

**T.C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**KOMPOZİT PETEK KİRİŞLERİN SONLU
ELEMANLAR YÖNTEMİYLE STATİK VE SERBEST
TİTREŞİM ANALİZİ**

Yüksek Lisans Tezi

Mirsajde XHAFERRİ

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad NOORI

İstanbul – 2023

TEZ TANITIM FORMU

Yazar Adı Soyadı : Mirsajde XHAFERRİ

Tezin Dili : Türkçe

Tezin Adı : Kompozit Petek Kirişlerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Statik ve Serbest Titreşim Analizi

Enstitü : İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Tezin Türü : Yüksek Lisans

Tezin Tarihi : 24.10.2023

Sayfa Sayısı : 137

Tez : Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad NOORI

Danışmanları

Dizin Terimleri : Petek kiriş, Çelik beton kompozit kiriş, Gövde boşluğu, Sonlu elemanlar yöntemi, ANSYS

Türkçe Özet : Bu tezin temel amacı, kompozit petek kirişlerin analizini teorik olarak incelemektir. ANSYS programı kullanılarak kompozit petek kiriş boşlukları etrafındaki gerilme dağılımının analizi yapılmıştır. Aynı yük altında farklı konfigürasyonlara sahip kirişlerin sonuçları karşılaştırılması bu tezde yer almaktadır.

Dağıtım Listesi : 1. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne
2. YÖK Ulusal Tez Merkezine

İmzası

Mirsajde XHAFERRİ

**T.C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**KOMPOZİT PETEK KİRİŞLERİN SONLU
ELEMENLAR YÖNTEMİYLE STATİK VE SERBEST
TİTREŞİM ANALİZİ**

Yüksek Lisans Tezi

Mirsajde XHAFERRİ

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad NOORI

İstanbul – 2023

BEYAN

Bu tezin hazırlanmasında bilimsel etik kurallara uyulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir bölümünde bu üniversiteye veya başka bir üniversiteye başka bir tez olarak sunulmamış olmalıdır.

Mirsajde XHAFERRİ

.../.../2023



T.C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Mirsajde XHAFERRİ' nin “**Kompozit Petek Kirişlerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Statik ve Serbest Titreşim Analizi**” adlı tez çalışması, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı İnşaat Mühendisliği Bilim Dalı YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NURİ

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad NOORI

(Danışman)

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Burak TOYDEMİR

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

.... / / 2023

Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Kompozit çelik ve beton kirişlerin kullanılması, bileşen malzemelerin en iyi mekanik özelliklerinin keşfedilmesini sağlayarak, daha ekonomik yapısal çözümlerin elde edilmesine olanak tanımaktadır.

Çelik petek kirişleri, daha yüksek atalet momentine sahip genişletilmiş profillerden ürettikleri için bu malzemeyi kullanmak daha mantıklı hale gelmektedir. Aynı miktarda çelik kullanarak eğilmeye karşı daha yüksek bir direnç gösterdikleri için, bu malzemeyi kullanmak servis limiti yüksek olan durumlarda daha iyi performans göstermektedir. Bu yapısal sistemlerin kombinasyonu, iki sistemin avantaj ve dezavantajlarını dengeleyen kompozit petek kirişler ile sonuçlanır. Bu, malzeme tüketimini ve dolayısıyla üretilen çevresel etkileri azaltmayı mümkün kılmaktadır. Petek kirişlerin kullanılması, profil tablolarında mevcut olan I-şekilli profillerden daha yüksek mukavemete sahip kirişlerin elde edilmesini sağlar.

Bu tez çalışmasının temel amacı, kompozit petek kirişlerin analizini teorik ve sayısal olarak incelemek ve eğilmeye daha dayanıklı kompozit petek kirişleri önermektir.

Bunun için ANSYS programı kullanılarak bir örnek yardımıyla kompozit petek kiriş boşlukları etrafındaki gerilme dağılımının analizi yapılmıştır ve kiriş açıklığındaki tehlikeli noktalar belirlenmiştir. Aynı yük altında farklı konfigürasyonlara sahip kirişlerin hesap sonuçlarının karşılaştırılması bu tezde yer almaktadır.

Anahtar Kelimeler: Petek kiriş, Çelik beton kompozit kiriş, Gövde boşluğu, Sonlu elemanlar yöntemi, ANSYS

SUMMARY

The use of composite steel and concrete beams enables the best mechanical properties of the component materials to be explored, allowing for more economical structural solutions.

It makes more sense to use this material as steel core beams produce expanded profiles with higher moment of inertia. Using this material will perform better in service limit situations, as they offer a higher resistance to bending using the same amount of steel. The combination of these structural systems results in composite castellated beams that balance the advantages and disadvantages of the two systems. This makes it possible to reduce the consumption of material and therefore the environmental impacts produced. The use of composite castellated beams allows beams to be obtained with higher strength than the I-shaped profiles already available in the profile tables.

The main objective of this thesis is to make the theoretical and numerical analysis of composite castellated beams and to suggest the composite castellated beams of high flexural rigidity.

For this, the stress distribution around the web openings of castellated beam is analyzed with the help of an example using the ANSYS program and the unsafe points in the beam span are determined. Comparison of the calculation results of beams with different configurations under the same load is included in this thesis.

Keywords: Castellated beam, Steel-concrete composite beam, Web Opening, Finite elements analysis, ANSYS

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
SUMMARY.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLolar LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	xiv
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

PETEK KİRİŞLERİNİN UYGULAMALARI VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

1.1 Petek Kirişler.....	2
1.1.1 Petek kirişlerin türleri.....	3
1.1.2 Üretim	3
1.1.3 Kirişin kesimi	4
1.1.4 Petek kirişin montajı	6
1.1.5 Petek kirişlerin uygulanması	7
1.1.6 Avantajlar ve dezavantajlar	10
1.1.7 Petek kirişlerdeki göçmeleri.....	11
1.1.8 Vierendeel mekanizmasının oluşumu	11
1.1.9 Yanal buruşmalı burkulma.....	12
1.1.10 Kaynaklı bağlantı kopması.....	13
1.1.11 Yanal burulmalı burkulma	14
1.1.12 Eğilme momentinden kaynaklanan göçme	14
1.1.13 Gövdede burkulma sonrası davranış	14
1.2 Tezin amacı	15
1.2.1 Hedefler.....	15
1.3 Literatür Taraması.....	16

İKİNCİ BÖLÜM

MATERYAL VE METOT

2. Materyal ve metot	30
----------------------------	----

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Statik Analiz.....	37
------------------------	----

3.1.1 Ankastre-serbest mesnet koşullu dikdörtgen boşluklu kompozit petek kiriş için boşluklar arasındaki mesafenin statik davranışa etkisi.....	39
---	----

3.1.2 Ankastre-serbest mesnet koşullu dikdörtgen boşluklu kompozit petek kirişler için boşluk ölçüsünün statik davranışa etkisi.....	44
--	----

3.1.3 Ankastre-serbest mesnet koşullu dairesel boşluklu kompozit petek kirişler için boşluklar arasındaki mesafenin statik davranışa etkisi.....	48
--	----

3.1.4 Ankastre-serbest mesnet koşullu dairesel boşluklu kompozit petek kirişler için boşluk ölçüsünün statik davranışa etkisi	53
---	----

3.1.5 Ankastre-serbest mesnet koşullu altıgen boşluklu kompozit petek kirişler için boşluklar arasındaki mesafenin statik davranışa etkisi.....	57
---	----

3.1.6 Ankastre-serbest mesnet koşullu altıgen boşluklu kompozit petek kirişler için boşluk ölçüsünün statik davranışa etkisi	62
--	----

3.1.7 Ankastre-ankastre mesnet koşullu dikdörtgen boşluklu kompozit petek kirişler için boşluklar arasındaki mesafenin statik davranışa etkisi	68
--	----

3.1.8 Ankastre-ankastre mesnet koşullu dikdörtgen boşluklu kompozit petek kirişler için boşluk ölçüsünün statik davranışa etkisi.....	74
---	----

3.1.9 Ankastre-ankastre mesnet koşullu dairesel boşluklu kompozit petek kirişler için boşluklar arasındaki mesafenin statik davranışa etkisi.....	77
---	----

3.1.10 Ankastre-ankastre mesnet koşullu dairesel boşluklu kompozit petek kirişler için boşluk ölçüsünün statik davranışa etkisi.....	83
--	----

3.1.11 Ankastre-ankastre mesnet koşullu altıgen boşluklu kompozit petek kirişler için boşluklar arasındaki mesafenin statik davranışa etkisi	87
--	----

3.1.12 Ankastre-ankastre mesnet koşullu altıgen boşluklu kompozit petek kirişler için boşluk ölçüsünün statik davranışa etkisi.....	93
---	----

SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	111
----------------------------------	------------

KAYNAKLAR	115
------------------------	------------

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1. Betonun özellikleri	36
Tablo 2. Çeliğın özellikleri.....	36
Tablo 3. Programından alınan detaylar	36
Tablo 4. Birinci model için ANSYS programından elde edilen özellikler.....	40
Tablo 5. Programından alınan detaylı bilgileri.....	42
Tablo 6. Programından alınan detaylar	44
Tablo 7. Programından alınan bilgiler.....	46
Tablo 8. Programından alınan detaylar	47
Tablo 9. Programından alınan detaylar	49
Tablo 10. Programından alınan detaylı bilgileri.....	51
Tablo 11. Programından alınan detaylar	53
Tablo 12. Programından alınan detaylar	55
Tablo 13. Programından alınan detaylı bilgileri.....	56
Tablo 14. Programından alınan detaylar	58
Tablo 15. Programından alınan bilgiler.....	60
Tablo 16. Programından alınan detaylar	62
Tablo 17. Programından alınan detaylı bilgileri.....	64
Tablo 18. Programından alınan detaylar	66
Tablo 19. Programından alınan detaylı bilgileri.....	68
Tablo 20. Programından alınan bilgiler.....	70
Tablo 21. Programından alınan detaylar	71
Tablo 22. Programından alınan detaylar	73
Tablo 23. Programından alınan detaylı bilgileri.....	75
Tablo 24. Programından alınan detaylar	77

Tablo 25. Programından alınan bilgiler.....	79
Tablo 26. Programından alınan detaylar	81
Tablo 27. Programından alınan detaylı bilgileri.....	83
Tablo 28. Programından alınan detaylar	85
Tablo 29. Programından alınan detaylı bilgileri.....	87
Tablo 30. Programından alınan detaylar	89
Tablo 31. Programından alınan detaylı bilgileri.....	90
Tablo 32. Programından alınan detaylar	92
Tablo 33. Programından alınan bilgileri.....	95
Tablo 34. Programından alınan detaylar	96
Tablo 35. Programından alınan detaylar	98
Tablo 36. Tüm uygulamaların analiz sonuçları.....	99
Tablo 37. Ankastre – Serbest Mesnetli IPE240 profilinden yapılmış kompozit petek kirişi için elde edilen serbest titreşim frekansları.....	101
Tablo 38. Ankastre – Serbest Mesnetli IPE240 profilinden yapılmış kompozit petek kirişi için elde edilen serbest titreşim frekansları.....	102
Tablo 39. Ankastre – Serbest Mesnetli IPE240 profilinden yapılmış kompozit petek kirişi için elde edilen serbest titreşim frekansları.....	103
Tablo 40. Ankastre – Ankastre Mesnetli IPE240 profilinden yapılmış kompozit petek kirişi için elde edilen serbest titreşim frekansları.....	103
Tablo 41. Ankastre – Ankastre Mesnetli IPE240 profilinden yapılmış kompozit petek kirişi için elde edilen serbest titreşim frekansları.....	104
Tablo 42. Ankastre – Ankastre Mesnetli IPE240 profilinden yapılmış kompozit petek kirişi için elde edilen serbest titreşim frekansları.....	104

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Petek kiriş örneği.....	2
Şekil 2. Altıgen petek kirişlerin üretim sürecinin şematik olarak gösterimi	3
Şekil 3. Profil gövdesinde boşluk açma süreci	4
Şekil 4. Kirişin kesimi	4
Şekil 5. T-lerin ayrılması	5
Şekil 6. Kaynak yapılması	5
Şekil 7. Petek kirişin montajı.....	6
Şekil 8. Dairesel delikli ve altıgen delikli petek kirişler	7
Şekil 9. Kompozit kirişi	7
Şekil 10. Kompozit yapıda uygulanan petek kiriş	8
Şekil 11. Çatı uygulamalarında petek kirişler.....	9
Şekil 12. Stamford Bridge stadyumu	9
Şekil 13. Otopark Garajı	10
Şekil 14. Tek açıklıklı kirişte Vierendeel mekanizmasının oluşumu	12
Şekil 15. Boşluklar arasında yanal burkulmalı burulma.....	13
Şekil 16. Kaynak bağlantısının kopması.....	13
Şekil 17. Bir petek kirişin yanal burkulmalı burkulması	14
Şekil 18. Gövdede burkulma sonrası davranış.....	15
Şekil 19. Petek kirişlerinin deneysel olarak incelenmesi.....	16
Şekil 20. Tablada oluşan tipik çatlaklar	16
Şekil 21. Modellenmiş boşluksuz çelik kirişin sonlu eleman ağı	17
Şekil 22. Petek kirişlerin kesme ve kaynaklama prosesleri	18
Şekil 23. Altıgen ve dairesel boşluklu petek kirişler	18

Şekil 24. Kompozit petek kiriş için malzeme etkileşimi	19
Şekil 25. Kompozit kirişlerin modellenmesi için tipik bir sonlu eleman ağı	19
Şekil 26. Deneysel kurulum/testin yük tanıtımı.....	20
Şekil 27. 10kN'de IC225 petek kiriş üzerinde gerilme dağılımı.....	21
Şekil 28. Petek kirişin serbest gövdesi.....	21
Şekil 29. Petek bir kirişin tipik sonlu eleman ağı	22
Şekil 30. Bir eğilme momenti ile yüklenen petek bir eleman yanal ve burulma olarak geçmesi	22
Şekil 31. Farklı elastik olmayan birleştirilmiş burkulma modlarını gösteren kısıtlanmış uçtaki bölümler.....	23
Şekil 32. Yanal buruşma.....	24
Şekil 33. Numunelerin hazırlanması için beton dökümü.....	25
Şekil 34. Gövdede buruşma modu için tipik şekil	26
Şekil 35. Kesme bölgesinde karbon elyaf donatılı polimer için çatlak modeli	28
Şekil 36. Malzeme özelliklerinin tanımlanması.....	31
Şekil 37. Design Modeler'de yeni bir modelin oluşturulması	32
Şekil 38. Extrude yapılması	32
Şekil 39. Çelik kirişin geometrik özellikleri	32
Şekil 40. Yeni bir düzlemin oluşturulması.....	33
Şekil 41. Kompozit petek kiriş.....	33
Şekil 42. Kompozit yapının iki farklı parçasını birer birer seçerek farklı malzemelerin uygulanması	34
Şekil 43. Sonlu eleman ağı özellikleri	34
Şekil 44. Uygulanan kuvvet	35
Şekil 45. Cisminin önden görünüşü	37

Şekil 46. Cisminin 3 boyutlu görünümü.....	37
Şekil 47. Cisminin boyutları	38
Şekil 48. ANSYS programından elde edilen en büyük toplam yer değiştirme değeri	38
Şekil 49. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	39
Şekil 50. Von Mises gerilmesi	40
Şekil 51. En büyük asal gerilme	40
Şekil 52. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	41
Şekil 53. Von Mises gerilmesi	41
Şekil 54. En büyük asal gerilme	42
Şekil 55. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	43
Şekil 56. Von Mises gerilmesi	43
Şekil 57. En büyük asal gerilme	43
Şekil 58. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	45
Şekil 59. Von Mises gerilmesi	45
Şekil 60. En büyük asal gerilme.....	45
Şekil 61. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	46
Şekil 62. Von Mises gerilmesi	47
Şekil 63. En büyük asal gerilme	47
Şekil 64. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	48
Şekil 65. Von Mises gerilmesi	48
Şekil 66. En büyük asal gerilme	49
Şekil 67. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	50
Şekil 68. Von Mises gerilmesi	50
Şekil 69. En büyük asal gerilme	50

Şekil 70. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	52
Şekil 71. Von Mises gerilmesi	52
Şekil 72. En büyük asal gerilme	52
Şekil 73. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	54
Şekil 74. Von Mises gerilmesi	54
Şekil 75. En büyük asal gerilme	54
Şekil 76. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	55
Şekil 77. Von Mises gerilmesi.....	56
Şekil 78. En büyük asal gerilme	56
Şekil 79. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	57
Şekil 80. Von Mises gerilmesi	57
Şekil 81. En büyük asal gerilme	58
Şekil 82. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	59
Şekil 83. Von Mises gerilmesi	59
Şekil 84. En büyük asal gerilme	60
Şekil 85. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	61
Şekil 86. Von Mises gerilmesi.....	61
Şekil 87. En büyük asal gerilme	61
Şekil 88. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	63
Şekil 89. Von Mises gerilmesi.....	63
Şekil 90. En büyük asal gerilme	63
Şekil 91. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	65
Şekil 92. Von Mises gerilmesi.....	65
Şekil 93. En büyük asal gerilme	65

Şekil 94. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	67
Şekil 95. Von Mises gerilmesi	67
Şekil 96. En büyük asal gerilme	67
Şekil 97. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	69
Şekil 98. Von Mises gerilmesi	69
Şekil 99. En büyük asal gerilme	69
Şekil 100. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	70
Şekil 101. Von Mises gerilmesi.....	71
Şekil 102. En büyük asal gerilme	71
Şekil 103. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	72
Şekil 104. Von Mises gerilmesi	72
Şekil 105. En büyük asal gerilme	73
Şekil 106. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	74
Şekil 107. Von Mises gerilmesi	74
Şekil 108. En büyük asal gerilme	75
Şekil 109. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	76
Şekil 110. Von Mises gerilmesi	76
Şekil 111. En büyük asal gerilme	76
Şekil 112. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	78
Şekil 113. Von Mises gerilmesi	78
Şekil 114. En büyük asal gerilme	78
Şekil 115. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	80
Şekil 116. Von Mises gerilmesi	80
Şekil 117. En büyük asal gerilme	80
Şekil 118. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	82

Şekil 119. Von Mises gerilmesi	82
Şekil 120. En büyük asal gerilme	82
Şekil 121. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	84
Şekil 122. Von Mises gerilmesi	84
Şekil 123. En büyük asal gerilme	84
Şekil 124. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	86
Şekil 125. Von Mises gerilmesi	86
Şekil 126. En büyük asal gerilme	86
Şekil 127. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	88
Şekil 128. Von Mises gerilmesi	88
Şekil 129. En büyük asal gerilme	88
Şekil 130. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	89
Şekil 131. Von Mises gerilmesi	90
Şekil 132. En büyük asal gerilme	90
Şekil 133. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	91
Şekil 134. Von Mises gerilmesi	91
Şekil 135. En büyük asal gerilme	92
Şekil 136. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	93
Şekil 137. Von Mises gerilmesi	94
Şekil 138 . En büyük asal gerilme	94
Şekil 139. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	95
Şekil 140. Von Mises gerilmesi	96
Şekil 141. En büyük asal gerilme	96
Şekil 142. En büyük toplam yer değiştirme değeri.....	97
Şekil 143. Von Mises gerilmesi	98

Şekil 144. En büyük asal gerilme	98
Şekil 145. Ankastre-serbest mesnet koşullu modellerin en büyük toplam yer değiştirme değeri.....	99
Şekil 146. Ankastre-ankastre mesnet koşulu modellerin en büyük toplam yer değiştirme değeri.....	100
Şekil 147. Dikdörtgen boşluklu, ankastre-serbest mesnet koşullu kompozit petek kirişin frekansları.....	106
Şekil 148. Dairesel boşluklu, ankastre-serbest mesnet koşullu kompozit petek kirişin frekansları.....	106
Şekil 149. Altıgen boşluklu, ankastre-serbest mesnet koşullu kompozit petek kirişin frekansları.....	107
Şekil 150. Dikdörtgen boşluklu, ankastre-ankastre mesnet koşullu kompozit petek kirişin frekansları.....	107
Şekil 151. Dairesel boşluklu, ankastre-ankastre mesnet koşullu kompozit petek kirişin frekansları.....	108
Şekil 152. Altıgen boşluklu, ankastre-ankastre mesnet koşullu kompozit petek kirişin frekansları.....	108
Şekil 153. Model 22'nin mod şekilleri	109
Şekil 154. Model 11'in mod şekilleri	110

ÖNSÖZ

Her şeyden önce, hayatımın her günü bana yardım ettiği ve yol gösterdiği için Tanrı'ya şükrediyorum. Öğrencilik eğitimim boyunca beni koşulsuz destekleyen ve bana değerleri aşıl原因an aileme teşekkür ederim. Hayatımın bu aşamasını tamamlamak için bana gerekli motivasyonu nasıl vereceğini bilen ailemin desteği ve fedakarlığı olmasaydı bunların hiçbiri mümkün olmazdı. Minnettarlığım her zaman sizinle olacak.

Jüriye üyesi hocalarıma, özellikle katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad NOORI'ye teşekkür ederim.

GİRİŞ

İnşaat projelerinin artan gelişimi nedeniyle, geleneksel betonun yerine çelik malzemesinin kullanıldığı projelerde, üreticiler veya inşaatçılar için tasarruf sağlayan veya ticari avantaj sağlayan alternatiflerin kullanımını analiz edilmeli ve incelenmelidir.

Petek kirişler, çok çeşitli inşaat projelerinde, özellikle köprüler, viyadükler, yüksek binalar ve endüstriyel yapılar gibi geniş açıklıklı yapıları içeren projelerde kullanılmaktadır. Ayrıca, rüzgar türbinlerini ve diğer büyük yapıları desteklemek için kullanıldıkları açık deniz platformlarının yapımında, uçak kanatlarının ve gövdelerinin yapımında ve enerji endüstrisinde de kullanılırlar. Petek kirişler, yüksek dayanımları ve rijitlikleri sayesinde, büyük yüklerin desteklenmesi ve rüzgar veya deprem gibi çevresel faktörlerin neden olduğu gerilmelere karşı direnç gerektiren projeler için ideal bir çözümdür. Petek kirişler için bir başka yaygın uygulama alanı, yüksek binaların inşasındadır. Bu durumda, binanın üst katlarının yüklerini karşılamak için petek kirişler kullanılır, yapının toplam ağırlığını azaltıyor ve daha uzun ve daha ince binaların inşasına olanak sağlıyor. Petek kirişlerin çoğu döşeme bileşenlerinde kompozit kirişler gibi yapılarda kullanılmıştır. Betonla doğru bir şekilde birleşerek ana ve tali kirişler olarak kullanılacakları hafif bir yapı oluştururlar.

Gövdesinde bulunan boşluklar sıhhi tesisat, klima tesisatı, ve elektrik tesisatı gibi tesisat kanallarının geçişine olanak sağlamaktadır. Geniş açıklıklarda kullanılması, ara kolon kullanımını ve montaj süresini azaltır, ışığın geçişini engel olmuyorlar, hem hava girişine hem de yanma gazlarının devridaimine katkıda bulunurlar, kirişleri boyama maliyetlerini azaltırlar, dairesel boşluklu kirişlerin yapımında büyük esneklik var, petek kirişlerden oluşan yapının özağırlığı bir hayli azalmaktadır, boşluksuz kirişten daha iyi bir görünüme sahip, ekonomik tasarruflara dönüşen bir malzeme tasarrufu sağlarlar.

BİRİNCİ BÖLÜM

PETEK KİRİŞLERİNİN UYGULAMALARI VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İnşaat projelerinin artan gelişimi nedeniyle, geleneksel betonun yerine çelik malzemesinin kullanıldığı projelerde, üreticiler veya inşaatçılar için tasarruf sağlayan veya ticari avantaj sağlayan alternatiflerin kullanımını analiz edilmeli ve incelenmelidir.

Araştırmalara rağmen, petek kirişler konusunda (gövdesinde boşluk bulunduran kirişler), dünya çapında birkaç yıldır kullanılan, servis kanallarının geçişinin gerektiği, malzeme tasarrufu, ve geniş açıklıklı sundurma gibi uygulamalarda iyi bir alternatif olan bu seçeneğe gereken önem verilmemiştir. Bu nedenle, bu elemanların tasarımı ve yapımı artık öncelikli konular değildir.

1.1. Petek kirişler

Petek kirişler, binaların ve büyük yapıların yapımında kullanılan yapı elemanlarıdır. Enine yükleri karşılayan ve gövdesinde delikler bulunan yapısal elemanlara petek kirişler denir. Bu kirişler, kirişin tüm uzunluğu boyunca uzanan ve onları tam gövde kirişlerden çok daha hafif ve güçlü yapan birçok boşluktan oluşur.

Bu tip kirişin temel amacı, elemanın ağırlığını azaltmak ve aynı zamanda eğilme kapasitesini arttırmaktır. Aşağıda verilen Şekil 1’de petek kiriş gösterilmektedir.

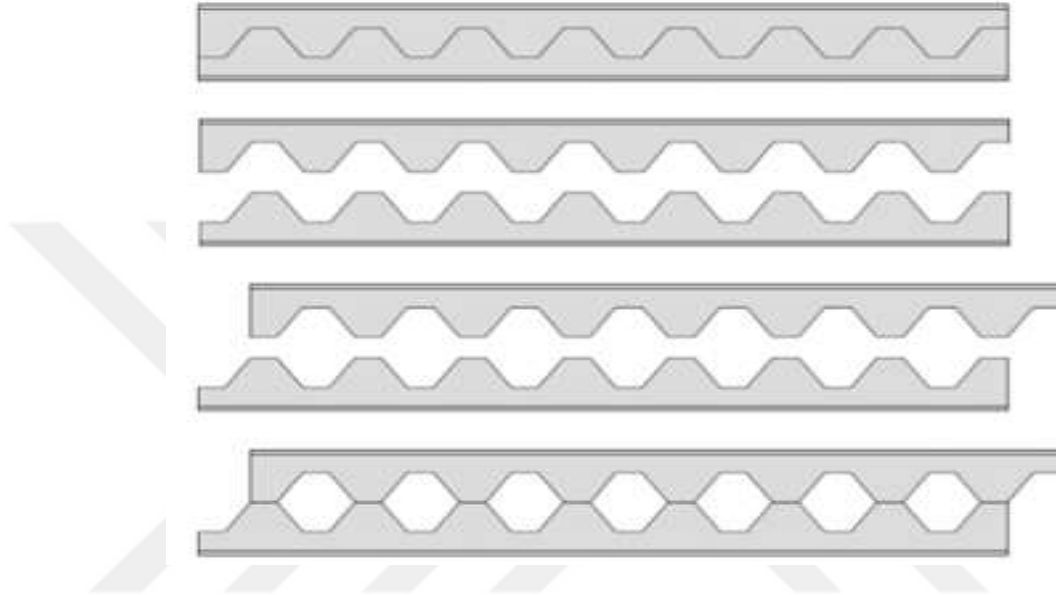


Şekil 1. Petek kiriş örneği

(https://constructalia.arcelormittal.com/en/case_study_gallery/luxembourg/innovative_steel_solutions_for_the_enovos_car_park)

1.1.1 Petek kirişlerin türleri

Kiriş gövdesindeki kesim deseni nedeniyle, onlara kale duvarlarının kenarlarının şeklini veren, baştan beri bu kirişleri tanımlamak için "castellated beams" terimi kullanılmıştır. Yarımların birleştirilmesiyle şekil 2’de ((Benincá ve ark. (2020)) gösterdiği gibi, altıgen bir petek kiriş elde edilir.



Şekil 2. Altıgen petek kirişlerin üretim sürecinin şematik olarak gösterimi

Gövde boşluk geometrisi için zamanla yeni şekiller geliştirilmiştir. Düzenli aralıklı dairesel deliklere sahip kirişler, “cellular beams” adı verilmiştir. Uygulamaya ve üretim sürecine bağlı, tesisat boru hatlarının geçişi için, kirişlerin gövdesine yeni delik şekilleri uyarlanmıştır. Bunları bazıları şöyledir: kare, dikdörtgen, sekizgen ve sinüzoidal.

1.1.2 Üretim

Petek kirişler farklı yöntemlerle üretilebilir. Bu peteklerin elde edilebileceği üç üretim yöntemi vardır: standart "W" profil kirişinin gövdesinde gerekli alveolleri kesmek, gövde desenleri kademeli bir şekilde delinmek ve sonuncusu kirişi oluşturmak için bir plaka montajı yapmaktır.

Standart "W" profil kirişinin gövdesinde kesme, şekil 3'te olduğu gibi yapılmaktadır. Verilen şekil profil gövdesinde kesilme sürecini göstermektedir. (<https://www.barnshaws.com/news/curved-cellular-beams-adding-strength-to-remove-weight>)



Şekil 3. Profil gövdesinde boşluk açma süreci

1.1.3 Kirişin kesimi

Orijinal profil, plazma kesme makinesinin dahili kodlamasında belirtilen bir kesim modeline göre kesilir. Bu şekil.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Kirişin kesimi

Kesimin oluşturduğu üst ve alt T bölümleri ayrılarak son aşamaya hazır olacak şekilde hizalanır (şekil 5.). (<https://www.construiracier.fr/technique/familles-de-produits/poutrelles/poutrelles-alveolaires/>)



şekil 5. T-lerin ayrılması

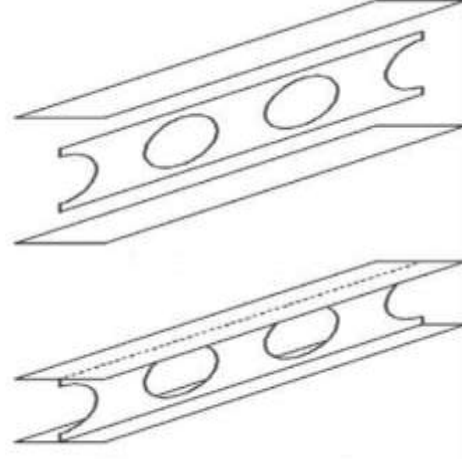
Kirişin yeniden oluşturulması aşamasında, manuel veya otomatik elektrik kaynağı ile kiriş yeniden oluşturulur. Böylece, uzunluğu boyunca gövde üzerinde oluşturulmuş açıklıklara sahip olur, sonuç olarak kirişin derinliğinde bir artış olmaktadır. Daha sonra şekil 6'da olduğu gibi kaynak yapılmaktadır.



şekil 6. Kaynak yapılması

1.1.4 Petek kirişin montajı

Üç metal plakayı kaynaklayarak bir "I" profil kirişi birleşmiş oluyor. Gövde olarak kullanılacak plaka kesilmiş bir delik düzenine sahip olacaktır. Fakat, kiriş gövdesinde kaynak dolgusunun, etkisi olmayacak. Şekil 7., bir petek kirişin montajını göstermektedir. ((Tsavdaridis ve ark.(2015))



Şekil 7. Petek kirişin montajı

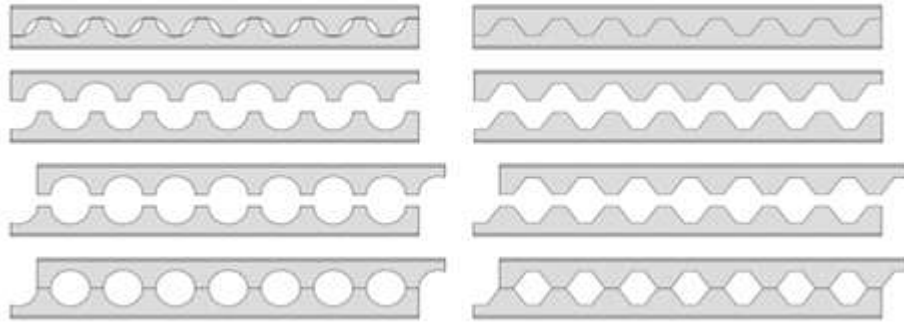
Tüm bu işlemler otomatik veya yarı otomatik imalat yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir, kesim işlemleri alevli kesim ile yapılmaktadır, kaynak işlemleri batık ark işlemleri ile ve birçoğu paralel olarak yürütülen süreçlerdir.

Petek kirişlerin üretim proseslerinin otomasyonu ve optimizasyonundaki gelişmeler nedeniyle, günümüzde onları üretmek daha kolaylaşmıştır, çünkü eskiden, işlemin büyük bir kısmı manuel olduğu için üretim süreci daha uzun sürmekteydi.

Altıgen delikli petek kirişler oluşturulduktan yıllar sonra, boyutları, orijinal kirişin kesim işlemi için en az sayıda şablon kullanılması gibi konstrüktif hususlar dikkate alınarak standardize etmeye çalışılmıştır.

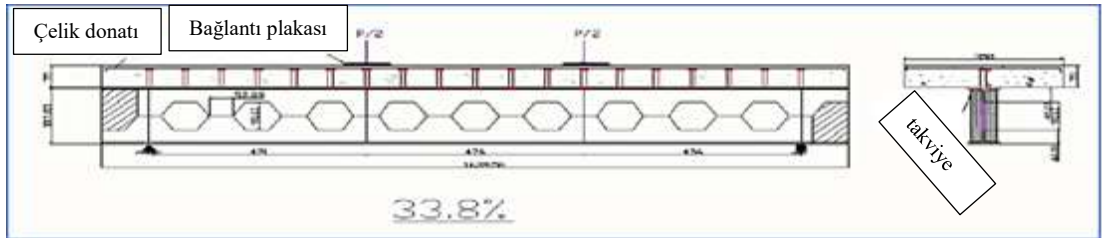
Bu tip kirişleri standardize etme niyeti göz önüne alındığında, son yıllarda dairesel delikli kirişler, daha fazla esnekliğe sahip bir seçeneği temsil etmektedir. Çapların boyutları ve hücreler arasındaki boşluk çok sayıda şekile sahip olabilir, böylece değişken bir değişken yüksekliği elde edilir. Bu nedenle tasarımcılar için

çekici bir seçenek haline gelmiştir. Şekil 8. dairesel delikli ve altıgen delikli kirişler gösterir ((Benincá ve ark.2020)).



Şekil 8. Dairesel delikli ve altıgen delikli petek kirişler

Kompozit kirişler, döşeme ile birlikte karma modda çalışmaya uyarlanmıştır, ölçüleri standardize edilmeye çalışılmıştır. Bölümler birlikte çalışır, basınç gerilmeleri beton tarafından ve çekme gerilmeleri çelik tarafından karşılanır. Kirişin tasarımında, kesme kuvvetini betondan çeliğe aktaran bağlayıcılar eklenir, bununla basınç ve çekme gerilmeleri dayanma kapasitesi sahip olan, şekil 9'de görüldüğü gibi tek bir bölüm elde edilir. ((Benincá ve ark.(2020))

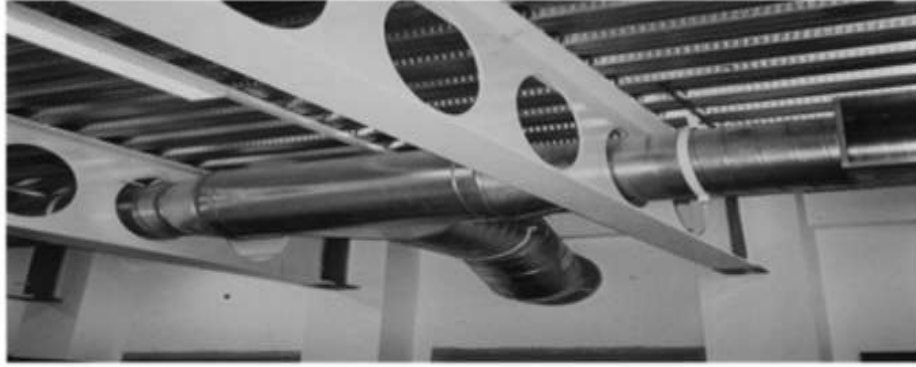


Şekil 9. Kompozit kirişi

1.1.5 Petek kirişlerin uygulanması

Petek kirişler, çok çeşitli inşaat projelerinde, özellikle köprüler, viyadükler, yüksek binalar ve endüstriyel yapılar gibi geniş açıklıklı yapıları içeren projelerde kullanılmaktadır. Ayrıca, rüzgar türbinlerini ve diğer büyük yapıları desteklemek için kullanıldıkları açık deniz platformlarının yapımında, uçak kanatlarının ve gövdelerinin yapımında ve enerji endüstrisinde de kullanılırlar. Petek kirişler, yüksek dayanımları ve rijitlikleri sayesinde, büyük yüklerin desteklenmesi ve rüzgar veya deprem gibi

çevresel faktörlerin neden olduğu gerilmelere karşı direnç gerektiren projeler için ideal bir çözümdür. Petek kirişler için bir başka yaygın uygulama alanı, yüksek binaların inşasındadır. Bu durumda, binanın üst katlarının yüklerini karşılamak için petek kirişler kullanılır, yapının toplam ağırlığını azaltıyor ve daha uzun ve daha ince binaların inşasına olanak sağlıyor. Petek kirişlerin çoğu döşeme bileşenlerinde kompozit kirişler gibi yapılarda kullanılmıştır. Betonla doğru bir şekilde birleşerek ana ve tali kirişler olarak kullanılacakları hafif bir yapı oluştururlar. Buldukları yerdeki deliklerden kanalların geçişine olanak sağladıkları için servis entegrasyonuna uygundur. Boru dirsekleri gibi ek bileşenlerin kullanımını azaltır. Beton ile birlikte kullanılmak üzere eğilme ve nihai dayanım kapasitesini artırma özelliğini öne çıkarır. Şekil 10., kompozit yapıda uygulanan bir petek kirişi göstermektedir (Rodrigues ve ark.(2014)).



Şekil 10. Kompozit yapıda uygulanan petek kiriş

Diğer bir uygulama alanı ise konik, düz veya eğimli olabilen çatılardır. Petek kirişlerinin geniş açıklıklara sahip olma avantajı burada kullanılır, çünkü tek bir kirişin büyük mesafeleri kapsayabilir, alışveriş merkezleri, depolar, spor tesisleri, stadyumlar vb. gibi alanlarda da yaygın olarak kullanılmaktadır. Ölü yükünün azalması ve montaj kolaylığı, bu uygulamalar söz konusu olduğunda kullanımına katkıda bulunur.

Şekil 11. (Pandya ve ark. (2017)) ve şekil 12 (<https://wallpavic.com/stadium>) farklı ortamlardaki petek kirişlerin kullanımını göstermektedir.



Şekil 11. Çatı uygulamalarında petek kirişler



Şekil 12. Stamford Bridge stadyumu

Sonuç olarak, boşluklu çelik kirişler, binaların ve büyük yapıların yapımında kullanılan yüksek mukavemet ve rijitliğe sahip yapı elemanlarıdır. İçi boş tasarımları, ağırlıklarını önemli ölçüde azaltmalarına olanak tanır bu da sahada taşıma ve kurulum maliyetlerini azaltır. Şekil 13.'te verilen örnek otopark alanında petek kirişlerinin kullanımını göstermektedir.



Şekil 13. Otopark Garajı (<https://www.triflex.co.uk/buttercrane-shopping-centre-newry>)

1.1.6 Avantajlar ve dezavantajlar

Bu yap elemanlarının kullanımı, çeşitli açılardan avantajlar ve aynı zamanda aşağıda açıklandığı gibi dikkate alınması gereken hususları sağlar:

Avantajları

Gövdesinde bulunan boşluklar sıhhi tesisat, klima tesisatı, ve elektrik tesisatı gibi tesisat kanallarının geçişine olanak sağlamaktadır. Geniş açıklıklarda kullanılması, ara kolon kullanımını ve montaj süresini azaltır, ışığın geçişini engel olmuyorlar, hem hava girişine hem de yanma gazlarının devridaimine katkıda bulunurlar, kirişleri boyama maliyetlerini azaltırlar, dairesel boşluklu kirişlerin yapımında büyük esneklik var, petek kirişlerden oluşan yapının özağırlığı bir hayli azalmaktadır, boşluksuz kirişten daha iyi bir görünüme sahip, ekonomik tasarruflara dönüşen bir malzeme tasarrufu sağlarlar.

Dezavantajları

Dezavantajları şöyle özetlenebilir; noktasal yükler olduğu durumlarında önerilmezler. Boşlukluğun oluşturulması ile yeni göçme mekanizmaları oluşur ve üretim maliyetleri artabilir. Çeşitli göçme mekanizmaları nedeniyle, hesaplamalar tam gövdeli kirişine kıyasla daha karmaşık ve uzundur. Yapılan araştırmalar, analizlerinde bir sürü kısıtlamayı dikkate almaktadır, bu nedenle bazı sonuçlar esnek olmayabilir. Ateşe maruz kaldığında özel hususlar dikkate alınmalıdır örneğin kaplamaların kullanımı.

1.1.7 Petek kirişlerdeki göçmeleri

Bir kirişin gövdesinde boşlukların bulunması, boşluksuz kirişlerden farklı bir yapısal davranışla sonuçlanır. Sadece göçme modlarında bir değişiklik olmakla kalmaz, aynı zamanda yeni mekanizmalar da getirilebilir, örneğin, Vierendeel mekanizması tarafından hasar görme olasılıkları daha yüksektir, kaynaklı bağlantının kopması de ihtimali vardır. Boşluklar esnek ve kesme davranışını daha karmaşık hale getirdiğinden, tasarımcı mühendisin tasarım sürecinde belirli faktörleri dikkate alması gerekmektedir.

Bir petek kirişinin göçmesi ile ilgili altı senaryosu vardır. Yenilmenin kirişin rijitliğine, uygulanan yükün tipine, deliklerin şekline, momentlerin ve kesme kuvvetlerinin ve yeterli yanal mesnetlerin varlığına bağlı olduğu için, yenilmeler aşağıdakilerden dolayı meydana gelebilir: Vierendeel mekanizmasının oluşumu, yanal buruşmalı burkulma, kaynak bağlantısının kopması, yanal burulmalı burkulma, eğilme momentinden kaynaklanan göçme, gövdede burkulma sonrası davranış.

1.1.8 Vierendeel mekanizmasının oluşumu

Petek kirişler, eğilmeye maruz kaldıklarında tam gövde kirişlerine benzer şekilde davranır, ancak deliklerin varlığı kesme dayanımını etkiler. Bu deliklerde eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri varsa, kesme kuvvetinin delikten aktarılmasından kaynaklanan ikincil eğilme meydana gelir. Bu önemli kesme kuvveti,

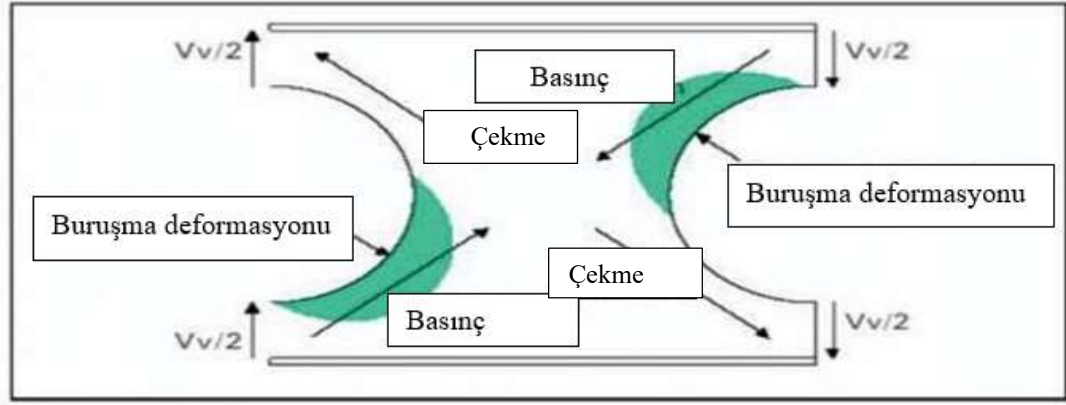
köşeleri plastik mafsallar olan bir paralelkenara benzeyen bir deformasyon yaratır ve burada bu göçmenin plastik deformasyon karakteristiği meydana gelir. Yapılan analizler, bireysel yatay ve dikey elemanlara sahip bir Vierendeel kirişiyle yapılan bir analogiye dayanmaktadır; bu nedenle bu göçme Vierendeel Mekanizması olarak bilinir. Şekil 14.Vierendeel mekanizmasının oluşumunu göstermektedir (Nadjai ve ark. (2016)).



