

Çelik I Kirişlerinde Gövde ve Berkitme Kalınlığı ile Berkitme Yerleşim Şeklinin Eğilme Davranışına Etkisi

^{1*}Mustafa Sivri, ²Mürüvet Sura

^{1,2} Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye

Özet

Geniş açıklıkları geçmek için dolu gövdeli çelik kirişler yaygın olarak kullanılmaktadır. Çelik kiriş taşıma kapasitesine ulaşmadan önce ani şekil değiştirmelerin oluşmaması için gövde üzerinde berkitme levhaları sıklıkla kullanılmaktadır. Eğilme etkisi altında çelik kirişler de açıklık, gövde yüksekliği, gövde kalınlığı, berkitme aralığı ve kalınlığına bağlı olarak gövde buruşması, üst başlık ezilmesi veya zayıf eksen etrafında eğilmesi gibi göçme şekilleri oluşmaktadır.

Sayısal olarak yapılan bu çalışmada çelik köprülerde kullanılan eğilme etkisi altındaki çelik yapma I kesit kirişlerde, berkitme levhalarının boyut ve yerleşim şeklinin davranışa etkisi incelenmiştir. İncelemede 6000mm açıklığa sahip yapma kesit çelik kiriş ANSYS sonlu elemanlar programında sayısal olarak modellenmiş ve iki noktadan yükleme yapılmıştır. Çelik kiriş gövde kalınlığı 3, 6 ve 10mm alınarak kiriş eğilme davranışı belirlenmiştir. Berkitme elemanlarının davranışa etkisinin incelenmesi amacıyla berkitme levhaları 500, 1000 ve 2000mm aralığında üç farklı aralıkta, cidar kalınlıkları ise 3, 6 ve 10 mm kalınlığında alınarak sayısal modeller statik olarak yüklenmiştir.

Yükleme sonucunda kiriş üzerinde meydana gelen burkulma durumları, deplasman, kapasite ve şekil değiştirme değerleri karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur. Bu durumda tasarımda kullanılan berkitme levhalarının dizayn parametreleri irdelenmiş ve tasarımcı için uygun parametreler belirlenmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Berkitme, Eğilme, Sonlu eleman analizi

The Effect of Body and Stiffness Plate Thickness and Stiffeners locations in the Steel Beams on The Bending Behavior

Abstract

*Sorumlu yazar: Adres: Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Süleyman Demirel Üniversitesi, Çünür Mahallesi, 32260, Merkez Isparta, TÜRKİYE. E-mail adres: mustafasivri@sdu.edu.tr, Tel: Phone: +90246211080

Steel beams are used to pass high openings. Under bending effect, steel beams form collapse shapes such as body crinkle, upper head crush or bending around weak axis depending on aperture, body height, body thickness, bending interval and thickness. Stiffness plates are often used to avoid unwanted sudden deformations in steel beams and to ensure continuity in load transfer.

In this numerical study, investigated the effect of the size and settlement behavior of the stiffness plates on I-section beams subjected to bending effect used in steel bridges. In the review, a section beam with 6000mm openings was numerically modeled in the ANSYS finite element program and loaded from two points. Beam bending behavior is determined by taking the steel beam body thickness 3, 6 and 10 mm. In order to investigate the behavioral effects of stiffness plate, the numerical models were loaded statically by taking the stiffness at three different intervals in the range of 500, 1000 and 2000 mm and the stiffness in the thicknesses of 3, 6 and 10 mm.

The buckling conditions, displacement, capacity and strain values on the beam are presented in comparison with the loading results. In this case, the design parameters of the stiffness plates used in the design were examined and the appropriate parameters for the designer were tried to be determined

Key words: Stiffeners, Bending behavior, Finite element analysis

1. Giriş

Mühendislik yapılarında çok eskilerden beri demir malzemesi kullanılmaktadır. Demirin, ilk önce M.Ö. 1500 yıllarında kuzeydoğu Anadolu ve Kafkasya'da üretilip kullanılmasına karşın, mühendislikte kullanımının 200 yıllık bir geçmişi vardır. Bu malzeme de ilk olarak köprü yapımında kullanılmıştır. Bu şekildeki köprülerle ilgili ilk örnek ise, İngiltere yakınlarındaki Coalbrookdale kasabası yakınında ve Severn nehri üzerinde 1779 yılında yapılan ve 31 m açıklıklı bir köprüdür. Burada kullanılan malzeme font (döküm) tur (Selbaş ve Kızıllan, 2003).

