6.5379 | 6.5378 | 4.9034 | 4.9034 | 2.0938 | 2.1054 | 3.6680 | 3.6704 | 2.0805 | 2.0748 |
| 0.7 | 20 | 6.4156 | 6.4156 | 4.8489 | 4.8492 | 2.4082 | 2.4123 | 3.5273 | 3.5256 | 2.4156 | 2.4122 |
| 0.8 | 20 | 6.3206 | 6.3207 | 4.7061 | 4.7061 | 2.8115 | 2.8114 | 3.3516 | 3.3493 | 2.7660 | 2.7685 |
| 0.9 | 20 | 6.2861 | 6.2861 | 4.5581 | 4.5577 | 3.3105 | 3.3149 | 3.1992 | 3.2015 | 3.0555 | 3.0546 |
| 0.1 | 40 | 6.2891 | 6.289 | 4.4980 | 4.4974 | 1.6563 | 1.5723 | 3.2578 | 3.2582 | 0.5875 | 0.6000 |
| 0.2 | 40 | 6.3564 | 6.3562 | 4.5449 | 4.5448 | 1.6563 | 1.5935 | 3.5273 | 3.53 | 1.0750 | 1.0765 |
| 0.3 | 40 | 6.5374 | 6.5371 | 4.6841 | 4.6835 | 1.6563 | 1.6680 | 3.8438 | 3.8455 | 1.4406 | 1.4409 |
| 0.4 | 40 | 6.7747 | 6.7746 | 4.9075 | 4.9075 | 1.8203 | 1.8154 | 4.1133 | 4.1136 | 1.7453 | 1.7452 |
| 0.5 | 40 | 6.8962 | 6.8961 | 5.1492 | 5.1490 | 2.0391 | 2.0373 | 4.2305 | 4.2258 | 2.0195 | 2.0312 |
| 0.6 | 40 | 6.7747 | 6.7746 | 5.2773 | 5.2774 | 2.3398 | 2.3335 | 4.1133 | 4.1136 | 2.3242 | 2.3233 |
| 0.7 | 40 | 6.5374 | 6.5371 | 5.1763 | 5.1765 | 2.7090 | 2.7134 | 3.8438 | 3.8455 | 2.6289 | 2.6256 |
| 0.8 | 40 | 6.3564 | 6.3562 | 4.9023 | 4.9030 | 3.1875 | 3.1922 | 3.5273 | 3.53 | 2.9031 | 2.9055 |
| 0.9 | 40 | 6.2891 | 6.289 | 4.6196 | 4.6196 | 3.7617 | 3.7616 | 3.2578 | 3.2582 | 3.0859 | 2.0889 |
| 0.1 | 100 | 6.2979 | 6.2975 | 4.5039 | 4.5033 | 1.4375 | 1.5746 | 3.4219 | 3.4111 | 1.0750 | 0.8812 |
| 0.2 | 100 | 6.4524 | 6.4523 | 4.6123 | 4.6117 | 1.4375 | 1.6214 | 3.9375 | 3.9478 | 1.3188 | 1.4016 |
| 0.3 | 100 | 6.8420 | 6.8423 | 4.8979 | 4.8980 | 1.6563 | 1.7557 | 4.5234 | 4.5231 | 1.6844 | 1.7172 |
| 0.4 | 100 | 7.3789 | 7.3788 | 5.3374 | 5.3375 | 1.9844 | 1.9691 | 5.0859 | 5.0781 | 1.9891 | 1.9690 |
| 0.5 | 100 | 7.7180 | 7.7178 | 5.8545 | 5.8544 | 2.2578 | 2.2437 | 5.4141 | 5.4126 | 2.2023 | 2.2127 |
| 0.6 | 100 | 7.3789 | 7.3788 | 6.2354 | 6.2352 | 2.5859 | 2.5805 | 5.0859 | 5.0781 | 2.4613 | 2.4669 |
| 0.7 | 100 | 6.8420 | 6.8423 | 6.0229 | 6.0225 | 2.9961 | 2.9925 | 4.5234 | 4.5231 | 2.7203 | 2.7261 |
| 0.8 | 100 | 6.4524 | 6.4523 | 5.4106 | 5.4105 | 3.4883 | 3.4870 | 3.9375 | 3.9478 | 2.9564 | 2.9549 |
| 0.9 | 100 | 6.2979 | 6.2975 | 4.7910 | 4.7924 | 4.0215 | 4.0182 | 3.4219 | 3.4111 | 3.1012 | 3.0994 |

Tablo 2.38. Açıklığında elastik mesnet bulunan kolon için YSA test seti

| Örnek | α | ξ | a | b | P (kN) | P (YSA) (kN) | Hata (%) |
|-------|----------|-------|-----|-----|----------------------|--------------|----------|
| 1 | 0.3 | 10 | 0.9 | 0.1 | 251.90 | 244.90 | 2.76 |
| 2 | 0.8 | 10 | 0.9 | 0.1 | 564.50 | 566.40 | 0.33 |
| 3 | 0.1 | 20 | 0.9 | 0.1 | 243.10 | 246.60 | 1.42 |
| 4 | 0.7 | 20 | 0.9 | 0.1 | 572.80 | 588.20 | 2.69 |
| 5 | 0.2 | 40 | 0.9 | 0.1 | 250.00 | 252.90 | 1.18 |
| 6 | 0.6 | 40 | 0.9 | 0.1 | 536.00 | 549.20 | 2.47 |
| 7 | 0.2 | 100 | 0.9 | 0.1 | 258.80 | 256.80 | 0.76 |
| 8 | 0.5 | 100 | 0.9 | 0.1 | 495.50 | 500.70 | 1.04 |
| 9 | 0.2 | 10 | 0.5 | 0.5 | 1039.20 | 1049.90 | 1.03 |
| 10 | 0.9 | 10 | 0.5 | 0.5 | 990.40 | 956.60 | 3.42 |
| 11 | 0.3 | 20 | 0.5 | 0.5 | 1223.60 | 1231.40 | 0.64 |
| 12 | 0.4 | 20 | 0.5 | 0.5 | 1326.10 | 1318.80 | 0.55 |
| 13 | 0.6 | 20 | 0.5 | 0.5 | 1326.10 | 1308.10 | 1.36 |
| 14 | 0.1 | 40 | 0.5 | 0.5 | 1045.00 | 1108.00 | 6.03 |
| 15 | 0.4 | 40 | 0.5 | 0.5 | 1665.70 | 1591.60 | 4.45 |
| 16 | 0.1 | 100 | 0.5 | 0.5 | 1145.40 | 1422.00 | 24.15 |
| 17 | 0.2 | 100 | 0.5 | 0.5 | 1534.20 | 1700.40 | 10.84 |
| 18 | 0.1 | 10 | 0.9 | 0.5 | 1988.40 | 1979.90 | 0.43 |
| 19 | 0.4 | 10 | 0.9 | 0.5 | 2090.80 | 2091.40 | 0.03 |
| 20 | 0.7 | 10 | 0.9 | 0.5 | 2151.60 | 2107.50 | 2.05 |
| 21 | 0.2 | 20 | 0.9 | 0.5 | 2011.00 | 1989.20 | 1.08 |
| 22 | 0.4 | 20 | 0.9 | 0.5 | 2189.00 | 2193.50 | 0.20 |
| 23 | 0.8 | 20 | 0.9 | 0.5 | 2180.10 | 2157.30 | 1.05 |
| 24 | 0.1 | 40 | 0.9 | 0.5 | 1991.10 | 1963.90 | 1.37 |
| 25 | 0.9 | 40 | 0.9 | 0.5 | 2100.70 | 2184.10 | 3.97 |
| 26 | 0.2 | 100 | 0.9 | 0.5 | 2093.50 | 2165.30 | 3.43 |
| 27 | 0.3 | 100 | 0.9 | 0.5 | 2361.60 | 2454.50 | 3.94 |
| 28 | 0.9 | 100 | 0.9 | 0.5 | 2260.80 | 2077.20 | 8.12 |
| 29 | 0.2 | 10 | 0.9 | 0.9 | 3909.70 | 3954.60 | 1.15 |
| 30 | 0.7 | 10 | 0.9 | 0.9 | 3970.20 | 4016.70 | 1.17 |
| 31 | 0.9 | 10 | 0.9 | 0.9 | 3887.90 | 3342.10 | 14.04 |
| 32 | 0.2 | 20 | 0.9 | 0.9 | 3932.70 | 4021.00 | 2.24 |
| 33 | 0.8 | 20 | 0.9 | 0.9 | 3932.70 | 3871.90 | 1.55 |
| 34 | 0.2 | 40 | 0.9 | 0.9 | 3977.00 | 4143.80 | 4.19 |
| 35 | 0.5 | 40 | 0.9 | 0.9 | 4681.30 | 4501.00 | 3.85 |
| 36 | 0.6 | 40 | 0.9 | 0.9 | 4517.80 | 4435.80 | 1.81 |
| 37 | 0.4 | 100 | 0.9 | 0.9 | 5359.60 | 5076.90 | 5.27 |
| 38 | 0.5 | 100 | 0.9 | 0.9 | 5863.40 | 5398.00 | 7.94 |
| 39 | 0.1 | 10 | 0.5 | 0.1 | 9.60 | 9.40 | 2.03 |
| 40 | 0.8 | 10 | 0.5 | 0.1 | 536.30 | 535.30 | 0.18 |
| 41 | 0.9 | 10 | 0.5 | 0.1 | 732.60 | 685.20 | 6.47 |
| 42 | 0.2 | 20 | 0.5 | 0.1 | 66.60 | 67.10 | 0.62 |
| 43 | 0.7 | 20 | 0.5 | 0.1 | 572.80 | 560.00 | 2.24 |
| 44 | 0.1 | 40 | 0.5 | 0.1 | 35.40 | 35.40 | 0.04 |
| 45 | 0.2 | 40 | 0.5 | 0.1 | 114.10 | 113.00 | 0.96 |
| 46 | 0.5 | 40 | 0.5 | 0.1 | 406.10 | 395.10 | 2.71 |
| 47 | 0.9 | 40 | 0.5 | 0.1 | 939.20 | 1066.30 | 13.53 |
| 48 | 0.3 | 100 | 0.5 | 0.1 | 290.30 | 285.30 | 1.73 |
| 49 | 0.6 | 100 | 0.5 | 0.1 | 599.10 | 603.30 | 0.72 |
| | | | | | Ortalama mutlak hata | | 3.37 |

2.2.4. Yanal Burkulma Yükünün Yapay Sinir Ağları ile Hesabı

İnce cidarlı kirişlerde yanal burkulma problemi oldukça karmaşık bir problemdir. Bundan dolayı birçok araştırmacı yanal burkulma probleminin çözümü için yeter yaklaşıklıkta yeni çözümler üretmek için çalışmaktadırlar. Bu çalışmada yanal destekli ince cidarlı kirişlerin yanal burkulma yüklerini desteklerinde etkisini dikkate alabilen ve kısa sürede çözüm üretebilen BASP programından elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Çalışmada ortasından tekil yük etkisindeki basit mesnetli kiriş, uçlarından eğilme momenti etkisindeki basit mesnetli kiriş ve ucundan tekil yük etkisindeki konsol kirişin yanal burkulma yükleri BASP verileriyle eğitilen YSA ile hesaplanmıştır. Çalışmada ayrıca YSA'da örnek sayısının sonuçlara etkisi ve YSA'nın değişik problemlere uyarlanabilmesi özelliğinden faydalanarak BASP programında verilemeyen kesit özellikleri (I , J ve C_w) YSA ile çözümlere aktarılmıştır. Çalışmanın sonunda söz konusu üç ayrı problemin yine YSA'nın yeniden uyarlanabilme özelliği kullanılarak, birleştirilerek tek probleme indirgenerek çözümü yapılmıştır.

2.2.4.1. Yapay Sinir Ağları'nda Eğitimdeki Örnek Sayısının Sonuçlara Etkisi

Bu çalışmada, YSA'da eğitimdeki örnek sayısının sonuçlara etkisini incelemek için, ortasından tekil yüklü yanal desteklenmiş basit mesnetli kirişin yanal burkulma yükünün IPE 300, 400 500 ve 600 profilleri kullanılarak, desteğin kiriş açıklığının orta düzlemine yerleştirilmesi durumunda, değişik kiriş uzunluğu, yay sabiti ve konumu için çözümleri BASP programında elde edilmiş ve 262 örnek oluşturulmuştur. Geriye yayılma algoritmali ve danışmanlı öğrenmeli YSA modeli kullanılarak bu 262 örnekten, önce 60 örnek eğitim aşamasında kullanılmış daha sonra sırası ile her eğitim seti bir önceki eğitim serini de içerecek şekilde 111, 157 ve 200 örnekle eğitim setleri hazırlanmıştır. Bu eğitim setleri YSA'da bir ara katman ve bu katmanda 30 işlem elemanı olacak şekilde hazırlanmış ve 6 m uzunluğundaki IPE 450 profili için test edilmişlerdir. YSA'nın girdi kısmında kesit özellikleri (I , J ve C_w), kiriş uzunluğu (L), yanal destek yay sabiti (β_y) ve yanal desteğin yeri (h_y/h); çıktı kısmında ise yanal burkulma yükü (P_{kr}) bulunmaktadır. Hata miktarı ise %5 olarak seçilmiştir. Test setindeki yanal burkulma yükünün yanındaki parantez içindeki sayı (60), eğitim setindeki örnek sayısını göstermektedir. Çalışmanın sonucunda elde edilen yanal burkulma yükleri ve hatalar Tablo 2.39~2.40'da verilmiştir.