Şekil 14. Tek açıklıklı kirişte Vierendeel mekanizmasının oluşumu

1.1.9 Yanal buruşmalı burkulma

Kiriş delikleri arasındaki kaynaklı birleştirmeye paralel olarak etki eden bir kesme kuvveti, dikey bir kesme kuvveti ile birleştiğinde yenilme meydana gelir, kiriş delikleri arasındaki alan, bir yönde kombine diyagonal basınç kuvvetinin ve karşı yönde çekmenin maruz kalır ve yanal burulmalı burkulmaya neden olur. Boşlukların geometrisi bu göçme moduna etki etmektedir. Şekil 15. boşluklar arasında yanal burkulmalı burulma durumunu gösterir (Verweij ve ark.(2010)).

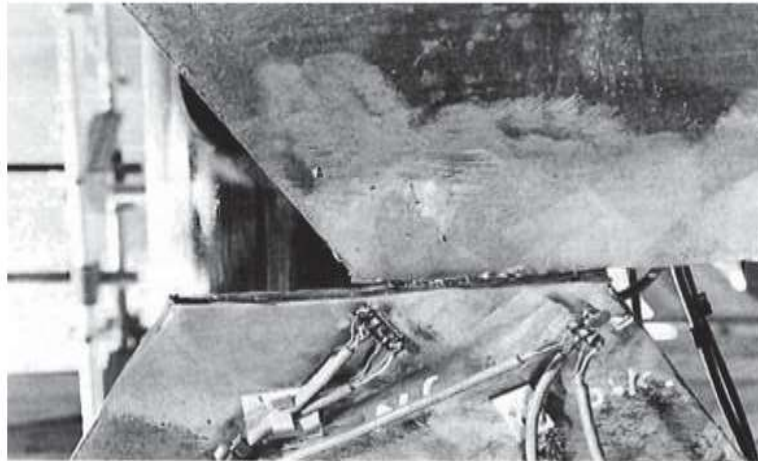


Şekil 15. Boşluklar arasında yanal burkulmalı burulma

1.1.10 Kaynak bağlantılarının kopması

Tasarımı yöneten bir göçme mekanizması olmasa da, çeşitli faktörler nedeniyle ortaya çıkması muhtemeldir. Kirişin üstündeki ve altındaki ikincil momenti azaltmak için delikler arasındaki kaynak uzunluğunun azaltılması durumunda meydana gelme olasılığı daha yüksektir.

Yukarıda belirtilenler nedeniyle oluşan kayma gerilmeleri, malzemenin gerilme değerine esneme sınırına ulaşırlarsa, şekil 16. (Erdal (2011)) görüldüğü gibi, bağlantının kopmasına neden olurlar.



Şekil 16. Kaynak bağlantısının kopması

1.1.11 Yanal burulmalı burkulma

Uzun bir kiriş yeterli yanal desteğe sahip olmadığında, yanal burulmalı burkulma durumu da meydana gelir. Bu yenilme mekanizmasının özelliği, gövdede deliklerin bulunmasına rağmen davranışlarının dolu gövdeli bir kirişe benzer olması, yani aynı deformasyonu sergilemesidir. Şekil 17. bir petek kirişin yanal burulmalı burkulması gösterir (Sonck ve ark.(2012)).



Şekil 17. Bir petek kirişin yanal burulmalı burkulması

1.1.12 Eğilme momentinden kaynaklanan göçme

Sadece bu momentin varlığı durumunda, burkulma olmadan, kirişin üst ve alt bölümleri, tam bir gövde kirişine benzer şekilde davranır. Diğer mekanizmalarla etkileşimi olmadan düşünülürse, nadiren kritik göçme modlarından biridir. Bunun nedeni, bir kirişin eğilme kapasitesinin büyük ölçüde flanşları tarafından belirlenmesidir, bu nedenle boşluklarının olmasının fazla bir etkisi yoktur.

1.1.13 Gövdede burkulma sonrası davranış

Bu olayın ortaya çıkmasının iki sebebi vardır: basınç kuvvetlerinin veya kesme kuvvetlerinin etkisi nedeniyle. Birincisi, konsantre yükler doğrudan gövdeye uygulandığında veya destek noktalarının reaksiyonlarıyla ortaya çıkar. Yerel basınç, boşluklar etrafındaki kuvvetlerin transferinin bir sonucu olarak ortaya çıkar. İkincisi, kesme kuvvetlerinin varlığı olduğunda ortaya çıkıyor ve burkulma üretmeye ek olarak, bir burulma oluşturur. Bu olay gövde yanal burulmalı burkulma sonrası olarak bilinir. Gövdede burkulma sonrası davranışı şekil 18'de (Erdal (2011)) gösterilmiştir.



Şekil 18. Gövdede burkulma sonrası davranış

1.2 Tezin amacı

Kompozit petek kirişleri ile ilgili literatür incelemesi ve sonlu elemanlar yöntemi (ANSYS paket programı) yardımıyla kompozit petek kirişlerin eğilme ve serbest titreşim davranışının incelenmesidir. Ayrıca boşluk tipinin, boşluk boyutlarının ve boşluklar arasındaki mesafenin ele alınan yapı elemanlarını statik ve dinamik davranışına etkisinin parameterik olarak araştırmak bu tezin temel amaçlarından biridir.

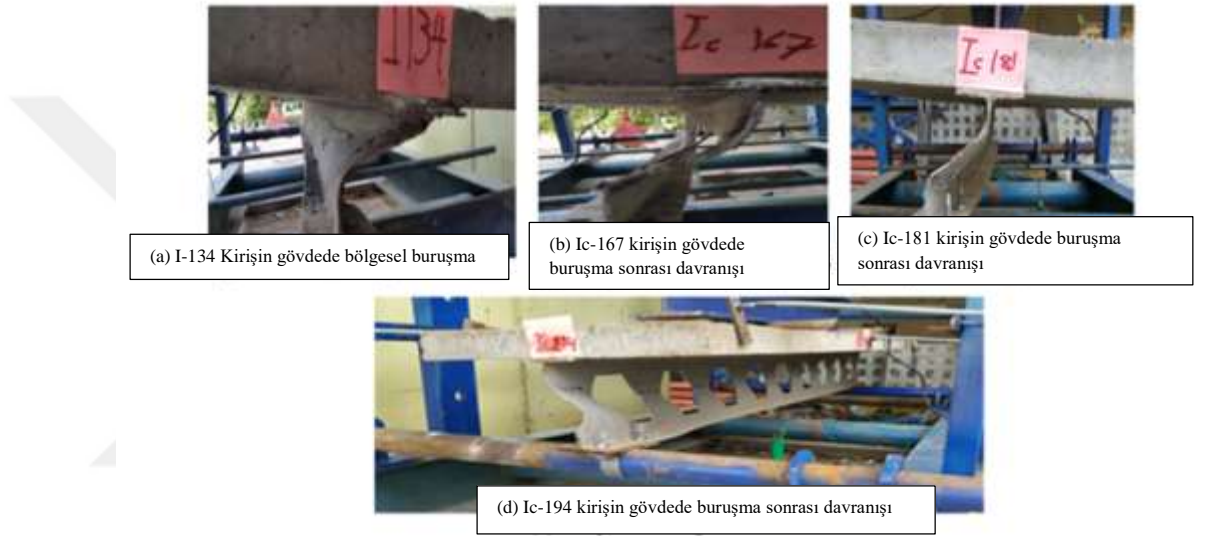
1.2.1 Hedefler

- Literatür taraması
- Sonlu elemanlar metoduyla araştırma yapılabilmesi
- Yük altında en çok hangi modelin etkilendiğini görmek için farklı uygulamalar oluşturması ve sonuçların karşılaştırılması
- Performans açısından en iyi modelin belirlenmesi

1.3 Literatür Taraması

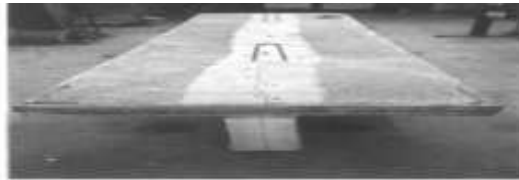
Bu bölümde,incelenen kompozit petek kirişler ile ilgili makaleler, bildiriler, yüksek lisans ve doktora tezleri yer almaktadır. Sonlu eleman analizleri, deneysel çalışmalar ve analitik ve nümerik hesaplamalar daha önce incelenmiştir. Her araştırmanın ana özellikleri açıklanmıştır.

Al-Zuhairi ve ark. (2015) statik yükler etkisinde kompozit petek kirişlerinin davranışını deneysel olarak (4 noktalı eğilme deneyi) araştırmıştır. Şekil 19. Farklı kirişlerin gövdede buruşma sonrası davranışı gösterir.



Şekil 19. Petek kirişlerinin deneysel olarak incelenmesi

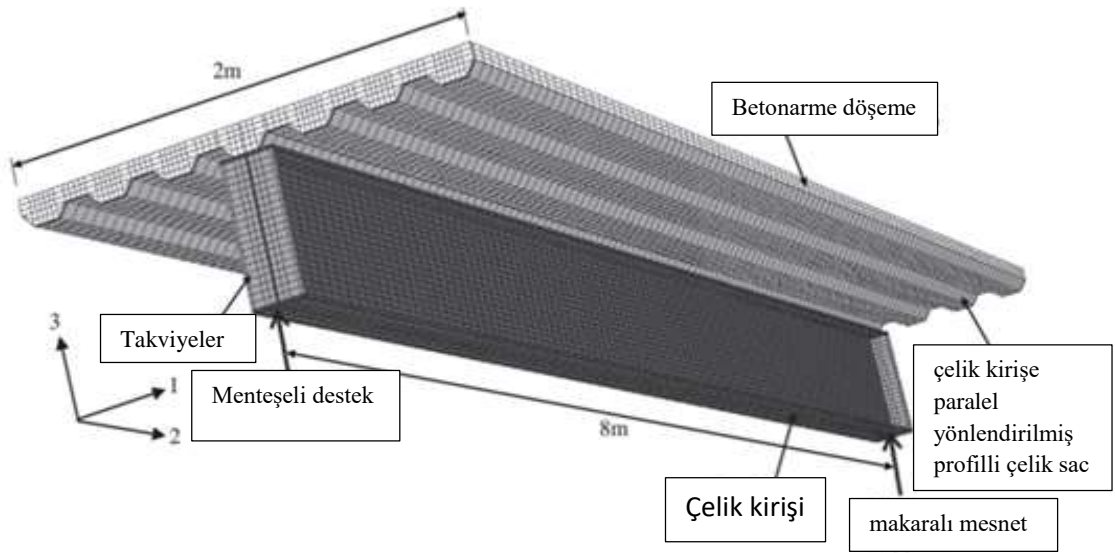
Chiew ve Hartono(1996) tarafından yarı kompozit petek kirişlerin hem deneysel hem de sayısal çalışmalarını sunmaktadır. 1000 mm x 120 mm ölçülerindeki beton plakalar, iki farklı boyutta altı numune oluşturmak için kullanılmıştır. Farklı açıklık sayısı, numunelerin uzunluğunun 2,9 m ile 5,7 m arasında değişmesine neden olur. İki tekil yük uygulaması altında basit mesnetli kirişler olarak göçmeye karşı test edilmiştir. Şekil 20. betonda çatlakları göstermektedir.



Şekil 20. Tablada oluşan tipik çatlaklar

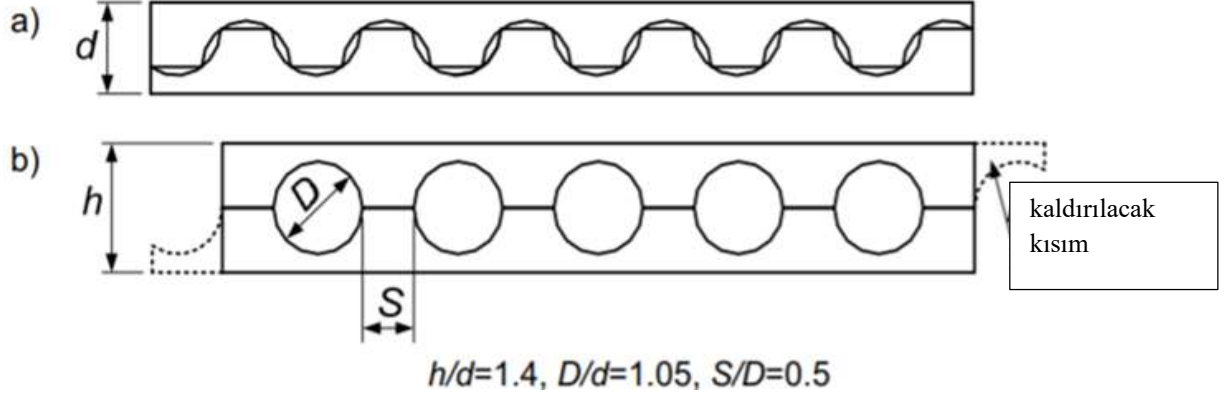
Benincáa ve ark.(2020) burkulma sonrası, Vierendeel mekanizması gibi oluşabilecek farklı göçme mekanizmasını simüle edebilen ANSYS yazılımı kullanılarak güncellenmiş bir sonlu eleman modelinin geliştirilmesini ve doğrulanmasını sunmaktadır. Sayısal modeller, 'kalınlığın' daha ince olduğu çelik bölümün tepesindeki son açıklığın köşesindeki Vierendeel Mekanizmasının oluşumunu göstermiştir.

Ellobody ve ark.(2015), kaplamasız kompozit petek ve kaplamalı boşluksuz çelik kirişlerinin nonlinear analizini yapmıştır ve tasarımı ile ilgili detaylar vermiştir. Şekil 21'de boşluksuz bir çelik kirişin sonlu eleman ağını göstermektedir (Ellobody ve ark. (2015)).



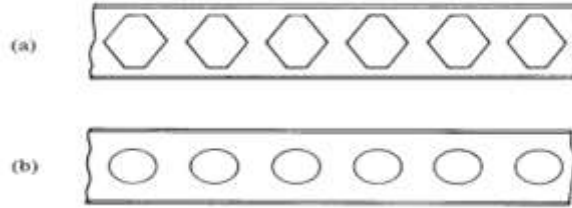
Şekil 21. Modellenmiş boşluksuz çelik kirişin sonlu eleman ağı

Gizejowski ve ark. (2011) tarafından, geometrik lineer analizi kullanılarak düzlem içi davranışı ve geometrik nonlinear analizi kullanılarak düzlem dışı distorsiyonel davranışı araştırmak için farklı sonlu eleman teknikleri kullanılmıştır. Şekil 22. petek kirişlerin kesme ve kaynaklama prosedürünü gösterir.



Şekil 22. Petek kirişlerin kesme ve kaynaklama prosesleri

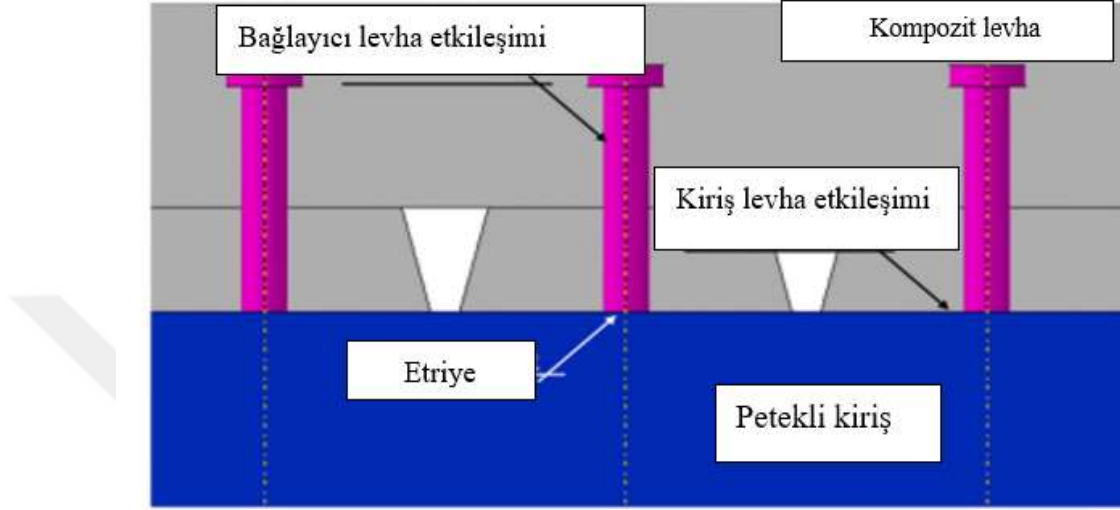
Redwood (2000) tarafından hareketli yüklerin kompozit petek kirişlerin davranışı üzerindeki etkisi, kompozit olmayan kirişlerinkisiyle karşılaştırılarak açıklanmıştır. Hem eğilme hem de kesme kuvvetlerinin artacağı tahmin edilmektedir. Ancak geliştirilmiş kesme kuvvetleri belirli koşullar altında elde edilebilir. Kısmi kayma bağlantının önemi belirtilmiştir ve kompozit petek kirişlerdeki çerçeve burkulmasını tahmin etmek için daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir. Şekil 23’de altıgen ve dairesel boşuklu petek kirişleri gösterilmektedir.



Şekil 23. Altıgen ve dairesel boşuklu petek kirişler

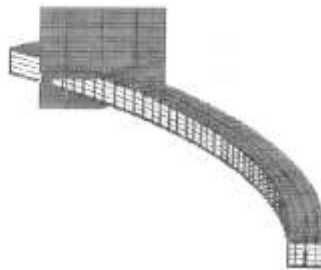
Petek şeklindeki çelik kirişler üzerindeki deneysel ve analitik çalışmaların bir incelemesi Morkhade ve ark. (2019) tarafından sunulmuştur. Makale ayrıca, açıklık tipleri, açıklıkların boyutu, açıklıkların aralığı, en-boy oranı, donatı gibi çeşitli parametrelerin, çeşitli açıklıklara sahip çelik kirişlerin davranışı üzerindeki etkisine odaklanmaktadır.

Ferreira ve ark. (2020) çelik-beton kompozit kirişlerin nihai mukavemetini araştırmıştır. Kompozit kirişte, çelik ve beton , saplama ile bağlanır, bunlar bileşik davranışı destekleyen mekanik cihazlardır ve bu, bağlantı arayüzündeki uzunlamasına kesme kuvvetlerine direnmek için gereklidir. Şekil 24’te kompozit petek kirişi için malzeme etkileşimi verilmektedir.



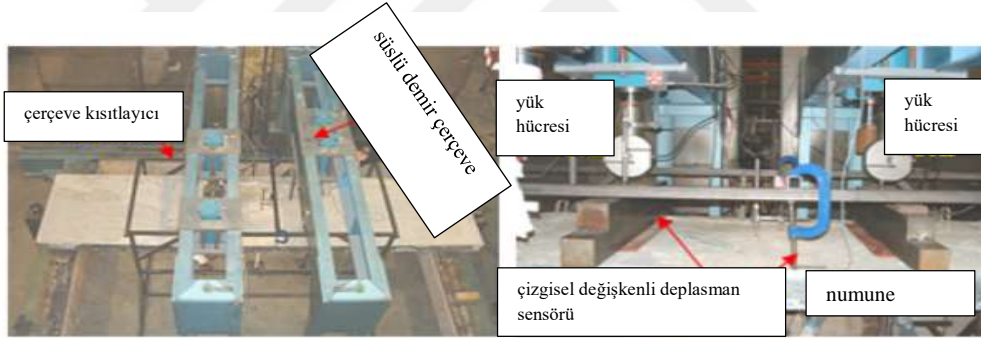
Şekil 24. Kompozit petek kiriş için malzeme etkileşimi

Dabaon ve ark. (2003), haddelenmiş kavisli kompozitlerin davranışının araştırılmasına odaklanmıştır. Gövdenin betonla kaplandığı petek kirişleri ele almıştır. Altı kavisli kiriş üzerinde bir takım deneysel test gerçekleştirilir. Petek bir çelik kiriş üzerinde, düz bir kompozitin referans testi de gerçekleştirilmiştir. Ek olarak, nonlinear bir sonlu eleman analizini sunmuştur. Analitik modelleri doğrulamak için farklı karşılaştırmalar yapılmıştır. Şekil 25’te bir kompozit kirişin sonlu eleman ağı modeli gösterilmektedir.



Şekil 25. Kompozit kirişlerin modellenmesi için tipik bir sonlu eleman ağı

Nadjaia ve ark. (2007), tam ölçekli kompozit petek çelik kirişlerin ortam sıcaklıkları ve yüksek sıcaklıklarda nasıl davrandığına dair deneysel ve sayısal bir çalışma yürütmüştür. İki farklı çelik geometrisi ve yükleme koşullarından oluşan toplam dört numune, değişmeyen yükleme altında ve yüksek sıcaklıklarda test edilmiştir. Tüm kirişler, lehimlenmiş civata kullanılarak çelik kiriş ile beton flanş arasında tam kesme bağlantısı için tasarlanmıştır. Kirişler, tüm testlerde gözlemlenen gövdede burkulma sonrası ile göçecek şekilde tasarlanmıştır. Yangın testlerinde gözlemlenen göçme sıcaklığı, yangında petek kirişlerin gövdede burkulma sonrasında kaynaklanan göçmenin, kodlarda verildiği gibi rijitliğe sıcaklığa bağlı azaltma faktörlerinin uygulanmasıyla basitçe tahmin edilemeyeceğini gösterilmiştir. Sonra, deneysel sonuçlarla karşılaştırmak için kabuk elemanları kullanılarak geometrik nonlinear bir sonlu eleman modeli kurulur. Sonlu elemanlar tahmini ile gerçek test sonuçları arasındaki karşılaştırma, göçme modları, yük-yer değiştirme davranışı ve nihai yükler açısından oldukça iyidir. Şekil 26.'da deneysel test gösterilmektedir.

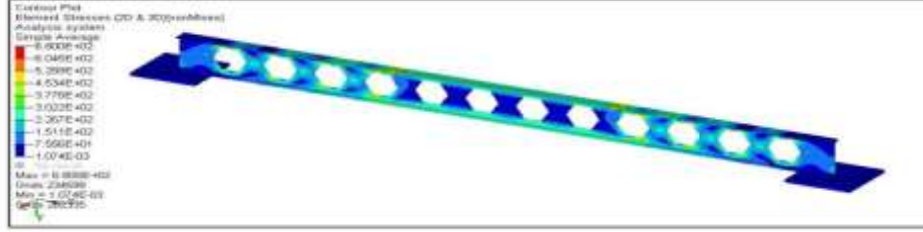


Şekil 26. Deneysel kurulum/testin yük tanıtımı

Frans ve ark. (2017), belirli yükleme koşullarında (değişmeyen yarı statik yükleme) kompozit petek kirişi sayısal olarak incelemiştir. ABAQUS, sonlu elemanlar modellemesi bu amaç ile kullanılmış ve modelin güvenilirliğinin kontrol edilmesi için deneysel test ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, kompozit petek kirişin nihai yükünün, gövde delikler olmayan I kirişin nihai yükünün 6,24 katına ve kompozit kirişe kıyasla 1,2 katına ulaştığını göstermektedir.

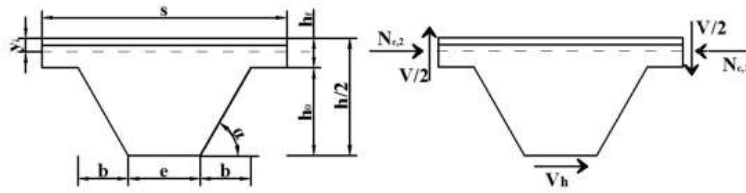
Deepa ve Jayalekshmi'nin (2020) petek kirişlerin lineer davranışı araştırmıştır. Boşlukların köşe yuvarlamanın etkisi, diyagonal takviyeli ve takviyesiz ISMB150 ve IC225 petek kirişler incelenmiştir. Sonlu elemanlar analiz yazılımı

kullanılarak, Hyper, çözücü olarak OptiStruct ile dört noktalı yükleme koşullarında basit destekli kirişi incelemiştir. Analiz için verimli bir 3D model geliştirmiştir. Şekil 27.'de yük altında petek kirişin gerilme dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 27. 10kN'de IC225 petek kiriş üzerinde gerilme dağılımı

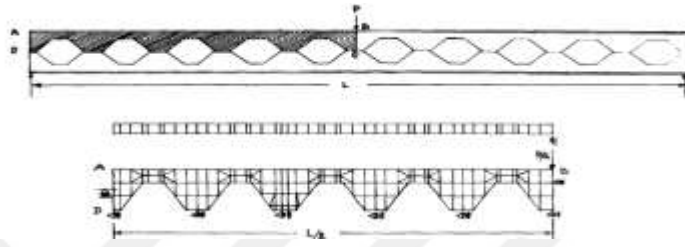
Wang ve ark. (2016) altıgen boşluklara sahip petek kirişlerin burkulma davranışlarını incelemek için sonlu elemanlar analizini kullanılmıştır. Gövde boşluğu yüksekliğinin gövde kalınlığına oranı, h_0/t_w , gövde genişliğinin gövde kalınlığına oranı, e/t_w , T kesitinin açıklığının üzerindeki gövde yüksekliğinin gövde kalınlığına oranı, h_f/t_w ve gövde eğim açısı dikey kayma burkulma dayanımını etkileyen faktörler olarak incelenmiştir. Sonlu eleman modeli ile petek kirişin düşey kayma burkulma dayanımı elde edildikten sonra, ters analiz yoluyla kayma burkulma katsayısı k elde edilmiştir. Şekil 28.'de çokgen gövde boşlukları olan petek çelik kirişler gösterilmektedir.



Şekil 28. Petek kirişin serbest gövdesi

Baskar ve ark. (2002), negatif eğilme ve kesme yükü altında çelik-beton kompozit levha kirişlerin sonlu elemanlar modellemesi ve nonlinear analizi ile ilgili bir çalışma yayınlamıştır. Nonlinear analizi gerçekleştirmek için genel amaçlı bir sonlu eleman yazılımı ile üç boyutlu bir sonlu eleman modeli kullanılmıştır. Bu çalışmada, çelik-beton kompozit levha kirişlerin modellenmesindeki zorlukların üstesinden gelmeye çalışan çeşitli modeller sunulmakta ve tartışılmaktadır. Sonlu eleman analizinden elde edilen sonuçlar ilgili deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Das, ve Srimani (1978), makalelerinde sonlu elemanlar yöntemini kullanarak petek kirişlerdeki deplasmanlar ve gerilmeler için bir analiz yöntemi sunmuştur. IBM 1620'nin kullanımı için geliştirilmiş bir program da geliştirilmiştir. Teorik çözümü değerlendirmek için deneysel bir program, bir konik petek kiriş dahil olmak üzere beş adet tam boyutlu test elemanı kullanılarak yürütülmüştür. Teorik sonuçlar ayrıca diğer birkaç yazarın test sonuçlarıyla da karşılaştırılmıştır. Deneysel değerlerin teorik sonuçlarla iyi bir şekilde karşılaştırıldığı bulunmuştur. Petek bir kirişin sonlu eleman ağı şekil 29'de gösterilmektedir.



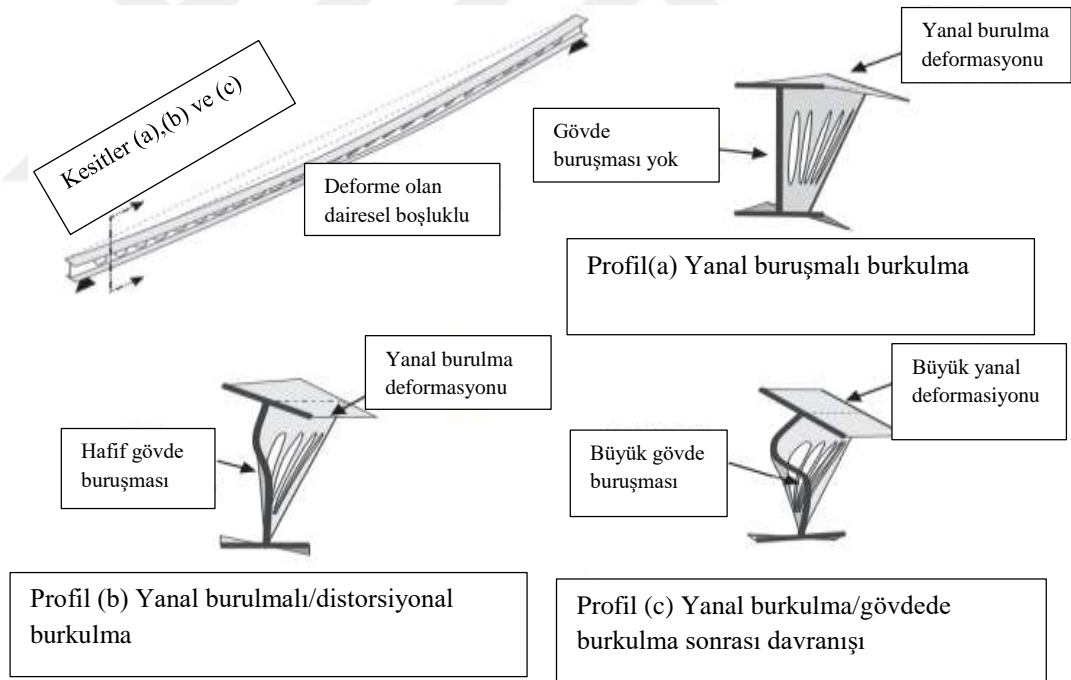
Şekil 29. Petek bir kirişin tipik sonlu eleman ağı

Belis ve Sonck (2017) makalelerinde, sabit bir eğilme momenti ile yüklenen çift simetrik petek kirişlerin yanal-burulmalı burkulma davranışını sayısal olarak incelediler. Sonuçlarını deneysel sonuçlar ile karşılaştırarak, değişen artık gerilmeleri içeren sayısal modelin doğru olduğunu bulmuştur. I kesitli kirişlerin yanal burulmalı burkulma direncinin hesaplanması için mevcut Avrupa standartlarına dayalı olarak bir ön tasarım yaklaşımı önermiştir. Önerilen yaklaşıma göre, petek kirişlerin yanal burulmalı burkulma direnci, gövde açıklığının merkezinde hesaplanan enine kesit özellikleri kullanılarak belirlenebilir. İmalat işlemi sırasında artık gerilmelerin modifikasyonu, yaklaşık olarak bir burkulma eğrisi daha düşük olan dirençlerle sonuçlanır. Şekil 30'da bir eğilme momenti ile yüklenen petek bir eleman yanal ve burulma olarak göçmesi gösterilmektedir.



Şekil 30. Bir eğilme momenti ile yüklenen petek bir eleman yanal ve burulma olarak göçmesi

El-Sawy ve ark. (2013) makalelerinde, kombine burkulma modları altında petek çelik kirişlerin elastik olmayan davranışını araştırmak için sonlu elemanlar yöntemini kullanmıştır. Yanal burulma burkulma modları ile kesitin lokal deformasyonları arasındaki olası etkileşimi dikkate alan üç boyutlu doğrusal olmayan bir sonlu eleman modeli geliştirilmiş ve literatürdeki mevcut sonuçlar ile karşılaştırarak doğrulamıştır. Analiz, uç momentlere, eşit olarak dağıtılmış yüke ve açıklık ortası yüke maruz kalan basit mesnetli kirişleri hesaba katmaktadır. Petek çelik kirişlerin elastik olmayan stabilitesi üzerinde farklı geometrik parametrelerin etkisi, kapsamlı bir parametrik analiz kullanılarak değerlendirilmiştir. Simülasyon çalışmasında göz önünde bulundurulmuş çok çeşitli boyutlar tarafından deneyimlenen çeşitli burkulma modlarına karşılık gelen moment gradyan faktörleri rapor edilmiştir. Şekil 31’de farklı elastik olmayan birleştirilmiş burkulma modlarını gösteren kısırılmış uçtaki bölümler verilmektedir.

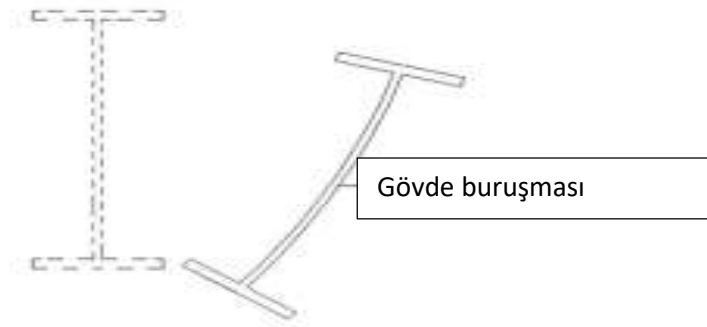


Şekil 31. Farklı elastik olmayan birleştirilmiş burkulma modlarını gösteren kısırılmış uçtaki bölümler. (a) Kesit yanal burulmalı burkulma (b) kesit yanal burulmalı/bükülmeli burkulma (c) kesit yanal burkulma/ ağ direği burkulması

Rodrigues ve ark. (2014) çalışmalarında, delik etrafında oluşan gerilme dağılımını incelemiştir. ANSYS sonlu elemanlar programında doğrusal olmayan geometrik ve malzeme özellikleri kullanılmıştır. Analiz sonuçlarının doğruluğu deneysel ve nümerik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Daha sonra, çeşitli boşluk geometrileri için yapılan bu analizler, yatay güçlendirme kullanılarak kirişin gerilme dağılımlarını belirlemiştir.

Altı tam ölçekli petek kiriş, Showkati ve Zirakian'ın (2006) buruşma burkulmasının deneysel analizine odaklanan ve bu deneyleri açıklayan araştırmasında testlere kabul edilmiştir. Test dayanımlarına ek olarak, bazı ekstrapolasyon teknikleri kullanılarak kirişlerin doğru kritik yükleri elde edilmiş ve sonuçta elde edilen test yükleri ile bazı teorik tahminler arasında bir karşılaştırma yapılmıştır.

(Şekil 32. (Zirakian ve ark. (2006))



Şekil 32. Yanal buruşma

Lawson ve ark. (2006), sonlu elemanlar yöntemini kullanarak düzenli aralıklı dairesel ve dikdörtgen delikli kirişleri incelemiştir. Sonlu elemanlar ANSYS analiz programını kullanmıştır.

D'Mello ve Tsavdaridis (2012), Vierendeel mekanizması kullanılarak çeşitli boşluk türlerinin nasıl davrandığını araştırmıştır. Bunu yaparken on bir farklı boşluk geometrisi kullanmışlardır. Üç farklı delik çapı, kayma/moment etkileşim diyagramlarını oluşturmak için kullanılmıştır.

Menkulasi ve ark. (2015), bölmeli kirişlerin tekil yüklere karşı nominal kapasitelerini artırmak için bir tasarım metodu geliştirmeye çalışmıştır. Yazarlar

tarafından beş ayrı boşluklu bir I-kiriş kesiti incelenmiştir. Takviyeli ve takviyesiz durumlar karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler, nonlinear geometrik ve malzeme özellikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Abdulridha ve ark. (2018) makalelerinde, farklı mukavemete sahip iki beton çeşidindeki numunelerin bileşik davranışına odaklanmıştır. Bu tür yapılar, nihai güçleri için değişen derecelerde peteklik ile dikkate almaktadır. Araştırma iki bölüme yapılmıştır. İlk bölümde, kesme saplaması elemanlarının gerçek davranışını anlamak için push-out test numuneleri kullanılarak altı numuneyi test etti. İkinci bölümde, sekiz numuneyi üç noktalı statik yük altında test etti. Push-out test numunelerinden üçü normal betonu ve diğerleri kendiliğinden yerleşen betonu. Kompozit kiriş numunelerinden dördü normal beton döşeme, diğer dört numune ise kendiliğinden yerleşen betondan yapılmıştır. Deneysel program aynı zamanda %0, %25, %33,8 ve %50'lik oranlarına sahip I-kesitli çelik kirişlerin imalatını da içermektedir. Şekil 33, numunelerin hazırlanması için beton dökümünü göstermektedir.



Şekil 33. Numunelerin hazırlanması için beton dökümü

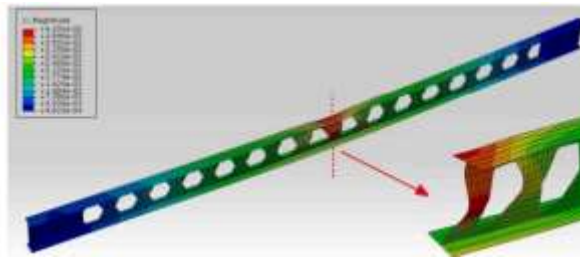
Böylece beton tipi ve sınıfının etkileri incelenmiştir. Maksimum yük kapasitesinin bu parametrelerden önemli ölçüde etkilendiği betonun basınç kuvvetinin artmasıyla arttığı görülmüştür. Push out testi, kayma davranışının nihai yük kapasitesinin %70 ila %80'inin altında doğrusal olduğunu göstermiştir. Bu doğrusal aşamada kayma miktarı çok düşüktür ve nadiren 0,5 mm'yi geçmektedir.

Carvalho ve ark. (2023) araştırmalarında petek kirişlerin elastik stabilize davranışını sayısal olarak değerlendirmek için ABAQUS programını kullanmıştır. Bu parametrik incelemede 15.205 sonlu eleman modeli kullanılmıştır. Parametrik

çalışma, sinüzoidal açıklıklara sahip kirişler için uygun analitik bir hesaplama yöntemi önermenin yanı sıra, çeşitli yükleme koşullarını dikkate alarak, bu kirişlerin çeşitli geometrik parametrelerinin kritik momentteki etkisinin değerlendirilmesine olanak sağlamıştır ve sayısal sonuçlar ile mükemmel bir uyum içinde olduğu görülmüştür.

Ertürkmen ve Noori (2023) tarafından üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak eğri eksenli petek kirişlerin statik davranışı incelenmiştir. Çalışmanın ana amacı, gövde boşluk geometrisinin petek kirişlerin yer değiştirme ve gerilme değerlerine nasıl etkisi olduğunu kapsamlı bir şekilde incelemektir. Daire, kare, beşgen ve altıgen şekilleri analiz edilmiştir. Dört farklı gövde boşluk tipi kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak model kurulmuştur. Çalışmalarında kullanılan malzeme homojen ve lineer izotropiktir ve çeliğin mekanik özellikleri kullanılmıştır. Ankastre-ankastre, ankastre-basit ve ankastre-serbest sınır koşulları uygulanmıştır. Sonuçlar, IPE220 ve IPE300 profillerinden oluşan daire eksenli petek kirişleri için ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur. Yapılan tahkikler, gövde boşluk tipinin, bu tür yapı elemanlarının yer değiştirme değerleri, von-Mises gerilmeleri ve maksimum asal gerilme değerleri üzerinde önemli büyük etkisi olduğunu göstermektedir.

Hosseinpour ve Sharifi (2021) makalelerinde, gövde buruşmasının petek çelik kirişlerin burkulma davranışı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu amaçla, bir takım nonlineer sonlu eleman modeli oluşturulmuş ve petek kirişlerin burkulması üzerindeki deneysel bir çalışmayla doğrulanmıştır. Daha sonra, kiriş uzunluğu, malzeme özelliği ve kesit boyutlarının nihai burkulma yükü ve petek çelik kirişlerin burkulma modları üzerindeki etkilerini araştırmak için sonlu elemanlar modelleri kullanılarak bir parametrik çalışma yapılmıştır. Şekil 34'da gövdede buruşma modunun şekili gösterilmektedir.



Şekil 34. Gövdede buruşma modu için tipik şekil

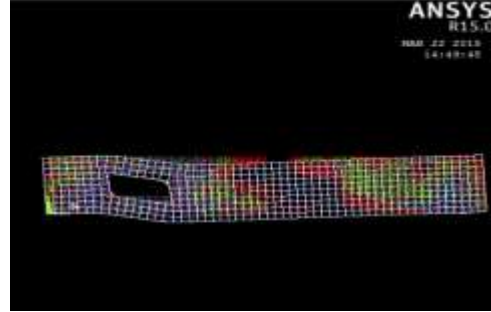
Velraj Kumar ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmada, eğilme yükü altındaki beton kaplı çelik petek altıgen açıklıklı kirişler üzerinde deneysel ve sayısal incelemeler yapılmıştır. Çalışma için tarafsız eksen boyunca, tarafsız eksenin üstünde ve tarafsız eksenin altında gibi çeşitli açıklık konumları dikkate alınmıştır. Deneysel bulgulardan, gövde açıklığı tarafsız eksen üzerinde olan petek kirişin yük taşıma kapasitesinin diğer durumlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Nonlineer sonlu elemanlar analizi, malzeme doğrusalsızlıkları dikkate alan genel amaçlı sonlu elemanlar yazılımı ABAQUS ile yapılmıştır. Betonun doğrusal olmama durumunu ve çelik için elasto-plastik modelini modellemek için beton hasar plastisite modeli kullanılmıştır. Sonlu elemanı modelinin beton kaplı çelik petek kirişlerin davranışını yakalayabildiği ve tahmin edilen değerlerin karşılık gelen deneysel değerlerle iyi bir uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir.

Andayani (2011), petek kiriş profili kullanarak güvenli, uygun ve verimli bir kompozit çelik köprü planlamıştır. Analize göre, petek kirişinden yapılan 16 m açıklığa sahip ana kiriş köprüsünün uygulanabilir ve güvenli olduğu bulunmuştur. Oluşan eğilme, sınır olan 2 cm'lik eğilmeden 0,812 cm daha az olduğu için konfor yönlerinin sağlandığı da gösterilmiştir.

Jayalin ve ark. (2015) araştırmasında, kirişlerin boşlukları analiz etmek için ANSYS 15 kullanarak bir sonlu eleman modeli geliştirmiştir. Kirişlerdeki boşluklar tesisat kanalları ve borular için sağlanmıştır. Bu çalışmada, kirişleri güçlendirmek için karbon elyaf donatılı polimer ve cam elyaf donatılı polimerden yapılmış beton levhalar kullanılmıştır. Beton, SOLID-65 elemanı kullanılarak modellenmiştir ve donatılar, BEAM 188 elemanlar kullanılarak modellenmiştir. On üç kiriş modellenmiştir, bir kiriş boşluksuz referans betonarme kiriştir. Kiriş karbon elyaf donatılı polimer lifleri ile güçlendirilerek cam elyaf donatılı polimer ile güçlendirilmiş ve analiz edilmiştir. Şekil 35'te kesme bölgesinde karbon elyaf donatılı polimer için çatlak modeli gösterilmektedir.

Çalışmadan yük deplasman ilişkisi, kırılma modeli ve nihai yükteki çatlak belirlenmiş ve karbon elyaf donatılı polimer ve cam elyaf donatılı polimer kirişler arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Yük-deplasman ilişkisinden, karbon elyaf donatılı polimer ile güçlendirilmiş kirişlerin performansının, cam elyaf donatılı polimer ile güçlendirilmiş kirişlerinki daha iyi olduğu bulunmuştur. Kirişlerin nihai yük taşıma

kapasitesinin, açıklık çevresinde ve içinde karbon elyaf donatılı polimer ve cam elyaf donatılı polimer ile takviye edilmesiyle büyük seviyede geliştirildiği bulunmuştur.