Geçen zaman içinde çok çeşitli ulaşım hatları inşa edilmiş olup günümüzde de artan nüfusa paralel olarak artan ihtiyaçlar nedeniyle bu inşa süreci hızlanarak devam etmektedir. Her türlü kara ulaşımında, doğal ve yapay engellerin aşılması amacıyla köprüler kullanılmaktadır. Bu bakımdan köprüler, bir kara ulaşım hattının vazgeçilmez unsurlarından biridir. Bunun yanında;

- Ulaşım sisteminin kapasitesinin belirlenmesinde kilit eleman olması
- Sistemde birim uzunluk başına en pahalı yapısal eleman olması
- Köprünün herhangi bir nedenden aksaması durumunda tüm sistemin aksaması sebeplerinden dolayı, köprüler aynı zamanda sistemin en hassas ve önemli elemanlarından biridir [1].

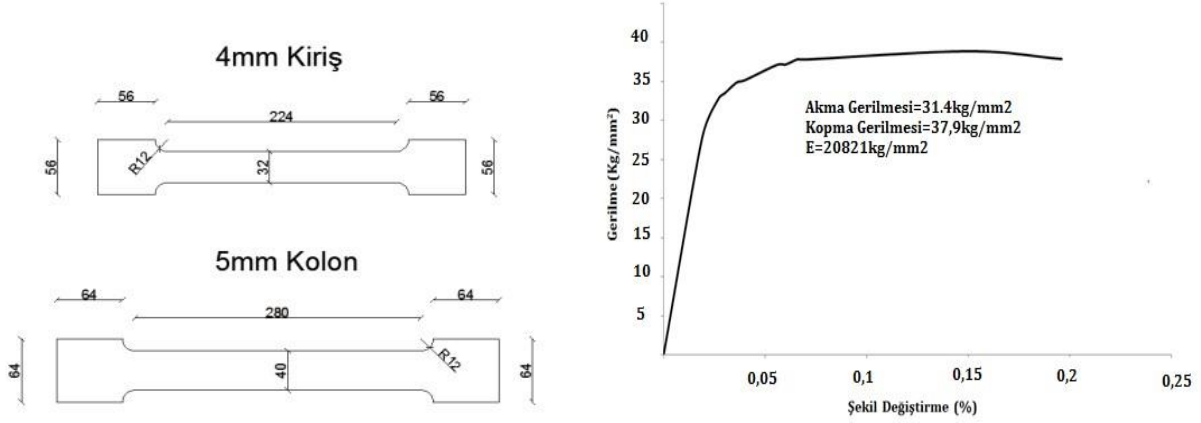
Çelik köprü, viyadük, geniş açıklığa sahip ve rijit davranış sergilemesi beklenen kompozit döşemelerde genellikle dolu gövdeli yapma kesit yada petek kirişler kullanılmaktadır. Dinamik olarak etkiyen ve büyük yayılı yüklemeye altında çalışan bu kirişlerde istenmeyen deformasyonları minimize etmek ve bu duruma bağlı ani kapasite kayıplarının önüne geçmek amacıyla ile kiriş gövdesi berkitme levhaları ile desteklenmektedir. Yüksek gövde uzunluğuna sahip bu kirişlerde, eğilme etkisi altında meydana gelen deformasyonlar, kirişin sahip olduğu mesnet koşullarına göre çeşitlilik göstermekte olup genellikle gövdede buruşma, başlıkta burkulma olarak karşımıza çıkmaktadır. Kiriş gövdesinde meydana gelen buruşma mesnet koşulları ve eğilme etkisi altında oluşan maksimum kesme ve moment durumuna bağlı mekaniksel davranışa göre şekil almaktadır. Başlıkta meydana gelen burkulma durumu da, birlikte çalıştığı kompozit elemandaki ani kapasite kaybı yada olası yatay etkilere bağlı burulma durumları için şekil almaktadır. Bu sebep ile uygulanacak olan berkitme levhalarının yeri, uygulanma şekli, boyutları ve cidar kalınlığı gövdede ve başlıkta meydana gelen deformasyonların önlenmesinde önem kazanmaktadır. Ancak özellikle ülkemizde uygulamada bu durum genellikle her hangi bir hesaba bakılmaksızın, uygulandığı kirişin başlık yada gövde kalınlığı dikkate alınarak uygulanacak berkitme levhası cidar kalınlığı, aralığı ve boyutsal parametreleri belirlenmektedir. Literatürde bu alanda yapılan çalışmalarda kullanılan berkitme yerleşim şekli, aralığı ve cidar kalınlığının kullanıldığı kiriş kapasitesi üzerine yansımaları için çalışmalar mevcut olup ideal aralık, cidar kalınlığı gibi davranışa etkileyecek parametreler belirlenmeye çalışılmıştır [2-7].

