



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YÜZEY SUYU-YERALTI SUYU ETKİLEŞİMLERİNİ
İÇEREN KAVRAMSAL BİR NEHİR-AKİFER MODELİ**

**İnşaat Müh. Uğur BOYRAZ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Doç. Dr. Cevza Melek KAZEZYILMAZ ALHAN**

Aralık, 2010

İSTANBUL



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YÜZEY SUYU-YERALTI SUYU ETKİLEŞİMLERİNİ
İÇEREN KAVRAMSAL BİR NEHİR-AKİFER MODELİ**

**İnşaat Müh. Uğur BOYRAZ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

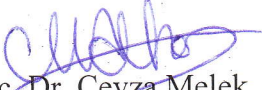
**Danışman
Doç. Dr. Cevza Melek KAZEZYILMAZ ALHAN**

Aralık, 2010

İSTANBUL

Bu çalışma 24/12/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

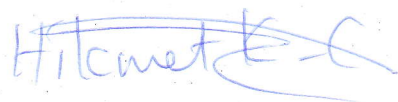
Tez Jürisi


Doç. Dr. Cevza Melek
KAZEZYILMAZ ALHAN (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. H. Murat ÖZLER
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Kerem CİĞİZOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi


Prof. Dr. Hafzullah AKSOY
İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi


Yrd. Doç. Dr. M. Kubilay KELEŞOĞLU
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliđinin 6765 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca bilgi birikimi, deneyimi ile bana yol gösteren ve yardımcı olan değerli hocam Doç. Dr. Cevza Melek KAZEZYILMAZ ALHAN'a tüm çalışmalarımızdaki disiplin, anlayış, sabır ve hoşgörüsü için çok büyük saygılarımı ve derin teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım sırasındaki destekleri ve gösterdikleri sabır için eşim Şükran ve kızım Defne Su'ya; ayrıca her türlü destek ve yardımları için Ayben BOYRAZ ÇAĞLAR'a ve Araş. Gör. Sezar GÜLBAZ'a çok teşekkür ederim. Bu çalışmayı destekleyen İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkürü borç bilirim.

Aralık, 2010

Uğur BOYRAZ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİL LİSTESİ.....	IV
TABLO LİSTESİ	VIII
SEMBOL LİSTESİ	IX
ÖZET.....	X
SUMMARY	XI
1. GİRİŞ	1
2. YERALTI SUYU.....	5
2.1. YERALTI SUYU AKIMI	7
2.2. YERALTI SUYU KİRLİLİK TAŞINIMI.....	8
3. MODFLOW (MODULAR THREE DIMENSIONAL FINITE DIFFERENCE GROUND WATER FLOW MODEL)	9
3.1. MODFLOW İLE YERALTI SUYU AKIMI MODELLEMESİ.....	10
3.2. MODFLOW İLE YERALTI SUYU KİRLİLİK TAŞINIMI MODELLEMESİ.....	11
4. YÜZEY SUYU-YERALTI SUYU ETKİLEŞİMLERİ.....	13
5. MODFLOW İLE KAVRAMSAL NEHİR-AKİFER MODELİNİN OLUŞTURULMASI	16
5.1. HİDRODİNAMİK MODELLEME İÇİN OLUŞTURULAN PROTOTİPLER.....	16
5.1.1. Siltli Basit Akifer Modeli	21
5.1.2. Sınır Koşullarının YüzeY Suyu-Yeraltı Suyu Etkileşimlerine Etkisi.....	24
5.1.2.1. Siltli Akiferde Basit Nehir Modeli	25
5.1.2.2. Siltli Akiferde Kompleks Nehir Modeli	48
5.1.3. Nehir Yatağındaki Eğimin YüzeY Suyu-Yeraltı Suyu Etkileşimlerine Etkisi...	68
5.1.3.1. Düşük Eğimli Nehir Yatağı Modeli.....	69

5.1.3.2. Orta Derecede Eğimli Nehir Yatağı Modeli	72
5.1.3.3. Yüksek Eğimli Nehir Yatağı Modeli	74
5.1.3.4. Karşılaştırma	77
5.1.4. Nehir Yatağındaki Pürüzlülüğün YüzeY Suyu-Yeraltı Suyu Etkileşimlerine Etkisi.....	79
5.1.4.1. Düşük Pürüzlülüğeye Sahip Nehir Yatağı Modeli	80
5.1.4.2. Orta dereceli Pürüzlülüğeye Sahip Nehir Yatağı	82
5.1.4.3. Yüksek Pürüzlülüğeye Sahip Nehir Yatağı.....	85
5.1.4.4. Karşılaştırma	87
5.1.5. Nehrin Akış Hattının YüzeY Suyu-Yeraltı Suyu Etkileşimlerine Etkisi.....	88
5.1.5.1. Düz Akış Hattına Sahip Nehir Modeli.....	89
5.1.5.2. Yan Kollu Kompleks Nehir Modeli	91
5.1.5.3. Kıvrımlı Nehir Modeli.....	96
5.1.5.4. Karşılaştırma	98
5.1.6. Nehir Yatağındaki Ani Eğim Değişiminin YüzeY Suyu-Yeraltı Suyu Etkileşimlerine Etkisi.....	99
5.1.6.1. Düşük Eğimle Ani Eğim Değişimi.....	100
5.1.6.2. Orta Dereceli Eğimle Ani Eğim Değişimi.....	102
5.1.6.3. Yüksek Eğimle Ani Eğim Değişimi.....	105
5.1.6.4. Karşılaştırma	107
5.1.7. Akifer Özelliklerinin YüzeY Suyu-Yeraltı Suyu Etkileşimlerine Etkisi	109
5.1.7.1. Kumlu Akiferde Basit Nehir Modeli.....	109
5.1.7.2. Karşılaştırma	111
5.2. KİRLİLİK TAŞINIMI MODELLEMESİ İÇİN OLUŞTURULAN PROTOTİPLER	112
5.2.1. Düz Akış Hattına Sahip Nehir Modelinde Kirlilik Taşınımı.....	113
5.2.2. Yan Kollu Kompleks Nehir Modelinde Kirlilik Taşınımı	114
5.2.3. Kıvrımlı Nehir Modelinde Kirlilik Taşınımı.....	115
5.2.4. Karşılaştırma	116
5.3. KAVRAMSAL NEHİR-AKİFER MODELİ.....	117
6. SONUÇLAR	126
KAYNAKLAR	130
ÖZGEÇMİŞ.....	134

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Yeraltı suyu taşıyan zeminin tabakalanması (Bayazıt, 2003).....	6
Şekil 4.1. Bataklıklarda yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri.....	14
Şekil 4.2. Büyük su kütlelerinde yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri.....	14
Şekil 4.3. Nehirde yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri	15
Şekil 5.1. Visual MODFLOW programında model oluşturulması- Proje özeti penceresi	17
Şekil 5.2. Visual MODFLOW programında model oluşturulması- Akım seçenekleri penceresi.....	18
Şekil 5.3. Visual MODFLOW programında model oluşturulması- Model alanı penceresi	19
Şekil 5.4. Temel prototip model	20
Şekil 5.5. Visual MODFLOW programının girdiler (input) bölümü.....	20
Şekil 5.6. Siltli basit akifer modeli.....	21
Şekil 5.7. Siltli basit akifer modelinde yeraltı su seviyesi (YASS) dağılımı ve hız vektörleri	22
Şekil 5.8. Siltli basit akifer modelinin en kesit görüntüsü-Hız vektörleri ve su yükseklikleri.....	23
Şekil 5.9. Siltli basit akifer modelinin boy kesit görüntüsü- Hız vektörleri ve su yükseklikleri.....	23
Şekil 5.10. Yeraltı suyu-nehir etkileşimi	24
Şekil 5.11. Siltli akiferde basit nehir modeli-1. durum.....	25
Şekil 5.12. Nehrin boy (a) ve en (b) kesiti	25
Şekil 5.13. Visual MODFLOW programında nehir özelliklerinin tanımlanması.....	26
Şekil 5.14. Siltli akiferde basit nehir modeli-1. durum- YASS dağılımı ve hız vektörleri	27
Şekil 5.15. Siltli akiferde basit nehir modeli-1. duruma ait 2 farklı en kesit.....	28
Şekil 5.16. Siltli akiferde basit nehir modeli-1. duruma ait 2 farklı boy kesit.....	29
Şekil 5.17. Siltli akiferde basit nehir modeli-1. durum-Nehir akifer etkileşimi	30
Şekil 5.18. Siltli akiferde basit nehir modeli-1.durum-Nehir akışı.....	31
Şekil 5.19. Siltli akiferde basit nehir modeli-2. durum.....	31
Şekil 5.20. Siltli akiferde basit nehir modeli-2. duruma ait YASS dağılımı ve hız vektörleri	32
Şekil 5.21. Siltli akiferde basit nehir modeli-2. duruma ait 2 farklı en kesit.....	33
Şekil 5.22. Siltli akiferde basit nehir modeli-2. duruma ait 2 farklı boy kesit.....	34
Şekil 5.23. Siltli akiferde basit nehir modeli-2. durum-Nehir-akifer etkileşimi.....	35
Şekil 5.24. Siltli akiferde basit nehir modeli-2. durum-Nehir akışı.....	35
Şekil 5.25. Siltli akiferde basit nehir modeli-3. durum.....	36
Şekil 5.26. Siltli akiferde basit nehir modeli-3. duruma ait YASS dağılımı ve hız vektörleri	37
Şekil 5.27. Siltli akiferde basit nehir modeli-3. duruma ait 2 farklı en kesit.....	38
Şekil 5.28. Siltli akiferde basit nehir modeli-3. duruma ait 3 farklı boy kesit.....	39

Şekil 5.29. Siltli akiferde basit nehir modeli-3. durum-Nehir-akifer etkileşimi.....	40
Şekil 5.30. Siltli akiferde basit nehir modeli-3. durum-Nehir akışı.....	40
Şekil 5.31. Siltli akiferde basit nehir modeli-4. durum.....	41
Şekil 5.32. Siltli akiferde basit nehir modeli-4. durum YASS dağılımı ve hız vektörleri	42
Şekil 5.33. Siltli akiferde basit nehir modeli-4. duruma ait 2 farklı en kesit.....	43
Şekil 5.34. Siltli akiferde basit nehir modeli-4. duruma ait 2 farklı boy kesit.....	44
Şekil 5.35. Siltli akiferde basit nehir modeli-4. durum-Nehir-akifer etkileşimi.....	45
Şekil 5.36. Siltli akiferde basit nehir modeli-4. durum-Nehir akışı.....	45
Şekil 5.37. Dört farklı durumdaki nehir-akifer etkileşimlerinin karşılaştırılması	46
Şekil 5.38. Dört farklı durumdaki nehir akışının karşılaştırılması.....	48
Şekil 5.39. Kompleks nehir özellikleri	49
Şekil 5.40. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-1. durum.....	50
Şekil 5.41. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-1. duruma ait YASS dağılımı ve hız vektörleri	51
Şekil 5.42. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-1. durum-Akımın 3 boyutlu görünümü	52
Şekil 5.43. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-1. durum-Nehir-akifer etkileşimi	54
Şekil 5.44. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-1. durum-Nehir akışı.....	54
Şekil 5.45. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-2. duruma ait YASS dağılımı ve hız vektörleri	55
Şekil 5.46. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-2. durum- Akımın 3 boyutlu görünümü	55
Şekil 5.47. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-2. durum-Nehir-akifer etkileşimi.....	56
Şekil 5.48. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-2. durum-Nehir akışı.....	57
Şekil 5.49. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-3. duruma ait YASS dağılımı ve hız vektörleri	58
Şekil 5.50. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-3. durum-Akımın 3 boyutlu görünümü	59
Şekil 5.51. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-3. durum-Nehir-akifer etkileşimi.....	59
Şekil 5.52. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-3. durum-Nehir akışı.....	60
Şekil 5.53. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-4. duruma ait YASS dağılımı ve hız vektörleri	61
Şekil 5.54. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-4. Durum-Akımın 3 boyutlu görüntüsü	61
Şekil 5.55. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-4. durum-Nehir-akifer etkileşimi.....	62
Şekil 5.56. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-4. durum-Nehir akışı.....	63
Şekil 5.57. Dört farklı durum için nehir-akifer etkileşiminin karşılaştırılması.....	63
Şekil 5.58. Dört farklı durum için yan kollardaki nehir-akifer etkileşimi	65
Şekil 5.59. Dört farklı durum için nehir akışı	67
Şekil 5.60. Parametrik analiz modeli	69
Şekil 5.61. Düşük eğimli nehir yatağı modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri	69
Şekil 5.62. Düşük eğimli nehir yatağı modelinde nehrin boy kesit görüntüsü	70
Şekil 5.63. Düşük eğimli nehir yatağı modelinde nehir-akifer etkileşimi	71
Şekil 5.64. Düşük eğimli nehir yatağı modelinde nehir akışı	71
Şekil 5.65. Orta dereceli eğime sahip nehir yatağı modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri	72
Şekil 5.66. Orta dereceli eğime sahip nehir modelinde nehrin boy kesiti	73
Şekil 5.67. Orta dereceli eğime sahip nehir modelinde nehir-akifer etkileşimi.....	73

Şekil 5.68. Orta dereceli eğime sahip nehir modelinde nehir akışı	74
Şekil 5.69. Yüksek eğime sahip nehir yatağı modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri	75
Şekil 5.70. Yüksek eğime sahip nehir yatağı modelinde nehrin boy kesiti	75
Şekil 5.71. Yüksek eğime sahip nehir modelinde nehir-akifer etkileşimi	76
Şekil 5.72. Yüksek eğime sahip nehir modelinde nehir akışı	76
Şekil 5.73. Nehir yatağındaki eğim değişiminin nehir-akifer ilişkisine olan etkileri	78
Şekil 5.74. Nehir yatağındaki eğim değişiminin nehir akışına olan etkileri	78
Şekil 5.75. Düşük pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri	80
Şekil 5.76. Düşük pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde nehrin boy kesit görüntüsü	80
Şekil 5.77. Düşük pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde nehir-akifer etkileşimi	81
Şekil 5.78. Düşük pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde nehir akışı	82
Şekil 5.79. Orta dereceli pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri	83
Şekil 5.80. Orta dereceli pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde nehrin boy kesit görüntüsü	83
Şekil 5.81. Orta dereceli pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde nehir-akifer etkileşimi	84
Şekil 5.82. Orta dereceli pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde nehir akışı	84
Şekil 5.83. Yüksek pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri	85
Şekil 5.84. Yüksek pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde nehrin boy kesit görüntüsü	86
Şekil 5.85. Yüksek pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde nehir-akifer etkileşimi	86
Şekil 5.86. Yüksek pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde nehir akışı	87
Şekil 5.87. Nehir yatağındaki pürüzlülüğün nehir-akifer ilişkisine olan etkileri	88
Şekil 5.88. Nehir yatağındaki eğim değişiminin nehir akışına olan etkileri	88
Şekil 5.89. Düz akış hattına sahip nehir modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri	89
Şekil 5.90. Düz akış hattına sahip nehir modelinde nehir-akifer etkileşimi	90
Şekil 5.91. Düz akış hattına sahip nehir modelinde nehir akışı	91
Şekil 5.92. Yan kollu kompleks akifer modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri	93
Şekil 5.93. Yan kollu kompleks akifer modelinde nehir akifer etkileşimi	93
Şekil 5.94. Yan kollu kompleks akifer modelinde yan kollardaki nehir-akifer etkileşimi	94
Şekil 5.95. Yan kollu kompleks nehir modelinde nehir akışı	94
Şekil 5.96. Yan kolun akış hattının değiştirildiği modelin YASS dağılımı ve hız vektörleri	95
Şekil 5.97. Yan kolun akış hattının değiştirildiği modelin nehir-akifer etkileşimleri	95
Şekil 5.98. Kıvrımlı nehir modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri	96
Şekil 5.99. Kıvrımlı nehir modelinde nehir-akifer etkileşimi	97
Şekil 5.100. Kıvrımlı nehir modelinde nehir akışı	98
Şekil 5.101. Nehrin akış hattının nehir-akifer etkileşimlerine etkisi	99
Şekil 5.102. Düşük eğimle ani eğim değişimi modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri	100
Şekil 5.103. Düşük eğimle ani eğim değişimi modelinde nehrin boy kesiti	101
Şekil 5.104. Düşük eğimle ani eğim değişimi modelinde nehir-akifer etkileşimleri	101
Şekil 5.105. Düşük eğimle ani eğim değişimi modelinde nehir akışı	102

Şekil 5.106. Orta dereceli eğimle ani eğim değişimi modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri	103
Şekil 5.107. Orta dereceli eğimle ani eğim değişimi modelinde nehrin boy kesiti	103
Şekil 5.108. Orta dereceli eğimle ani eğim değişimi modelinde nehir-akifer etkileşimleri	104
Şekil 5.109. Orta dereceli eğimle ani eğim değişimi modelinde nehir akışı	104
Şekil 5.110. Yüksek eğimle ani eğim değişimi modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri	105
Şekil 5.111. Yüksek eğimle ani eğim değişimi modelinde nehrin boy kesiti.....	106
Şekil 5.112. Yüksek eğimle ani eğim değişimi modelinde nehir-akifer etkileşimleri..	106
Şekil 5.113. Yüksek eğimle ani eğim değişimi modelinde nehir akışı.....	107
Şekil 5.114. Nehir yatağındaki ani eğim değişiminin nehir-akifer etkileşimine etkisi.	108
Şekil 5.115. Nehir yatağındaki ani eğim değişiminin nehir akışına olan etkisi.....	108
Şekil 5.116. Kumlu akifer modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri	110
Şekil 5.117. Kumlu akifer modelinde nehir-akifer etkileşimleri	110
Şekil 5.118. Kumlu akifer modelinde nehir akışı	111
Şekil 5.119. Hidrolik iletkenliğin nehir-akifer etkileşimine etkisi	111
Şekil 5.120. Hidrolik iletkenliğin nehir akışına olan etkisi	112
Şekil 5.121. Düz akış hattına sahip nehir modelinde nehirdeki maddenin akiferdeki dağılımı	114
Şekil 5.122. Yan kollu kompleks akış hattına sahip nehir modelinde nehirdeki maddenin akiferdeki dağılımı	115
Şekil 5.123. Kıvrımlı akış hattına sahip nehir modelinde nehirdeki maddenin akiferdeki dağılımı	116
Şekil 5.124. Kavramsal nehir-akifer modeli	118
Şekil 5.125. Kavramsal nehir-akifer modelinde akımın 3 boyutlu görüntüsü.....	119
Şekil 5.126. Kavramsal nehir-akifer modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri	119
Şekil 5.127. Kavramsal nehir-akifer modelinde ana koldaki nehir-akifer etkileşimi ...	121
Şekil 5.128. Kavramsal nehir-akifer modelinde birinci yan koldaki nehir-akifer etkileşimi	122
Şekil 5.129. Kavramsal nehir-akifer modelinde ikinci yan koldaki nehir-akifer etkileşimi	122
Şekil 5.130. Kavramsal nehir-akifer modelinde ana koldaki nehir akışı.....	123
Şekil 5.131. Kavramsal nehir-akifer modelinde birinci yan koldaki nehir akışı	123
Şekil 5.132. Kavramsal nehir-akifer modelinde ikinci yan koldaki nehir akışı.....	124
Şekil 5.133. Kavramsal nehir-akifer modelinde nehirdeki maddenin akifere geçişi ve dağılımı	125

TABLO LİSTESİ

Tablo 5.1. Akifer tipi olan siltli zemin için bazı karakteristik değerler	18
Tablo 5.2. Basit nehir segment bilgileri	26
Tablo 5.3. Kompleks nehir segment bilgileri	49
Tablo 5.4. Nehir özellikleri	68
Tablo 5.5. Nehir özellikleri	79

SEMBOL LİSTESİ

q	: Darcy hızı (L/T)
k	: Hidrolik İletkenlik (L/T)
h	: Hidrolik yük (L)
x	: Mesafe (L)
θ	: Porozite
V_g	: Yeraltı suyunun gerçek hızı (L/T)
V_f	: Yeraltı suyunun fiktif hızı (L/T)
Q	: Debi (L ³ /T)
A	: Havza alanı (L ²)
I	: Hidrolik eğim (L/L)
z	: Yükseklik (L)
P/γ	: Basınç yüksekliği (L)
D	: Dispersiyon katsayısı (L ² /T)
C	: Madde konsantrasyonu (M/L ³)
V	: Akım hızı (L/T)
t	: Zaman (T)
K_{xx,yy,zz}	: Akiferin x, y, z doğrultularındaki hidrolik iletkenliği (L/T)
W	: Hacimsel su girişi/çıkışı (1/T)
S_s	: Özgül depolama katsayısı (1/L)
S_y	: Özgül verimlilik katsayısı
C_k	: Akifer için hesaplanan konsantrasyon (M/L ³)
C_s	: Kaynak-kuyu konsantrasyonu (M/L ³)
q_s	: Kaynak veya kuyuya ait birim hacim başına düşen debi (1/T)
R_n	: Reaksiyon terimi (M/L ³ T)

ÖZET

YÜZEY SUYU-YERALTI SUYU ETKİLEŞİMLERİNİ İÇEREN KAVRAMSAL BİR NEHİR-AKİFER MODELİ

Yeraltı suları bulunduğu bölgenin hidrolojik sisteminin önemli bir parçasıdır ve günümüzde tükenmekte olan su kaynaklarının korunması ve geliştirilmesi açısından stratejik bir rol oynamaktadır. Doğal bir kaynak olarak su kalitesi üzerinde ve su temininde önemli bir yere sahiptir. Su kaynakları dağılımının ve çevre kirlenmesinin bölgesel olarak değerlendirilmesi, su temini ve kalitesinin belirlenebilmesi için kaçınılmazdır. Bu nedenle yeraltı suyunun mekanizması, yapılan hassas hidrolojik ve kirlilik taşınımı modellemesi çalışmaları ile belirlenmelidir. Bugüne kadar yapılan yeraltı suyu çalışmaları, yeraltı suyu hidroliğini ve hidrolojisini açıklayabilirken, yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerini kapsayan ve değişken parametreler ve farklı senaryolar altında yeraltı suyunun davranışını inceleyen çalışma literatürde oldukça kısıtlıdır. Genelde literatürde yüzey suyu ve yeraltı suyu ayrı formasyonlar olarak incelenirken, bu çalışmada yüzey ve yeraltı suyu tek bir sistem olarak ele alınmış ve simülasyonlar bu kabul çerçevesinde yapılmıştır. Bu çalışmada yeraltı suyu akımı ve yeraltı suyu kirlilik taşınımı modellemesi yapabilen VISUAL MODFLOW bilgisayar programı ile kavramsal bir nehir-akifer modeli geliştirilerek, yapılmış olan simülasyonlar ile kavramsal olarak hazırlanmış nehir-akifer bölgesinin hidrolojik davranışı incelenmiş ve yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerinin nehir-akifer formasyonunun hidrolojik davranışına olan etkisi araştırılmıştır. Yapılmış olan nehir-akifer hidrolojik modellemesi ile farklı nehir ve akifer parametreleri ve farklı akış hatları için yeraltı su seviyesi dağılımı ve nehir-akifer arasında oluşan akım elde edilmiştir. Ayrıca nehir-akifer kirlilik taşınımı modellemesi ile farklı akış hatları için nehir-akifer formasyonundaki konsantrasyon dağılımları hesaplanmıştır. Kavramsal nehir-akifer modeli kullanılarak nehir-akifer sistemi için yüzey -yeraltı suları arasındaki akım incelenmiş ve yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerinin nehirle akifer arasındaki madde transferine olan etkisi araştırılmıştır.

SUMMARY

A CONCEPTUAL STREAM-AQUIFER MODEL INCORPORATING SURFACE WATER-GROUND WATER INTERACTIONS

Ground water is an important part of the hydrological system and it has a strategic place in protecting and developing water resources being depleted nowadays. As a natural resource, ground water plays an important role in water quality and water supply. Regionally assessing the distribution of water resources and environmental pollution is inevitable for determining water supply and water quality. Therefore, the physical mechanism of the ground water should be determined by developing detailed hydrological and contaminant transport models. While many studies cover ground water as a single system and therefore investigate pure ground water hydraulics and hydrology, studies related to surface water-ground water interactions and the behavior of ground water by conducting a sensitivity analysis under different scenarios are exiguous in the literature. Generally, surface water and ground water are examined separately in the literature; however, in this study they are considered as a unique system and the simulations are done accordingly. In this study, a conceptual stream-aquifer model is developed by using VISUAL MODFLOW computer program which is capable for simulations of ground water flow and ground water contaminant transport. The hydrological behavior of the conceptual stream-aquifer region is observed and the effect of surface water-ground water interactions on the hydrological behavior of stream-aquifer region is investigated. Ground water level fluctuations and the flux between stream and aquifer are obtained with the hydrological model of the conceptual stream-aquifer system by conducting sensitivity analyses for different stream and aquifer parameters and flow paths. In addition, the concentration distributions in aquifer formation for different flow paths are obtained by using the stream-aquifer contaminant transport model. By using conceptual stream-aquifer model, the flow rate between surface water and ground water for the stream-aquifer system are studied and the effect of surface water-ground water interactions on mass flux between stream and aquifer are investigated.

1. GİRİŞ

Yeraltı suları havza içerisinde hidrolojik davranışı direkt olarak etkileyen önemli bir faktördür. Ayrıca su temini ve su kalitesinde önemli bir rol oynamaktadır. Yeraltı suyu, kuyu ve çeşitli su yapılarıyla su teminine katkıda bulunur ve dere, göl, nehir ve bataklıklarla arasında oluşan etkileşimlerle yüzey sularının kalitesini ve miktarını etkiler. Bu nedenle yeraltı suyu rezervi, kalitesi ve kontrolü büyük önem taşır. Yeraltı su kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılabilmesi için hidrolojik olarak doğru bir şekilde modellenmesi gerekir. Hassas yeraltı suyu modellemelerinde yeraltı suyunun birçok karakteristik özelliği dikkate alınmalıdır. Bu karakteristik özelliklerin en önemlilerinden biri de bölgesel olarak değişebilen yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleridir (Kazezyılmaz- Alhan ve Medina, 2008). Yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri, nehir, göl, dere gibi farklı su kaynakları ile akifer arasındaki hidrolojik davranışı ve kirlilik taşınımını etkilemektedir (Kazezyılmaz-Alhan ve diğ., 2007). Dere, göl, bataklık gibi yüzey suyu kaynaklarının kenarlarında oluşan geçiş bölgelerinde oluşan yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerinin önemi Winter ve diğ. (1998), Winter (1999) ve Price ve Wadington (2000) tarafından tartışılmıştır.

Yeraltı suyu akışını tanımlamak, yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerini açıklamak, ve yeraltı suyunun bölgesel etkilerini gözlemek üzere birçok duyarlılık analizleri ve matematiksel hidrolojik modelleme çalışmaları yapılmaktadır. Bu hidrolik ve hidrolojik çalışmaların önemli bir bölümü MODFLOW programı ve bu programa entegre edilebilen paket programlarla gerçekleştirilmektedir (Bradley, 1996, 2002; Restrepo ve diğ., 1998). Zaadnoordijk (2009) tarafından yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerini açıklayabilmek için MODFLOW bilgisayar programında bulunan Genel Sınır Koşulları ve Dren (General Head Boundary ve Drain) paketleri birleştirilmiştir. Huang ve diğ. (2008) geniş alanlarda yeraltı suyu ve madde taşınımını problemlerini çözmek üzere MODFLOW yeraltı suyu akış modelini ve R3TD taşınım simülatörünü paralel hesaplama yöntemi ile birleştirerek alternatif bir çözüm yöntemi önermişlerdir. Knighth ve Rassam (2007), nehir-akifer ilişkisini zaman serisi analizleri ve tahmin yöntemiyle

yaptıkları nümerik analizlerle modellemişlerdir. Mehl ve diğ. (2006), çeşitli Yersel Sistem Düzenleme (Local Grid Refinement) metodlarını MODFLOW-2000 simülasyonları ile karşılaştırarak bu metodların avantaj ve dezavantajlarını tartışmışlardır. Virginia havzasında yapılan hidrolojik bir çalışma ile arazi kullanımının yeraltı suyu ve nehir akışına olan etkileri incelenmiştir (Cho ve diğ., 2009).

Su temininde büyük öneme sahip olan yeraltı suları, evsel kullanımdan, tarım ve sanayi kullanımına kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır. Ancak yüzeyde biriken kirliliğin yağış sonucu yeraltına sızması, sanayi ve endüstriyel atıkların akifere karışması ve yüzeysel, endüstriyel ve evsel atıkların doğrudan veya dolaylı olarak yeraltı suyu ile etkileşimde olan sulak alanlara karışması sonucu yeraltı suyu kirlenmektedir. Yeraltı suyu akımı neticesinde bu kirlilik tüm akifere dağılmaktadır. Bu dağılım sonucu kirlilik, kuyu gibi yeraltı suyu alma yapılarına karışabilmektedir. Ayrıca tehlikeli kirlilik maddeleri doğal formasyonun da bozulmasına yol açmaktadır. Bu nedenle yeraltı suyu kirliliği araştırılmalı ve gerek su temini için, gerekse ekolojik durumu korumak adına bu kirlilik kontrol altına alınmalıdır. Bu kontrol, kurulan hidrolojik modelleme çalışmaları ile problemin tanımlanması ve çözüm önerileri ile mümkündür (Bayındır, 2006; Atilla, 2002; Tümer, 2002; Çirkin, 2006; Güllüoğlu, 2006; Hökelekli, 2010; Nalbantçılar, 2002; Yurtçu, 2001; Angier ve diğ., 2004). Erdem (2006), Mersin-Tarsus bölgesinde oldukça önemli bir role sahip olan Berdan akiferinin hızlı kentleşme, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler sonucu kirlenmesini fotometrik yöntemle araştırmış, su temini için geleceğe yönelik tahmin ve koruma önerileri sunmuştur. İçme suyunun tamamını yeraltı sularından sağlayan Kayseri’de yapılan bir çalışmada yeraltı suyu ve kuyularda kirlilik değerlendirilmiştir (Aykar, 2009). Özgenç (2002), Harmandalı atık depolama tesisinin bulunduğu heterojen bir akiferde MODFLOW programıyla yeraltı suyu akımını ve kirliliğini belirlemiştir. Yağbasan (2007), Mogan ve Eymir gölleri arasındaki akifer sistemini incelemiş, Dişli (2007) aynı bölgede yaptığı çalışmada yeraltı suyu akımı ve madde taşınımını MODFLOW programı ile modellemiştir. Kurtuluş (2008), yeraltı suyu akımını ve kalitesini modellemek için yapay sinir ağları ve bulanık mantık yöntemlerini kullanmıştır. Korkmaz (2007), kurduğu havza modelinde nehir-akifer sistemini yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerini de entegre ederek incelemiştir.

Nehir-akifer ilişkisini incelemek üzere farklı bölgeler için MODFLOW kullanılarak birçok uygulama çalışması yapılmıştır. Safavi ve Bahreini (2009), yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerini jeolojik değişkenler ile inceleyerek, kurdukları modeli Najafabad bölgesine entegre etmişlerdir. Kania ve diğ. (2006) Polonya’da farklı bölgelerde yaptıkları çalışmada, yeraltı suyu, nehir ve barajlardaki kompleks etkileşimleri MODFLOW ve MT3D programları ile incelemişlerdir. Wilcox ve diğ. (2007) Rio Grande nehrinde yaptıkları deneysel çalışma ile akifer karakteristiklerini ve yeraltı suyunu incelemiş, ayrıca hidrolojik değişkenlerin bu sisteme etkisini gözlemek üzere duyarlılık analizleri yapmışlardır.

MODFLOW kullanılarak yapılmış olan çalışmalara ek olarak literatürde yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerini açıklamak üzere yapılmış nümerik ve deneysel çalışmalar bulunmaktadır. Helmus ve diğ. (2009) Rio Grande nehri boyunca yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerini içeren bir yeraltı suyu modeli ile su kalitesini incelemiş ve bölgesel niteliklerin etkilerini araştırmışlardır. Büyükçekmece Gölü’nün doğu yakasında yapılan bir çalışmada ise EPA SWMM bilgisayar programı kullanılarak bataklık bölgesi ile akifer arasındaki yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri incelenmiştir (Yıldırım/Boyras ve Kazezyılmaz-Alhan, 2008). Kazezyılmaz-Alhan ve diğ (2007), yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerini içeren WETSAND adlı bir bataklık hidrolojisi ve kirlilik taşınımı modeli oluşturmuşlardır. Ayrıca, birçok çalışmada yeraltı suyunun bataklıklardaki sularla olan etkileşimleri deneysel gözlemlerle incelenmiştir (Winter ve Rosenberry, 1995; Devito ve Hill, 197; Choi ve Harvey, 2000; Warren ve diğ., 2001).

Literatürde yapılmış olan çalışmalara katkıda bulunmak amacıyla, bu tezde VISUAL MODFLOW programı ve programa entegre edilebilen diğer modüller kullanılarak, yüzey sularını ve yeraltı suyunu birbiri ile ilişkili olarak ele alan ve yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerini içeren kavramsal bir nehir-akifer sistemi oluşturulmuştur. Bu modeli kurmadan önce nehir ve akifere ait önemli parametreler ve akış hatları kullanılarak pek çok prototip modeller oluşturulmuş ve yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerini gözleyebilmek için duyarlılık analizleri yapılmıştır. Duyarlılık analizleri sonucunda yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerinin değişimi incelenmiş ve bu oluşumun nehir akışına, yeraltı suyu akımına, nehir-akifer ilişkisine ve kirlilik taşınımına olan etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda yüzey suyu-yeraltı suyu

etkileşimlerinin yoğun olarak gözleneceği kavramsal model kurularak, nehir-akifer sistemindeki etkileşim, yeraltı su seviyesi, akım ve konsantrasyon dağılımları incelenmiş ve uygulamadaki önemi vurgulanmıştır.

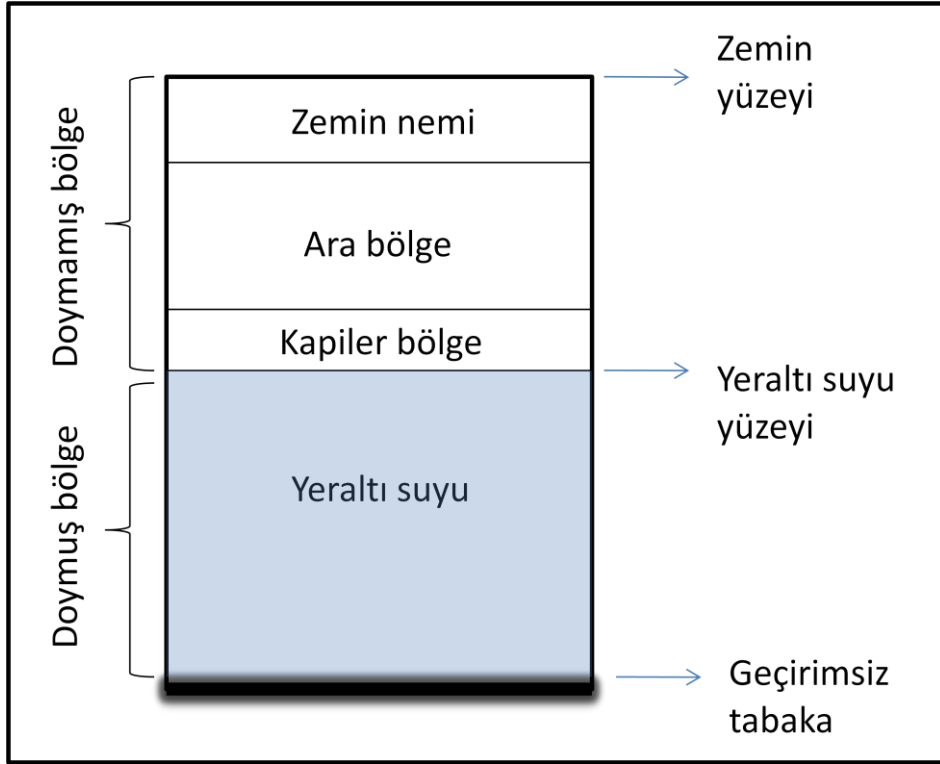
2. YERALTI SUYU

Yeraltı suları hidrolojik döngünün en önemli parçalarından biridir. Zemin içerisindeki suyun oluşumunu, taşınmasını, su miktarını ve su kalitesini etkiler. Yeryüzündeki mevcut su tabakalarında bulunan veya yağışlarla yeryüzüne ulaşan suların toprak ve bitkiler tarafından emilerek, yeraltına sızması ve gelen suyun yerçekimi etkisi ile zemin içerisinde ilerleyerek birikmesi sonucu zemin içerisinde doymuş bir bölge oluşur. Bu bölgede biriken suya yeraltı suyu denir. Yeraltı suları zemin içerisinde hareket halindedir. Suyun bu hareketi de yeraltı suyu akışı olarak adlandırılır (Bayazıt, 2003; Erguvanlı, 1984). Yeraltı suyu akışı, yeryüzü eğimi, bitki örtüsü, hidrolik eğim, hidrolik iletkenlik, hidrolik yük, hidrostatik basınç, atmosfer basıncı gibi parametrelere bağlı olarak değişir. Ayrıca yeraltı suyu bulunan bölgenin jeolojik yapısı ve bölgenin bataklık, sulak alan, akarsu veya göl oluşu da yeraltı su seviyesine ve yeraltı suyu akışına etki eder (Yıldırımş-Boyras ve Kazezyılmaz-Alhan, 2008). Yeraltı sularının en büyük beslenme kaynağı yağışlar sonucu zemine sızan sulardır; ikinci olarak ise bölgede bulunan akarsular, göl ve bataklıklardan yeraltı akışına katılan sulardır.