Şekil 35. Kesme bölgesinde karbon elyaf donatılı polimer için çatlak modeli

Pachpor ve ark. (2011) çalışmasında, petek kirişin ve dairesel boşluklu kirişin yük altındaki davranışını araştırmak için elastik sonlu eleman analizi yapmıştır. Aynı yükleme koşulu altında gelişen göçme modeli ve gerilmeler incelenmiştir. Uygun analiz teknikleri, çeşitli göçme mekanizmalarına dayalı olarak araştırılmıştır. Boşluk şekli, aynı kesit alanına sahip altıgen ve dairesel olarak kabul edilmiştir. Mesnet koşulları sabit, mafsallı ve kayıcı olarak kabul edilmiştir. Maksimum deplasman ve maksimum VonMises gerilmesini hesaplanmıştır. Karşılaştırmalı çalışma, sonlu eleman analizi ANSYS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Buna benzer başka araştırmalar da bulunmaktadır. Literatür taramasına göre 90'lı yıllarda başlayan ve günümüzde de devam eden bu konuda farklı çalışmalar olduğundan konunun önemini görebiliriz ve bu konu üzerinde araştırma yapılmasının en önemli sebeplerinden biri olarak gösterebiliriz. Bu konuyu araştırmak için bir diğer neden ise kompozit petek kirişler konusunda çok az çalışmanın yapılmış olması ve bu konu ile ilgili literatürdeki bazı boşluklara katkı yapılmasıdır.

Binaların hem ekonomik hem de güvenli bir şekilde tasarlanmaları çok önemlidir. Binanın kullanım amacına göre tasarımcı tarafından en ekonomik tasarım hedeflenir. Yapıların ekonomik tasarımı için optimizasyon teknikleri mevcuttur ve geliştirilmektedir.

Çalışmamı benzersiz kılan, kompozit petek kirişlerin sadece geometrik şekline ve delikleri arasındaki mesafeye odaklanmış olmasıdır. Bu şekilde deformasyonun etkisini görmek daha kolaydır. Kuvveti veya I kiriş profilini değiştirmeden, farklı

durumlar üzerinden sonuçlar karşılaştırılmıştır ve en faydalı durumu, birbirine daha yakın mesafede duran dairesel delikleri olan kompozit petek kiriş olarak seçilmiştir. Sadece geometrik şekil ve mesafe çeşitliliği üzerine odaklanıldığı için ve deformasyona etki edebilecek diğer faktörler dahil edilmediği için sonuçlar daha net ve kolay karşılaştırılmıştır. Taranmış olduğu literatür ile kıyaslarken, kaynakların çok sınırlı olması nedeniyle, kompozit petek kirişlerin konusunda büyük katkı sağlayacak olan, yukarıda belirtilen nedenler bu çalışmanın önemini göstermektedir. Bu çalışmanın sonuçları boşluksuz kirişler için ince kiriş teorisine dayalı teorik sonuçlar ile karşılaştırılmış ve uyum içinde olduğu gösterilmiştir.



İKİNCİ BÖLÜM

MATERYAL VE METOT

Bu tezde, kullanılan program ANSYS, Inc. tarafından geliştirilen bir mühendislik simülasyon yazılımı paketidir. Yapısal analiz, akışkanlar dinamiği, elektromanyetik ve termal analiz gibi fiziksel olayları analiz etmek ve simüle etmek için çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. ANSYS, mühendislerin ürünleri tasarlamasını ve optimize etmesini, performanslarını tahmin etmesini ve farklı koşullar altında davranışlarını doğrulamasını sağlayan bir takım araç ve alt program sunmaktadır.

Yazılım, geometriyi daha küçük elemanlara bölerek ve fiziksel yasalara ve denklemlere dayalı olarak davranışlarını analiz ederek karmaşık mühendislik problemlerini çözmek için sonlu elemanlar yöntemini kullanır. ANSYS, mühendislerin modeller oluşturmalarına ve değiştirmesine, malzeme özelliklerini tanımlamasına, yükleri ve sınır koşullarını uygulamasına ve simülasyonlar gerçekleştirmesine olanak tanıyan kullanışlı bir arayüz sağlar.

ANSYS'in bazı temel özellikleri ve yetenekleri şunları içerir:

1.Yapısal Analiz: ANSYS, rijit yapılardaki gerilmeleri, deformasyonları ve yer değiştirmeleri belirlemek için doğrusal ve doğrusal olmayan statik yapısal analiz yapabilir.

2. Akışkanlar Dinamiği: ANSYS Fluent, hem gazlarda hem de sıvılarda akışkan akışını ve ısı transferini analiz etmek için yaygın olarak kullanılan bir modüldür.

3.Elektromanyetik: ANSYS Elektromanyetik Paketi, elektromanyetik alanları simüle etmek için ANSYS Maxwell ve yüksek frekanslı elektromanyetik analiz için ANSYS HFSS (Yüksek Frekanslı Yapı Simülatörü) gibi araçlar içerir.

4. Termal Analiz: ANSYS, ısı transferini ve iletim, konveksiyon ve radyasyon gibi termal etkileri analiz etmek için yetenekler sağlar.

5. Optimizasyon: ANSYS, tasarım alternatiflerini otomatik olarak keşfederek ve önceden tanımlanmış amaç fonksiyonları ve kısıtlamalara dayalı olarak

performansı geliştirerek mühendislerin en iyi tasarım çözümlerini bulmasına yardımcı olacak optimizasyon araçları sunar.

6. Multiphysics Simulations: ANSYS, farklı fizik alanlarını birleştirerek mühendislerin çoklu fizik olaylarını akışkan-yapı etkileşimi, termal-elektrik bağlantısı ve daha fazlası gibi analiz etmelerini ve simüle etmelerini sağlar.

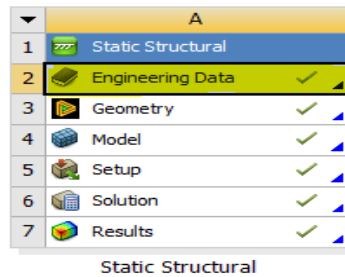
ANSYS, ürün tasarımını geliştirmek, maliyetleri düşürmek ve pazara sunma süresini hızlandırmak için havacılık, otomotiv, enerji, elektronik ve üretim gibi sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, ele alınan kiriş davranışı üç boyutlu bir sonlu eleman modeli kullanılarak incelenmiştir. ANSYS Workbench kullanılarak IPE 240 bir profil oluşturulmuştur. 300 kN bir yük kompozit yapının üstüne uygulanmıştır. Bu yük program tarafından 333.33 KPa'lık düzgün yayılı yüke dönüştürülmektedir. Aynı yük altında farklı geometrik şekillerine sahip kirişlerin hesap sonuçlarının karşılaştırılması bu tezde yer almaktadır. Kullanılan kirişin geometrik özelliklerinden kiriş uzunluğu 2000 mm olarak belirlenmiştir. Beton döşeme boyutlarından derinliği 60 mm ve genişliği 450 mm olarak alınmıştır. I çelik kiriş profilin toplam derinliği 240 mm, başlık genişliği 120 mm, gövde kalınlığı 6,2 mm ve başlık kalınlığı 9,8 mm'dir.

ANSYS'de kompozit bir petek kirişin modellenmesi aşağıdaki gibi olmuştur.

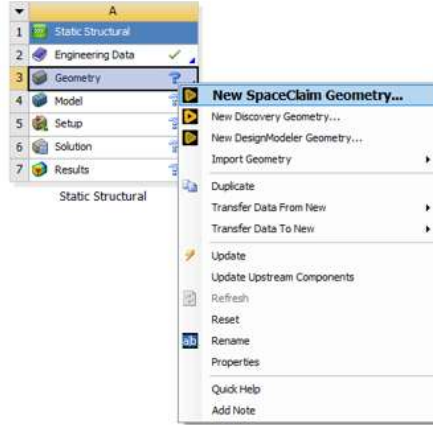
1.Geometrinin oluşturulması:

ANSYS Workbench'te "Dosya" -> "Yeni" -> "Proje" seçeneklerini seçerek yeni bir projeye başlanır. **Static structural** üzerine tıklanır. İki malzememizin (beton ve çelik) özelliklerini girmek için **Engineering data** tıklanır (şekil 36).



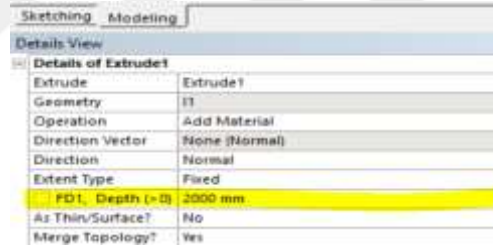
Şekil 36. Malzeme özelliklerinin tanımlanması

Geometry'ye sağ tıklanır ve ardından Design Modeler'a tıklanır (şekil 37).

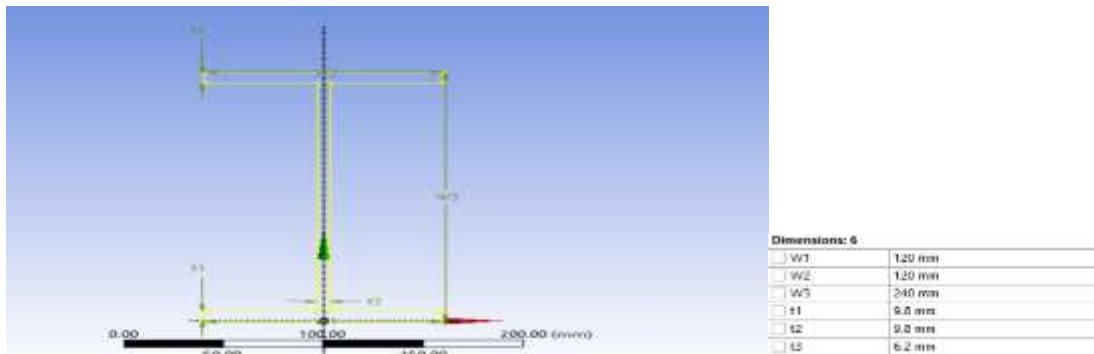


Şekil 37. Design Modeler'de yeni bir modelin oluşturulması

Concept → **Cross Section** → **I Section** altına tıklanarak kesit belirli ölçüleriyle oluşturulur. Sonra aşağıda verilen şekildeki gibi **Extrude**'a tıklanır (kirişin uzunluğu 2000mm olduğu için) → **Apply** → **Generate** (şekil 38-39)

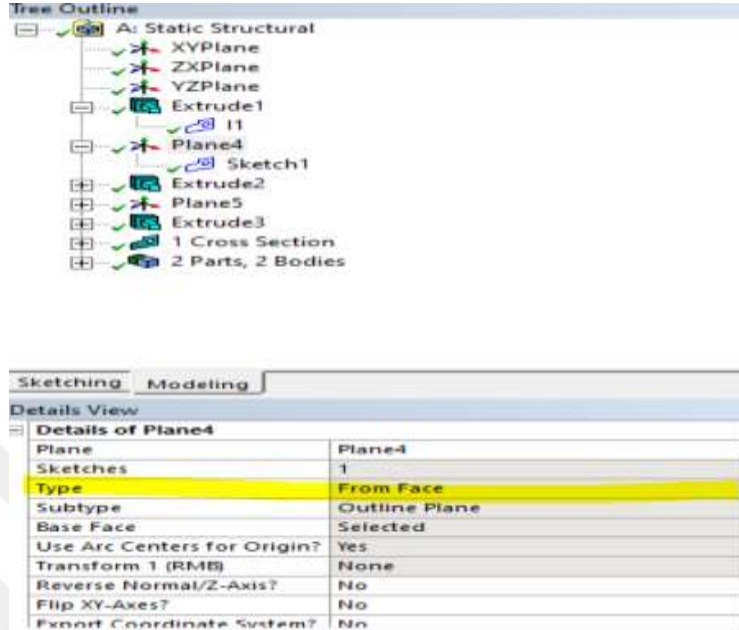


Şekil 38. Extrude yapılması



Şekil 39. Çelik kirişin geometrik özellikleri

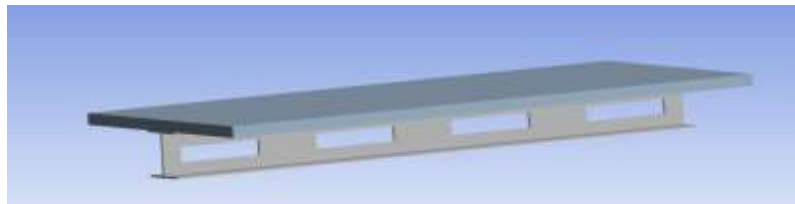
Beton tablayı oluşturmak için başka bir plan oluşturulur, **type** düğmesine tıklanır ve şekilde gösterildiği gibi **from face** seçilir. I profilinin yüzeyi seçilir ve **Apply** → **Generate** → **Look at face** tıklanır (şekil 40).



Şekil 40. Yeni bir düzlemin oluşturulması

Beton tablayı çiziyoruz ve ölçülerini belirtiyoruz.Ardından **Extrude** → **Apply** → **Operation** → **Add frozen** → **Generate** üzerine tıklıyoruz.

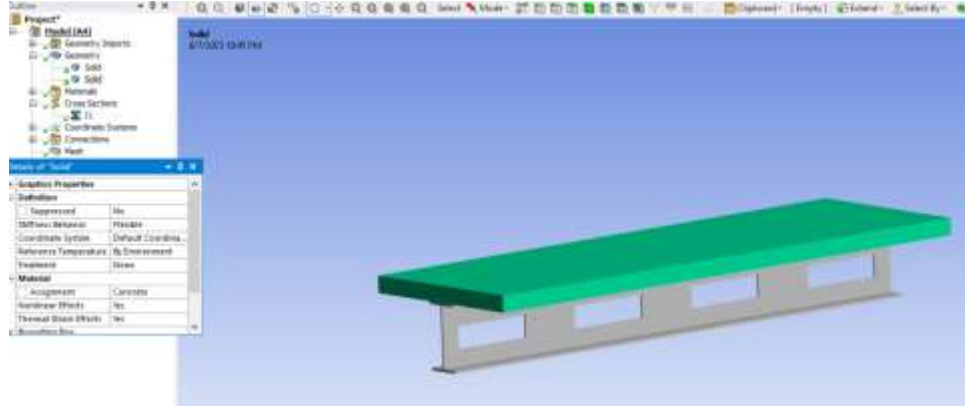
Aynı işlemi kirişin gövdesinde delik açmak için de uyguluyoruz ama bu sefer **Operation** tıkladıktan sonra **Cut Material** tıklıyoruz.Tasarlanan kompozit yapı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (şekil 41).



Şekil 41. Kompozit petek kiriş

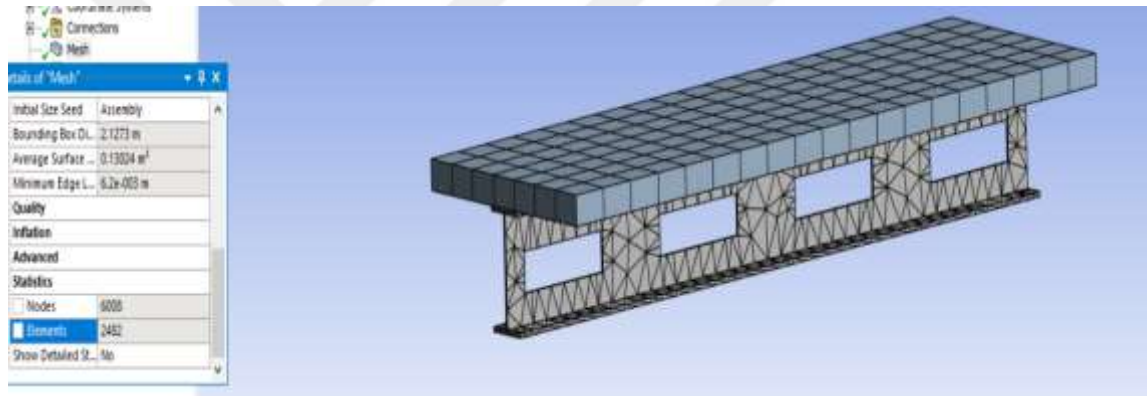
2.Bir sonraki adımda, ANSYS Mechanical'ı açacak olan Model'e tıklıyoruz.

Farklı malzemeleri uygulamak için **Geometry** tıklıyoruz ve tabla için beton ve kiriş için çelik seçiyoruz (şekil 42).



Şekil 42. Kompozit yapının iki farklı parçasını birer birer seçerek farklı malzemelerin uygulanması

3. Bir sonraki adım sonlu eleman ağının oluşturulması için **Mesh**'tir. 6008 düğüm ve 2482 elemanlı standart **mesh** seçiyoruz. (şekil 43)



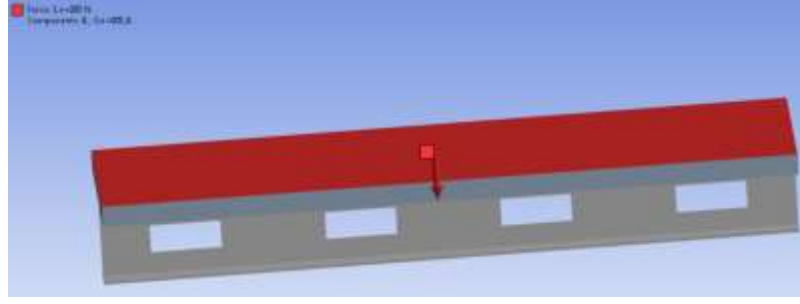
Şekil 43. Sonlu eleman ağı özellikleri

4. Sınır şartları: Mesnetler koymak için **Static Structural** üzerine tıklıyoruz → **Insert** → **Fixed Support**.

Her bir kompozit petek kiriş için iki farklı senaryomuz olacak:

Ankastre-Serbest ve Ankastre-Ankastre

5. Kuvvet eklemek için **Static Structural** tıklıyoruz → **Insert** → **Force** → **Define by** → **Components on the Y direction** -300000 N (şekil 44)



Şekil 44. Uygulanan kuvvet

6. Son olarak **Solution** → **Insert** → **Deformation** tıklıyoruz.

Solution → **Insert** → **Equivalent Stress** (Von-Mises) tıklıyoruz.

Solution → **Insert** → **Maximum Principal Stress** tıklıyoruz.

Çünkü analiz için tüm bunlara ihtiyacımız olacaktır. Çözüme ulaşmak için **Solve** tıklıyoruz. **Sizing** tıklayarak sonlu elemanlar ağı daha ince hale getirmeye çalışabiliriz ve gerilmenin daha da detaylı olarak inceleyebiliriz.

ANSYS, farklı malzeme türlerini simüle etmek için çok çeşitli malzeme modelleri sunar. Modelinize malzeme özelliklerini aşağıdaki şekillerde atayabilirsiniz:

ANSYS Kütüphanesi:

a) ANSYS için yerleşik bir malzeme kitaplığı, bir sürü önceden tanımlanmış malzeme özelliğine sahiptir. Kütüphaneden istediğiniz malzemeye en yakın malzemeyi seçerek modelinize uygulayabilirsiniz.

b) Özel Malzeme:

Malzemeniz malzeme kitaplığında yoksa, özel malzeme özellikleri tanımlayabilirsiniz.

Malzeme özelliklerini tanımladıktan veya seçtikten sonra, bunları modelinizdeki uygun bölgeleri atamanız gerekir. ANSYS'de istediğiniz bölgeleri veya elemanları seçip bu seçimler için malzeme özelliklerini belirleyerek malzemeleri atayabilirsiniz. Tablo 1. ve Tablo 2. kullanılan malzemelerin özelliklerini göstermektedir.

Tablo 1. Betonun özellikleri

Beton		
Özellik	Değer	Birim
Yoğunluk	2300	kg m ⁻³
Isıl genişleme katsayısı	1.40E-05	C ⁻¹
Young modülü	3.00E+10	Pa
Poisson oranı	0.2	
Bulk Modülü	1.67E+10	Pa
Kesme modülü	1.25E+10	Pa

Tablo 2. Çeliğin özellikleri

Çelik		
Özellik	Değer	Birim
Yoğunluk	7850	kg m ⁻³
Isıl genişleme katsayısı	1.20E-05	C ⁻¹
Young modülü	2.00E+11	Pa
Poisson oranı	0.3	
Bulk Modülü	1.67E+11	Pa
Kesme modülü	7.69E+10	Pa

Sonlu elemanlar yöntemini kullanan ANSYS Workbench ile analiz yapılırken SOLID187 (Çelik) ve SOLID186 (Beton) elemanları kullanılmıştır. SOLID187 tetrahedral sonlu eleman on düğüm noktasına sahiptir ve her düğüm noktasında üç adet farklı serbestlik derecesi vardır. Elemanın serbestlik dereceleri, x, y ve z eksenleri yönünde ötelemelerinden oluşmaktadır. SOLID186 ise yirmi düğüm noktasına sahiptir ve her düğüm noktasında üç farklı serbestlik derecesi vardır. Elemanın serbestlik dereceleri, x, y ve z eksenleri yönünde ötelemeleri içerir. Aşağıdaki tablo, bu uygulama ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgileri göstermektedir.

Tablo 3. Programından alınan detaylar

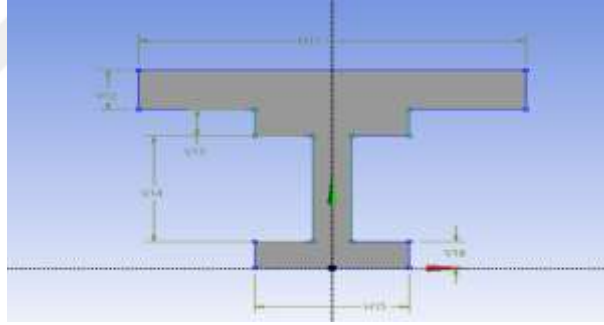
Objenin Adı	Contact Region
Durum	Tamamen Tanımlanmış
Amaç	
Amaç Belirleme Yöntemi	Geometri Seçimi
Temas	1 Yüz
Hedef	1 Yüz
Temas Gövdeleri	Solid
Hedef Gövdeleri	Solid
Tanım	
Tür	Bağlanmış
Amaç Modu	Otomatik

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

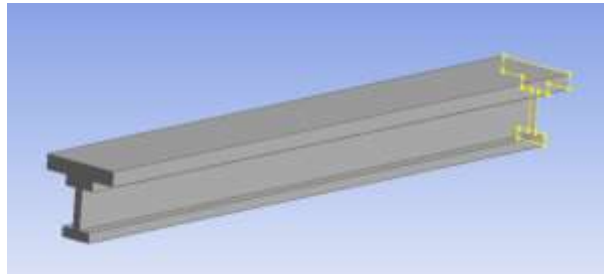
BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Statik Analiz

ANSYS Workbench programı kullanılarak farklı senaryoları uygulamaya başlamadan önce bu uygulamanın güvenilir bir program olduğu araştırılmalıdır. Bu amaç ile bu tezde kullanılan analiz metodun doğrulanması gerekmektedir. Verifikasyon çalışması için aşağıdaki ölçülerde bir kompozit kirişi dikkate alınmıştır. Bu kiriş hem tablası hem de I profili çelik malzemesinden yapılmıştır. Ele alınan bu kiriş ankastre – serbest olarak modellenmiş ve en büyük yer değiştirme değerleri programdan elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen sonuçlar literatürde ince çubukların maksimum yer değiştirmesi için kullanılan formüller ile hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür. Kirişlerin geometrik özellikleri şekil (45-47)'de verilmiştir.



Şekil 45. Cisminin önden görünüşü

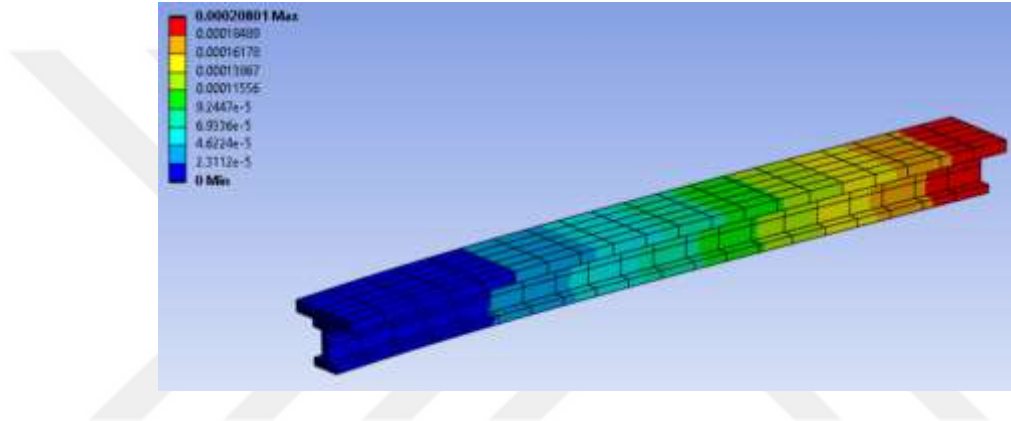


Şekil 46. Cisminin 3 boyutlu görünümü

Dimensions: 8	
<input type="checkbox"/> H10	0.2 m
<input type="checkbox"/> H3	0.5 m
<input type="checkbox"/> H6	0.2 m
<input type="checkbox"/> L8	0.05 m
<input type="checkbox"/> V4	0.075 m
<input type="checkbox"/> V5	0.05 m
<input type="checkbox"/> V7	0.2 m
<input type="checkbox"/> V9	0.05 m

Şekil 47. Cisminin boyutları

Ele alınan kirişe 1000 N/m²'lük girilerek en büyük yer değiştirme değeri 0.00020801 m olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçlar şekil 48'de sunulmuştur.



Şekil 48. ANSYS programından elde edilen en büyük toplam yer değiştirme değeri

Elde edilen sonuçların doğrulanması için literatürde bulunan ince kiriş teorisine dayalı kirişlerin formülü kullanılmıştır. En büyük toplam yer değiştirme değeri aşağıdaki formül yardımıyla da hesaplanabilir.

$$w = \frac{qL^4}{8 * E * I}$$

Bu karşılaştırma için kullanılan değerler şöyledir.

L=5 m (Çubuk uzunluğu)

q=1000 N/m² * 0.5 m = 500 N/m (uygulanan yayılı yük)

E=210 * 10⁹ Pa (ele alınan problemin elastisite modülü)

I_x=95351.5625 cm⁴ (kullanılan kesitin atalet momenti)

Bu değerler kullanılarak kirişin en büyük yer değiştirme $w=0.000195$ m olarak hesaplanmıştır.

ANSYS'ten elde edilen sonuçlar (0.00020801 m) ile analitik çözüm (0.000195 m) metoduyla elde edilen sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür. ANSYS sonuçlarının daha büyük çıkma sebebi ise analitik çözüm için kullanılan formülde kayma deformasyon etkisinin dahil edilmemesidir.

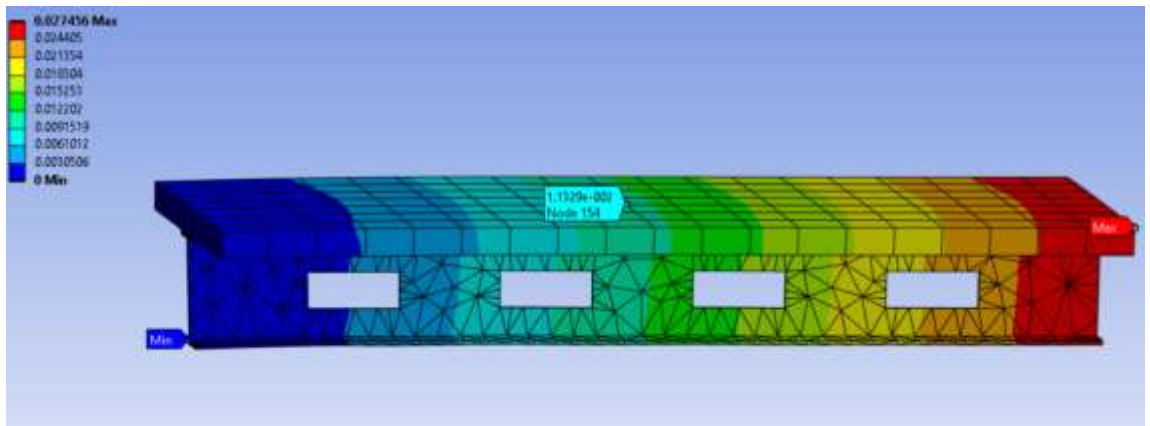
Sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla otuz iki kompozit petek kiriş modelleri ele alınmıştır. Ele alınan geometrik şekiller dikdörtgen, daire, ve altıgendir. Boşluk ölçüleri ve aralarındaki mesafeler değişken olan bu kirişler ankastre-serbest ve ankastre-ankastre mesnet koşullu olmuştur. En büyük toplam yer değiştirme değeri, Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri farklı durumlar arasında karşılaştırılmıştır.

3.1.1 Ankastre-serbest mesnet koşullu dikdörtgen boşluklu kompozit petek kiriş için boşluklar arasındaki mesafenin statik davranışa etkisi

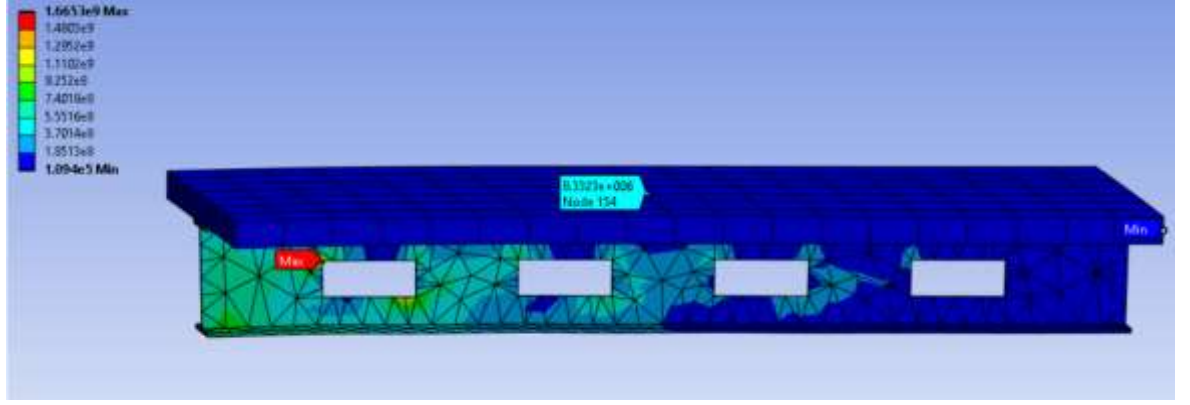
Birinci durum:

Ele alınan yapı elemanı, dikdörtgen delikli ankastre-serbest mesnet koşullu olarak tanımlanmıştır. Boşluğun boyutları: 204 mm x 80 mm ve kenarlardan uzaklığı 262 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 220 mm'dir.

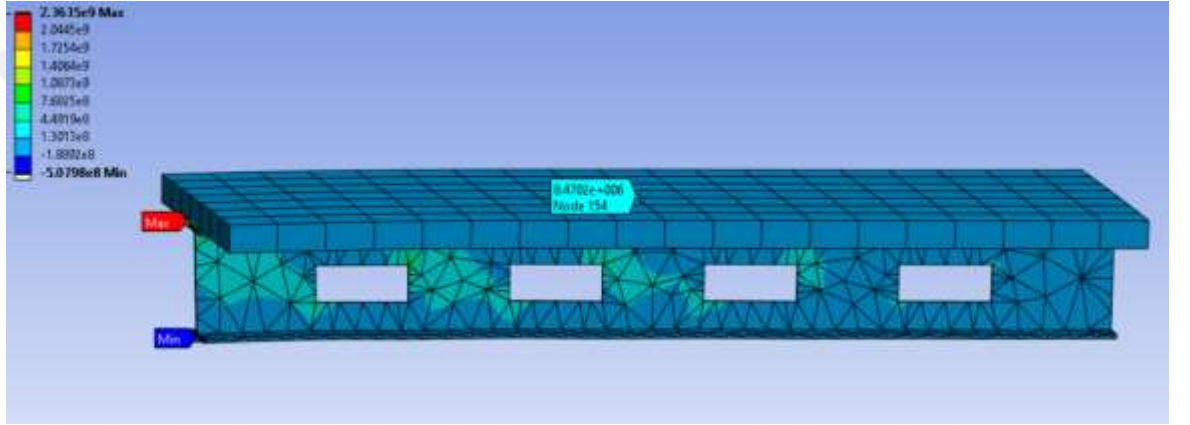
Aşağıdaki şekillerde (şekil 49-51)'de, en büyük toplam yer değiştirme değeri, Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri verilmiştir.



Şekil 49. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 50. Von Mises gerilmesi



Şekil 51. En büyük asal gerilme

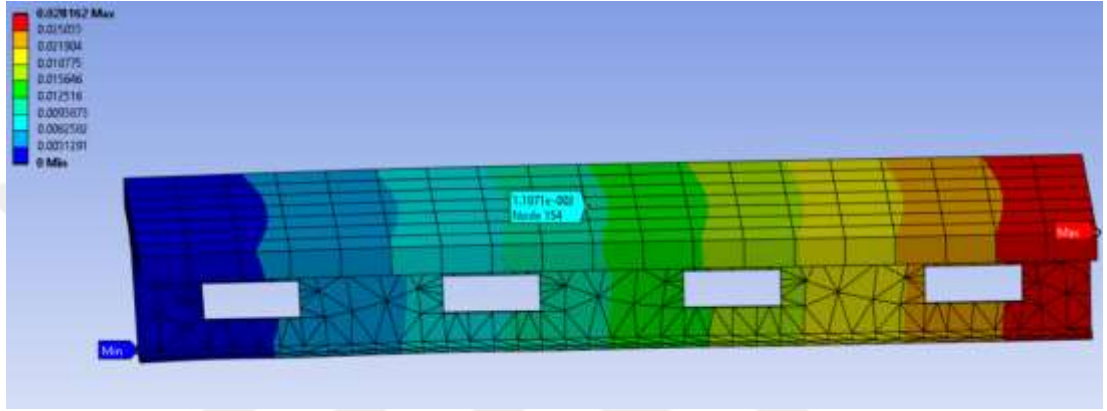
Durum 1’de kullanılan model ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgiler aşağıda verilen tabloda (Tablo 4) özetlenmiştir.

Tablo 4. Birinci model için ANSYS programından elde edilen özellikler

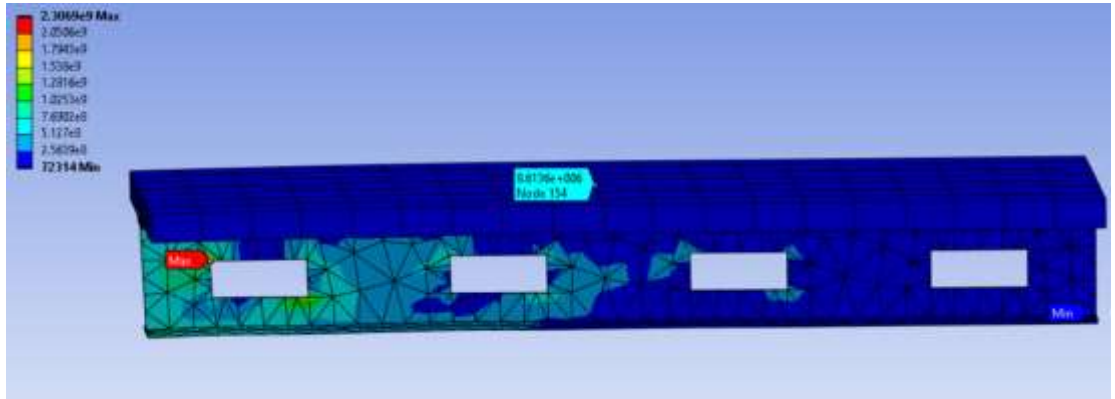
Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Özellikler		
Hacim	7.0322e-003 m ³	7.92e-002 m ³
Atalet Momenti Ip1	19.309 kg·m ²	60.775 kg·m ²
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	4997	1064
Elemanlar	2415	133

Durum 2:

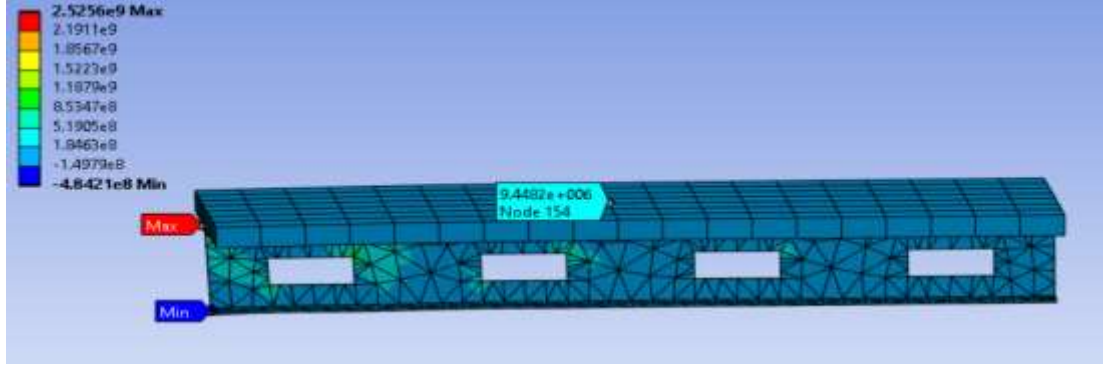
İkinci durumda, kompozit petek kirişin diğer özellikleri önceki örnek gibi alınmıştır, sadece delikler arasındaki mesafeyi artırılmıştır. Yer-değiştirmenin arttığını fark edilmiştir. Boşluğun boyutları: 204 mm x 80 mm ve kenarlardan uzaklığı 142 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 300 mm'dir. Aşağıdaki şekillerde (şekil 52-54), en büyük toplam yer değiştirme değeri, Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 52. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 53. Von Mises gerilmesi



Şekil 54. En büyük asal gerilme

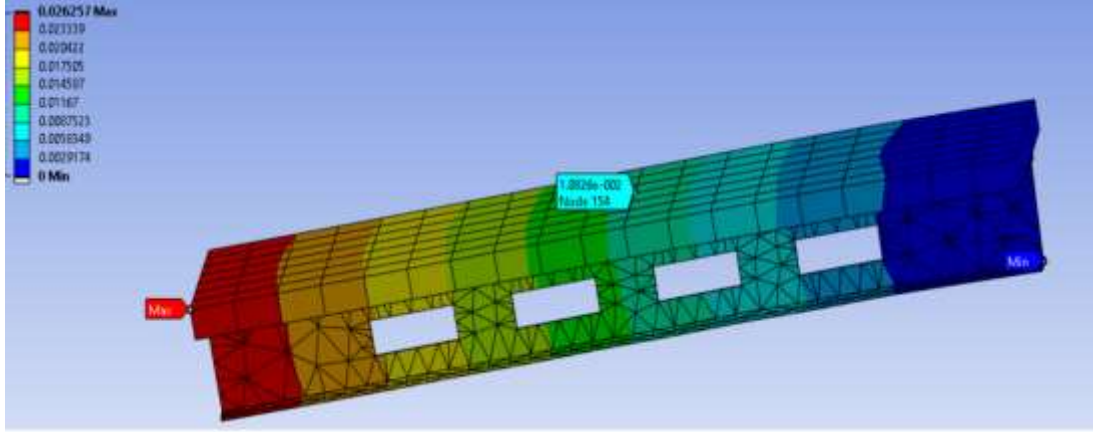
Durum 2’de kullanılan model ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgiler aşağıda verilen tabloda (Tablo 5) özetlenmiştir.

Tablo 5. Programından alınan detaylı bilgileri

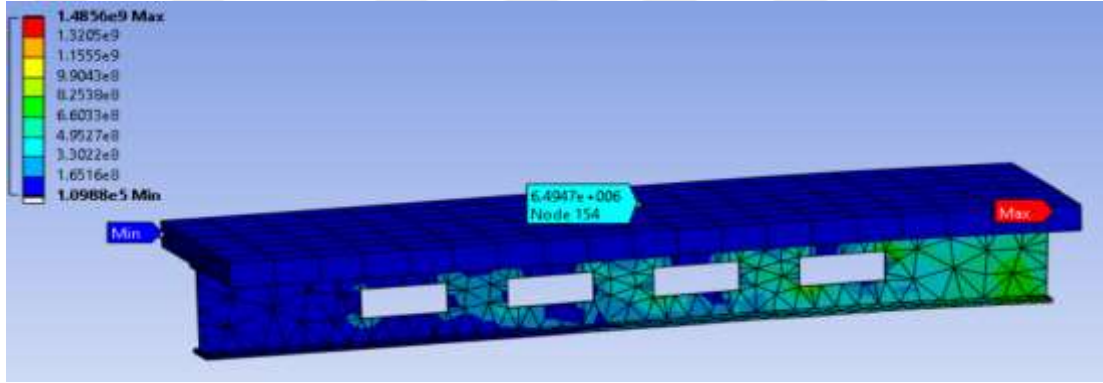
Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Özellikler		
Hacim	7.0322e-003 m ³	7.92e-002 m ³
Kütle	55.203 kg	182.16 kg
X Ağırlık Merkezi	4.0083e-018 m	-1.8253e-018 m
Y Ağırlık Merkezi	0.12059 m	0.27 m
Z Ağırlık Merkezi	1. m	
Atalet Momenti Ip1	19.015 kg·m ²	60.775 kg·m ²
Atalet Momenti Ip2	18.485 kg·m ²	67.332 kg·m ²
Atalet Momenti Ip3	0.61867 kg·m ²	6.6671 kg·m ²
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	5066	1064
Elemanlar	2447	133

Durum 3:

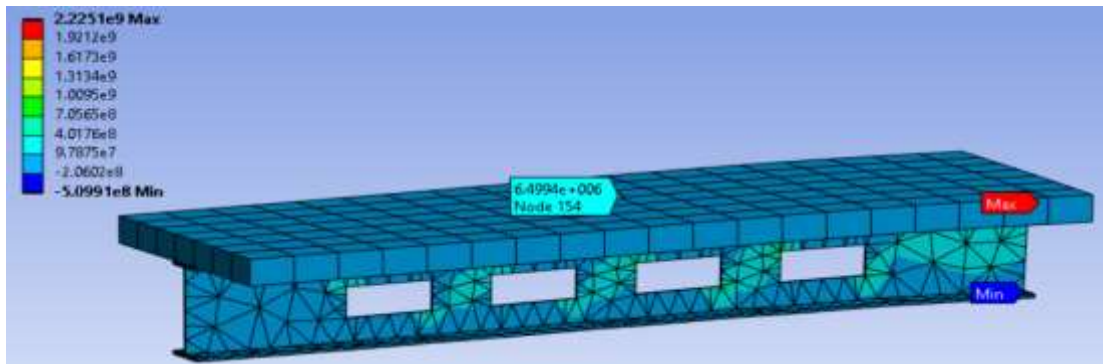
Üçüncü örnekte, kompozit petek kirişin diğer özellikleri önceki örnek gibi alınmıştır, sadece delikler arasındaki mesafeyi azaltılmıştır. İkinci durum ile kıyaslayarak yer-değiştirmenin azaldığını fark edilmiştir. Boşluğun boyutları: 204 mm x 80 mm ve kenarlardan uzaklığı 382 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 140 mm'dir. Aşağıdaki şekillerde (şekil 55-57), en büyük toplam yer değiştirme değeri , Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 55. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 56. Von Mises gerilmesi



Şekil 57. En büyük asal gerilme

Durum 3'te kullanılan model ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgiler aşağıda verilen tabloda (Tablo 6) özetlenmiştir.