Tablo 2.39. Eğitim setindeki örnek sayısına göre kritik yanal burkulma yükleri için YSA test seti girdileri

| Örnek | L (m) | I ($\times 10^{-8} \text{ m}^4$) | J ($\times 10^{-8} \text{ m}^4$) | C_w ($\times 10^{-9} \text{ m}^6$) | β_y (kN/m) | h_y/h |
|-------|-------|------------------------------------|------------------------------------|--|------------------|---------|
| 1 | 6 | 1670 | 52.54 | 789 | 0 | 0 |
| 2 | 6 | 1670 | 52.54 | 789 | 0 | 0.5 |
| 3 | 6 | 1670 | 52.54 | 789 | 0 | 1 |
| 4 | 6 | 1670 | 52.54 | 789 | 50 | 0 |
| 5 | 6 | 1670 | 52.54 | 789 | 50 | 0.5 |
| 6 | 6 | 1670 | 52.54 | 789 | 50 | 1 |
| 7 | 6 | 1670 | 52.54 | 789 | 150 | 0 |
| 8 | 6 | 1670 | 52.54 | 789 | 150 | 0.5 |
| 9 | 6 | 1670 | 52.54 | 789 | 150 | 1 |
| 10 | 6 | 1670 | 52.54 | 789 | 600 | 0 |
| 11 | 6 | 1670 | 52.54 | 789 | 600 | 0.5 |
| 12 | 6 | 1670 | 52.54 | 789 | 600 | 1 |
| 13 | 6 | 1670 | 52.54 | 789 | 1800 | 0 |
| 14 | 6 | 1670 | 52.54 | 789 | 1800 | 0.5 |
| 15 | 6 | 1670 | 52.54 | 789 | 1800 | 1 |
| 16 | 6 | 1670 | 52.54 | 789 | 3000 | 0 |
| 17 | 6 | 1670 | 52.54 | 789 | 3000 | 0.5 |
| 18 | 6 | 1670 | 52.54 | 789 | 3000 | 1 |

Tablo 2.40. Eğitim setindeki örnek sayısına göre kritik yanal burkulma yükleri için YSA test seti çıktıları

| Örnek | P_{kr} (BASP) (kN) | $P_{kr}(60)$ (kN) | Hata | $P_{kr}(111)$ (kN) | Hata % | $P_{kr}(157)$ (kN) | Hata % | $P_{kr}(200)$ (kN) | Hata % |
|----------------------|----------------------|-------------------|-------|--------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|
| 1 | 50.90 | 51.07 | -0.33 | 51.71 | -1.57 | 50.09 | 1.60 | 49.60 | 2.56 |
| 2 | 50.90 | 50.75 | 0.31 | 51.39 | -0.95 | 49.56 | 2.64 | 50.48 | 0.84 |
| 3 | 50.90 | 50.32 | 1.16 | 50.86 | 0.09 | 50.88 | 0.06 | 50.12 | 1.55 |
| 4 | 55.61 | 55.05 | 1.00 | 55.80 | -0.33 | 54.50 | 2.00 | 53.74 | 3.36 |
| 5 | 52.68 | 52.60 | 0.15 | 53.09 | -0.77 | 51.37 | 2.48 | 52.18 | 0.96 |
| 6 | 50.95 | 50.94 | 0.02 | 51.22 | -0.52 | 51.19 | -0.46 | 50.21 | 1.47 |
| 7 | 64.71 | 64.16 | 0.85 | 65.26 | -0.84 | 65.24 | -0.81 | 64.05 | 1.02 |
| 8 | 56.03 | 56.92 | -1.59 | 56.98 | -1.69 | 55.69 | 0.60 | 56.06 | -0.05 |
| 9 | 51.03 | 52.54 | -2.96 | 52.05 | -2.00 | 51.97 | -1.83 | 50.41 | 1.22 |
| 10 | 101.23 | 93.83 | 7.31 | 97.64 | 3.55 | 105.76 | -4.48 | 104.10 | -2.84 |
| 11 | 68.69 | 69.22 | -0.77 | 68.55 | 0.20 | 70.48 | -2.61 | 68.94 | -0.36 |
| 12 | 51.26 | 55.01 | -7.31 | 52.94 | -3.27 | 53.63 | -4.62 | 51.20 | 0.13 |
| 13 | 172.49 | 111.45 | 35.39 | 141.90 | 17.73 | 166.75 | 3.33 | 163.99 | 4.93 |
| 14 | 92.19 | 65.81 | 28.61 | 88.27 | 4.24 | 91.44 | 0.81 | 91.81 | 0.40 |
| 15 | 51.50 | 41.22 | 19.96 | 51.01 | 0.94 | 52.62 | -2.17 | 51.32 | 0.35 |
| 16 | 218.97 | 166.66 | 23.89 | 156.72 | 28.43 | 190.65 | 12.93 | 183.88 | 16.02 |
| 17 | 108.37 | 90.58 | 16.42 | 107.64 | 0.68 | 106.50 | 1.73 | 108.31 | 0.06 |
| 18 | 51.59 | 49.81 | 3.45 | 52.78 | -2.31 | 52.99 | -2.71 | 51.01 | 1.12 |
| Ortalama mutlak hata | | | 8.41 | 3.90 | | | 2.66 | | 2.18 |

YSA'da eğitim setinde kullanılan değerler problemin YSA ile çözümünü önemli derecede etkilemektedir. Bu amaçla BASP programından elde edilen sonuçlarla bir örnek uzayı oluşturulmuş ve bu örnek uzayının içinden rastgele eğitim seti için örnekler alınmıştır. Sonuçlar arasında karşılaştırma yapabilmek için eğitim setinde kullanılan örnekler bir önceki eğitim setinde kullanılan örnekleri de içerecek şekilde seçilmiştir. Çalışmanın sonunda eğitim setindeki örnek sayısı arttıkça YSA'nın test setindeki hata değerleri azalmakta ve buna bağlı olarak da test setindeki ortalama mutlak hata değeri de azalmaktadır. Tablo 2.40'dan da görüleceği gibi 60 örnekli bir eğitim seti için ortalama mutlak hata %8.41 iken eğitimdeki örnek sayısı bir önceki örnekler sabit kalmak kaydıyla artırıldığında bu değer, 111 örnek için %3.90, 157 örnek için %2.66 ve 200 örnek için de %2.18'e kadar inmektedir. Test setlerindeki her bir örnek için hata miktarına bakıldığında, 60 örnek için en büyük hata değeri %35.39, 111 örnek için %28.43, 157 örnek için %12.93 ve 200 örnek için ise %16.02 olarak elde edilmiştir. 111, 157 ve 200 örnekli eğitim setleri için en büyük hata değeri aynı örnekte bulunmaktadır. 200 örnekli eğitim seti için en büyük hata değeri 157 örnek için elde edilen hata değerinden daha büyüktür. Bu da test setindeki bazı değerlerin hata değerleri artsa da test setindeki diğer hata değerlerinin azaldığını göstermektedir.

2.2.4.2. Yanal Desteklenmiş Ortasından Tekil Yük Etkisindeki Basit Mesnetli Kirişin Yanal Burkulma Yükünün Yapay Sinir Ağları ile Hesabı

Bu çalışmada ortasından tekil yüklü basit mesnetli kirişin (Şekil 2.2), desteğin kiriş açıklığının orta kesitine yerleştirilmesi durumunda, değişik kiriş uzunluğu (L), kiriş kesit özellikleri (I , J ve C_w), yanal destek yay sabiti (β_y) ve destek konumu (h_y/h) için yanal burkulma yükü YSA ile hesaplanmıştır. Çalışma amacına göre IPE 300, 400, 500 ve 600 profilleri için, BASP programı yardımı ile 262 örnekli bir set hazırlanmış ve bu setin 200 örneği eğitim aşamasında, 28 örneği ise test aşamasında kullanılmıştır. Çalışmada 30 sinir hücreli bir ara katmanlı geriye yayılma algoritmali ve danışmanlı öğrenmeli YSA modeli kullanılmıştır. YSA'nın girdi kısmında kesit özellikleri (I , J ve C_w), kiriş uzunluğu (L), yanal destek yay sabiti (β_y) ve yanal desteğin yeri (h_y/h); çıktı kısmında ise kritik yanal burkulma yükü (P_{kr}) bulunmaktadır. Hata miktarı ise %5 olarak seçilmiştir. Çalışma sonucunda YSA 200 örnekli eğitim seti ile eğitilerek, 28 örnekli test seti için sonuçlar Tablo 2.41'de gösterilmektedir.

Tablo 2.41. Yanal desteklenmiş tekil yük etkisindeki basit kiriş için yanıl burkulma yükleri YSA test seti

| Örnek | L (m) | I ($\times 10^{-8} \text{ m}^4$) | J ($\times 10^{-8} \text{ m}^4$) | C_w ($\times 10^{-9} \text{ m}^6$) | β_y (kN/m) | h_y/h | P_{kr} (kN) | $P_{kr}(YSA)$ (kN) | Hata |
|----------------------|-------|------------------------------------|------------------------------------|--|------------------|---------|---------------|--------------------|--------|
| 1 | 4 | 603 | 16.05 | 126 | 150 | 0.5 | 189.23 | 189.62 | -0.21 |
| 2 | 4 | 603 | 16.05 | 126 | 1800 | 1 | 175.48 | 175.87 | -0.22 |
| 3 | 6 | 603 | 16.05 | 126 | 600 | 1 | 71.04 | 71.24 | -0.28 |
| 4 | 8 | 603 | 16.05 | 126 | 50 | 0 | 52.09 | 51.02 | 2.05 |
| 5 | 8 | 603 | 16.05 | 126 | 600 | 0.5 | 82.34 | 82.26 | 0.10 |
| 6 | 10 | 603 | 16.05 | 126 | 50 | 0.5 | 29.45 | 29.29 | 0.55 |
| 7 | 10 | 603 | 16.05 | 126 | 600 | 1 | 27.40 | 27.18 | 0.79 |
| 8 | 4 | 1310 | 38.49 | 489 | 150 | 1 | 427.56 | 423.27 | 1.00 |
| 9 | 4 | 1310 | 38.49 | 489 | 1800 | 1 | 427.56 | 426.22 | 0.31 |
| 10 | 6 | 1310 | 38.49 | 489 | 150 | 0.5 | 187.18 | 187.48 | -0.16 |
| 11 | 6 | 1310 | 38.49 | 489 | 600 | 1 | 168.59 | 168.43 | 0.09 |
| 12 | 8 | 1310 | 38.49 | 489 | 600 | 0 | 295.76 | 280.74 | 5.08 |
| 13 | 8 | 1310 | 38.49 | 489 | 1800 | 1 | 92.26 | 94.00 | -1.90 |
| 14 | 10 | 1310 | 38.49 | 489 | 150 | 0 | 114.36 | 111.84 | 2.20 |
| 15 | 4 | 2140 | 73.17 | 1250 | 150 | 0 | 829.68 | 836.08 | -0.77 |
| 16 | 4 | 2140 | 73.17 | 1250 | 3000 | 0.5 | 1124.46 | 1097.81 | 2.37 |
| 17 | 6 | 2140 | 73.17 | 1250 | 600 | 0.5 | 396.47 | 400.20 | -0.94 |
| 18 | 6 | 2140 | 73.17 | 1250 | 3000 | 1 | 310.40 | 305.33 | 1.63 |
| 19 | 8 | 2140 | 73.17 | 1250 | 1800 | 0 | 660.34 | 645.29 | 2.28 |
| 20 | 10 | 2140 | 73.17 | 1250 | 50 | 1 | 96.13 | 96.47 | -0.36 |
| 21 | 10 | 2140 | 73.17 | 1250 | 150 | 0.5 | 123.70 | 125.86 | -1.74 |
| 22 | 4 | 3380 | 137.00 | 2840 | 600 | 0 | 1547.80 | 1493.20 | 3.53 |
| 23 | 4 | 3380 | 137.00 | 2840 | 3000 | 0.5 | 1787.46 | 1656.92 | 7.30 |
| 24 | 6 | 3380 | 137.00 | 2840 | 1800 | 0.5 | 812.24 | 833.19 | -2.58 |
| 25 | 8 | 3380 | 137.00 | 2840 | 150 | 0.5 | 310.00 | 310.63 | -0.20 |
| 26 | 8 | 3380 | 137.00 | 2840 | 1800 | 0.5 | 527.51 | 536.26 | -1.66 |
| 27 | 10 | 3380 | 137.00 | 2840 | 600 | 0.5 | 275.08 | 274.58 | 0.18 |
| 28 | 10 | 3380 | 137.00 | 2840 | 3000 | 0 | 667.01 | 803.29 | -20.43 |
| Ortalama mutlak hata | | | | | | | | | 2.18 |

Tablo 2.41'den görüleceği gibi, test setindeki örneklerin tamamına yakının hata değerleri başta seçtiğimiz %5 hata değerinden küçük çıkmaktadır. Test setinin ortalama mutlak hatası ise %2.18 olarak elde edilmektedir. Test setinde sayıları çok az da olsa %5'in üzerinde hatalar mevcuttur. Test setine bakıldığında 28. örnek için hata miktarı %-20.43 ile %5'in oldukça üstündedir. 28. örnek incelendiğinde girdi kısmındaki değerlerin tamamı uç değerlerdir (en alt veya en üst değerler). Bu da YSA'da yapılan çözümlerde sınır içinde kalan değerler için iyi sonuçlar elde edildiğini, sınırda veya sınıra çok yakın değerlerde ise sonuçların gerçeğe yakın çıkabilmekle beraber hataları yüksek çıkma olasılığının da olduğunu göstermektedir. YSA ile yapılan çözümlerde örnek uzayı, geniş kapsamda ele alınmalı ve çözümü istenen problemi tamamen kapsamaması gerekmektedir. Mümkünse eğitim setinde en uç değerler kullanılarak çözümüm kapsamı genişletilmelidir. Genel

anlamda YSA test setine bakıldığında, bulunan kritik yanal burkulma yükleri eğitildikleri programın (BASP) sonuçlarına yakın çıkmaktadır.