Yeraltı suyu taşıyan zemin doymuş bölge ve doymamış bölge (havalanma bölgesi) olarak iki tabakaya ayrılır. Doymuş bölgede zemin boşluklarının tamamı su ile doludur. Yeraltı suyu ve yeraltı suyu hareketi bu bölgede görülür. Bu bölgenin üstünde yer alan doymamış bölgede gözeneklerde hem gazlar (başlıca hava ve su buharı) hem de su bulunmaktadır. Yeraltı suyu taşıyan zeminin tabakalanması Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

Şekilde görüldüğü gibi doymuş bölgenin üst düzeyi bir su tablası ile sınırlanmaktadır. Bu yüzey yeraltı suyu tablası olarak adlandırılır. Doymamış bölge; kapiler bölge, ara bölge ve zemin nemi bölgesi olmak üzere 3 tabakadan oluşur. Yeraltı suyu tablasının hemen üst kısmında kapiler bölge bulunur. Bu bölgede yeraltı suyu kapiler gerilme ile kılcal boşluklara tutunmuştur. Burada zemin % 90’ın üzerinde doymuş durumdadır. Bu doymunluk yüzde değeri zemin cinsine ve bölgesel özelliklere göre değişmektedir. Kapiler bölgede suyun hareketi yatay ve düşey yönde olabilir. Kapiler bölgenin üst

kısımında ara bölge bulunmaktadır. Burada suyun moleküler adhezyon kuvveti ile taneye yapışan kısmı yani peliküler su bulunmaktadır. Yerçekimi etkisinde hareket eden suda bu bölgeden geçerken bir kısmı taneciklere tutunabilir. Ara bölge bu nedenle vadoz su olarak da adlandırılır. Doymamış bölgenin en üst tabakasında ise zemin nemi bölgesi bulunur. Bu kısım yer yüzeyine yakın olup bitki köklerinin bulunduğu ve beslendiği kısımdır. Bu bölgedeki, su dağılımı yeryüzeyindeki mevsimsel ve günlük yağışlardaki, sulamadaki, hava sıcaklığındaki, nem oranındaki değişmelerinden ve sık bir su tablasının varlığından etkilenmektedir. Bütün bu tabakaların kalınlığı bölgesel özelliklere göre değişir. (Yolcubal, 2004; Bayazıt, 2003; Usul, 2005; Bedient ve Huber, 2002).



Şekil 2.1. Yeraltı suyu taşıyan zeminin tabakalanması (Bayazıt, 2003)

Gözenekleri yeraltı suyu ile doldurulmuş olan ve bu suyun hareketine imkan veren jeolojik formasyonlara akifer denir. Kısaca yeraltı suyu taşıyan tabaka olarak açıklanabilir. Akiferler serbest yüzeyli ve basınçlı olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Üst yüzeyini su tablasının oluşturduğu ve tabanı geçirimsiz bir tabakayla sınırlandırılmış olan akiferlere serbest yüzeyli akifer denir. Serbest yüzeyli akiferler direkt olarak gelen yağışın sızması sonucu beslenirler ve hava ile temas

halindedirler. Yani su yüzeyi boyunca atmosfer basıncı mevcuttur. Bu nedenle yeraltı suyu akımı serbest yüzeyli açık kanal akımına benzer. Bu tip akiferde yeraltı suyu tabakasına statik su seviyesi de denir ve genellikle bölgesel topoğrafyaya paralel ilerler. Tabanı ve üst yüzeyi geçirimsiz tabakalarca sınırlandırılmış olan akiferlere ise basınçlı akifer denir. Bu tip akiferlerde atmosfer basıncı ile temas eden yüzey yoktur. Bu nedenle akım basınçlı boru akımına benzer (Bayazıt, 2003).

2.1. YERALTI SUYU AKIMI

Yeraltı suyu bulunduğu doymuş bölgede yer çekimi etkisi ile doğal bir hareket halindedir. Akifer tanelerinin aralarındaki küçük ve değişken şekilli boşluklarda yeraltı suyu enerjinin yüksek olduğu yerden enerjinin düşük olduğu yere doğru akar. Su zemin içerisinde hareket ettiğinden sürtünme etkisi çok büyüktür. Bu nedenle yeraltı suyu akımı oldukça yavaş ve laminer bir akımdır. Yeraltı suyunun akifer taneciklerinin arasında hareket ederken, akımın gerçek hızı ve debisi zemin tanecikleri arasında, kartezyen koordinatlarda zamanın bir fonksiyonudur ve hesaplaması oldukça güçtür. Bu nedenle yeraltı suyunun hızı ve debisi bir zemin numunesinin kesit alanından geçen su miktarı ile tanımlanır. Bu prensibe Darcy Kanunu denir ve yeraltı suyu hidroliğinin temelini oluşturur. Darcy Kanunu'na göre yeraltı suyu akımının hızı aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$q = -k \frac{\partial h}{\partial x} \quad (2.1)$$

Burada q Darcy hızı (L/T), k hidrolik iletkenlik (L/T), h yük kaybı (L), x mesafeyi (L) göstermektedir. Darcy Kanunu'nun işleyişine göre zemin numunesinin kesit alanından geçen su miktarı yeraltı suyu debisini, birim alandan geçen su miktarı ise yeraltı suyunun hızını verir. Bu hız fiktif hız olarak tanımlanır ve yeraltı suyunun akifer tanecikleri arasındaki gerçek hızı değildir. Ancak fiktif hız ile gerçek hız arasında porozite kullanılarak aşağıdaki ilişki kurulabilir:

$$V_f = V_g \cdot \theta \quad (2.2)$$

Burada V_f fiktif hız (L/T), V_g gerçek hız (L/T) ve θ porozitedir. Yeraltı suyu debisi fiktif hız ile hesaplanabilir:

$$Q = V_f \cdot A \quad (2.3)$$

Burada Q debi (L^3/T) ve A zemin numunesinin kesit alanıdır (L^2). Darcy Kanunu'nu fiktif hız ile yazarsak aşağıdaki şekli alır:

$$V_f = k \cdot I \quad (2.4)$$

Burada I hidrolik eğimdir. h yük kaybı ise gibi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$h = \left\{ z_1 + \frac{P_1}{\gamma} \right\} - \left\{ z_2 + \frac{P_2}{\gamma} \right\} \quad (2.5)$$

Burada z geometrik yükseklik (L), p/γ basınç yüksekliğidir (L).

2.2. YERALTI SUYU KİRLİLİK TAŞINIMI

Yeraltı suyu yağış sonucu zemin üzerinden sızan maddelerle, sanayi ve endüstriyel atıklardaki maddelerin akifere geçişi neticesinde kirlenmektedir. Ayrıca nehir, göl gibi yeraltı sularının etkileşimde bulunduğu yüzey sularındaki kirlilik de yeraltı suyuna etki etmektedir. Belli bir kaynaktan akifere karışan kirlilik, yeraltı suyu akımı ile akifer içerisinde dağılmaktadır. Bu dağılımın önemli iki bileşeni vardır: Adveksiyon ve dispersiyon. Adveksiyon akımın hızından kaynaklanan ve kirlilik maddesini akım yönünde taşıyan etkidir. Dispersiyon ise kirliliğin adveksiyon etkisinde ilerlerken kendi çevresinde meydana gelen dağılımını ifade eder. Bu durum kirlilik taşınımı hesaplarında aşağıdaki matematiksel formül ile gösterilir:

$$D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial C}{\partial t} \quad (2.6)$$

Burada D dispersiyon katsayısını, C kirlilik konsantrasyonunu (M/L^3), V akım hızını (L/T), x mesafeyi (L) ve t zamanı (T) ifade etmektedir. Denklemin sol tarafındaki $D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$ terimi dispersiyonu, $V \frac{\partial C}{\partial x}$ terimi ise adveksiyonu temsil etmektedir.

3. MODFLOW (MODULAR THREE DIMENSIONAL FINITE DIFFERENCE GROUND WATER FLOW MODEL)

MODFLOW programı yeraltı suyu akımını tanımlayan diferansiyel denklemleri sonlu farklar yaklaşımıyla çözümlenerek yeraltı suyu akımını 3 boyutlu olarak modelleyebilen bir programdır. İlk olarak United States Geological Survey (USGS) (Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Dairesi) tarafından geliştirilmiştir. Daha sonra program Schlumberger Water Services tarafından geliştirilmeye devam edilmiş ve VISUAL MODFLOW olarak kullanıma sunulmuştur. Bugün yeraltı suyu modeli yazılımı olarak bilim dünyasında en yaygın olarak kullanılan bir program haline gelmiştir. VISUAL MODFLOW kirletici madde taşınımı modelini 3 boyutlu yeraltı suyu akışı modeline entegre ederek bu iki problemi aynı anda çözebilme özelliğine sahip piyasadaki en kapsamlı programlardan biridir. Programın bu gelişmiş versiyonu MODFLOW, MODPATH, ZoneBudget, MT3Dxx/RT3D ve WinPEST paketlerinin entegrasyonunu içerir. Programın algoritması ve grafik seçenekleri sayesinde kullanıcıya, birim sistemi, model boyutlarının belirlenmesi, model özelliklerine uygun sınır koşullarının belirlenmesi, manuel veya otomatik teknikler kullanarak kalibrasyon yapılması, 2 ve 3 boyutlu grafiklerle sonuçların elde edilmesi gibi birçok kolaylık sağlanmış olur.

VISUAL MODFLOW programı çalışma alanını çok küçük kontrol hacimlerine bölerek, her bir kontrol hacmi için matematiksel hesaplamaları yapar ve oldukça hassas sonuçlar verir. Programın en son versiyonunda matematik yöntemler geliştirilmiş, kullanılan ileri matematiksel tekniklerle analizler hızlandırılmış ve hata payı azaltılmıştır. VISUAL MODFLOW programı Professional ve Premium versiyonları MODFLOW-SURFACT, MIKE, SEAWAT ve MODFLOW modülleri ile beraberinde Multi-Node Well (MNW-Çoklu kuyu modeli) Paketi, Enhanced Wells Manager (Gelişmiş Kuyu Yöneticisi), PHT3D kirlilik taşınımı paketi ve Recharge Concentration (Besleme Konsantrasyonu) paketi, Run SEAWAT Uncoupled Flow paketlerini içerir.

3.1. MODFLOW İLE YERALTI SUYU AKIMI MODELLEMESİ

MODFLOW yeraltı suyunun, hidrolik iletkenlik ve porozite gibi özellikleri tanımlanmış bir akiferde özel durumları da içine katarak 3 boyutlu akım modellemesini yapabilmektedir. MODFLOW nümerik analiz yapan bir programdır. MODFLOW, yeraltı suyu akım denklemini çözmek için sonlu farklar yaklaşımını kullanmaktadır. Çalışma alanını küçük hücrelere böler ve bu hücrelerde her bir zaman dilimi için sistemi çalıştırarak akımı çözümler. Programın nümerik analizler için kullandığı diferansiyel denklem takımı aşağıda sunulmuştur (McDonald and Harbaugh,1988):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left\{ K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right\} + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3.1)$$

Burada K_{xx} , K_{yy} ve K_{zz} akiferin x,y,z doğrultularındaki hidrolik iletkenliği (L/T), h hidrolik yük (L), W hacimsel su girişi/kaybı (I/T) ($W>0$ ise yeraltı suyu akım sistemine su girişi (beslenme) ve $W<0$ ise sistemden su kaybı (boşalım)), S_s akiferin özgül depolama katsayısı (I/L), t zamanı (T) ifade etmektedir. MODFLOW nümerik analizi gerçekleştirmek üzere farklı modüllerle çalışabilmektedir. Bu çalıştırıcılar aşağıdaki gibidir:

- MODFLOW-96 (U.S. Geological Survey)
- MODFLOW-2000 (U.S. Geological Survey)
- MODFLOW-2005 (U.S. Geological Survey)
- MODFLOW-SURFACT (HydroGeoLogic, Inc.)
- SEAWAT (U.S. Geological Survey)

MODFLOW-96 en temel çalıştırıcıdır, yeraltı suyu akımı için basit nümerik analizi yapar. MODFLOW-2000 eski 96 sürümünün parametre tahmini yapabilme özelliği kazandırılarak ve yeni paketler eklenerek geliştirilmiş halidir. MODFLOW-2005, MODFLOW-2000'de uygulanan prosesi farklı yaklaşımlarla da çözebilmektedir. MODFLOW SURFACT serbest yüzeyli akiferde doymuş ve doymamış bölgelerdeki hareketi, yüzeysel birikimi, uygun zaman aralıklarını ve hava akışını içeren yeni özellikleri kullanarak çözümlenmektedir. SEAWAT ise değişken yoğunluklu akımı ve

taşınımı çözümlenebilmektedir. Kullanılan her modülün, farklı çözümleyici seçenekleri vardır.

3.2. MODFLOW İLE YERALTI SUYU KİRLİLİK TAŞINIMI MODELLEMESİ

MODFLOW programı Bölüm 3.1’de verilen 3 boyutlu akım denkleminde elde edilen yeraltı suyu hızını aşağıda verilen kirlilik taşınımı denkleminde kullanarak yeraltı suyundaki kirlilik dağılımını hesaplar.

$$\frac{\partial C_k}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ D_{ij} \frac{\partial C_k}{\partial x_j} \right\} - \frac{\partial}{\partial x_i} \{ V_i C_k \} + \frac{q_s}{\theta} C_{sk} + R_n \quad (3.2)$$

Burada θ porozite, C_k konsantrasyon (M/L^3), t zaman (T), x mesafe (L), D hidrodinamik dispersiyon tensörü (L^2/T), V zemin taneleri arasında kalan boşluklardaki suyun hızı (L/T), q_s akiferde bulunan kaynak (pozitif) veya kuyuya (negatif) ait birim hacim başına düşen debi (I/T), C_{sk} kaynak veya kuyuda bulunan kirlilik maddesine (k) ait konsantrasyon (M/L^3), R_n kimyasal reaksiyon terimini (M/L^3T) ifade etmektedir. Denklemin sağ tarafındaki 4 terim, konsantrasyon dağılımının en kapsamlı halini göstermektedir. $\frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ D_{ij} \frac{\partial C_k}{\partial x_j} \right\}$ terimi dispersiyonu, $\frac{\partial}{\partial x_i} \{ V_i C_k \}$ terimi adveksiyonu, $\frac{q_s}{\theta} C_{sk}$ terimi kaynak-kuyu etkisini ve R_n terimi reaksiyonu temsil eder. MODFLOW programında genel denklemini her hücrede ve her zaman diliminde ötelemek üzere farklı taşınım modülleri vardır:

- MT3DMS (U.S. Army Corp of Engineers)
- RT3D 1.0 (Battelle Northwest Laboratories)
- RT3D 2.5 (Battelle Northwest Laboratories)
- PHT3D 1.46 (www.pht3d.org)
- MT3D96 (S.S. Papadopoulos & Associates, Inc.)
- MT3D99 (S.S. Papadopoulos & Associates, Inc.)
- SEAWAT (U.S. Geological Survey)

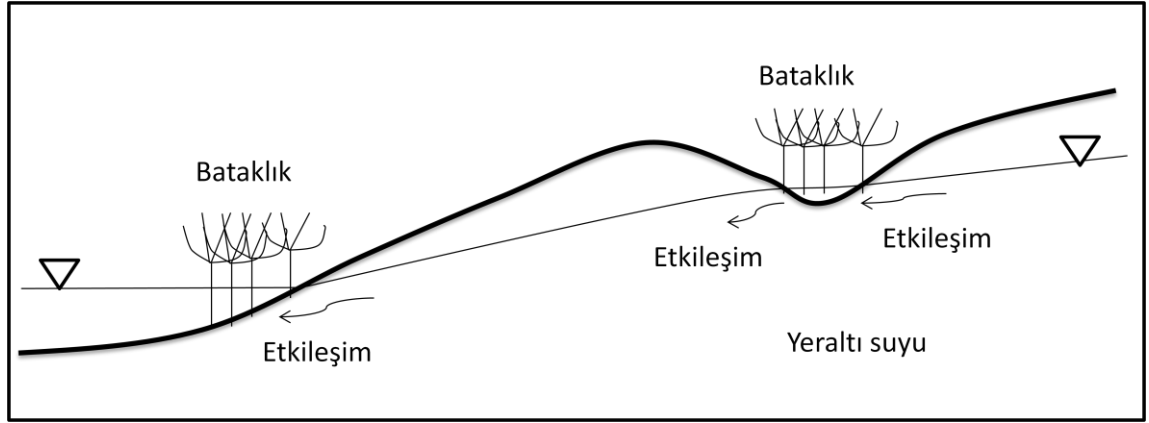
Bu modüller arasındaki temel farklar madde taşınımındaki farklı durumlar, farklı emilim ve reaksiyonlar üzerine yoğunlaşmalarıdır. Ayrıca her simülatör kendi içinde farklı nümerik çözüm yöntemi seçeneğine sahiptir.

4. YÜZEY SUYU-YERALTI SUYU ETKİLEŞİMLERİ

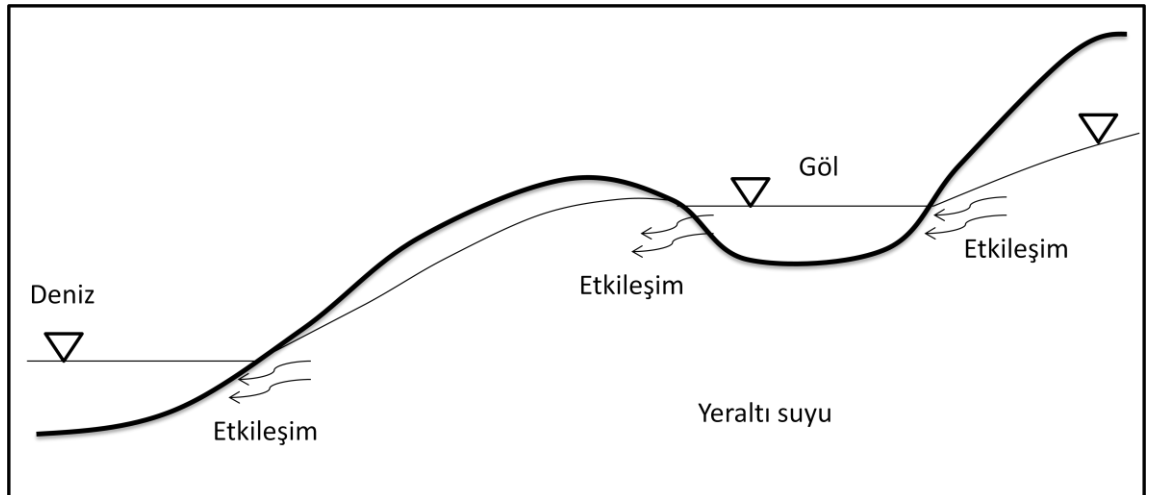
Yeraltı suları ve yüzey suları her türlü formasyonda etkileşime girebilmektedirler. Havza yönetimi, taşkın kontrolü, su kaynaklarının optimizasyonu ve ekolojik öğelerin en doğru şekilde korunabilmesi açısından yapılan hidrolojik çalışmalarda yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerinin rolü önemlidir. Özellikle su miktarı, kalitesi ve kirlilik taşınımı çalışmalarında etkileşimler oldukça etkindir. Bugüne kadar yapılan birçok hidrolojik çalışmada yeraltı suyu ve yüzeysel sular ayrı ayrı modellenmiştir. Ancak doğadaki su sisteminin doğal oluşumu düşünüldüğünde yüzey sularının ve yeraltı sularının birbirinden ayrı değerlendirilecek sistemler olmadığı ve birleştiği bölgelerdeki ilişkinin hidrolojik ve hidrojeolojik çalışmalarda dikkate alınması gerektiği anlaşılmaktadır.

Yeraltı suları ile etkileşimde olan yüzeysel sular, bölgesel özellikler ve akış özelliklerine göre yeraltı suyundan beslenebilir veya yeraltı sularını besleyebilirler. Göl gibi düşük kotlu ve geniş alana yayılan yüzeysel sularda genel olarak yeraltı suyu gölü beslerken, göldeki su miktarına önemli ölçüde etki eder. Bölgesel özelliklere ve gölün topografik kotuna göre yer yer göllerden yeraltı suyuna geçiş olması ise yeraltı suyunun beslenmesine ve konsantrasyonuna etki edebilir. Yeraltı suları daha büyük su kütlelerine doğru ilerlerken geçiş bölgelerinde meydana gelen veya topoğrafyadaki ani eğim kırılmalarında yeraltı suyunun yüzeye çıkması ile meydana gelen bataklıklar, yeraltı suyu ile önemli etkileşimde bulunurlar. Nehirlerde ise suyun debisi, nehrin akış hattı, nehir tabanından oluşan sızma ve hidrolik yük etkileri yeraltı suyu ile nehir arasında çok önemli etkileşimlere neden olur. Nehirdeki veya yeraltı suyundaki konsantrasyon etkileşimde bulunduğu formasyonu oldukça etkiler. Kirlilik taşınımı ve konsantrasyon çalışmalarında yüzeysel su modelleri ile yeraltı suyu modellerinin entegrasyonu, hidrolojik davranışı belirleyebilmek için şarttır. Şekil 4.1’de bataklıklarla, Şekil 4.2’de göl vb. büyük su kütleleri ile, Şekil 4.3’te nehir ile etkileşime giren yeraltı suları şematize edilmiştir.

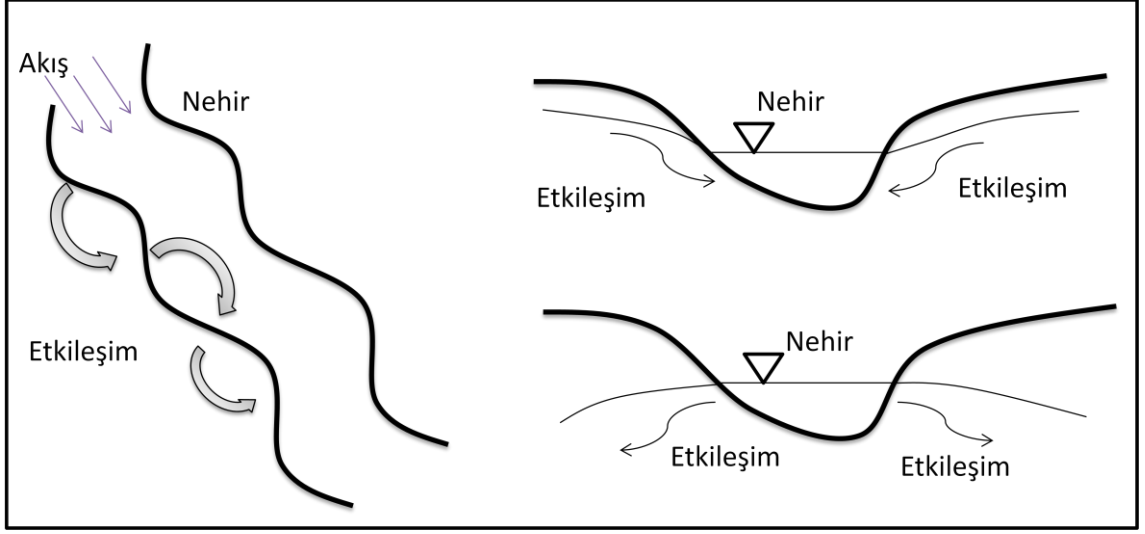
MODFLOW programı yüzey ve yeraltı suyu etkileşimini incelerken, yüzeysel suları ve yeraltı suyunu birbirinden bağımsız sistemler olarak algılamaz ve aynı sistemin parçaları olarak modeller. Göl, deniz, bataklık gibi durgun su kütlelerindeki etkileşimi sızma ile çözümlerken, nehir gibi içerisinde akış olan yüzeysel sularda etkileşim debisini sunabilmektedir. Modeldeki sabit ve değişken sınır koşullarını kullanarak yeraltı suyu dağılımını hesaplar. Nehirdeki su yüksekliğini de sınır koşulu olarak kullanarak, nehrin yanal yüzeylerinden yeraltı suyu ile nehir arasındaki su alış-verişini modeller. Program hesapladığı yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşiminin debisini kullanarak madde taşınımını da hesaplayabilir. Yeraltı suyu akımını kullanarak nehirden akifere geçen konsantrasyonun akifer içerisindeki dağılımını çözer.



Şekil 4.1. Bataklıklarda yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri



Şekil 4.2. Büyük su kütlelerinde yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri



Şekil 4.3. Nehirde yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri

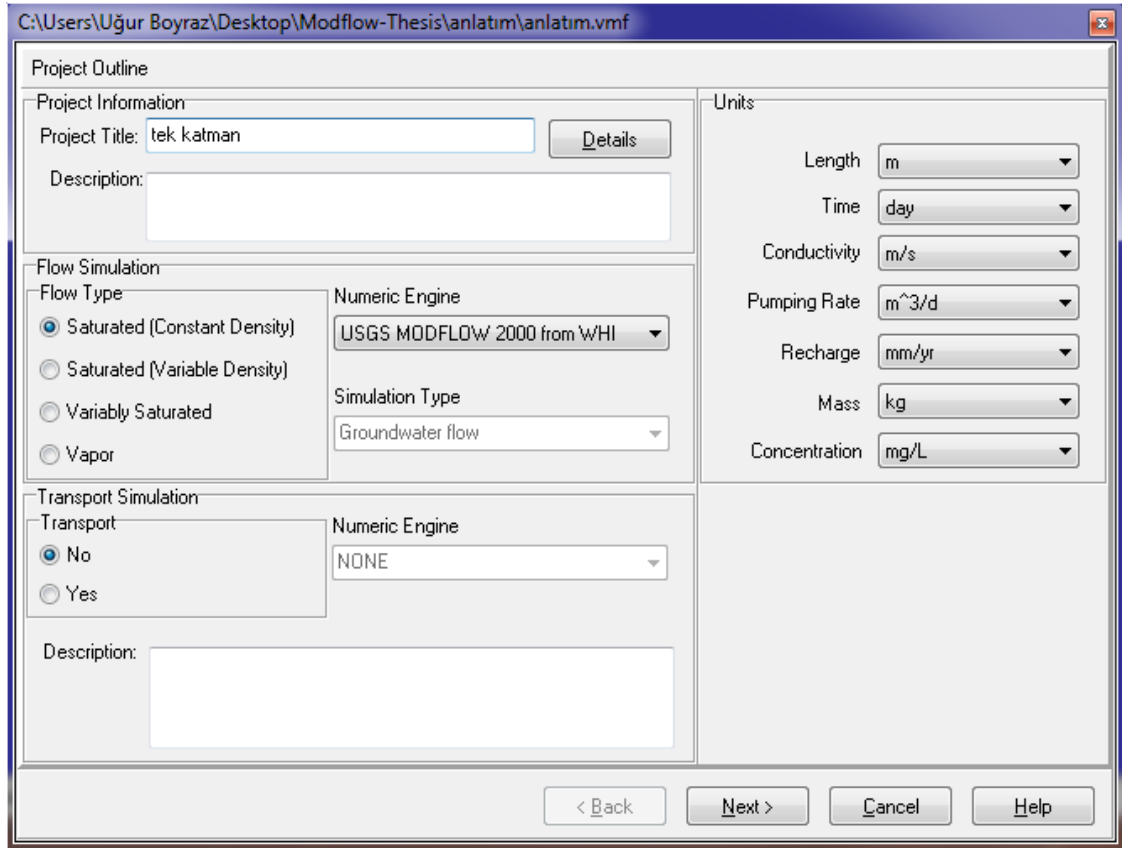
5. MODFLOW İLE KAVRAMSAL NEHİR-AKİFER MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Visual MODFLOW programında gerekli veriler kullanılarak her bölgenin yeraltı suyu modeli sonlu farklar metodu ile oluşturulabilir. Oluşturulan 3 boyutlu modeller ile bölgesel yeraltı suyu davranışı belirlenebilir, kirlilik taşınımı incelenebilir ve bir maddenin akifer içerisindeki dağılımına bakılabilir. Programın bu nitelikleri göz önüne alınarak gerçeğe yakın kavramsal modeller kurulması, parametrik davranış analizleri ile parametrik etkileşimin açıklanması, teorik kuramların geçerliliğinin ve uygulamadaki etkilerinin gösterilmesi, farklı senaryoların sahadaki muhtemel etkilerinin incelenebilmesi için oldukça faydalı çalışmalar olmaktadır. Bu çalışmada da kavramsal bir nehir akifer modeli oluşturularak, nehir-akifer ilişkisi, yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri ve bu etkileşimlerin nehir-akifer arasındaki su akışına ve kirlilik taşınımına etkileri farklı bölgesel durumlar için incelenmiştir. Visual MODFLOW programında detaylı bir kavramsal model kurmadan önce farklı parametrelerin nehre, akifere, yeraltı suyuna ve etkileşimlere olan etkilerini ayrı ayrı inceleyebilmek adına bir çok prototip model kurulmuştur. Bu prototip modeller ve sonuçları bu bölüm içerisinde anlatılmaktadır. Yapılan prototip modellerin sonuçlarından faydalanarak kavramsal nehir-akifer modeli oluşturulmuştur. Bu kavramsal modele yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerinin en çok görülebileceği şekilde parametreler seçilerek şekil verilmiştir ve etkileşimlerin doğal bir formasyondaki olağan etkileri gözlenmiştir.

5.1. HİDRODİNAMİK MODELLEME İÇİN OLUŞTURULAN PROTOTİPLER

Prototip modelleme çalışmaları her parametre için farklı analizler yapılarak incelenmiştir. İlk olarak hidrolik iletkenliği düşük bir siltli zemin özelliğindeki akiferde farklı sınır koşullarının, nehir yatağındaki değişken parametrelerin, nehir karakteristiğinin ve akifer özelliklerinin yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri üzerindeki rolü incelenmiştir. İkinci olarak ise farklı nehir parametreleri altında yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerinin kirlilik taşınımı üzerine olan etkileri incelenmiştir.

Visual MODFLOW programı ilk açıldığında Şekil 5.1’de görülen “proje özeti (project outline)” penceresi gelir. Bu pencerede proje adı ve detayları belirtilir. Çalışmak istenilen birimler seçilir. Modelleneyecek akışın cinsi ve hesaplamalar için nümerik simülör belirlenir. Madde taşınımı modellemeleri için iletim (transport) seçeneği seçilir. Bütün detaylar Şekil 5.1’de görülmektedir. İlk prototip olan siltli akiferde akış cinsi sabit yoğunluklu doymun akım olarak belirlenmiştir. Simülasyon tipi “yeraltı suyu akışı” olarak, nümerik simülör ise “USGS MODFLOW 2000 from WHI” olarak seçilmiştir.



Şekil 5.1. Visual MODFLOW programında model oluşturulması- Proje özeti penceresi

Proje özeti penceresine ilgili veriler girildikten sonra bir sonraki adımda Şekil 5.2’de görülen “akım seçenekleri (flow option)” penceresi açılır. Bu pencerede akımın tipi (kararlı-kararsız akım) belirlenir. Simülasyon tarihleri ve süresi girilir. Ayrıca akifere ait x,y,z doğrultularındaki hidrolik iletkenlik ($K_{x,y,z}$), porozite, efektif porozite, akiferin özgül depolama katsayısı (S_s) ve özgül verimlilik katsayısı (S_y), akifer sistemine su girişi (recharge), yayılma derinliği değerleri (extinction depth) ve evapotranspirasyon bilgileri girilir. Tek katmanlı akifer için bu değerler Tablo 5.1’deki gibi girilmiştir. Akifer siltli zemin (silty loam) tipinde tanımlanmıştır.