Bu çalışmada öncelikle R.Chacon vd. (2013)[8] çalışmalarında deneyini yaptıkları kiriş ANSYS ile modellenerek çözüm yapılmış ve deney sonuçlarına oldukça yakın çözüm yapıldığı görülmüştür. Sayısal modellemelerde 6000mm metre açıklığa sahip yapma kesit bir kiriş ANSYS sonlu elemanlar analiz programında sayısal olarak modellenmiş ve iki noktadan yüklemeye yapılarak eğilme etkisi altında berkitmesiz olarak analiz edilmiştir. Gövde kalınlığının eğilme davranışına etkisini belirlemek amacıyla 3, 6 ve 10mm kalınlığında gövde kalınlıkları seçilmiştir. Düşey berkitmelerin ve 3, 6 ve 10mm kalınlıkları ve çapraz berkitmelerin 3mm kalınlığı için 500, 1000 ve 2000mm aralıklarla yerleştirilmesi durumunda kiriş göçme yükü ve şekli belirlenmeye çalışılmıştır.

2. Materyal Metot

2.1 Kullanılan Çeliğin Özellikleri

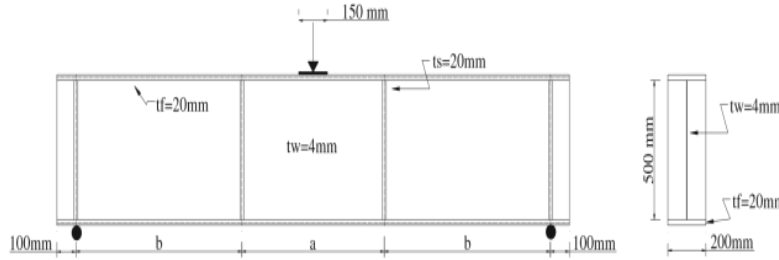
Çalışma kapsamında kullanılan yapısal çeliğin mukavemet özelliklerini tanımlayabilmek için standardına uygun çekme deneyi yapılmıştır. Çekme deneyi numuneleri Şekil 1'de gösterildiği şekilde ve ölçülerdedir. Numune ölçülerinin çıkartılmasında TS EN ISO-6892-1 “Metalik Malzemeleri; Çekme Deneyi” standardındaki esaslar kullanılmıştır. Deney numunelerinden alınan örneklerin çekme deneyi sonrası elde edilen idealleştirilmiş gerilme şekil değiştirme diyagramı verilmiştir. Çekme deneyi sonucu elde edilen akma ve kopma değerleri sayısal analizde de kullanılmıştır



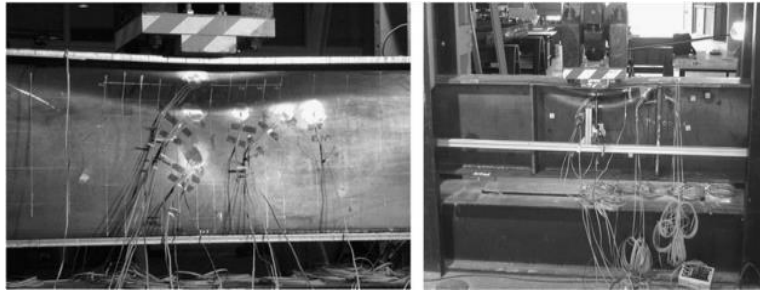
Şekil 1. Çelik malzeme çekme deneyi numunesi ve gerilme – şekil değiştirme diagramı