2.2.4.3. Yanal Desteklenmiş Uçlarından Eğilme Momenti Etkisindeki Basit Kirişin Yanal Burkulma Momentinin Yapay Sinir Ağları ile Hesabı

Bu çalışmada uçlarından eğilme momenti etkisindeki basit mesnetli kirişin (Şekil 2.2), desteğin kiriş açıklığının orta kesitine yerleştirilmesi durumunda, değişik kiriş uzunluğu (L), kiriş kesit özellikleri (I , J ve C_w), yanal destek yay sabiti (β_y) ve destek konumu (h_y/h) için yanal burkulma momenti YSA ile hesaplanmıştır. Bunun için IPE 300, 400, 500 ve 600 profilleri için, BASP programı yardımı ile 240 örnekli bir set hazırlanmış ve bu setin 200 örneği eğitim aşamasında, 40 örneği ise test aşamasında kullanılmıştır. Çalışmada 30 sinir hücreli bir ara katmanlı geriye yayılma algoritmali ve danışmanlı öğrenmeli YSA modeli kullanılmıştır. YSA'nın girdi kısmında kesit özellikleri (I , J ve C_w), kiriş uzunluğu (L), yanal destek yay sabiti (β_y) ve yanal desteğin yeri (h_y/h); çıktı kısmında ise yanal burkulma momenti (M_{kr}) bulunmaktadır. Hata miktarı ise %5 olarak seçilmiştir. Çalışma sonucunda YSA 200 örnekli eğitim seti ile eğitilerek, 40 örnekli test seti için sonuçlar Tablo 2.42'de gösterilmiştir.

Tablo 2.42'den görüleceği gibi, test setindeki örneklerin tamamına yakınının hata değerleri başta seçtiğimiz %5 hata değerinden küçük çıkmaktadır. Test setinin ortalama mutlak hatası ise %3.79 olarak elde edilmektedir. Test setinde sayıları çok az da olsa %5'in üzerinde hatalar mevcuttur. Test setindeki en büyük hata değeri %10.07 ile 17. örnektedir. Bir önceki bölümde değinildiği gibi, sınırdan veya sınıra yakın bölgelerde hata miktarının artması bu örnek için de geçerlidir. Zira test setine bakıldığında en büyük hata değeri ara değerlerde olsa bile, bu hatanın sahip olduğu IPE 500 profili için elde edilen diğer hatalar oldukça küçüktür, ancak kesit özellikleri sınırdan olan IPE 600 profili için elde edilen sonuçlara bakıldığında (29~40 örnekleri için) ise hataların çoğunun %5'ten büyük olduğu fark edilmektedir. Genel anlamda YSA test setine bakıldığında, bulunan yanal burkulma momentleri BASP ile elde edilen sonuçlara yakın çıkmaktadır.

Tablo 2.42. Yanal desteklenmiş eğilme momenti etkisindeki basit kiriş için yanıl burkulma momentleri YSA test seti

| Örnek | L (m) | I ($\times 10^{-8} \text{ m}^4$) | J ($\times 10^{-8} \text{ m}^4$) | C_w ($\times 10^{-9} \text{ m}^6$) | β_y (kN/m) | h_y/h | M_{kr} (kNm) | $M_{kr}(YSA)$ (kNm) | Hata % |
|----------------------|-------|------------------------------------|------------------------------------|--|------------------|---------|----------------|---------------------|--------|
| 1 | 4 | 603 | 16.05 | 126 | 600 | 0 | 276.2 | 271.19 | 1.82 |
| 2 | 4 | 603 | 16.05 | 126 | 3000 | 0 | 684.5 | 687.18 | -0.38 |
| 3 | 6 | 603 | 16.05 | 126 | 150 | 1 | 78.44 | 77.25 | 1.53 |
| 4 | 6 | 603 | 16.05 | 126 | 3000 | 0.5 | 210.4 | 214.29 | -1.85 |
| 5 | 8 | 603 | 16.05 | 126 | 600 | 0 | 195.8 | 202.54 | -3.44 |
| 6 | 8 | 603 | 16.05 | 126 | 1800 | 0.5 | 170.7 | 173.87 | -1.84 |
| 7 | 8 | 603 | 16.05 | 126 | 3000 | 0.5 | 190 | 185.69 | 2.29 |
| 8 | 10 | 603 | 16.05 | 126 | 600 | 0 | 167.3 | 153.99 | 7.95 |
| 9 | 10 | 603 | 16.05 | 126 | 1800 | 0.5 | 149 | 149.74 | -0.50 |
| 10 | 4 | 1310 | 38.49 | 489 | 600 | 0 | 554 | 556.41 | -0.44 |
| 11 | 4 | 1310 | 38.49 | 489 | 3000 | 0 | 1241 | 1320.80 | -6.42 |
| 12 | 6 | 1310 | 38.49 | 489 | 150 | 1 | 194.5 | 198.56 | -2.06 |
| 13 | 6 | 1310 | 38.49 | 489 | 600 | 1 | 197.3 | 201.97 | -2.37 |
| 14 | 8 | 1310 | 38.49 | 489 | 150 | 0.5 | 161.5 | 162.97 | -0.90 |
| 15 | 8 | 1310 | 38.49 | 489 | 600 | 0.5 | 226.9 | 221.13 | 2.54 |
| 16 | 8 | 1310 | 38.49 | 489 | 1800 | 0.5 | 317.8 | 305.98 | 3.73 |
| 17 | 10 | 1310 | 38.49 | 489 | 600 | 0 | 409.1 | 367.90 | 10.07 |
| 18 | 10 | 1310 | 38.49 | 489 | 1800 | 0 | 457 | 476.37 | -4.25 |
| 19 | 10 | 1310 | 38.49 | 489 | 3000 | 0 | 462.6 | 494.31 | -6.85 |
| 20 | 4 | 2140 | 73.17 | 1250 | 600 | 0.5 | 778.2 | 771.59 | 0.85 |
| 21 | 4 | 2140 | 73.17 | 1250 | 1800 | 1 | 722.2 | 728.12 | -0.82 |
| 22 | 6 | 2140 | 73.17 | 1250 | 150 | 0.5 | 393.8 | 393.26 | 0.13 |
| 23 | 6 | 2140 | 73.17 | 1250 | 1800 | 1 | 374.3 | 378.29 | -1.07 |
| 24 | 8 | 2140 | 73.17 | 1250 | 150 | 0.5 | 278.7 | 274.40 | 1.53 |
| 25 | 8 | 2140 | 73.17 | 1250 | 600 | 0.5 | 364.5 | 349.99 | 3.99 |
| 26 | 8 | 2140 | 73.17 | 1250 | 1800 | 0.5 | 495.9 | 472.60 | 4.71 |
| 27 | 10 | 2140 | 73.17 | 1250 | 150 | 0.5 | 230 | 235.18 | -2.26 |
| 28 | 10 | 2140 | 73.17 | 1250 | 1800 | 1 | 198.6 | 203.71 | -2.57 |
| 29 | 4 | 3380 | 137.00 | 2840 | 150 | 1 | 1335 | 1299.15 | 2.67 |
| 30 | 4 | 3380 | 137.00 | 2840 | 600 | 1 | 1335 | 1218.50 | 8.75 |
| 31 | 4 | 3380 | 137.00 | 2840 | 1800 | 1 | 1336 | 1164.33 | 12.87 |
| 32 | 6 | 3380 | 137.00 | 2840 | 150 | 1 | 668.6 | 694.84 | -3.92 |
| 33 | 6 | 3380 | 137.00 | 2840 | 1800 | 0.5 | 928.6 | 943.61 | -1.61 |
| 34 | 6 | 3380 | 137.00 | 2840 | 3000 | 1 | 677.1 | 741.73 | -9.55 |
| 35 | 8 | 3380 | 137.00 | 2840 | 150 | 0.5 | 474.5 | 482.22 | -1.63 |
| 36 | 8 | 3380 | 137.00 | 2840 | 600 | 1 | 438.6 | 440.54 | -0.43 |
| 37 | 8 | 3380 | 137.00 | 2840 | 3000 | 0.5 | 874 | 809.46 | 7.38 |
| 38 | 10 | 3380 | 137.00 | 2840 | 600 | 0 | 970.9 | 900.08 | 7.29 |
| 39 | 10 | 3380 | 137.00 | 2840 | 1800 | 0.5 | 706.6 | 760.22 | -7.58 |
| 40 | 10 | 3380 | 137.00 | 2840 | 3000 | 0.5 | 818 | 890.21 | -8.83 |
| Ortalama mutlak hata | | | | | | | | | 3.79 |

2.2.4.4. Ucundan Tekil Yük Etkisindeki Konsol Kirişin Yanal Burkulma Yükünün Yapay Sınır Ağları ile Hesabı

Bu çalışmada ucundan tekil yüklü konsol kirişin (Şekil 2.2), desteğin kiriş boş ucu kesitine yerleştirilmesi durumunda, değişik kiriş uzunluğu (L), kiriş kesit özellikleri (I, J ve

C_w), yanal destek yay sabiti (β_y) ve destek konumu (h_y/h) için yanal burkulma yükü YSA ile hesaplanmıştır. Bunun için IPE 300, 400, 500 ve 600 profilleri için, BASP programı yardımı ile 240 örnekli bir set hazırlanmış ve bu setin 200 örneği eğitim aşamasında, 40 örneği ise test aşamasında kullanılmıştır. Çalışmada 30 sinir hücreli bir ara katmanlı geriye yayılma algoritmali ve danışmanlı öğrenmeli YSA modeli kullanılmıştır. YSA'nın girdi kısmında kesit özellikleri (I, J ve C_w), kiriş uzunluğu (L), yanal destek yay sabiti (β_y) ve yanal desteğin yeri (h_y/h); çıktı kısmında ise yanal burkulma yükü (P_{kr}) bulunmaktadır. Hata miktarı %5 olarak seçilmiştir. Çalışma sonucunda YSA 200 örnekli eğitim seti ile eğitilerek, 40 örnekli test seti için sonuçlar Tablo 2.43'de gösterilmiştir.

Tablo 2.43'ten görüleceği gibi, test setindeki örneklerin tamamının hata değerleri başta seçtiğimiz %5 hata değerinden küçük çıkmaktadır. Test setinin ortalama mutlak hatası ise %2.16 olarak elde edilmektedir. Test setinde sayıları çok az da olsa %5'in üzerinde hatalar mevcuttur. Test setindeki en büyük hata değeri %17.53 ile 40. örnektedir. Bir önceki bölümlerde değinildiği gibi sınırdan veya sınıra yakın bölgelerde hata miktarının artması bu örnek için de geçerlidir. Zira test setine bakıldığında en büyük hata değerleri kesit özellikleri sınırdan olan IPE 300 profili için elde edilen hata değerleridir. Bir önceki çalışmada hata değerlerinin yüksek çıktığı değerler sınırın en üstündeki değerlerdir (IPE 600 profili). Bu çalışmada ise hataların en yüksek çıktığı değerler ise sınırın en altındaki (IPE 300 profili) değerlerdir. Bunlar test setindeki 1~9 örneklerine denk gelmektedir. Genel anlamda YSA test setine bakıldığında, bulunan yanal burkulma yükleri BASP ile elde edilen sonuçlara yakın çıkmaktadır.

Çalışması yapılan her üç model de incelendiğinde YSA için elde edilen sonuçlar BASP ile elde edilen sonuçlara yakın çıkmakta, ancak en üst ve/veya en alt değer için bu sonuçlar BASP sonuçlarından (eğitim setinde kullanılan yöntemin sonuçlarından) uzaklaşabilmektedir.

Tablo 2.43. Yanal desteklenmiş tekil yük etkisindeki konsol kiriş için yanall burkulma yükleri YSA test seti

| Örnek | L (m) | I ($\times 10^{-8} \text{ m}^4$) | J ($\times 10^{-8} \text{ m}^4$) | C_w ($\times 10^{-9} \text{ m}^6$) | β_y (kN/m) | h_y/h | P_{kr} (kN) | $P_{kr}(YSA)$ (kN) | Hata % |
|----------------------|-------|------------------------------------|------------------------------------|--|------------------|---------|---------------|--------------------|--------|
| 1 | 4 | 603 | 16.05 | 126 | 50 | 1 | 53.54 | 54.28 | -1.37 |
| 2 | 4 | 603 | 16.05 | 126 | 1200 | 0.5 | 69.45 | 63.78 | 8.16 |
| 3 | 6 | 603 | 16.05 | 126 | 50 | 1 | 22.97 | 23.26 | -1.26 |
| 4 | 6 | 603 | 16.05 | 126 | 600 | 1 | 23.45 | 22.86 | 2.54 |
| 5 | 6 | 603 | 16.05 | 126 | 1200 | 0.5 | 30.19 | 32.43 | -7.39 |
| 6 | 8 | 603 | 16.05 | 126 | 600 | 0 | 37.42 | 30.86 | 17.53 |
| 7 | 8 | 603 | 16.05 | 126 | 1200 | 0.5 | 15.93 | 17.74 | -11.36 |
| 8 | 10 | 603 | 16.05 | 126 | 600 | 1 | 8.05 | 7.96 | 1.22 |
| 9 | 10 | 603 | 16.05 | 126 | 1200 | 0.5 | 9.69 | 10.11 | -4.32 |
| 10 | 4 | 1310 | 38.49 | 489 | 300 | 0.5 | 138.91 | 138.97 | -0.04 |
| 11 | 4 | 1310 | 38.49 | 489 | 600 | 1 | 120.52 | 119.89 | 0.52 |
| 12 | 6 | 1310 | 38.49 | 489 | 50 | 1 | 55.22 | 55.79 | -1.02 |
| 13 | 6 | 1310 | 38.49 | 489 | 300 | 0.5 | 70.42 | 69.92 | 0.71 |
| 14 | 6 | 1310 | 38.49 | 489 | 600 | 1 | 55.51 | 54.73 | 1.42 |
| 15 | 8 | 1310 | 38.49 | 489 | 50 | 1 | 30.31 | 30.58 | -0.88 |
| 16 | 8 | 1310 | 38.49 | 489 | 300 | 0.5 | 39.31 | 39.08 | 0.60 |
| 17 | 8 | 1310 | 38.49 | 489 | 600 | 1 | 30.79 | 30.55 | 0.79 |
| 18 | 8 | 1310 | 38.49 | 489 | 1200 | 0.5 | 39.91 | 40.95 | -2.59 |
| 19 | 10 | 1310 | 38.49 | 489 | 300 | 0.5 | 24.16 | 24.21 | -0.21 |
| 21 | 10 | 1310 | 38.49 | 489 | 600 | 0 | 31.05 | 30.56 | 1.58 |
| 21 | 4 | 2140 | 73.17 | 1250 | 50 | 1 | 201.46 | 201.15 | 0.15 |
| 22 | 4 | 2140 | 73.17 | 1250 | 300 | 0.5 | 227.68 | 229.24 | -0.69 |
| 23 | 4 | 2140 | 73.17 | 1250 | 1200 | 0.5 | 241.46 | 236.78 | 1.94 |
| 24 | 6 | 2140 | 73.17 | 1250 | 50 | 1 | 95.02 | 96.15 | -1.19 |
| 25 | 6 | 2140 | 73.17 | 1250 | 600 | 1 | 95.41 | 95.72 | -0.33 |
| 26 | 6 | 2140 | 73.17 | 1250 | 1200 | 0.5 | 123.25 | 123.09 | 0.13 |
| 27 | 8 | 2140 | 73.17 | 1250 | 50 | 1 | 52.30 | 52.22 | 0.16 |
| 28 | 8 | 2140 | 73.17 | 1250 | 600 | 0 | 90.95 | 92.53 | -1.74 |
| 29 | 8 | 2140 | 73.17 | 1250 | 1200 | 0.5 | 69.16 | 70.87 | -2.48 |
| 30 | 10 | 2140 | 73.17 | 1250 | 300 | 0.5 | 41.91 | 41.91 | 0.01 |
| 31 | 10 | 2140 | 73.17 | 1250 | 600 | 1 | 33.48 | 33.11 | 1.10 |
| 32 | 4 | 3380 | 137.00 | 2840 | 300 | 0.5 | 359.86 | 365.94 | -1.69 |
| 33 | 4 | 3380 | 137.00 | 2840 | 600 | 0 | 450.69 | 441.38 | 2.07 |
| 34 | 6 | 3380 | 137.00 | 2840 | 50 | 1 | 161.66 | 161.59 | 0.04 |
| 35 | 6 | 3380 | 137.00 | 2840 | 300 | 0.5 | 195.52 | 197.41 | -0.97 |
| 36 | 6 | 3380 | 137.00 | 2840 | 600 | 1 | 161.75 | 162.28 | -0.33 |
| 37 | 6 | 3380 | 137.00 | 2840 | 1200 | 0.5 | 205.06 | 199.16 | 2.87 |
| 38 | 8 | 3380 | 137.00 | 2840 | 600 | 0 | 156.81 | 159.93 | -1.99 |
| 39 | 8 | 3380 | 137.00 | 2840 | 1200 | 0.5 | 119.02 | 118.76 | 0.22 |
| 40 | 10 | 3380 | 137.00 | 2840 | 600 | 0 | 95.77 | 96.59 | -0.85 |
| Ortalama mutlak hata | | | | | | | | | 2.16 |