Tablo 5.1. Akifer tipi olan siltli zemin için bazı karakteristik değerler

Parametre	Değer	Birim
K_x	1.83×10^{-4}	cm/s
K_y	1.83×10^{-4}	cm/s
K_z	1.83×10^{-4}	cm/s
S_s	1×10^{-5}	1/m
S_y	0.2	
Efektif Porozite	0.23	
Toplam Porozite	0.501	
Sisteme Su Girişi	0	mm/yıl
Evapotranspirasyon	0	mm/yıl
Yayılma Derinliği	0	m

C:\Users\Uğur Boyraz\Desktop\Modflow-Thesis-2nd term\düzelme için boş örnek\boss.vmf

Flow Option

Project Info

Prototip Saturated (Constant Density) USGS MODFLOW 2000 from WHI

Time Option

Start Date: 11.01.2011 Start Time: 00:00:00

Run Type: Steady-State Flow Steady-State Simulation Time: [] [day]

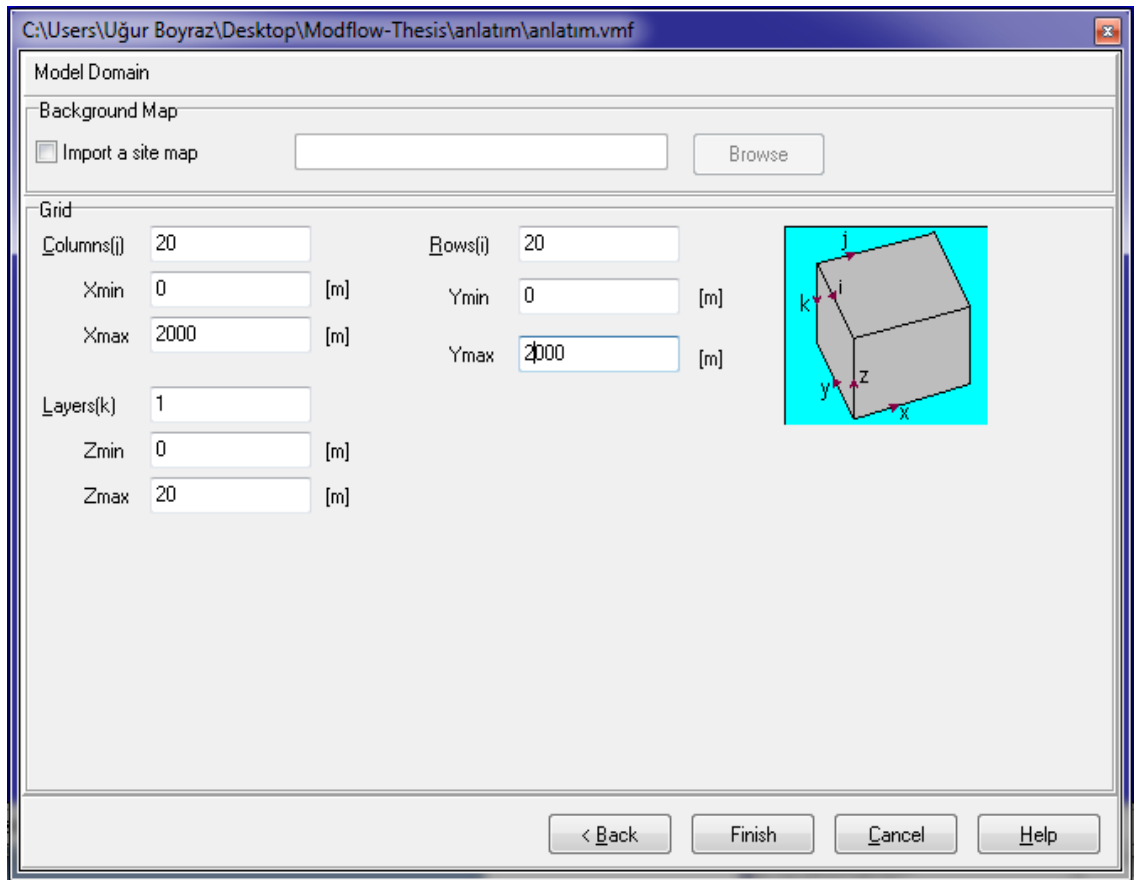
Default Parameters

Parameter Name	Value	Units
K_x	1.86e-6	m/s
K_y	1.86e-6	m/s
K_z	1.86e-6	m/s
S_s	1E-5	1/m
S_y	0.20	
Eff. Por.	0.23	
Tot. Por.	0.501	
Recharge	0	mm/yr
Evapotranspiration	0	mm/yr
Extinction Depth	0	m

< Back Next > Cancel Help

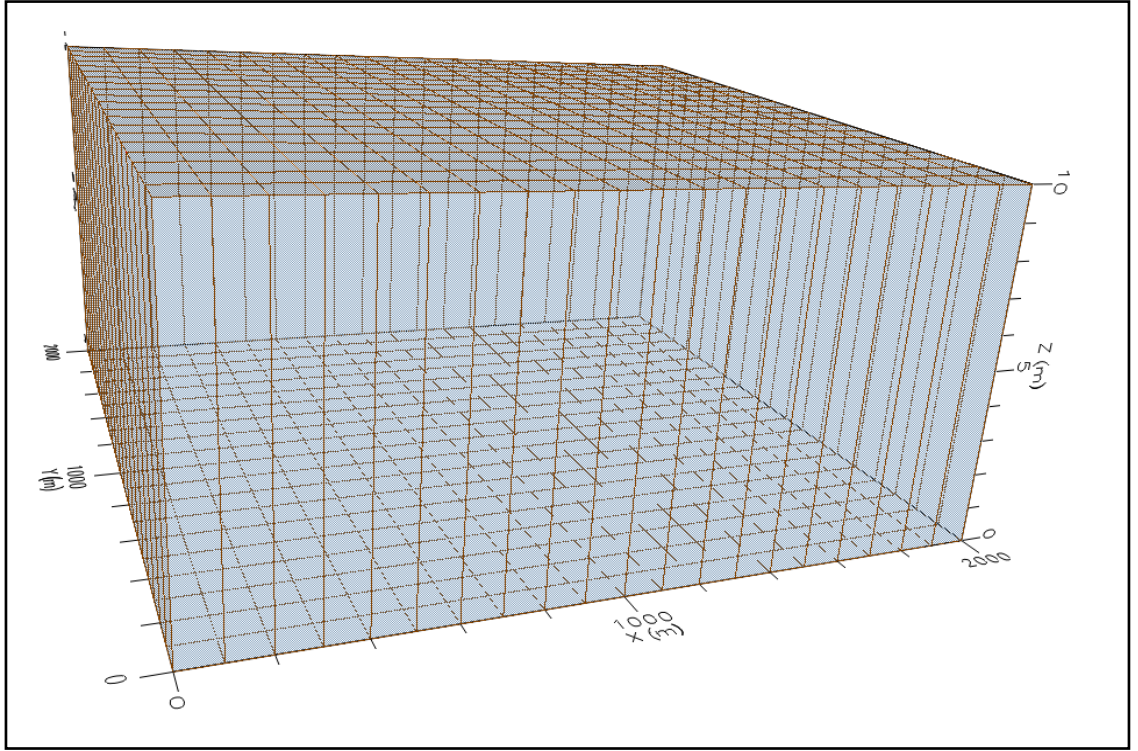
Şekil 5.2. Visual MODFLOW programında model oluşturulması- Akım seçenekleri penceresi

Akım seçenekleri penceresinden sonra ise Şekil 5.3'teki “model alanı (model domain)” penceresi açılır. Bu pencerede ise çalışma alanı ve sonlu farklar modeli için oluşturulacak kontrol hacimleri (hücreler) belirlenir. Akiferin kaç tabakadan oluştuğu ve tanımlanan tabakaların toplam yüksekliği bu pencerede girilir. Daha sonra model içerisinde topoğrafik özellikler ayrıca tanımlanabilir ve detaylandırılabilir. Siltli akifer için tek katmanlı 10 m yüksekliğinde bir akifer tanımlanmış, çalışma alanı 2000×2000 (m²) olarak belirlenmiş ve her biri 100×100 (m²) olan kontrol hacimlerine (20×20 hücre) bölünmüştür. Böylece model ana hatlarıyla oluşturulmuştur. Bahsedilen prototip model Şekil 5.4'te 3 boyutlu olarak sunulmuştur.

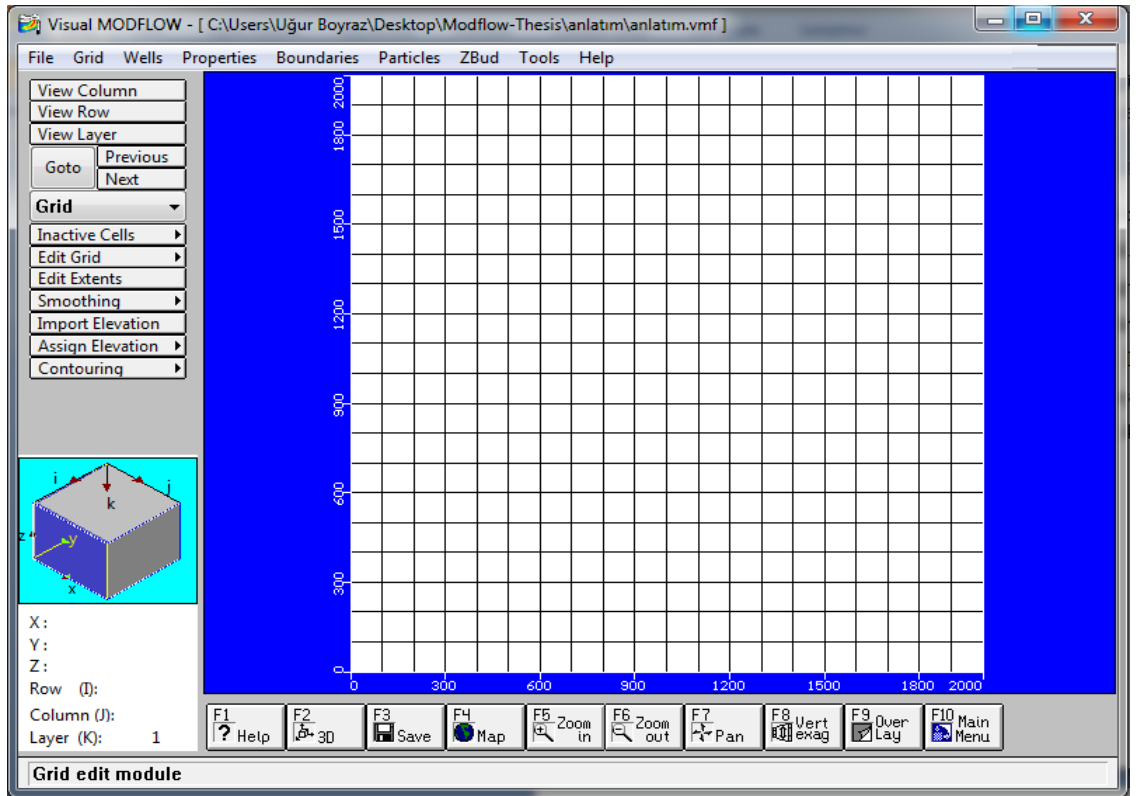


Şekil 5.3. Visual MODFLOW programında model oluşturulması- Model alanı penceresi

Modele yeni parametreler tanımlamak veya modelde değişiklik yapmak için programın girdiler (input) bölümü kullanılır (Şekil 5.5). Siltli akifer modeli de bu bölümden yapılan değişikliklerle geliştirilmiş ve 6 farklı parametre için modeller oluşturulmuştur. Bütün modeller yeraltı suyunun oldukça yavaş ve potansiyele yakın bir akım olması nedeniyle kararlı akım kabulü altında çalıştırılmıştır. Yapılan ilk model siltli basit akifer modelidir.



Şekil 5.4. Temel prototip model

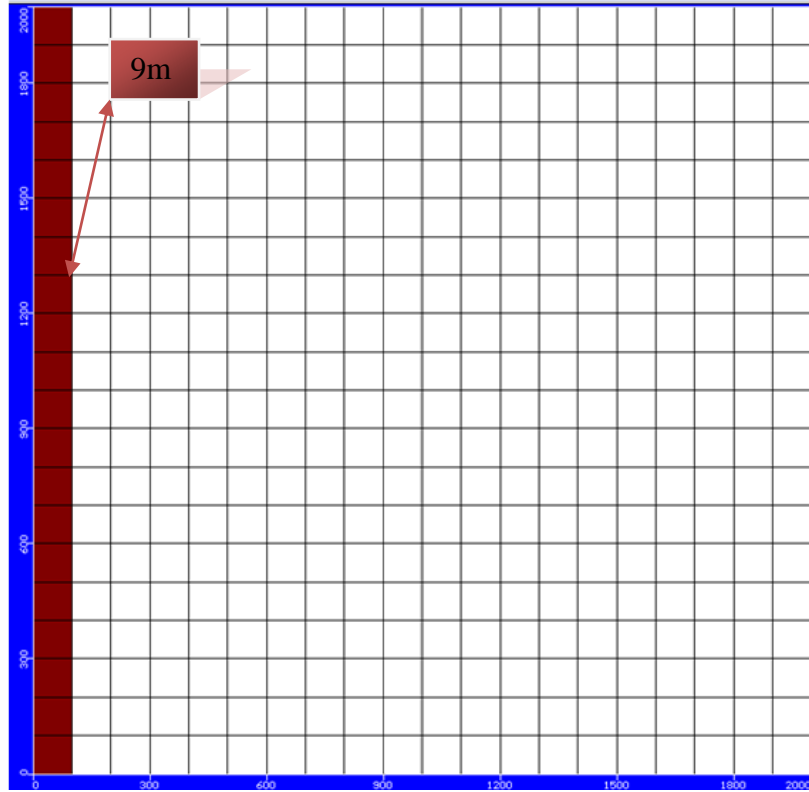


Şekil 5.5. Visual MODFLOW programının girdiler (input) bölümü

Basit akifer modeli oluşturulduktan sonra bu modele bir nehir entegre edilmiştir. Nehir öncelikle düz akış hattına sahip basit bir nehir olarak tanımlanmış, sonrasında yan kollar eklenerek kompleks hale getirilmiştir. Hazırlanan bu modeller üzerinde farklı sınır koşulları altında yeraltı suyunun davranışı incelenmiştir. Ayrıca nehir yatağındaki eğimin ve sürtünmenin, nehir akışındaki ani düşüşün, akiferdeki porozite ve hidrolik iletkenlik gibi belirleyici parametrelerin, nehrin akış hattının düz, kompleks (yan kollu) veya kıvrımlı olmasının yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerine etkisi prototip modeller kurularak incelenmiş ve yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerinin davranışı gözlenmiştir.

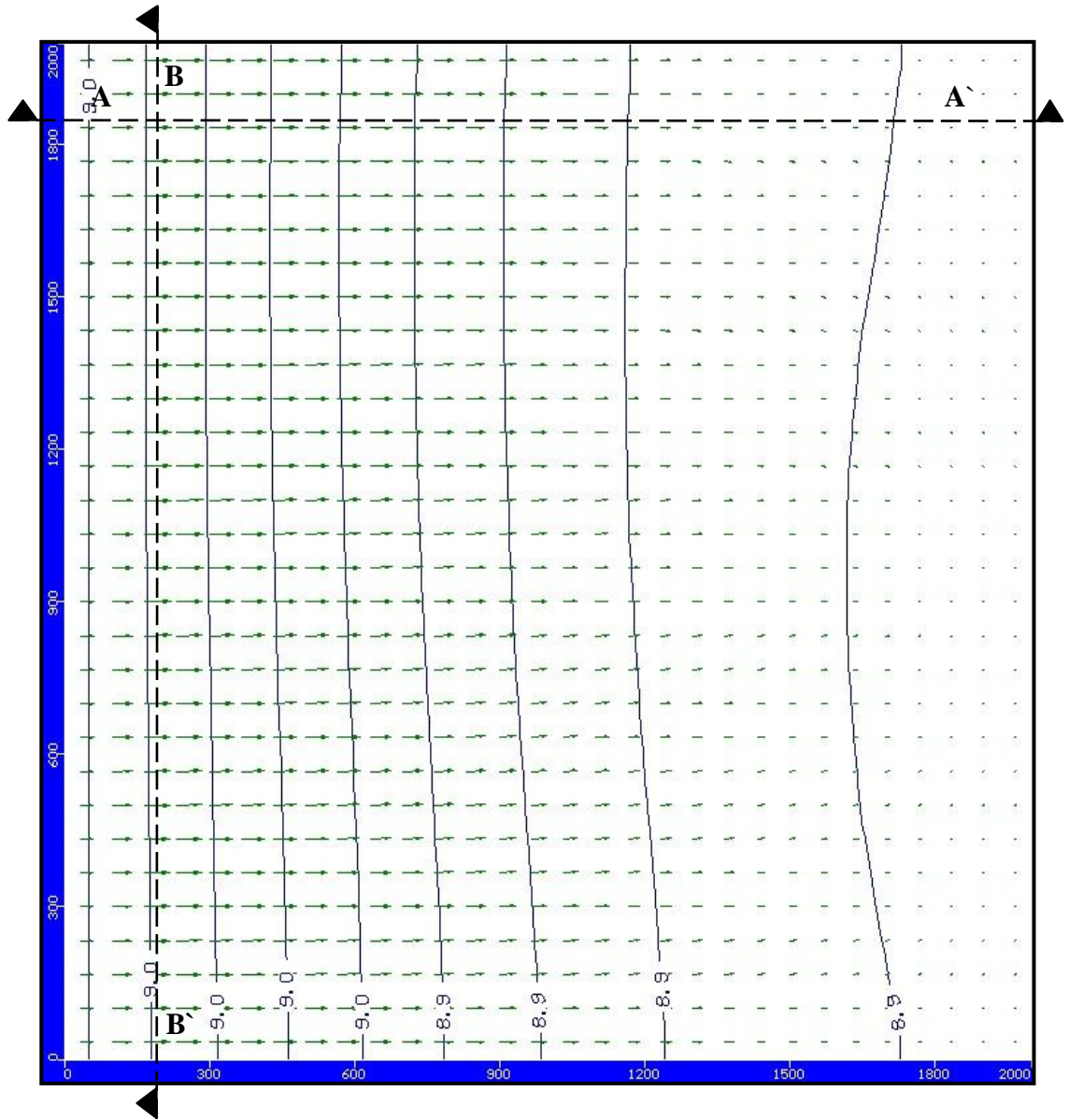
5.1.1. Siltli Basit Akifer Modeli

Kurulan ilk prototip model siltli basit akifer modelidir. Bu modelde yukarıda anlatılan temel modelin sol tarafındaki tüm hücelere yeraltı su seviyesi sabit ve 9 m olacak şekilde bir sınır koşulu belirlenmiştir. Bu sınır koşulu ile yeraltı suyunun akifer içerisindeki dağılımı kararlı akım koşulu ile incelenmiştir. Tüm akiferde başlangıç su yüksekliği 5 m olarak tanımlanmıştır. Şekil 5.6'da model resmi ve sınır koşulu görülebilmektedir.

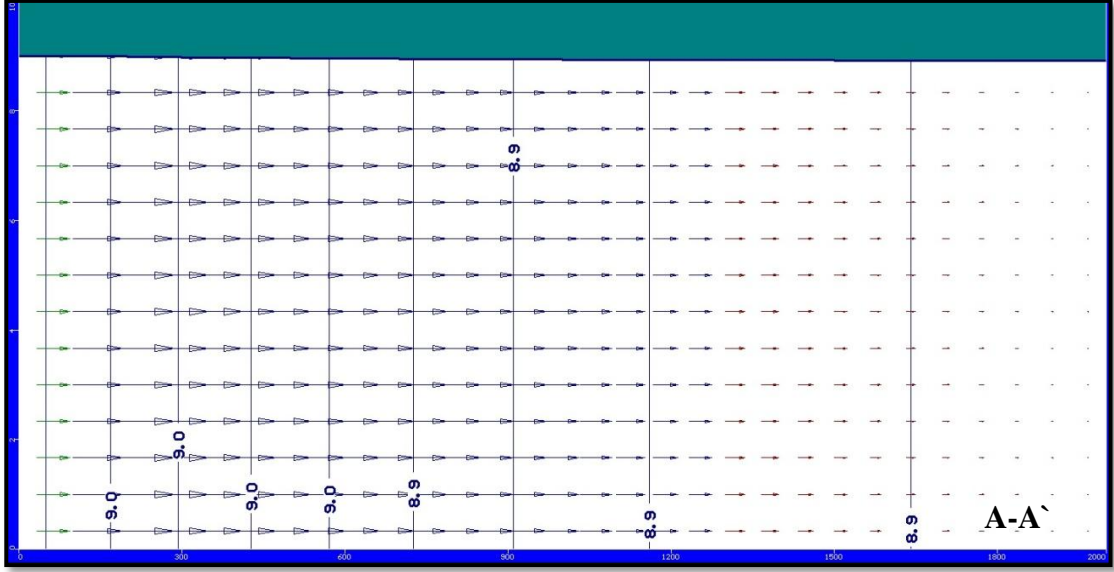


Şekil 5.6. Siltli basit akifer modeli

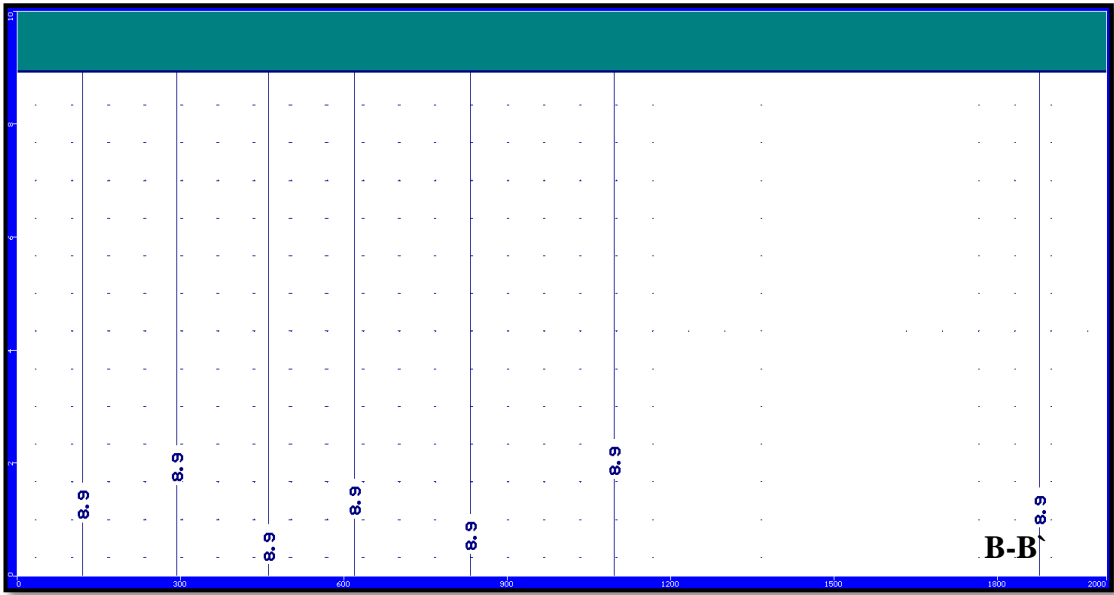
Şekil 5.7’de yapılan analizler sonucu akiferdeki yeraltı suyunun dağılımı ve hız vektörleri görülmektedir. Birinci kolonun 9 m’ye sabitlenmesi nedeniyle kontrol hacmine su girişi sürekli olarak sol taraftan olmakta ve bu nedenle akımın da soldan sağa doğru olduğu görülmektedir. Yeraltı suyunun akışını bozacak nehir, kuyu vb. herhangi bir oluşum olmadığı için akışın yönü değişmemiştir. Akım akifer boyunca bozulmadığından ve sınır koşulu nedeniyle sisteme sürekli su girişi olduğundan yeraltı su seviyesi 9 m’lik sınır koşuluna dayanmıştır. Şekil 5.8’de modelin analiz sonucunda elde edilen en kesiti, Şekil 5.9’da da boy kesiti görülmektedir.



Şekil 5.7. Siltli basit akifer modelinde yeraltı su seviyesi (YASS) dağılımı ve hız vektörleri



Şekil 5.8. Siltli basit akifer modelinin en kesit görüntüsü-Hız vektörleri ve su yükseklikleri



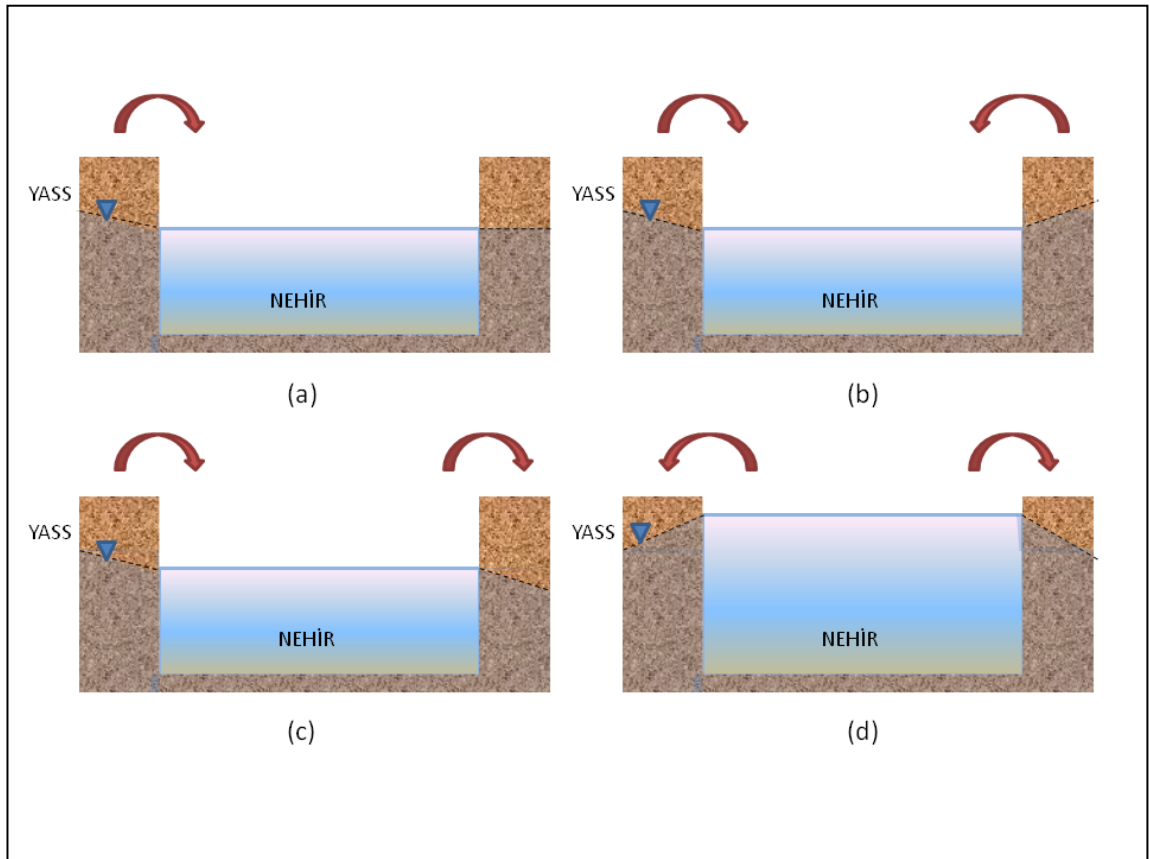
Şekil 5.9. Siltli basit akifer modelinin boy kesit görüntüsü- Hız vektörleri ve su yükseklikleri

Kesitlerden anlaşılacağı gibi akım sadece soldan sağa devam etmektedir. Yukarıdan aşağıya doğru akım oluşmamıştır. Ayrıca her iki yönde su seviyesinin 9 m'ye dayandığı da görülmektedir. Siltli basit akifer modeli sonuçları incelendiğinde modelin beklendiği gibi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bu da kavramsal prototipte teorik bir hata olmadığını doğrulamaktadır. Yeni modellerin bu prototipten üretilmesinde bir sakınca olmadığı kanısına varılmıştır.

5.1.2. Sınır Koşullarının Yüzey Suyu-Yeraltı Suyu Etkileşimlerine Etkisi

Yeraltı suyu ve nehir, fiziki olarak farklı su seviyelerine sahip olabilirler. Bu seviye farkı suyun akış yönünü ve etkileşim davranışını doğrudan etkiler. Çalışmanın bu bölümünde yeraltı suyu ve nehrin bahsedilen farklı durumlar altındaki etkileşimlerini inceleyebilmek üzere analizler yapılmıştır. Kurulan modellerde sınır koşullarını belirlerken yeraltı suyu-nehir etkileşiminin 4 farklı davranışı tanımlanmıştır. Varsayılan 4 davranış Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi yeraltı su seviyesinin değişimine göre nehirde yeraltı suyuna veya yeraltı suyundan nehre su geçişi olmaktadır.

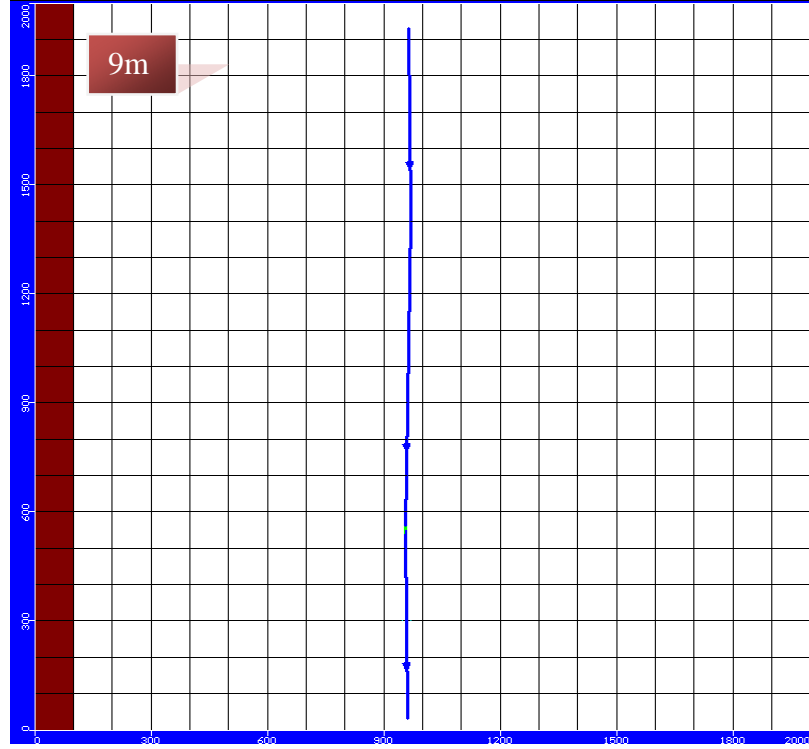
Nehrin akış karakteri, düz akış hattına sahip olması veya yan kolların nehre katılması, nehir ile yeraltı suyu arasındaki seviye farkını etkileyeceğinden, sınır koşulları incelenirken iki farklı akış karakteri de dikkate alınarak modeller kurulmuştur.



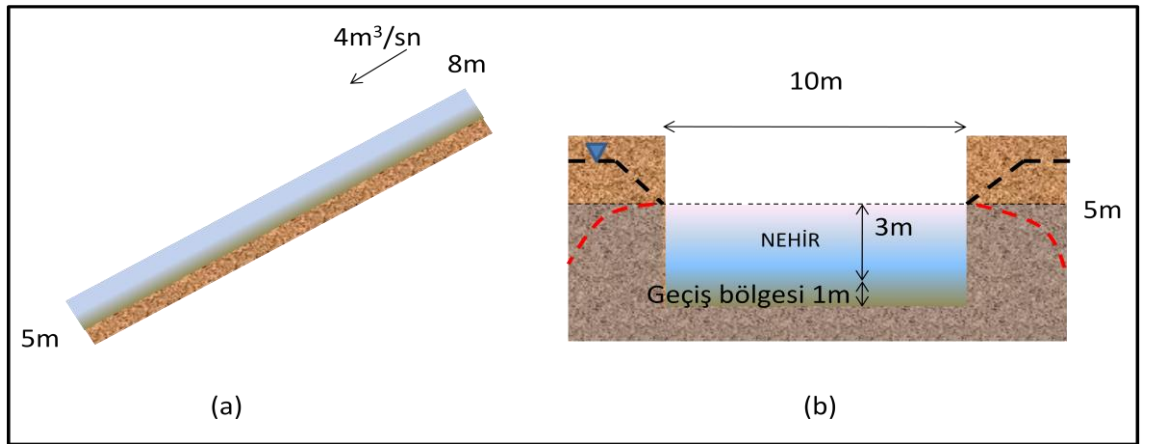
Şekil 5.10. Yeraltı suyu-nehir etkileşimi

5.1.2.1. Siltli Akiferde Basit Nehir Modeli

Siltli akiferde basit nehir modeli kurulurken daha önceki siltli basit akifer modeline Şekil 5.11’de görüldüğü gibi düz akış hattına ve üniform akıma sahip bir nehir eklenmiştir. Bu nehrin boy kesiti Şekil 5.12.(a)’da görülmektedir. Nehirdeki su seviyesi başlangıçta akifer tabanına göre 8 m yükseklikte olup, derinliği 3 m’dir. Nehrin bitişinde ise su kotu 5 m’ye düşmektedir. Nehir tabanı ile akifer arasında 1 m kalınlığında bir geçiş bölgesi bulunmaktadır. Nehrin en kesiti Şekil 5.12.(b)’de gösterilmiştir.

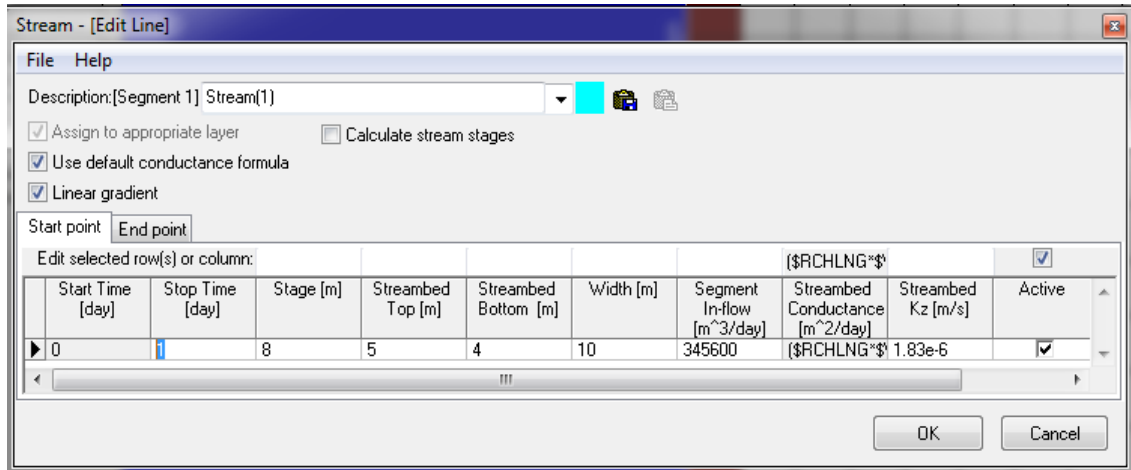


Şekil 5.11. Siltli akiferde basit nehir modeli-1. durum



Şekil 5.12. Nehrin boy (a) ve en (b) kesiti

Visual MODFLOW programına nehri tanımlarken segmentler kullanılır. Nehrin benzer özellikteki kısımları dikkate alınarak segmentlere ayrılır ve her bir segment ayrı ayrı programa çizilerek tanıtılır. Nehir segmentlerinin özellikleri Şekil 5.13'teki pencereden girilir. Segmentler programa tanıtılırken hidrolik iletkenlik, nehrin başlangıç ve bitiş noktasındaki yüksekliği veya pürüzlülük katsayısı, nehir yatağının kotları, nehir tabanının kalınlığı ve nehrin genişliği gibi parametreler kullanılır. Bu örnekte nehir tek segmentten oluşmaktadır. Yük farkı analizi yapıldığından nehre üniform akım tanımlanmış ve su yükseklikleri girilmiştir. Segment girdileri Tablo 5.2'de sunulmuştur. Nehirde akışı sağlamak için başlangıç noktasına $4 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik debi girilmiştir. Modelde başlangıç olarak akiferin her noktasında 5 m su yüksekliği tanımlanmış, sınır koşulu için Şekil 5.10'daki 4 farklı durum modellenmiştir.