Tablo 6. Programından alınan detaylar

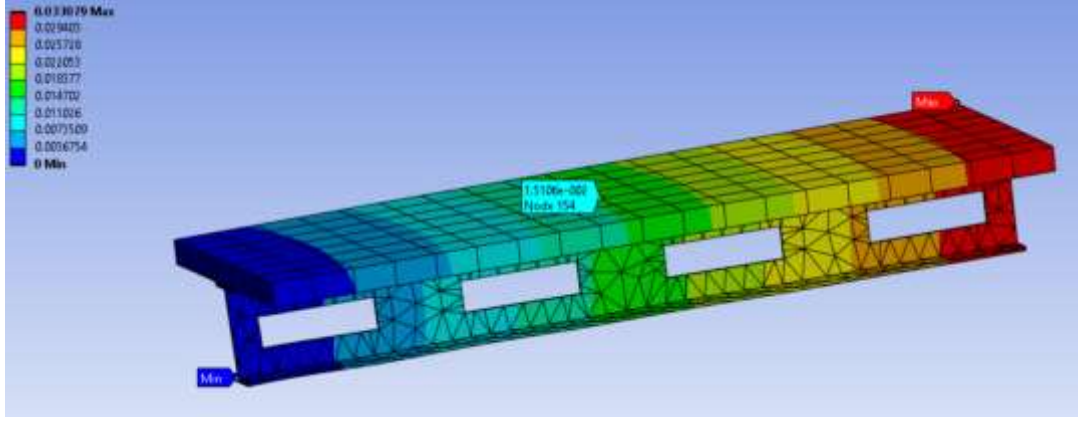
Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.9e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Özellikler		
Hacim	7.0322e-003 m ³	9.108e-002 m ³
Kütle	55.203 kg	209.48 kg
X Ağırlık Merkezi	4.0166e-018 m	1.2697e-017 m
Y Ağırlık Merkezi	0.12059 m	0.2745 m
Z Ağırlık Merkezi	1. m	
Atalet Momenti Ip1	19.553 kg·m ²	69.911 kg·m ²
Atalet Momenti Ip2	19.023 kg·m ²	77.432 kg·m ²
Atalet Momenti Ip3	0.61867 kg·m ²	7.6874 kg·m ²
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	4963	1064
Elemanlar	2399	133

Yukarıda verilen üç farklı durumun karşılaştırılması sonucunda, Von Mises gerilmesi değeri referans alınan birinci duruma göre ikinci durumda artmıştır, üçüncü durumda azalmıştır. En büyük asal gerilme değeri ise ikinci durumda azalmıştır, üçüncü durumda ise daha da azalmıştır.

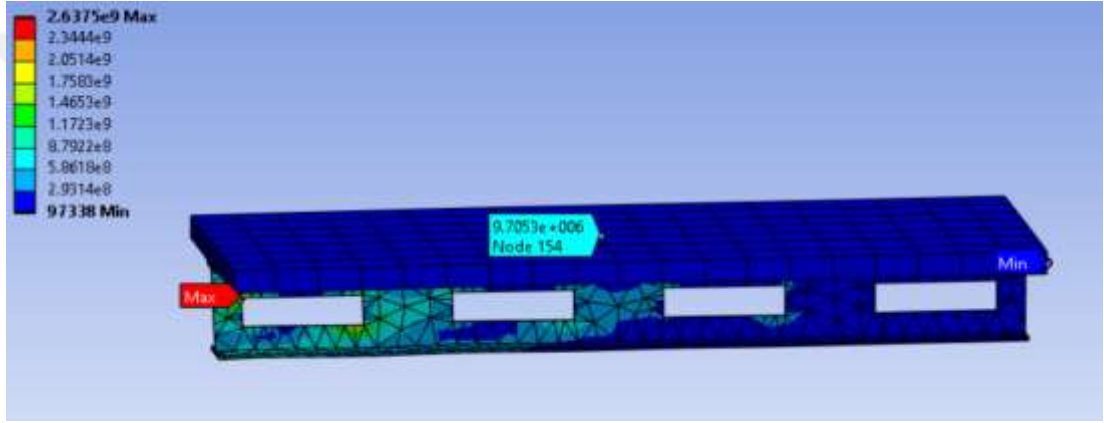
3.1.2 Ankastre-serbest mesnet koşullu dikdörtgen boşluklu kompozit petek kirişler için boşluk ölçüsünün statik davranışa etkisi

Durum 4:

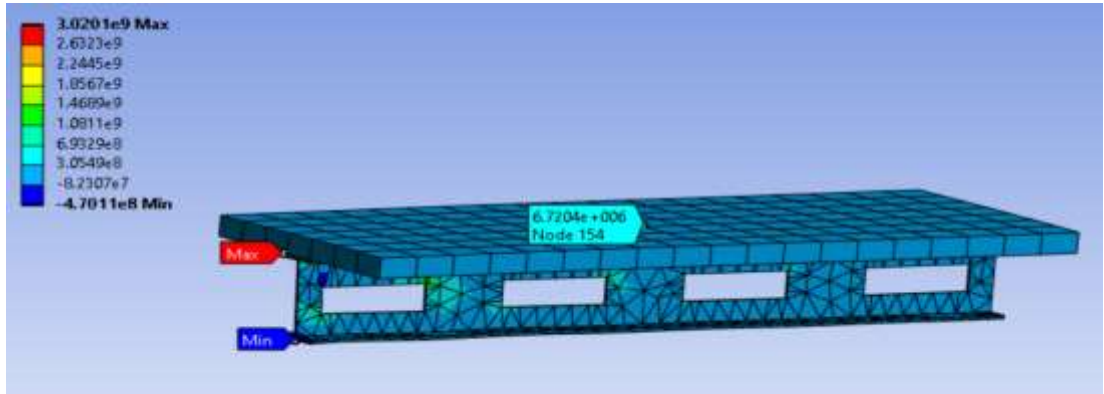
Bu durumda kompozit petek kirişin diğer özellikleri önceki örnek gibi alınmıştır, sadece deliklerin boyutları büyütülmüştür. Üçüncü durum ile kıyaslayarak yer-değiştirmenin arttığını fark edilmiştir. Boşluğun boyutları: 300 mm x 80 mm ve kenarlardan uzaklığı 70 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 220 mm'dir. Aşağıdaki şekillerde (şekil 58-60), en büyük toplam yer değiştirme değeri, Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 58. En büyük toplam yer değıştirme değeri



Şekil 59. Von Mises gerilmesi



Şekil 60. En büyük asal gerilme

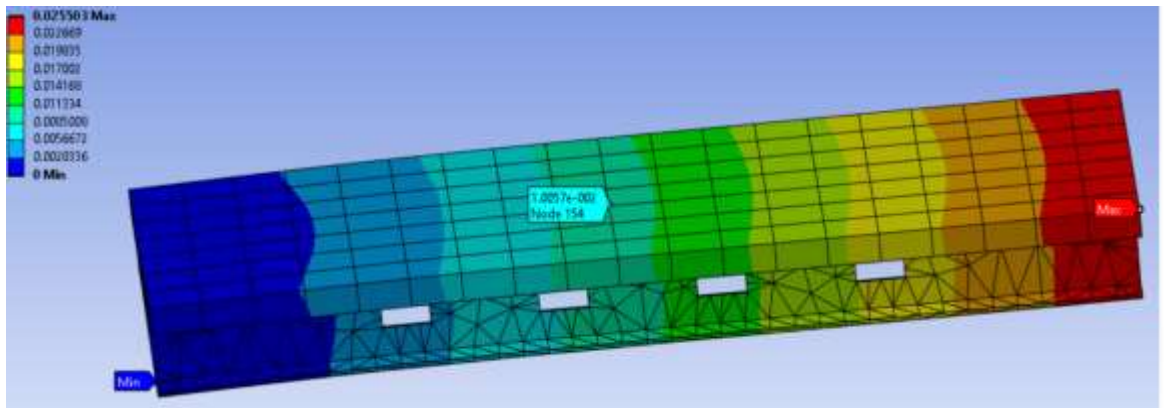
Durum 4'te kullanılan model ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgiler aşağıda verilen tabloda (Tablo 7) özetlenmiştir.

Tablo 7. Programından alınan bilgiler

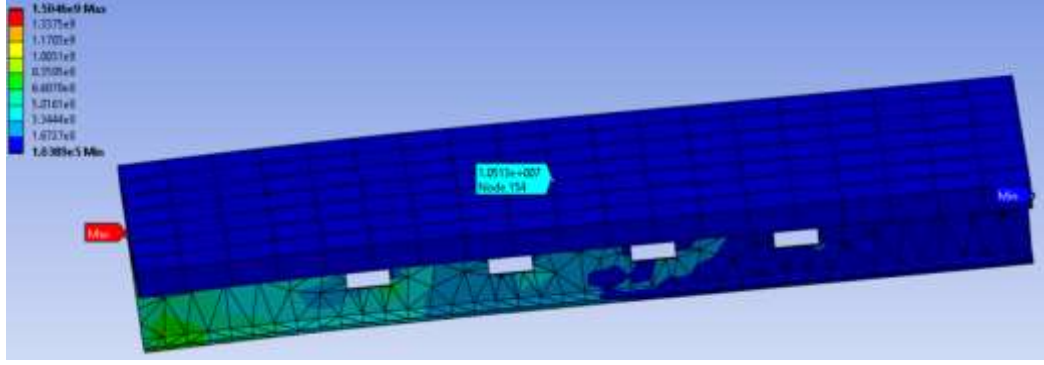
Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Özellikler		
Hacim	6.8418e-003 m ³	7.92e-002 m ³
Kütle	53.708 kg	182.16 kg
Atalet Momenti Ip1	18.419 kg·m ²	60.775 kg·m ²
Atalet Momenti Ip2	17.89 kg·m ²	67.332 kg·m ²
Atalet Momenti Ip3	0.61769 kg·m ²	6.6671 kg·m ²
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	4944	1064
Elemanlar	2349	133

Durum 5:

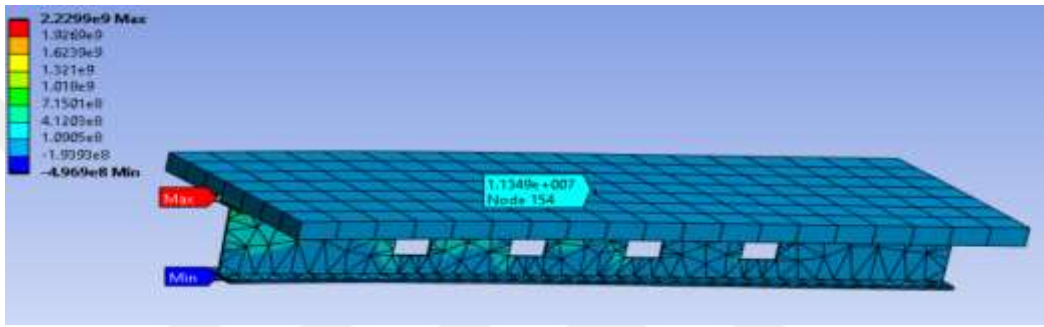
Bu durumda kompozit petek kirişin diğer özellikleri önceki örnek gibi alınmıştır, sadece deliklerin boyutları küçültülmüştür. Dördüncü durum ile kıyaslayarak yer-değiştirmenin azaldığını fark edilmiştir. Boşluğun boyutları: 100 mm x 80 mm ve kenarlardan uzaklığı 470 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 220 mm'dir. Aşağıdaki şekillerde (şekil 61-63), en büyük toplam yer değiştirme değeri, Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 61. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 62. Von Mises gerilmesi



Şekil 63. En büyük asal gerilme

Durum 5’te kullanılan model ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgiler aşağıda verilen tabloda (Tablo 8) özetlenmiştir.

Tablo 8. Programından alınan detaylar

Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	4803	1064
Elemanlar	2322	133

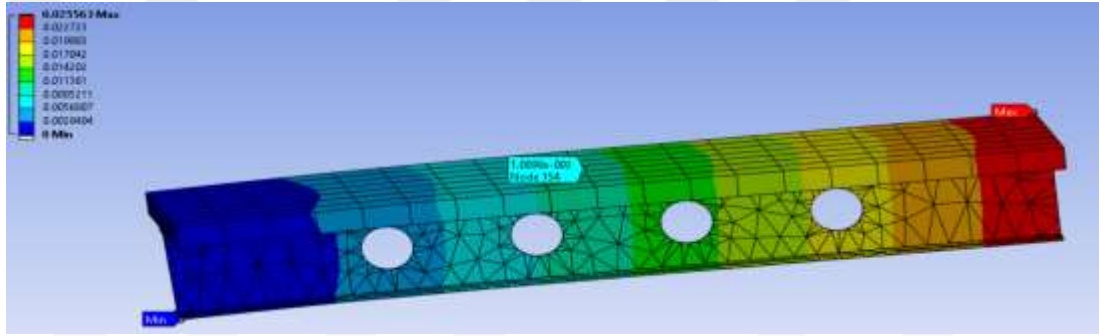
Von Mises gerilmesi değerinin referans alınan birinci duruma göre dördüncü durumda azalmıştır, beşinci durumda benzer şekilde azalttığını görülmüştür ama dördüncü

durumdaki değerinden daha büyük olduğu görülmüştür. En büyük asal gerilme değeri ise dördüncü durumda azalmıştır, beşinci durumda ise en küçük değeri almıştır.

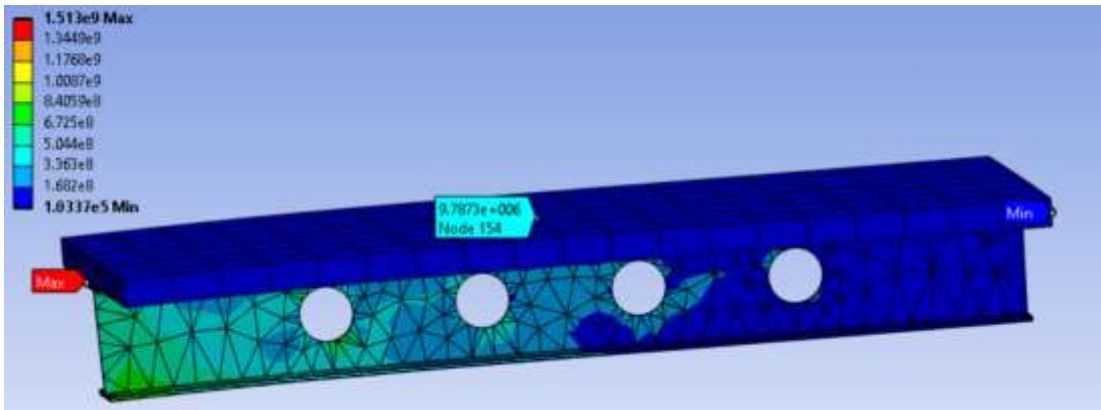
3.1.3 Ankastre-serbest mesnet koşullu dairesel boşluklu kompozit petek kirişler için boşluklar arasındaki mesafenin statik davranışa etkisi

Durum 6:

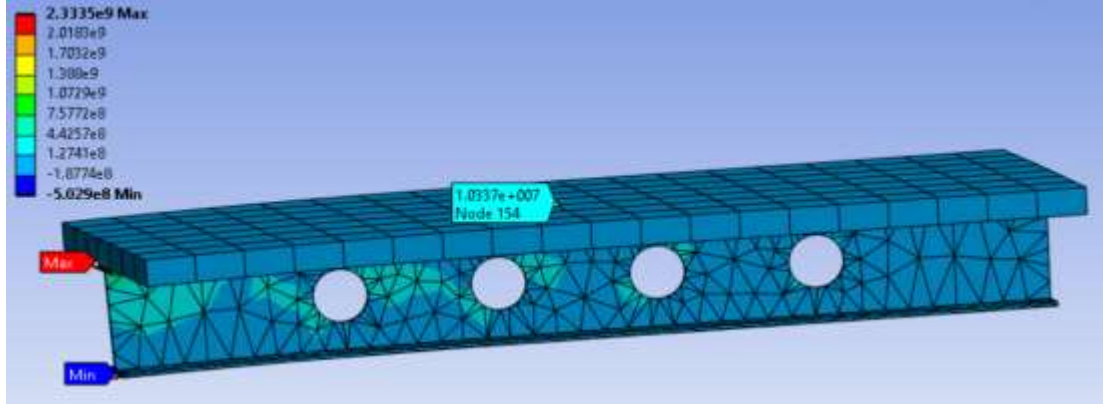
Ele alınan yapı elemanı, daire delikli ankastre-serbest mesnet koşulunda şeklinde tanımlanmıştır. Dairenin çapı 118 mm'dir ve kenarlardan uzaklığı 434 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 220 mm'dir. Aşağıdaki şekillerde (şekil 64-66), en büyük toplam yer değiştirme değeri, Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 64. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 65. Von Mises gerilmesi



Şekil 66. En büyük asal gerilme

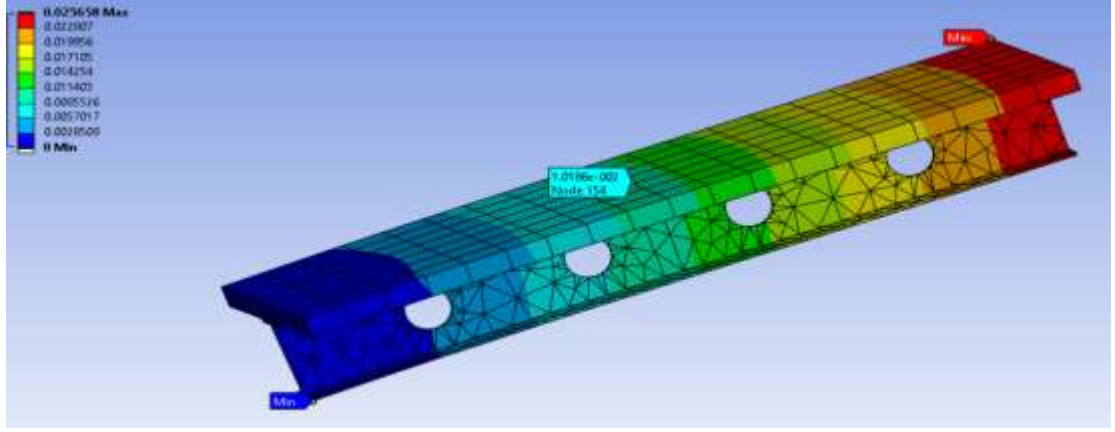
Tablo 9., bu uygulama ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan tüm ayrıntıları göstermektedir.

Tablo 9. Programından alınan detaylar

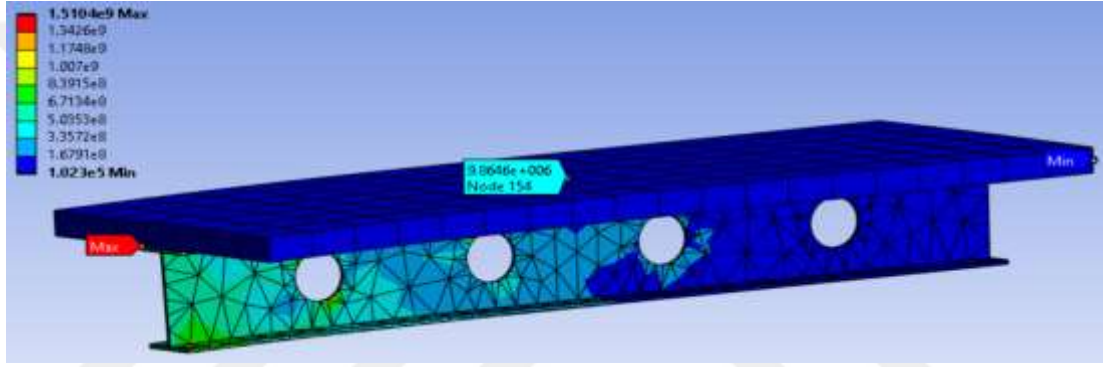
Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Özellikler		
Hacim	7.1658e-003 m ³	7.92e-002 m ³
Kütle	56.251 kg	182.16 kg
X Ağırlık Merkezi	-1.0734e-018 m	-1.8253e-018 m
Y Ağırlık Merkezi	0.11967 m	0.27 m
Z Ağırlık Merkezi	1. m	
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümmler	5216	1064
Elemanlar	2530	133

Durum 7:

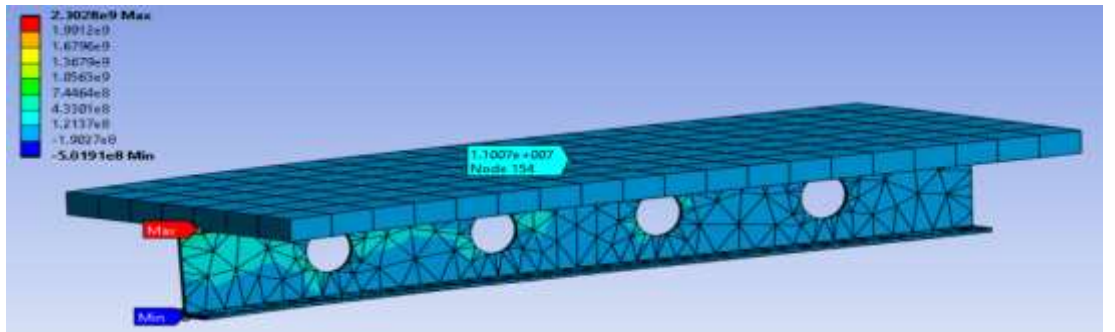
Bu durumda, kompozit petek kirişin diğer özellikleri önceki örnek gibi alınmıştır, sadece delikler arasındaki mesafeyi artırılmıştır. Yer-değiştirmenin arttığını fark edilmiştir. Dairenin çapı 118 mm'dir ve kenarlardan uzaklığı 314 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 300 mm'dir. Aşağıdaki şekillerde (şekil 67- 69), en büyük toplam yer değiştirme değeri, Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 67. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 68. Von Mises gerilmesi



Şekil 69. En büyük asal gerilme

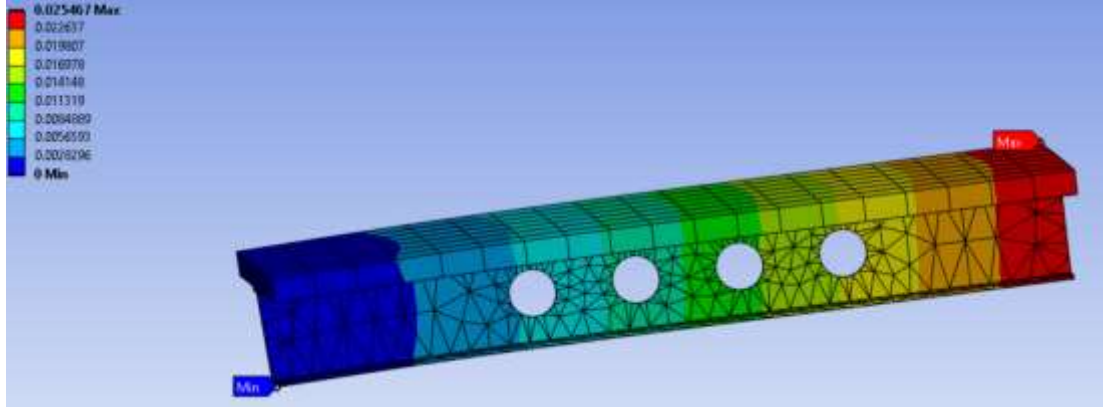
Durum 7’de kullanılan model ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgiler aşağıda verilen tabloda (Tablo 10) özetlenmiştir.

Tablo 10. Programından alınan detaylı bilgileri

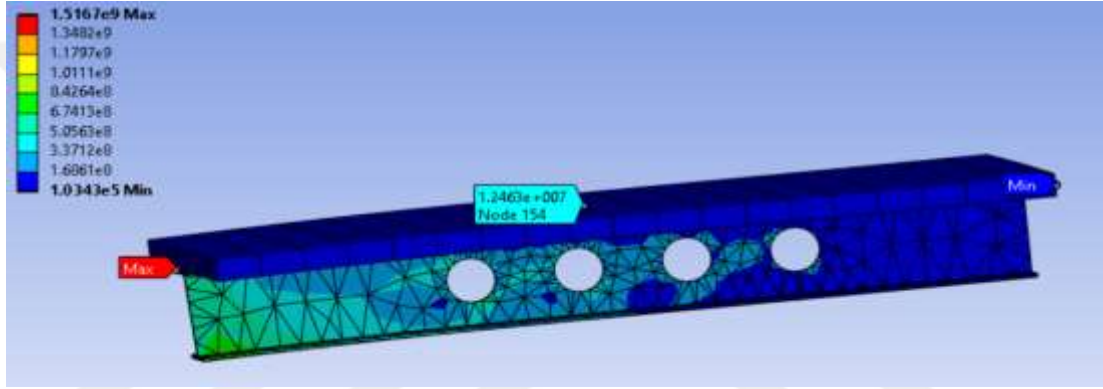
Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Doğrusal Olmayan Etkiler	Evet	
Termal Gerilme Etkileri	Evet	
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Özellikler		
Hacim	7.1658e-003 m ³	7.92e-002 m ³
Kütle	56.251 kg	182.16 kg
X Ağırlık Merkezi	3.9413e-018 m	-1.8253e-018 m
Y Ağırlık Merkezi	0.11967 m	0.27 m
Z Ağırlık Merkezi	1. m	
Atalet Momenti Ip1	19.57 kg·m ²	60.775 kg·m ²
Atalet Momenti Ip2	19.04 kg·m ²	67.332 kg·m ²
Atalet Momenti Ip3	0.61871 kg·m ²	6.6671 kg·m ²
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	5292	1064
Elemanlar	2582	133

Durum 8:

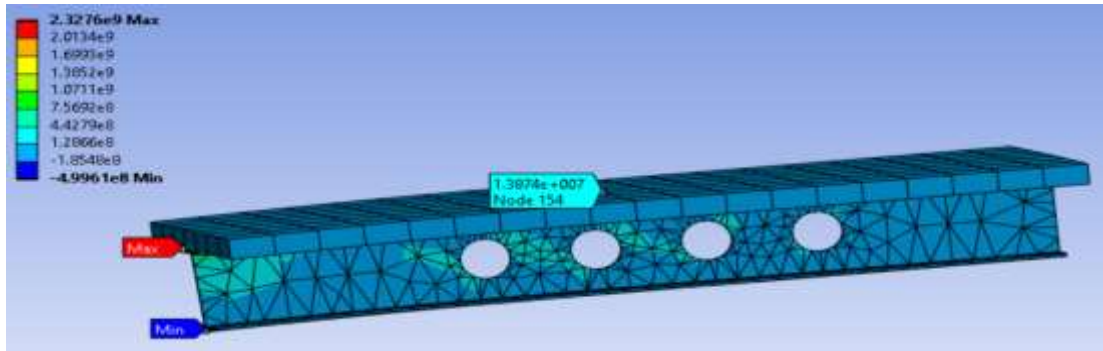
Bu durumda, kompozit petek kirişin diğer özellikleri önceki örnek gibi alınmıştır, sadece delikler arasındaki mesafeyi azaltılmıştır. Önceki durum ile kıyaslayarak yer-değiştirmenin azaldığını fark edilmiştir. Dairenin çapı 118 mm'dir ve kenarlardan uzaklığı 614 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 140 mm'dir. Aşağıdaki şekillerde (şekil 70-72), en büyük toplam yer değiştirme değeri , Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 70. En büyük toplam yer değıştirme değeri



Şekil 71. Von Mises gerilmesi



Şekil 72. En büyük asal gerilme

Durum 8’de kullanılan kiriş ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgileri Tablo 11’de gösterilmektedir.

Tablo 11. Programından alınan detaylar

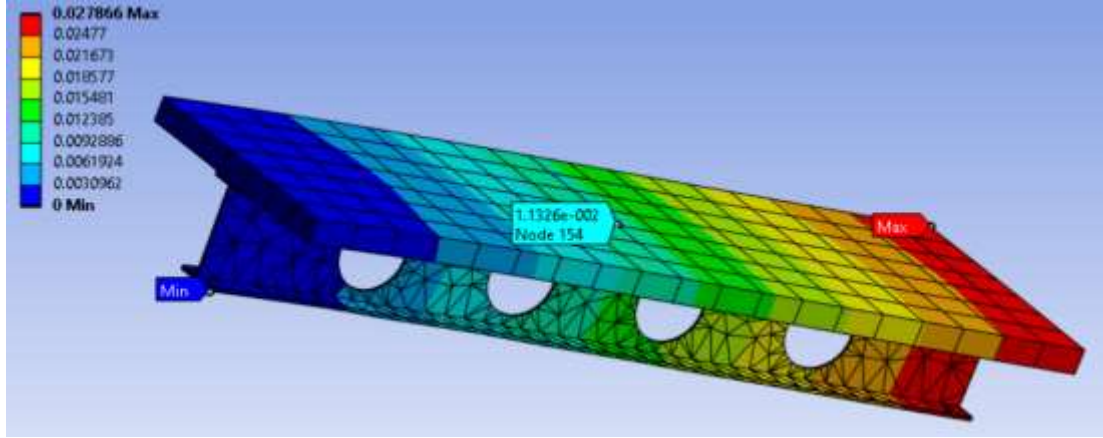
Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Doğrusal Olmayan Etkiler	Evet	
Termal Gerilme Etkileri	Evet	
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Özellikler		
Hacim	7.1658e-003 m ³	7.92e-002 m ³
Kütle	56.251 kg	182.16 kg
X Ağırlık Merkezi	3.9648e-018 m	-1.8253e-018 m
Y Ağırlık Merkezi	0.11967 m	0.27 m
Z Ağırlık Merkezi	1.0008 m	1. m
Atalet Momenti Ip1	19.887 kg·m ²	60.775 kg·m ²
Atalet Momenti Ip2	19.357 kg·m ²	67.332 kg·m ²
Atalet Momenti Ip3	0.61871 kg·m ²	6.6671 kg·m ²
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	5224	1064
Elemanlar	2527	133

Von Mises gerilmesi değerinin referans alınan altıncı duruma göre yedinci durumda arttığı görülmüştür, sekizinci durumda benzer şekilde arttığı görülmüştür ama yedinci durum için elde edilen değerinden daha küçük olduğu görülmüştür. En büyük asal gerilme değeri ise yedinci durumda azalmaktadır, sekizinci durumda aynı olduğu görülmüştür ama yedinci duruma göre arttığı gözlemlenmiştir.

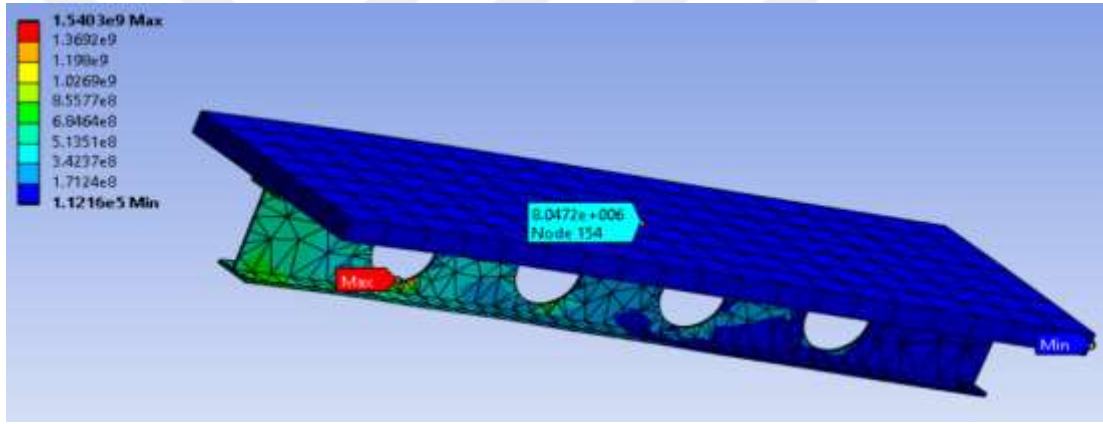
3.1.4 Ankastre-serbest mesnet koşullu dairesel boşluklu kompozit petek kirişler için boşluk ölçüsünün statik davranışa etkisi

Durum 9:

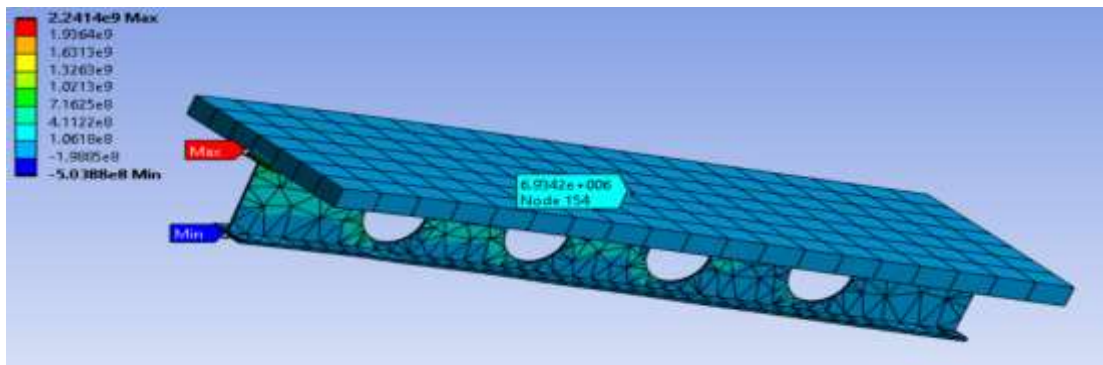
Bu durumda kompozit petek kirişin diğer özellikleri önceki örnek gibi alınmıştır,sadece deliklerin boyutları büyütülmüştür.Önceki durum ile kıyaslayarak yer-değiştirmenin arttığını fark edilmiştir. Dairenin çapı 170 mm'dir ve kenarlardan uzaklığı 330 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 220 mm'dir. Aşağıdaki şekillerde (şekil 73-75), en büyük toplam yer değiştirme değeri , Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 73. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 74. Von Mises gerilmesi



Şekil 75. En büyük asal gerilme

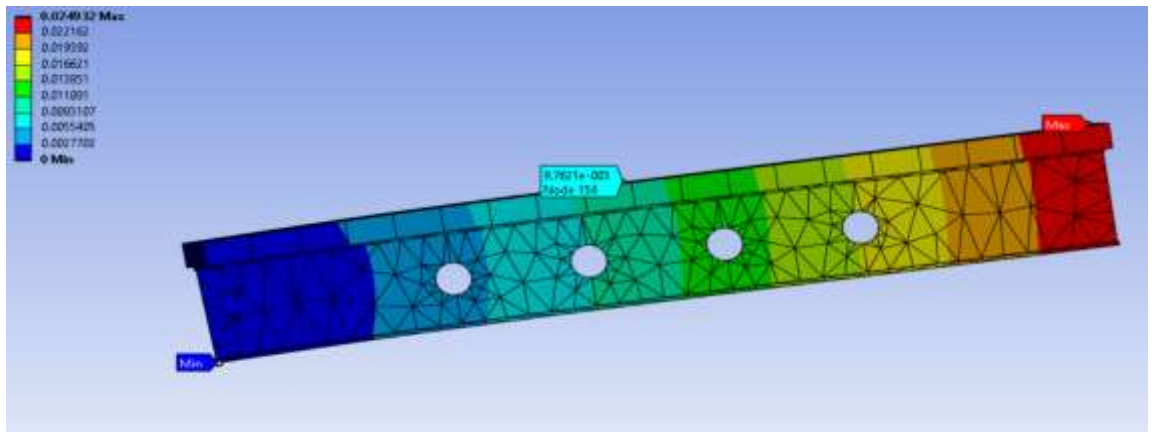
Tablo 12., durum 9’da modellenen kiriş ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan ayrıntıları göstermektedir.

Tablo 12. Programından alınan detaylar

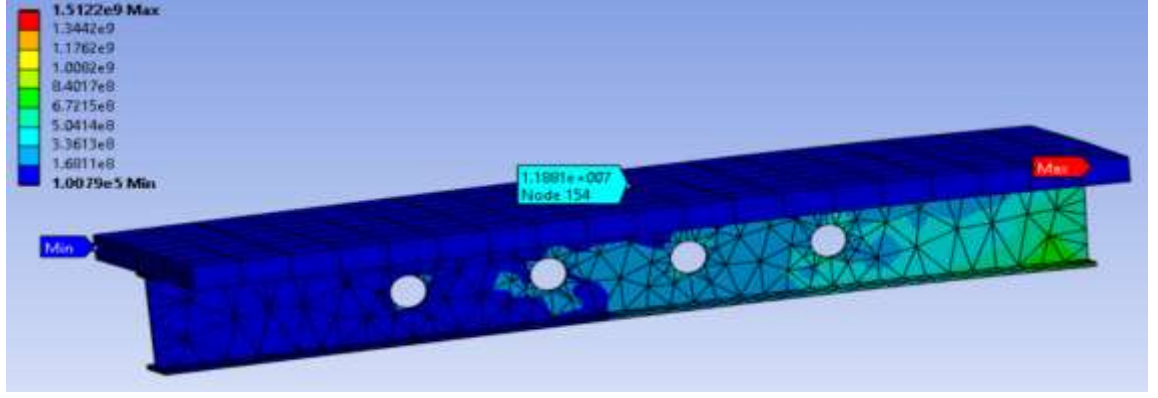
Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Doğrusal Olmayan Etkiler	Evet	
Termal Gerilme Etkileri	Evet	
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	5572	1064
Elemanlar	2663	133

Durum 10:

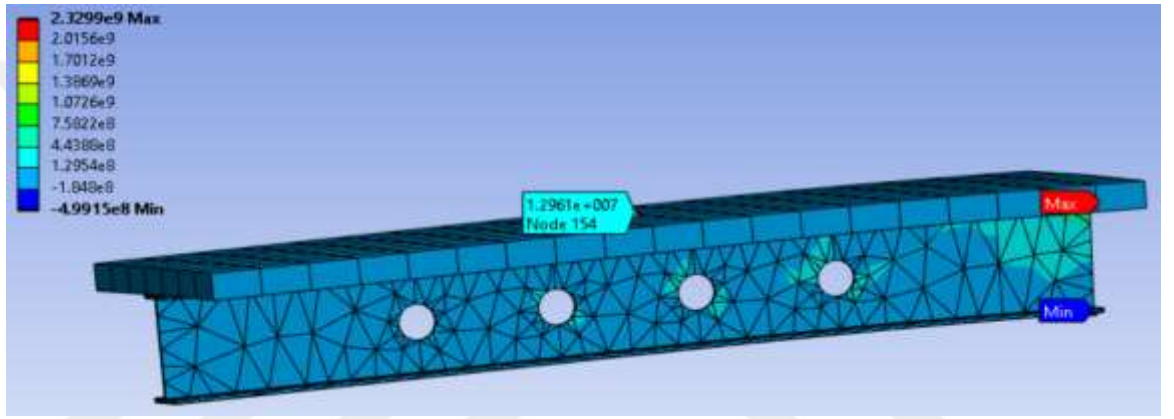
Bu durumda kompozit petek kirişin diğer özellikleri önceki örnek gibi alınmıştır, sadece deliklerin boyutları küçültülmüştür. Önceki durum ile kıyaslayarak yer-değiştirmenin azaldığını fark edilmiştir. Dairenin çapı 80 mm'dir ve kenarlardan uzaklığı 510 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 220 mm'dir. Aşağıdaki şekillerde (şekil 76-78), en büyük toplam yer değiştirme değeri , Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 76. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 77. Von Mises gerilmesi



Şekil 78. En büyük asal gerilme

Tablo 13, durum 10’da modellenen kiriş ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgileri göstermektedir.

Tablo 13. Programından alınan detaylı bilgileri

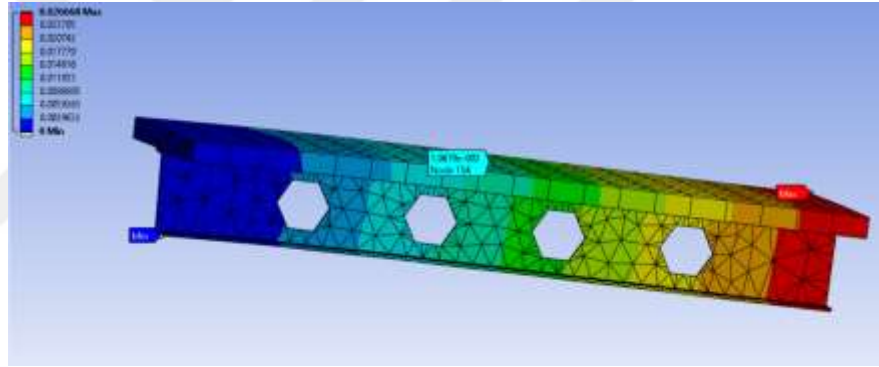
Malzeme			
Tanım	Yapısal Çelik	Beton	
Doğrusal Olmayan Etkiler	Evet		
Termal Gerilme Etkileri	Evet		
Sınırlar			
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler			
Düğümler	5206	1064	
Elemanlar	2593	133	

Von Mises gerilmesi değeri referans alınan altıncı duruma göre dokuzuncu durumda artmıştır, onuncu durumda aynı kalmıştır ama dokuzuncu durumun değerinden daha küçük çıkmıştır. En büyük asal gerilme değeri ise dokuzuncu durumda azalmıştır, onuncu durumda da azalmıştır ama dokuzuncu duruma göre daha fazlası çıkmıştır.

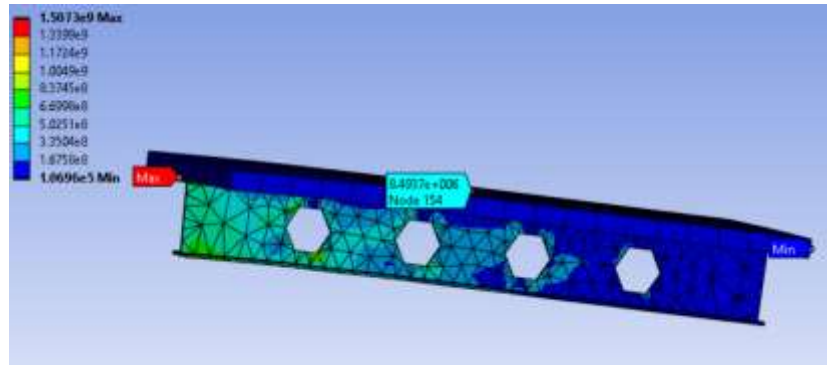
3.1.5 Ankastre-serbest mesnet koşulu altıgen boşluklu kompozit petek kirişler için boşluklar arasındaki mesafenin statik davranışa etkisi

Durum 11:

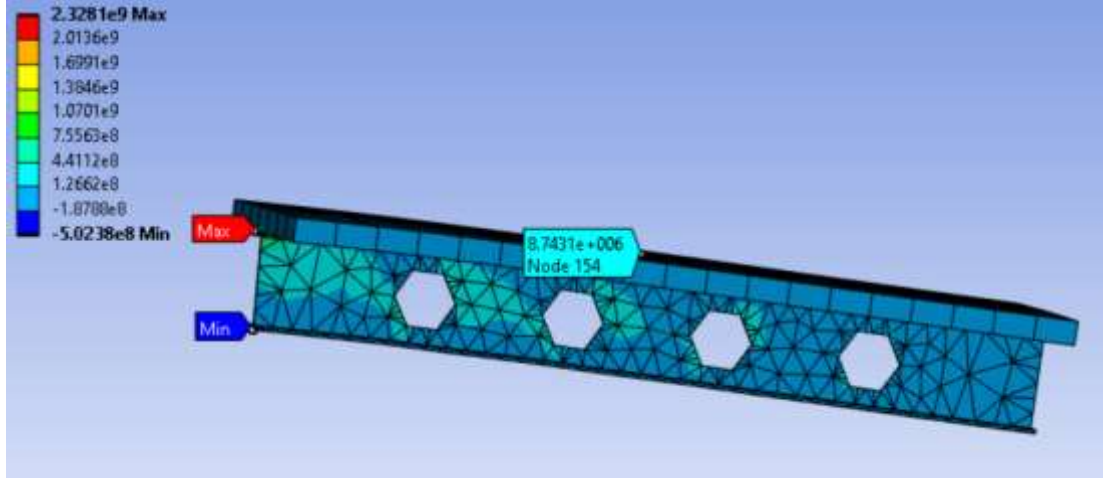
Ele alınan yapı elemanı, altıgen delikli ankastre-serbest mesnet koşulunda şeklinde tanımlanmıştır. Altıgenin ayrıtı 80 mm'dir ve kenarlardan uzaklığı 350 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 220 mm'dir. Aşağıdaki şekillerde (şekil 79-81)'de, en büyük toplam yer değiştirme değeri, Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 79. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 80. Von Mises gerilmesi



Şekil 81. En büyük asal gerilme

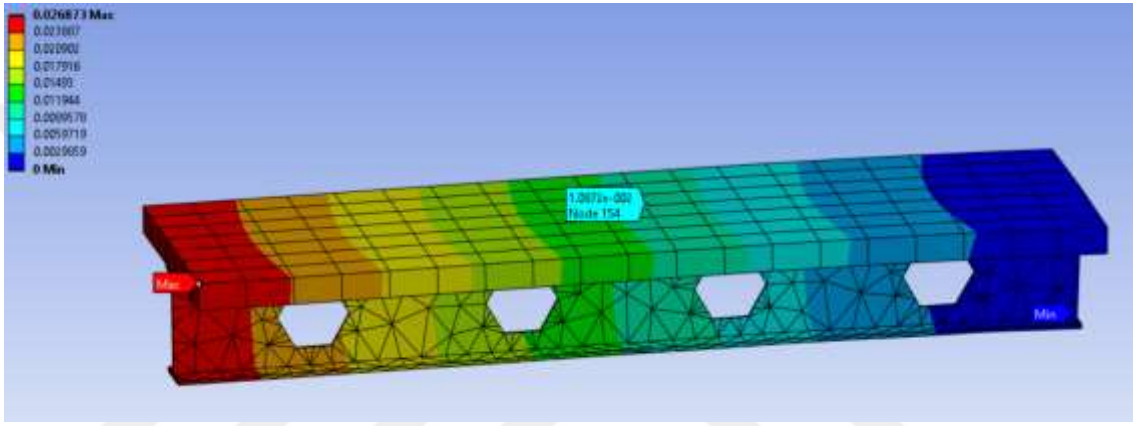
Durum 11 ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgiler aşağıda verilen tabloda (Tablo 14) özetlenmiştir.