2.2. Berkitme Levhaları Yapıma Kesit Çelik Kirişin Sonlu Eleman Modelleri

R.Chacon vd. (2013) çalışmasında 2700mm açıklığa sahip, 200mm başlık genişliği ve 20mm başlık kalınlığı, 500mm gövde yüksekliğine ve 4mm gövde kalınlığına sahip bir kirişte berkitme levhaları kullanılarak kirişin davranışını deneysel olarak incelemiştir. Kirişin boyutları Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. R.Chacon vd. (2013) çelik kiriş eğilme deneyi

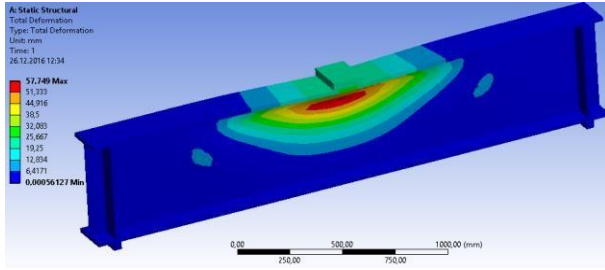


Şekil 3. R.Chacon vd. (2013) berkitmesiz (1VPL2500) ve berkitmeli (1VPL750) çelik kiriş deney sonucu şekil değiştirmeleri

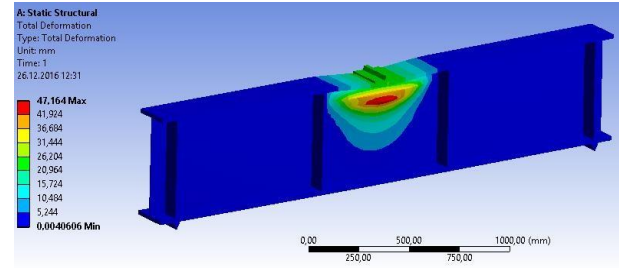
1VPL2500 deneyi sonucunda kiriş taşıma yükünü 217.5kN ve 1VPL750 deneyi sonucunda kiriş taşıma yükünü 251.8kN olarak belirlemişlerdir.

1VPL2500 ve 1VPL750 deneyinin sayısal analizi ANSYS sonlu elemanlar programıyla modellenerek çözüm yapılmıştır. Başlık ve gövde elemanları Shell olarak tanımlanmıştır. Kaynaklı birleşen levhalarda her iki tarafından köşe kaynak yapıldığı için kaynakların taşıma gücünde herhangi bir taşıma problemi olmamaktadır. Başlık, gövde ve berkitme elemanları programda rijit bağlantı (Bonded) ile birleştirilmiştir. Sonlu elemanlara (Mesh) bölme işlemi sonucunda 2000 ile 4000 arasında eleman sayısının uygun olduğu görülmüştür.

1VPL2500 kirişi analiz sonunda 217.1kN ve 1VPL750 kirişi 257.1kN yük taşımaktadır. Göçme şekli ve yük – düşey yerdeğiştirme değerleri Şekil 4 ve 5’de verilmiştir. Deney sonuçları ile analiz sonuçlarının yakın olduğu görülmektedir. ANSYS sonlu eleman programı ile eğilme kirişlerinin davranışı gerçek davranışa uygun olarak hesaplanabilmektedir.