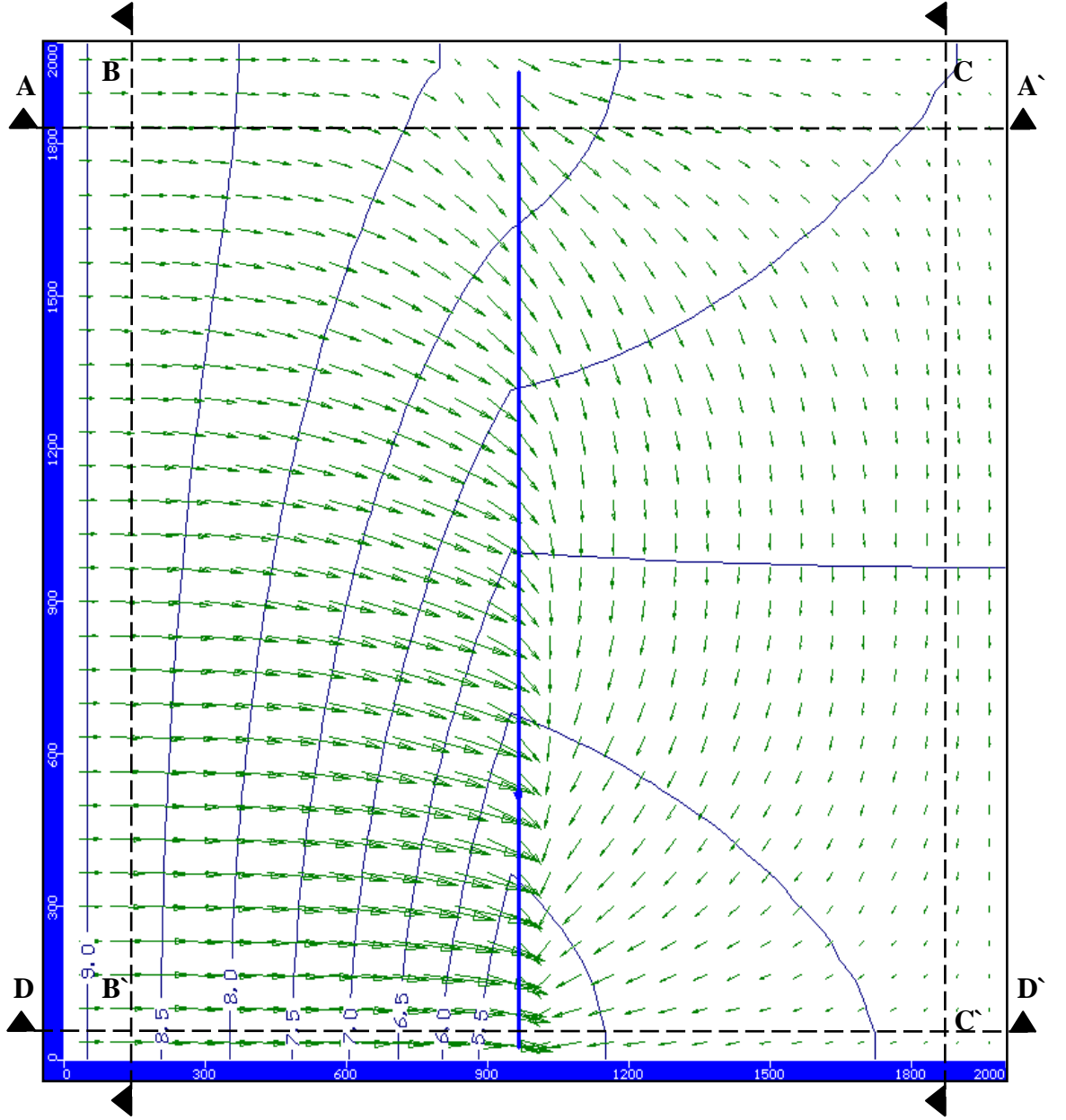


Şekil 5.13. Visual MODFLOW programında nehir özelliklerinin tanımlanması

Birinci durum için (Şekil 5.10 (a)), modelin sol tarafındaki tüm hücrelere 9 m'lik sınır koşulu atanmıştır (Şekil 5.11). Kararlı akım durumu için model sonucundaki su yükseklikleri ve hız dağılımı Şekil 5.14'te, modelin nehir akışına dik 2 farklı kesiti Şekil 5.15'te, nehir akışına paralel 2 farklı kesiti Şekil 5.16'da sunulmuştur.

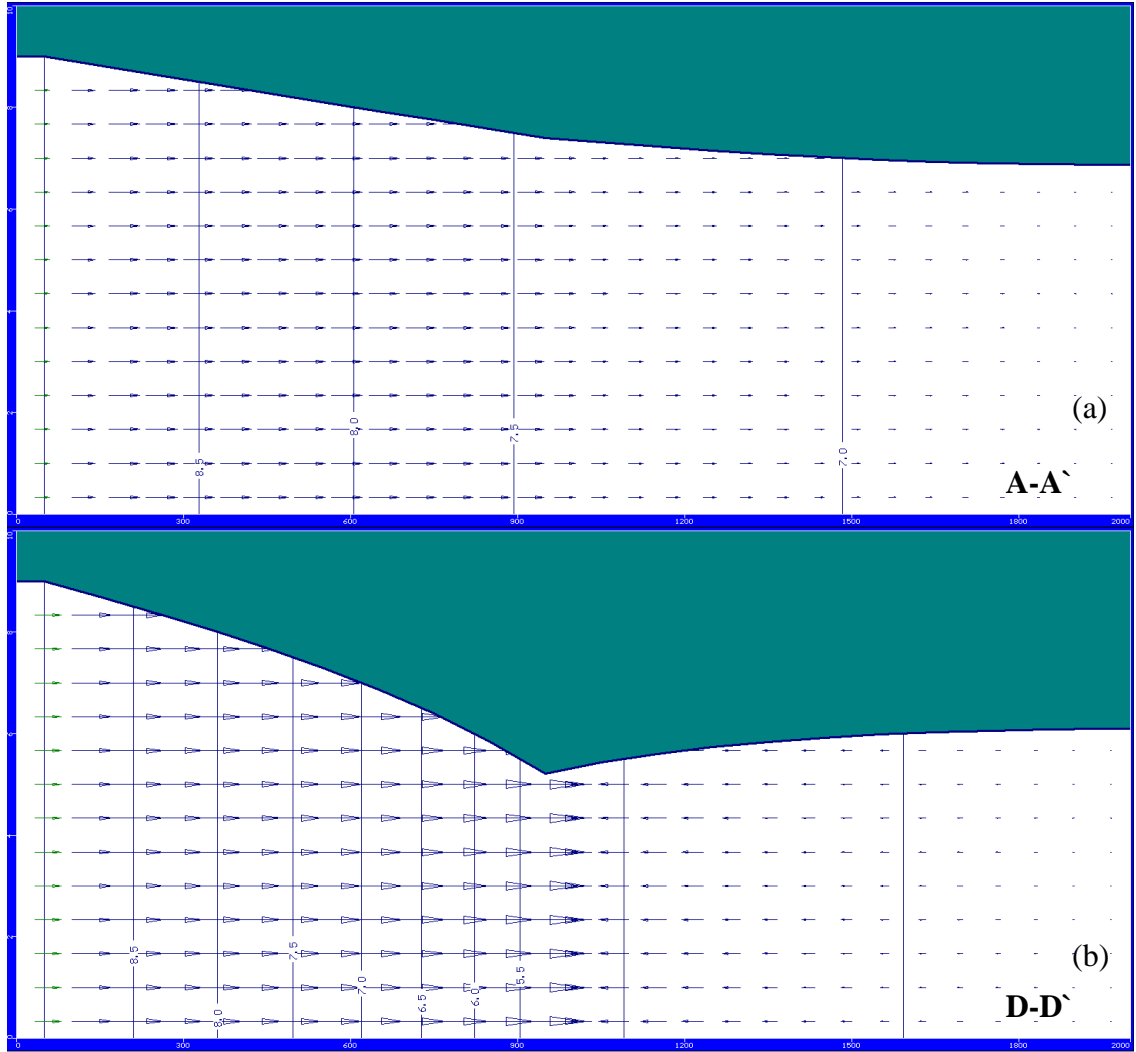
Tablo 5.2. Basit nehir segment bilgileri

<i>Nehir Segmentleri</i>	<i>Veri noktası</i>	<i>Su seviyesi (m)</i>	<i>Nehir yatağı üst kotu (m)</i>	<i>Nehir yatağı alt kotu (m)</i>	<i>Nehir genişliği (m)</i>	<i>Giriş debisi (m³/s)</i>	<i>Hidrolik iletkenlik (cm/s)</i>
1. segment	Başlangıç	8	5	4	10	4	1.83×10^{-4}
	Bitiş	5	2	1	10	-	1.83×10^{-4}



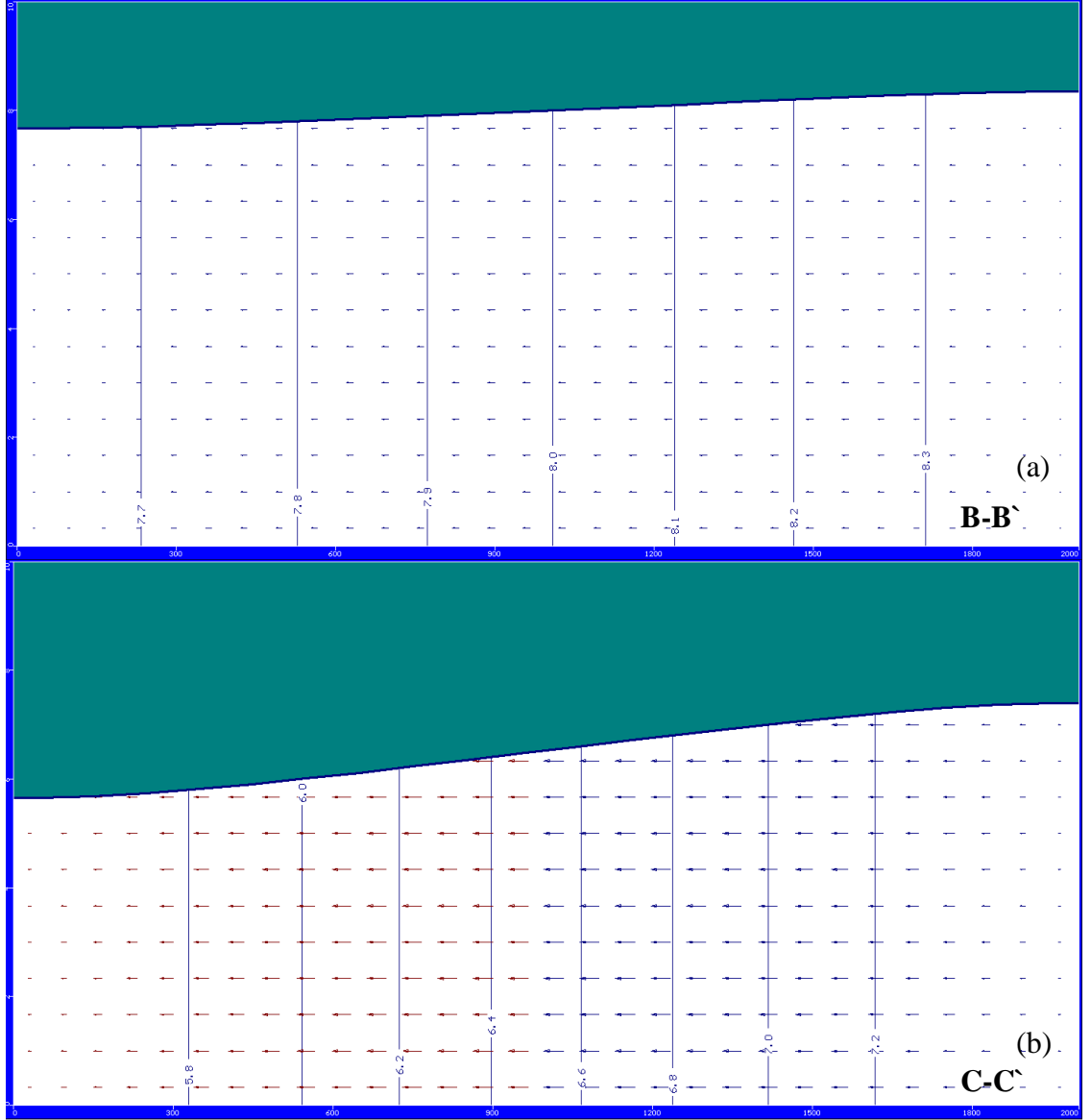
Şekil 5.14. Siltli akiferde basit nehir modeli-1. durum- YASS dağılımı ve hız vektörleri

Şekil 5.14'te görüldüğü gibi sınır koşulunun belirlendiği yerden sisteme su girişi olmakta ve nehre doğru soldan sağa ilerlemektedir. Ayrıca akım, nehrin çıkış noktasındaki hidrolik yükün sınır koşulundan küçük olması nedeniyle aşağıya doğru da bir eğilim göstermiştir. Sisteme giren su nehrin sağ tarafında da hareketlilik yaratmıştır. Ancak bu taraftaki etki nehrin gelen suyun bir kısmını çıkışa doğru iletmesinden dolayı daha azdır. Üst bölgelerde su yüksekliği 7.5 m'yi bulurken, çıkışa doğru yeraltı suyu seviyesi 5.5 m'ye kadar gerilemiştir.



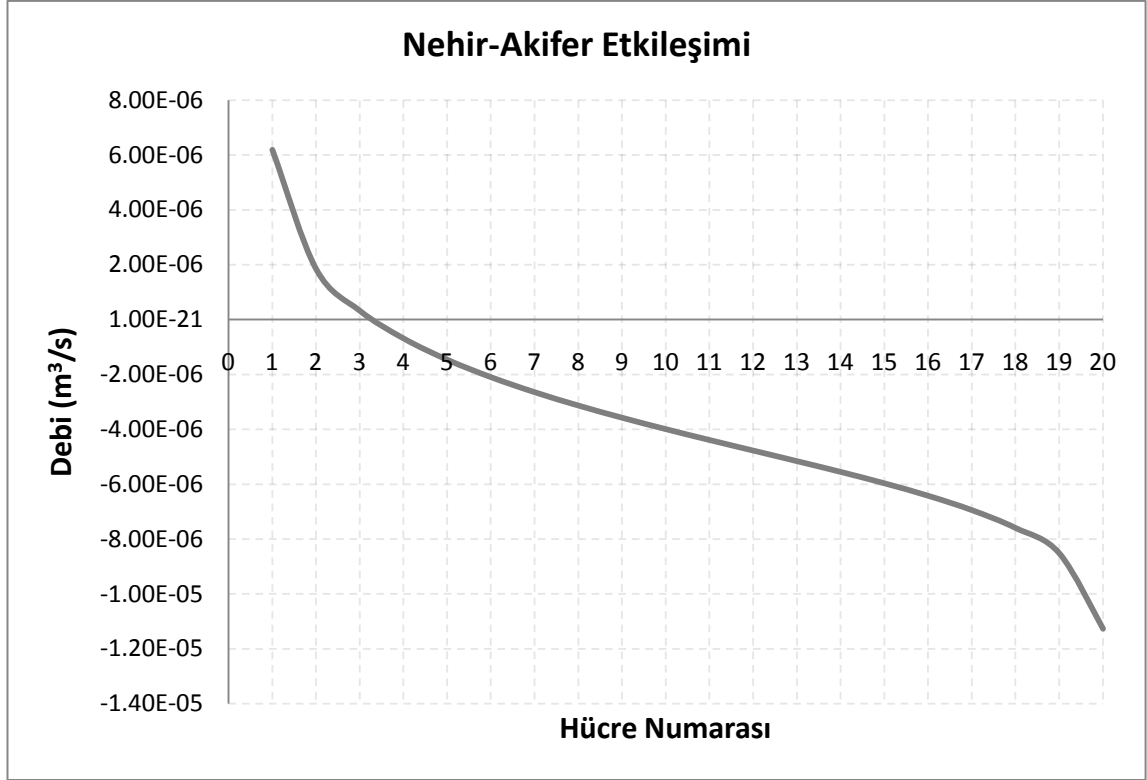
Şekil 5.15. Siltli akiferde basit nehir modeli-1. duruma ait 2 farklı en kesit

Model kesiti incelendiğinde nehirdeki akım karakteristiği daha rahat anlaşılabilir. Şekil 5.15.(a) modelin üst bölgesinde, 5.15.(b) modelin alt bölgesinde, nehir akışına dik olan yeraltı suyu akımını, 5.16.(a) nehrin sol tarafında, 5.16.(b) ise nehrin sağ tarafında nehir akışına paralel olan yeraltı suyu akımını göstermektedir. Modelin üst bölgelerinde akımın sağa doğru yayılarak ilerlediği görülmektedir. Ancak akiferin alt bölümlerinde hidrolik yük düşük olduğundan nehrin sağ ve sol tarafındaki akım aşağı doğru da yönelmiş ve çıkış noktasında toplanarak Şekil 5.15.(b)'deki halini almıştır. Üst bölgede hız vektörleri daha küçükken, çıkış noktasına doğru hız vektörlerinin büyüdüğü yani hızın çıkış noktasında daha hızlı olduğu görülmüştür. Ayrıca nehrin sol tarafından gelen yeraltı suyu akımı, sağ tarafa göre nehre dik yönde çok daha hızlıdır. Sol taraftaki hareketlilik nehir akışı nedeni ile sönmüştür ve bu durum sağ tarafta nehre dik yönde daha yavaş bir akım oluşmasına sebep olmuştur.



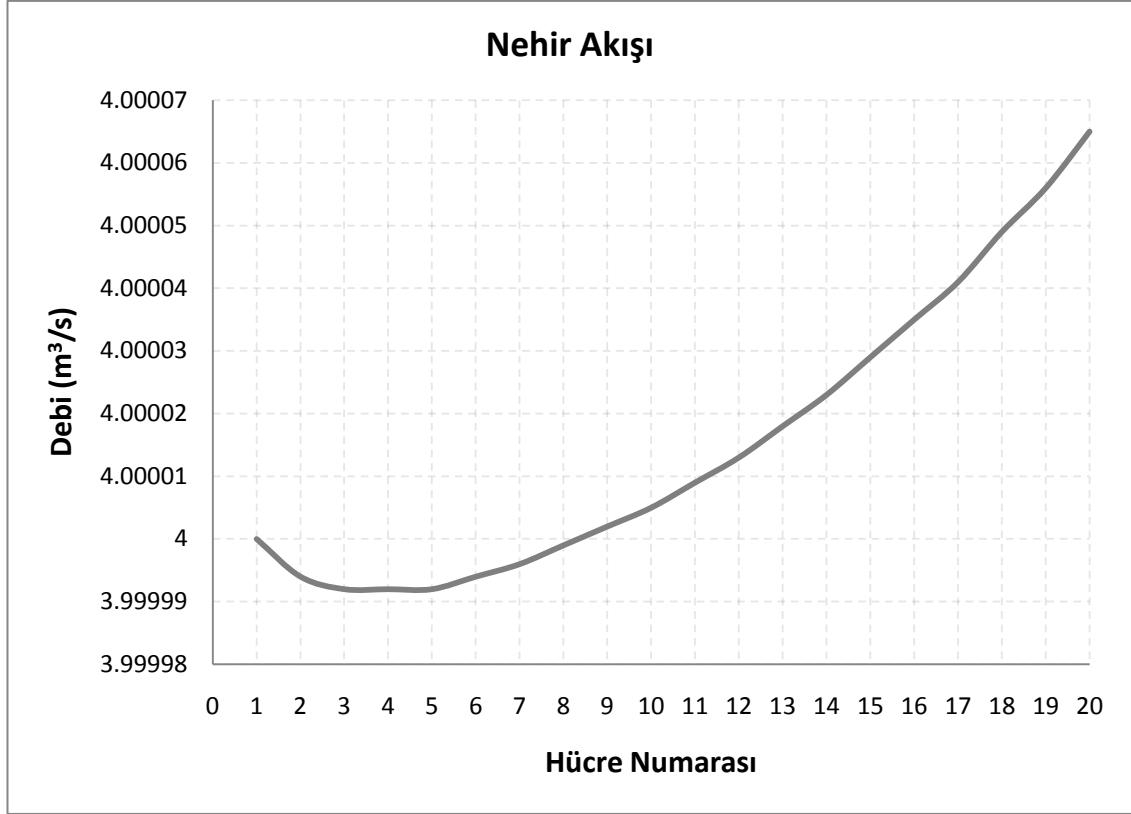
Şekil 5.16. Siltli akiferde basit nehir modeli-1. duruma ait 2 farklı boy kesit

Tüm kesitler incelendiğinde yeraltı suyu ile gelen suyun tamamının nehir akışına katılmadığı ve bazı noktalarda nehirden de yeraltı suyuna doğru akım olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla nehir-akifer arasındaki yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri iki yönlü de mevcuttur. Visual MODFLOW programı bu etkileşimi hesaplamakta ve nehirden akifere veya akiferden nehre geçen suyun debisini çıktı olarak sunmaktadır. Bu debi değerleri kullanılarak yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri Şekil 5.17'de ve Şekil 5.18'deki grafiklerle gösterilmiştir. Şekil 5.17 nehir ve akifer arasındaki akımı gösterirken, Şekil 5.18 nehir boyunca her bir hücreye giren toplam akışı göstermektedir.



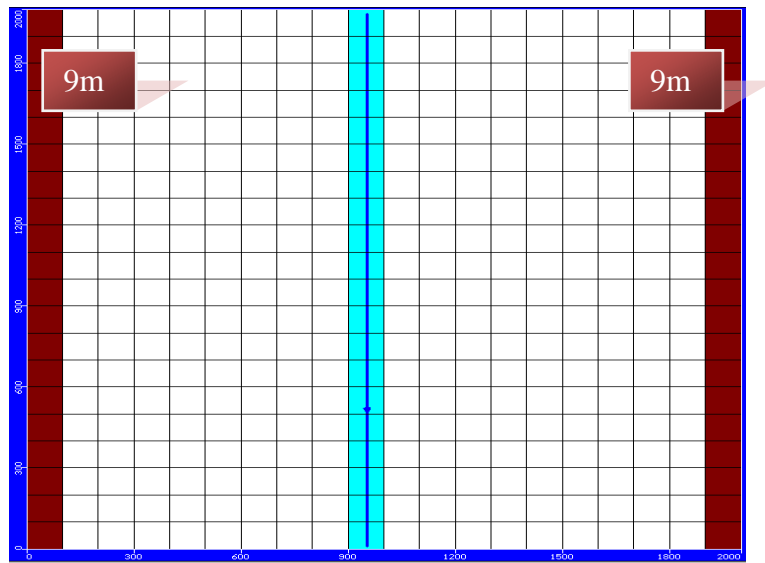
Şekil 5.17. Siltli akiferde basit nehir modeli-1. durum-Nehir akifer etkileşimi

Şekil 5.17'deki grafik incelendiğinde analiz boyunca belli noktalarda nehirden akifere ve akiferden nehre akış olduğu görülmektedir. İlk 3 hücrede yani nehrin başlangıç bölgesinde grafikteki debilerin pozitif olması, burada nehirden akifere doğru bir akım olduğu anlamına gelmektedir. Bunun nedeni nehrin başlangıç noktasındaki hidrolik su kotunun (8 m), sınır koşulu ve akifer özelliklerine göre yeraltı suyu dağılımı incelendiğinde (Şekil 5.14), daha yüksekte olmasıdır. Etkileşimin yönü için Şekil 5.14 incelendiğinde nehrin sağ tarafına doğru akımın olduğu görülebilmektedir. Grafikteki debinin negatif olduğu diğer tüm noktalarda akiferden nehre doğru bir akım olduğu söylenebilir. Bu akım ise çıkış noktasına doğru artmaktadır. Bu artışın çıkış noktasındaki hidrolik yükün düşük olması ve buna bağlı olarak akış hızının artması ile ilgisi olduğu kanısına varılabilir. Yapılan diğer prototiplerde benzer sonuçlar irdelennmiştir. Nehirdeki akışı gösteren Şekil 5.18'deki grafiğin etkileşim grafiği ile uyumlu olması beklenmektedir. Nitekim ilk 3 hücrede etkileşim pozitif iken, yani nehirden akifere su geçişi varken, nehirdeki debi azalmıştır. Etkileşim debisi negatif olduktan sonra yani akiferden nehre geçiş olmaya başladıktan sonra nehirdeki debi artmıştır. Bu grafik etkileşimler dahilinde nehirdeki her kontrol hacmine giren debiyi göstermektedir.

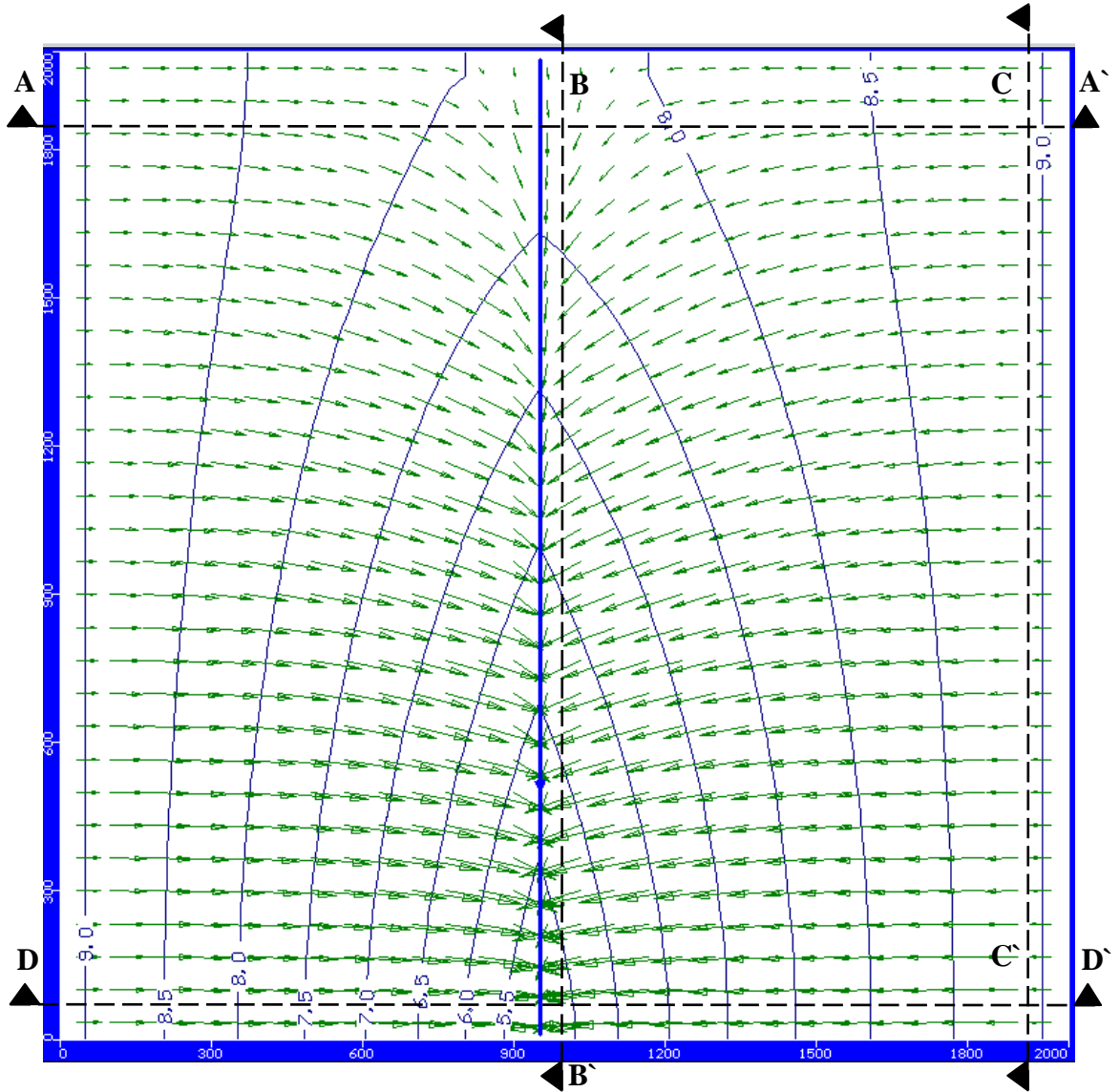


Şekil 5.18. Siltli akiferde basit nehir modeli-1.durum-Nehir akışı

İkinci durumda (Şekil 5.10 (b)), modelin her iki tarafında yeraltı suyu seviyesi olarak 9 m'lik bir sınır koşulu belirlenmiştir. Nehir parametreleri ve temel model verileri değiştirilmemiştir. Kararlı akım kabulüne göre oluşturulan model Şekil 5.19'da, analiz sonucu oluşan su yüksekliği ve hız dağılımı Şekil 5.20'de, model sonucunun en kesiti Şekil 5.21'de, boy kesiti Şekil 5.22'de görülmektedir.

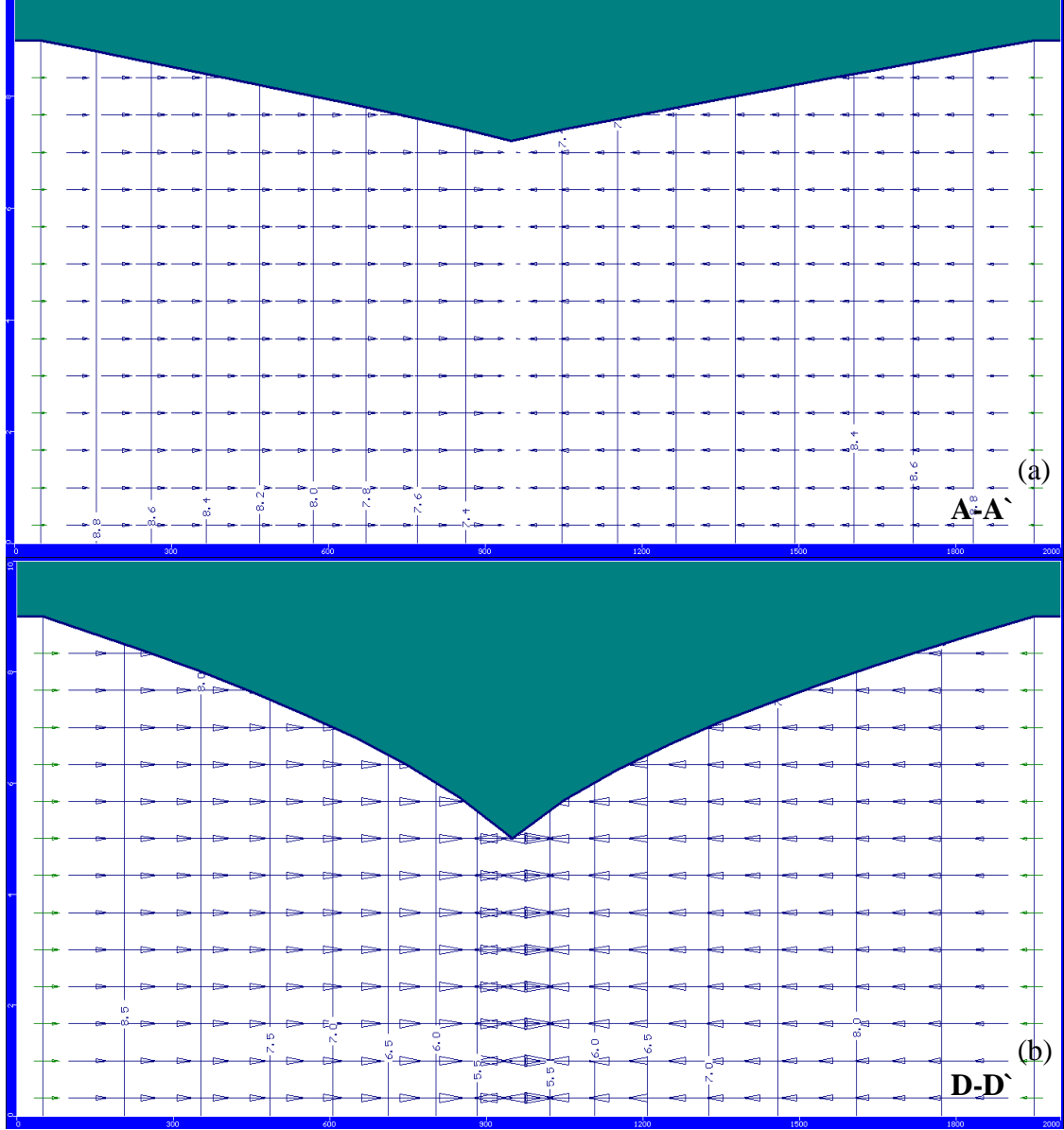


Şekil 5.19. Siltli akiferde basit nehir modeli-2. durum



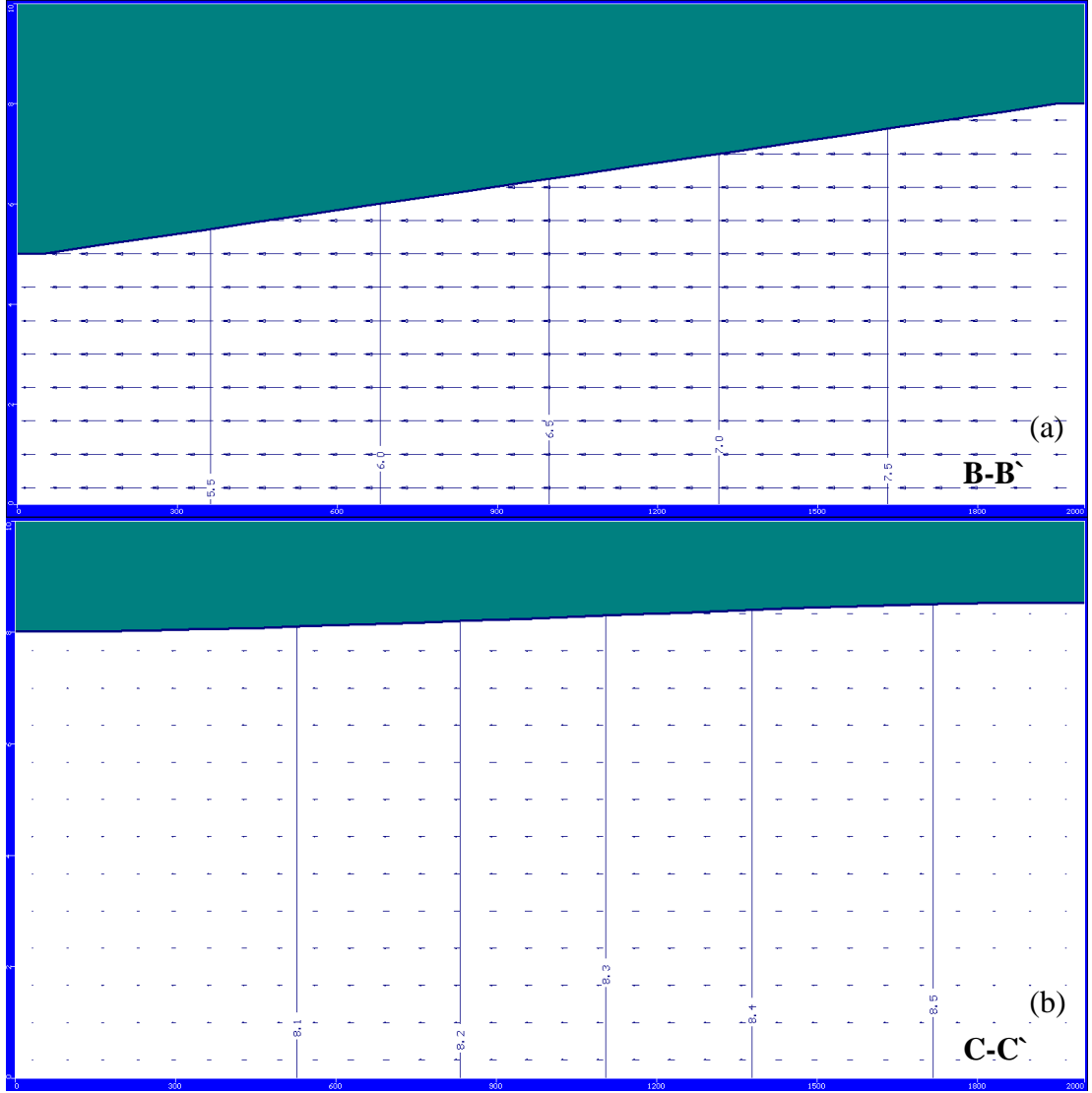
Şekil 5.20. Siltli akiferde basit nehir modeli-2. duruma ait YASS dağılımı ve hız vektörleri

Şekil 5.20 incelendiğinde sisteme hem sağ hem de sol taraftan su girişi olmaktadır. Akifer izotropik kabul edildiğinden nehrin sağ ve sol tarafındaki davranış birbirinin aynısıdır. Suyun hareketi yüksek enerjiden düşük enerjiye doğru olan eğilimini sürdürmüştür. Nehrin başlangıcında su seviyesi 7.5-8 m arasındadır. Çıkış noktasına doğru su seviyesi 5.5 m'ye kadar düşmektedir. Suyun akışı her iki taraftan da yüksek hızlarda oluşmuştur. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, nehrin çıkış noktasına doğru hız vektörlerinin büyümesi ve birbirini kesecek şekilde oluşmasıdır. Buradaki etkileşimin yüksek olduğu düşünülebilir. Bu durum Şekil 5.21'deki en kesitlerden daha rahat anlaşılabilir. 5.21.(a) modelin üst kısımlarındaki akışı, 5.21.(b) modelin alt bölgelerindeki akışı göstermektedir. Üst bölgede hız vektörleri düzenli iken alt kısımda vektörlerin birbirine girdiği ve su seviyesinin iyice düştüğü görülebilmektedir.