2.2.4.5. Yapay Sinir Ağları'nın Yeniden Uyarlanabilme Özelliğinin Yanal Burkulma Yükünün Çözümüne Katkıları

YSA yapısı itibari ile esnek bir özelliğe sahiptir. Bu özelliği sayesinde çözümü gerçekleştirilen problemde değişiklik olmuşsa buna bağlı olarak YSA'nın yapısında da

değişiklik yapılarak yeni problem için çözüm üretilebilmektedir. Bu bölümde BASP ile elde edilen sonuçlarla eğitilen YSA'nın yeniden uyarlanabilme özelliğinden faydalanarak, YSA girdi kısmındaki değerler değiştirilerek ve/veya YSA girdi kısmına yeni veri/veriler eklenerek çözümlerde kullanılmıştır. Bu çalışmada ilk olarak, BASP programında I kesitinin başlık ve gövde birleşim yerinin yuvarlak olmamasından (Şekil 2.6) dolayı oluşan burulma rijitliği farkının YSA ile verilerek çözüme katılması ve ikinci olarak da önceden çözülen üç farklı problem (ortasından tekil yük etkisindeki basit mesnetli kiriş, uçlarından eğilme momenti etkisindeki basit mesnetli kiriş ve ucundan tekil yük etkisindeki konsol kiriş problemlerinin) YSA'nın girdi kısmına veri eklenerek tek problem halinde çözülmüştür.

2.2.4.5.1. Yapay Sinir Ağları'nın Girdi Kısımındaki Verilerin Değiştirilmesinin Çözümlere Katkısı

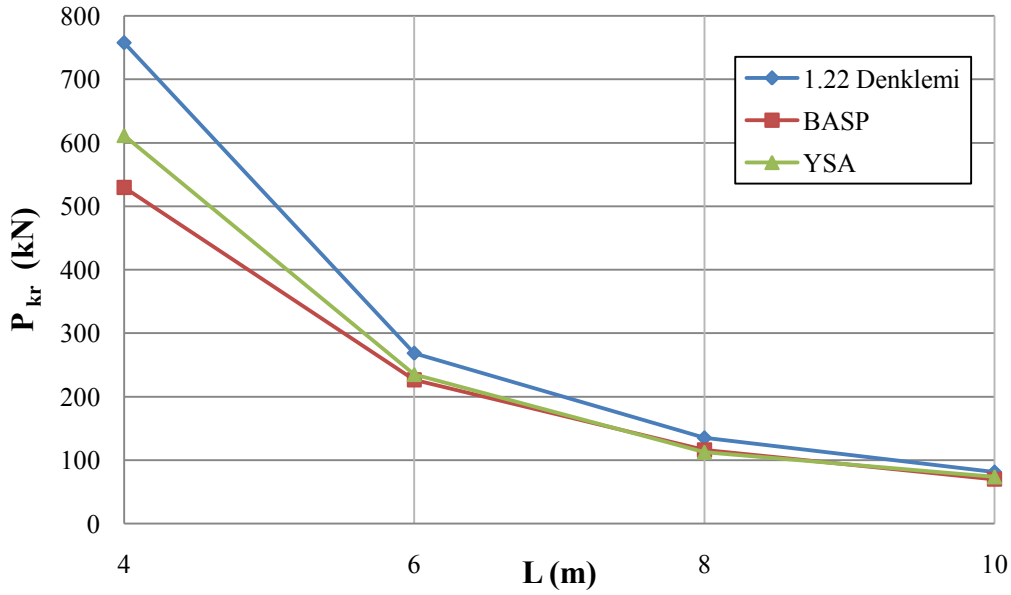
Bu bölümde BASP programındaki veri girişinden dolayı I profilinin burulma rijitliği farkından oluşan çözüm farkı giderilmiştir. Buna göre IPE 300, 400, 450, 500 ve 600 profillerinden oluşan değişik uzunluktaki ortasından tekil yüklü basit mesnetli kirişlerin yanal burkulma yükleri BASP programı yardımı ile çözümlenerek bir örnek uzayı oluşturulmuştur. Bu örnek uzayından IPE 300, 400, 500 ve 600 profilleri için elde edilen sonuçlar eğitim aşamasında kullanılmıştır. Çalışmada 30 sinir hücreli bir ara katmanlı geriye yayılma algoritmali ve danışmanlı öğrenmeli YSA modeli kullanılmıştır. YSA'nın girdi kısmında kesit özellikleri (I, J ve C_w) ve kiriş uzunluğu (L); Çıktı kısmında ise kritik yanal burkulma yükü (P_{kr}) bulunmaktadır. Hata miktarı %1 olarak seçilmiştir. Çalışmanın sonunda BASP programı ve BASP ile elde edilen örneklerden eğitilen YSA ile IPE 450 profili için yanal burkulma yükleri elde edilmiştir. Önceki çalışmalardan farklı olarak YSA'nın girdi kısmındaki kesit özellikleri (I, J ve C_w) başlık ve gövde birleşiminin yuvarlak olması için girilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 2.44 ve Şekil 2.85'Te karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Kiriş kesitinin sabit kalması şartıyla kiriş uzunluğunun artması ile (narinlik artmasıyla) BASP ile elde edilen sonuçların gerçeğe yakınsadığı önceden de belirtilmişti. Aynı sonuç Şekil 2.81'de de belirtilmektedir. Bu çalışmada BASP ile eğitilen YSA'nın girdi kısmına BASP programının kullandığı kesit özellikleri yerine, birleşim yerleri yuvarlak gerçek kesit özellikleri girilmiş ve elde edilen sonuçlarda BASP programının hatasının fazla olduğu durumlarda (uzunluğun 4-6 m olduğu durum) YSA gerçeğe biraz

daha yakın sonuçlar üretmiştir. Zira BASP ile bulunan sonuçta en yüksek hata değeri %30.08 olduğu durumda, YSA'nın kullanılması halinde bu değer %23.93'e kadar inmektedir. Narinliğin arttığı kiriş uzunluğunun 6-10 m olduğu durumlarda ise hem BASP hem de YSA ile elde edilen sonuçlar birbirine yakın çıkmıştır.

Tablo 2.44. IPE 450 profili için yanal burkulma yükleri

| L (m) | I (10^{-8} m^4) | J (10^{-8} m^4) | C_w (10^{-9} m^6) | P_{kr} (1.22 denklemi) (kN) | P_{kr} (BASP) (kN) | Hata | P_{kr} (YSA) (kN) | Hata |
|-------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------|-------|---------------------|-------|
| 4 | 1676 | 668.70 | 791 | 757.66 | 529.74 | 30.08 | 611.36 | 23.93 |
| 6 | 1676 | 668.70 | 791 | 268.62 | 226.41 | 15.71 | 234.91 | 14.35 |
| 8 | 1676 | 668.70 | 791 | 135.14 | 115.97 | 14.19 | 112.49 | 16.76 |
| 10 | 1676 | 668.70 | 791 | 81.33 | 69.93 | 14.02 | 73.58 | 10.53 |



Şekil 2.85. IPE 450 profili için yanal burkulma yükleri

2.2.4.5.2. Yapay Sinir Ağları'nın Girdi Kısımının Değiştirilerek Yeni Problemlere Uygulanması

Birbirinden bağımsız örneklerin aynı eğitim setinde eğitildiklerinde eğitim seti sonuç verse bile YSA'nın testi aşamasında genelde başarılı sonuçlar elde edilememektedir. Burada çözümde kullanılan formülleri birbirinden farklı üç örnek için YSA girdi kısmına veri eklenerek yeniden eğitim ve test yapılmıştır. Daha önce verilen eğitim setleri burada kullanılmamıştır.

Bu çalışmada YSA'nın yeni problemlere nasıl uyarlanabileceğinin gösterilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla daha önce kullanılan ortasından tekil yük etkisindeki basit mesnetli kiriş, uçlarından eğilme momenti etkisindeki basit mesnetli kiriş ve ucundan tekil yük etkisindeki konsol kiriş problemleri ele alınmıştır. YSA'nın girdi kısmına veri eklenerek daha önce elde edilen 262, 240 ve 240 adetlik örnek uzayları kullanılmıştır. Çalışmada girdi kısmına problemin çeşidini temsil edecek bir veri eklenerek eğitim yapılmıştır. Ortasından tekil yük etkisindeki basit mesnetli kirişi temsilen 0.5, uçlarından eğilme momenti etkisindeki basit mesnetli kirişi temsilen 0.9 ve ucundan tekil yük etkisindeki konsol kirişi temsilen de 0.1 değerleri kullanılmıştır. Bu kullanılan değerler test aşamasına göre kullanıcı tarafında farklı şekilde atanabilirler.. Önemli olan YSA test setinde istenilen hata değerlerini elde edebilmektir.

Çalışmada geriye yayılma algoritmali ve danışmanlı öğrenmeli YSA modeli kullanılarak, her bir problem için 200 olmak üzere toplam 600 adet veri eğitim setinde kullanılarak YSA eğitilmiş ve eğitim sonunda 100 örneklik bir test seti ile test edilmiştir. YSA'nın girdi kısmında, kesit özellikleri (I, J ve C_w), kiriş uzunluğu (L), yanal destek yay sabiti (β_y), yanal desteğin yeri (h_y/h) ve problemin türünü belirten sayı (0.1, 0.5 ve 0.9); çıktı kısmında ise yanal burkulma yükü/momenti (P_{kr} / M_{kr}) bulunmaktadır. YSA'da 30 işlem elemanından oluşan bir ara katman bulunmaktadır. Hata değeri % 5 olarak seçilmiştir. Çalışmanın sonunda elde edilen yanal burkulma yüklerine ait test seti Tablo 2.45'te sunulmuştur. Tabloda problem tipi 0.1, 0.5 ve 0.9 olarak Model sütununda verilmektedir.

Tablo 2.45 incelendiğinde problem için ortalama mutlak hata %1.89 olarak elde edilmektedir. Test setindeki en büyük hata %12.12 ile 51. örnekte çıkmaktadır. Bu örneğin dışındaki hata değerlerinin hemen hemen tamamı seçilen %5 hata değerinden küçük veya ona yakın değerlerdir. Bu da önceden çözülen üç problemin, YSA'ya veri eklenerek birleştirilmesinde elde edilen çözümlerin oldukça iyi olduğunu göstermektedir. YSA'nın esnek yapısı ve tekrardan uyarlanabilmesi özelliğinden, üç problem YSA ile tek probleme indirgenmekte ve çözüm daha hızlı yapılabilmektedir. Test setindeki hata değerlerinin düşük çıkması yanal desteklenmiş IPE profilli kesitlerin yanal burkulma problemlerinde YSA'nın kullanılabilirliğini ve çözüm üretmedeki zaman tasarrufunu ortaya koymaktadır.