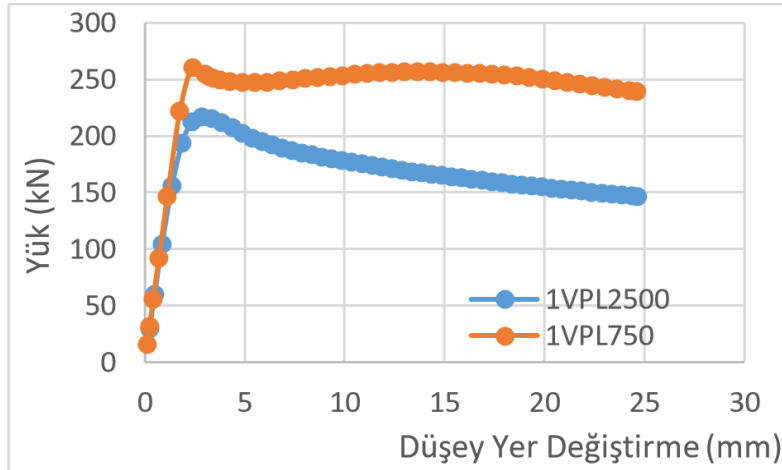


a. 1VPL2500



b. 1VPL750

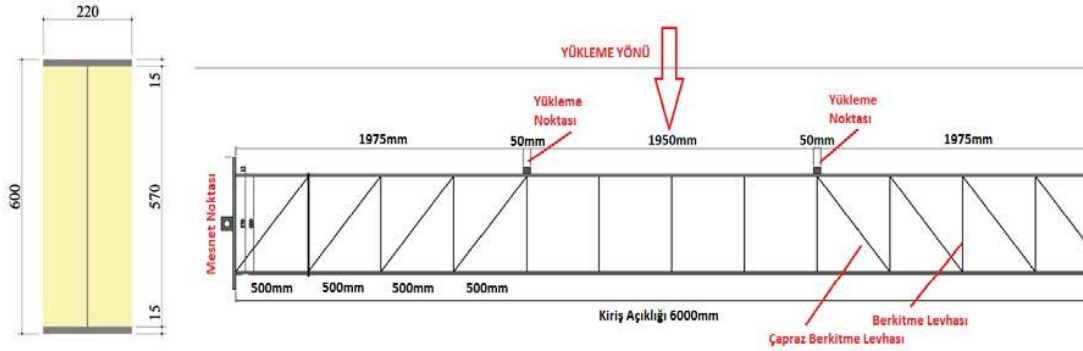
Şekil 4. 1VPL2500 ve 1VPL750 kirişlerinin şekil değiştirmeleri



Şekil 5. 1VPL2500 ve 1VPL750 yük- düşey yer değiştirme eğrileri

Çalışma kapsamında eğilme etkisi altındaki bir kirişte kullanılan berkitme levhalarının davranışa etkisini incelemek amacı ile 6000mm açıklığa ve 600mm yüksekliğe sahip, 200mm başlık genişliği ve 15mm başlık kalınlığı olan yapma kesit bir kiriş öncelikle berkitmesiz olarak modellenmiş ve analiz edilmiştir. Bu kiriş için elde edilen değerler referans kabul edilmiş ve şahit numune olarak isimlendirilmiştir. Berkitme levhasının kiriş davranışına etkisi incelemek için ise levhalar 500, 1000 ve 2000mm aralığında ve 3, 6 ve 10mm cidar kalınlığı için sayısal modeller oluşturulmuştur. Modellerde kullanılan çelik kirişin boyutsal parametreleri Şekil 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 1'de ifade edilen modellerin Ansys Workbench V15 programı kullanılarak sayısal analizleri tamamlanmıştır. Sayısal modellerde kullanılan kiriş her iki ucu mafsallı basit kiriş olarak modellenip, yükleme iki noktadan artımsal olarak yüklenmiştir. Yükleme deplasman kontrollü uygulanmış, deplasman karşılığında gerekli yük hesaplatılmıştır. Çalışmada kirişin eğilme etkisi altındaki genel davranışı üzerine yoğunlaşılması sebebi ile yapma kesit olarak modellenen kirişte gövde, başlık, berkitme levhaları arasındaki kaynaklı bağlantılar rijit birleşim olarak programa tanımlanmış, kaynaklarda meydana gelen olası deformasyonlar ihmal edilmiştir



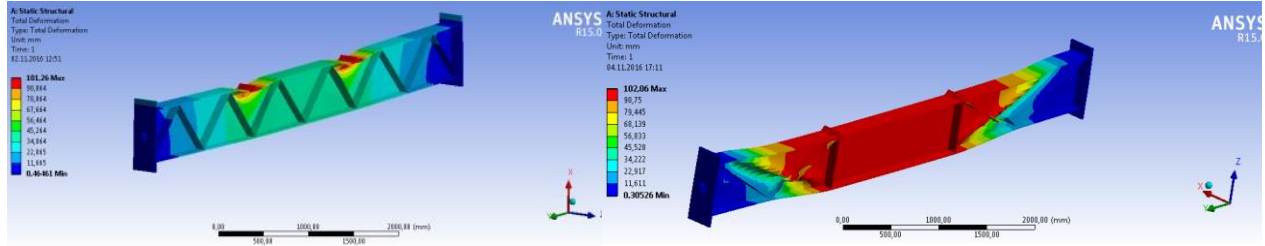
Şekil 6. Kullanılan kiriş ve berkitme yerleşim planı genel görünümü