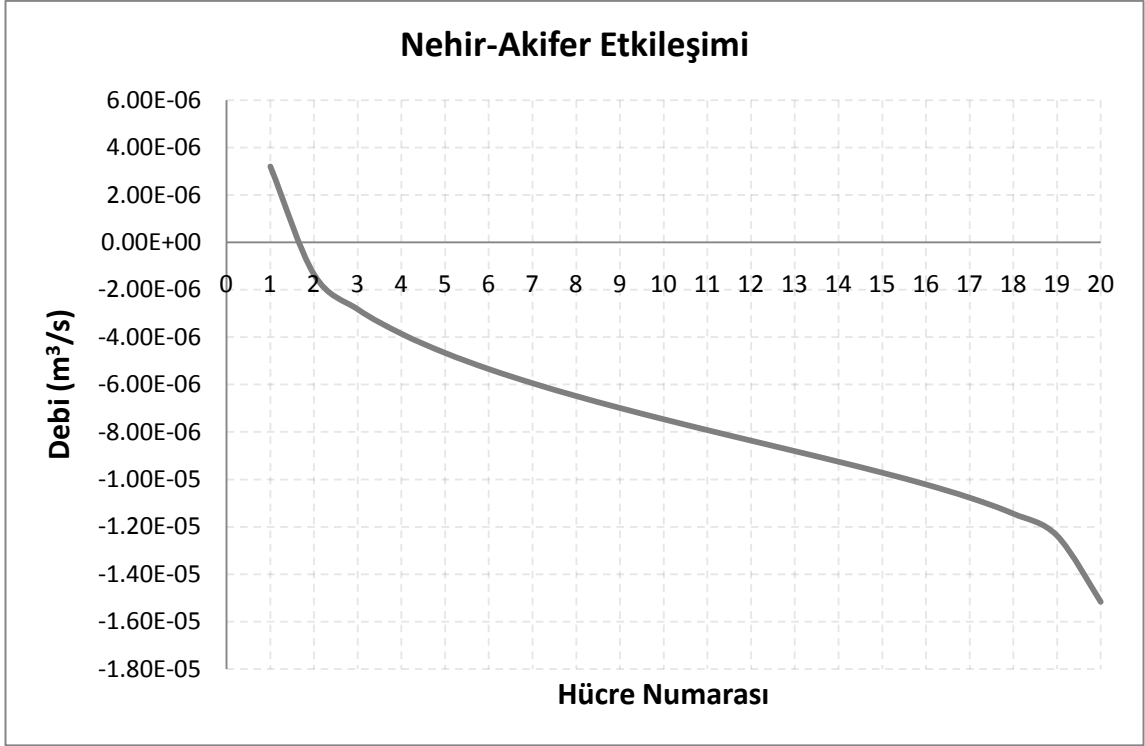
Şekil 5.21. Siltli akiferde basit nehir modeli-2. duruma ait 2 farklı en kesit

Şekil 5.22.(a)'daki boy kesit tam nehir hizasından alınmıştır. Nehrin sağ ve sol tarafında su seviyesi benzer bir karakteristik göstermektedir (Şekil 5.22(b)). Ancak nehir hizasında ve yakınlarında nehre paralel olan akım hızlı olmakta, sınır koşulunun tanımlandığı bölgelere yaklaşıırken akımın hızı oldukça düşmektedir. Sınır koşulu hizasında nehre paralel yönde akım yoktur. Nehre soldan sağa ve sağdan sola gelen dik akım nehre paralel yönde oluşan akımdan çok daha kuvvetlidir. Kesitlerde görülen bu hız vektörleri esas akıma ait hız vektörlerinin bileşenleridir.

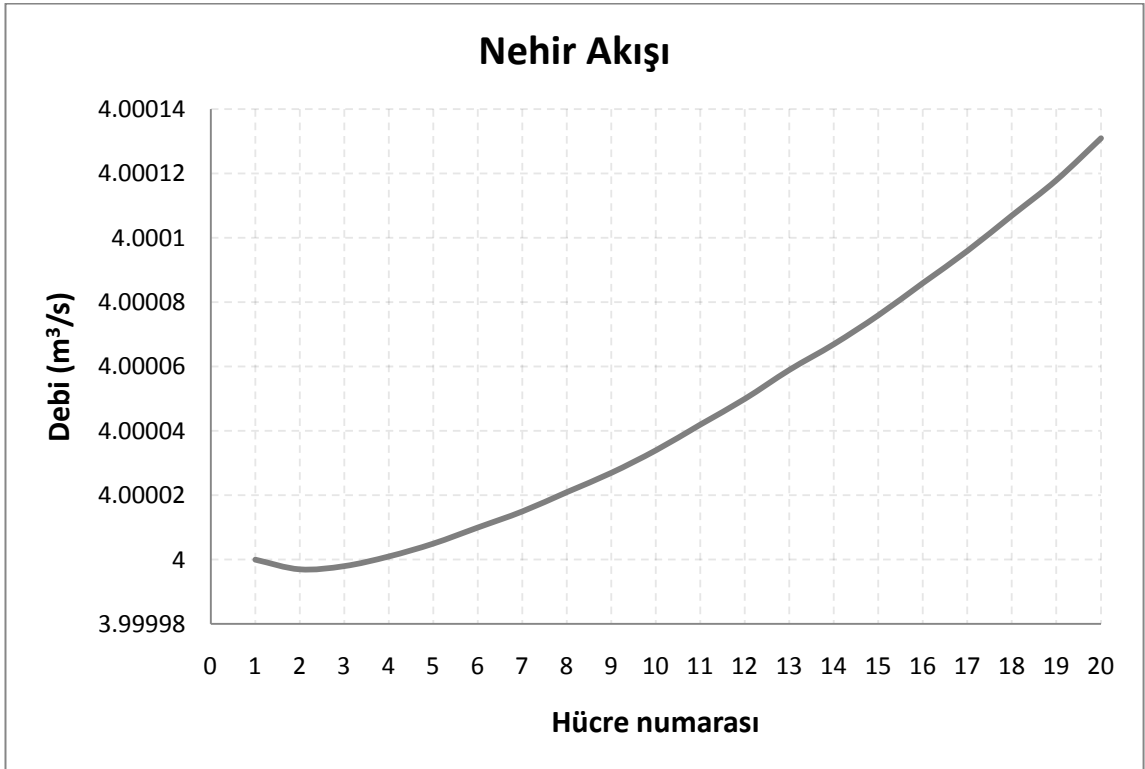


Şekil 5.22. Siltli akiferde basit nehir modeli-2. duruma ait 2 farklı boy kesit

Sonuçlar değerlendirilirken bahsedilen yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri Şekil 5.23 ve Şekil 5.24'teki grafiklerle açıklanabilir. Şekil 5.23 nehir ve akifer arasındaki akışı göstermektedir. 2. hücrenin yakınlarına kadar nehirden akifere geçiş varken, 2. hücreden sonra akım akiferden nehre doğru olmuştur. Etkileşim debisi bir önceki örnekteki etkileşim debisinin mertebesindedir. Şekil 5.24 ise nehri oluşturan her bir hücreye giren suyun debisini vermektedir. Akım nehirden akifere geçerken debi azalmış, 2. hücreden sonra akiferden nehre akım geçmesi sonucu debi artmaya başlamıştır. Nehrin başlangıçta verilen $4 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik debiyi iletmesi beklenirken etkileşimler sonucu debi grafikteki gibi değişime uğramıştır.

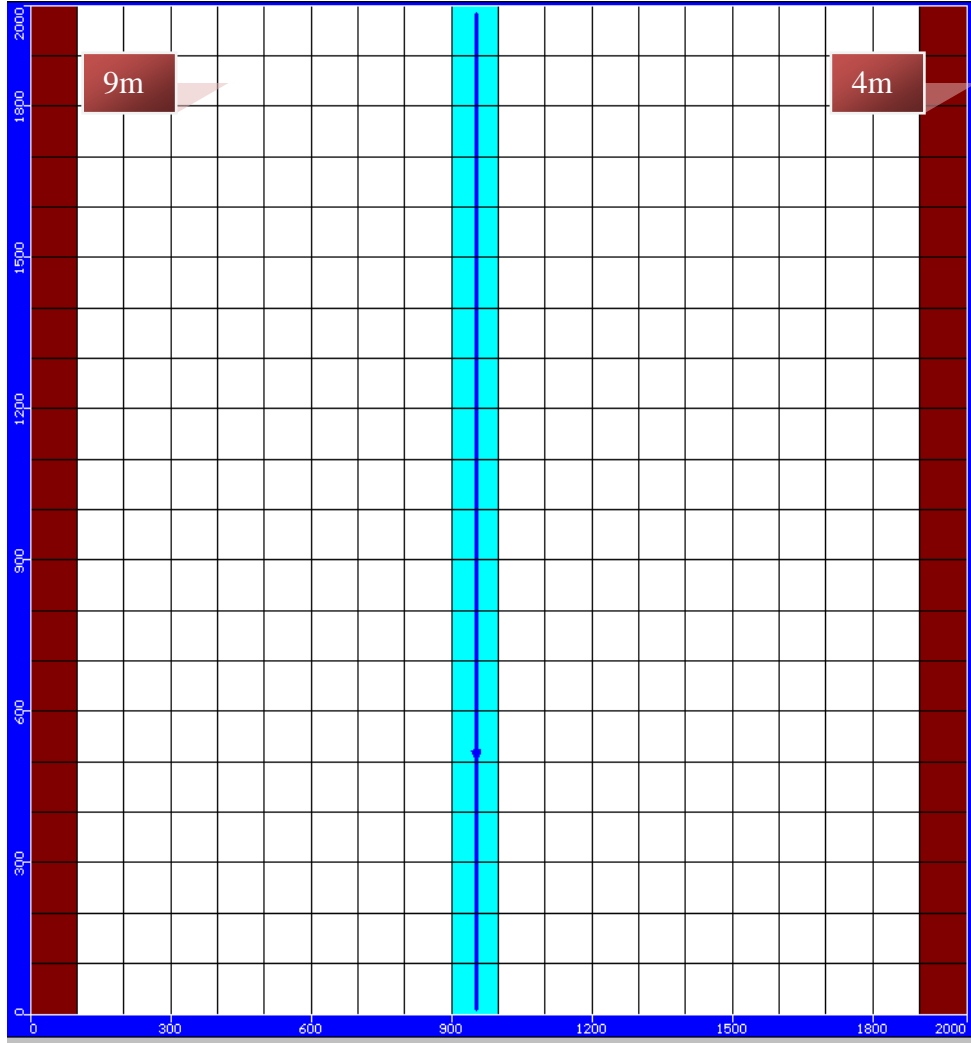


Şekil 5.23. Siltli akiferde basit nehir modeli-2. durum-Nehir-akifer etkileşimi

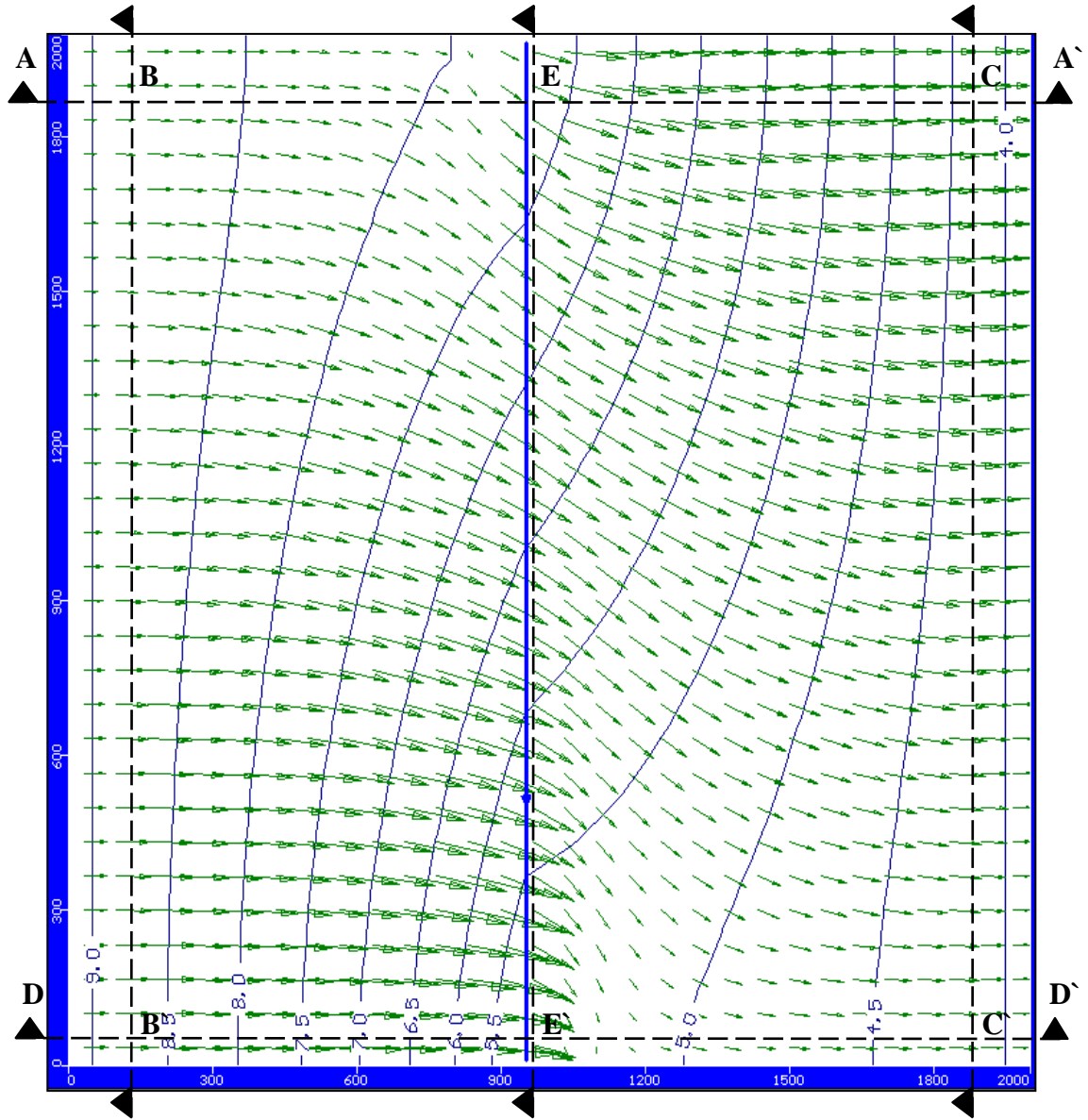


Şekil 5.24. Siltli akiferde basit nehir modeli-2. durum-Nehir akışı

Üçüncü durumda (Şekil 5.10.(c)), modelin her iki tarafında yeraltı suyu seviyesi sınır koşulu tanımlanmıştır. Sınır koşulu modelin sol tarafında 9 m, modelin sağ tarafında 4 m olarak belirlenmiştir. Nehir parametreleri ve temel model verileri değiştirilmemiştir. Kararlı akım kabulüne göre oluşturulan model Şekil 5.25'te, analiz sonucu oluşan su yüksekliği ve hız dağılımı Şekil 5.26'da, model sonucunun en kesiti Şekil 5.27'de, boy kesiti Şekil 5.28'de görülmektedir.



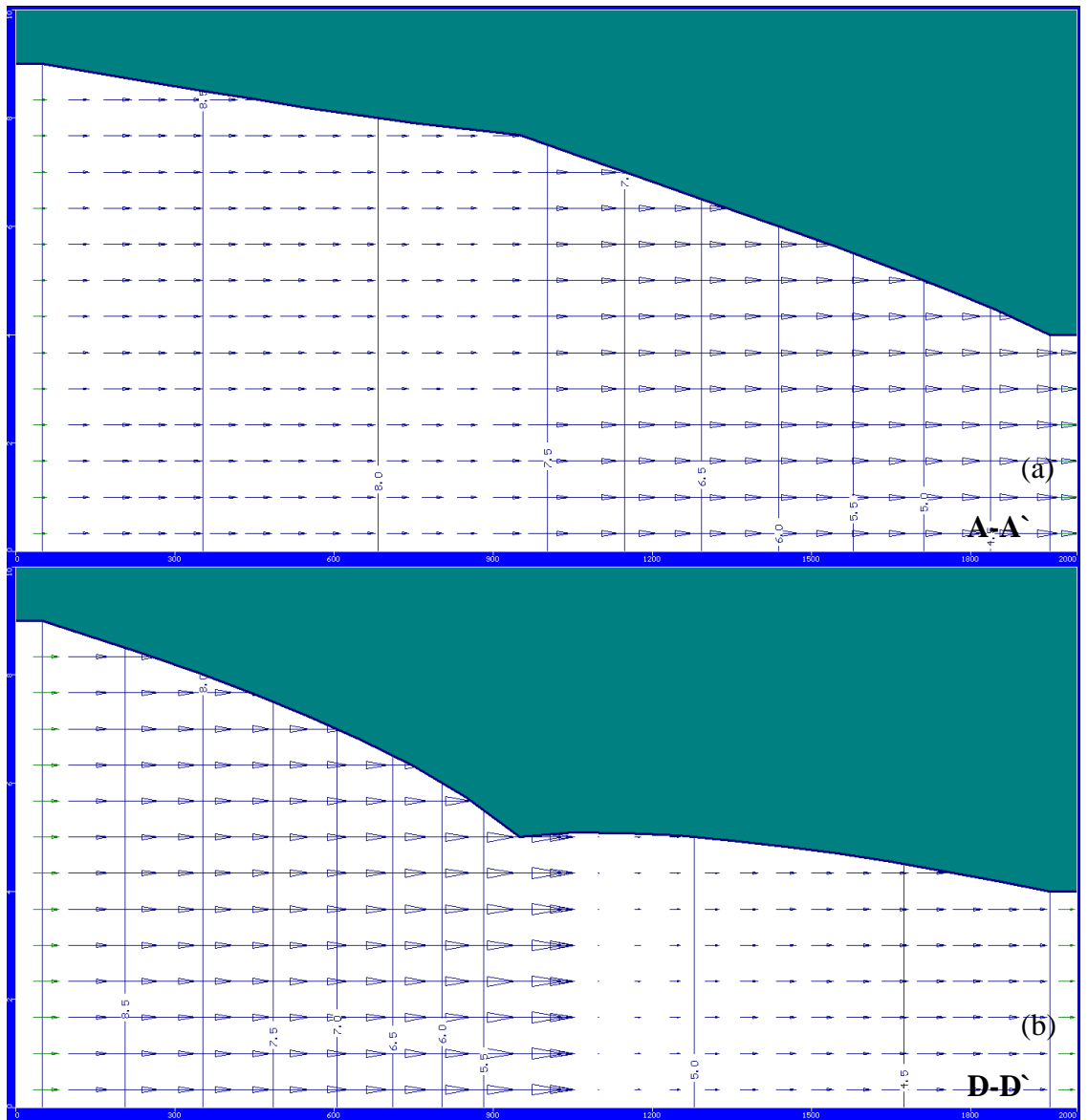
Şekil 5.25. Siltli akiferde basit nehir modeli-3. durum



Şekil 5.26. Siltli akiferde basit nehir modeli-3. duruma ait YASS dağılımı ve hız vektörleri

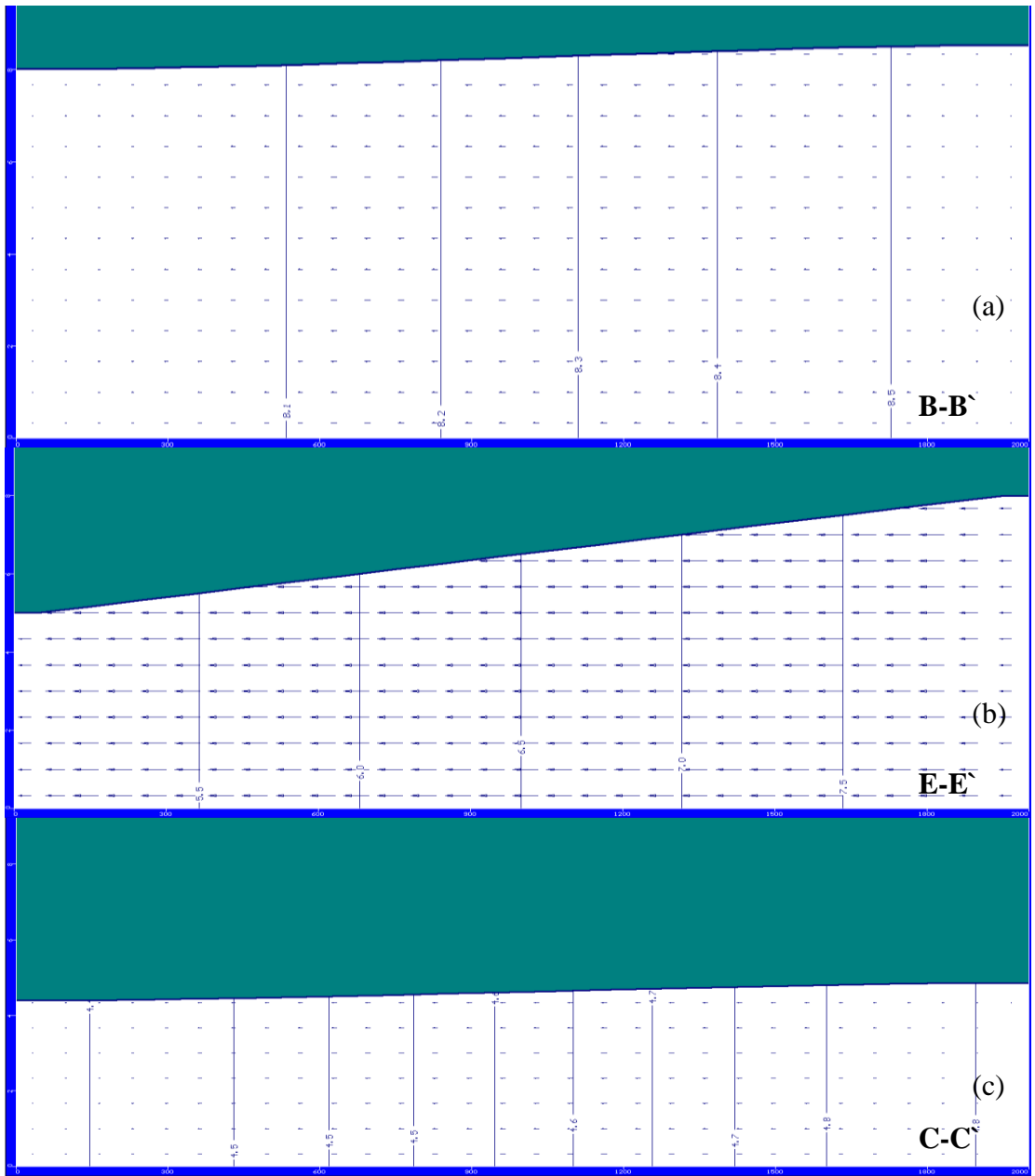
Modelin sağ tarafında su seviyesi daha yüksek olduğundan nehre doğru oluşan akım önceki modellerde incelenmişti. Burada değişen durum sağ taraftaki sınır koşulunun nehirdeki en düşük su seviyesinden ve akifere tanımlanan başlangıç yeraltı su seviyesinden (5 m) düşük olmasıdır. Nehir olmasaydı izotropik akiferden dolayı siltli basit akifer modelinde olduğu gibi direkt 4 m'ye doğru akım gözlenecekti. Ancak aşağı doğru olan nehir akışı akımın yönünü değiştirmiştir. Şekil 5.26 incelendiğinde, nehirde, soldaki sınır koşuluna göre yük farkının küçük olduğu (9 → 8 m) noktaya doğru yönelen akımın daha yavaş, yük farkının büyük olduğu (9 → 5 m) noktaya doğru yönelen akımın daha hızlı olduğu görülmektedir. Akım daha hızlı iken su seviyesi daha çabuk azalmış, yeraltı suyu eşderinlik eğrileri sıklaşmıştır. Nehrin sol tarafında da aynı durum farklı bölgeler için geçerlidir. Modelin üst kısmında yük farkı fazla (8 → 4 m) olduğundan

nehirden geçen su hızlanarak sınır koşulunun olduğu bölgeye yönelmiştir. Önceki modellerde yük farkından dolayı üst bölgedeki akım yayılarak aşağı doğru ilerlemiş ve çıkış noktasında toplanmıştır. Burada çıkış noktasından daha düşük kotta olan 4 m'lik sınır koşulunun etkisiyle nehrin sağ tarafındaki yeraltı suyu sınır koşuluna doğru akmıştır. Buna karşılık modelde nehrin çıkış noktasına doğru inildikçe suyun, 4 m'lik sınır koşulu ile 5 m'lik çıkış noktasındaki hidrolik yükün etkisi ile su çapraz olarak akmaya devam etmiş, bir kısmı 4 m'lik sınır koşuluna, bir kısmı ise 5 m'lik çıkış noktasına doğru ilerlemiştir. Bu modelde su hızının büyüklüğünün ve yönünün yük farkına göre davranışı açık bir şekilde incelenebilmektedir.



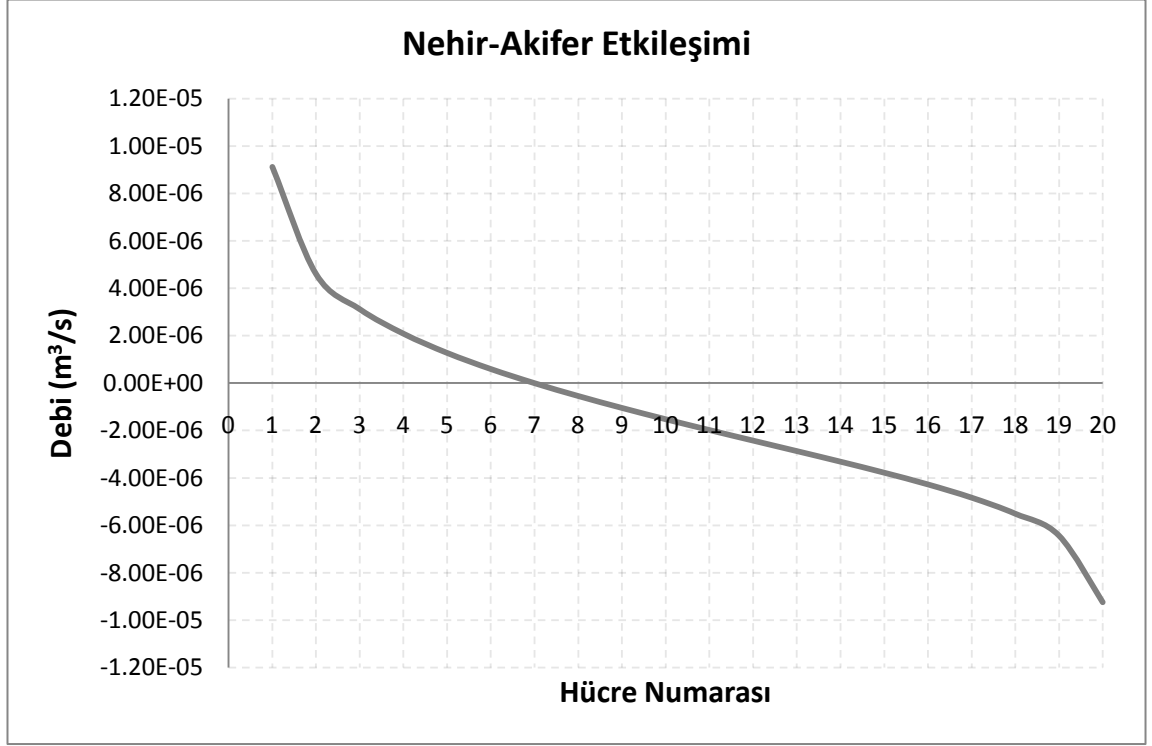
Şekil 5.27. Siltli akiferde basit nehir modeli-3. duruma ait 2 farklı en kesit

Şekil 5.27'deki en kesit görüntüleri yukarıda yapılan yorumları doğrular nitelikte olup, yorumların daha net bir şekilde anlaşılmasını sağlamaktadır. Şekil 5.27.(a) modelin üst bölgelerinde yük farkından olan hareketi ve hızı göstermektedir. Şekil 5.27.(b) ise çıkış noktasında suyun hem çıkışa hem de sınır koşuluna doğru olan hareketini açık bir şekilde göstermektedir. Şekil 5.28.(a) nehrin sol tarafından, Şekil 5.28.(b) nehir hizasından, Şekil 5.28.(c) nehrin sağ tarafından alınan kesitlerdir. Şekil 5.28.(a) su seviyesinin 9 m'den nehre doğru azalışını ve aşağı bölgede su hızının fazla olması nedeniyle gerçekleşen hızlı düşüşü, Şekil 5.28.(c) suyun 4 m'lik sınır koşuluna yaklaşırken oluşan hareketi, Şekil 5.28.(b) ise nehre tanımlanan akışı göstermektedir.

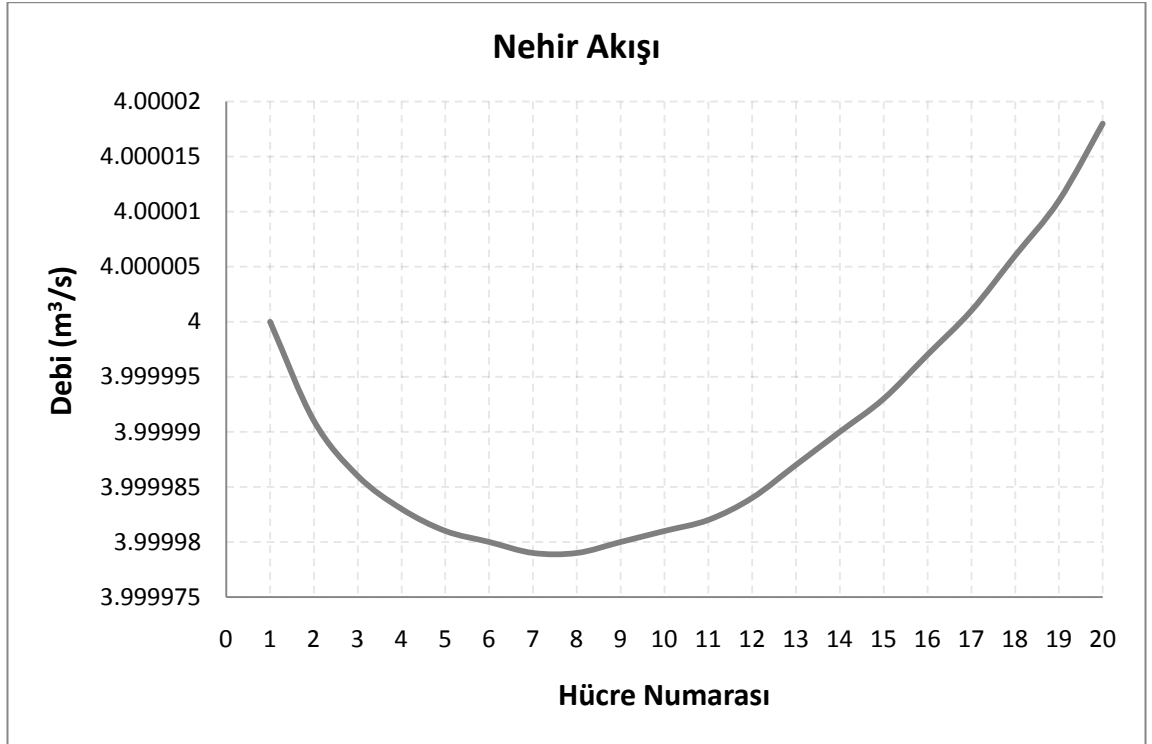


Şekil 5.28. Siltli akiferde basit nehir modeli-3. duruma ait 3 farklı boy kesit

Tüm kesitler incelendiğinde burada da yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimi yani nehir ile akifer arasındaki su alış verişi açıkça görülmektedir. Modelde oluşan etkileşimler Şekil 5.29 ve Şekil 5.30'daki grafiklerle gösterilmiştir.



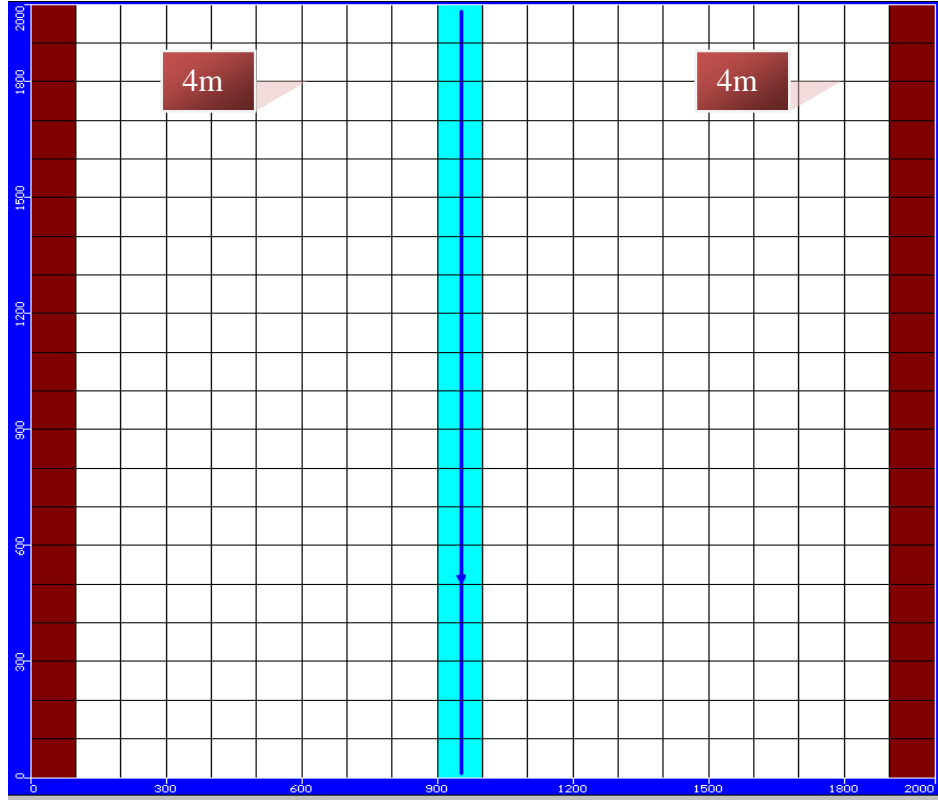
Şekil 5.29. Siltli akiferde basit nehir modeli-3. durum-Nehir-akifer etkileşimi



Şekil 5.30. Siltli akiferde basit nehir modeli-3. durum-Nehir akışı

Grafikler incelendiğinde nehir-akifer etkileşim debisi 7. hücreye kadar pozitif olmaktadır. Yani 7. hücreye kadar nehirden akifere doğru akım olmaktadır. 7. hücreden sonra etkileşim debisi negatif olmuş, akiferden nehre katılım söz konusu olmuştur. Nehirdeki debi değişimini gösteren grafikte bu durumu doğrulamakta ve 7. hücreden sonra eğrinin yönü değişerek nehirdeki debinin arttığını göstermektedir.