Tablo 2.45. Yanal desteklenmiş örnekler için YSA test seti

| Örnek | L (m) | I (10 ⁻⁸ m ⁴) | J (10 ⁻⁸ m ⁴) | C _w (10 ⁻⁹ m ⁶) | β _y (kN/m) | h _y /h | Model | P _{kr} kN,kNm | P _{kr} (YSA) kN,kNm | Hata % |
|-------|----------|---|---|--|--------------------------|-------------------|-------|---------------------------|---------------------------------|-----------|
| 1 | 4 | 603 | 16.05 | 126 | 50 | 1 | 0.1 | 53.54 | 53.57 | -0.05 |
| 2 | 4 | 603 | 16.05 | 126 | 1200 | 0.5 | 0.1 | 69.45 | 70.07 | -0.90 |
| 3 | 6 | 603 | 16.05 | 126 | 50 | 1 | 0.1 | 22.97 | 22.91 | 0.26 |
| 4 | 6 | 603 | 16.05 | 126 | 600 | 1 | 0.1 | 23.45 | 23.37 | 0.32 |
| 5 | 8 | 603 | 16.05 | 126 | 600 | 0 | 0.1 | 37.42 | 35.87 | 4.13 |
| 6 | 8 | 603 | 16.05 | 126 | 1200 | 0.5 | 0.1 | 15.93 | 15.75 | 1.08 |
| 7 | 10 | 603 | 16.05 | 126 | 600 | 1 | 0.1 | 8.05 | 8.05 | 0.08 |
| 8 | 10 | 603 | 16.05 | 126 | 1200 | 0.5 | 0.1 | 9.69 | 9.26 | 4.46 |
| 9 | 4 | 1310 | 38.49 | 489 | 300 | 0.5 | 0.1 | 138.91 | 138.53 | 0.28 |
| 10 | 4 | 1310 | 38.49 | 489 | 600 | 1 | 0.1 | 120.52 | 119.90 | 0.51 |
| 11 | 6 | 1310 | 38.49 | 489 | 50 | 1 | 0.1 | 55.22 | 54.90 | 0.58 |
| 12 | 6 | 1310 | 38.49 | 489 | 600 | 1 | 0.1 | 55.51 | 55.05 | 0.83 |
| 13 | 8 | 1310 | 38.49 | 489 | 50 | 1 | 0.1 | 30.31 | 30.17 | 0.45 |
| 14 | 8 | 1310 | 38.49 | 489 | 300 | 0.5 | 0.1 | 39.31 | 39.20 | 0.28 |
| 15 | 8 | 1310 | 38.49 | 489 | 1200 | 0.5 | 0.1 | 39.91 | 39.70 | 0.53 |
| 16 | 10 | 1310 | 38.49 | 489 | 300 | 0.5 | 0.1 | 24.16 | 24.17 | -0.05 |
| 17 | 10 | 1310 | 38.49 | 489 | 600 | 0 | 0.1 | 31.05 | 31.40 | -1.14 |
| 18 | 4 | 2140 | 73.17 | 1250 | 50 | 1 | 0.1 | 201.46 | 202.51 | -0.52 |
| 19 | 4 | 2140 | 73.17 | 1250 | 300 | 0.5 | 0.1 | 227.68 | 229.68 | -0.88 |
| 20 | 4 | 2140 | 73.17 | 1250 | 1200 | 0.5 | 0.1 | 241.46 | 247.21 | -2.38 |
| 21 | 6 | 2140 | 73.17 | 1250 | 50 | 1 | 0.1 | 95.02 | 94.90 | 0.12 |
| 22 | 6 | 2140 | 73.17 | 1250 | 600 | 1 | 0.1 | 95.41 | 95.01 | 0.43 |
| 23 | 6 | 2140 | 73.17 | 1250 | 1200 | 0.5 | 0.1 | 123.25 | 123.73 | -0.39 |
| 24 | 8 | 2140 | 73.17 | 1250 | 600 | 0 | 0.1 | 90.95 | 92.12 | -1.29 |
| 25 | 8 | 2140 | 73.17 | 1250 | 1200 | 0.5 | 0.1 | 69.16 | 69.25 | -0.13 |
| 26 | 10 | 2140 | 73.17 | 1250 | 300 | 0.5 | 0.1 | 41.91 | 42.09 | -0.43 |
| 27 | 10 | 2140 | 73.17 | 1250 | 600 | 1 | 0.1 | 33.48 | 33.38 | 0.28 |
| 28 | 4 | 3380 | 137.00 | 2840 | 300 | 0.5 | 0.1 | 359.86 | 356.02 | 1.07 |
| 29 | 4 | 3380 | 137.00 | 2840 | 600 | 0 | 0.1 | 450.69 | 444.15 | 1.45 |
| 30 | 6 | 3380 | 137.00 | 2840 | 50 | 1 | 0.1 | 161.66 | 161.25 | 0.25 |
| 31 | 6 | 3380 | 137.00 | 2840 | 300 | 0.5 | 0.1 | 195.52 | 191.49 | 2.06 |
| 32 | 6 | 3380 | 137.00 | 2840 | 1200 | 0.5 | 0.1 | 205.06 | 203.76 | 0.63 |
| 33 | 8 | 3380 | 137.00 | 2840 | 600 | 0 | 0.1 | 156.81 | 158.51 | -1.09 |
| 34 | 8 | 3380 | 137.00 | 2840 | 1200 | 0.5 | 0.1 | 119.02 | 119.15 | -0.11 |
| 35 | 10 | 3380 | 137.00 | 2840 | 600 | 0 | 0.1 | 95.77 | 97.74 | -2.06 |
| 36 | 6 | 3380 | 137.00 | 2840 | 600 | 1 | 0.1 | 161.75 | 162.59 | -0.52 |
| 37 | 4 | 603 | 16.05 | 126 | 600 | 0 | 0.9 | 276.20 | 291.26 | -5.45 |
| 38 | 6 | 603 | 16.05 | 126 | 150 | 1 | 0.9 | 78.44 | 77.96 | 0.62 |
| 39 | 6 | 603 | 16.05 | 126 | 3000 | 0.5 | 0.9 | 210.40 | 200.94 | 4.50 |
| 40 | 8 | 603 | 16.05 | 126 | 600 | 0 | 0.9 | 195.80 | 191.37 | 2.27 |
| 41 | 8 | 603 | 16.05 | 126 | 1800 | 0.5 | 0.9 | 170.72 | 176.37 | -3.31 |
| 42 | 8 | 603 | 16.05 | 126 | 3000 | 0.5 | 0.9 | 190.04 | 185.79 | 2.24 |
| 43 | 10 | 603 | 16.05 | 126 | 600 | 0 | 0.9 | 167.29 | 160.03 | 4.34 |
| 44 | 4 | 1310 | 38.49 | 489 | 600 | 0 | 0.9 | 553.98 | 569.83 | -2.86 |
| 45 | 4 | 1310 | 38.49 | 489 | 3000 | 0 | 0.9 | 1241.09 | 1262.96 | -1.76 |
| 46 | 6 | 1310 | 38.49 | 489 | 150 | 1 | 0.9 | 194.55 | 195.23 | -0.35 |
| 47 | 6 | 1310 | 38.49 | 489 | 600 | 1 | 0.9 | 197.30 | 197.58 | -0.14 |
| 48 | 8 | 1310 | 38.49 | 489 | 150 | 0.5 | 0.9 | 161.52 | 163.97 | -1.51 |
| 49 | 8 | 1310 | 38.49 | 489 | 600 | 0.5 | 0.9 | 226.89 | 224.12 | 1.22 |
| 50 | 8 | 1310 | 38.49 | 489 | 1800 | 0.5 | 0.9 | 317.83 | 311.65 | 1.95 |
| 51 | 10 | 1310 | 38.49 | 489 | 600 | 0 | 0.9 | 409.10 | 357.06 | 12.72 |

Tablo 2.45'in devamı

| Örnek | L (m) | I (10 ⁻⁸ m ⁴) | J (10 ⁻⁸ m ⁴) | C _w (10 ⁻⁹ m ⁶) | β _y (kN/m) | h _y /h | Model | P _{kr} kN,kNm | P _{kr} (YSA) kN,kNm | Hata % |
|----------------------|----------|---|---|--|--------------------------|-------------------|-------|---------------------------|---------------------------------|-----------|
| 52 | 10 | 1310 | 38.49 | 489 | 1800 | 0 | 0.9 | 456.97 | 454.26 | 0.59 |
| 53 | 10 | 1310 | 38.49 | 489 | 3000 | 0 | 0.9 | 462.64 | 471.66 | -1.95 |
| 54 | 4 | 2140 | 73.17 | 1250 | 600 | 0.5 | 0.9 | 778.21 | 773.00 | 0.67 |
| 55 | 4 | 2140 | 73.17 | 1250 | 1800 | 1 | 0.9 | 722.19 | 722.70 | -0.07 |
| 56 | 6 | 2140 | 73.17 | 1250 | 150 | 0.5 | 0.9 | 393.75 | 394.06 | -0.08 |
| 57 | 6 | 2140 | 73.17 | 1250 | 1800 | 1 | 0.9 | 374.27 | 371.49 | 0.74 |
| 58 | 8 | 2140 | 73.17 | 1250 | 150 | 0.5 | 0.9 | 278.66 | 283.57 | -1.76 |
| 59 | 8 | 2140 | 73.17 | 1250 | 600 | 0.5 | 0.9 | 364.54 | 367.79 | -0.89 |
| 60 | 8 | 2140 | 73.17 | 1250 | 1800 | 0.5 | 0.9 | 495.95 | 492.87 | 0.62 |
| 61 | 10 | 2140 | 73.17 | 1250 | 150 | 0.5 | 0.9 | 229.99 | 239.21 | -4.01 |
| 62 | 10 | 2140 | 73.17 | 1250 | 1800 | 1 | 0.9 | 198.60 | 201.21 | -1.31 |
| 63 | 4 | 3380 | 137.00 | 2840 | 150 | 1 | 0.9 | 1334.84 | 1328.88 | 0.45 |
| 64 | 4 | 3380 | 137.00 | 2840 | 600 | 1 | 0.9 | 1335.34 | 1308.53 | 2.01 |
| 65 | 4 | 3380 | 137.00 | 2840 | 1800 | 1 | 0.9 | 1336.32 | 1333.69 | 0.20 |
| 66 | 6 | 3380 | 137.00 | 2840 | 150 | 1 | 0.9 | 668.64 | 671.15 | -0.38 |
| 67 | 6 | 3380 | 137.00 | 2840 | 1800 | 0.5 | 0.9 | 928.64 | 890.54 | 4.10 |
| 68 | 6 | 3380 | 137.00 | 2840 | 3000 | 1 | 0.9 | 677.09 | 654.74 | 3.30 |
| 69 | 8 | 3380 | 137.00 | 2840 | 150 | 0.5 | 0.9 | 474.48 | 486.09 | -2.45 |
| 70 | 8 | 3380 | 137.00 | 2840 | 600 | 1 | 0.9 | 438.63 | 444.84 | -1.42 |
| 71 | 8 | 3380 | 137.00 | 2840 | 3000 | 0.5 | 0.9 | 873.99 | 933.86 | -6.85 |
| 72 | 10 | 3380 | 137.00 | 2840 | 1800 | 0.5 | 0.9 | 706.63 | 706.72 | -0.01 |
| 73 | 10 | 3380 | 137.00 | 2840 | 3000 | 0.5 | 0.9 | 817.98 | 856.27 | -4.68 |
| 74 | 4 | 603 | 16.05 | 126 | 150 | 0.5 | 0.5 | 189.23 | 188.98 | 0.13 |
| 75 | 4 | 603 | 16.05 | 126 | 1800 | 1 | 0.5 | 175.48 | 176.96 | -0.84 |
| 76 | 6 | 603 | 16.05 | 126 | 600 | 1 | 0.5 | 71.04 | 70.95 | 0.13 |
| 77 | 8 | 603 | 16.05 | 126 | 50 | 0 | 0.5 | 52.09 | 52.28 | -0.36 |
| 78 | 8 | 603 | 16.05 | 126 | 600 | 0.5 | 0.5 | 82.34 | 83.88 | -1.88 |
| 79 | 10 | 603 | 16.05 | 126 | 50 | 0.5 | 0.5 | 29.45 | 30.13 | -2.31 |
| 80 | 10 | 603 | 16.05 | 126 | 600 | 1 | 0.5 | 27.40 | 27.29 | 0.39 |
| 81 | 4 | 1310 | 38.49 | 489 | 150 | 1 | 0.5 | 427.56 | 425.80 | 0.41 |
| 82 | 4 | 1310 | 38.49 | 489 | 1800 | 1 | 0.5 | 427.56 | 422.76 | 1.12 |
| 83 | 6 | 1310 | 38.49 | 489 | 150 | 0.5 | 0.5 | 187.18 | 188.03 | -0.45 |
| 84 | 6 | 1310 | 38.49 | 489 | 600 | 1 | 0.5 | 168.59 | 168.75 | -0.10 |
| 85 | 8 | 1310 | 38.49 | 489 | 600 | 0 | 0.5 | 295.76 | 291.27 | 1.52 |
| 86 | 8 | 1310 | 38.49 | 489 | 1800 | 1 | 0.5 | 92.26 | 91.64 | 0.67 |
| 87 | 10 | 1310 | 38.49 | 489 | 150 | 0 | 0.5 | 114.36 | 115.88 | -1.33 |
| 88 | 4 | 2140 | 73.17 | 1250 | 150 | 0 | 0.5 | 829.68 | 853.03 | -2.81 |
| 89 | 4 | 2140 | 73.17 | 1250 | 3000 | 0.5 | 0.5 | 1124.46 | 1155.93 | -2.80 |
| 90 | 6 | 2140 | 73.17 | 1250 | 600 | 0.5 | 0.5 | 396.47 | 403.59 | -1.80 |
| 91 | 6 | 2140 | 73.17 | 1250 | 3000 | 1 | 0.5 | 310.40 | 313.37 | -0.96 |
| 92 | 8 | 2140 | 73.17 | 1250 | 1800 | 0 | 0.5 | 660.34 | 635.68 | 3.73 |
| 93 | 10 | 2140 | 73.17 | 1250 | 50 | 1 | 0.5 | 96.13 | 96.34 | -0.22 |
| 94 | 10 | 2140 | 73.17 | 1250 | 150 | 0.5 | 0.5 | 123.70 | 126.36 | -2.15 |
| 95 | 4 | 3380 | 137.00 | 2840 | 600 | 0 | 0.5 | 1547.80 | 1585.35 | -2.43 |
| 96 | 4 | 3380 | 137.00 | 2840 | 3000 | 0.5 | 0.5 | 1787.46 | 1905.20 | -6.59 |
| 97 | 6 | 3380 | 137.00 | 2840 | 1800 | 0.5 | 0.5 | 812.24 | 797.70 | 1.79 |
| 98 | 8 | 3380 | 137.00 | 2840 | 150 | 0.5 | 0.5 | 310.00 | 310.42 | -0.14 |
| 99 | 8 | 3380 | 137.00 | 2840 | 1800 | 0.5 | 0.5 | 527.51 | 512.59 | 2.83 |
| 100 | 10 | 3380 | 137.00 | 2840 | 600 | 0.5 | 0.5 | 275.08 | 281.02 | -2.16 |
| Ortalama mutlak hata | | | | | | | | | | 1.58 |

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İnce cidarlı I kesitli kirişler eğilme rijitliklerinin büyük olmasına karşın burulma rijitlikleri küçük yapı elemanlarıdır. Bu özelliklerinden dolayı ince cidarlı I kesitli kirişler yanal burkulma problemi ile karşı karşıyadırlar. Yanal destek ve/veya burulma desteği ile bu elemanların burulmaya karşı dirençleri artırılabilir. Kiriş kesitine uygulanan yük ve kirişin mesnetlenme durumu yanal burkulma yükünü önemli ölçüde etkilemektedir.