Şahit, berkitmeli ve çapraz levhalı numunelerin boyutsal parametreleri ve çalışmada kullanılan isimleri Çizelge 1'de ifade edilmiştir. Çizelgede t3-500-c3-d3 ifadesinde; t3 olarak adlandırdığımız sembol kiriş gövde kalınlığını, 500 berkitme levha aralığını, c3 değeri 3mm olan berkitme levhasının çapraz olarak yerleştirildiğini, d3 ise kalınlığı 3mm olan berkitme levhasının düşey olarak yerleştirildiği durumu ifade etmektedir.

Çizelge 1. Sayısal model isimleri ve boyutsal parametreleri

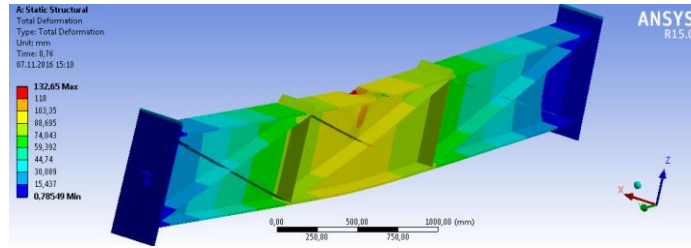
	Model Adı	Gövde Kalınlığı	Düşey Berkitme Aralığı	Düşey Berkitme Kalınlığı	Çapraz Berkitme Aralığı	Çapraz Berkitme Kalınlığı
1	t3	3	-	-	-	-
2	t6	6	-	-	-	-
3	t10	10	-	-	-	-
4	t3-500-d3	3	500	3	-	-
5	t6-500-d3	6	500	3	-	-
6	t10-500-d3	10	500	3	-	-
7	t3-500-c3-d3	3	500	3	500	3
8	t6-500-c3-d3	6	500	3	500	3
9	t10-500-c3-d3	10	500	3	500	3
10	t3-500-d6	3	500	6	-	-
11	t6-500-d6	6	500	6	-	-
12	t10-500-d6	10	500	6	-	-
13	t3-500-d10	3	500	10	-	-
14	t6-500-d10	6	500	10	-	-
15	t10-500-d10	10	500	10	-	-
16	t3-1000-d3	3	1000	3	-	-
17	t6-1000-d3	6	1000	3	-	-
18	t10-1000-d3	10	1000	3	-	-
19	t3-1000-d3-c3	3	1000	3	1000	3
20	t6-1000-d3-c3	6	1000	3	1000	3
21	t10-1000-d3-c3	10	1000	3	1000	3
22	t3-1000-d6	3	1000	6	-	-
23	t6-1000-d6	6	1000	6	-	-
24	t10-1000-d6	10	1000	6	-	-
25	t3-1000-d10	3	1000	10	-	-
26	t6-1000-d10	6	1000	10	-	-
27	t10-1000-d10	10	1000	10	-	-
28	t3-2000-d3	3	2000	3	-	-
29	t6-2000-d3	6	2000	3	-	-
30	t10-2000-d3	10	2000	3	-	-
31	t3-2000-d3-c3	3	2000	3	2000	3
32	t6-2000-d3-c3	6	2000	3	2000	3
33	t10-2000-d3-c3	10	2000	3	2000	3
34	t3-2000-d6	3	2000	6	-	-
35	t6-2000-d6	6	2000	6	-	-
36	t10-2000-d6	10	2000	6	-	-
37	t3-2000-d10	3	2000	10	-	-
38	t6-2000-d10	6	2000	10	-	-
39	t10-2000-d10	10	2000	10	-	-

600mm yükseklik 3mm, 6mm ve 10mm gövde kalınlığına sahip olan kirişler aynı yükleme noktaları, aynı sehim değeri altında farklı deformasyon durumları ve buna bağlı gerilme dağılımları sergilemiştir. Bu durumlar üst başlık ezilmesi, gövde buruşması ve eğilme göçmesi şeklindedir (Şekil 7). Üst başlık ezilmesinde; yükleme noktalarında basınçtan kaynaklı meydana gelen göçme gövde de buruşmaya, üst başlıkta buruşma ve ezilmeye neden olmaktadır. Gövde buruşmasında ise kayma gerilmelerinin karşılanamamasından dolayı gövdede buruşma meydana gelmektedir. Eğilme göçmesi; yüklemeler sonucunda üst başlık levhasının eğilme etkisi altında basınç gerilmeleri altında buruşması durumudur. Berkitmeli kirişlerin taşıma yükleri ve göçme şekilleri Çizelge 2’de verilmiştir.