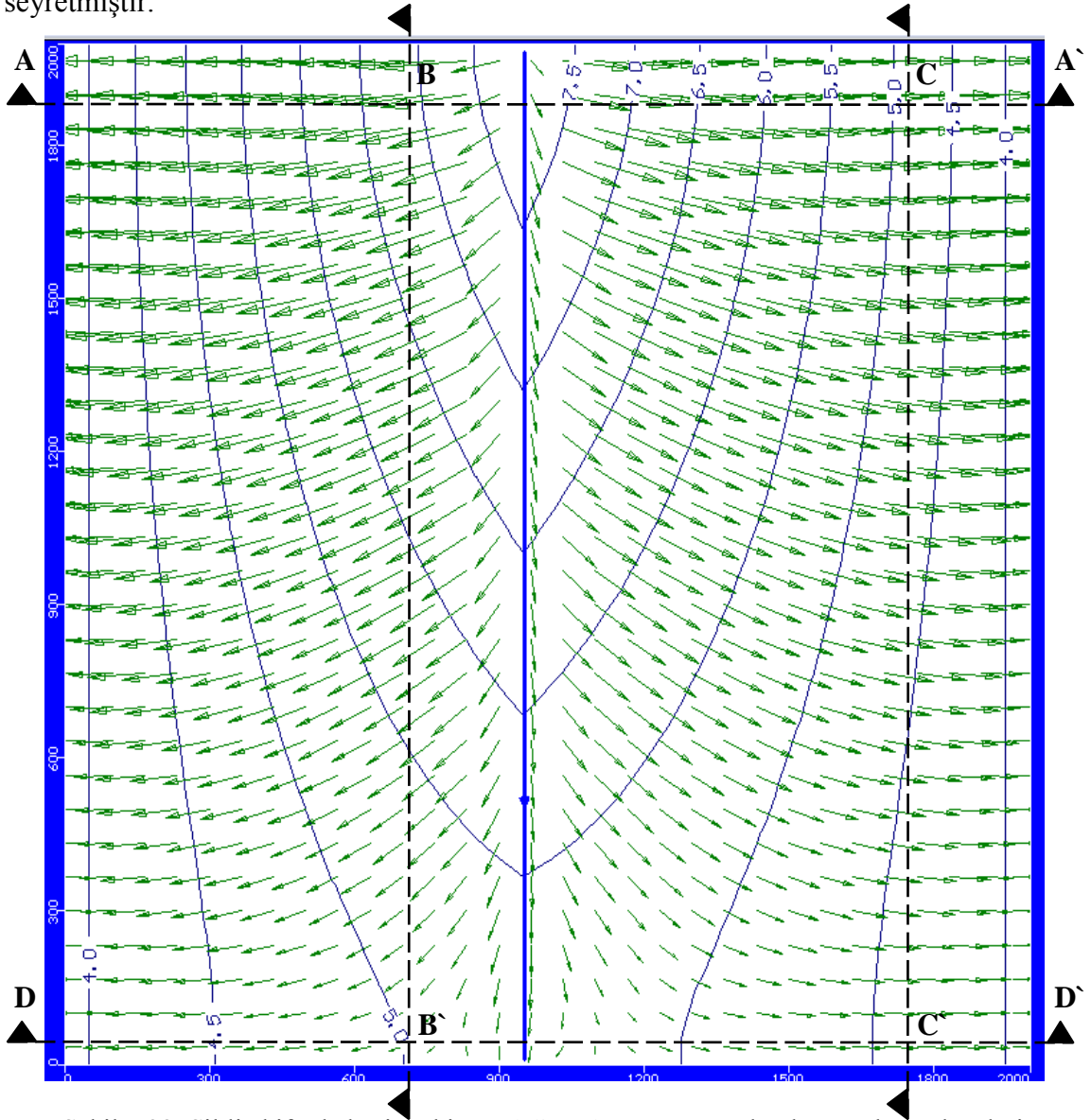
Dördüncü durumda (Şekil 5.10.(d)), modelin sınır koşulları modelin sağında ve solunda 4 m'lik yeraltı su seviyesi olacak şekilde tanımlanmıştır. Kararlı akım kabulü altında hazırlanan model Şekil 5.31'de, analiz sonucu oluşan yeraltı su seviyesi ve hız vektörleri Şekil 5.32'de, model sonucunun en kesiti Şekil 5.32'te ve boy kesiti Şekil 5.34'te sunulmuştur.



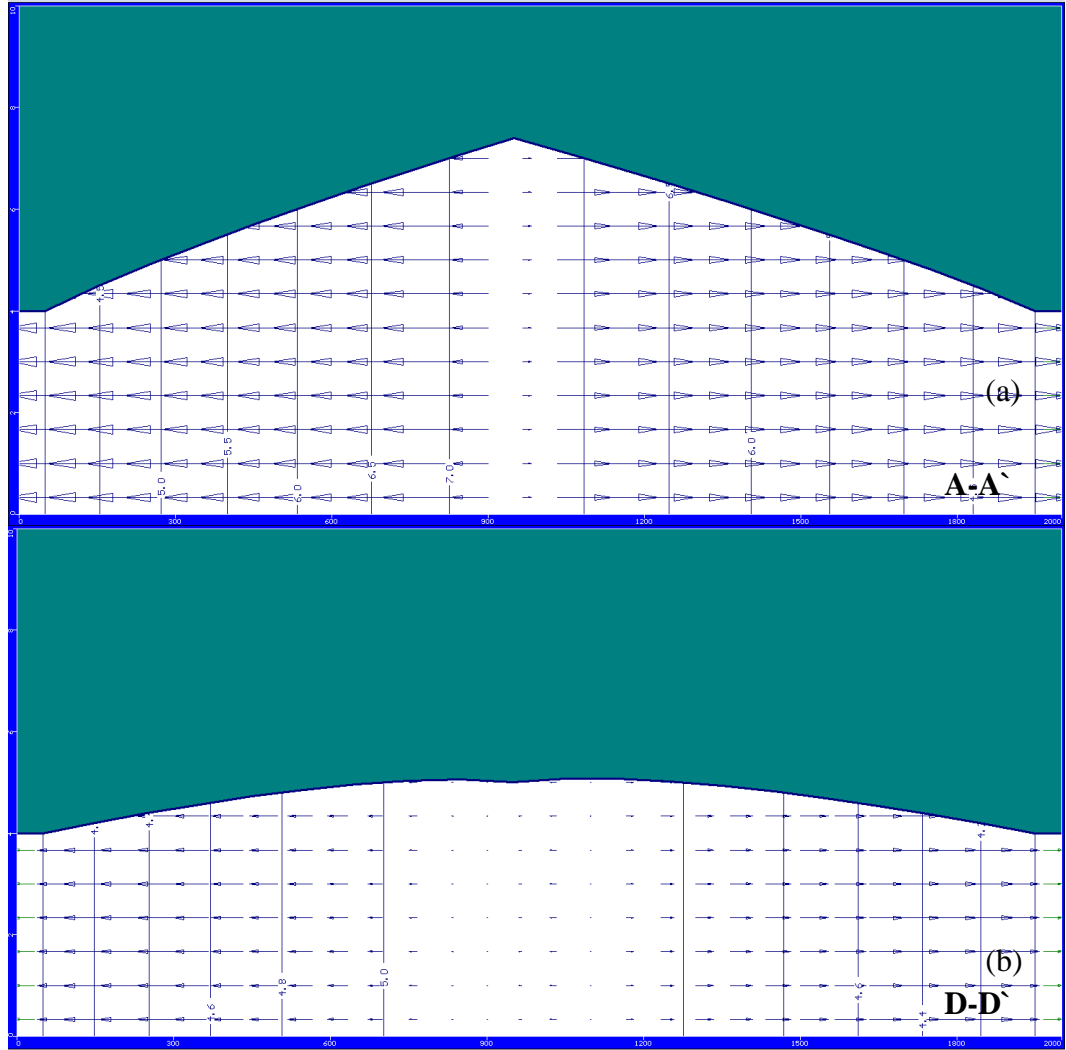
Şekil 5.31. Siltli akiferde basit nehir modeli-4. durum

Modelde nehrin sağ ve sol tarafındaki sınır koşulu aynı olduğundan izotropik akiferde nehrin her iki tarafındaki davranış Şekil 5.32'deki gibi benzer olmuştur ve nehrin her noktasındaki su seviyesi sınır koşulundan yüksek olduğu için nehirden akifere doğru bir akım oluşmuştur. Ancak nehrin giriş ve çıkış noktası arasındaki yük farkından dolayı akım aşağı doğru da yönelmiş ve yayılarak sınır koşulunun tanımlandığı bölgeye doğru akmıştır. Çıkış noktasının yakınındaki bölge incelendiğinde modelin alt bölgelerinde

nehir son segmenti etrafındaki akımın, sınır koşulu daha düşük olmasına rağmen çıkış noktasına yöneldiği görülmektedir. Bunun nedeni 4 m'lik sınır koşulunun nehre yakın olan bölgeye kadar etki edememesidir. Nehir akışı yeraltı suyu akışından daha hızlı olduğundan modelin alt kısımlarında etrafındaki akımı toplayabilmiştir. Bu durumun modelin alt bölgesinde meydana gelmesinin sebebi ise, alt tarafa doğru ilerledikçe sınır koşulu ile nehir arasındaki yük farkının azalmasıdır. Yük farkının fazla olduğu bölgede farkın olduğu yöne doğru akım daha kuvvetli olmaktadır. Nitekim bu bölgelerde akımın hızı daha büyük değerlerde, modelin alt kısmında ise daha küçük değerlerde seyretmiştir.

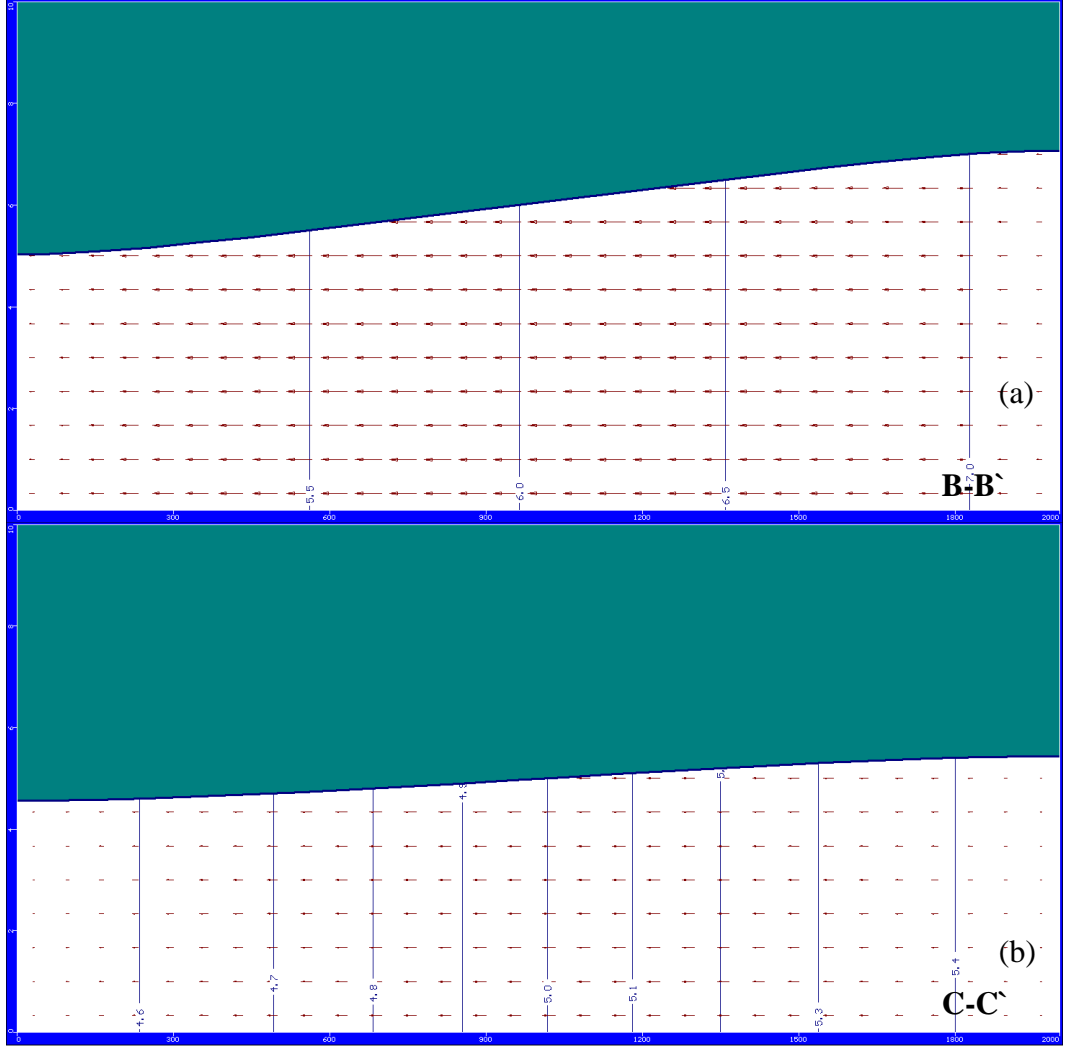


Şekil 5.32. Siltli akiferde basit nehir modeli-4. durum YASS dağılımı ve hız vektörleri



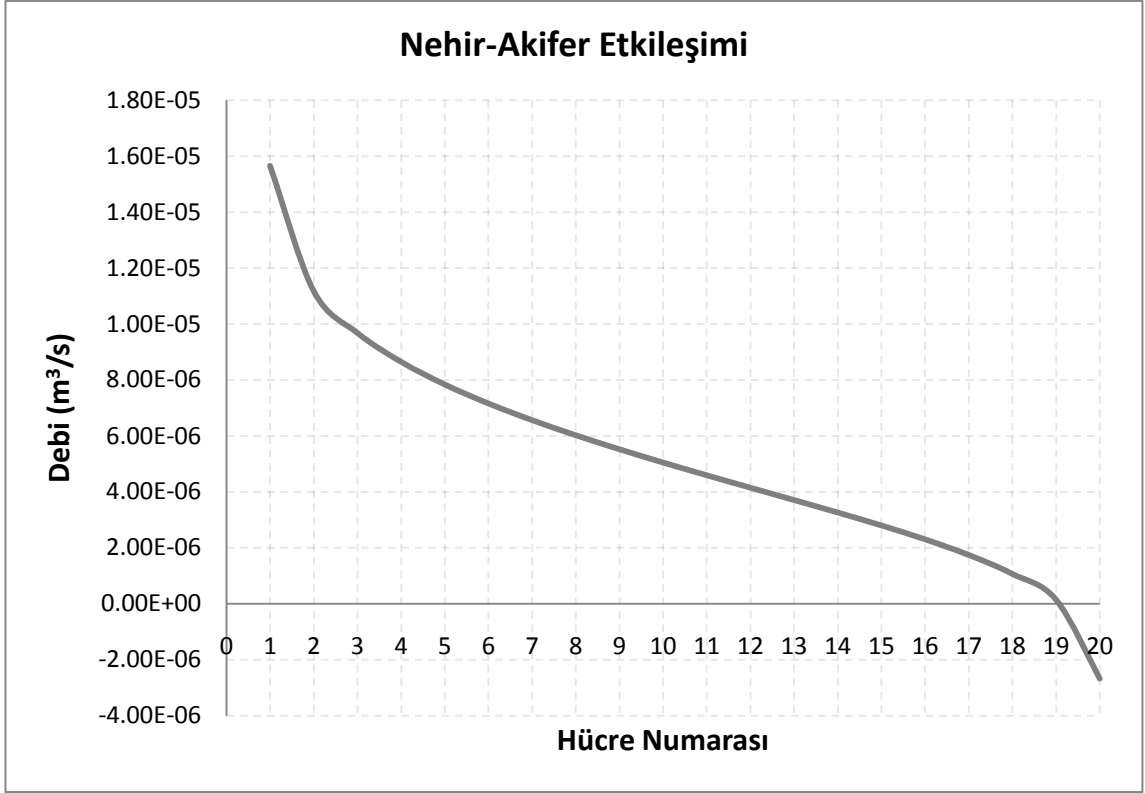
Şekil 5.33. Siltli akiferde basit nehir modeli-4. duruma ait 2 farklı en kesit

Şekil 5.33.(a) modelin üst bölgesindeki akımın en kesitini, Şekil 5.33.(b) ise çıkış noktasının bulunduğu hücredeki akımın en kesitini göstermektedir. Yukarıda yapılan yorumlar bu kesitlerden daha net bir şekilde görülebilmektedir. Modelin üst bölgelerindeki yük farkının çok yüksek olması neticesinde yataydaki akımın çıkış noktası etrafındaki akımdan ne kadar hızlı olduğu hız vektörlerinden anlaşılmaktadır. Çıkış noktasının hemen etrafında yatayda akımın çok küçük ve nehre doğru olduğu görülmektedir. Şekil 5.33.(b) kesitinde görüldüğü gibi çıkış noktasının yakınlarında akımın bir kısmı nehre bir kısmı sınır koşuluna doğru akmıştır. Boy kesitler incelendiğinde ise nehrin yakınlarında bulunan bir bölgeyi temsil eden Şekil 5.34.(a) kesitinde aşağıya doğru akımın daha kuvvetli olduğu görülmektedir. Nehrin sağ veya sol tarafına doğru ilerledikçe aşağıya doğru akımın Şekil 5.34.(b)'deki gibi azalarak sıfırlandığı görülmektedir. Bu modelde yataydaki akım çok daha kuvvetlidir.

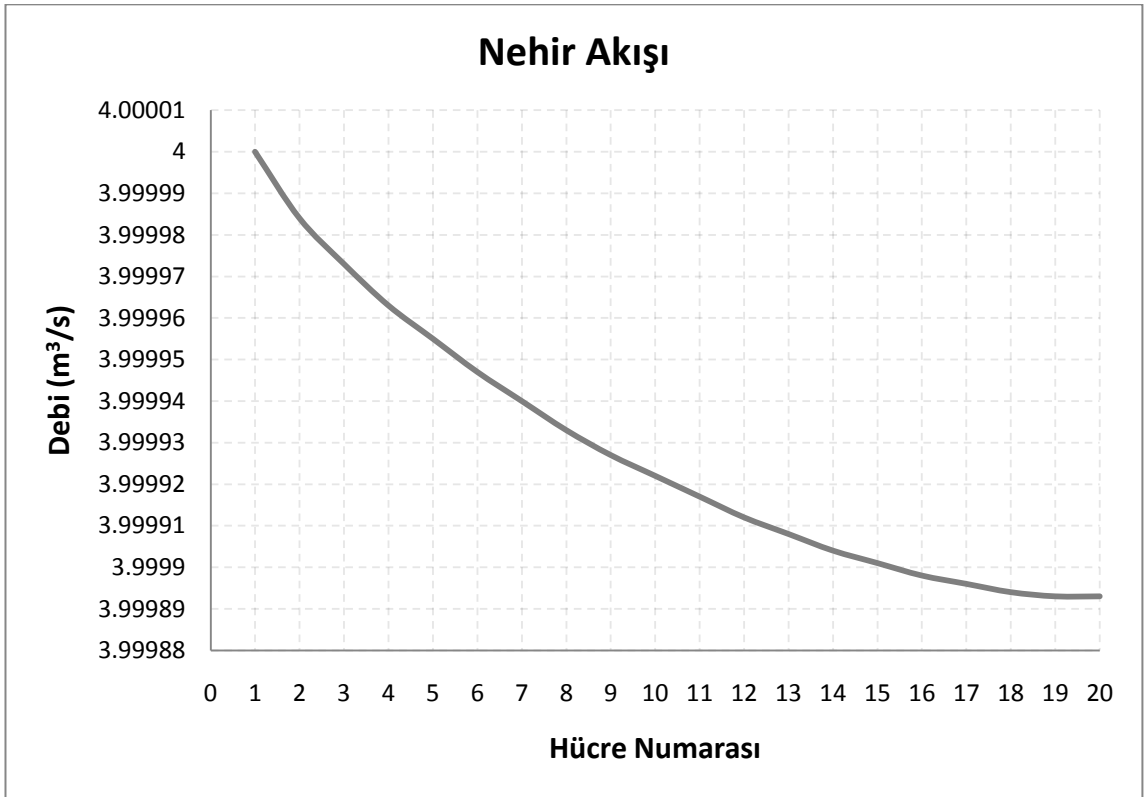


Şekil 5.34. Siltli akiferde basit nehir modeli-4. duruma ait 2 farklı boy kesit

Kesitler ve plan incelendiğinde bu modeldeki etkileşimin daha çok nehirden akifere doğru olduğu söylenebilir. Bunun için nehir-akifer etkileşimini gösteren Şekil 5.35 ve Şekil 5.36 incelenmelidir. Şekil 5.35 incelendiğinde etkileşim debisinin 19. hücreye kadar pozitif olduğu görülmektedir; yani nehirden akifere doğru bir akım vardır. Modelde tanımlanan yük farkı büyük olduğundan nehir akışı sırasında akifere su geçişi olmuştur. Bunun sonucu olarak da Şekil 5.36'da görüldüğü üzere aşağı doğru nehrin iletildiği debi azalmıştır. Kesit ve plan görüntüsünün yorumu yapılırken belirtildiği gibi çıkış noktasının olduğu noktada akiferden nehre katılım vardır ve burada etkileşim debisi negatiftir.

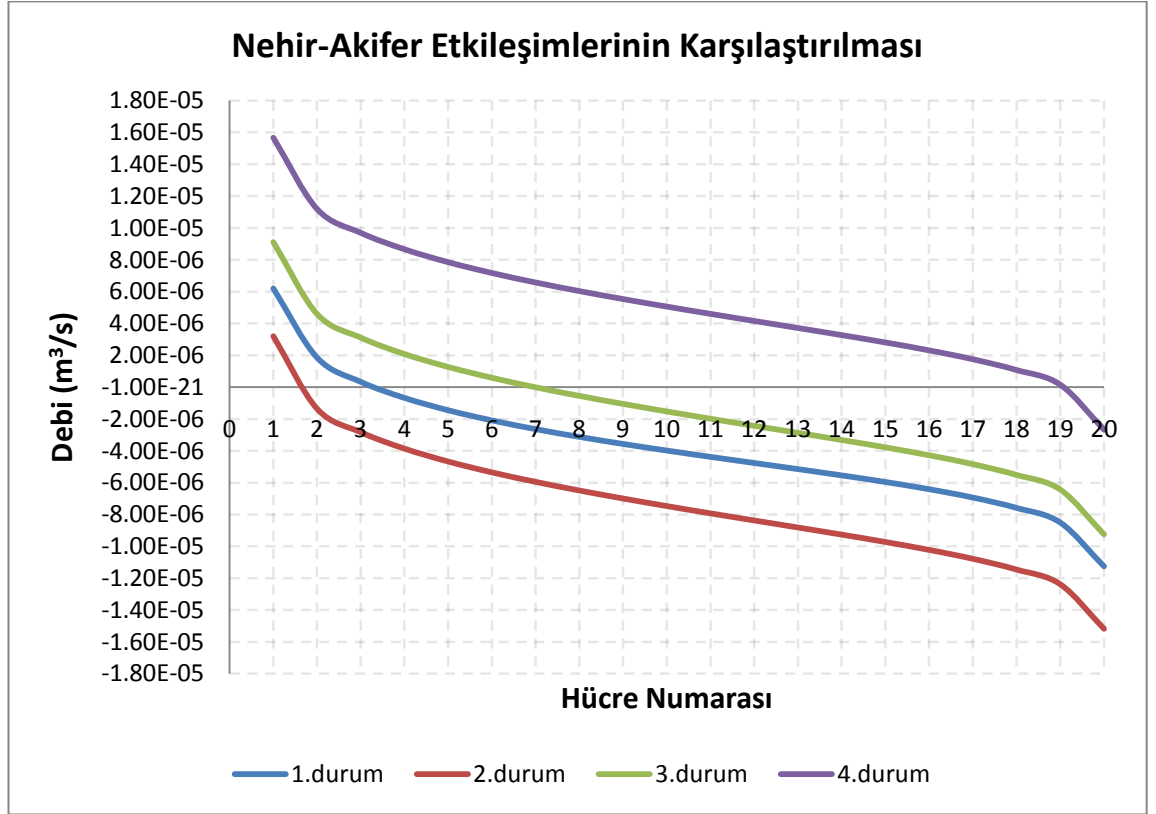


Şekil 5.35. Siltli akiferde basit nehir modeli-4. durum-Nehir-akifer etkileşimi



Şekil 5.36. Siltli akiferde basit nehir modeli-4. durum-Nehir akışı

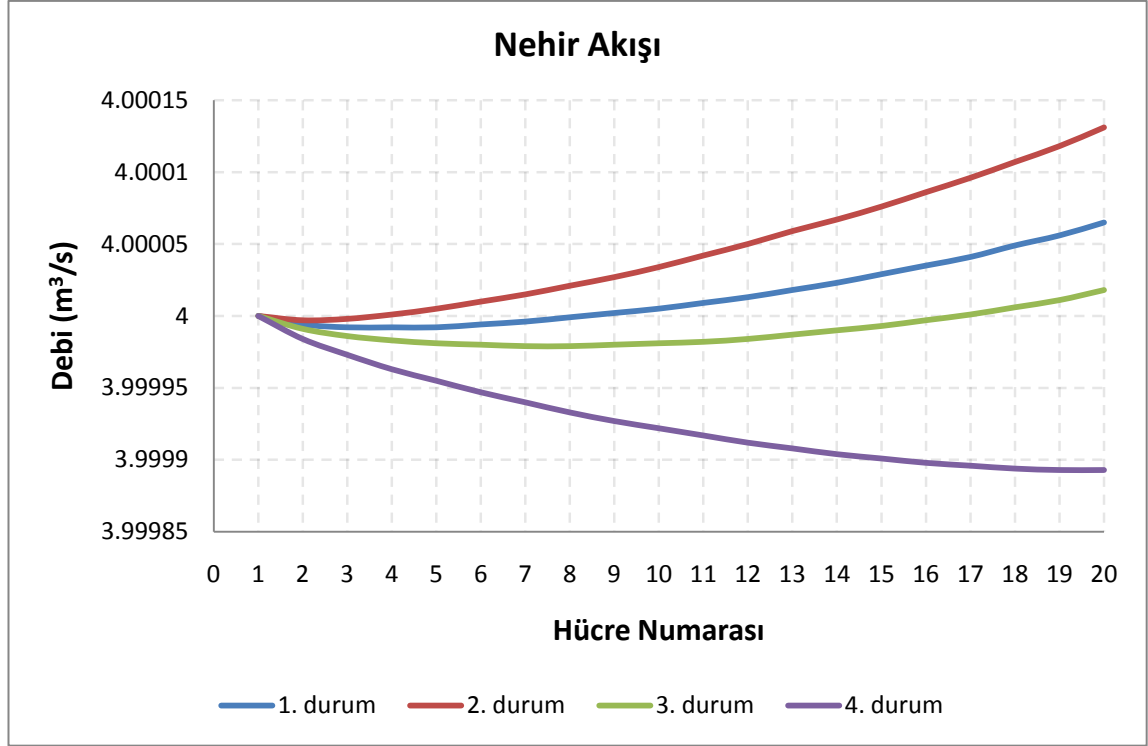
Basit akiferde yeraltı suyu ile nehir arasındaki seviye farkları göz önüne alınarak basit nehir modeline entegre edilen dört farklı durumun yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerine olan etkileri ayrı ayrı yukarıda ele alınmıştır. Ancak davranış analizlerinin sonuçlanması için bu dört farklı durumda oluşan etkileşimlerin kendi içerisinde karşılaştırılması gerekmektedir. Şekil 5.37’de dört farklı durumdaki nehir-akifer etkileşimi grafikleri toparlanarak, sonuçlar tek bir grafik halinde sunulmuştur. Şekil 5.38 ise dört farklı durum için nehir akışının karşılaştırılmasını göstermektedir.



Şekil 5.37. Dört farklı durumdaki nehir-akifer etkileşimlerinin karşılaştırılması

Dört farklı durum incelendiğinde 1. ve 3. durumlardaki etkileşimin arada kaldığı, 2. durumdaki etkileşimin en altta, 4. durumunda en üstte yer aldığı görülmüştür. Grafikte pozitif debi değerleri nehirden akifere olan su geçişini, negatif debi değerleri ise akiferden nehre giren akışı göstermektedir. Sonuçlara göre nehirden akifere su geçişinin en yüksek olduğu durumun, nehrin her iki tarafında tanımlanan sınır koşulunun nehirdeki hidrolik yükten daha az olduğu 4. durum olduğu görülmektedir. Akiferden nehre olan geçişin en yüksek olduğu değerler ise nehrin her iki tarafında tanımlanan sınır koşulunun nehirdeki hidrolik yükten daha fazla tanımlandığı 2. durumda görülmüştür. 1. ve 3. durumda nehrin sol tarafındaki sınır koşulu aynı, nehrin sağ

tarafındaki sınır koşulu 3. durumda 4 m'dir; 1. durumda ise sınır koşulu tanımlanmaksızın 5 m'lik başlangıç su seviyesine göre akış oluşmuştur. 3. durumda sağ taraftaki yük farkı daha fazladır ve bu durumda nehirden akifere su geçişi daha uzun bir hatta ve 1. durumdaki debi değerlerine göre daha yüksek mertebede oluşmuştur. Grafiğe bakılarak yük farkının etkileşim yönüne, yani nehirden akifere veya akiferden nehre olan su geçişine, direkt olarak etki ettiği görülmektedir. Ayrıca etkileşimin olduğu nehir hattının uzunluğu da yük farkına göre tutarlı olarak değişmektedir. Yeraltı suyunun seviyesi nehirden düşük olduğu durumlarda, sınır koşulu azaldıkça, yani nehir ile akifer arasındaki yük farkı arttıkça nehirden akifere olan etkileşimin arttığı ve nehir boyunca nehirden akifere doğru oluşan etkileşim hattının uzadığı görülmüştür. Yeraltı su seviyesinin nehirden yüksek olduğu durumlarda, sınır koşulu arttıkça, yani nehir ile akifer arasındaki yük farkı arttıkça akiferden nehre su geçişi artmakta ve bu yöndeki etkileşimin olduğu hat uzamaktadır. Eğer nehrin bir tarafında sınır koşulu nehir seviyesinden yüksek, diğer tarafında düşük ise yük farkının daha fazla olduğu taraftaki etkileşim davranışı baskın olmaktadır. Etkileşim debisinin mertebesi incelendiğinde, tüm grafiklerin başlangıcında ve bitişinde eğrinin daha dik bir karaktere sahip olduğu görülmektedir. Nehrin orta kısımlarındaki hücrelerde daha yatay bir ilerleme olmuştur. Analiz sonuçlarında, yeraltı suyu dağılımına göre nehir seviyesinin yeraltı su seviyesine daha yakın olduğu bölgelerin nehrin orta kısımları olduğu görülmüştü. Nehrin başlangıç bölgesindeki yeraltı suyu dağılımı ise tüm modellerde yaklaşık olarak 7.5 m civarında idi. Her modelde nehrin 8 m'lik başlangıç noktasında nehirden akifere doğru bir akım oluşmuştu. Aynı şekilde bitiş noktası yakınlarındaki seviyesi 5 ile 5.5 m arasında değişen yeraltı suyu, her modelde nehrin 5 m'lik çıkış noktasında toplanmıştı. Başlangıç ve bitişteki bu geçişler modeldeki nehir seviyesi sabit olduğundan, akışın dağılımına göre daha ani bir şekilde gerçekleşmiştir. Sonuç olarak başlangıçta ve bitişte yeraltı suyu ile nehir arasındaki yük farkı, yeraltı suyunun nehrin orta kısımları ile arasındaki yük farkından daha fazla olmuştur. Bu durumda yük farkı arttıkça etkileşim debisinin değeri daha yüksek olmuştur ve etkileşim debisindeki değişim, yük farkı arttıkça daha kısa mesafede gerçekleşmiştir. Tüm modellerde nehirden akış grafiği etkileşim grafiğiyle uyumlu olarak değişmiştir. Etkileşimlerle nehre en çok akımın olduğu 2. durumda nehirden debi en yüksek, akifere girişin en çok olduğu 4. durumda ise nehirden debi en düşük değerine ulaşmıştır.

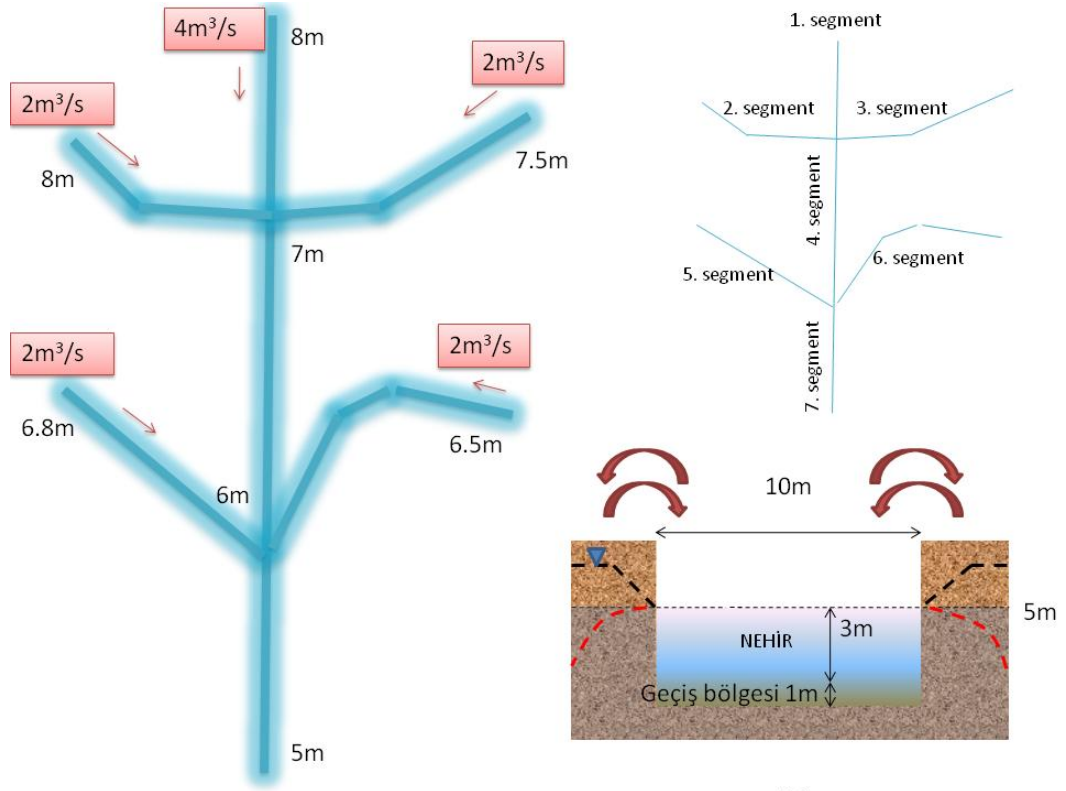


Şekil 5.38. Dört farklı durumdaki nehir akışının karşılaştırılması

5.1.2.2. Siltli Akiferde Kompleks Nehir Modeli

Siltli akiferde kompleks nehir modeli kurulurken, akifer özellikleri değiştirilmemiştir. Basit nehir modelindeki tek segmentli nehir 3 segmente bölünmüş ve bu segmentlerin birleşim noktalarından nehre katılan 4 yeni segment eklenerek nehrin yan kolları tanımlanmıştır. Tanımlanan yan kollar farklı akış hattına sahip olup, hepsinin başlangıç su seviyeleri birbirinden farklıdır. Bütün yan kollarda başlangıç debisi sabittir ve $2 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak tanımlanmıştır. Nehirdeki tüm yan kollarda en kesit, ana kolun en kesiti ile aynıdır. Yan kollardaki pürüzlülük, hidrolik iletkenlik gibi karakteristik nehir yatağı özellikleri de ana kol ile aynı değerlerde tanımlanmıştır. Yeni prototip modeldeki kompleks nehir modelinin debi, su seviyesi, segment ve en kesit bilgileri Şekil 5.39'da ve Tablo 5.3'te gösterilmiştir.