Tablo 14. Programından alınan detaylar

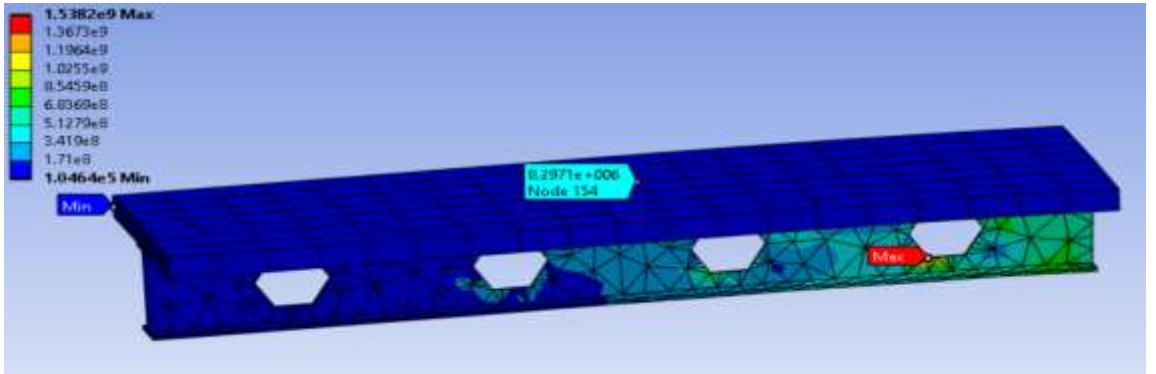
Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Doğrusal Olmayan Etkiler	Evet	
Termal Gerilme Etkileri	Evet	
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Özellikler		
Hacim	7.0246e-003 m ³	7.92e-002 m ³
Kütle	55.143 kg	182.16 kg
X Ağırlık Merkezi	6.5982e-018 m	-1.8253e-018 m
Y Ağırlık Merkezi	0.12005 m	0.27 m
Z Ağırlık Merkezi	1. m	
Atalet Momenti Ip1	19.443 kg·m ²	60.775 kg·m ²
Atalet Momenti Ip2	18.916 kg·m ²	67.332 kg·m ²
Atalet Momenti Ip3	0.61639 kg·m ²	6.6671 kg·m ²
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	5372	1064
Elemanlar	2584	133

Durum 12:

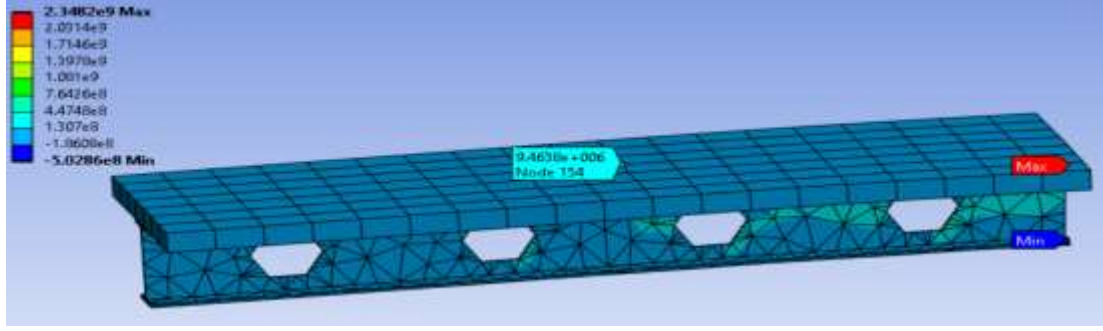
Bu durumda, kompozit petek kirişin diğer özellikleri önceki örnek gibi alınmıştır, sadece delikler arasındaki mesafeyi artırılmıştır. Yer-değiştirmenin arttığını fark edilmiştir. Altıgenin ayrıtı 80 mm'dir ve kenarlardan uzaklığı 230 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 300 mm'dir. Aşağıdaki şekillerde (şekil 82-84)'te, en büyük toplam yer değiştirme değeri, Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 82. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 83. Von Mises gerilmesi



Şekil 84. En büyük asal gerilme

Tablo 15, durum 12 ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan tüm ayrıntıları göstermektedir.

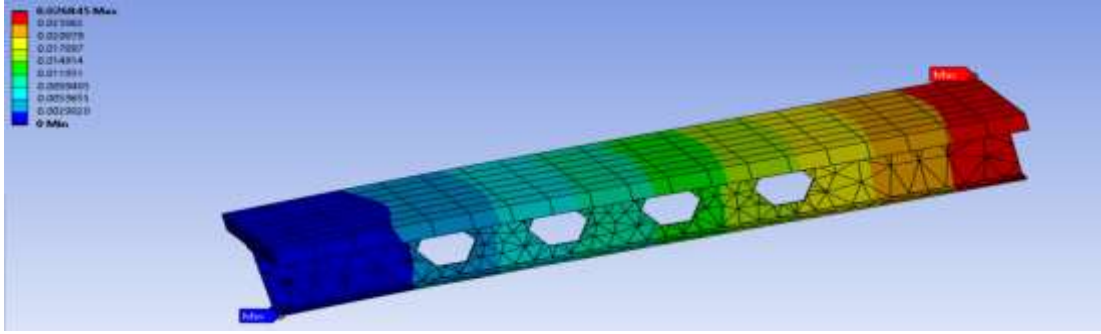
Tablo 15. Programından alınan bilgiler

Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Doğrusal Olmayan Etkiler	Evet	
Termal Gerilme Etkileri	Evet	
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Özellikler		
Hacim	7.0246e-003 m ³	7.92e-002 m ³
Kütle	55.143 kg	182.16 kg
X Ağırlık Merkezi	1.4357e-018 m	-1.8253e-018 m
Y Ağırlık Merkezi	0.12005 m	0.27 m
Z Ağırlık Merkezi	1. m	
Atalet Momenti Ip1	19.172 kg·m ²	60.775 kg·m ²
Atalet Momenti Ip2	18.644 kg·m ²	67.332 kg·m ²
Atalet Momenti Ip3	0.61639 kg·m ²	6.6671 kg·m ²
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	5306	1064
Elemanlar	2550	133

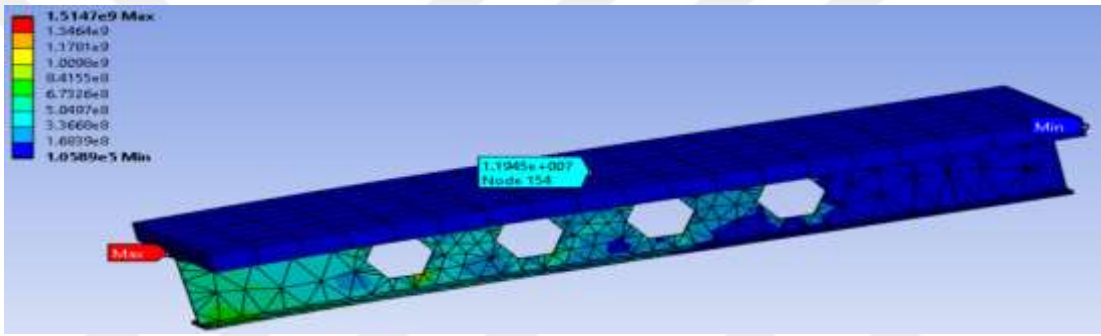
Durum 13:

Bu durumda, kompozit petek kirişin diğer özellikleri önceki örnek gibi alınmıştır, sadece delikler arasındaki mesafeyi azaltılmıştır. Önceki durum ile kıyaslayarak yer-değiştirmenin azaldığını fark edilmiştir. Altıgenin ayırıtı 80 mm'dir ve kenarlardan uzaklığı 530 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 140 mm'dir.

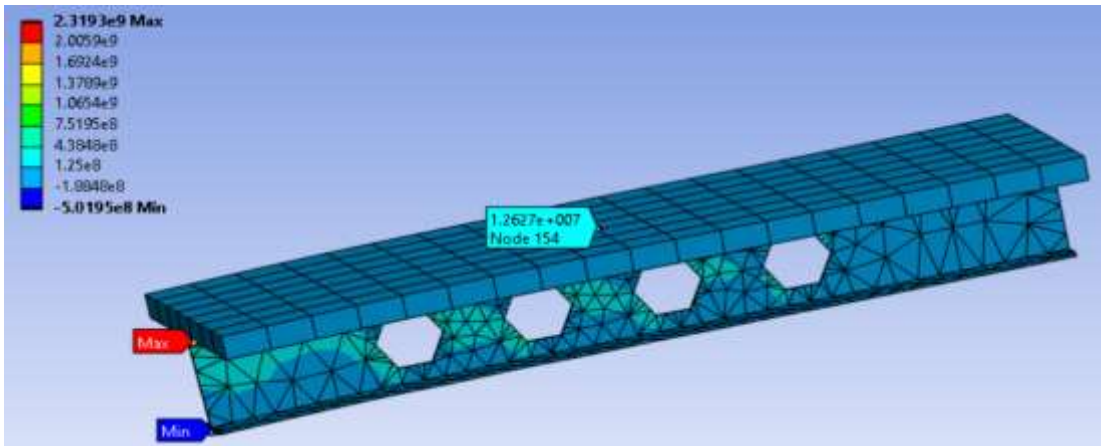
Aşağıdaki şekillerde (şekil 85-87)'de, en büyük toplam yer değiştirme değeri , Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 85. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 86. Von Mises gerilmesi



Şekil 87. En büyük asal gerilme

Tablo 16, durum 13 ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgileri göstermektedir.

Tablo 16. Programından alınan detaylar

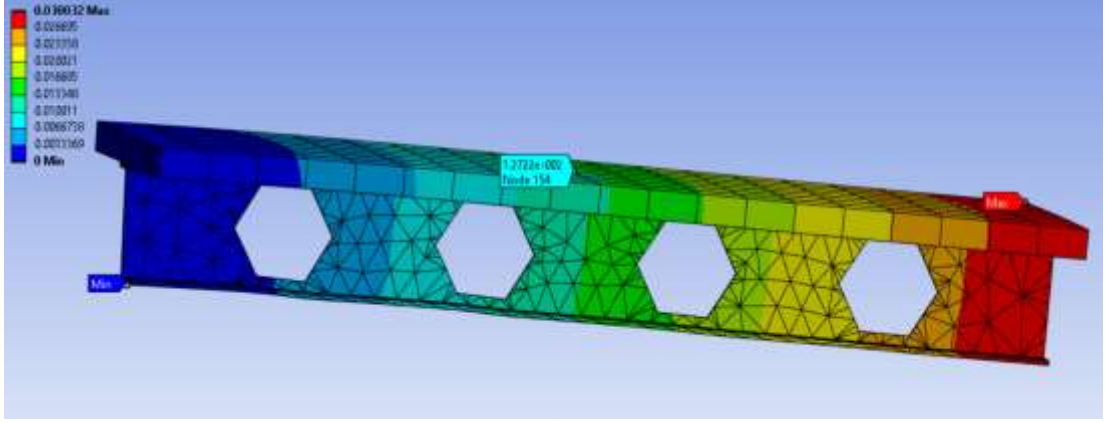
Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Doğrusal Olmayan Etkiler	Evet	
Termal Gerilme Etkileri	Evet	
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Özellikler		
Hacim	7.0246e-003 m ³	7.92e-002 m ³
Kütle	55.143 kg	182.16 kg
X Ağırlık Merkezi	-1.1243e-018 m	-1.8253e-018 m
Y Ağırlık Merkezi	0.12005 m	0.27 m
Z Ağırlık Merkezi	0.99648 m	1. m
Atalet Momenti Ip1	19.651 kg·m ²	60.775 kg·m ²
Atalet Momenti Ip2	19.124 kg·m ²	67.332 kg·m ²
Atalet Momenti Ip3	0.61639 kg·m ²	6.6671 kg·m ²
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümmler	5429	1064
Elemanlar	2627	133

Von Mises gerilmesi değeri, referans alınan onbirinci duruma göre on ikinci durumda artmıştır, on üçüncü durumda da artmıştır.En büyük asal gerilme değeri ise on ikinci durumda artmıştır, on üçüncü durumda ise azalmıştır.

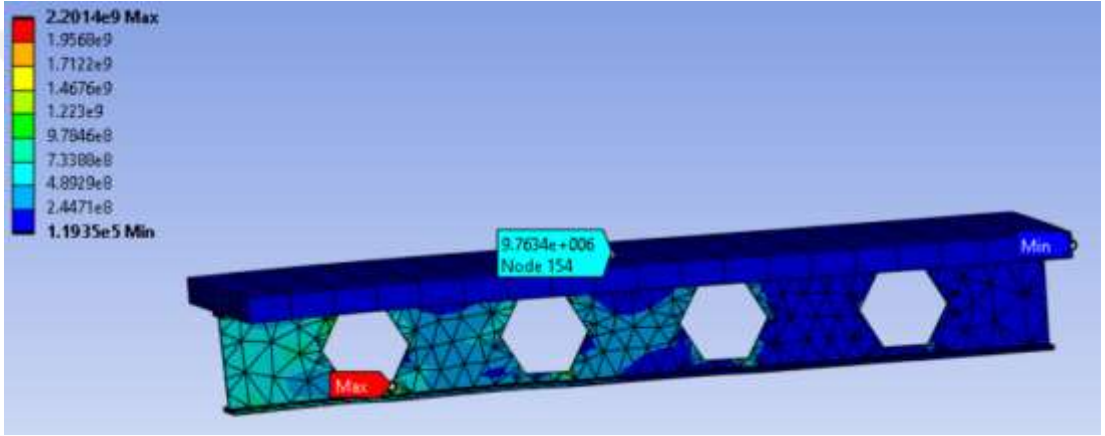
3.1.6 Ankastre-serbest mesnet koşullu altıgen boşluklu kompozit petek kirişler için boşluk ölçüsünün statik davranışa etkisi

Durum 14:

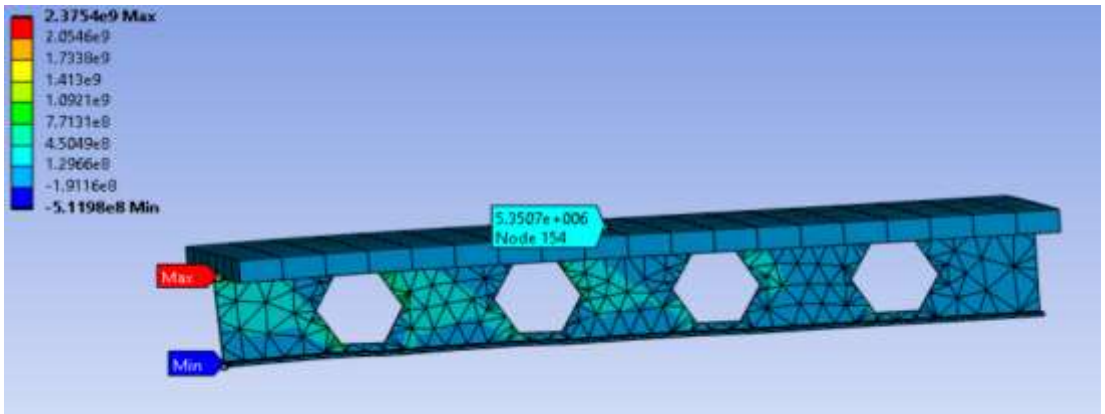
Bu durumda kompozit petek kirişin kirişin diğer özellikleri önceki örnek gibi alınmıştır, sadece deliklerin boyutları büyütülmüştür.Önceki durum ile kıyaslayarak yer-değiştirmenin arttığını fark edilmiştir. Altıgenin ayırıtı 108 mm'dir ve kenarlardan uzaklığı 238 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 220 mm'dir. Aşağıdaki şekillerde (şekil 88-90)'da, en büyük toplam yer değiştirme değeri , Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 88. En büyük toplam yer değıştirme değeri



Şekil 89. Von Mises gerilmesi



Şekil 90. En büyük asal gerilme

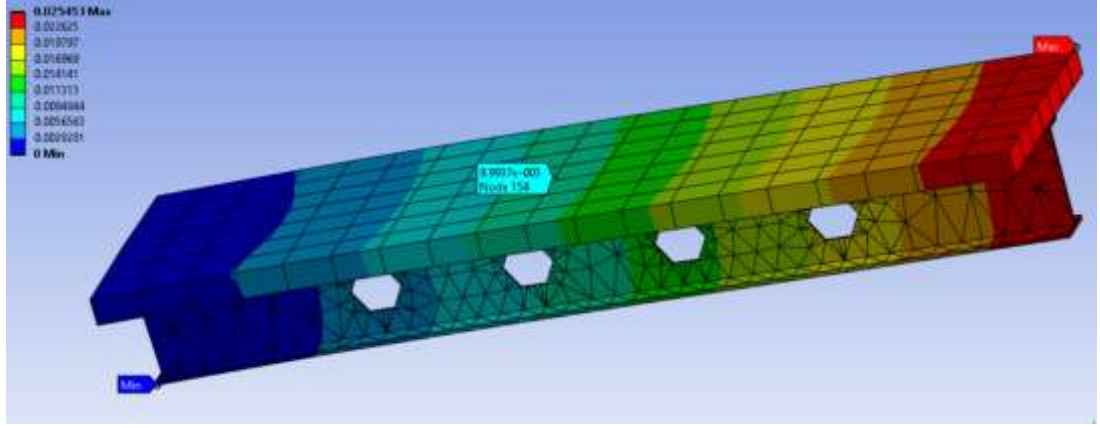
Durum 14'te kullanılan model ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgiler aşağıda verilen tabloda (Tablo 17) özetlenmiştir.

Tablo 17. Programından alınan detaylı bilgileri

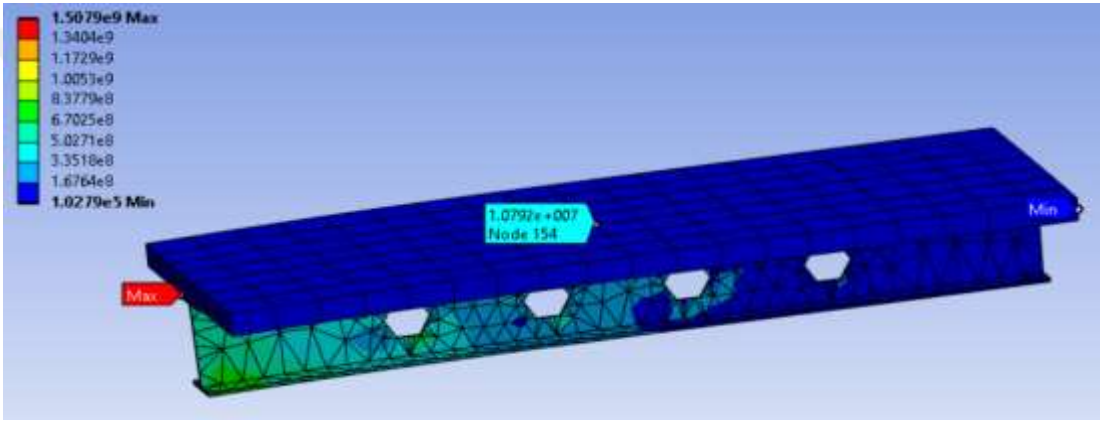
Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Doğrusal Olmayan Etkiler	Evet	
Termal Gerilme Etkileri	Evet	
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Özellikler		
Hacim	6.6854e-003 m ³	7.92e-002 m ³
Kütle	52.481 kg	182.16 kg
X Ağırlık Merkezi	-1.1789e-018 m	-1.8253e-018 m
Y Ağırlık Merkezi	0.11963 m	0.27 m
Z Ağırlık Merkezi	1. m	
Atalet Momenti Ip1	18.606 kg·m ²	60.775 kg·m ²
Atalet Momenti Ip2	18.088 kg·m ²	67.332 kg·m ²
Atalet Momenti Ip3	0.60629 kg·m ²	6.6671 kg·m ²
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	5856	1064
Elemanlar	2755	133

Durum 15:

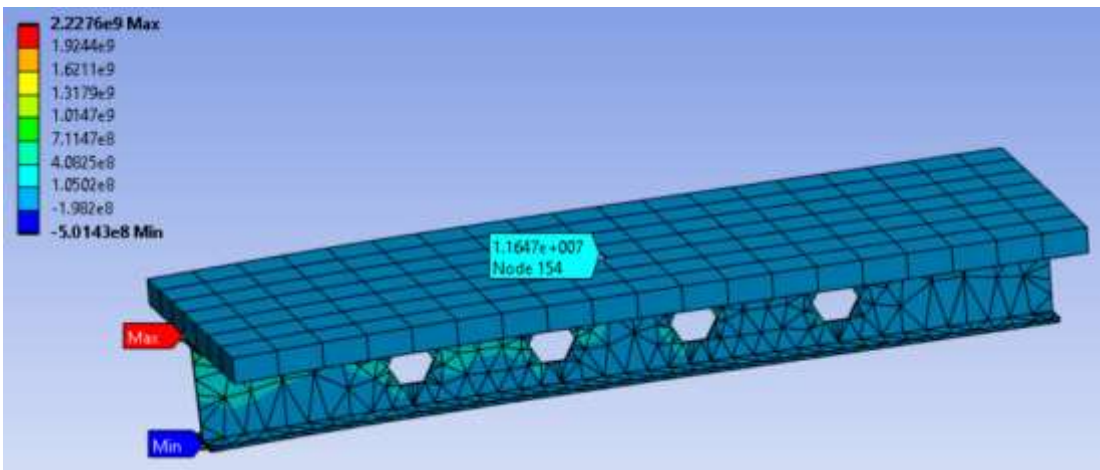
Bu durumda kompozit petek kirişin diğer özellikleri önceki örnek gibi alınmıştır,sadece deliklerin boyutları küçültülmüştür. Önceki durum ile kıyaslayarak yer-değiştirmenin azaldığını fark edilmiştir. Altıgenin ayırıtı 56 mm'dir ve kenarlardan uzaklığı 446 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 220 mm'dir. Aşağıdaki şekillerde (şekil 91-93)'te, en büyük toplam yer değiştirme değeri , Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 91. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 92. Von Mises gerilmesi



Şekil 93. En büyük asal gerilme

Durum 15'te kullanılan model ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgiler aşağıda verilen tabloda (Tablo 18) özetlenmiştir.

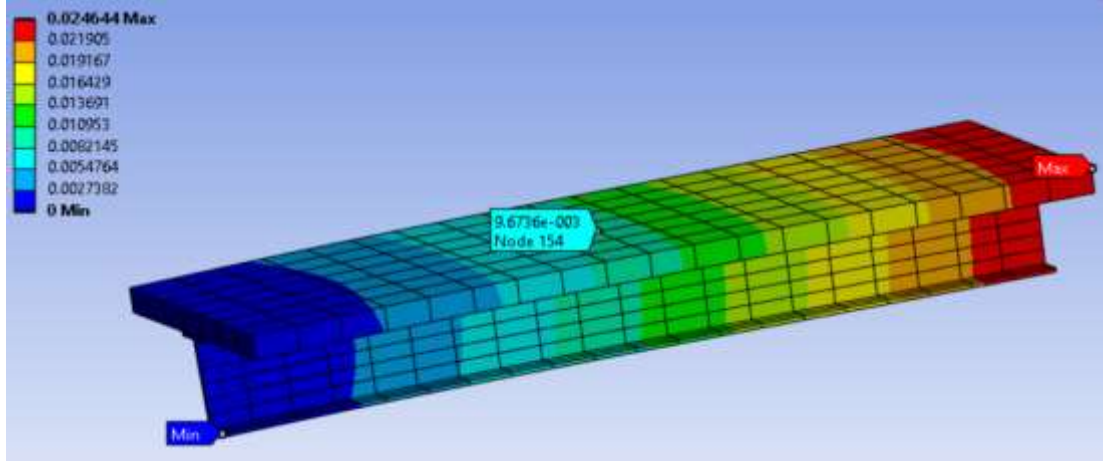
Tablo 18. Programından alınan detaylar

Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Doğrusal Olmayan Etkiler	Evet	
Termal Gerilme Etkileri	Evet	
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Özellikler		
Hacim	7.2349e-003 m ³	7.92e-002 m ³
Kütle	56.794 kg	182.16 kg
X Ağırlık Merkezi	6.3995e-018 m	-1.8253e-018 m
Y Ağırlık Merkezi	0.12033 m	0.27 m
Z Ağırlık Merkezi	1. m	
Atalet Momenti Ip1	19.816 kg·m ²	60.775 kg·m ²
Atalet Momenti Ip2	19.285 kg·m ²	67.332 kg·m ²
Atalet Momenti Ip3	0.61946 kg·m ²	6.6671 kg·m ²
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	5576	1064
Elemanlar	2661	133

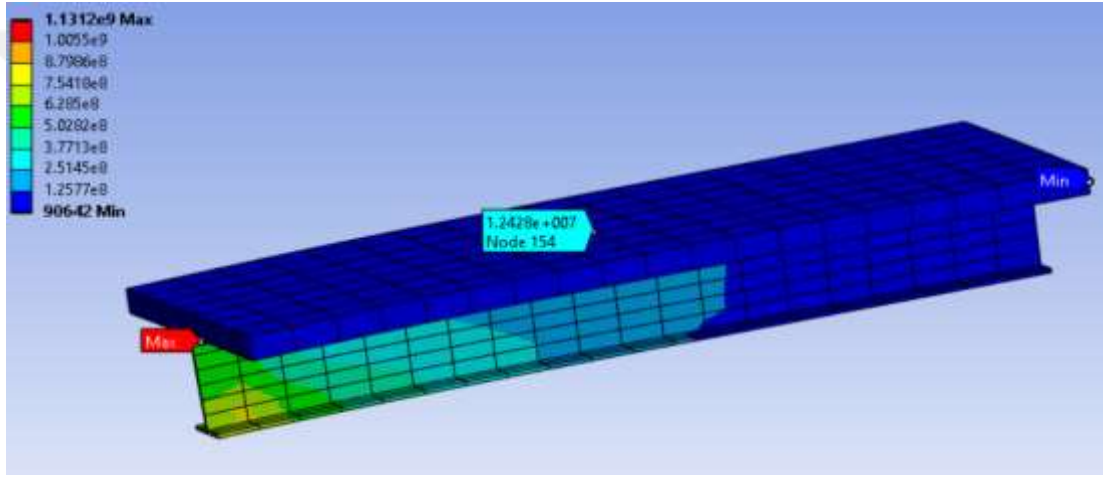
Von Mises gerilmesi değeri, referans alınan onbirinci duruma göre on dördüncü durumda artmıştır, on beşinci durumda da benzer şekilde artmıştır,ama on dördüncü duruma göre daha küçük çıkmıştır.En büyük asal gerilme değeri ise on dördüncü durumda artmıştır, on beşinci durumda azalmıştır.

Durum 16:

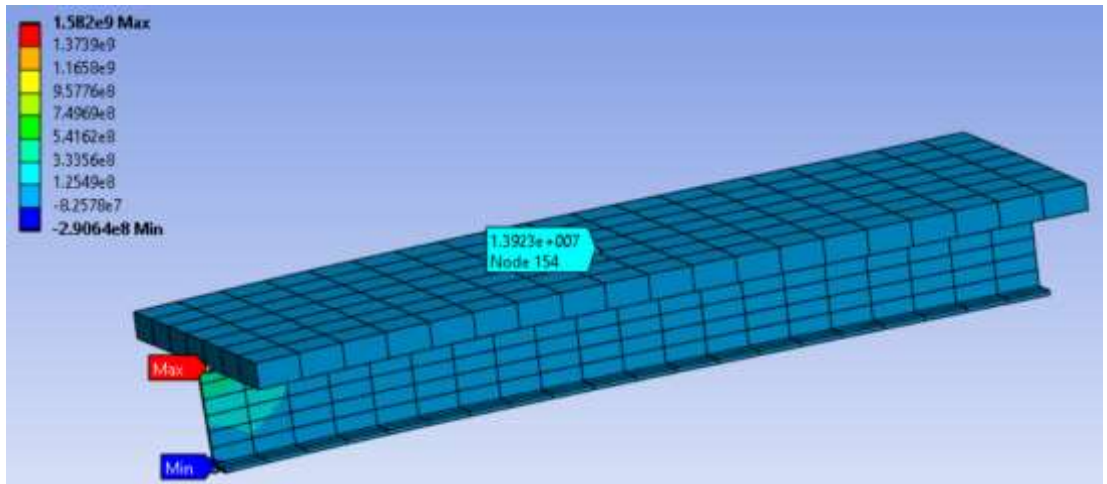
Bu durumda kiriş aynı boyutlara sahiptir ancak boşluksuzdur. Aşağıdaki şekillerde (şekil 94-96)'da, en büyük toplam yer değiştirme değeri , Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 94. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 95. Von Mises gerilmesi



Şekil 96. En büyük asal gerilme

Durum 16’de kullanılan model ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgiler aşağıda verilen tabloda (Tablo 19) özetlenmiştir.

Tablo 19. Programından alınan detaylı bilgileri

Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Doğrusal Olmayan Etkiler	Evet	
Termal Gerilme Etkileri	Evet	
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Özellikler		
Hacim	7.3123e-003 m ³	7.92e-002 m ³
Kütle	58.38 kg	182.16 kg
Atalet Momenti Ip1	20.036 kg·m ²	60.775 kg·m ²
Atalet Momenti Ip2	19.504 kg·m ²	67.332 kg·m ²
Atalet Momenti Ip3	0.62072 kg·m ²	6.6671 kg·m ²
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümmler	2299	1064
Elemanlar	320	133

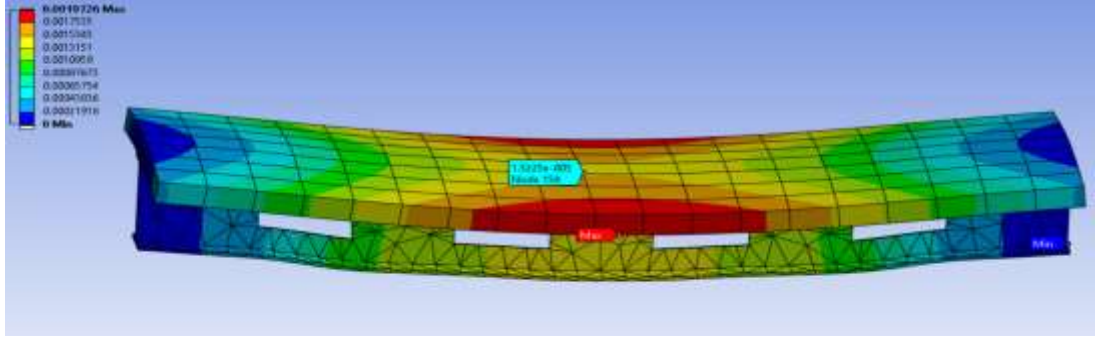
Bu durumda yer değiştirmenin, Von Mises gerilmesinin ve en büyük asal gerilmenin en düşük değerleri çıkmıştır.

3.1.7 Ankastre-ankastre mesnet koşullu dikdörtgen boşluklu kompozit petek kirişler için boşluklar arasındaki mesafenin statik davranışa etkisi

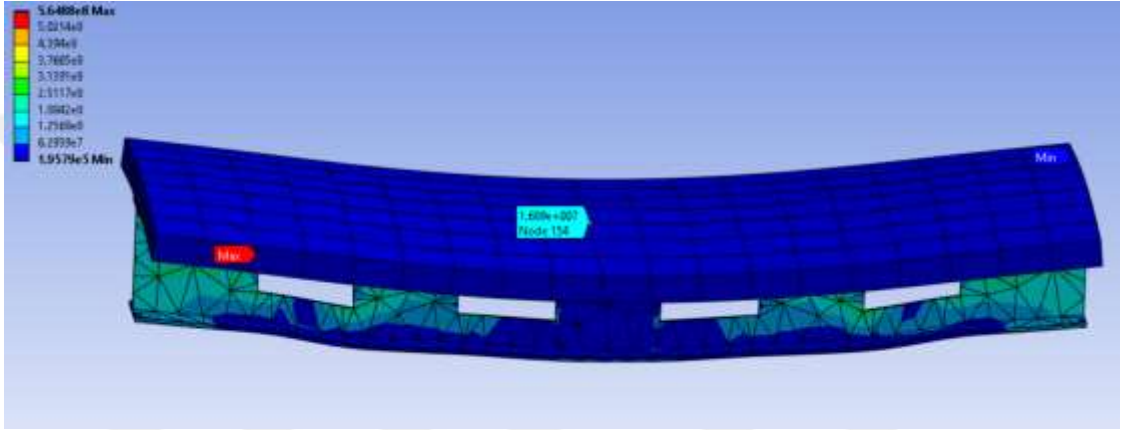
Durum 17:

Ele alınan yapı elemanı, dikdörtgen delikli ankastre-ankastre mesnet koşulu olarak tanımlanmıştır. Boşluğun boyutları: 204 mm x 80 mm ve kenarlardan uzaklığı 262 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 220 mm'dir.

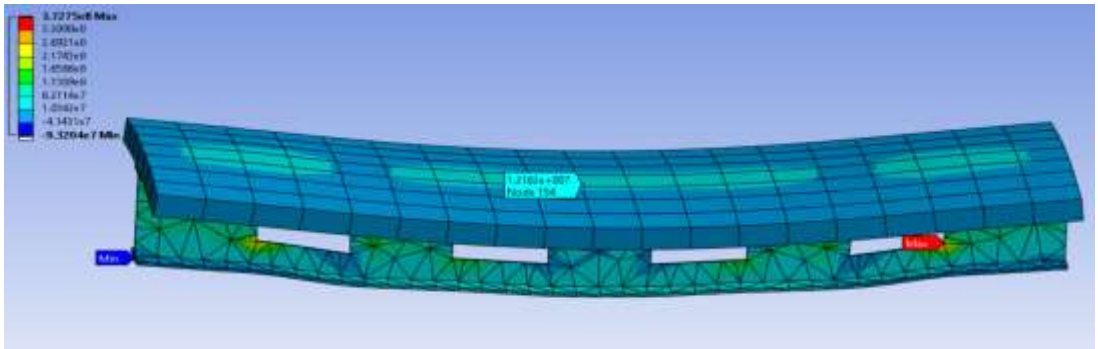
Aşağıdaki şekillerde (şekil 97-99)'da, en büyük toplam yer değiştirme değeri , Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 97. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 98. Von Mises gerilmesi



Şekil 99. En büyük asal gerilme

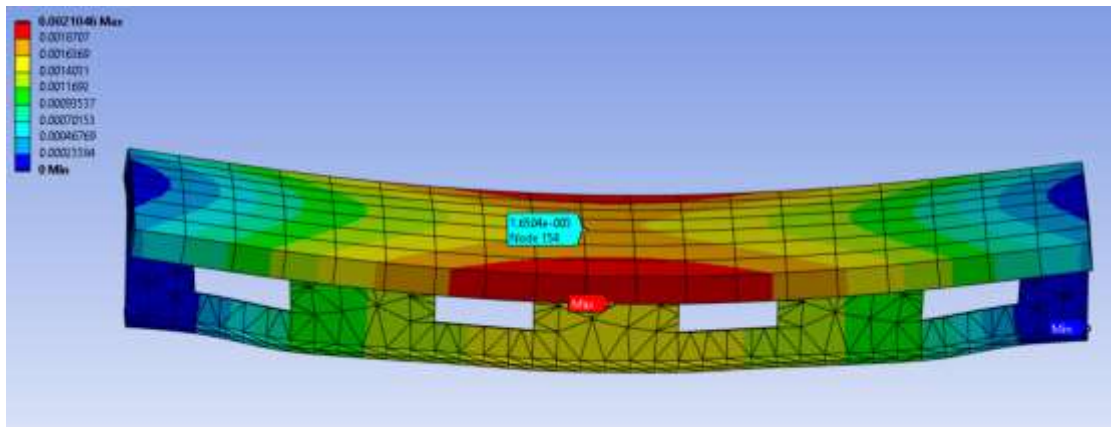
Durum 17’de kullanılan model ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgiler aşağıda verilen tabloda (Tablo 20) özetlenmiştir.

Tablo 20. Programından alınan bilgiler

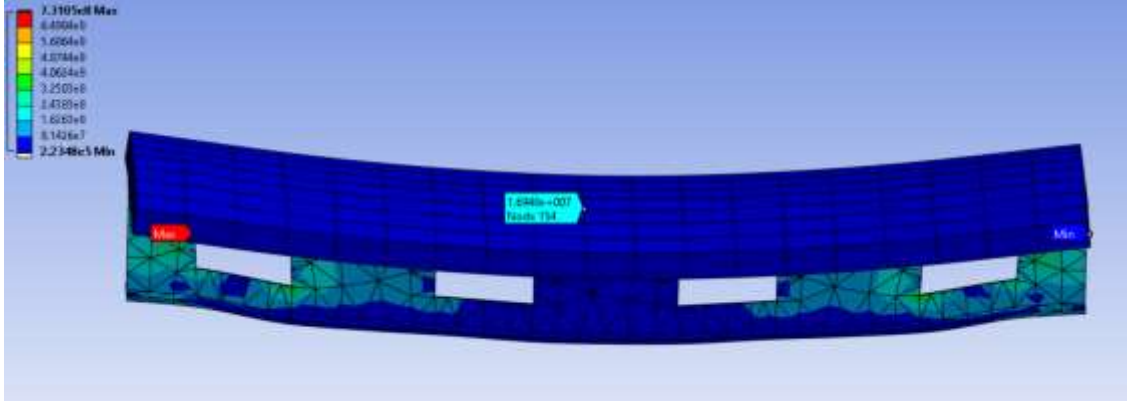
Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Doğrusal Olmayan Etkiler	Evet	
Termal Gerilme Etkileri	Evet	
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	4997	1064
Elemanlar	2415	133

Durum 18:

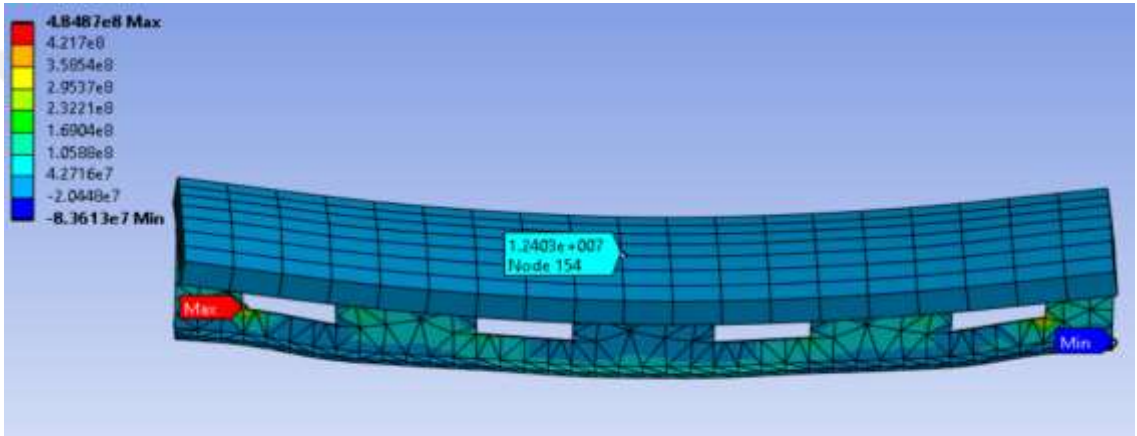
Bu durumda, kompozit petek kirişin diğer özellikleri önceki örnek gibi alınmıştır, sadece delikler arasındaki mesafeyi artırılmıştır. Yer-değiştirmenin arttığını fark edilmiştir. Boşluğun boyutları: 204 mm x 80 mm ve kenarlardan uzaklığı 142 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 300 mm'dir. Aşağıdaki şekillerde (şekil 100-102)’de, en büyük toplam yer değiştirme değeri, Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 100. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 101. Von Mises gerilmesi



Şekil 102. En büyük asal gerilme

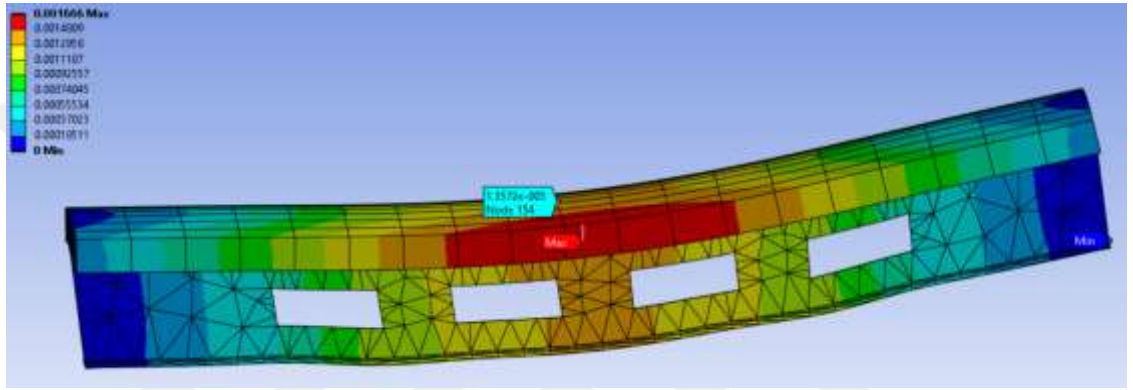
Durum 18’de kullanılan model ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgiler aşağıda verilen tabloda (Tablo 21) özetlenmiştir.