a. Üst başlık ezilmesi

b. Gövde buruşması



c. Eğilme göçmesi

Şekil 7. Berkitmeli kiriş göçme şekilleri

Çizelge 2. Çelik kiriş taşıma yükü ve göçme şekilleri

	Model	Maks. Yük (KN)	Göçme Şekli		Model	Maks. Yük (KN)	Göçme Şekli
1	t3	322	Üst Başlık Ezilmesi	21	t10-1000-d3-c3	1022	Eğilme Göçmesi
2	t6	885	Üst Başlık Ezilmesi	22	t3-1000-d6	463	Gövde Buruşması
3	t10	1012	Eğilme Göçmesi	23	t6-1000-d6	896	Eğilme Göçmesi
4	t3-500-d3	590	Eğilme Göçmesi	24	t10-1000-d6	1017	Eğilme Göçmesi
5	t6-500-d3	897	Eğilme Göçmesi	25	t3-1000-d10	464	Gövde Buruşması
6	t10-500-d3	1017	Eğilme Göçmesi	26	t6-1000-d10	896	Eğilme Göçmesi
7	t3-500-c3-d3	604	Gövde Buruşması	27	t10-1000-d10	1018	Eğilme Göçmesi
8	t6-500-c3-d3	893	Eğilme Göçmesi	28	t3-2000-d3	409	Gövde Buruşması
9	t10-500-c3-d3	1019	Eğilme Göçmesi	29	t6-2000-d3	896	Eğilme Göçmesi
10	t3-500-d6	591	Gövde Buruşması	30	t10-2000-d3	1018	Eğilme Göçmesi
11	t6-500-d6	896	Eğilme Göçmesi	31	t3-2000-d3-c3	669	Gövde Buruşması

12	t10-500-d6	1017	Eğilme Göçmesi	32	t6-2000-d3-c3	890	Eğilme Göçmesi
13	t3-500-d10	597	Gövde Buruşması	33	t10-2000-d3-c3	1011	Eğilme Göçmesi
14	t6-500-d10	896	Eğilme Göçmesi	34	t3-2000-d6	409	Gövde Buruşması
15	t10-500-d10	1019	Eğilme Göçmesi	35	t6-2000-d6	892	Eğilme Göçmesi
16	t3-1000-d3	460	Gövde Buruşması	36	t10-2000-d6	1013	Eğilme Göçmesi
17	t6-1000-d3	895	Eğilme Göçmesi	37	t3-2000-d10	410	Gövde Buruşması
18	t10-1000-d3	1016	Eğilme Göçmesi	38	t6-2000-d10	892	Eğilme Göçmesi
19	t3-1000-d3-c3	467	Gövde Buruşması	39	t10-2000-d10	1014	Eğilme Göçmesi
20	t6-1000-d3-c3	896	Eğilme Göçmesi				

3. SONUÇ VE ÖNERİLER (TARTIŞMA VE SONUÇLAR)

Basınç ve çekme başlığını birbirinden uzaklaştırmak suretiyle kapasite artışı sağlanan yüksek derinlikli dolu gövdeli kirişler, derinlik artışı ile birlikte yatay burkulmalara ve gövde buruşmalarına karşı narin hale gelmektedir. Tasarımda bu narinlik ya gövde kalınlığının artışı ya da kiriş gövdesinde derinliğe dik yönde konumlandırılan berkitme levhaları ile dengelenmektedir.