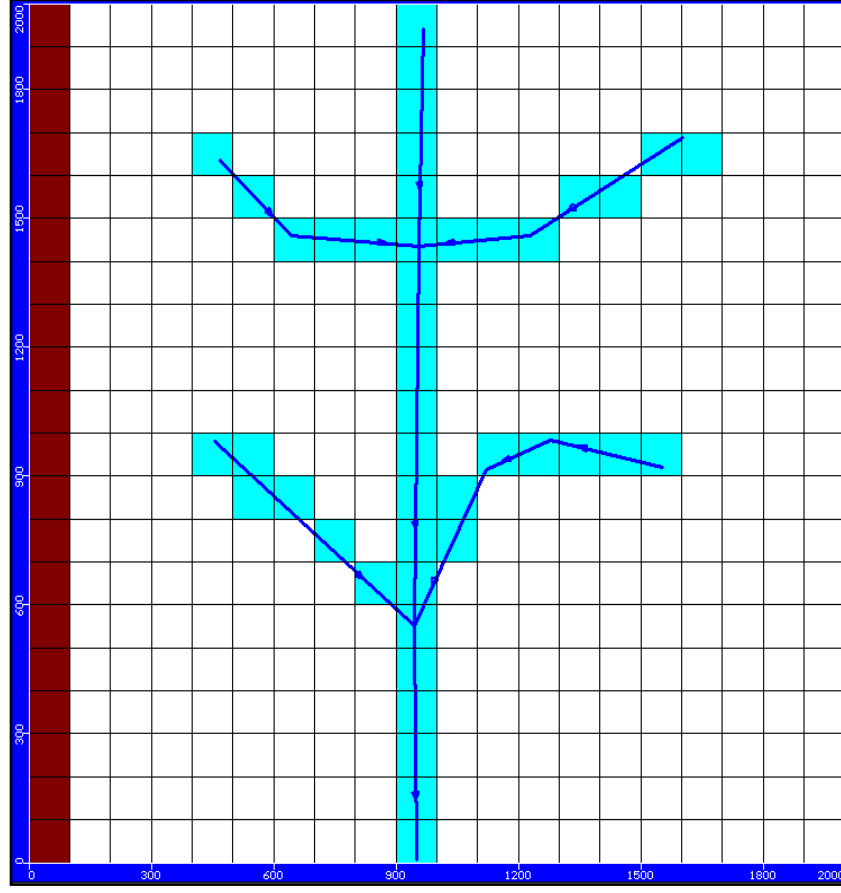
Analizler Şekil 5.10'daki 4 farklı durum için yapılmıştır. Birinci durumda kompleks nehrin sol tarafında kalan bölgede sınır koşulu tanımlanmıştır. Sınır koşulu 9 m'lik yeraltı su seviyesi olarak belirlenmiş ve 1. kolondaki tüm hücrelere atanmıştır. Kararlı akım kabulü altında hazırlanan model Şekil 5.40'ta, analiz sonucu oluşan yeraltı su seviyesi dağılımı ve hız vektörleri Şekil 5.41'de, model sonucu akımın 3 boyutlu hali Şekil 5.42'de gösterilmektedir.



Şekil 5.39. Kompleks nehir özellikleri

Tablo 5.3. Kompleks nehir segment bilgileri

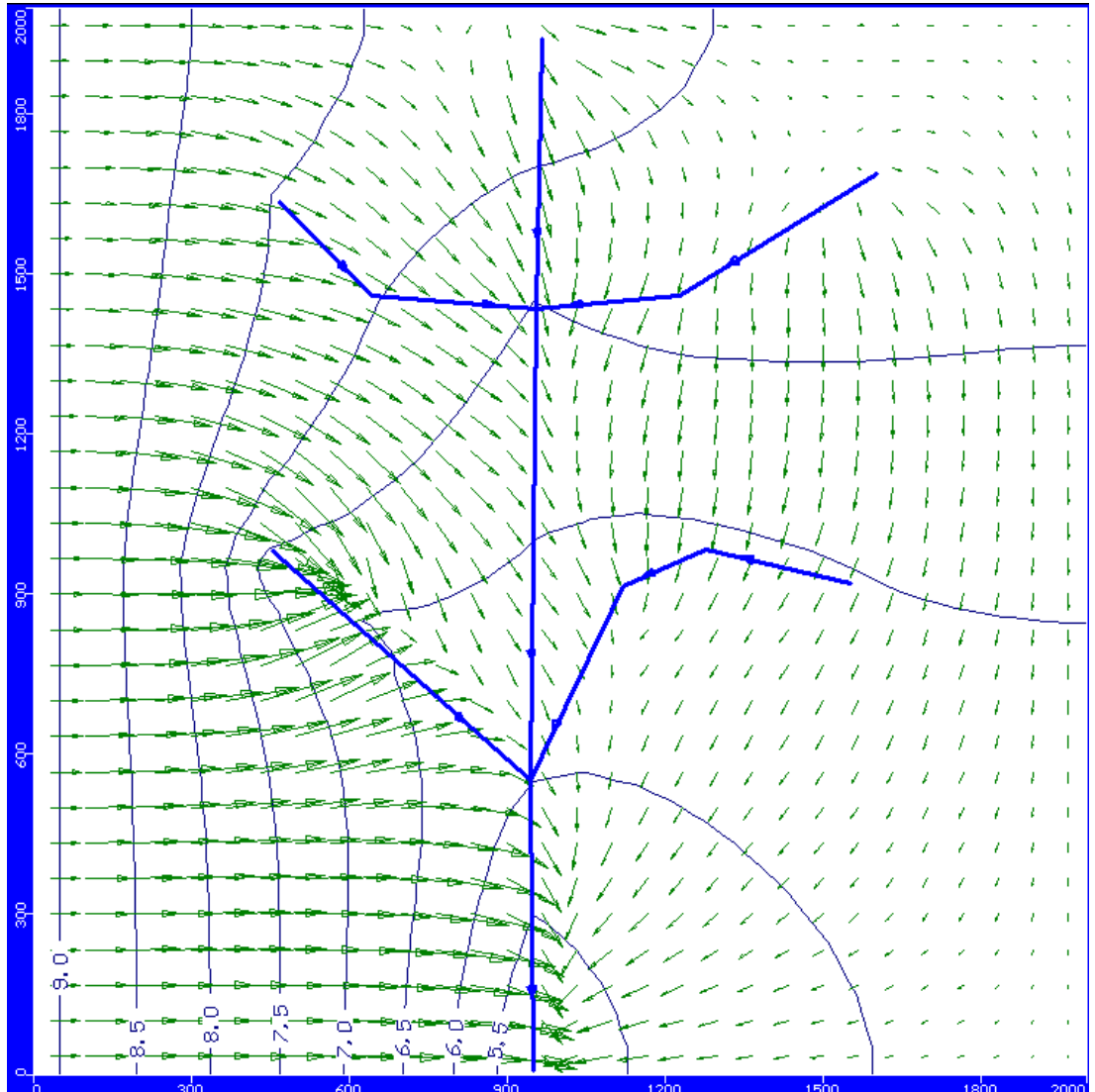
<i>Nehir Segmentleri</i>	<i>Veri noktası</i>	<i>Su seviyesi (m)</i>	<i>Nehir yatağı üst kotu (m)</i>	<i>Nehir yatağı alt kotu (m)</i>	<i>Nehir genişliği (m)</i>	<i>Giriş debisi (m³/s)</i>	<i>Hidrolik iletkenlik (cm/s)</i>
1. segment	Başlangıç	8	5	4	10	4	1.83×10^{-4}
	Bitiş	7	4	3	10	-	1.83×10^{-4}
2. segment	Başlangıç	8	5	4	10	2	1.83×10^{-4}
	Bitiş	7	4	3	10	-	1.83×10^{-4}
3. segment	Başlangıç	7.5	4.5	3.5	10	2	1.83×10^{-4}
	Bitiş	7	4	3	10	-	1.83×10^{-4}
4. segment	Başlangıç	7	4	3	10	-	1.83×10^{-4}
	Bitiş	6	3	2	10	-	1.83×10^{-4}
5. segment	Başlangıç	6.8	3.8	2.8	10	2	1.83×10^{-4}
	Bitiş	6	3	2	10	-	1.83×10^{-4}
6. segment	Başlangıç	6.5	3.5	2.5	10	2	1.83×10^{-4}
	Bitiş	6	3	2	10	-	1.83×10^{-4}
7. segment	Başlangıç	6	3	2	10	-	1.83×10^{-4}
	Bitiş	5	2	1	10	-	1.83×10^{-4}



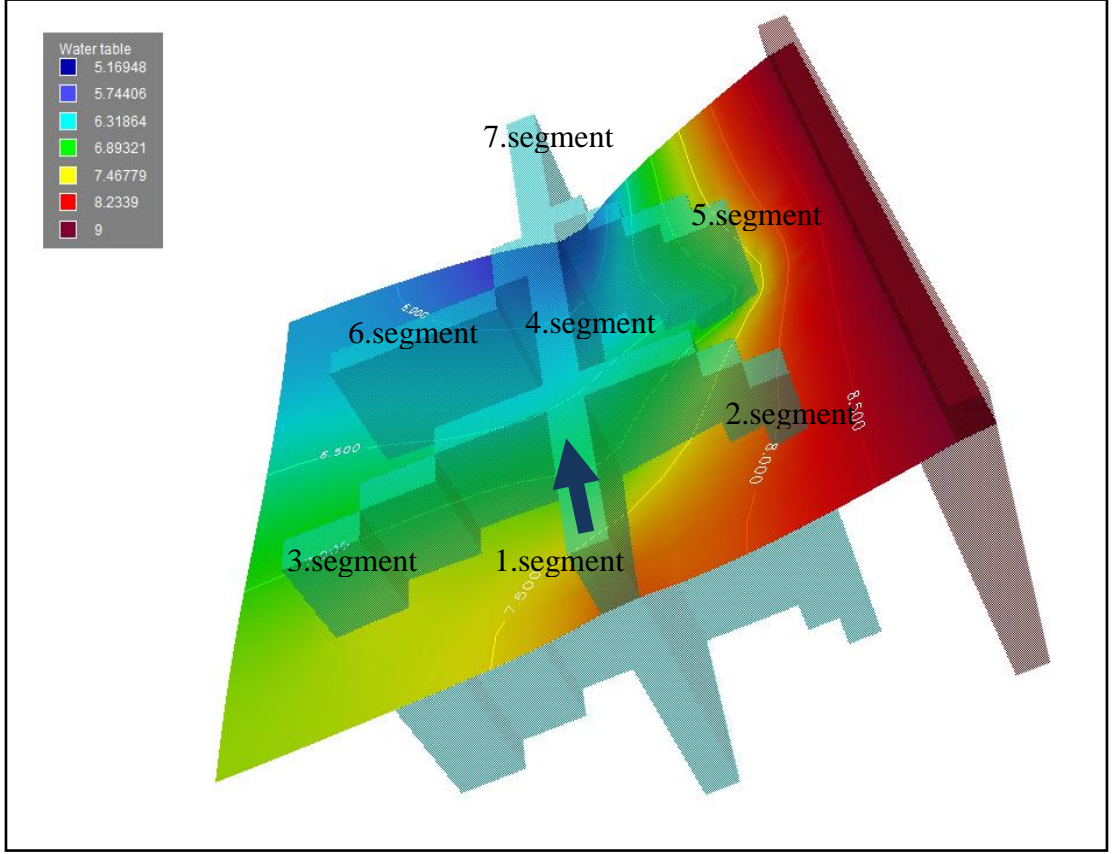
Şekil 5.40. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-1. durum

Şekil 5.41 incelendiğinde sınır koşulunun olduğu bölgeden nehre doğru hızlı bir akımın oluştuğu görülmektedir. Yük farkının az olduğu üst bölgelerde akım düşük hızla ilerlemiştir. Nehre gelen kollardan olan 2. segmentin (sol üst kol) su seviyesi kendisine doğru gelen yeraltı suyu seviyesi ile aynı değerlerde olduğundan burada yeraltı suyu ve yüzey suyu tek bir formasyon gibi davranarak, ana kola doğru akmış, 2. segmente gelen akım oldukça az olmuştur. Modelin sol alt tarafında yük farkı daha fazla olduğundan akım daha hızlı ilerlemiştir. Bu bölgede kalan 5. segmente (sol alt kol) doğru büyük ve hızlı bir akımın oluştuğu gözlenebilir. Yan kolun etrafındaki akım tamamen kendisine yönelmiştir. Burada büyük boyutlu etkileşim değerleri olacağı öngörülmektedir. 5. segmentin yakınlarındaki yeraltı suyu seviyesi ve nehir arasındaki yük farkı önemli bir etki bölgesi oluşturmuş, bu bölgede yan kola yönelen suyun hızı biraz daha artmıştır. Modelin sağ tarafı incelendiğinde ise yeraltı suyu akım hızının yavaşladığı ve nehir akışının, daha önceki benzer modellerde olduğu gibi, sol taraftan gelen yeraltı suyu akımını sönmülediği görülmüştür. Ancak nehir kolları nedeniyle yeraltı su seviyesi dağılımı ve akım karakteristiğinde basit nehir modeline göre farklılıklar görülmüştür. 3.

segmentin (sağ üst kol) başlarında nehirdeki su seviyesi, yeraltı suyu ile çok yaklaşık değerler olduğundan akım çok yavaştır. Sağ tarafta akımın genel eğilimi önce nehir kollarına ve son olarak çıkış noktasına doğru yönelmektir. Nitekim 3. segmentten geçen yeraltı suyu 6. segmente (sağ alt kol) doğru akmış, 6. segmentin devamında oldukça yavaşlayan su çıkışa doğru giden bir çizgi izlemiştir. Basit nehir modelindeki aynı durumla karşılaştırıldığında, su akışının aynı eğilimde olduğu, ancak nehre kollar eklenmesinin etkileşimi ve akış karakteristiklerini etkilediği görülmüştür. Ayrıca model genelinde yeraltı su seviyesi artmıştır.



Şekil 5.41. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-1. duruma ait YASS dağılımı ve hız vektörleri



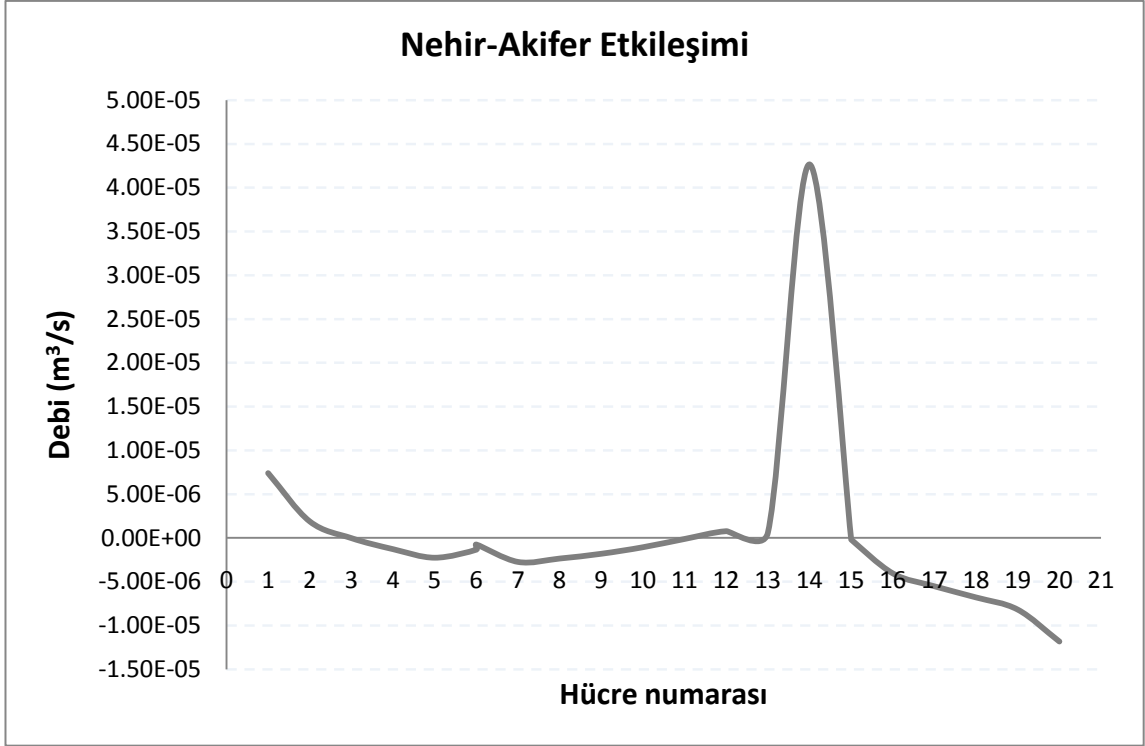
Şekil 5.42. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-1. durum-Akımın 3 boyutlu görünümü

Akımın 3 boyutlu hali incelendiğinde nehrin memba bölgesindeki yavaş akım, 3. ve 6. segmentin bulunduğu bölgedeki yavaş hareket ve 5. segmentin etrafında yan kola doğru oluşan ani ve hızlı akım net bir şekilde anlaşılmaktadır. Bu modelde etkileşimin hem ana kollarda hem de yan kollarda incelenmesi gerekmektedir. Modelin plan ve 3 boyutlu görünüşünden bu modelde ciddi etkileşimler olduğu söylenebilir. Şekil 5.43 ve Şekil 5.44 nehir-akifer etkileşimlerini ve nehir debisini göstermektedir.

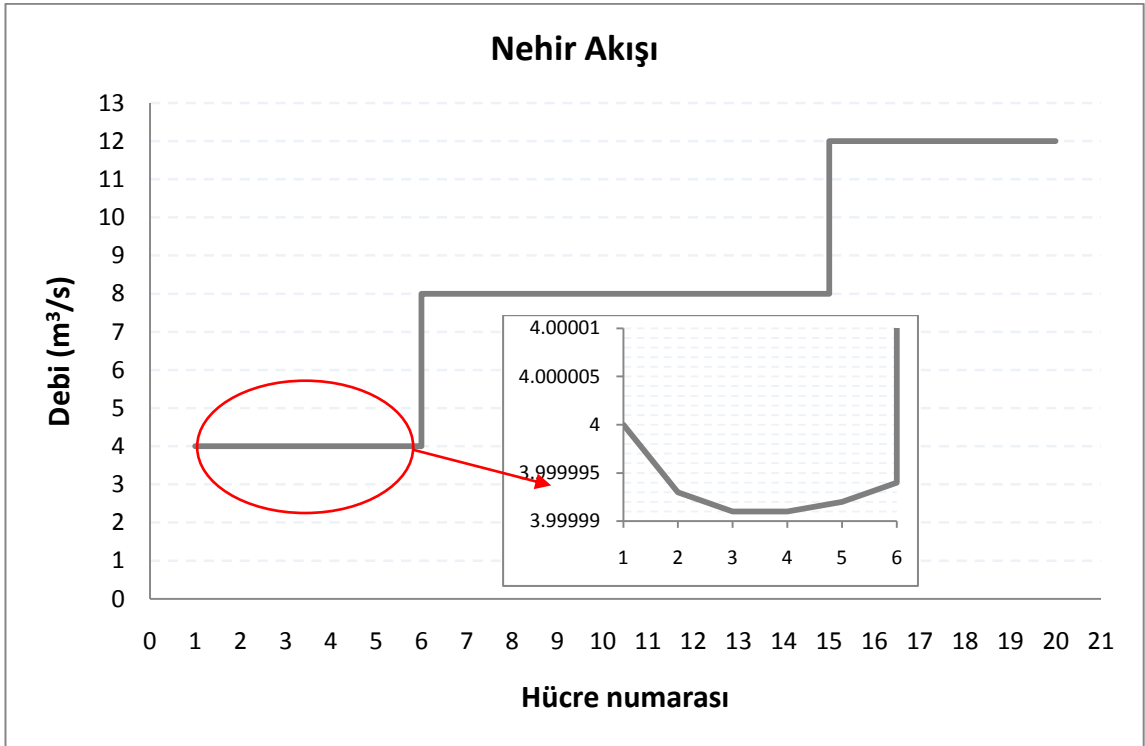
Nehir-etkileşim grafiğinde nehrin ana kolu boyunca oluşan etkileşimler görülmektedir. Nehrin başlangıç bölgesinde nehrden akifere doğru bir akım oluşmuştur. 3. hücreden itibaren akiferden nehre geçen suyun debisi artmaya başlamıştır. Yukarıda bulunan yan kolların (2. ve 3. segment) ana kola bağlandığı 6. hücrede eğrinin gidişinde bozulma olmuştur, ancak yine akiferden nehre olan geçiş sürmüştür. Ancak 4. segmentte akifere geçen akımın debisi giderek azalmış, son kısımlarında etkileşim yön değiştirmiş ve tekrar nehrden akifere doğru yönelmiştir. 12. ve 13. hücrelerde ufak debi değişimleri ile etkileşim yön değiştirmiştir. Bunun devamında gelen ve 5. ve 6. segmentin ana kola bağlandığı 14. hücrede nehrden akifere geçen suyun debisi ani bir şekilde artmış ve

tekrar ani bir değişimle azalmıştır. Sonrasında ise çıkış noktasına kadar akiferden nehre su geçişi hakim olmuştur. Nehirdeki debi değişimi grafiğinde birleşme noktalarında ana karakter değişmiş, yan kollardan gelen debiler ana kola eklenmiştir. Nehir akışı etkileşim grafiğine uygun olarak devam etmiştir. Ancak bu değerler oldukça küçük olduğundan grafikte açık olarak görünmemektedir. Bu nedenle 1. segment yaklaştırılmıştır. Burada başlangıçta nehirden akifere doğru akım olduğunda nehrin debisi azalmış, akiferden nehre doğru akım döndüğünde ise nehirdeki debi artış göstermiştir.

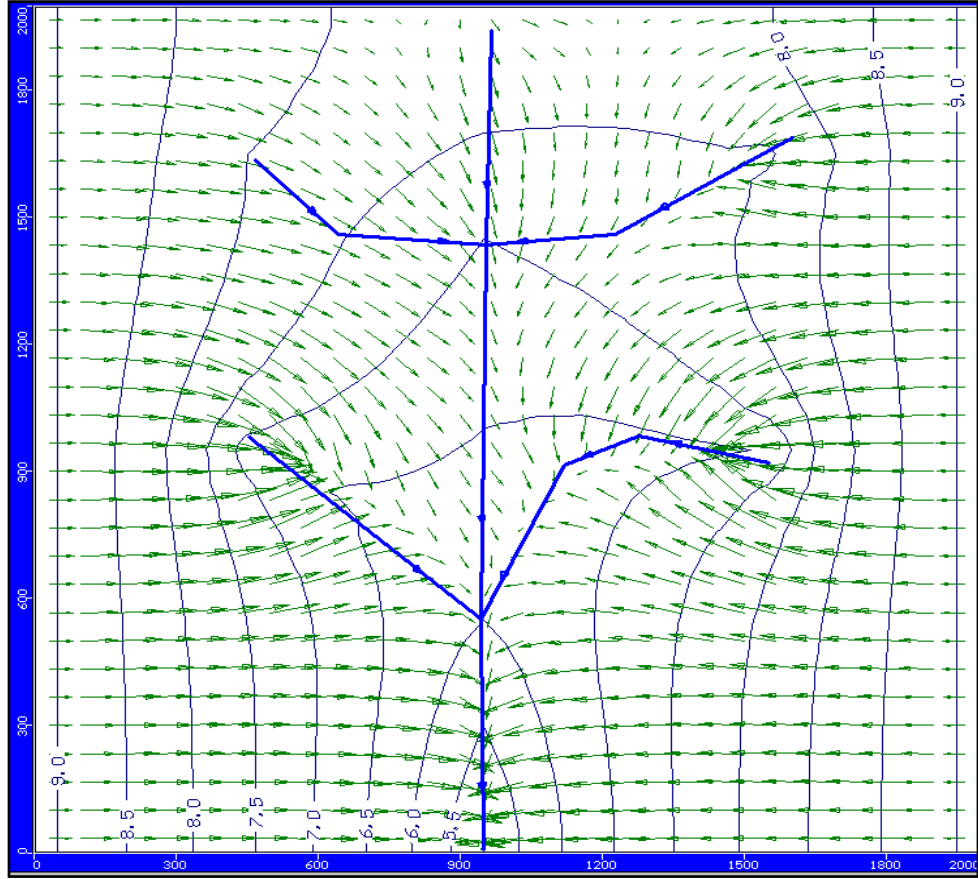
İkinci durumda kompleks nehrin her iki tarafına 9 m'lik sınır koşulu atanmıştır. Nehir ve akifere ait özellikler değiştirilmeden kararlı akım kabulü altında analiz yapılmıştır. Analiz sonucu elde edilen yeraltı su seviyesi yüksekliği ve hız dağılımı Şekil 5.45'te görülmektedir. Akımın 3 boyutlu hali ise Şekil 5.46'te sunulmuştur. Şekil 5.45 incelendiğinde, akımın genel eğiliminin ana kola doğru akmak olduğu görülmektedir. 2. segment yeraltı su seviyesine yakın olduğu için akışı bozacak bir duruma sebebiyet vermemiştir. Ancak 3. segment incelendiğinde, başlangıç su seviyesi yeraltı suyuna yakın olmasına rağmen, etrafındaki akımı hızlandırarak topladığı görülmüştür. Bunun nedeni 1. ve 2. segmentin başlangıç seviyeleri 8 m iken 3. segmentin başlangıç seviyesinin 7.5 m olmasıdır. Modelin alt bölgeleri incelendiğinde 5. segmentin etrafında yine yoğun bir akış görülmektedir. Aynı şekilde sağ tarafındaki 6. segment de etrafındaki akışı toplamıştır. Kenarlardan ana kola doğru akan suyun bir kısmı yan kollarla etkileşime girmiş, bir kısmı ise ana kola doğru akmaya devam etmiştir. Ancak şekillerden de anlaşılacağı üzere ana kol üzerinde nehre katılım az olmuştur. Ana kol etrafındaki yeraltı suyu akımının yönü neredeyse nehre paralel konumdadır. Bunun sebebi muhtemel olarak yük farklarıdır. Üst bölgelerde katılım ve etkileşim az iken, nehrin son segmenti olan 7. segmentte nehre gelen suyun akışını bozan bir yan kol bulunmadığından su oldukça yüksek bir hızla nehre doğru akmış ve etkileşime sebep olmuştur. Modelin genelinde su seviyesi önceki modellere göre yükselmiştir.



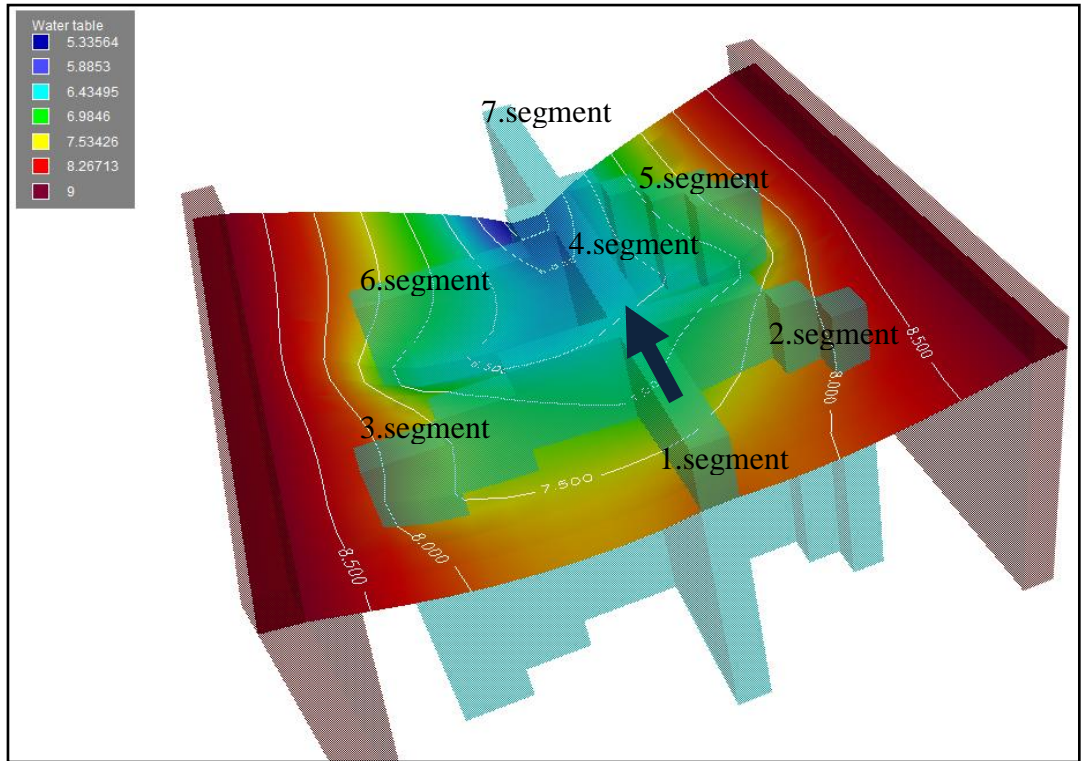
Şekil 5.43. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-1. durum-Nehir-akifer etkileşimi



Şekil 5.44. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-1. durum-Nehir akışı

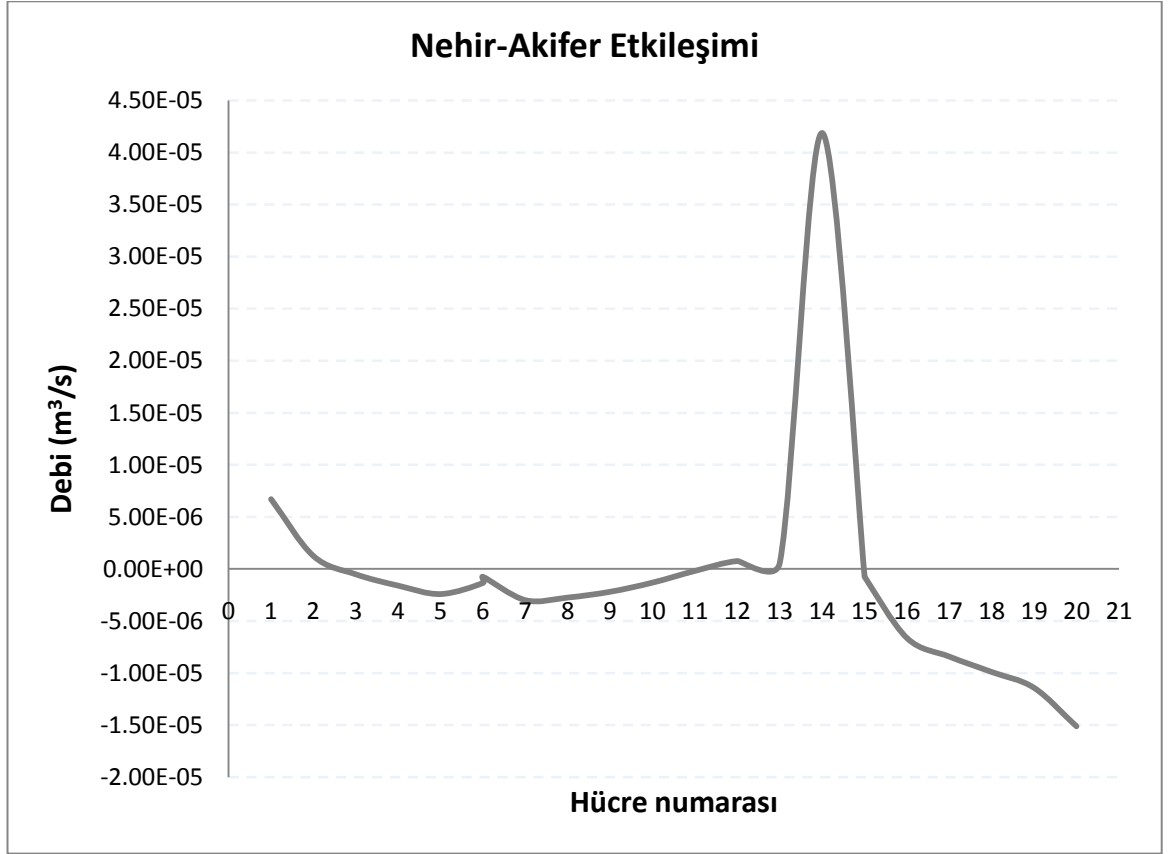


Şekil 5.45. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-2. duruma ait YASS dağılımı ve hız vektörleri

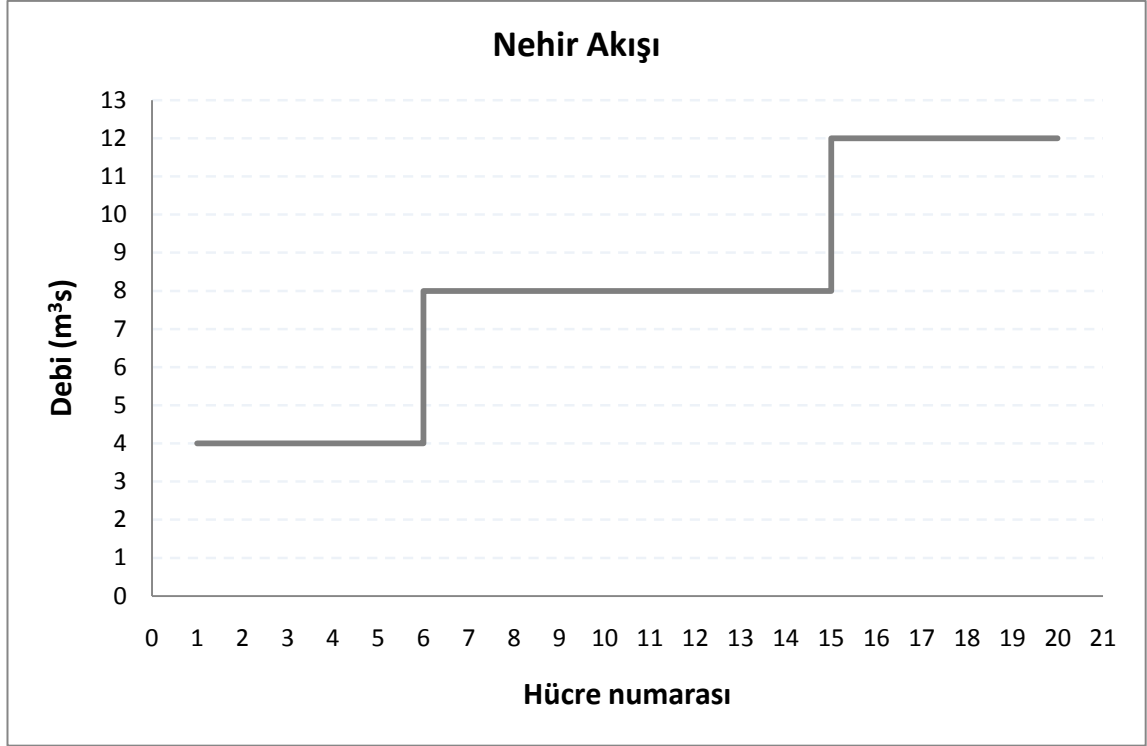


Şekil 5.46. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-2. durum- Akımın 3 boyutlu görünümü

Modelin analiz sonuçlarına göre yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri Şekil 5.47'den ve Şekil 5.48'den incelenebilir. Etkileşim grafiği incelendiğinde, nehrin başlangıç noktasında nehirden akifere doğru bir akım olduğu, ancak 2. hücreden sonra etkileşimin yön değiştirerek akiferden nehre yöneldiği görülmüştür. İlk birleşme noktası olan 6. hücrede akiferden nehre geçen akımın debisi küçülmüş ve eğrinin karakteri bir miktar değişmiştir. Ana kolun 2. bileşeni olan 4. segmentte akım nehre doğru azalarak ilerleyen bir debi ile ilerlemiştir. 12. ve 13. hücrelerde etkileşim yön değiştirerek, 14. hücrede akifere doğru ani bir debi yükselişi göstermiştir. Ardından akım nehre doğru artan bir debi ile ilerlemiştir. Nehirdeki debi ise birleşme noktalarında, yan kollardaki debiler eklenerek, ana kolda akım boyunca etkileşimle uyumlu olarak artıp azalmıştır.