Tablo 21. Programından alınan detaylar

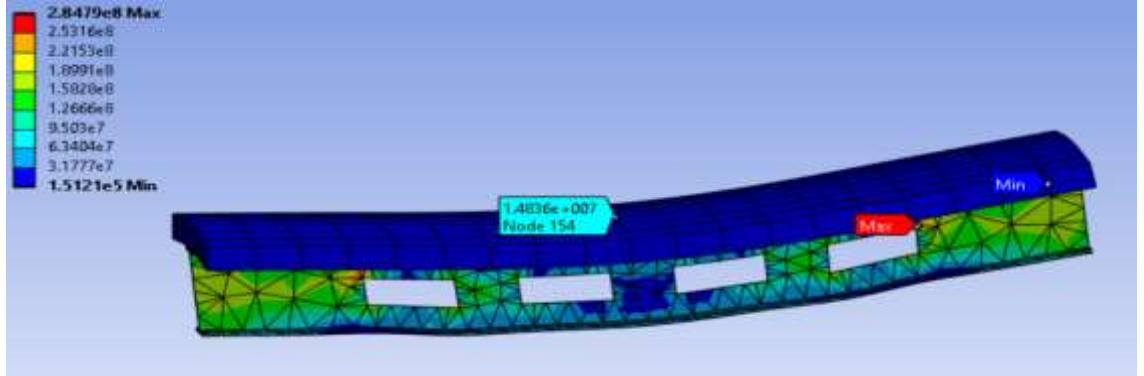
Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Doğrusal Olmayan Etkiler	Evet	
Termal Gerilme Etkileri	Evet	
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	5066	1064
Elemanlar	2447	133

Durum 19:

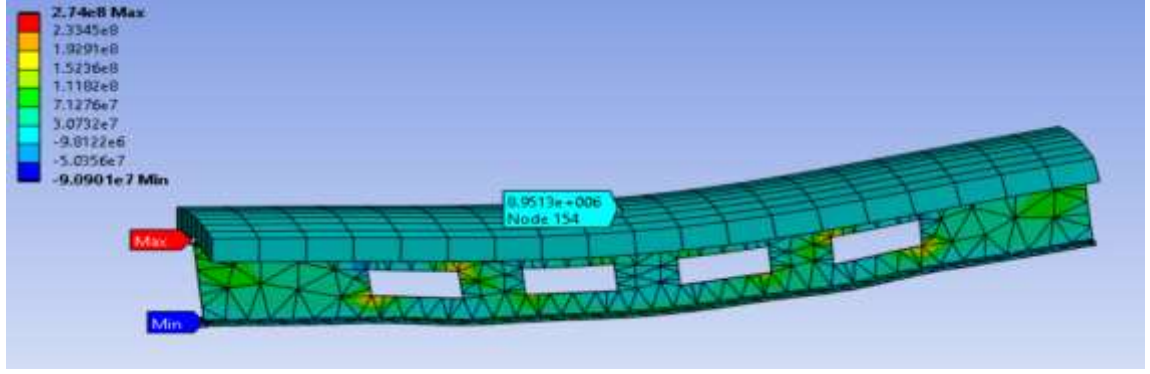
Bu durumda, kompozit petek kirişin diğer özellikleri önceki örnek gibi alınmıştır, sadece delikler arasındaki mesafeyi azaltılmıştır. Önceki durum ile kıyaslayarak yer-değiştirmenin azaldığını fark edilmiştir. Boşluğun boyutları: 204 mm x 80 mm ve kenarlardan uzaklığı 382 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 140 mm'dir. Aşağıdaki şekillerde (şekil 103-105)'te, en büyük toplam yer değiştirme değeri, Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 103. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 104. Von Mises gerilmesi



Şekil 105. En büyük asal gerilme

Tablo 22., bu uygulama ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan tüm ayrıntıları göstermektedir.

Tablo 22. Programından alınan detaylar

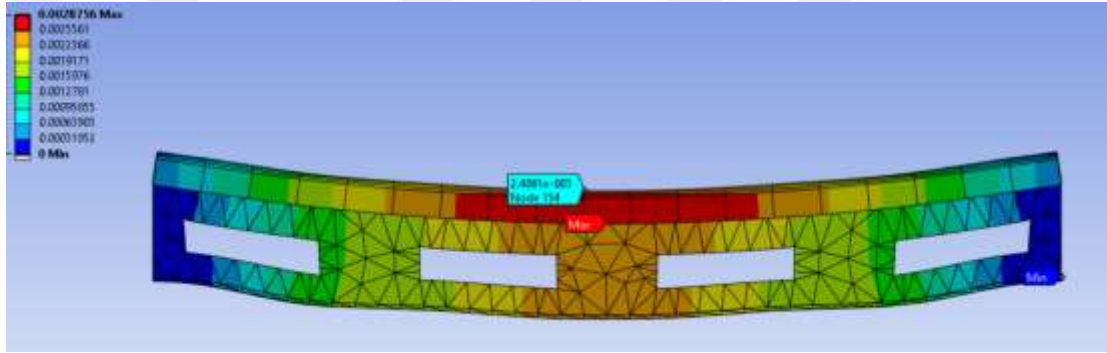
Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Doğrusal Olmayan Etkiler		Evet
Termal Gerilme Etkileri		Evet
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.9e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Özellikler		
Hacim	7.0322e-003 m ³	9.108e-002 m ³
Kütle	55.203 kg	209.48 kg
X Ağırlık Merkezi	4.0166e-018 m	1.2697e-017 m
Y Ağırlık Merkezi	0.12059 m	0.2745 m
Z Ağırlık Merkezi	1. m	
Atalet Momenti Ip1	19.553 kg·m ²	69.911 kg·m ²
Atalet Momenti Ip2	19.023 kg·m ²	77.432 kg·m ²
Atalet Momenti Ip3	0.61867 kg·m ²	7.6874 kg·m ²
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	4963	1064
Elemanlar	2399	133

Von Mises gerilmesi değeri, referans alınan on yedinci duruma göre on sekizinci durumda artmıştır, on dokuzuncu durumda azalmıştır. En büyük asal gerilme değeri ise on sekizinci durumda azalmıştır, on dokuzuncu durumda benzer şekilde azaldığını görülmüştür.

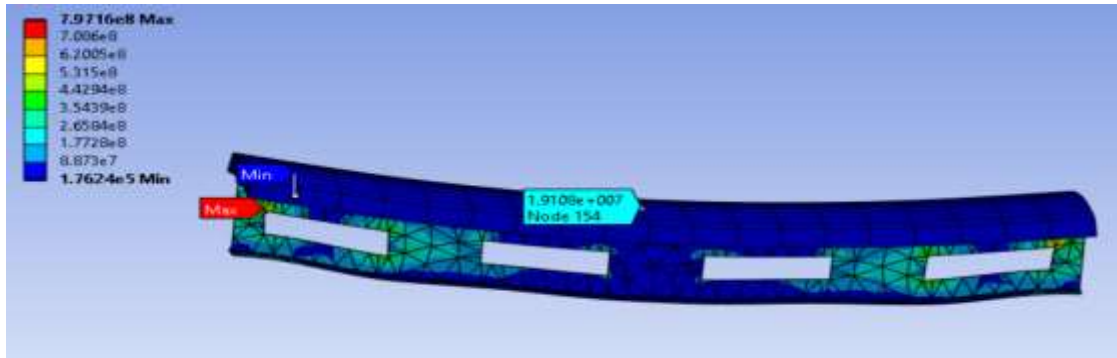
3.1.8 Ankastre-ankastre mesnet koşulu dikdörtgen boşluklu kompozit petek kirişler için boşluk ölçüsünün statik davranışa etkisi

Durum 20:

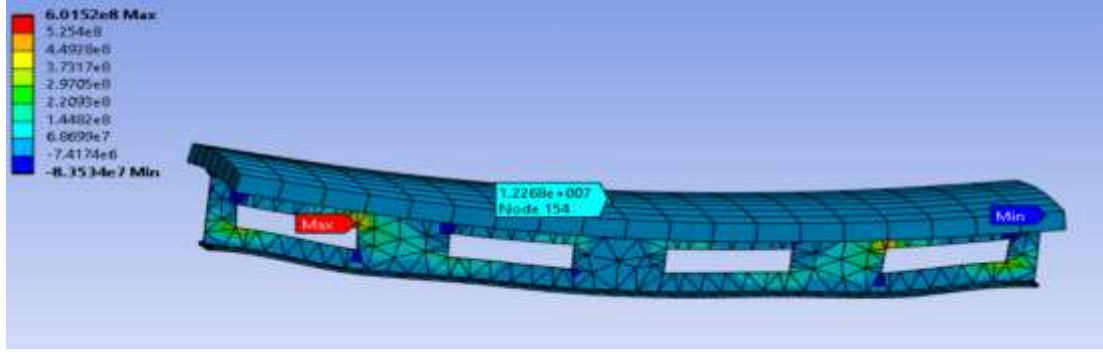
Bu senaryoda kompozit petek kirişin diğer özellikleri önceki örnek gibi alınmıştır, sadece deliklerin boyutları büyütülmüştür. Önceki durum ile kıyaslayarak yer-değiştirmenin arttığını fark edilmiştir. Boşluğun boyutları: 300 mm x 80 mm ve kenarlardan uzaklığı 70 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 220 mm'dir. Aşağıdaki şekillerde (şekil 106-108)'de, en büyük toplam yer değiştirme değeri, Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 106. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 107. Von Mises gerilmesi



Şekil 108. En büyük asal gerilme

Durum 20’de kullanılan model ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgiler aşağıda verilen tabloda (Tablo 23) özetlenmiştir.

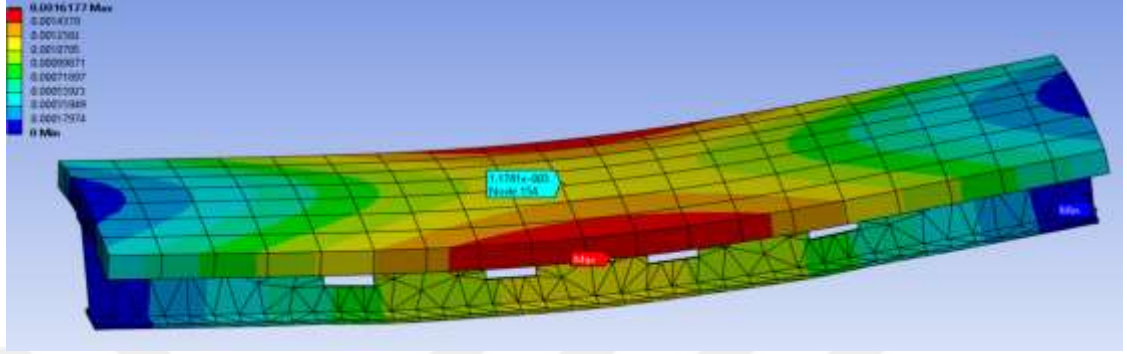
Tablo 23. Programından alınan detaylı bilgileri

Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Doğrusal Olmayan Etkiler	Evet	
Termal Gerilme Etkileri	Evet	
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Özellikler		
Hacim	6.8418e-003 m ³	7.92e-002 m ³
Kütle	53.708 kg	182.16 kg
X Ağırlık Merkezi	4.1203e-018 m	-1.8253e-018 m
Y Ağırlık Merkezi	0.12089 m	0.27 m
Z Ağırlık Merkezi	1. m	
Atalet Momenti Ip1	18.419 kg·m ²	60.775 kg·m ²
Atalet Momenti Ip2	17.89 kg·m ²	67.332 kg·m ²
Atalet Momenti Ip3	0.61769 kg·m ²	6.6671 kg·m ²
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	4944	1064
Elemanlar	2349	133

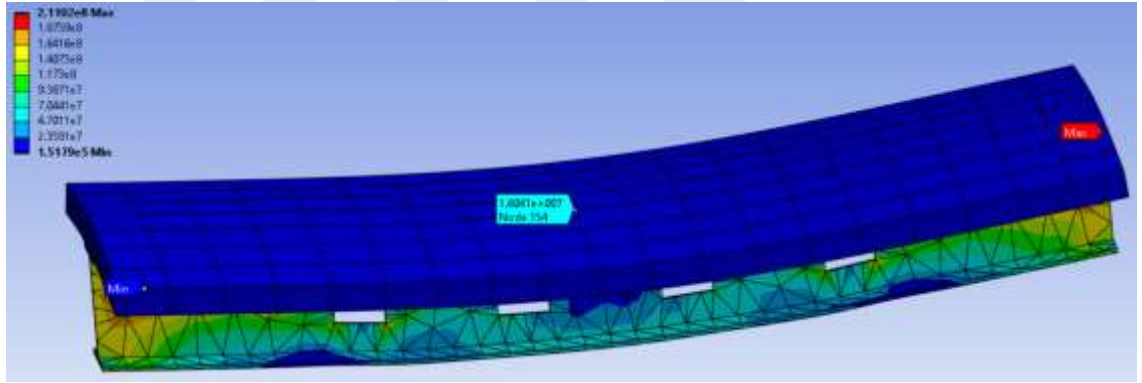
Durum 21:

Bu durumda kompozit petek kirişin diğer özellikleri önceki örnek gibi alınmıştır,sadece deliklerin boyutunu küçültülmüştür. Önceki durum ile kıyaslayarak yer-değiştirmenin azaldığını fark edilmiştir. Boşluğun boyutları: 100 mm x 80 mm ve

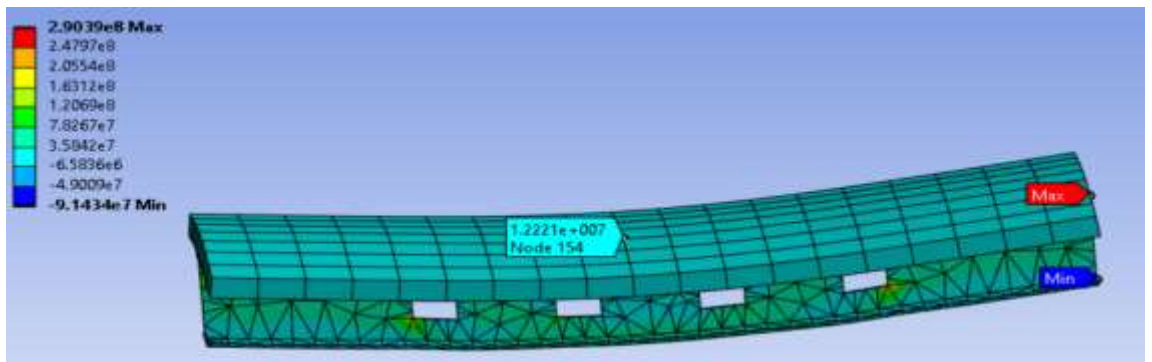
kenarlardan uzaklığı 470 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 220 mm'dir. Aşağıdaki şekillerde (şekil 109-111)'de, en büyük toplam yer değiştirme değeri, Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 109. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 110. Von Mises gerilmesi



Şekil 111. En büyük asal gerilme

Durum 21’de kullanılan model ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgiler aşağıda verilen tabloda (Tablo 24) özetlenmiştir.

Tablo 24. Programından alınan detaylar

Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Doğrusal Olmayan Etkiler	Evet	
Termal Gerilme Etkileri	Evet	
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Özellikler		
Hacim	7.2386e-003 m ³	7.92e-002 m ³
Kütle	56.823 kg	182.16 kg
X Ağırlık Merkezi	3.897e-018 m	-1.8253e-018 m
Y Ağırlık Merkezi	0.12028 m	0.27 m
Z Ağırlık Merkezi	1. m	
Atalet Momenti Ip1	19.835 kg·m ²	60.775 kg·m ²
Atalet Momenti Ip2	19.304 kg·m ²	67.332 kg·m ²
Atalet Momenti Ip3	0.61972 kg·m ²	6.6671 kg·m ²
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	4803	1064
Elemanlar	2322	133

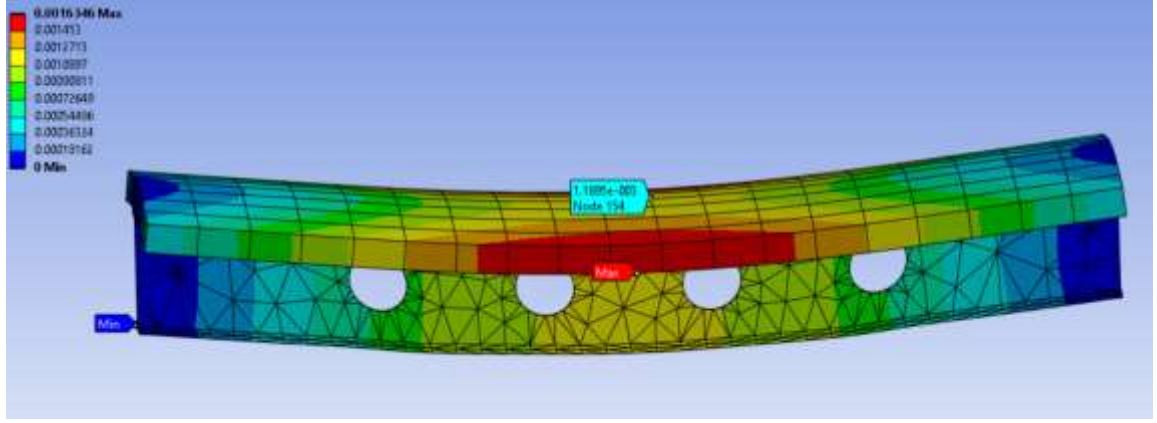
Von Mises gerilmesi değeri, referans alınan on yedinci duruma göre yirminci durumda azalmıştır, yirmi birinci durumda da azalmıştır,ama yirminci duruma göre daha büyük çıkmıştır.En büyük asal gerilme değeri ise yirminci durumda azalmıştır, yirmi birinci durumda benzer şekilde azaldığını görülmüştür.

3.1.9 Ankastre-ankastre mesnet koşullu dairesel boşluklu kompozit petek kirişler için boşluklar arasındaki mesafenin statik davranışa etkisi

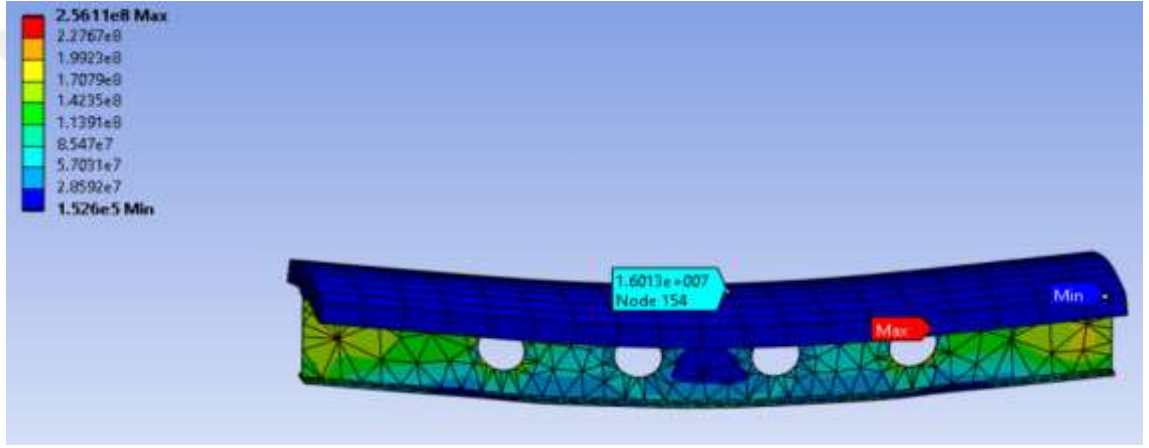
Durum 22:

Ele alınan yapı elemanı, daire delikli ankastre-ankastre mesnet koşulunda şeklinde tanımlanmıştır.Dairenin çapı 118 mm'dir ve kenarlardan uzaklığı 434 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 220 mm'dir.

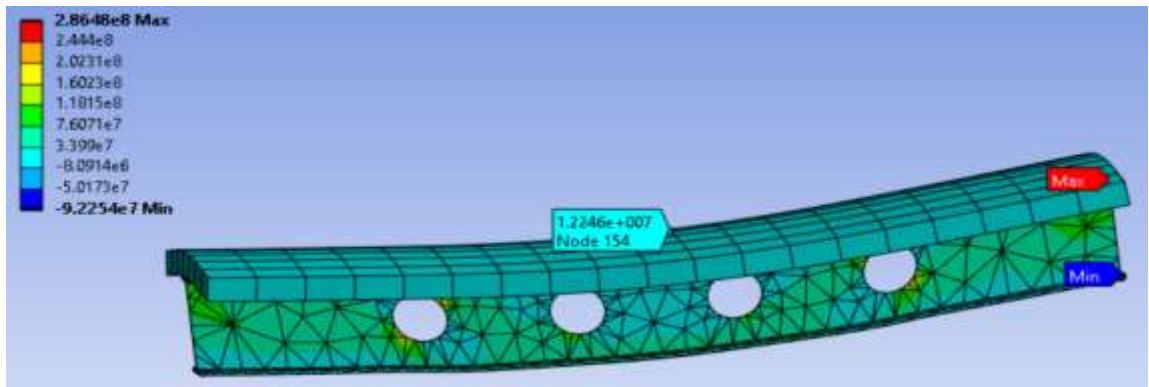
Aşağıdaki şekillerde (şekil 112-114)’te, en büyük toplam yer değiştirme değeri, Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 112. En büyük toplam yer değıştirme değeri



Şekil 113. Von Mises gerilmesi



Şekil 114. En büyük asal gerilme

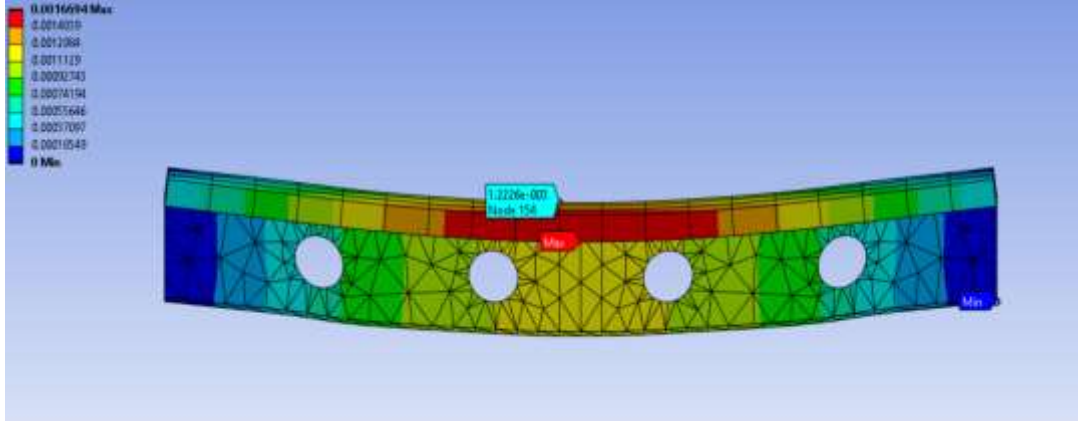
Durum 22’de kullanılan model ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgiler aşağıda verilen tabloda (Tablo 25) özetlenmiştir.

Tablo 25. Programından alınan bilgiler

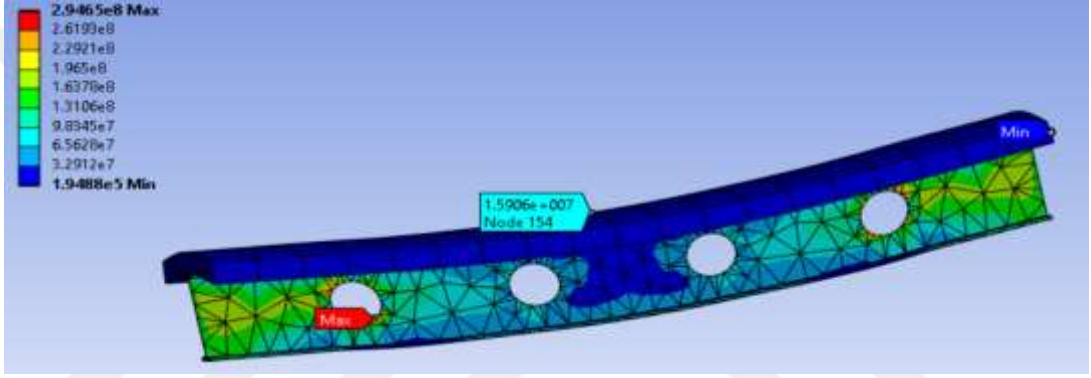
Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Doğrusal Olmayan Etkiler	Evet	
Termal Gerilme Etkileri	Evet	
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Özellikler		
Hacim	7.1658e-003 m ³	7.92e-002 m ³
Kütle	56.251 kg	182.16 kg
X Ağırlık Merkezi	-1.0734e-018 m	-1.8253e-018 m
Y Ağırlık Merkezi	0.11967 m	0.27 m
Z Ağırlık Merkezi	1. m	
Atalet Momenti Ip1	19.73 kg·m ²	60.775 kg·m ²
Atalet Momenti Ip2	19.2 kg·m ²	67.332 kg·m ²
Atalet Momenti Ip3	0.61871 kg·m ²	6.6671 kg·m ²
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	5216	1064
Elemanlar	2530	133

Durum 23:

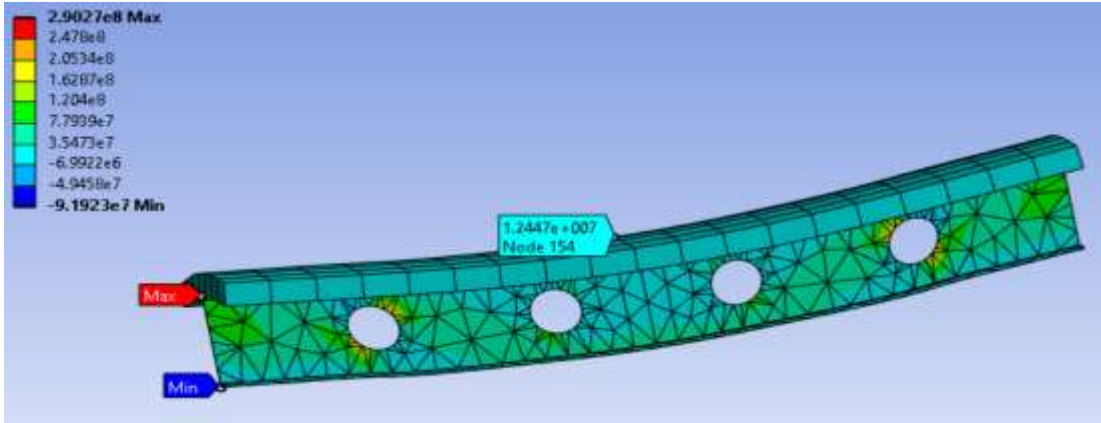
Bu durumda, kompozit petek kirişin diğer özellikleri önceki örnek gibi alınmıştır, sadece delikler arasındaki mesafeyi artırılmıştır. Deformasyonun arttığını fark edilmiştir. Dairenin çapı 118 mm'dir ve kenarlardan uzaklığı 314 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 300 mm'dir. Aşağıdaki şekillerde (şekil 115-117)'de, en büyük toplam yer değiştirme değeri, Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 115. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 116. Von Mises gerilmesi



Şekil 117. En büyük asal gerilme

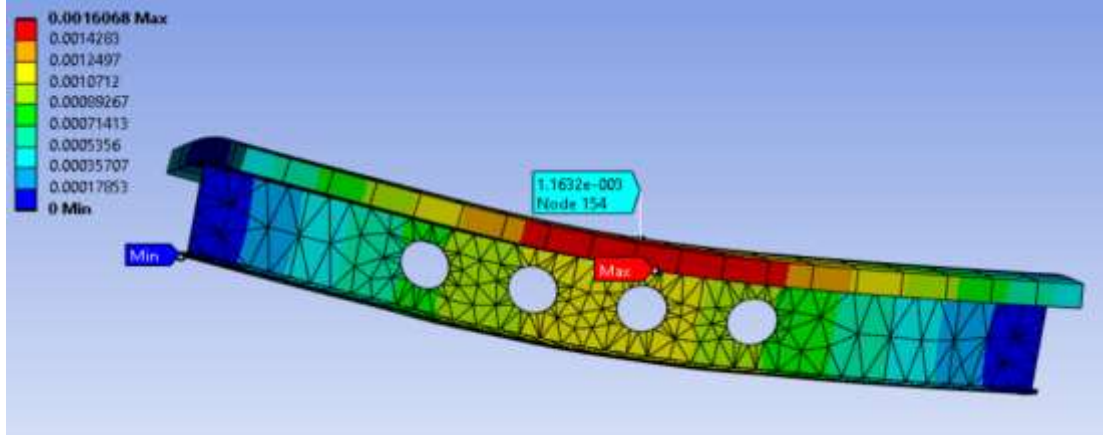
Tablo 26. bu uygulama ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan tüm ayrıntıları göstermektedir.

Tablo 26. Programından alınan detaylar

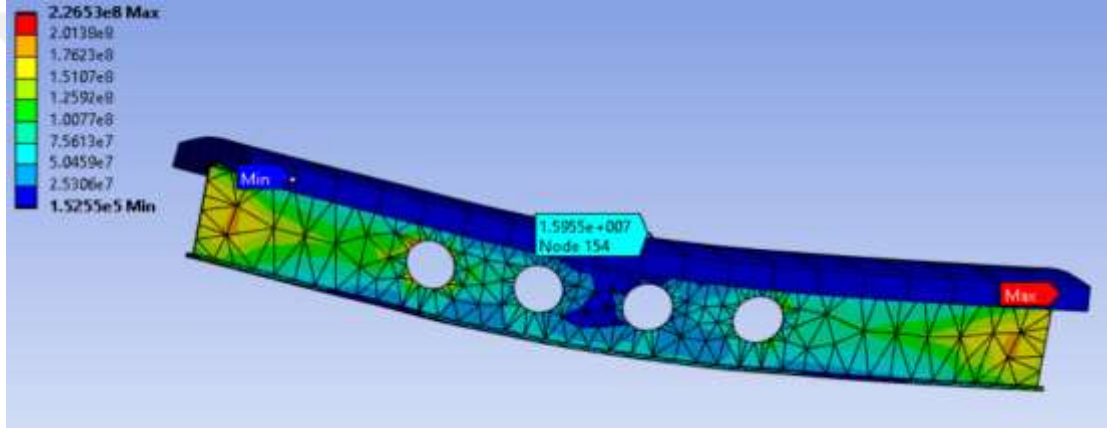
Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Doğrusal Olmayan Etkiler	Evet	
Termal Gerilme Etkileri	Evet	
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Özellikler		
Hacim	7.1658e-003 m ³	7.92e-002 m ³
Kütle	56.251 kg	182.16 kg
X Ağırlık Merkezi	3.9413e-018 m	-1.8253e-018 m
Y Ağırlık Merkezi	0.11967 m	0.27 m
Z Ağırlık Merkezi	1. m	
Atalet Momenti Ip1	19.57 kg·m ²	60.775 kg·m ²
Atalet Momenti Ip2	19.04 kg·m ²	67.332 kg·m ²
Atalet Momenti Ip3	0.61871 kg·m ²	6.6671 kg·m ²
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	5292	1064
Elemanlar	2582	133

Durum 24:

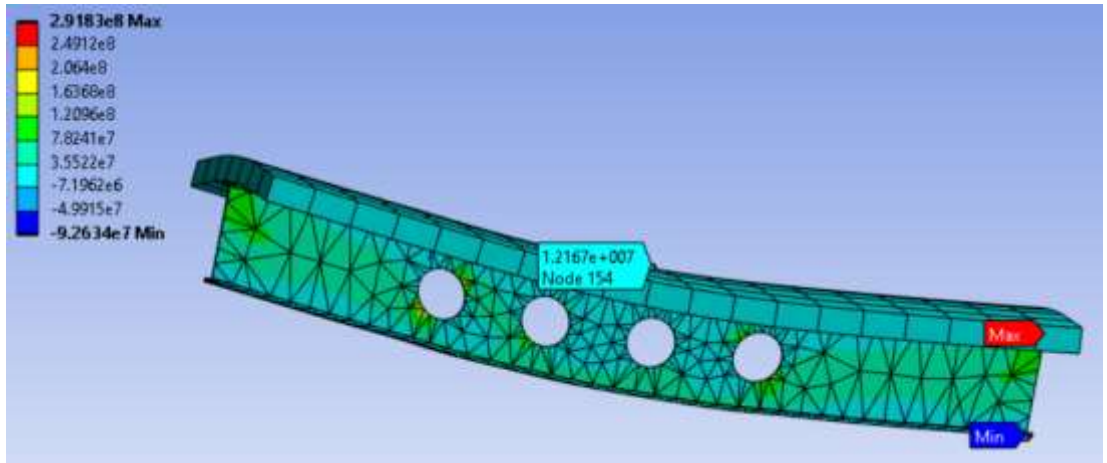
Bu durumda, kompozit petek kirişin diğer özellikleri önceki örnek gibi alınmıştır, sadece delikler arasındaki mesafeyi azaltılmıştır. Önceki durum ile kıyaslayarak yer-değiştirmenin azaldığını fark edilmiştir. Dairenin çapı 118 mm'dir ve kenarlardan uzaklığı 614 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 140 mm'dir. Aşağıdaki şekillerde (şekil 118-120)'de, en büyük toplam yer değiştirme değeri, Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 118. En büyük toplam yer değıştirme değeri



Şekil 119. Von Mises gerilmesi



Şekil 120. En büyük asal gerilme

Durum 24'te kullanılan model ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgiler aşağıda verilen tabloda (Tablo 27) özetlenmiştir.

Tablo 27. Programından alınan detaylı bilgileri

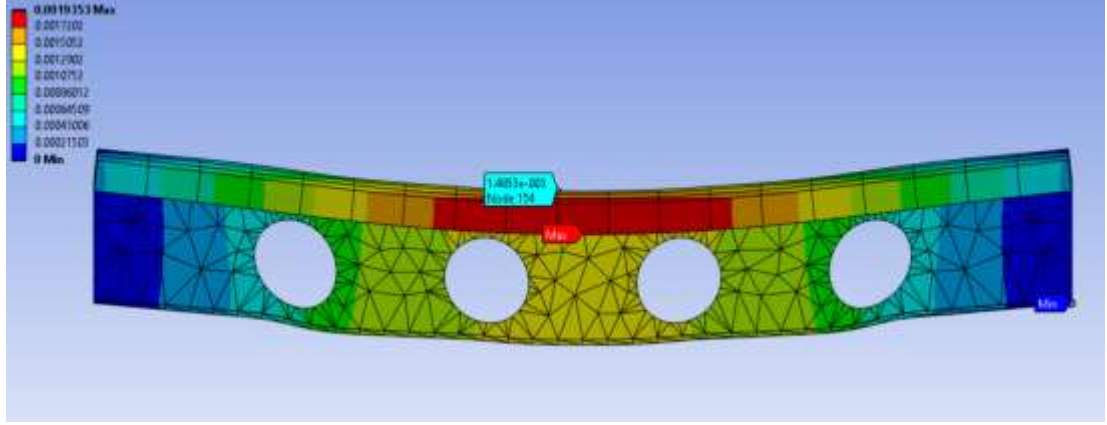
Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Doğrusal Olmayan Etkiler	Evet	
Termal Gerilme Etkileri	Evet	
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Özellikler		
Hacim	7.1658e-003 m ³	7.92e-002 m ³
Kütle	56.251 kg	182.16 kg
X Ağırlık Merkezi	3.9513e-018 m	-1.8253e-018 m
Y Ağırlık Merkezi	0.11967 m	0.27 m
Z Ağırlık Merkezi	1.0023 m	1. m
Atalet Momenti Ip1	19.848 kg·m ²	60.775 kg·m ²
Atalet Momenti Ip2	19.318 kg·m ²	67.332 kg·m ²
Atalet Momenti Ip3	0.61871 kg·m ²	6.6671 kg·m ²
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	5224	1064
Elemanlar	2527	133

Von Mises gerilmesi değeri, referans alınan yirmi ikinci duruma göre yirmiüçüncü durumda artmıştır, yirmidördüncü durumda azalmıştır.En büyük asal gerilme değeri ise yirmiüçüncü durumda artmıştır, yirmidördüncü durumda da artmıştır,ama yirmiüçüncü duruma göre daha küçük çıkmıştır.

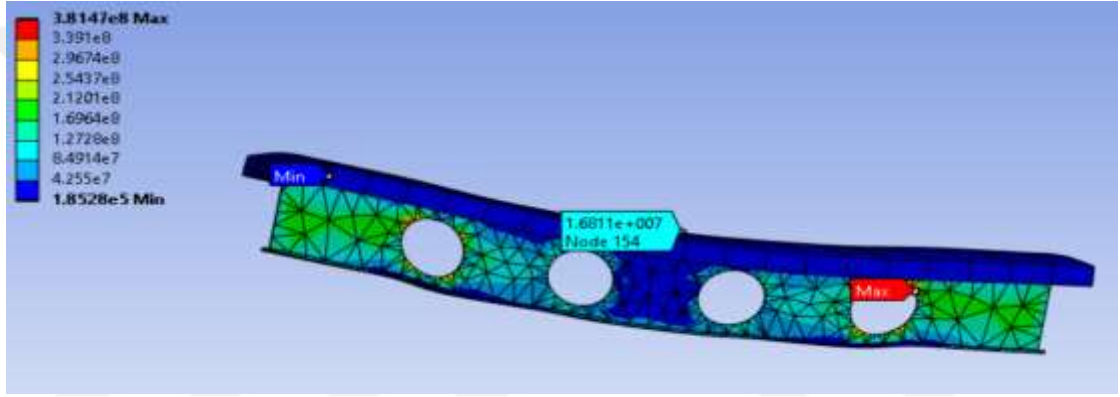
3.1.10 Ankastre-ankastre mesnet koşullu dairesel boşluklu kompozit petek kirişler için boşluk ölçüsünün statik davranışa etkisi

Durum 25:

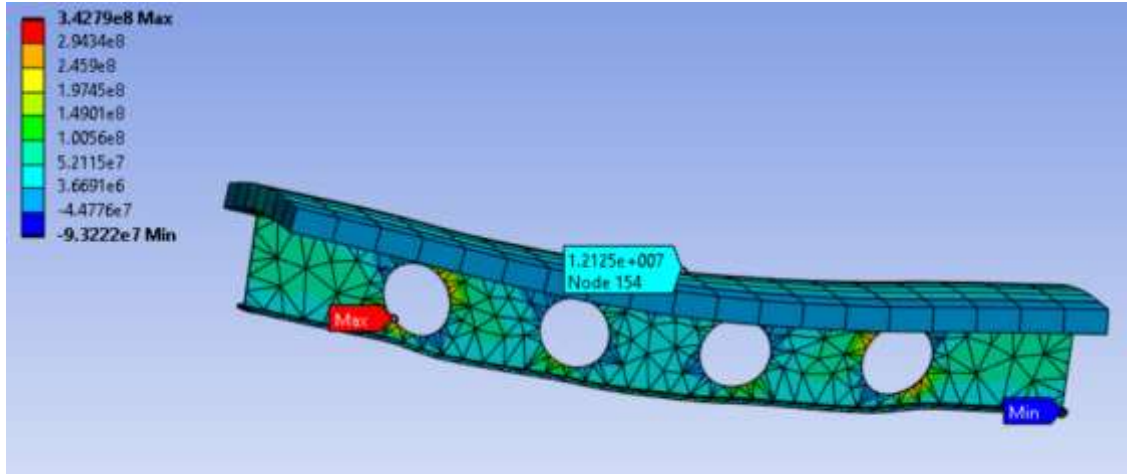
Bu durumda kompozit petek kirişin diğer özellikleri önceki örnek gibi alınmıştır,sadece deliklerin boyutları büyütülmüştür.Önceki durum ile kıyaslayarak yer-değiştirmenin arttığını fark edilmiştir. Dairenin çapı 170 mm'dir ve kenarlardan uzaklığı 330 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 220 mm'dir. Aşağıdaki şekillerde (şekil 121-123)'te, en büyük toplam yer değiştirme değeri , Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 121. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 122. Von Mises gerilmesi



Şekil 123. En büyük asal gerilme

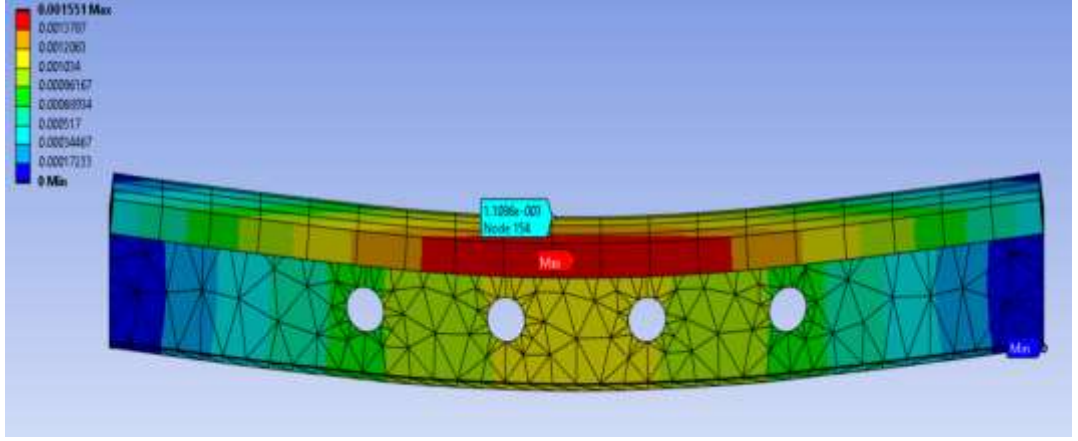
Durum 25'te kullanılan model ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgiler aşağıda verilen tabloda (Tablo 28) özetlenmiştir.

Tablo 28. Programından alınan detaylar

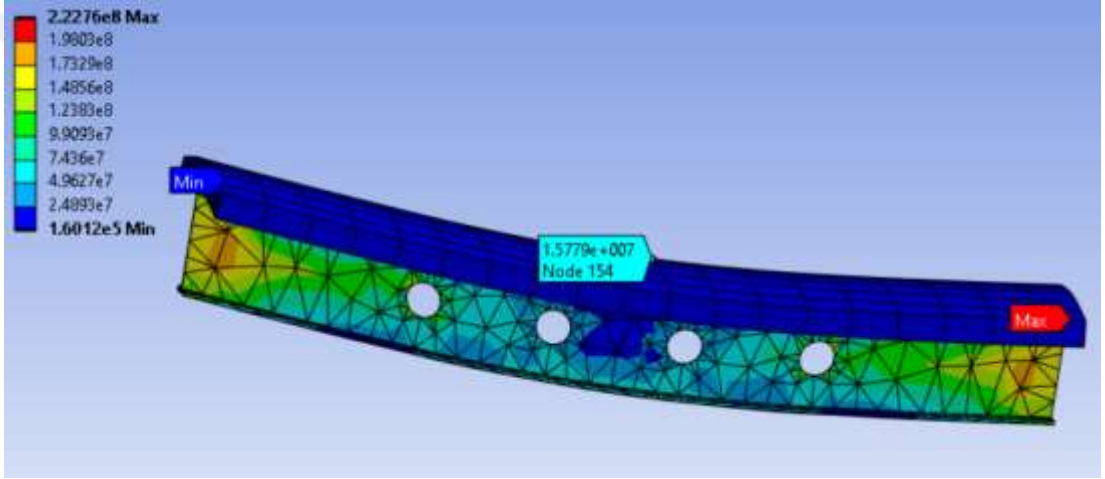
Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Doğrusal Olmayan Etkiler	Evet	
Termal Gerilme Etkileri	Evet	
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Özellikler		
Hacim	6.874e-003 m ³	7.92e-002 m ³
Kütle	53.961 kg	182.16 kg
X Ağırlık Merkezi	-1.1642e-018 m	-1.8253e-018 m
Y Ağırlık Merkezi	0.12002 m	0.27 m
Z Ağırlık Merkezi	1. m	
Atalet Momenti Ip1	19.185 kg·m ²	60.775 kg·m ²
Atalet Momenti Ip2	18.661 kg·m ²	67.332 kg·m ²
Atalet Momenti Ip3	0.61281 kg·m ²	6.6671 kg·m ²
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	5572	1064
Elemanlar	2663	133

Durum 26:

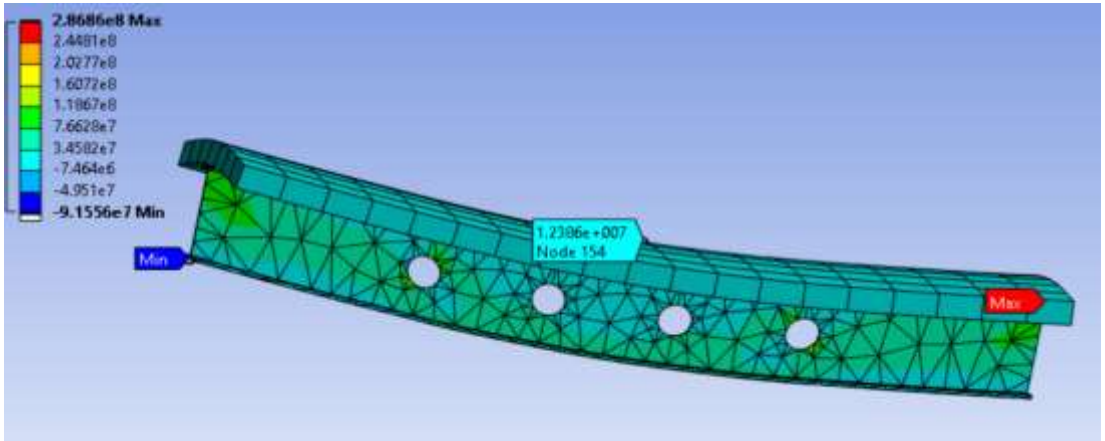
Bu durumda kompozit petek kirişin diğer özellikleri önceki örnek gibi alınmıştır,sadece deliklerin boyutunu küçültülmüştür. Önceki durum ile kıyaslayarak yer-değiştirmenin azaldığını fark edilmiştir. Dairenin çapı 80 mm'dir ve kenarlardan uzaklığı 510 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 220 mm'dir. Aşağıdaki şekillerde (şekil 124-126)'da , en büyük toplam yer değiştirme değeri , Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 124. En büyük toplam yer değıştirme değeri



Şekil 125. Von Mises gerilmesi



Şekil 126. En büyük asal gerilme

Durum 26'da kullanılan model ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgiler aşağıda verilen tabloda (Tablo 29) özetlenmiştir.