Bu çalışma üç aşamadan meydana gelmektedir. Çalışmada önce, tekil yük etkisindeki basit mesnetli ve konsol ince cidarlı I kesitli kirişlerin yükün etkime noktasına göre yanal burkulma yükleri BASP programı ile incelenmiştir.

Çalışmada ikinci olarak, değişik mesnet ve yükleme durumları için ince cidarlı I kesitli kirişlerin gövdesine eklenen elastik yayların yay sabiti ve konumlarına bağlı olarak yanal burkulma yükleri incelenmiştir. Bu bölümde aynı zamanda tekil eğilme momenti etkisindeki eleman için ideal destek yay sabiti hesaplanarak BASP ile bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu kısmın sonunda tekil yüklü konsol kirişin yanal burkulma yükünü artırmak için elemana eklenecek ideal yanal desteklerin konumu ve yay sabitleri belirlenmiştir.

Çalışmada son olarak, stabilite problemlerinde bir yaklaşım olarak YSA ile, açıklığında elastik mesnet bulunan kolonun burkulma yükü ve kesit gövdesine yanal destek eklenmiş değişik mesnet ve yük durumları için ince cidarlı I kesitli kirişlerin yanal burkulma yükleri hesaplanmıştır. Çalışmanın bu bölümünde YSA'nın girdi kısmındaki değerlerinin yeniden uyarlanabilmesi özelliğinden faydalanılarak BASP ile I kesitli kirişlerde başlık ve gövde birleşiminde verilemeyen eğrilik verilerek çözüm yapılmıştır. Çalışmada aynı zamanda tekil yük etkisindeki basit kiriş, eğilme momenti etkisindeki basit kiriş ve tekil yük etkisindeki konsol kiriş problemleri YSA ile birleştirilerek yanal desteklenmiş haldeki yanal burkulma yükleri tek set halinde hesaplanmıştır.

Yapılan çalışmanın sonunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1. I kesitli kirişlerde burkulma narinliği arttıkça BASP programı ile elde edilen sonuçlar enerjiden bulunan sonuçlara %5 civarında yaklaşmaktadır.
2. Sonlu eleman ağ aralığının sıklaştırılmasının etkisi incelendiğinde seçilen sonlu eleman ağ modellerinin sonuçları çok da etkilemediği, bütün modellerde hata oranının %-8'lerde olduğu görülmüştür. BASP ile elde edilen burkulma yükleri daha

küçük olup bu da BASP programı ile elde edilen sonuçların daima emniyetli tarafta kaldığını göstermektedir.

Tekil yükün kesitte uygulama yerinin etkisi incelendiğinde:

3. Konsol kirişin uç kesitinde, düşey tekil yükün gövde ortasından, üst başlıktan ve alt başlıktan uygulanmasının etkisi karşılaştırıldığında; 6 m uzunluğundaki IPE 400 kirişinde, yükün üst başlıktan uygulanması halinde yanal burkulma yükü, kesit ortasından etki etmesi haline göre %47.47 kadar daha azalmakta, yükün kesitin alt başlığına etki etmesi halinde ise %42.89 kadar artmaktadır. Uygulanan tekil yük mesnede yaklaştığında ise yanal burkulma yükü hızlı bir şekilde artmaktadır.
4. 3'teki karşılaştırma tekil yük etkisindeki basit kiriş için yapıldığında, kirişin orta kesitindeki tekil yükün kesitin üst başlığına uygulanması haline yanal burkulma yükü, kesitin ortasından uygulanmasına göre %29.07 azalmakta, alt başlığına uygulanması halinde ise %53.22 artmaktadır.

Yanal desteklerin etkisi incelendiğinde:

5. Yanal desteğin yanal burkulma yüküne etkisinin incelendiği örneklerde tekil yük daima kesit gövdesinin ortasına uygulanmıştır. Yanal desteğin alt başlığa uygulanmasının yanal burkulma yüküne etkisi olmamaktadır.
6. Orta noktasında tekil yük veya uçlarından tekil eğilme momenti etkisindeki basit kirişlerde yanal destek açıklık ortasına ve üst başlığa yakın noktalara yerleştirildiğinde yanal burkulma yüküne etkisi önemli ölçüde artmaktadır.
7. Tekil yük etkisindeki basit mesnetli 6 m uzunluğundaki IPE 400 kirişinde, desteğin kiriş açıklığı ortası ve kesit üst başlığına yerleştirilmesi durumunda yanal burkulma yükü 733.91 kN'a ulaşmakta ve bundan sonraki yük değerlerinde kiriş ikinci moda burkulmaktadır. Üst başlığa konulacak desteğin yay sabiti bu yük değerine karşılık gelen 2280 kN/m olarak şekil yardımı ile elde edilmiştir. Bu yay sabitinden sonraki değerlerde yanal burkulma yükü kirişin burkulmada ikinci moda geçmesine karşılık gelmektedir. Kiriş birinci moda zaten burkulmuş olacağından kirişin yanal burkulma yükü bu yay sabiti değerinden büyük değerler için sabit kalmaktadır. Bu sonuç BASP programının plastik moment azaltma katsayısı kullanmadığını ve programda birinci moddan sonra da yanal burkulma yükünün arttığını göstermektedir.
8. Tekil eğilme momenti etkisindeki basit mesnetli 6 m uzunluğundaki IPE 400 kirişinde, desteğin kiriş açıklığı ortası ve kesit üst başlığına yerleştirilmesi durumunda yanal burkulma momenti 6000 kN/m yay sabitine sahip destek için en

fazla 5.86 kat artmaktadır. Ancak kirişin tam desteklenme durumu dikkate alındığında elemanda ikinci modun başlamasına denk gelen yanal burkulma momenti 601.50 kNm'dir. Bu durumda sisteme yerleştirilecek desteklerin bu yanal burkulma momenti değerini vermeleri yeterli olacaktır. 601.50 kNm'ye karşılık gelen yanal destekler incelendiğinde kiriş üst başlığa konulan yanal destek için bu değer, 990 kN/m, $h'=0.25$ için 1910 kN/m ve kiriş gövde merkezi için de 6250 kN/m olarak yeniden düzenlenmelidir.

9. Tekil eğilme momenti etkisindeki basit mesnetli kiriş için enerji yönteminden bulunan sonuç ile BASP ile bulunup yeniden değerlendirmesi yapılan sonuçlar karşılaştırıldığında sonuçların yakın olduğu görülmüştür. Kesti üst başlığı için yay sabiti enerjide 1007 kN/m iken yapılan çalışmada bu değer 990 kN/m, kesit merkezi için yay sabiti enerjide 6168 kN/m iken yapılan çalışmada bu değer 6250 kN/m olarak bulunmuştur.
10. Tekil yük etkisindeki konsol kirişlerde yanal destek, kesit üst başlığı ve üst başlığa yakın noktalar ile kiriş boş ucuna yakın noktalara yerleştirildiğinde desteğin yay sabiti artırdıkça yanal burkulma yükü önemli ölçüde artmaktadır. Destek kesit alt başlığına yerleştirildiğinde ise destek yay sabiti yanal burkulma yükünü etkilememektedir.
11. Tekil yük etkisindeki konsol 6 m uzunluğundaki IPE 400 kirişinde, desteğin kiriş boş ucu ve kesit üst başlığına yerleştirilmesi durumunda yanal burkulma yükü 1200 kN/m yay sabitine sahip destek için en fazla 1.83 kat artmaktadır. Boş uca ve kesit üst başlığına yerleştirilen yanal desteklerde destek yay sabiti artırılmaya devam edilirse, kirişte yanal burkulma kesit üst başlığının yanal yer değiştirmesinden dolayı değil de alt başlığın yanal yer değiştirmesinden dolayı oluşmaktadır. Bu durumda yay sabiti daha fazla artırılsa da yanal burkulma yükü daha fazla artmamakta ve sabit kalmaktadır.
12. 5~11 sonuçları incelendiğinde yanal burkulma yükü her üç örnek için de belli bir değerden sonra sabit kalmaktadır. Kirişe yanal destek eklendiğinde en büyük yanal burkulma yükü desteğin, kirişin yanal olarak en fazla yer değiştirme yapacağı yere konulması ile elde edilmektedir. Yanal burkulma yükünü artırmak için desteğin yay sabiti ve konumunun iyi belirlenmesi gerekir. Destek konumu sabitse en ideal destek yay sabiti araştırılmalı, destek elemanda istenilen yere konulabiliyorsa, yanal olarak en fazla yer değiştirme yapacak kesit noktasına yerleştirilmelidir. Elde edilen

sonuçlar değerlendirilirken elastik sınırın aşılıp aşılmadığı kontrol edilerek ozmler gerekirse tekrardan yorumlanmalıdır. Zira elastik bölgede ozm yapmak gerektiğinde, bazı ozm yöntemleri plastik bölge için de ozmler üreterek bu değerleri dikkate almaktadır.

Burulma desteğinin etkisi incelendiğinde:

13. Tekil yük etkisindeki basit kirişlerde burulma desteği, kiriş uzunluğunun yarsına ve alt başlığa yakın bölgelere yerleştirildiğinde desteğin yay sabiti artırıldıķı yanal burkulma yükün belirgin bir şekilde artmaktadır. Destek, st başlığa yerleştirildiğinde ise yanal burkulma yükü artmakta fakat desteğin alt başlığa yerleştirildiği duruma göre daha küçük kalmaktadır. Destek kiriş kesitinin orta noktasına ve alt başlığa doğru yerleştirildiğinde en büyük yanal burkulma yükü desteğin kiriş uzunluğunun ortasına yerleştirilmesi durumunda ortaya çıkmakta; destek kesitin orta noktasından st başlığa doğru yerleştirildiğinde ise en büyük yanal burkulma yükü desteğin $L_b/L=0.4$ ve $L_b/L=0.6$ noktalarına yerleştirilmesinde ortaya çıkmaktadır.
14. Tekil yük etkisindeki basit mesnetli 6 m uzunluğundaki IPE 400 kirişinde, desteğin kiriş ortası ve kesit alt başlığına yerleştirilmesi durumunda yanal burkulma yükü 750 kNm/rad yay sabitine sahip destek için en fazla 1.75 kat artmaktadır. Kesite yerleştirilen burulma desteğinin yay sabiti artırılmaya devam edilirse kesitte burulma miktarı yaklaşık olarak sabit kalmakta ve daha fazla azalmamaktadır. Bu durumda belli bir destek yay sabitinden sonra yanal burkulma yükü yaklaşık olarak sabit kalmaktadır.
15. Tekil eğilme momenti etkisindeki basit kirişlerde burulma desteği, kiriş uzunluğu ortası ile alt başlığa veya st başlığa yerleştirildiğinde desteğin yay sabiti artırıldıķı yanal burkulma momenti belirgin bir şekilde artmaktadır. Destek, kesit ortası ve çevresine yerleştirildiğinde ise yanal burkulma yükü artmakta fakat desteğin alt başlığa ve st başlığa yerleştirildiği durumlara göre daha küçük kalmaktadır. Destek kiriş kesitinin orta noktasına yerleştirildiğinde yanal burkulma yükü alt ve st başlıktaki desteğe göre azalmakta ancak 0.75h ve 0.25h noktalarındaki desteğe göre daha büyük olmaktadır.
16. Tekil eğilme momenti etkisindeki basit mesnetli 6 m uzunluğundaki IPE 400 kirişinde, desteğin kiriş ortası ve kesit alt başlığına yerleştirilmesi durumunda yanal burkulma momenti 750 kNm/rad yay sabitine sahip destek için en fazla 1.55 kat artmaktadır. Kesite yerleştirilen burulma desteğinin yay sabiti artırılmaya devam

edilirse kesitte burulma miktarı yaklaşık olarak sabit kalmakta ve daha fazla azalmamaktadır. Bu durumda belli bir destek yay sabitinden sonra yanal burkulma momenti yaklaşık olarak sabit kalmaktadır.