Yapılan bu çalışmada, ince cidarlı gövdeye sahip, yapma kesit dolu gövdeli bir kirişte, berkitme levhaları kullanılarak, gövde buruşmaları engellenmeye çalışılmış, kiriş stabilitesi sağlanmıştır. Bu kapsamda sabit kiriş açıklığı ve aynı kesit değerlerine sahip kirişlerde, farklı yerleşim şekli, aralığı ve cidar kalınlığına sahip berkitme levhaları kullanılarak, kirişlerin eğilme etkisi altındaki davranışları ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Bu kapsamda; farklı cidar kalınlıklarına sahip berkitme levhalarının üç farklı aralık da yerleştirildiği kirişler sonlu elemanlar metodu kullanılarak nonlineer bölgede analiz edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları değerlendirildiğinde eğilme etkisi altındaki bir kirişte gövde de meydana gelen şekil değiştirmenin kapasite ve yapı elemanı davranışı üzerinde etkin rol oynadığı görülmüştür.

- Yapılan sayısal analizlerde berkitme levhalı modellerde, gövde de meydana gelen deformasyonun ve buna bağlı gerilme dağılımının berkitme levhaları aralığında sınırlandırıldığı ve kapasitenin belirgin bir düzeyde artış sağladığı tespit edilmiştir.
- Aynı yerleşim şekli ve dağılıma sahip sayısal modellerde, berkitme levhası kalınlığının kiriş kapasitesi ve davranışında etkin rol almadığı, görülmüştür. Bu kapsamda berkitme levhası yerleşim şeklinin ve yerinin, levha cidar kalınlığından daha etkin olduğu belirlenmiştir.
- Yapılan analizlerde, en etkin sonuçların, berkitme levha aralığının en küçük olduğu 500mm dağılımda sağlandığı, görülmüş olup bu hali ile literatürdeki berkitme levhası için tanımlanan ideal mesafe, kiriş derinliğinden küçük olmalı yaklaşımı teyit edilmiştir.
- Yapılan analizlerde 3, 6 ve 10mm gövde kalınlığına sahip kirişler kullanılmıştır. Üç tip kiriş en etkin berkitme aralığı için elde edilen kapasite dağılımları değerlendirildiğinde, kapasite değerleri, birbirine yakın sonuçlar gösterir iken, kirişlerde gövde kalınlığındaki artışın davranışı daha sünek bir aralığa çektiği görülmüştür. Bu hali ile 3mm gövde kalınlığındaki

berkitmeli kirişlerde berkitmelerin kapasiteyi artırmasına rağmen gövde de meydana gelen lokal burkulmaları sınırladığı ancak ileri deplasman seviyelerinde burkulmayı engelleyememesi sebebi ile kirişin ani göçme moduna geçtiği tespit edilmiştir.

Yapılan analizler neticesinde, derin gövdeli yapma kesit profillerde, berkitme levhalarının kiriş kapasitesi üzerinde etkin rol oynadığı görülmüştür. Ancak elde edilen verilere göre kullanılan berkitme levhalarının cidar kalınlığının belirleyici olmadığı, bunun yanında yerleşim şekli ve aralığının daha büyük önem taşıdığı tespit edilmiştir.

4. KAYNAKLAR

[1] Şencan, A., Yakut, A., K., Kızıllan, Ö., 2003. Güneş Enerjili İklimlendirme Sistemi ve Bir Uygulama. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu, 20-21 Haziran 2003, Mersin, 172-177.

[2] Design of Steel Structures Web Course (2014); Prof. S.R.Satish Kumar and Prof. A.R.Santha Kumar; Indian Institute of Technology Madras.

[3] Philip Avery ve Mahen Mahendran (1997); Finite-Element Analysis of Hollow Flange Beams with Web Stiffeners; Journal of Structural Engineering.

[4] John W. vd. (1974); Fatigue Strength of Steel Beams with Stiffeners and Attachments; National Cooperative Highway Research Program Report.

[5] Christian O. Sørensen, Kristian M. Rasmussen (2014); Effects of Stiffeners on the Warping Resistance of Steel I-Beams; International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 4, Issue 2.

[6] Yoon Duk Kim (2004); Transverse Stiffener Requirements in Straight and Horizontal Curved Steel I Girders; PHD Thesis; Georgia Institute of Technology.

[7] Chris R Hendy ve Francesco Presta (2008); Transverse Web Stiffeners and Shear Moment Interaction for Steel Plate Girder Bridges; The Structural Engineer.

[8] Chacon R., Mirambell E., Real E., 2013. Transversally stiffened plate girders subjected to patch loading, Part 1. Journal of Constructional Steel Research 80 (2013) 483– 491