Tablo 29. Programından alınan detaylı bilgileri

Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Doğrusal Olmayan Etkiler	Evet	
Termal Gerilme Etkileri	Evet	
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Özellikler		
Hacim	7.3123e-003 m ³	7.92e-002 m ³
Kütle	57.402 kg	182.16 kg
X Ağırlık Merkezi	1.3979e-018 m	-1.8253e-018 m
Y Ağırlık Merkezi	0.12 m	0.27 m
Z Ağırlık Merkezi	1. m	
Atalet Momenti Ip1	19.926 kg·m ²	60.775 kg·m ²
Atalet Momenti Ip2	19.395 kg·m ²	67.332 kg·m ²
Atalet Momenti Ip3	0.62033 kg·m ²	6.6671 kg·m ²
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	5206	1064
Elemanlar	2593	133

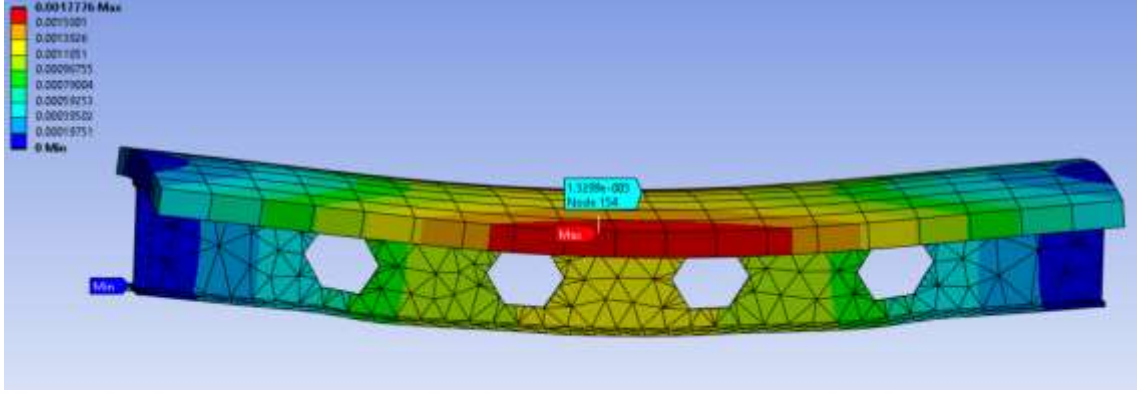
Von Mises gerilmesi değeri, referans alınan yirmi ikinci duruma göre yirmi beşinci durumda artmıştır, yirmi altıncı durumda azalmıştır. En büyük asal gerilme değeri ise yirmi beşinci durumda artmıştır, yirmi altıncıda aynı kalmıştır, ama yirmi beşinci duruma göre daha küçük çıkmıştır.

3.1.11 Ankastre-ankastre mesnet koşullu altıgen boşluklu kompozit petek kirişler için boşluklar arasındaki mesafenin statik davranışa etkisi

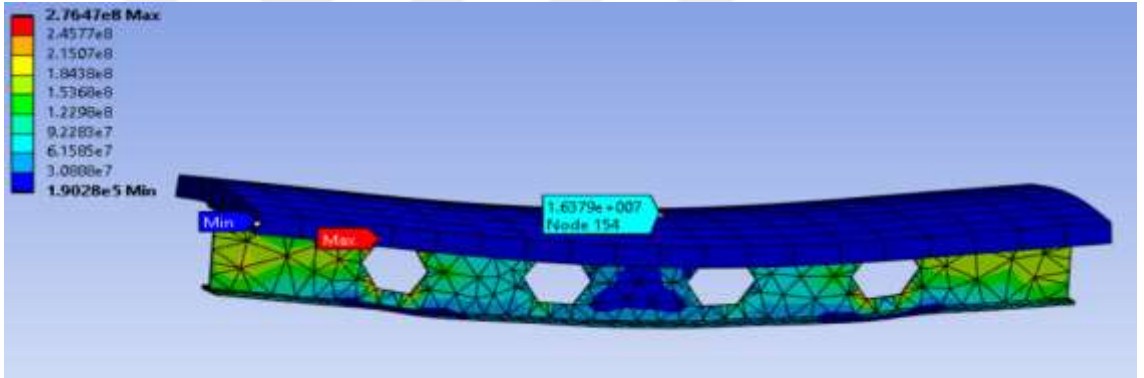
Durum 27:

Ele alınan eleman yapı, altıgen delikli ankastre-ankastre mesnet koşulunda şeklinde tanımlanmıştır. Altıgenin ayrıtı 80 mm'dir ve kenarlardan uzaklığı 350 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 220 mm'dir.

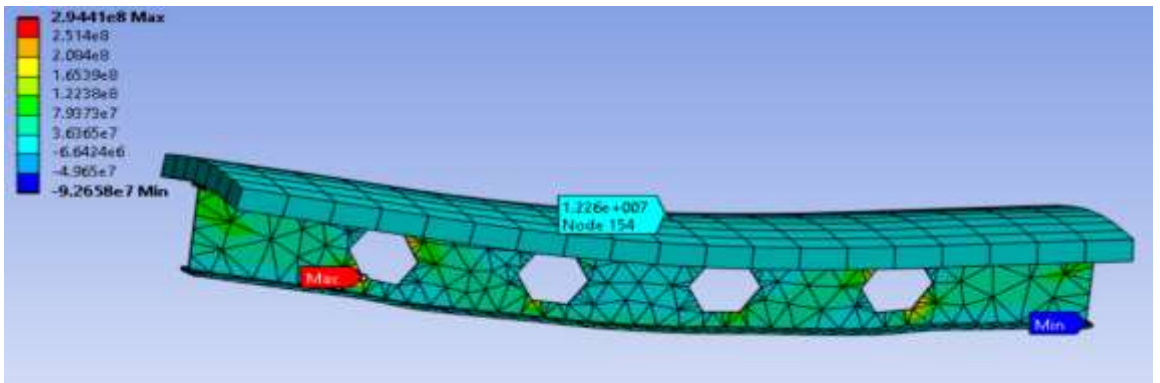
Aşağıdaki şekillerde (şekil 127-129)'da, en büyük toplam yer değiştirme değeri , Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 127. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 128. Von Mises gerilmesi



Şekil 129. En büyük asal gerilme

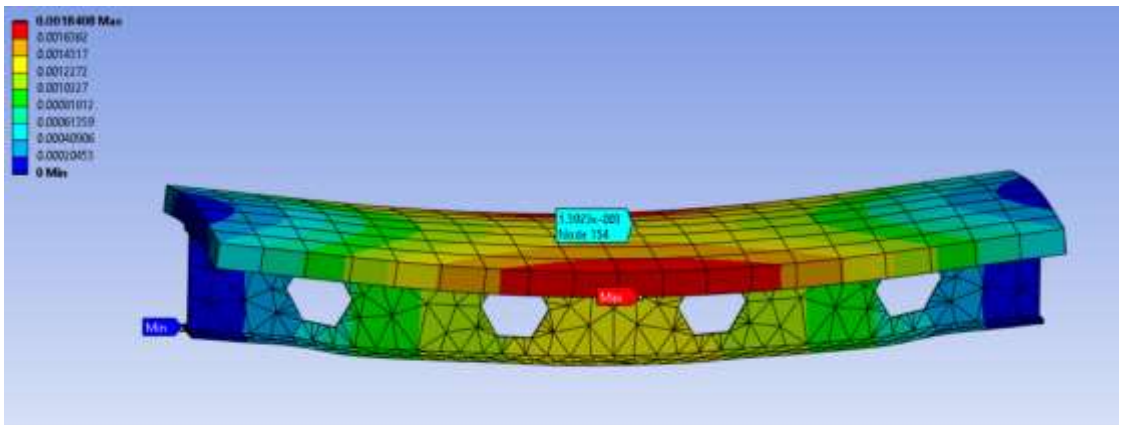
Durum 27’de kullanılan model ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgiler aşağıda verilen tabloda (Tablo 30) özetlenmiştir.

Tablo 30. Programından alınan detaylar

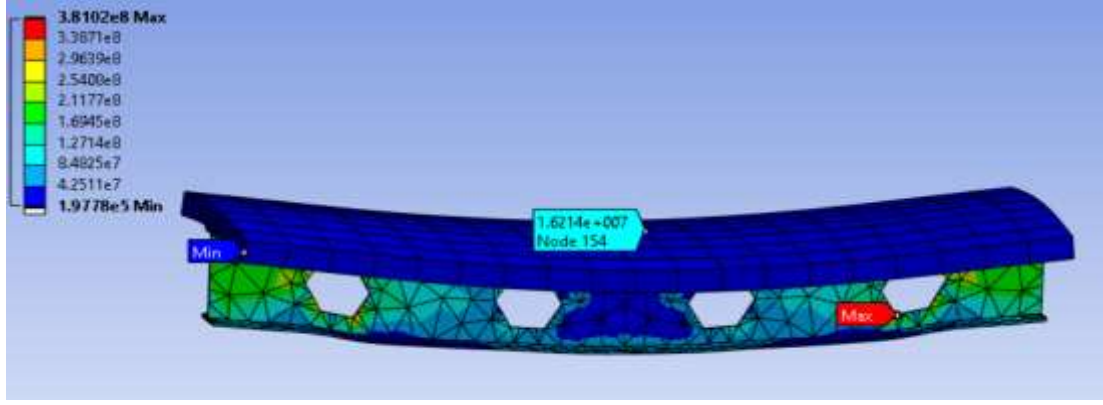
Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Doğrusal Olmayan Etkiler	Evet	
Termal Gerilme Etkileri	Evet	
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	5372	1064
Elemanlar	2584	133

Durum 28:

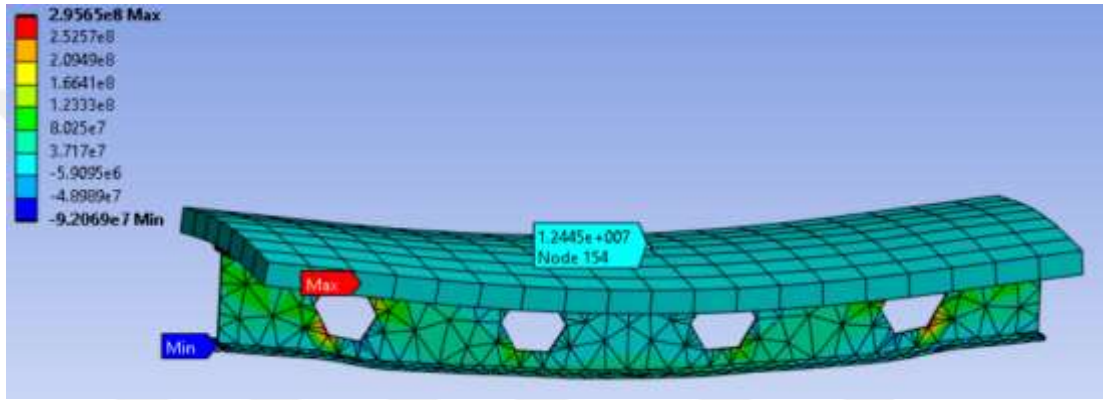
Bu durumda, kompozit petek kirişin diğer özellikleri önceki örnek gibi alınmıştır, sadece delikler arasındaki mesafeyi artırılmıştır. Yer-değiştirmenin arttığını fark edilmiştir. Altıgenin ayırıtı 80 mm'dir ve kenarlardan uzaklığı 230 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 300 mm'dir. Aşağıdaki şekillerde (şekil 130-132)'de, en büyük toplam yer değiştirme değeri, Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 130. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 131. Von Mises gerilmesi



Şekil 132. En büyük asal gerilme

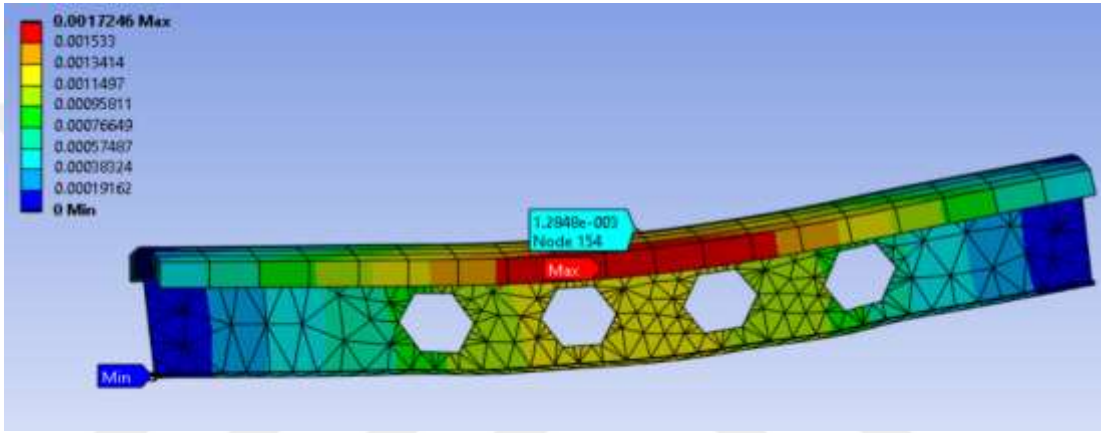
Durum 28’de kullanılan model ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgiler aşağıda verilen tabloda (Tablo 31) özetlenmiştir.

Tablo 31. Programından alınan detaylı bilgileri

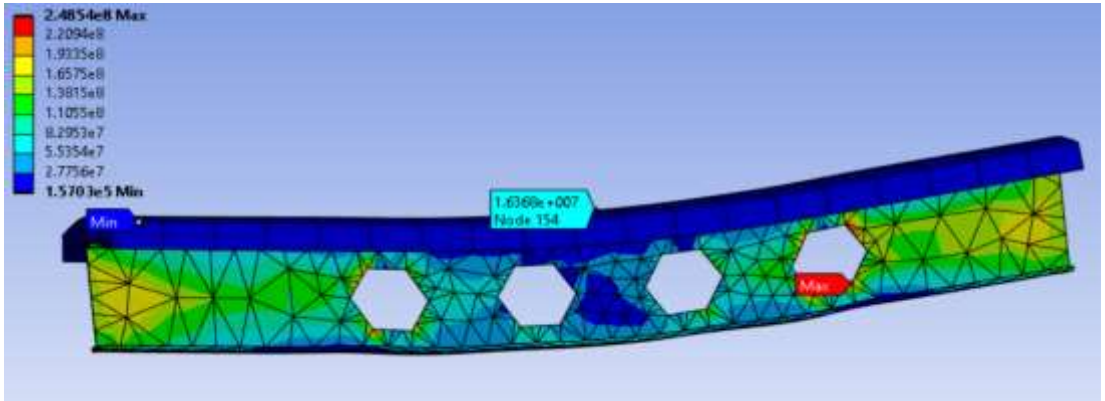
Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Doğrusal Olmayan Etkiler	Evet	
Termal Gerilme Etkileri	Evet	
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Özellikler		
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	5306	1064
Elemanlar	2550	133

Durum 29:

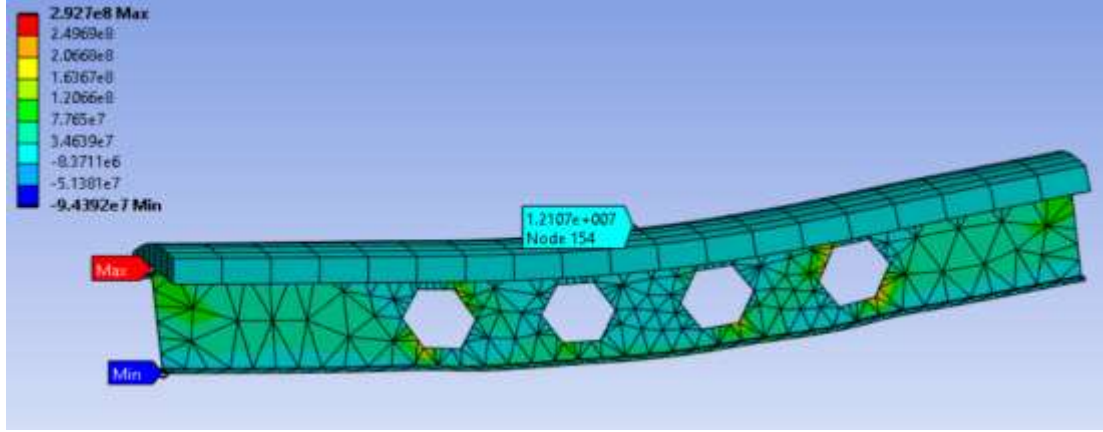
Bu durumda, kompozit petek kirişin diğer özellikleri önceki örnek gibi alınmıştır, sadece delikler arasındaki mesafeyi azaltılmıştır. Önceki durum ile kıyaslayarak yer-değiştirmenin azaldığını fark edilmiştir. Altıgenin ayrıtı 80 mm'dir ve kenarlardan uzaklığı 530 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 140 mm'dir. Aşağıdaki şekillerde (şekil 133-135)'te, en büyük toplam yer değiştirme değeri, Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 133. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 134. Von Mises gerilmesi



Şekil 135. En büyük asal gerilme

Durum 29’da kullanılan model ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgiler aşağıda verilen tabloda (Tablo 32) özetlenmiştir.

Tablo 32. Programından alınan detaylar

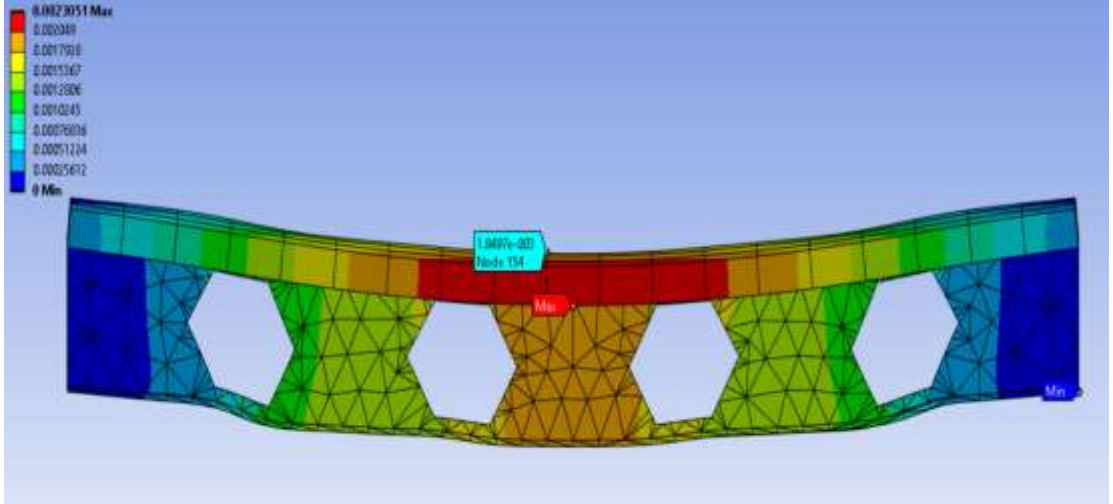
Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Doğrusal Olmayan Etkiler	Evet	
Termal Gerilme Etkileri	Evet	
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Özellikler		
Hacim	7.0246e-003 m ³	7.92e-002 m ³
Kütle	55.143 kg	182.16 kg
X Ağırlık Merkezi	-1.1243e-018 m	-1.8253e-018 m
Y Ağırlık Merkezi	0.12005 m	0.27 m
Z Ağırlık Merkezi	0.99648 m	1. m
Atalet Momenti Ip1	19.651 kg·m ²	60.775 kg·m ²
Atalet Momenti Ip2	19.124 kg·m ²	67.332 kg·m ²
Atalet Momenti Ip3	0.61639 kg·m ²	6.6671 kg·m ²
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	5429	1064
Elemanlar	2627	133

Von Mises gerilmesi değeri, referans alınan yirmi yedinci duruma göre yirmi sekizinci durumda artmıştır, yirmi dokuzuncu durumda azalmıştır. En büyük asal gerilme değeri ise yirmi sekizinci durumda artmıştır, yirmi dokuzunda azalmıştır.

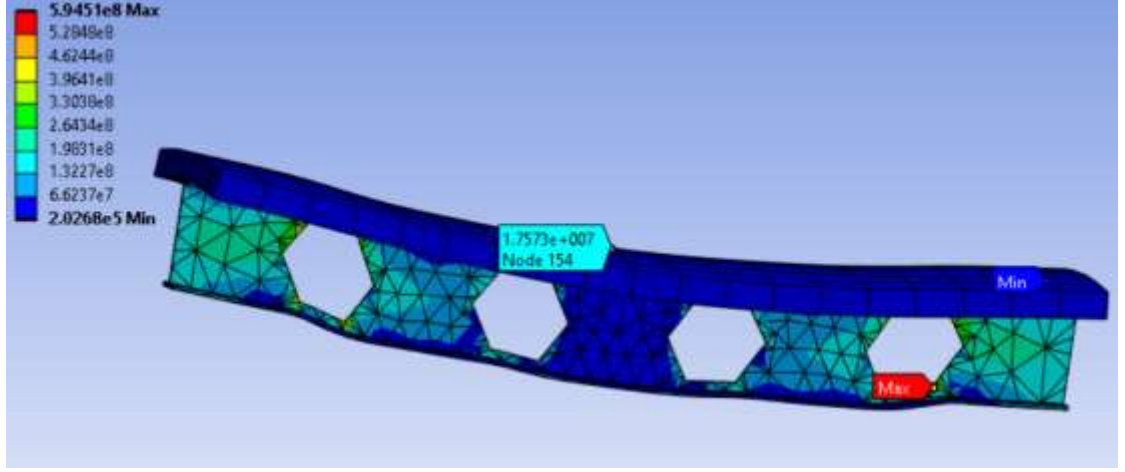
3.1.12 Ankastre-ankastre mesnet koşullu altıgen boşluklu kompozit petek kirişler için boşluk ölçüsünün statik davranışa etkisi

Durum 30:

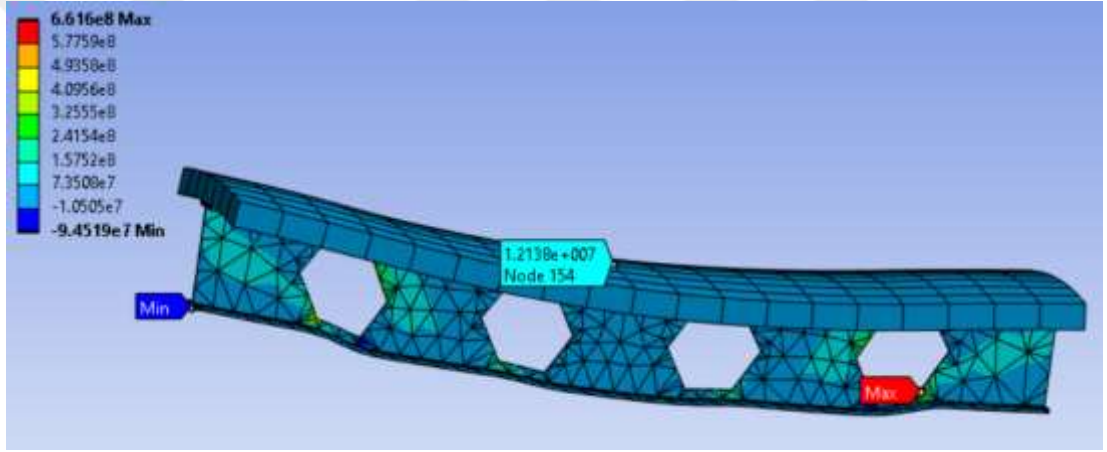
Bu durumda kompozit petek kirişin diğer özellikleri önceki örnek gibi alınmıştır,sadece deliklerin boyutları büyütülmüştür.Önceki durum ile kıyaslayarak yer-değiştirmenin arttığını fark edilmiştir. Altıgenin ayırıtı 108 mm'dir ve kenarlardan uzaklığı 238 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 220 mm'dir. Aşağıdaki şekillerde (şekil 136-138)'de, en büyük toplam yer değiştirme değeri , Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 136. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 137. Von Mises gerilmesi



Şekil 138. En büyük asal gerilme

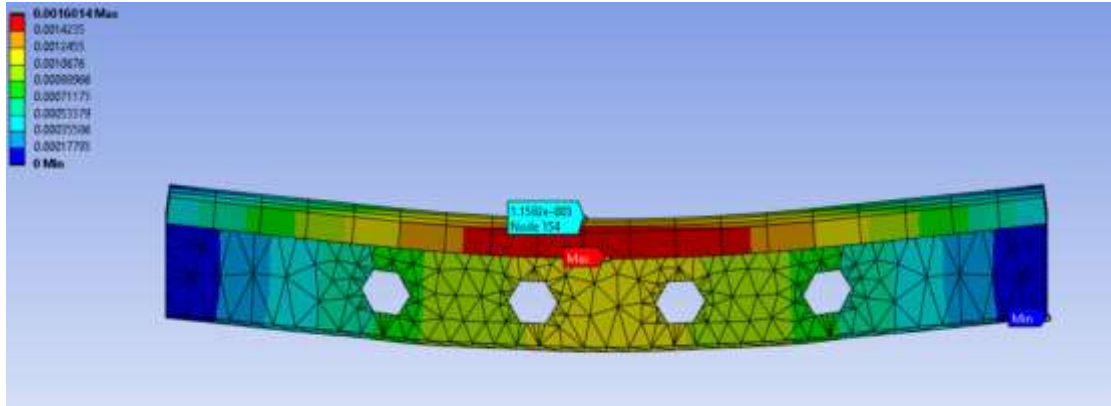
Durum 30'da kullanılan model ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgiler aşağıda verilen tabloda (Tablo 33) özetlenmiştir.

Tablo 33. Programından alınan bilgileri

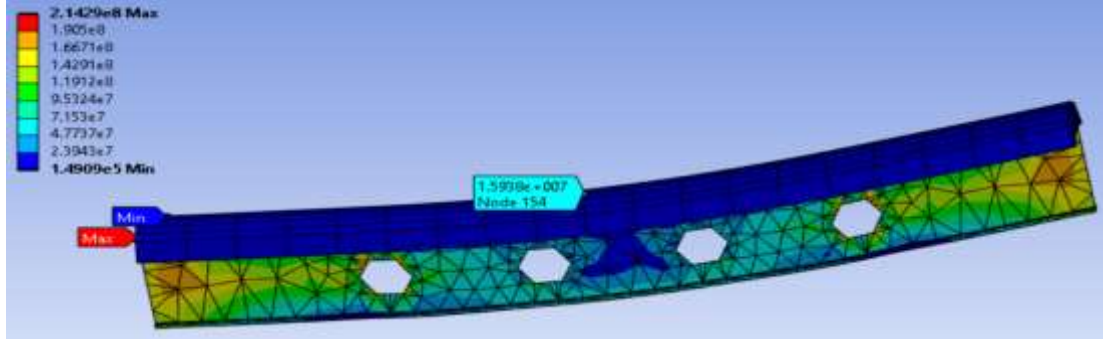
Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Doğrusal Olmayan Etkiler	Evet	
Termal Gerilme Etkileri	Evet	
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümmler	5856	1064
Elemanlar	2755	133

Durum 31:

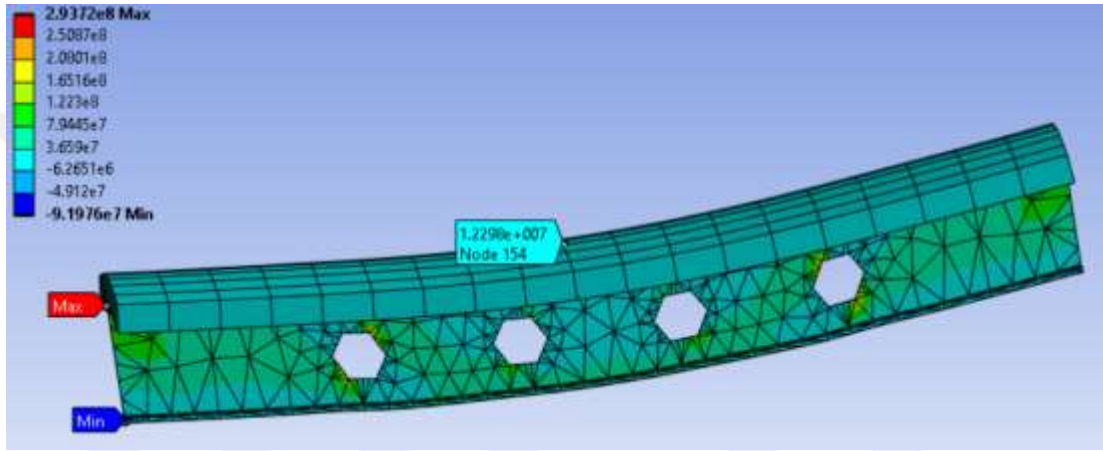
Bu durumda kompozit petek kirişin diğer özellikleri önceki örnek gibi alınmıştır, sadece deliklerin boyutu küçültülmüştür. Önceki durum ile kıyaslayarak yer-değiştirmenin azaldığını fark edilmiştir. Altıgenin ayırıtı 56 mm'dir ve kenarlardan uzaklığı 446 mm'dir. Boşluklar arasındaki mesafe 220 mm'dir. Aşağıdaki şekillerde (şekil 139-141)'de, en büyük toplam yer değiştirme değeri , Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 139. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 140. Von Mises gerilmesi



Şekil 141. En büyük asal gerilme

Durum 31’de kullanılan model ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgiler aşağıda verilen tabloda (Tablo 34) özetlenmiştir.

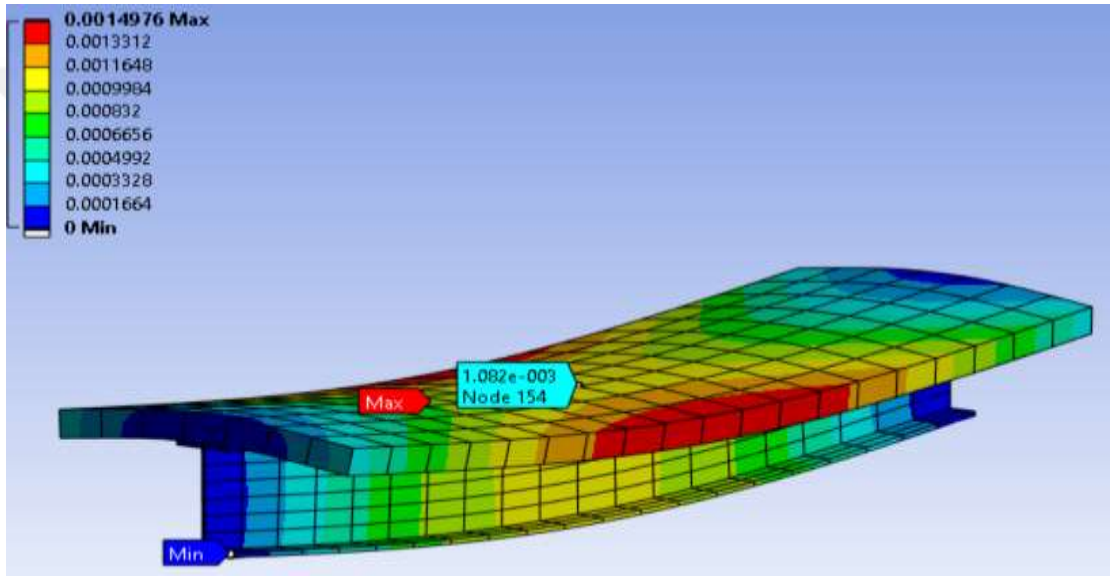
Tablo 34. Programından alınan detaylar

Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Doğrusal Olmayan Etkiler	Evet	
Termal Gerilme Etkileri	Evet	
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Özellikler		
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	5576	1064
Elemanlar	2661	133

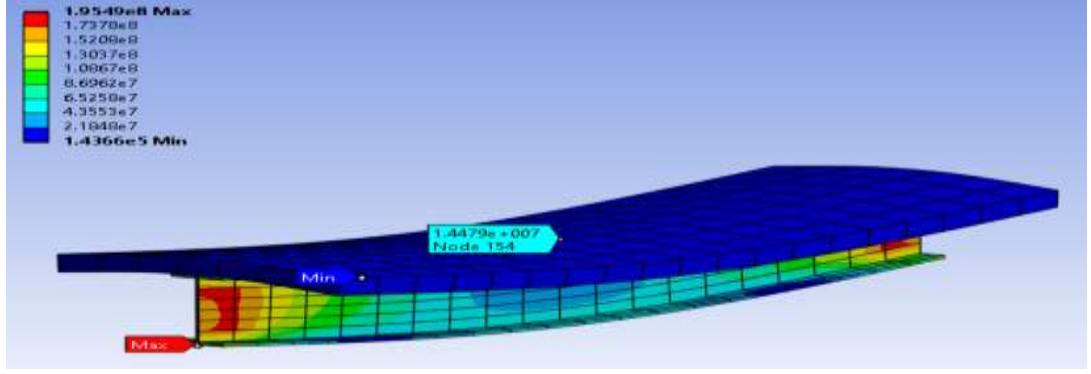
Von Mises gerilmesi değeri, referans alınan yirmi yedinci duruma otuzuncu durumda artmıştır, otuz bir durumda azalmıştır. En büyük asal gerilme değeri ise otuzuncu durumda artmıştır, otuz birincide azalmıştır.

Durum 32:

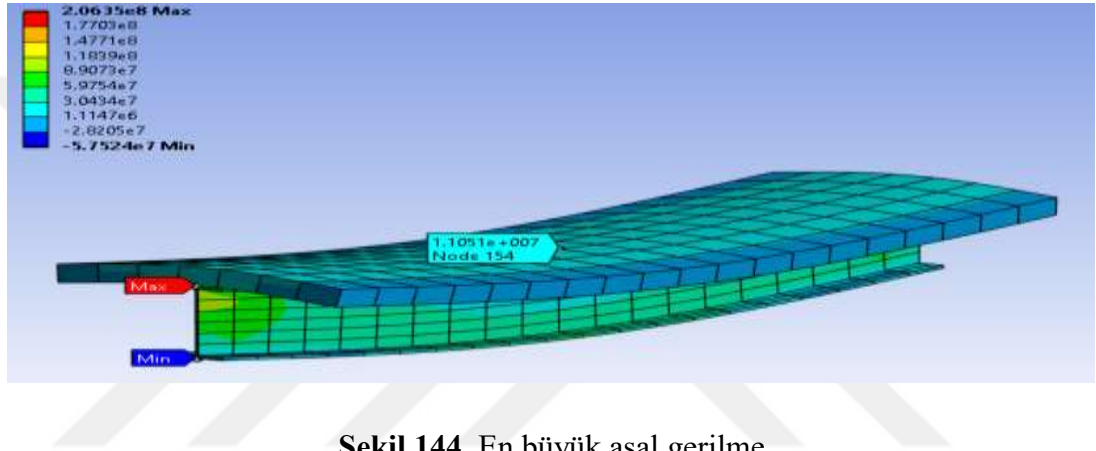
Bu durumda kiriş aynı boyutlara sahiptir ancak boşluksuzdur. Aşağıdaki şekillerde (şekil 142-144)'te, en büyük toplam yer değiştirme değeri, Von Mises gerilmesi ve en büyük asal gerilme değerleri sunulmuştur.



Şekil 142. En büyük toplam yer değiştirme değeri



Şekil 143. Von Mises gerilmesi



Şekil 144. En büyük asal gerilme

Durum 32’de kullanılan model ile ilgili sonlu elemanlar programından alınan detaylı bilgiler aşağıda verilen tabloda (Tablo 35) özetlenmiştir.

Tablo 35. Programından alınan detaylar

Malzeme		
Tanım	Yapısal Çelik	Beton
Doğrusal Olmayan Etkileri	Evet	
Termal Gerilme Etkileri	Evet	
Sınırlar		
X Uzunluğu	0.12 m	0.66 m
Y Uzunluğu	0.24 m	6.e-002 m
Z Uzunluğu	2. m	
Sonlu elemanlar ile ilgili istatistiksel veriler		
Düğümler	2299	1064
Elemanlar	320	133

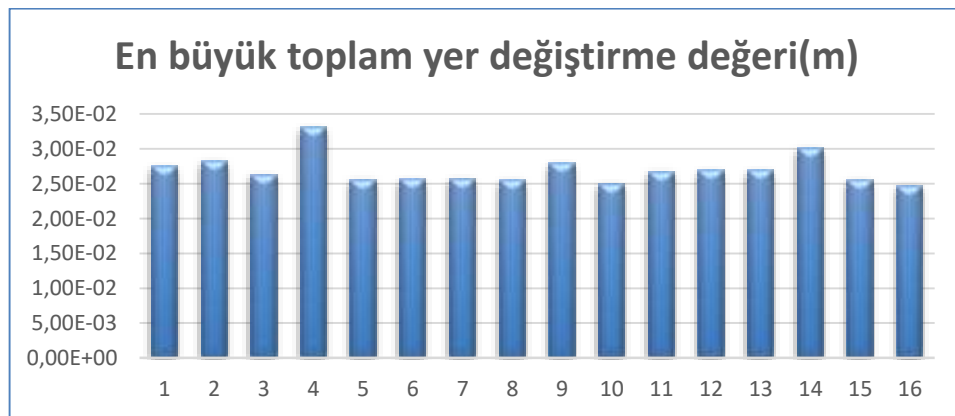
Bu durumda yer değiştirmenin, Von Mises gerilmesinin ve en büyük asal gerilmenin en düşük değerleri çıkmıştır.

Tüm modellerin statik analizinden elde edilen en büyük toplam yer değiştirme değerleri, Von- Mises gerilmesi ve En büyük asal gerilme değerleri çizelge formunda getirilerek Tablo 36’da verilmiştir.

Tablo 36. Tüm uygulamaların analiz sonuçları

Mesnet koşulu	Profil	Model	En büyük toplam yer değiştirme değeri (m)	Deliklerin şekli	Von Mises gerilmesi (Pa)	En büyük asal gerilme (Pa)
Ankastre-Serbest	IPE 240	1	2.75E-02	Dikdörtgen	1.67E+09	2.36E+09
		2	2.82E-02		2.31E+09	2.53E+09
		3	2.63E-02		1.49E+09	2.23E+09
		4	3.31E-02		2.64E+09	3.02E+09
		5	2.55E-02	Daire	1.50E+09	2.23E+09
		6	2.56E-02		1.51E+09	2.33E+09
		7	2.57E-02		1.51E+09	2.30E+09
		8	2.55E-02		1.52E+09	2.33E+09
		9	2.79E-02	Altıgen	1.54E+09	2.24E+09
		10	2.49E-02		1.51E+09	2.33E+09
		11	2.67E-02		1.51E+09	2.33E+09
		12	2.69E-02		1.54E+09	2.35E+09
		13	2.68E-02	Boşluksuz	1.51E+09	2.32E+09
		14	3.00E-02		2.20E+09	2.38E+09
		15	2.55E-02		1.51E+09	2.23E+09
		16	2.46E-02		1.13E+09	1.58E+09
Ankastre-Ankastre	IPE 240	17	1.97E-03	Boşluksuz	5.65E+08	3.73E+08
		18	2.10E-03		7.31E+08	4.85E+08
		19	1.67E-03	Dikdörtgen	2.85E+08	2.74E+08
		20	2.88E-03		7.97E+08	6.02E+08
		21	1.62E-03	Daire	2.11E+08	2.90E+08
		22	1.63E-03		2.56E+08	2.86E+08
		23	1.67E-03		2.95E+08	2.90E+08
		24	1.61E-03		2.27E+08	2.92E+08
		25	1.94E-03	Altıgen	3.81E+08	3.43E+08
		26	1.55E-03		2.23E+08	2.87E+08
		27	1.78E-03		2.76E+08	2.94E+08
		28	1.84E-03		3.81E+08	2.96E+08
		29	1.72E-03	Boşluksuz	2.49E+08	2.93E+08
		30	2.31E-03		5.95E+08	6.62E+08
		31	1.60E-03		2.14E+08	2.94E+08
		32	1.50E-03		1.95E+08	2.06E+08

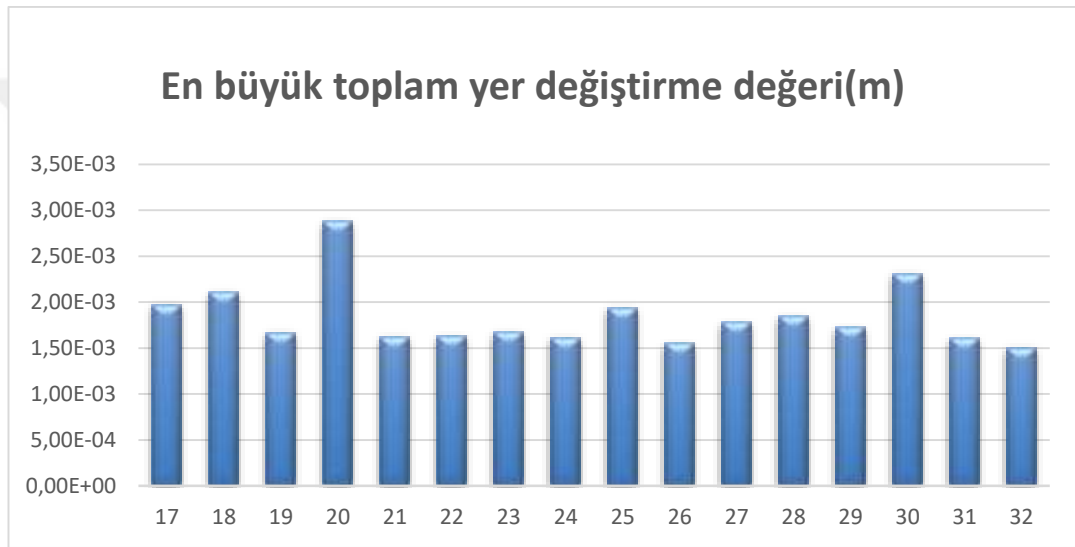
Şekil 145’te Ankastre-serbest mesnet koşullu modellerin en büyük toplam yer değiştirme değerlerinin daha kolay bir şekilde karşılaştırılabilmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 145. Ankastre-serbest mesnet koşullu modellerin en büyük toplam yer değiştirme değeri

Şekil 145'te görüldüğü gibi 1-16 modelleri ankastre-serbest mesnet koşulunda şeklinde tanımlanır. En yüksek değeri delikler arasında aynı mesafeyi tuttuğumuz ancak deliklerin boyutlarını büyüttüğümüz dördüncü modelde, en düşük değeri ise aynı mesafeyi tuttuğumuz ancak deliklerin boyutlarını küçültüğümüz onaltıncı modelde alıyoruz. Dördüncü model dikdörtgen boşluklara sahiptir, onuncu model ise dairesel boşluklara sahiptir.