17. Tekil eğilme momenti etkisindeki basit mesnetli kiriş için enerji yönteminden bulunan sonuç 540 kNm/rad ile BASP ile bulunan sonuç ~500 kNm/rad karşılaştırıldığında desteğin gövde ortasına yerleştirilmesi durumunda sonuçların birbirine yakın çıktığı görülmüştür. Zira desteğin kesit yüksekliğindeki konumu sonuçları fazla etkilememektedir.
18. Tekil yük etkisindeki konsol kirişlerde burulma desteği, kiriş uzunluğunun 0.7'sine ve üst başlığa yakın bölgelere yerleştirildiğinde desteğin yay sabiti artırıldıkça yanal burkulma yükü belirgin bir şekilde artmaktadır. Destek, alt başlığa yerleştirildiğinde ise yanal burkulma yükü artmakta fakat desteğin üst başlığa yerleştirildiği duruma göre çok fark olmamakla beraber küçük kalmaktadır. Destek kiriş kesitinin orta noktasına yerleştirildiğinde yanal burkulma yükü alt ve üst başlıktaki desteğe göre azalmakta, ancak 0.75h ve 0.25h noktalarındaki desteğe göre daha büyük olmaktadır.
19. Tekil yük etkisindeki konsol 6 m uzunluğundaki IPE 400 kirişinde, desteğin kiriş açıklığında 0.7L ve kesit alt başlığına yerleştirilmesi durumunda yanal burkulma yükü 750 kNm/rad yay sabitine sahip destek için en fazla 2.00 kat artmaktadır. Kesite yerleştirilen burulma desteğinin yay sabiti artırılmaya devam edilirse kesitte burulma miktarı yaklaşık olarak sabit kalmakta ve daha fazla azalmamaktadır. Bu durumda belli bir destek yay sabitinden sonra yanal burkulma yükü yaklaşık olarak sabit kalmaktadır.
20. Tekil yük etkisindeki konsol 6 m uzunluğundaki IPE 400 kirişinde burulma desteği, küçük yay sabitlerinde (10, 50 kNm/rad) kiriş uzunluğu boyunca 0.9L-0.8L'ye yerleştirildiğinde en büyük yanal burkulma yükü desteğin alt başlıkta olması durumunda hesaplanmakta, destek yay sabiti artırıldıkça (150, 600 kNm/rad) ise destek 0.7L ve üst başlıkta olması durumunda hesaplanmaktadır. Genel anlamda desteğin kirişin aynı uzunluğunda olması haline düşeydeki konumunun yanal burkulma yüküne etkisi fazla olmamaktadır.
21. Burulma desteğinin aynı kesit düzleminde farklı etki yapması kullanılan sonlu eleman ağındaki elemanların farklı dönme yaptıklarını göstermektedir.

Tekil yüklü konsol kirişi için ideal destek konumu ve yay sabitinin belirlenmesi:

22. Tekil yük etkisindeki konsol kirişte yanal burkulma yükünü daha fazla artırmak için üst başlığa yerleştirilen desteğin yanı sıra alt başlığa da aynı yay sabitine sahip destek yerleştirilerek en ideal destek konumu ve yay sabiti belirlenmiştir. Alt ve üst başlığa yerleştirilen desteğin konumu kiriş boş ucundan mesnede yaklaştırıldığında yanal burkulma yükü değişmektedir. Çalışmada desteğin her iki başlığa uygulanması durumunda en uygun yer $2L/3$ mesafesi, ideal yay sabiti de 3000 kN/m olmaktadır.

Burkulma problemlerine YSA yaklaşımı:

23. Açıklığında elastik mesnet bulunan kolonun burkulma yükü desteğin yay sabiti, desteğin yeri ve mesnetlenme durumuna bağlı olarak YSA ile hesaplanmıştır. YSA test setindeki hata değerlerinin çok büyük kısmı, eğitimde seçilen %5 hata değerinden küçük çıkmıştır. Bununla beraber %5'ten büyük hata değerleri az da olsa test setinde mevcuttur. Test setinden en büyük hata değerine sahip örneğe dikkat edildiğinde hem α , hem de ξ değerleri sınırdadır. Bu da YSA'nın sınır içinde kalan örneklerde gerçeğe yakın değerler verdiği, sınırda veya sınıra yakın değerlerde ise gerçeğe yakın sonuçlar verebilmekle beraber hata değerinin yüksek çıkma olasılığının da olduğunu göstermektedir. Bu sebepten dolayı YSA için eğitim seti oluşturulurken problemi en geniş anlamda kapsayan bir örnek uzayı seçilmelidir. Çalışmada beş ayrı problem YSA ile tek set kullanılarak çözülmüştür.
24. Yanal burkulma problemleri için YSA'da eğitimdeki örnek sayısının sonuçlara etkisi incelenmiştir. Bir önceki örnek setini içerecek şekilde eğitimdeki örnek sayısı artırılmıştır. 262 örneğin bulunduğu örnekte sırasıyla; 60, 111, 157 ve 200 örnek eğitim setinde kullanılmıştır. YSA'da eğitim setinde kullanılan değerler problemin YSA ile çözümünü önemli derecede etkilemektedir. Örnek uzayı genişledikçe YSA eğitildiği probleme daha yakın sonuçlar vermektedir. YSA test setinde 60 örnekli eğitim seti için ortalama mutlak hata %8.41 iken bu değer 111 örnekli eğitim seti için %3.90'a, 157 örnekli eğitim seti için %2.66'ya, 200 örnekli eğitim seti için ise %2.18'e kadar düşmektedir. YSA için eğitim seti hazırlanırken problemi en geniş kapsamda içeren örnek uzayı seçilmelidir.
25. Tekil yük etkisindeki basit kiriş, tekil eğilme momenti etkisindeki basit kiriş ve tekil yük etkisindeki konsol kirişin yanal destekler için, desteğin en büyük yanal burkulma yükünü verdiği kesitteki yerine göre, YSA ile yanal burkulma yükleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Her üç problem için de YSA eğitildiği BASP programına yakın

sonuçlar vermektedir. YSA test seti ortalama mutlak hata değerleri, tekil yük etkisindeki basit kiriş için %2.18, tekil eğilme momenti etkisindeki basit kiriş için %3.79 ve tekil yük etkisindeki konsol kiriş için de %2.16 olarak hesaplanmıştır. Her üç test setinde de uç girdi değerlerine sahip örneklerin hata değerleri yüksek çıkmaktadır. Ara değerler için ise hata değerleri örneklerin çok büyük kısmında %5 ve altında çıkmaktadır. 23 ve 24 sonuçlarında vurgulanan örnek uzayının kapsamlı seçilmesi burada da kendini göstermektedir.

26. YSA yeni problemler uyarlanabilme ve esnek yapısından dolayı problem zmlerine önemli katkı sunmaktadır. BASP programında narinliğin düşük olduğu kirişlerde programda I kesitli kiriş verilemeyen başlık ve gövde birleşim yeri eğriliği eğitilmiş YSA ile verilerek sonuçların gerçeğe biraz daha yaklaşması sağlanabilmektedir. BASP ile üzüldüğünde hata miktarı %30 civarında olan bir örnek, başlık ve gövde birleşim yeri eğriliğinin YSA ile verilmesiyle %24'lere kadar düşmektedir. Narinliğin yüksek olduğu kirişlerde ise BASP ve eğitilmiş YSA'nın sonuçları birbirine yakın çıkmaktadır.
27. YSA'nın girdi kısmına veri eklenerek YSA ile, tekil yük etkisindeki basit kiriş, tekil eğilme momenti etkisindeki basit kiriş ve tekil yük etkisindeki konsol kirişin yanal destekler için, desteğin en büyük yanal burkulma yükünü verdiği kesitteki yerine göre, tek set haline getirilerek zmleri tek probleme indirgenebilmektedir. YSA ile elde edilen değerler eğitiminin yapılmış olduğu BASP ile yakın sonuçlar üretmektedir. YSA test seti ortalama hatası %1.58 olarak hesaplanmaktadır.
28. YSA'nın eğitimi başlangıçta zor ve uzundur. Ancak YSA bir kez eğitildikten sonra sonuçları çok kısa sürede vermesi ile işlem hızı yüksektir. Bu yönüyle de klasik zm yöntemlerine göre avantajlıdır.
29. YSA modellemesi için geliştirilen bilgisayar programı, problem çeşidine göre değişiklik gösterebilmektedir. Program parametrelerinin eldeki probleme göre değiştirilmesi yeterlidir. YSA'nın kolaylığını ve kullanım avantajını gösteren bu durum, bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerin devam ettiği göz önünde bulundurulursa YSA modelleme programlarının da gelişime paralel olarak geliştirilebileceğini göstermektedir.
30. YSA'da eksik veya hatalı veri olsa bile zm devam etmektedir. Bu özelliği ile YSA diğer matematiksel modellerden farklılık göstermektedir.

31. Genellikle, çözümlü karmaşık yöntemler gerektiren veya matematiksel çözümlü bulunamayan problemlerde, tüm verileri bulunamayan (verileri eksik) problemlerde, özel yetenek gerektiren problemlerde, önceden çözümlü olan fakat yeni çözümlere ulaşmanın zor olduğu problemlerde, deneyler önceden yapılmış ancak daha sonraki deneylerin yapılamaması veya maliyetinin yüksek olması durumlarında YSA'nın kullanılması avantajlı olmaktadır.
32. Avantajlarının çokluğu yanında YSA'nın her probleme uygulanması uygun olmayabilir. Kullanılmadan önce tahkiklerin iyi yapılması gerekmektedir. Bu tahkikler arasında ara katman sayısı, ara katmandaki işlem elemanı sayısı, bu işlem elemanlarına başlangıçta verilecek değerler, girdi kısmına sunulacak değerler (problemi tam olarak yansıtacak verilerin belirlenmesi) ve öğrenme oranı bulunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında elde edilen en önemli bulgulara yer verildikten sonra gelecek çalışmalara ışık tutacak birkaç öneriye değinilecek olursa;

1. Bu çalışmada ideal destek yay sabiti kirişin ikinci burkulma moduna göre tasarlanmıştır. Kiriş yanal burkulma yapmadan eğilme ile de harabolabileceğinden kirişin eğilme momenti kapasitesi ve plastik moment kapasiteleri de incelenerek ideal destek yay sabitleri belirlenebilir.
2. Bu çalışmada söz konusu kirişlere daima tekil yük/moment uygulanmıştır. Yanal burkulma etkisindeki I kesitli kirişler için değişik yükleme ve mesnet durumları için ideal yay sabitlerinin belirlenmesi gerçekleştirilebilir.
3. Yanal burkulma yükleri kolay hesaplanabilen kiriş kesitleri için bulunan değerlerle eğitilen YSA setinin, çözümünde zorluklar olan diğer kesitler için yanal burkulma yükünün hesabında nasıl kullanılacağı araştırılabilir.
4. Bir mesnetlenme ve yükleme durumuna sahip elemanda yanal burkulma yükü hesaplanmışsa, başka bir mesnetlenme ve yükleme durumuna sahip eleman için YSA'nın eğitim setinde hangi tür değişiklikler yapılarak çözüm üretip üretmediği önceden hesaplanmış veya deneysel çözümlerle karşılaştırılarak araştırılabilir.

4. KAYNAKLAR

- Adeli, H. ve Park, H.S., 1995. Counterpropagation Neural Networks in Structural Engineering, Journal of Structural Engineering, ASCE, 121, 1205-212.
- Ales, J.J.M. ve Yura, J.A., 1993. Bracing Design for Inelastic Structure, Structural Stability Research Council Conference.
- Bakker, M. C. M. ve Peköz, T., 2003. The Finite Element Method for Thin-Walled Members—Basic Principles, Thin-Walled Structures, 173-179
- Bleich, F., 1952. Buckling Strength of Metal Structures, New York, Toronto, London, McGraw-Hill Company.
- Borowiec, Z., 2005. Application of Surfaces of Ultimate Strength for Thin-Walled Beams, Thin-Walled Structures, 43, 1312–1323.
- Bradford, M. A., 1988. Buckling of Elastically Restrained Beams with Web Distortions, Thin-Walled Structures, 6, 287-304.
- Bradford, A., 1989. Buckling Strength of Partially Restrained I Beams, Journal of Structural Engineering, 115, 1272-1276.
- Bradford, M. A., 1990. Distortional Buckling Strength of Elastically Restraint Monosymmetric I Beams, Thin-Walled Structures, 9, 339-350
- Bradford, M. A., 1998. Inelastic Buckling of I-Beams with Continuous Elastic Tension Flange Restraint, Journal of Constructional Steel Research, 48, 63-77.
- Bradford, M. A. ve Yazdi, N. A., 1999. A Newmark-Based Method for the Stability of Columns, Computers and Structures, 71, 689-700.
- Bradford, M. A., 2000. Strength of Compact Steel Beams with Partial Restraint, Journal of Constructional Steel Research, 53, 183–200
- Budak, A. ve Can, İ., 2002. Bileşik Eğilme ve Eksenel Yük Altındaki Betonarme Kolon Kesitlerinin Yapay Sinir Ağları ile Hesabı, V. Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, Eylül, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 41-51.
- Chrosocielewski, J., Lubowiecka, I., Szymczak, C. ve Witkowski, W., 2006. On Some Aspects of Torsional Buckling of Thin-Walled I-Beam Columns, Computers and Structures, 84, 1946–1957.
- Chajes, A., 1974. Principles of Structural Stability Theory, Prentice-Hall, New Jersey.

- Chu, X. T., Rickard, Y. ve Li, L. Y., 2005. Influence of Lateral Restraint on Lateral-Torsional Buckling of Cold-Formed Steel Purlins, Thin-Walled Structures, 43, 800–810.
- Civalek, Ö. ve Ülker, M., 2004. Dikdörtgen Plakların Doğrusal Olmayan Analizinde YSA Yaklaşımı, İMO Teknik Dergi, 213, 3171-3190.
- Civalek, Ö. ve Çatal, H. H., 2004. Geriye Yayılma Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Elastik Kirişlerin Statik ve Dinamik Analizi, DEÜ Müh. Fak. Fen ve Mühendislik Dergisi, 6, 1, 1-16.
- Cortinez, V. H. ve Piovan, M. T., 2002. Vibration and Buckling of Composite Thin-Walled Beams with Shear Deformability, Journal of Sound and Vibration, 258, 4, 701–723.
- Çevik, A., 2007. Genetic Programming Based Formulation of Rotation Capacity of Wide Flange Beams, Journal of Constructional Steel Research 63, 884–893.
- Dall’asta, A. ve Leoni, G., 1997. Numerical Analysis of Thin Walled Beams with Internal Unbonded Cables by the Ritz Method, Solids Structures, 35, 51-67.
- Dario Aristazabal-Ochoa, J., 2003. Classical Stability of Beam Columns with Semirigid Connections on Elastic Foundation, Journal of Engineering Mechanics, 129, 11, 1254-1267.
- Dere, Y. ve Kaltakçı, M.Y., 1997. İnşaat Mühendisliğinde Yapay Sinir Ağları Uygulamaları, İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler III. Teknik Kongre, Eylül, Ankara, Bildiriler Kitabı:407-416.
- Dere, Y., 1997. Yapı Analizi ve Tasarımında Yapay Sinir Ağları, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Efe, Ö. ve Kaynak, O., 2000. Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- Elmas, Ç., 2003. Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama), 1. Basım, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Emrem, H. T., 2002. Sürekli Kirişlerde Yanal Burkulma, 1. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Erbatur, F., 1993. Advances in Structural Optmization, İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler 1, Teknik Kongre 2, Ekim, Gazi Mağusa-KKTC, Bildiriler Kitabı:763-770.
- Erkmen, R. E. ve Mohareb, M., 2006. Torsion Analysis of Thin-Walled Beams Including Shear Deformation Effects, Thin-Walled Structures, 44, 1096–1108.
- Galambos, T. V., 1963. Inelastic Lateral Buckling of Beams, Journal of Structural Division, ASCE, 89, 217-242.