Şekil 146'da Ankastre-ankastre mesnet koşullu modellerin en büyük toplam yer değiştirme değerlerinin daha kolay bir şekilde karşılaştırılabilmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 146. Ankastre-ankastre mesnet koşullu modellerin en büyük toplam yer değiştirme değeri

Şekil 146'da görüldüğü gibi 17-32 modelleri ankastre-ankastre mesnet koşulunda şeklinde tanımlanır. En yüksek değeri delikler arasında aynı mesafeyi tuttuğumuz ancak deliklerin boyutlarını büyüttüğümüz 20.modelinde, en düşük değeri ise aynı mesafeyi tuttuğumuz ancak deliklerin boyutlarını küçültüğümüz 32.modelinde alıyoruz. On dokuzuncu model dikdörtgen boşluklara sahiptir, yirmi beşinci model ise dairesel boşluklara sahiptir.

3.2 Serbest Titreşim Analizi

Kompozit petek kirişlerin serbest titreşim davranışı, bu bölümde sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmiştir. ANSYS Workbench programı kullanılmıştır. IPE240 profilli petek kirişlerin davranışı incelenmiştir. Statik durumunda olduğu gibi dinamik davranış analizinde de dairesel, dikdörtgen, ve altıgen şekilleri boşluk geometrisi olarak ele alınmıştır. Sınır koşulları (Ankastre- Ankastre ve Ankastre - Serbest) için IPE240 profilli petek kirişin serbest titreşim frekanslarını Tablo 36-41'de listelenmiştir. Modal analiz sonuçlarının görsel bir şekilde karşılaştırılabilmesi için elde edilen frekanslar grafik formunda Şekil (147-152) arasında verilmektedir.

Tablo 37. Ankastre – Serbest Mesnetli IPE240 profilinden yapılmış kompozit petek kirişi için elde edilen serbest titreşim frekansları

MODEL	MOD	Frekans (Hz)	MODEL	MOD	Frekans (Hz)
Model 1	1	22.727	Model 4	1	22.701
	2	41.854		2	38.091
	3	45.707		3	44.448
	4	64.276		4	59.696
	5	147.4		5	146.58
	6	159.59		6	155.8
Model 2	1	20.375	Model 5	1	22.652
	2	38.855		2	43.481
	3	39.085		3	46.908
	4	60.743		4	71.177
	5	128.01		5	150.6
	6	149.04		6	162.44
Model 3	1	21.685	Bu çizelgede verilen modellerde boşluk tipi dikdörtgen olarak alınmıştır.		
	2	40.381			
	3	49.554			
	4	67.488			
	5	151.63			
	6	174.68			

Tablo 37 ve şekil 147 incelendiğinde, Ankastre-Serbest mesnetli durumunda model 2'nin birinci frekansı en düşük değeri alırken, model 1'in birinci frekansı en yüksek değeri almıştır. Model 1'in ve model 4'ün sonuçları birbirine yakın çıkmıştır. İkinci frekans açısından karşılaştırma yapıldığında model 2 ve model 4'ün sonuçları yakın olup, model 5'in ikinci modu karşılaştırılan durumlar arasında en yüksek değeri almaktadır. Üçüncü frekanslar karşılaştırıldığında model 2'nin frekansı en küçük değeri alırken, model 1 ve model 4'ün sonuçları yakın çıkmıştır. Dördüncü serbest-

titreşim modları mukayese edildiğinde model 4'ün sonucunun en düşük değeri aldığı ve model 5'in frekansının ise en yüksek değeri aldığı gözlemlenmiştir. Beşinci moda ait titreşim frekansları incelendiğinde ise model 1,3,4 ve 5 sonuçlarının yakın olduğu, model 2'nin sonuçları ise en düşük değeri almaktadır. Altıncı titreşim modları incelendiğinde karşılaştırılan durumlar arasında en düşük titreşim frekansı model 2'de meydana gelirken,birinci ve dördüncü modellerinin sonuçları yakın çıkmıştır. Model üç'ün altıncı modu diğer durumların beşinci moduna yakındır.

Tablo 38. Ankastre – Serbest Mesnetli IPE240 profilinden yapılmış kompozit petek kirişi için elde edilen serbest titreşim frekansları

MODEL	MOD	Frekans (Hz)	MODEL	MOD	Frekans (Hz)
Model 6	1	23.00	Model 9	1	22.722
	2	43.47		2	41.623
	3	47.414		3	46.594
	4	73.191		4	67.088
	5	153.14		5	150.39
	6	168.14		6	161.18
Model 7	1	22.754	Model 10	1	22.681
	2	43.428		2	43.972
	3	46.813		3	47.013
	4	70.773		4	73.417
	5	151.48		5	151.52
	6	163.07		6	165.39
Model 8	1	22.785	Bu çizelgede verilen modellerde boşluk tipi dairesel olarak alınmıştır.		
	2	43.529			
	3	46.796			
	4	70.489			
	5	149.91			
	6	162.08			

Tablo 38 ve şekil 148 incelendiğinde şu sonuçlar ortaya çıkmaktadır; birinci mod için tüm modellerinin sonuçları yakın çıkmaktadır. İkinci mod için model 9'a hariç tüm modellerin sonuçları benzerdir. Model 9'ün ikinci frekansı en düşük değeri almaktadır. Üçüncü moda ait titreşim frekansları incelendiğinde de tüm modellerinin sonuçları yakın çıkmaktadır. Model 9'un dördüncü frekansı en düşük değeri alırken,model 10'un dördüncü frekansı en yüksek değeri almıştır. Beşinci serbest titreşim frekansları incelendiğinde model 6 en yüksek değeri almaktadır. Altıncı mod için de en yüksek değeri model 6'da çıkmaktadır.

Tablo 39. Ankastre – Serbest Mesnetli IPE240 profilinden yapılmış kompozit petek kirişi için elde edilen serbest titreşim frekansları

MODEL	MOD	Frekans (Hz)	MODEL	MOD	Frekans (Hz)
Model 11	1	22.807	Model 14	1	22.8
	2	42.558		2	40.083
	3	46.234		3	45.434
	4	66.871		4	62.666
	5	149.34		5	147.48
	6	160.83		6	158.7
Model 12	1	22.568	Model 15	1	22.792
	2	42.438		2	43.56
	3	45.546		3	47.098
	4	65.056		4	72.099
	5	147.36		5	152.06
	6	158.9		6	163.9
Model 13	1	22.703	Bu çizelgede verilen modellerde boşluk tipi altıgen olarak alınmıştır.		
	2	42.292			
	3	46.421			
	4	67.946			
	5	150.2			
	6	161.01			

Tablo 40. Ankastre – Ankastre Mesnetli IPE240 profilinden yapılmış kompozit petek kirişi için elde edilen serbest titreşim frekansları

MODEL	MOD	Frekans (Hz)	MODEL	MOD	Frekans (Hz)
Model 17	1	91.969	Model 20	1	91.147
	2	146.43		2	126.4
	3	157.43		3	145.58
	4	191.25		4	190.09
	5	232.4		5	231.97
	6	299.98		6	251.62
Model 18	1	91.394	Model 21	1	93.084
	2	146.48		2	147.65
	3	150.76		3	177.22
	4	190.25		4	192.55
	5	232.13		5	232.73
	6	286.75		6	309.37
Model 19	1	98.025	Bu çizelgede verilen modellerde boşluk tipi dikdörtgen olarak alınmıştır.		
	2	147.49			
	3	160.42			
	4	206.85			
	5	231.28			
	6	312.76			

Tablo 41. Ankastre – Ankastre Mesnetli IPE240 profilinden yapılmış kompozit petek kirişi için elde edilen serbest titreşim frekansları

MODEL	MOD	Frekans (Hz)	MODEL	MOD	Frekans (Hz)
Model 22	1	94.845	Model 25	1	92.612
	2	151.27		2	147.33
	3	176.33		3	160.14
	4	195.1		4	192.12
	5	234.07		5	233.32
	6	311.07		6	303.19
Model 23	1	92.983	Model 26	1	93.501
	2	149.26		2	150.62
	3	173.35		3	181.01
	4	192.5		4	192.98
	5	233.37		5	233.36
	6	309.73		6	309.51
Model 24	1	92.487	Bu çizelgede verilen modellerde boşluk tipi dairesel olarak alınmıştır.		
	2	146.97			
	3	178.72			
	4	191.68			
	5	233.34			
	6	308.71			

Tablo 42. Ankastre – Ankastre Mesnetli IPE240 profilinden yapılmış kompozit petek kirişi için elde edilen serbest titreşim frekansları

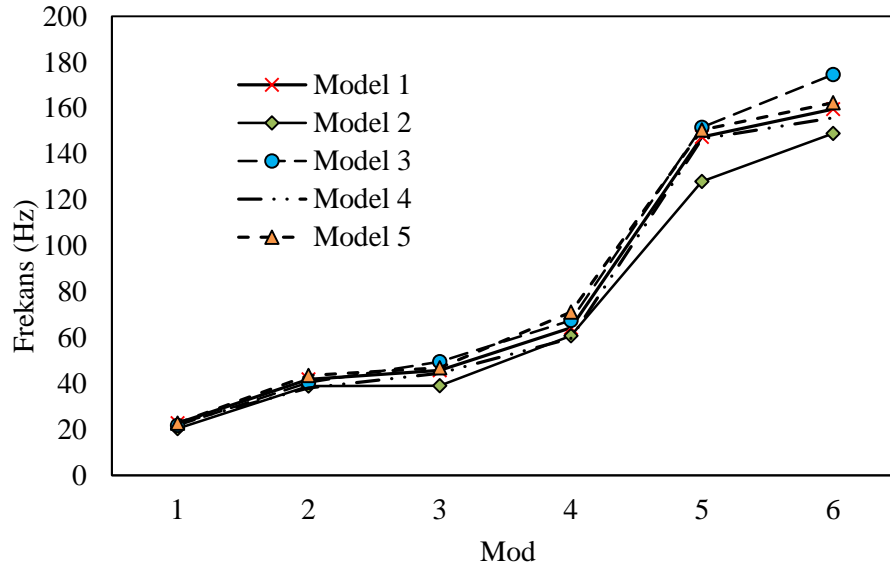
MODEL	MOD	Frekans (Hz)	MODEL	MOD	Frekans (Hz)
Model 27	1	92.23	Model 30	1	91.407
	2	147.64		2	144.5
	3	167.92		3	146.72
	4	191.46		4	190.56
	5	233.14		5	233.5
	6	308.55		6	281.43
Model 28	1	76.076	Model 31	1	93.449
	2	146.58		2	149.7
	3	152.11		3	178.09
	4	156.11		4	193.21
	5	190.95		5	232.9
	6	249.99		6	310.17
Model 29	1	92.043	Bu çizelgede verilen modellerde boşluk tipi altıgen olarak alınmıştır.		
	2	147.53			
	3	172.09			
	4	191.3			
	5	233.39			
	6	308.45			

Tablo 39 ve şekil 149 incelendiğinde şu sonuçlar ortaya çıkmaktadır; birinci mod için tüm modellerinin sonuçları yakın çıkmaktadır. Model 14'un ikinci frekansı en düşük değeri almaktadır. Mod üç'ün en yüksek değeri model 15'te çıkmaktadır. Dördüncü frekansı en yüksek değeri model 15'te en düşük ise model 14'te almaktadır. Aynı yorum mod 5 ve mod 6 için de geçerlidir.

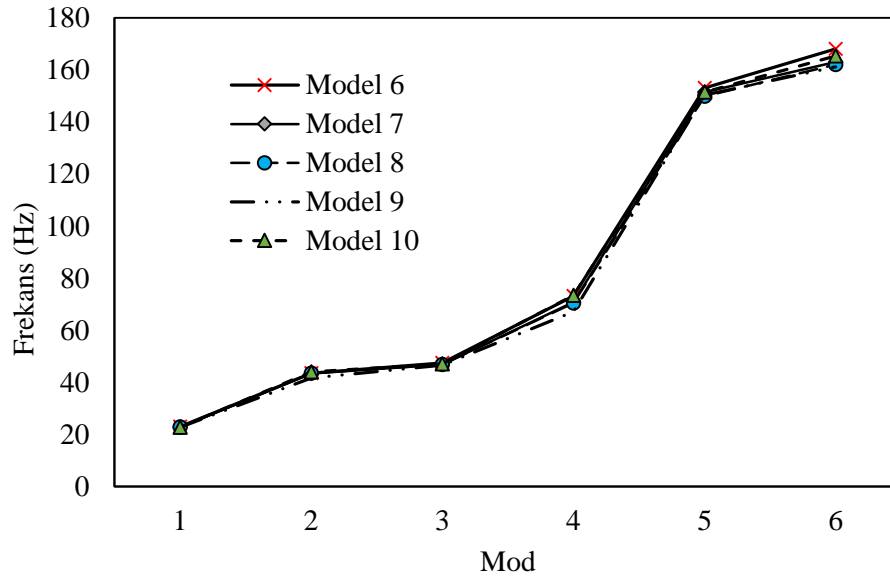
Tablo 40 ve şekil 150 incelendiğinde, Ankastre-Ankastre mesnetli durumunda model 20'nin birinci frekansı en düşük değeri alırken, model 19'nun birinci frekansı en yüksek değeri almıştır. İkinci frekans açısından karşılaştırma yapıldığında model 20 hariç tüm sonuçları yakın olup, model 20'nin ikinci modu karşılaştırılan durumlar arasında en düşük değeri almaktadır. Üçüncü frekanslar karşılaştırıldığında model 20'nin frekansı en küçük değeri alırken, model 21 ve büyük değeri almaktadır. Dördüncü serbest-titreşim modları kıyaslaştırıldığında model 20'nin sonucunun en düşük değeri aldığı ve model 19'nun frekansının ise en yüksek değeri aldığı gözlemlenmiştir. Beşinci moda ait titreşim frekansları incelendiğinde ise tüm modellerinin sonuçları yakın çıkmıştır. Altıncı titreşim modları incelendiğinde karşılaştırılan durumlar arasında en düşük titreşim frekansı model 20'de meydana gelirken, ondokuzuncu modelin en yüksek değeri çıkmıştır.

Tablo 41 ve şekil 151 incelendiğinde, birinci, ikinci ve dördüncü mod için en yüksek değeri model 22 alırken model 23,24 ve 25'in sonuçları birbirine yakın çıkmıştır. Mod 3 için en yüksek değeri ise model 26 almaktadır. Beşinci mod için tüm modellerinin sonuçları benzerdir. Mod 6 için ise en düşük frekans değeri model 25'te ve en yüksek frekans değeri model 22'de çıkmıştır.

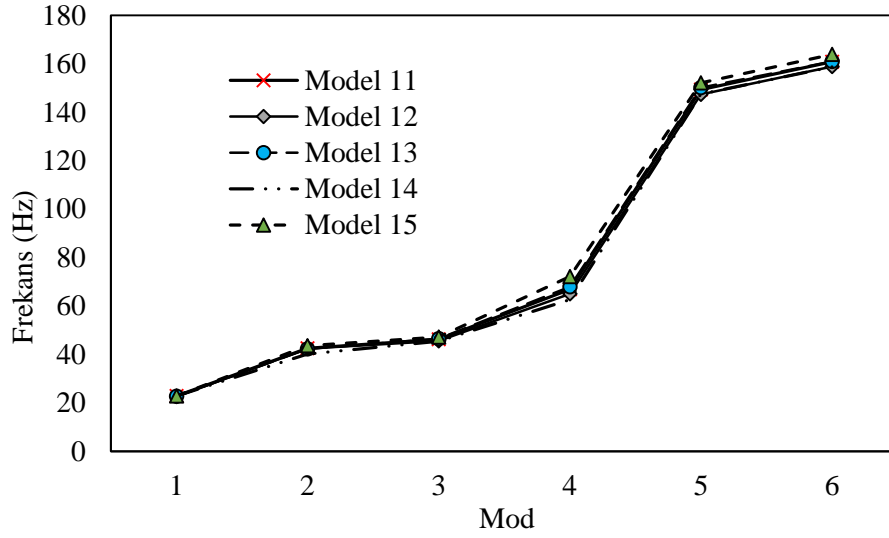
Tablo 42 ve şekil 152 incelendiğinde şu sonuçlar ortaya çıkmaktadır; birinci mod için model 28 en küçük değeri alırken diğer tüm modellerinin sonuçları yakın çıkmaktadır. Model 30'un ikinci frekansı en düşük değeri almaktadır. Mod üç'ün en yüksek değeri model 31'de çıkmaktadır. Diğer modlar ile ilgili detaylar için tablo incelenebilir.



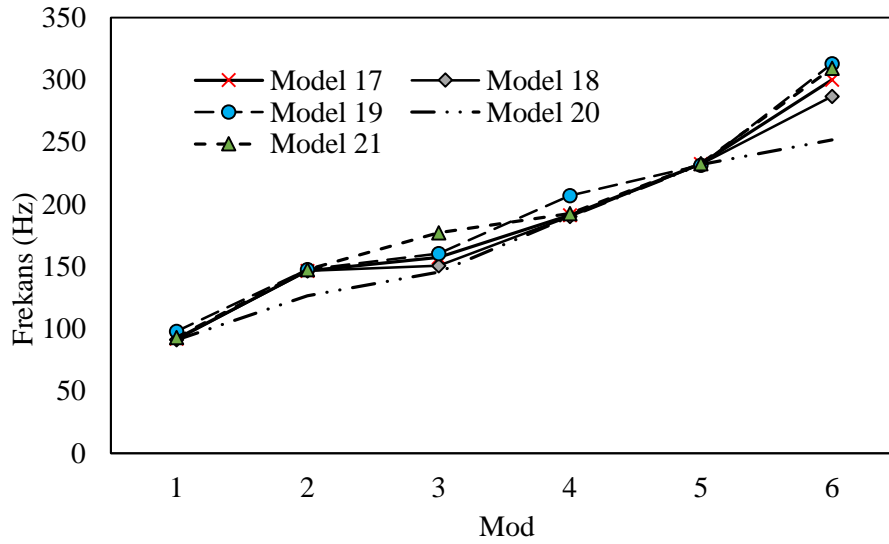
Şekil 147. Dikdörtgen boşluklu, ankastre-serbest mesnet koşullu kompozit petek kirişin frekansları



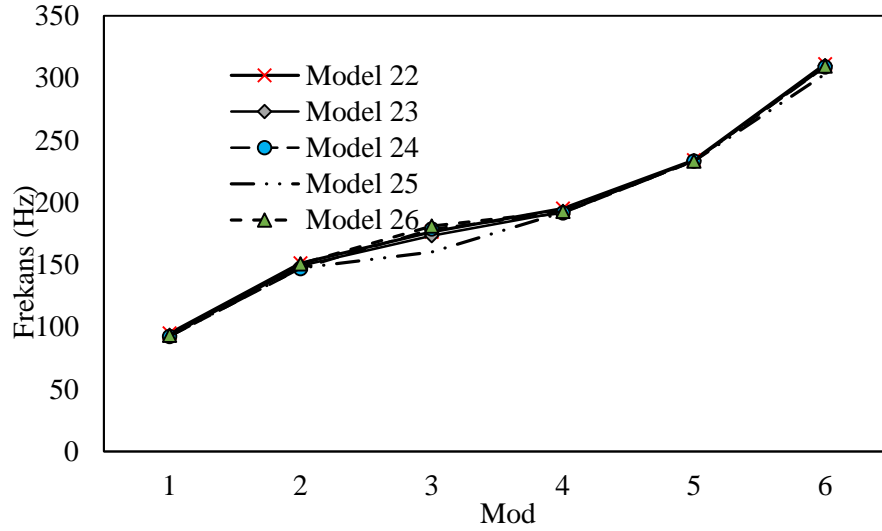
Şekil 148. Dairesel boşluklu, ankastre-serbest mesnet koşullu kompozit petek kirişin frekansları



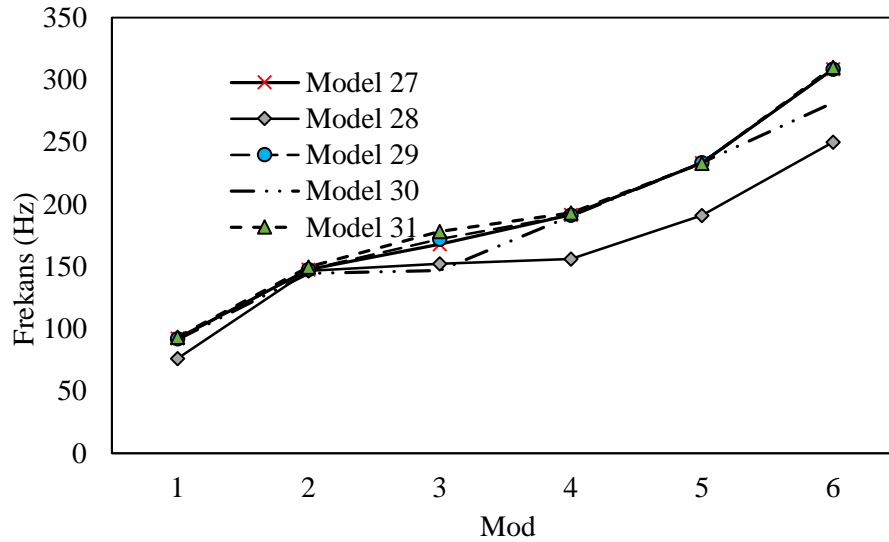
Şekil 149. Altıgen boşluklu, ankastre-serbest mesnet koşullu kompozit petek kirişin frekansları



Şekil 150. Dikdörtgen boşluklu, ankastre-ankastre mesnet koşullu kompozit petek kirişin frekansları

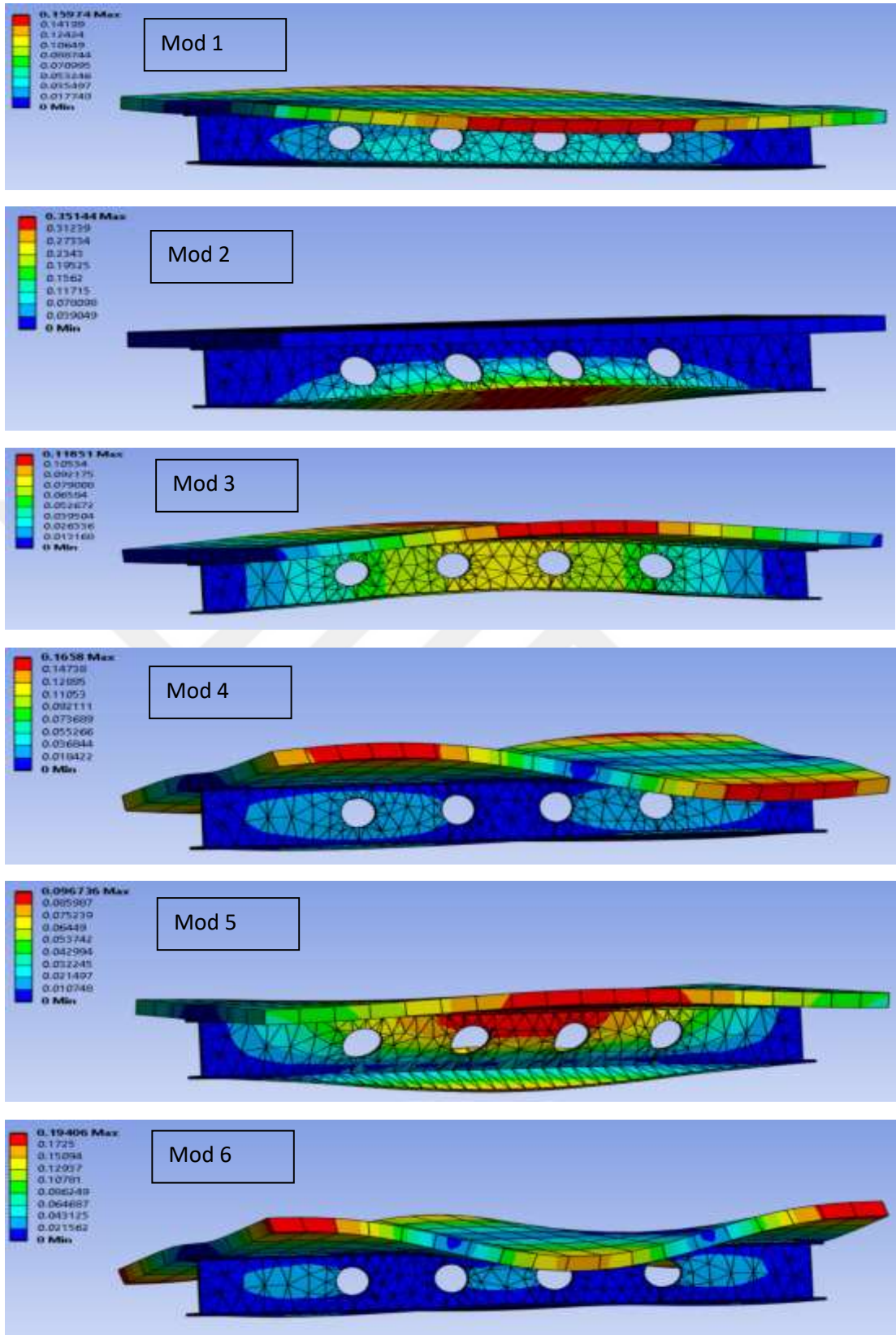


Şekil 151. Dairesel boşluklu, ankastre-ankastre mesnet koşullu kompozit petek kirişin frekansları

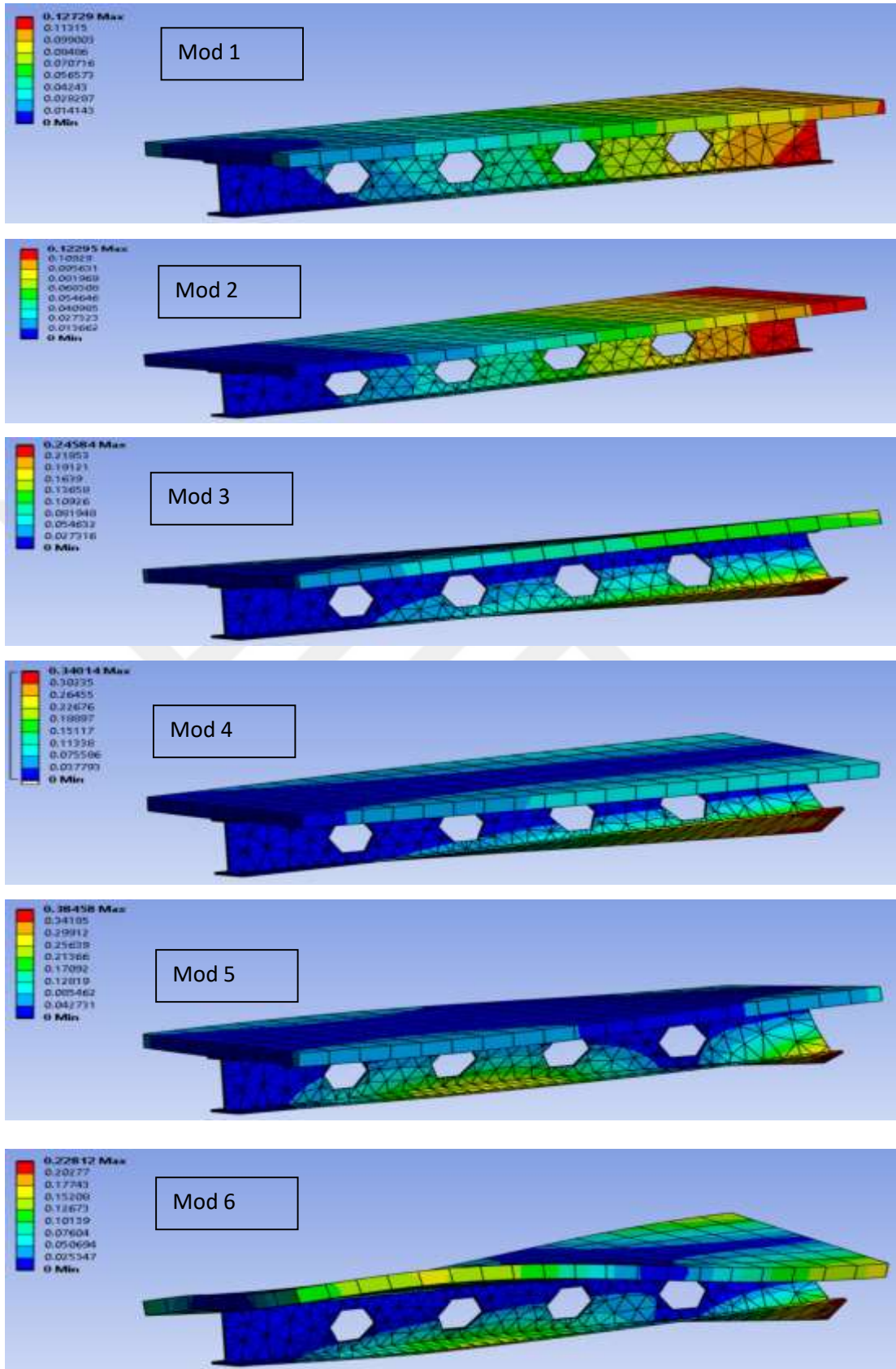


Şekil 152. Altıgen boşluklu, ankastre-ankastre mesnet koşullu kompozit petek kirişin frekansları

Ele alınan kirişlerin serbest titreşim davranışının en iyi şekilde yorumlanabilmesi ve anlaşılabilmesi için mod şekillerinin de çizilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada analiz edilen tüm kirişlerin mod şekilleri elde edilmiştir ancak tezde ankastre – ankastre mesnetli kirişlerden model 22 ve ankastre – serbest mesnetli kirişlerden mode 11 sunulmuştur. Diğer durumların mod şekilleri verilen mesnet koşullarına benzerlik göstermektedir.



Şekil 153. Model 22'nin mod şekilleri



Şekil 154. Model 11'in mod şekilleri

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sanayinin giderek gelişmesi, büyük şehirlerin oluşması ve sanayi merkezlerinin giderek artması, sanayi ve sportif-kültürel yapıların büyük açıklık ve yüksekliğe sahip olarak inşa edilmesini gerekli kılmıştır. Bu nedenle, bu tür yapılar için daha basit ve daha ucuz yapı malzemelerinin kullanılması gerekir.

Geniş açıklıklı yapı inşaatlarının mühendislik incelemesi, kompozit petek kiriş uygulamasının bu tip yapılarda ekonomik ve teknik açıdan daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Ülke gelişimine paralel olarak endüstriyel, sportif-kültürel yapılara olan ihtiyacın artması, bu yapıların tasarımında ülke ekonomisine katkı sağlayacak ekonomik projelerin dikkate alınmasını gerektirmektedir. Kompozit petek kirişlerin yapının oluşumuna sağladığı ekonomik katkı da bu kapsamda değerlendirilmelidir.

Bu tez çalışmasında kompozit petek kirişlerin sonlu elemanlar yöntemi ile üç boyutlu statik ve serbest titreşim analizi yapılmıştır. Analizlerden elde edilen önemli sonuçlar şu şekilde özetlenebilir.

Bunlar dikkate alınan bazı ana uygulamalar, ancak uygulamaların sayısı geliştirebilir. Örneğin: mesafeyi ve boyutları aynı anda değiştirmek, farklı profilleri dikkate alınması, diğer mesnet şartları dikkate alınması. Bunlar gelecekteki çok ilgi çeken çalışmalar arasında yer alabilir. Bu konudaki çalışmalar çok kısıtlı olduğu için bu uygulamalar bu kompozit yapıların optimizasyonunda büyük katkı sağlayacaktır.

Statik analizi

- Kullanılan modelleme tekniğinin doğruluğu literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırılarak gösterilmiştir.
- Tüm uygulamalarda, gerilmelerin kirişin gövdesinde açılan boşlukların köşelerinde yoğunlaştığı görülmüştür.
- Gövde boşluk geometrisi ve boşluklar arasında mesafesinin deformasyonla doğrusal bir ilişkisi olduğu da gözlemlenmiştir.
- Gövde boşlukları arasındaki mesafeyi artırıldığında yer değiştirmelerinin de arttığı gözlemlenmiştir.
- Gövde boşluk boyutlarının artmasıyla yer değiştirme değerleri de artmaktadır.

- Von Mises gerilmesinin en yüksek değeri, boşlukların dikdörtgen olduğu ve boşlukların boyutları büyütölmüş dördüncü durumda elde edilir.
- Von Mises gerilmesinin en düşük değeri ise, boşlukların dairesel olduğu ve boşlukların boyutları küçöltölmüş olduğu durumda elde edilmiştir.
- En büyük asal gerilmenin en yüksek değeri dikdörtgen boşluklu olduğu dördüncü durumda, en düşük değer ise boşluklar arasındaki mesafenin en küçük olduğu dairesel boşluklu kirişlerde elde edilmiştir.
- Dikdörtgen boşluklu kirişler arasında yer değiştirmenin maksimum değeri dördüncü durumda elde edilir. Minimum değeri ise yirmi birinci durumda elde edilir.
- Dairesel boşluklu kirişler arasında yer değiştirmenin maksimum değeri dokuzuncuda durumda elde edilir. Minimum değeri ise yirmi altıncı durumda elde edilir.
- Altıgen boşluklu kirişler arasında yer değiştirmenin maksimum değeri on dördüncü durumda elde edilir. Minimum değeri ise otuz birinci durumda elde edilir. Aynı şey Von Mises'in gerilmesi için de geçerli.
- Dikdörtgen boşluklu kirişler arasında en büyük asal gerilmenin maksimum değeri dördüncü durumda elde edilir. Minimum değeri ise on dokuzuncu durumda elde edilir.
- Dairesel boşluklu kirişler arasında en büyük asal gerilmenin maksimum değeri altıncı, sekizinci ve onuncu durumda elde edilir. Minimum değeri ise yirmi ikinci durumda elde edilir.
- Altıgen boşluklu kirişler arasında en büyük asal gerilmenin maksimum değeri on dördüncü durumda elde edilir. Minimum değeri ise yirmi dokuzuncu durumda elde edilir.
- Yer değiştirmenin, Von Mises gerilmesinin ve en büyük asal gerilmenin en düşük değerleri boşluksuz kirişte çıkmıştır.

- Beklenildiği gibi, ankastre-serbest mesnetli kirişlerin yer değiştirme sonuçları, Von Mises ve gerilme değerleri, ankastre-ankastre mesnetli kirişlerden daha büyüktür.
- Boşluk tipi, mesafe ve ölçüsü petek kirişlerin statik analizi davranışına önemli ölçüde etkilenmektedir.

Serbest titreşim analizi

Bu çalışmada her model için ilk 6 adet doğal serbest titreşimi hesaplanmıştır. Çalışmadan elde edilen en önemli sonuçlar şöyledir;

- Ankastre - serbest mesnetli ve dikdörtgen boşluklu kompozit petek kirişlerin birinci ve ikinci modları ele alınan tüm durumlar için yakın çıkmıştır. Boşluklar arasındaki mesafe artırılığında üçüncü dördüncü, beşinci ve altıncı modlara ait frekansların düştüğü görülmüştür.
- Ankastre - serbest mesnetli ve dairesel boşluklu kompozit petek kirişlerin modal analiz sonuçları incelendiğinde 1- 6 modların sonuçları yakın değerler almaktadır.
- Ankastre - serbest mesnetli ve altıgen boşluklu kompozit petek kirişlerin modal analiz sonuçları incelendiğinde 1,3,4 ve 5. modun sonuçları birbirine yakın çıkmaktadır. Model 15'ün sonuçlarının daha büyük olduğu görülmüştür, çünkü bu modelde boşluk ölçüleri diğer durumlara göre daha küçük alınmıştır.
- Ankastre - ankastre mesnetli ve dikdörtgen boşluklu kompozit petek kirişlerin boşluk ölçülerinin büyük olduğu durumda frekansların daha küçük olduğu ortaya çıkmıştır. Boşluklar arasındaki mesafe ile frekanslar ters orantılı olduğu ortaya çıkmıştır. Birinci ve beşinci modda tüm durumların frekansları birbirine yakın çıkmıştır.
- Ankastre - ankastre mesnetli ve dairesel boşluklu kompozit petek kirişlerin modal analiz sonuçları incelendiğinde üçüncü mod hariç diğer modların sonuçları yakın değerler almaktadır. Üçüncü modda en düşük değeri boşluk ölçüleri büyük olan model almaktadır.

- Ankastre - ankastre mesnetli ve altıgen boşluklu kompozit petek kirişlerin modal analiz sonuçları incelendiğinde Model 28'in sonuçlarının daha küçük olduğu görülmüştür, çünkü bu modelde boşluk arasındaki mesafe diğer durumlara göre daha büyük alınmıştır.
- Boşluk tipi açısından karşılaştırma yapıldığına birinci, ikinci ve üçüncü modun en büyük değeri dairesel boşluklu kirişlerde olduğu görülmektedir. Diğer frekanslar durumlar için tezde verilen tablolar incelenebilir.



KAYNAKLAR

- Abdulridha,S.Q., Muteb,H., Abdulqader,S.(2018). Ultimate strength capacity of composite self-compacting castellated steel beams. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 433, 2nd International Conference on Engineering Sciences 26–27, Kerbala, Iraq
- Al-Zuhairi, A.H.A., Mansi,A.I.(2015). Experimental study of the behavior of composite concrete castellated steel beams subjected to pure bending. *Applied Research Journal*, (1)10, 494-500.
- Andayani, R. (2011). Bridge structure design of composite steel beam with profile castellated.
- ArcelorMittal, “Innovative steel solutions for the Enovos car park in Luxembourg,” 2013,https://constructalia.arcelormittal.com/en/case_study_gallery/luxembourg/innovative_steel_solutions_for_the_enovos_car_park
- Baskar, K., Shanmugam, N.E., Thevendran, V. (2002). Finite-element analysis of steel–concrete composite plate girder. *Journal of Structural Engineering*,(128)9,1158-1168.
- Carvalho,A.S., Oliveira,V.M.,Rossi,A., Martins,C.(2023).Elastic lateral-torsional buckling behavior of steel I-beams with sinusoidal web openings,*Structures*, 47,23-36.
- Dabaon, M.A., El-Naggar, M.I., Yossef,N.M.(2015).Experimental and theoretical study of curved rolled and castellated composite beam. Structural Engineering Dept., Alexandria University, Alexandria, Egypt
- Deepha, R., Jayalekshmi, S. (2020). Finite element analysis on shear strength of a castellated beam with hexagonal web opening. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Bhimavaram, India
- Ellobody, E., Young, B. (2015). Nonlinear analysis of composite castellated beams with profiled steel sheeting exposed to different fire conditions. *Journal of Constructional Steel Research*,(113), 247–260.
- El-Sawy, K. M., Sweedan, A. M.I. , Martini,M.İ (2014). Moment gradient factor of cellular steel beams under inelastic flexure. *Journal of Constructional Steel Research*,(98), 20-34
- Erdal, F. (2011). Ultimate load capacity of optimally designed cellular beams. Ankara: Middle East Technical University.

- Ertürkmen, D., Noori, A.R., (2023). Sonlu elemanlar yöntemi ile eğri eksenli petek kirişlerin eğilme analizi. *Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 38(1), 73-83.
- Ferreira,F.P.V., Martins,C.H., De Nardin,S.(2020). Assessment of web post buckling resistance in steel-concrete composite cellular beams.Elsevier
- Frans, R., Parung, H., Muhiddin, A. B., Irmawaty, R. (2017).Finite element modelling of composite castellated beam. *MATEC Web of Conferences (138)*
- Gizejowski, M.A., Wael, A., Salah, W.A.(2011).Numerical modeling of composite castellated beams ,Structural Engineering Dept.,Warsaw University of Technology,Warsaw,Poland
- Hartono,W., Chiew,S.P.(1996).Composite behaviour of half castellated beam with concrete top slab.School of Civil and Structural Engineering, Nanyang Technological University,Nanyang Avenue, Singapore
- Hosseinpour, M., Sharifi, Y.(2021).Finite element modelling of castellated steel beams under lateral-distortional buckling mode.*Structures*, (29),1507-1521.
- Jayalin,D., Prince, Arulraj, G., Karthika,V.(2015).Analysis of composite beam using ANSYS. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 4(9),11-15.
- Lawson, R., Lim, J., Hicks, S., Simms, W.(2006). Design of composite asymmetric cellular beams and beams with large web openings. *Journal of Constructional Steel Research*, (62), 614-629.
- Matheus, E. B., Inácio B. M.,(2020).Finite element simulation of composite steel-concrete castellated and cellular beams: effect of the web openings.*Ibero latin American Congress on Computational Methods In Engineering*
- Menkulasi, F., Moen, C.D., Eatherton, M.R., Kurupparachchi, D., (2015). Investigation of stiffener requirements in castellated beams, in: *Proceedings of the Annual Stability Conference Structural Stability Research Council Nashville, Tennessee*.
- Morkhade, S., Gupta, L.M.(2019).Behavior of castellated steel beams state of the art review. *Electronic Journal of Structural Engineering*, 19(1)
- Nadjai, A., Vassart, O., Faris, A., Didier, T., Allam, A., Hawes, M. (2007). Performance of cellular composite floor beams at elevated temperatures. *Fire Safety Journal*, (42), 489-497
- Pachpor, P.D., Mittal, N., Gupta, L.M., & Deshpande, N.V. (2011). Finite element analysis and comparison of castellated and cellular beam. *Advanced Materials Research*, 264-265, 694 - 699.

- Pandya.S., Dhankot, M.(2018).FE analysis of curved castellated girder for variable thermal condition.*Kalpa Publications in Civil Engineering*,(1),185-192.
- Redwood, R.G.(2000).Behaviour of composite castellated beams.McGill University,Montreal,Canada
- Rodrigues, F., Vellasco, P.C.d.S., de Lima, L.R., de Andrade, S.A. (2014). Finite element modelling of steel beams with web openings. *Engineering* 6, (886)
- Sonck, D., & Belis, J. (2017, March). Lateral-torsional buckling resistance of castellated beams. *Journal of Structural Engineering*, 143(3).
- Srimani, S. S.L., Das, P.K.(1978).Finite element analysis of castellated beams.*Computers & Structures*, (9)2, 169-174.
- Tsavdaridis, K. D., D’Mello, C. (2012). Vierendeel bending study of perforated steel beams with various novel web opening shapes through nonlinear finite-element analyses. *Journal of Structural Engineering*, (138), 1214-1230.
- Velraj Kumar, G., Muthuraj, M. (2020). Effect of position of hexagonal opening in concrete encased steel castellated beams under flexural loading. *Computers and Concrete*, (26), 95.
- Verweij, J. G. (2010). Cellular beam-columns in portal frame structures.
- Wang, P., Guo, K., Liu, M., Zhang, L. (2016).Shear buckling strengths of web-posts in a castellated steel beam with hexagonal web openings.*Journal of Constructional Steel Research*, (121), 173-184.
- Zirakian, T., Showkati, H. (2006). Distortional buckling of castellated beams. *Journal of Constructional Steel Research*, 62(9), 863-871.