- Galambos, T. V. ve Xykis, C., 1991. The Effect of Lateral Bracing on the Stability of Steel Trusses, Journal of Construction Steel Research, 20, 251-258.
- Galambos, T. V. ve Surovek, A. E., 2008. Structural Stability of Steel: Concepts and Applications for Structural Engineers, John Wiley & Sons, New Jersey, 373 s.
- Gil, H. ve Yura, J.A., 1999. Bracing Requirements of Inelastic Columns, Journal of Constructional Steel Research, 51, 1-19.
- Gosowski, B., 2003. Spatial Stability of Braced Thin-Walled Members Steel Structures, Journal of Constructional Steel Research, 59, 839-865.
- Gosowski, B., 2002. Spatial Buckling of Thin-Walled Steel-Construction Beam-Columns with Discrete Bracings, Journal of Constructional Steel Research, 52, 293-317.
- Güneş, B., 2004. Yanal Burkulma Probleminin Uzay Çerçeve Sistemi Analogisi ile Çözümü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Güneş, B., Bilgen, Y., Çelik, T., Damcı, E. ve Öztörün, N. M., 2005. İnce Cidarlı Yapı Elemanlarında Yanal Burkulma Kritik Yüğü Hesabı İçin Farklı Bir Yöntem, II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, Kasım, İstanbul, Bildiriler Kitabı:381-389.
- Güzelbey, İ. H., Çevik, A. ve Göğüş, M. T., 2006. Prediction of Rotation Capacity of Wide Flange Beams Using Neural Networks, Journal of Constructional Steel Research, 62, 950-961.
- Hajela, P. ve Berke, L., 1991. Neurobiological Computational Models in Structural Analysis on Design, Computers & Structures, 4, 657-667.
- Helwig, T.A. ve Yura, J.A., 1999. Torsional Bracing of Columns, Journal Structural of Engineering, 547-555.
- Hill, H. N., 1954. Lateral Buckling of Channels and Z-Beams, Transactions, ASCE, 119.
- Hopfield, J.J. ve Tank, D.W., 1985. Neural Computation of Decisions in Optimization Problems, Biological Cybernetics, 52, 141-152.
- Hu, S. Z., 1993. A Finite Element Assessment of the Buckling Strength Equations of Stiffened Plates, The Ship Structure Symposium.
- Ings, N. L. ve Trahair, S., 1984. Lateral Buckling of Restraint Roof Purlins, Thin-Walled Structures, 2, 285-306.
- Jönsson, J., 1999. Distortional Theory of Thin-Walled Beams, Thin-Walled Structures, 33, 269-303.

- Kaltakçı, M.Y. ve Dere, Y., 1997. Yapay Sinir Ağları Kullanımı ile Yüksek Kirişlerde Kesme Mukavemetinin Belirlenmesi, İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler, III. Teknik Kongre, Eylül, Ankara, Bildiriler Kitabı: 397-405.
- Kim, M. Y., Chang, S. P. ve Kim, S. B., 1996. Spatial Stability Analysis of Thin-Walled Space Frames, Int. J. Numer. Meth. Engng, 39, 499-525.
- Kim, Y. Y. ve Kim, Y., 2002. A One-Dimensional Theory of Thin-Walled Curved Rectangular Box Beams under Torsion and Out-of-plane Bending, Int. J. Numer. Meth. Engng, 53, 1675–1693.
- Kim, Y. Y. ve Kim, T. S., 2000. Topology Optimization of Beam Cross Sections, International Journal of Solids and Structures, 37, 477-493.
- Kim, N., Shin, D. K. ve Kim, M. Y., 2006. Exact Lateral Buckling Analysis for Thin-Walled Composite Beam under End Moment, Engineering Structures, 29, 8, 1739-1751.
- Kotelko, M., 2004. Load-Capacity Estimation and Collapse Analysis of Thin-Walled Beams and Columns-Recent Advances, Thin-Walled Structures, 42, 153–175.
- Kreja, I., Mikulski, T. ve Szymczak, C., 2005. Adjoint Approach Sensitivity Analysis of Thin Walled Beams and Frames, Journal of Civil Engineering and Management, 11, 57-64.
- Kumar, Y. V. S. ve Paik, J. K., 2004. Buckling Analysis of Cracked Plates Using Hierarchical Trigonometric Functions, Thin-Walled Structures, 42, 687–700.
- Lee, J. ve Kim, S. E., 2002. Lateral Buckling Analysis of Thin-Walled Laminated Channel-Section Beams, Composite Structures, 56, 391–399.
- Lee, J., Kim, S. E. ve Hong, K., 2002. Lateral Buckling of I-Section Composite Beams, Engineering Structures, 24, 955–964.
- Lenz, J., Ravindra, M. K. ve Galambos, T. V., 1973. Reliability Based Design Rules for Column Buckling, Computers&Structures, 3, 573-588.
- Liang, Q. Q., Uy, B. ve Liew, J. Y. R., 2007. Local Buckling of Steel Plates in Concrete-Filled Thin-Walled Steel Tubular Beam–Columns, Journal of Constructional Steel Research, 63, 396–405
- Liu, S., 2003. Lateral Bracing Requirements for Cantilever Steel I Beams, Postdoctoral Thesis, McGill University, Montreal.
- Lorenzis, L. D. ve Tegola, A. L., 2005. Effect of the Actual Distribution of Applied Stresses on Global Buckling of Isotropic and Transversely Isotropic Thin-Walled Members: Theoretical Analysis, Composite Structures, 68, 339–348.

- Machado, S. P. ve Cortínez, V. H., 2005. Lateral Buckling of Thin-Walled Composite Bisymmetric Beams with Prebuckling and Shear Deformation, Engineering Structures, 27, 1185–1196.
- Magnucki, K., Szyk, W. ve Stasiewicz, P., 2004. Stress State and Elastic Buckling of a Thin-Walled Beam with Monosymmetrical Open Cross-Section, Thin-Walled Structures, 42, 25–38.
- Medland, I. C., 1979. Flexural-Torsional Buckling of Interbraced Columns, Engineering Structures, 131-138.
- Medland, I. C., 1980. Buckling of Interbraced Beam Systems, Engineering Structures, 2, 90-96.
- Megson, T. H. G., 1974. Linear Analysis of Thin-Walled Elastic Structures, Surrey University Pres.
- Michell, A. G. M., 1899. Elastic Stability of Long Beams under Transverse Forces, Philosophic Magazine, 48.
- Murray, N. W., 1985. Introduction to the Theory of Thin-Walled Structures, Oxford University Pres.
- Mutton, B. R., ve Trahair, N. S., 1973. Stiffness Requirements for Lateral Bracing, Jour. Struct. Div. ASCE, 99, 10, 2167–2182.
- Nabiyev, V.V., 2003. Yapay Zekâ (Problemler, Yöntemler, Algoritmalar), 1. Basım, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Öztemel, E., 2003. Yapay Sinir Ağları, 1. Basım, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Pala, M., 2006. A New Formulation for Distortional Buckling Stress in Cold-Formed Steel Members, Journal of Constructional Steel Research, 62, 716–722.
- Powell, G. ve Klinger, R., 1970. Elastic Lateral Buckling of Steel Beams, Structural Division ASCE ST9, 96, 1919-1932.
- Prandtl, L., 1899. Kipperscheinungen, Dissertation der Universitat Munchen, Munich.
- Rendek, S. ve Balaz, I., 2004. Distortion of thin-walled beams, Thin-Walled Structures, 42, 255–277.
- Rhodes, J. ve Walker, A.C., 1984. Development in Thin-Walled Structures, Elsevier.
- Roik, K., Carl, J. ve Lindner, J., 1972. Biegetorsionsprobleme Gerader Dünnwandiger Stäbe, Berlin, München, Duesseldorf, W. Ernst u. Sohn.

- Rust, W. ve Schweizerhof, K., 2003. Finite Element Limit Load Analysis of Thin-Walled Structures by ANSYS (implicit), LS-DYNA (explicit) and in Combination, Thin-Walled Structures, 41, 227–244
- Saade, K., Warze, G. ve Espion, B., 2006. Modeling Distortional Shear in Thin-Walled Elastic Beams, Thin-Walled Structures, 44, 808–821
- Sağıroğlu, Ő., BeŐdok, E. ve Erler, M., 2003. Mühendislikte Yapay Zekâ Uygulamaları-1 Yapay Sinir Ağları, 1. Basım, Ufuk Kitap Kırtasiye Yayıncılık, Kayseri.
- Sanad, A. ve Saka, M.P., 1996. Design of Reinforced Concrete Structures Using Neural Networks, Proceedings of the 2nd İnternational Conference in Civil Engineering of Computer Applications Research and Practice, Bahrain, 1, 69-83.
- Shu, T. G. ve Fan, C. S., 1988. Buckling of Laterally and Torsionally Braced Beams, Journal of Constructional Steel Research, 11, 41-55.
- Svensson, S. E., 1985. Lateral Buckling of Beams Analysed as Elastically Supported Columns Subject to a varying Axial Force, Journal of Constructional Steel Research, 5, 179-193.
- Timoshenko, S. P. and Gere, J. M., 1961. Theory of elastic stability, Third Edition, McGraw-Hill, New York.
- Trahair, N.S. ve Nethercot, D.A., 1984. Bracing Requirements in Thin-Walled Structures, Elsevier.
- Trahair, N.S., 1993. Flexural-Torsional Buckling of Structures, London, Glasgow, New York, Tokyoi Melbourne, Madras, Chapman ad Hall.
- TS 648, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, T.S.E., Ankara, 1. Baskı, Aralık 1980.
- URL 1, www.yapay-zeka.org/modules.php?name=Downloads&d_op=getit&lid=9, Yapay Zeka, 15 Aralık 2002.
- Ülker, M. ve Civalek, Ö., 2002. Yapay Sinir Ağları ile Eksenel Yüklü Kolonların Burkulma Analizi, Turkish J. Eng. Env. Sci., 26, 117-125.
- Valentino, J. ve Trahair, N.S., 1998. Torsional Restraint against Elastic Lateral Buckling, Journal of Structural Engineering, 1217-1225.
- Vlasov, V. Z., 1959. Thin Walled Elastic Beams, Gosudarstvennoe İztadel'stvo Fiziko-Matamaticeskoi Literatury.
- Wakabayashi, M. ve Nakamura T., 1983. Buckling of Laterally Braced Beams, Engineering Structures, 5, 108-118.
- Wang, Y. C. ve Nethercot, D. A., 1990. Bracing Requirementts for Laterally Unrestrained Beams, Journal of Constructional Steel Research, 17, 305-315.

- Wang, C. M. ve Liew, K. M., 1991. Buckling of Columns with Overhang, J. Eng. Mech., 117, 11, 2492–2502.
- Wang, C. M., Asce, M. ve Nazmul, M., 2003. Buckling of Columns with Intermediate Elastic Restraint, Journal of Engineering Mechanics, 129, 2, 241-244.
- Wang, Q., 2003. A Simple Solution for Lateral Buckling of Thin-Walled Symmetric Members, Commun. Numer. Meth. Engng, 19, 49–58.
- Waszczyszyn, Z. ve Ziemanski, L., 2001. Neural Networks in Mechanics of Structures and Materials – New Results and Prospects of Applications, Computers and Structures 79, 2261-2276.
- Winter, G., 1943. Lateral Stability of Unsymmetrical I-Beams and Trusses in Bending, Transactions, ASCE, 108.
- Wong-Chung, A.D. ve Kitipornchai, S., 1987. Partially Braced Inelastic Beam Buckling Experiments, Journal of Constructional Steel Research, 7, 189-211.
- Xie, M. ve Chapman, J. C., 2003. Design of Web Stiffeners: Axial Forces, Journal of Constructional Steel Research, 59, 1035–1056.
- Xykis, C. ve Galambos, V. T., 1990. Lateral Torsional Stability Analysis of Large Order Space Frame Systems, Engineering Structures, 12, 235-242
- Yu, W., Hodges, D. H., Volovoi, V. V. ve Fuchs, E. D., 2005. A Generalized Vlasov Theory for Composite Beams, Thin-Walled Structures, 43, 1493–1511.
- Yura, J. A., 1971. The Effective Length of Columns in Unbraced Frames, Engineering Journal, 8, 2, 37–42.
- Yura, J. A. ve Kim, J. H., 1993. Buckling Analysis of Stiffened Plates (BASP).
- Yura, J. A., 2001. Fundamentals of Beam Bracing, Engineering Journal, 38, 1, 11-26.

ÖZGEÇMİŞ

Selahattin ALBAYRAK 1981 yılında Gümüşhane'nin Torul ilçesinde doğdu. İlkokul eğitimini Arılı Köyü İlkokulu'nda tamamladı. Orta öğrenimini Gümüşhane'de tamamladıktan sonra, 1997 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2001 yılında bölüm üçüncüsü olarak mezun olduktan sonra aynı bölümde yüksek lisans eğitimine başladı. 2001 yılında KTÜ tarafından açılan sınavı kazanarak Gümüşhane Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Mekanik Anabilim Dalı'na Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2004–2005 eğitim-öğretim yılı ara döneminde Yüksek Lisans eğitimini tamamlayan ALBAYRAK, aynı Bilim Dalı'nda Doktora eğitimine başladı. Doktora eğitimi boyunca 2 yıl süre ile TÜBİTAK'tan burs alan ALBAYRAK, Gümüşhane Üniversitesinin kurulması ile Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Mekanik Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak görevine devam etmektedir. Evli ve bir kız çocuğu sahibi olan ALBAYRAK iyi derecede İngilizce bilmektedir.