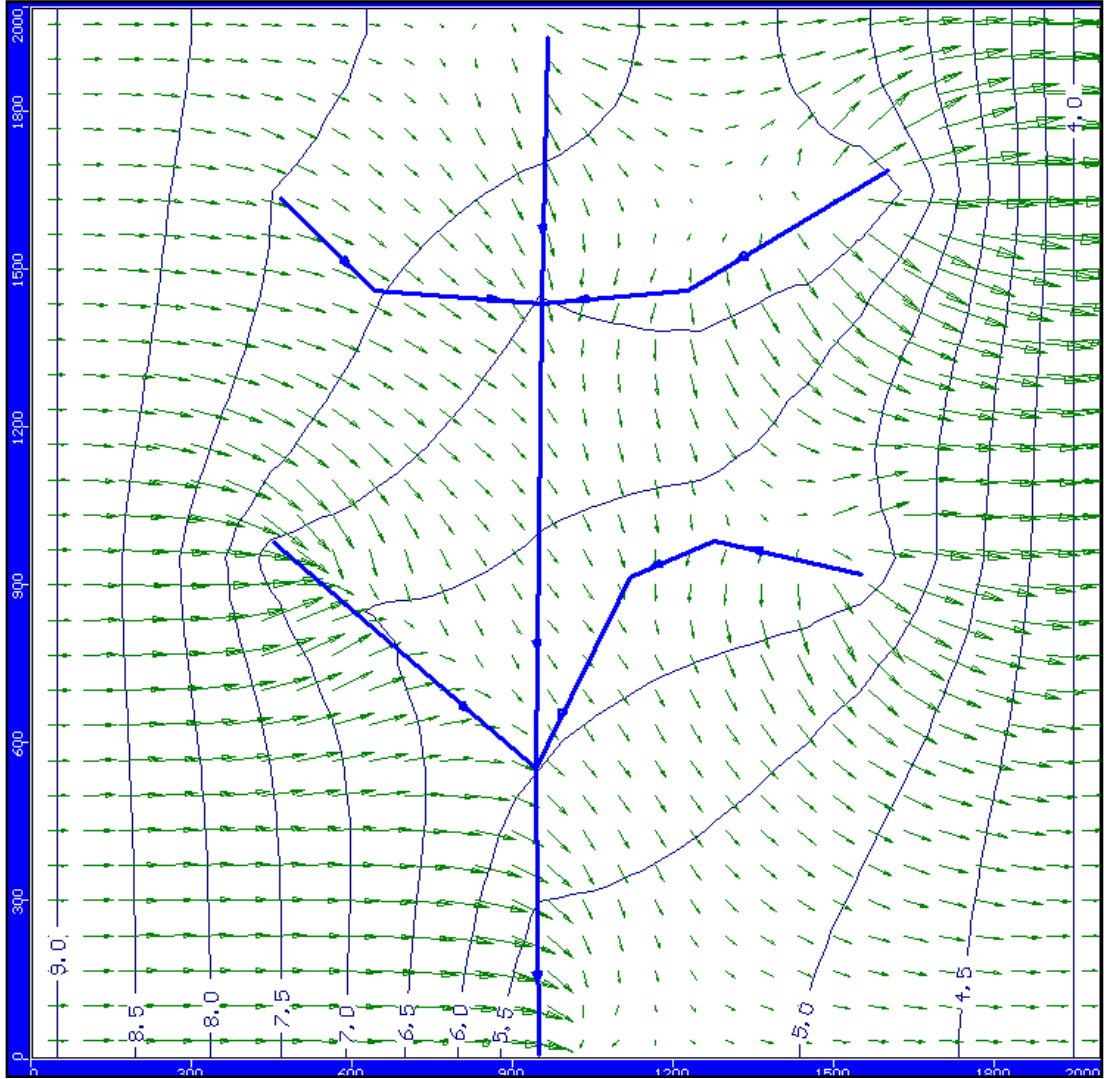


Şekil 5.47. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-2. durum-Nehir-akifer etkileşimi



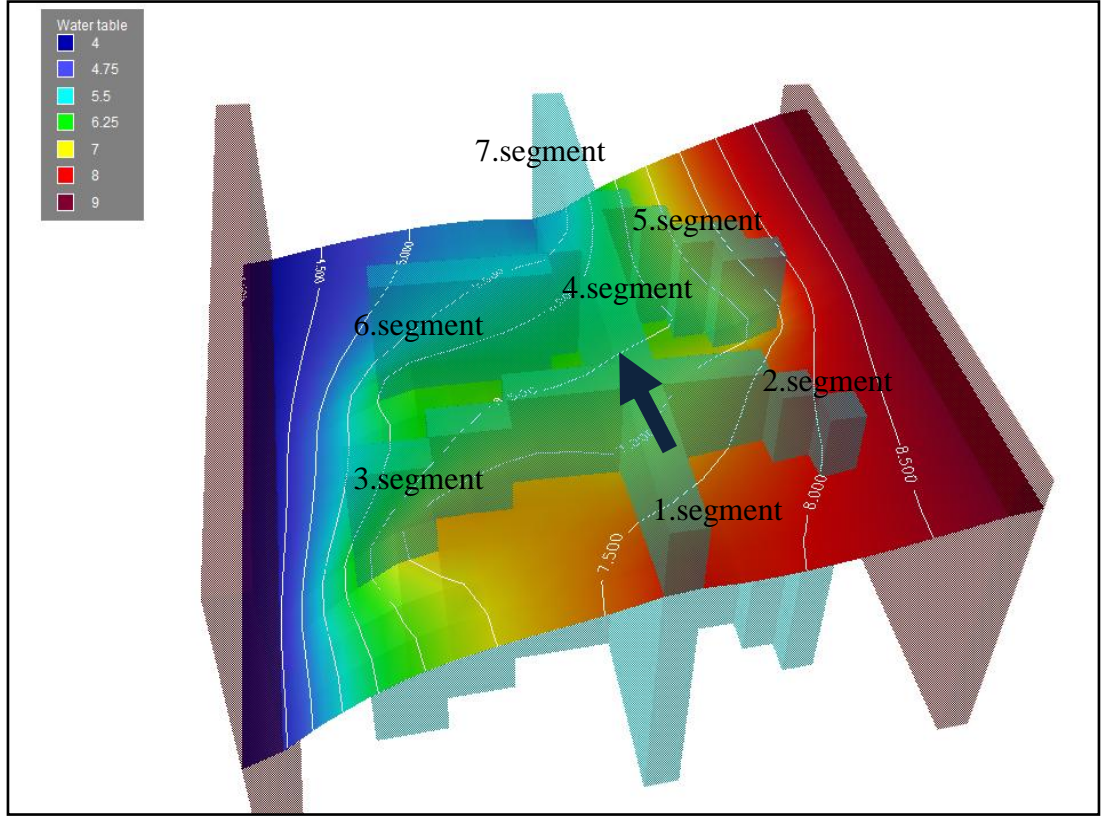
Şekil 5.48. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-2. durum-Nehir akışı

Üçüncü durumda modelin sol tarafında 9 m, sağ tarafında ise 4 m'lik yeraltı su seviyesi koşulu belirlenmiş, kararlı akım kabulü altında analizler yapılmıştır. Şekil 5.49'da analiz sonuçlarına göre su yüksekliği ve hız dağılımı görülürken, Şekil 5.50'de akımın 3 boyutlu hali verilmiştir. Şekil 5.49'a bakarak, analiz sonucu modelin sol tarafında, 9 m'lik sınır koşulunun olduğu bölgede su seviyesi ve hız dağılımının daha önceki modellerle aynı olduğu söylenebilir. Ancak modelin sağ tarafında sınır koşulu başlangıç su seviyesinden düşük olduğundan ve yük farkı oldukça arttığından nehirdeki akım 4 m'lik sınır koşuluna doğru akmıştır. Özellikle yan kolların başlangıç seviyelerinin 7.5 m ve 6.5 m olması, bu noktadan itibaren sınır koşuluna doğru çok hızlı bir yeraltı suyu akımı oluşturmuştur. Ana kola doğru ilerlediği noktalarda üst bölgedeki akımda, yeraltı suyu hızının sıfıra yakın olduğu bir bölge meydana geldiği ve akımın alttaki 6. segmente doğru yöneldiği görülmektedir. Yine de akım nehir akışının etkisiyle yön değiştirmemiş, 6. segmentin alt kısmından akifere geçen akım yayılarak sınır koşuluna doğru akmıştır. Nehir ile 4 m'lik sınır koşulunun arasında kalan bölgede yeraltı suyu akımı sınır koşuluna doğru yönelmiş ve bu bölgedeki yeraltı suyu nehri beslememiştir. Şekil 5.50'de akımın 3 boyutlu görüntüsü incelendiğinde akımın fiziki yapısı daha net bir şekilde anlaşılabilir.

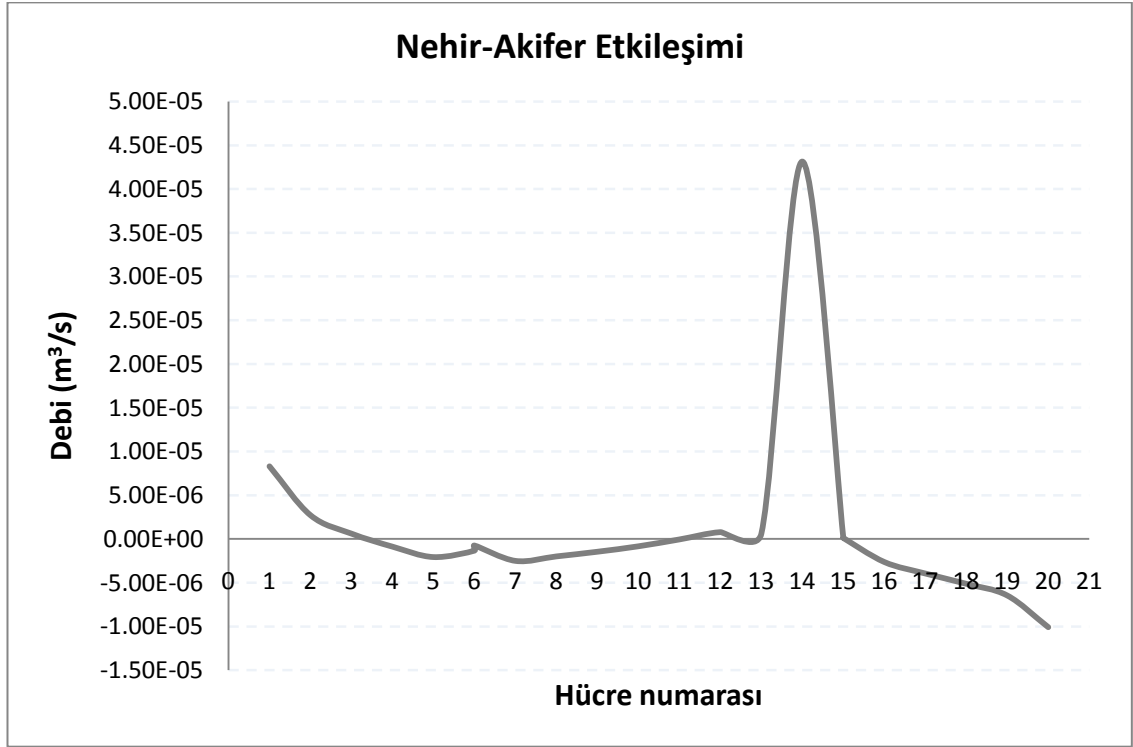


Şekil 5.49. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-3. duruma ait YASS dağılımı ve hız vektörleri

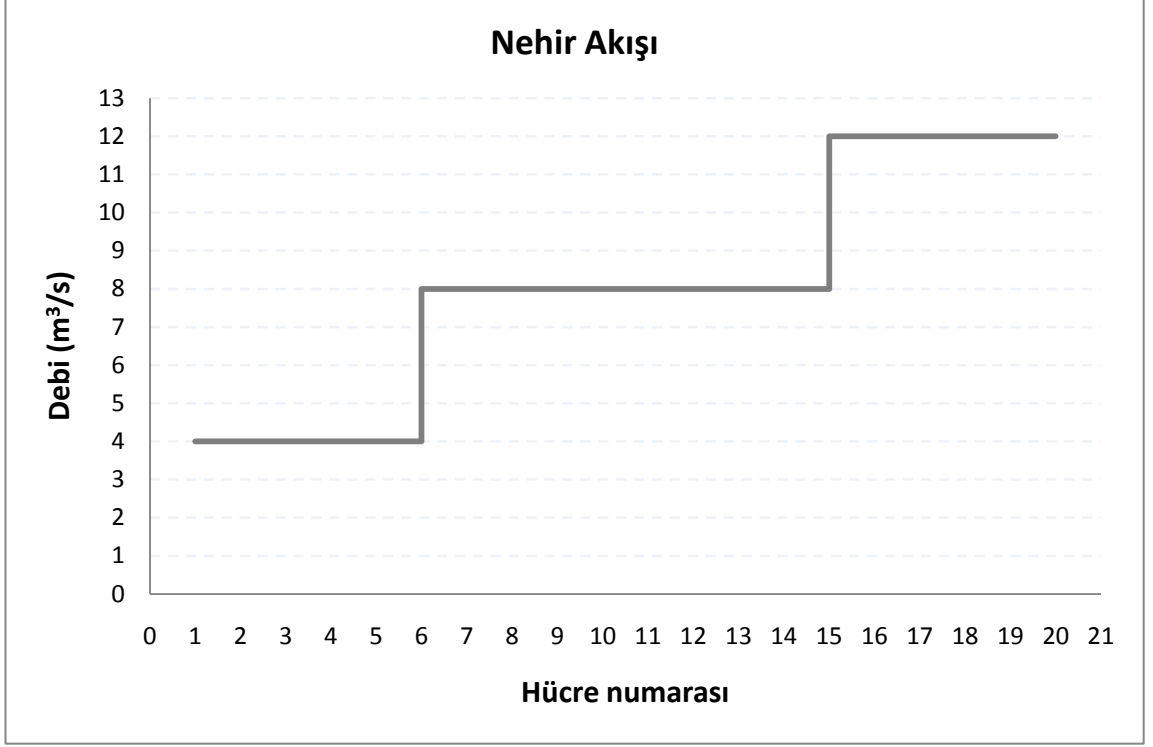
Analiz sonuçları incelendiğinde üçüncü durumda modelde ciddi nehir-akifer etkileşimleri olduğu görülebilmektedir. Etkileşime ait daha net çıktılar Şekil 5.51 ve Şekil 5.52 yardımıyla incelenebilir. Bu durumda ana kolun 1. bileşeni olan 1. segmentte etkileşimler, başlangıç noktasında nehirden akifere oluşmuş, 3. hücreden sonra ise etkileşimin akifere doğru yöneldiği görülmüştür. İlk birleşme noktası olan 6. hücrede akifere doğru olan akımın debisi küçülmüş ve eğrinin karakteri bir miktar değişmiştir. Ana kolun 2. bileşeni olan 4. segmentte akım akifere doğru azalan bir debi ile ilerlemiştir. 12. ve 13. hücrelerde etkileşim yön değiştirerek, 14. hücrede akifere doğru ani bir debi yükselişi göstermiştir. Ardından akım nehre doğru artan bir debi ile ilerlemiştir. Nehirdeki debi ise birleşme noktalarında, yan kollardaki debiler eklenerek, ana kolda akım boyunca etkileşimle uyumlu olarak artıp azalmıştır.



Şekil 5.50. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-3. durum-Akımın 3 boyutlu görünümü



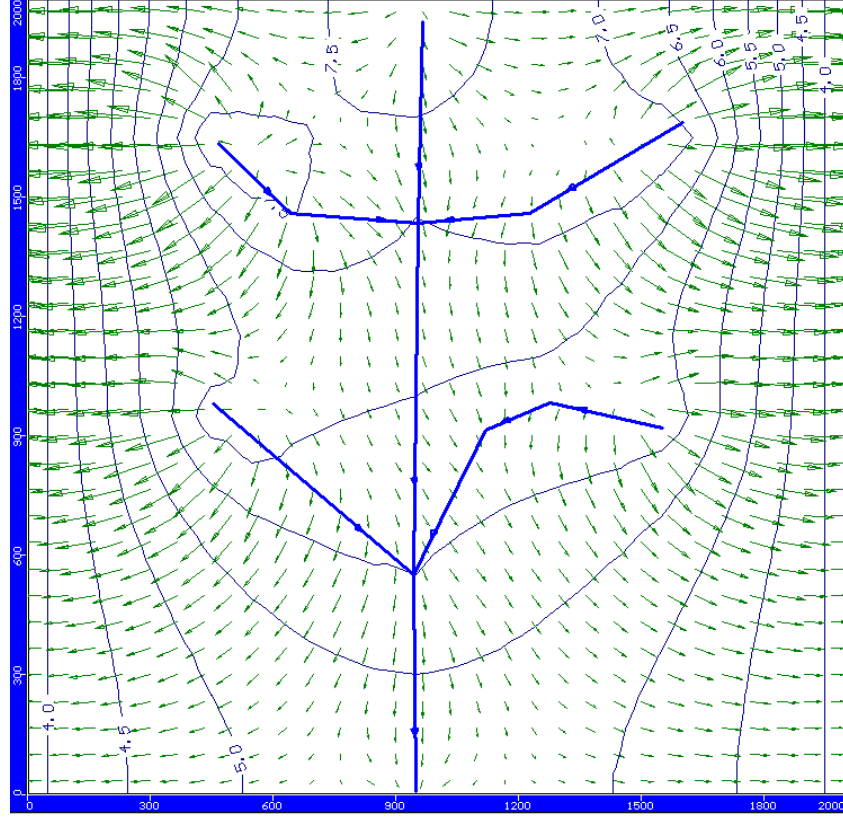
Şekil 5.51. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-3. durum-Nehir-akifer etkileşimi



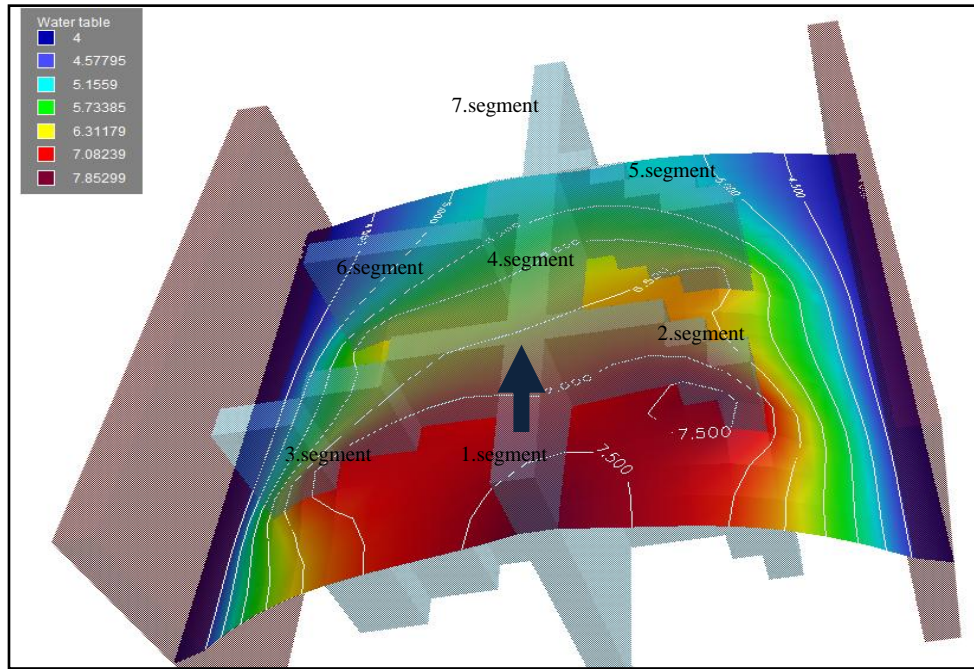
Şekil 5.52. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-3. durum-Nehir akışı

Dördüncü durumda sınır koşulları modelin sağında ve solunda 4 m'lik yeraltı su seviyesi olacak şekilde tanımlanmıştır. Kararlı akım kabulü altında yapılan analiz sonuçlarına göre elde edilen su seviyesi ve hız dağılımları Şekil 5.53'te, akımın 3 boyutlu görüntüsü Şekil 5.54'te görülmektedir. Dördüncü duruma ait su yüksekliği ve hız vektörleri incelendiğinde daha önceki modellere göre daha spesifik sonuçlara ulaşıldığı söylenebilir. Yük farkının fazla olduğu üst bölgelerde akım oldukça hızlı oluşmuştur ve aşağı doğru yük farkı azaldıkça yeraltı suyunun hızı yavaşlamıştır. Nehrin ana kolundaki suyun tamamı akifere doğru yönelmiştir. Sadece çıkış noktasının etrafında küçük bir bölgede nehre doğru yönelim olmuştur. 2. segmentte akım başlangıç bölgesinde akifere doğru olurken, ana kola bağlandığı bölgelerde üst taraftan yan kola doğru da bir akım görülmüştür. 2. segmentin başlangıç bölgesinde 7.5 metrelik ikinci bir eşpotansiyel oluşturmuş, bu durum 2. segment ile ana kol arasında kalan bölgede akımın yönünü değiştirerek hızı sıfıra yakın bir bölge meydana getirmiştir. 3. segmentte de başlangıç bölgesi ve ana kola bağlandığı bölgede aynı fiziki durumlar söz konusudur. 2. ve 3. segmentten akifere akan su 5. ve 6. segmente doğru akarak, nehrin bu kollarına üst bölgeden su girişi olmasına neden olmuştur. Bu kollardean akifere geçen su ise sınır koşuluna doğru yönelmiştir. Nehrin sol tarafında yan kolların su yüksekliği daha fazla olduğundan su nehrin sağ tarafına göre daha hızlı bir akıma sahip olmuştur. Genel

olarak tüm yan kolların hemen üst bölgelerinde akımın oldukça yavaşladığı ve akım yönünün farklılaştığı durgunluk bölgelerinin oluştuğu gözlenmiştir. Bu yorumlar akımın 3 boyutlu görüntüsü ile pekiştirilebilir.

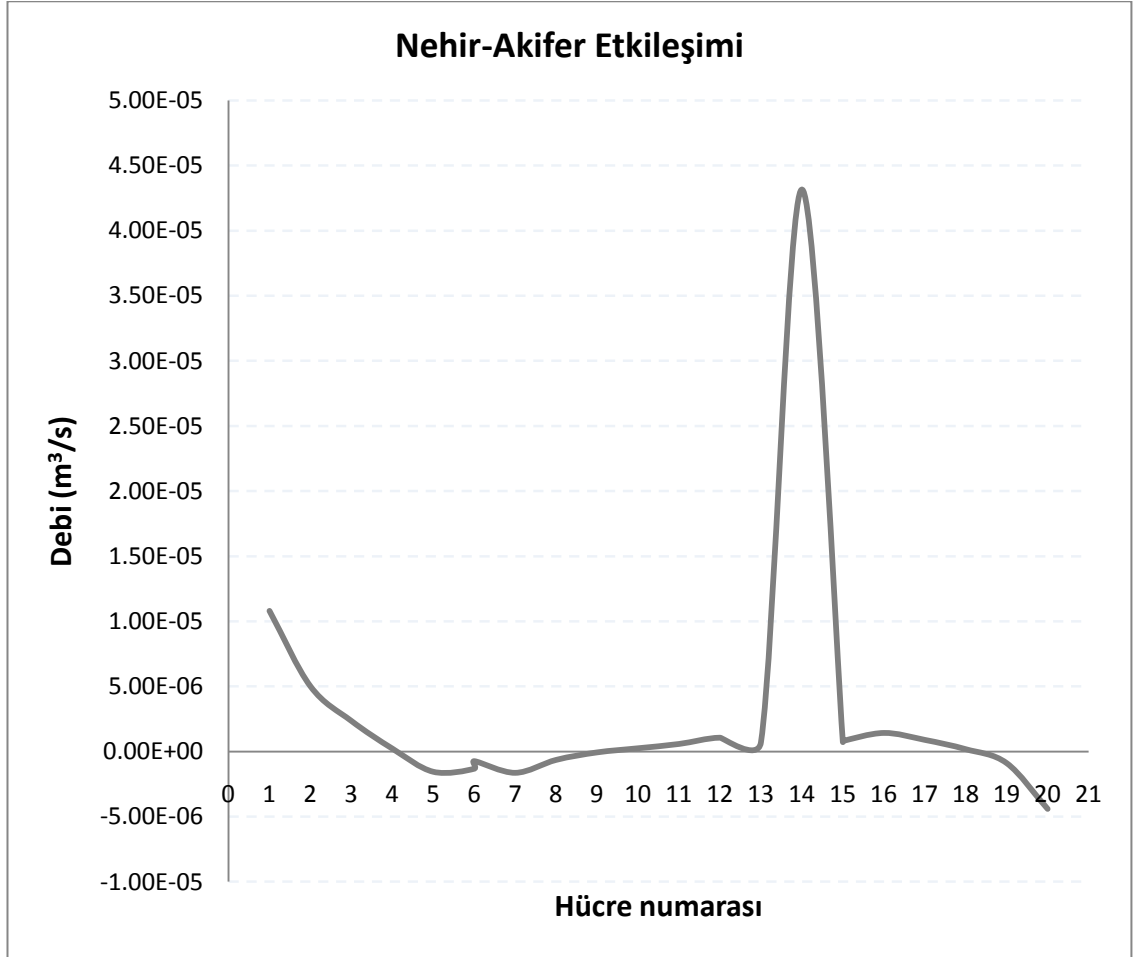


Şekil 5.53. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-4. duruma ait YASS dağılımı ve hız vektörleri

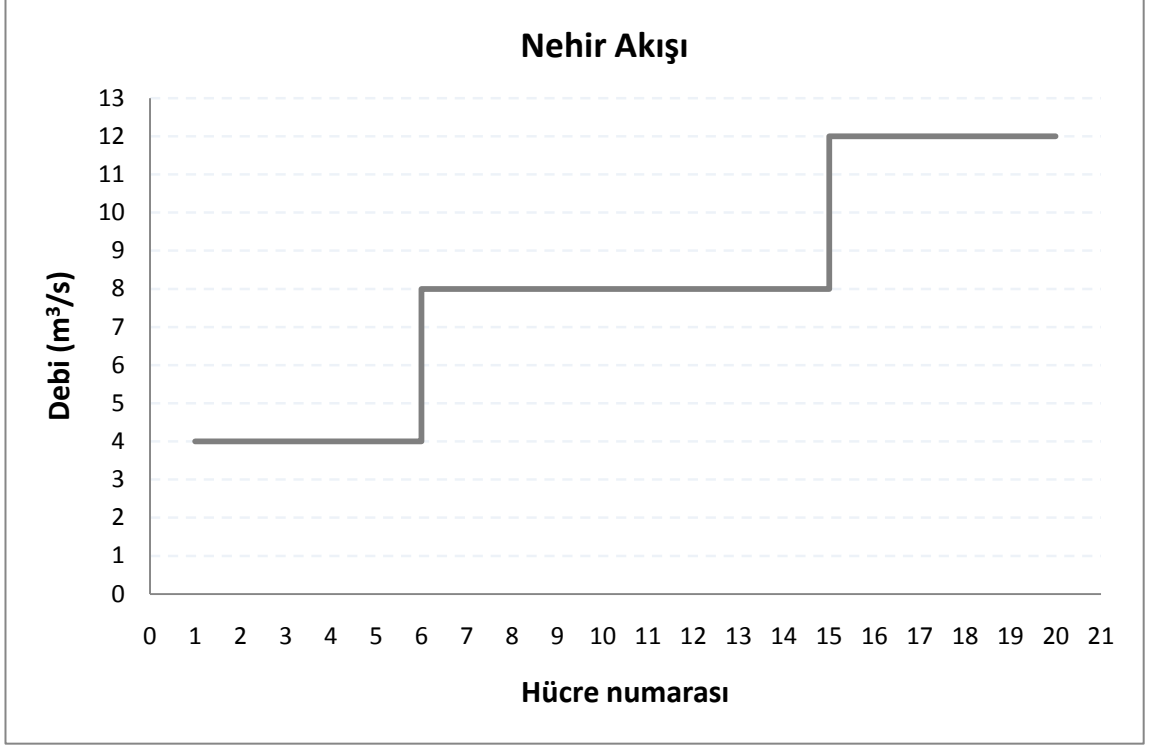


Şekil 5.54. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-4. Durum-Akımın 3 boyutlu görüntüsü

Yorumlardan anlaşılacağı gibi bu modelde de önemli yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerinden bahsedilebilir. Bu etkileşimler Şekil 5.55'te ve Şekil 5.56'da gösterilmiştir. Ana kolun ilk segmentinde debi nehirden akifere doğru akarken, 4. hücreden itibaren yön değiştirerek nehre doğru akmaya başlamıştır. 6. hücrede nehre geçen suyun debisi düşmüş, 9. hücreye kadar azalarak devam etmiştir. 9. hücreden itibaren su akifere doğru akmaya başlamıştır. 12. ve 13. hücrelerde etkileşim debisi ufak değişimler gösterse de 2. birleşme noktası olan 14. noktada ani bir değişim ve yüksek debi ile akifere giriş görülmüştür. Sonrasında 18. hücreye kadar akifere giren su, buradan sonra yön değiştirerek nehre yönelmiştir. Nehirdeki debi değişimi ise etkileşimle uyumlu olarak artıp azalmıştır.

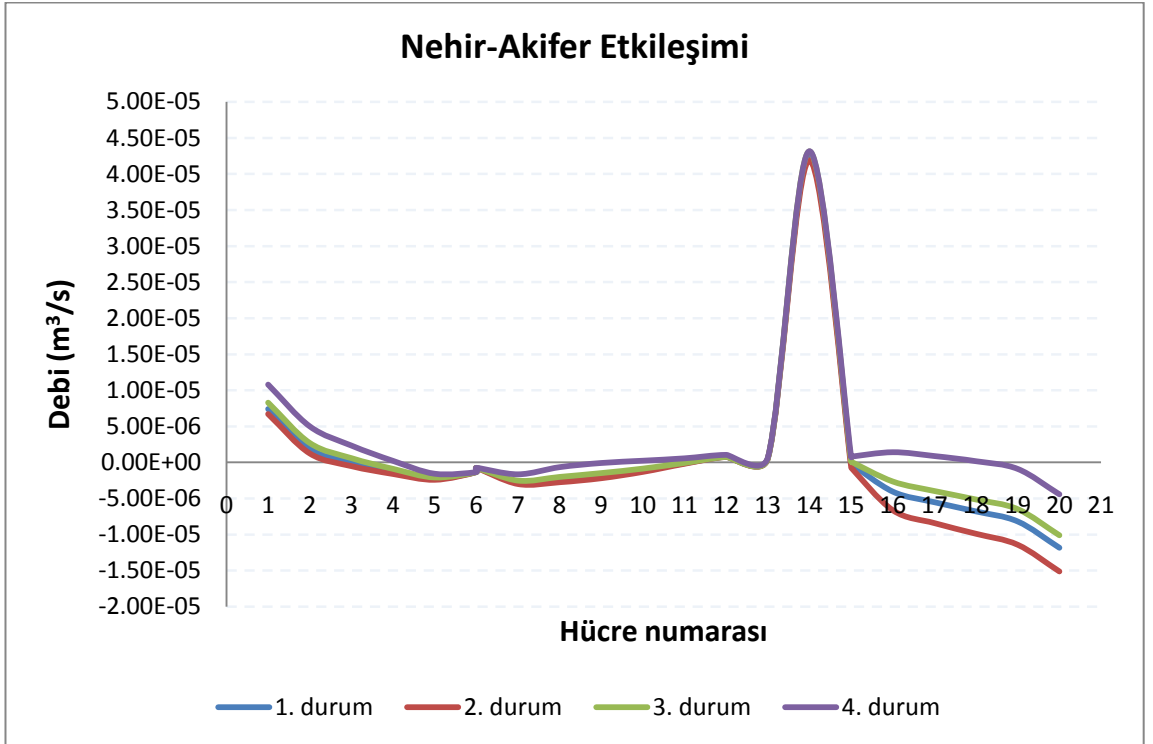


Şekil 5.55. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-4. durum-Nehir-akifer etkileşimi



Şekil 5.56. Siltli akiferde kompleks nehir modeli-4. durum-Nehir akışı

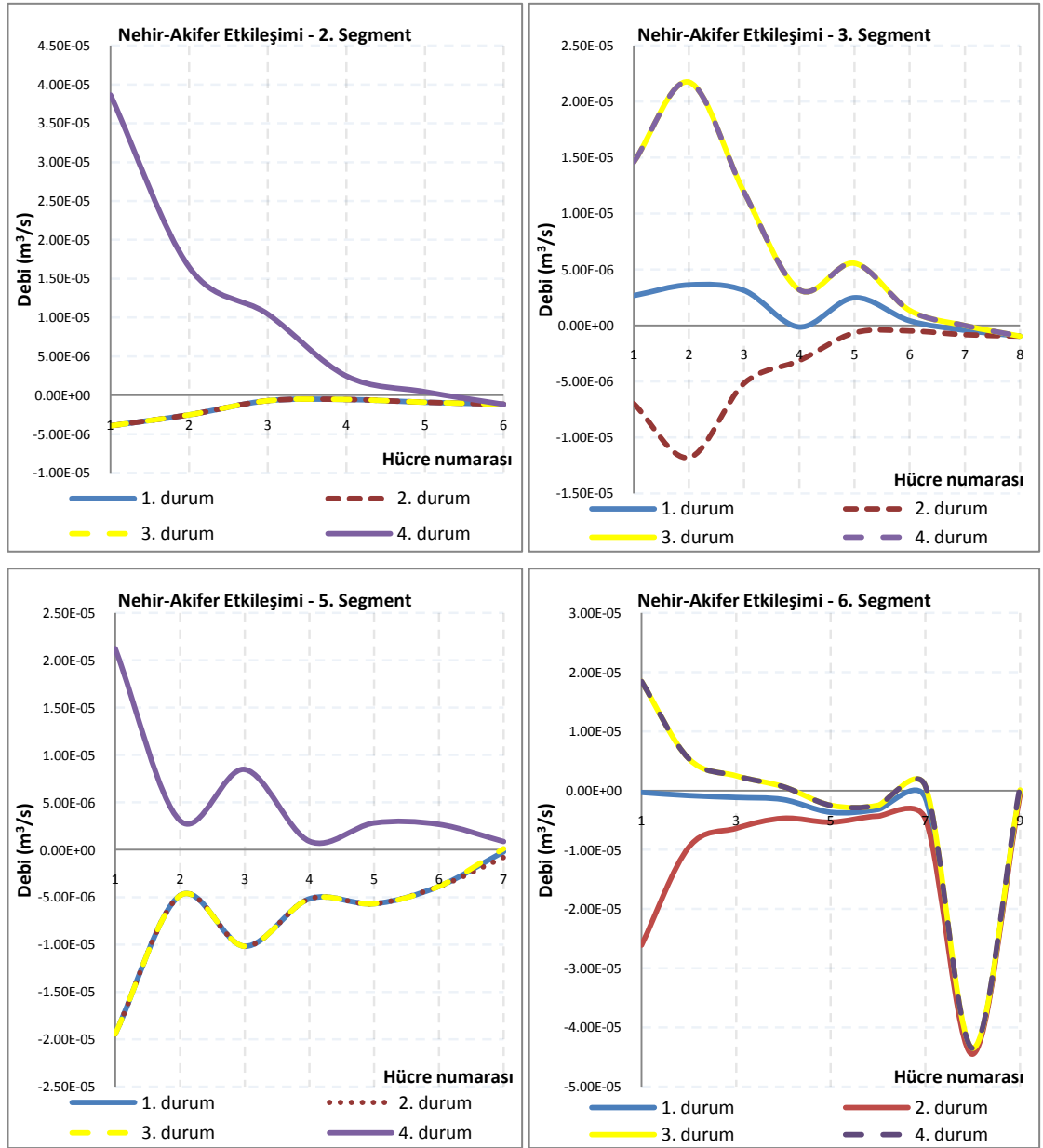
Yük değişiminin kompleks bir nehirde yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerine olan etkileri modellenen 4 farklı durumda incelenmiş ve tüm modellerin sonucu Şekil 5.57'deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 5.57. Dört farklı durum için nehir-akifer etkileşiminin karşılaştırılması

Bu grafikten görüldüğü gibi 4 farklı durum için de çizilmiş olan eğrilerin karakteristiği aynıdır. Başlangıçta etkileşim ile su akifere girerken, daha sonra aynı segment içerisinde yön değiştirmiş ve nehre doğru akmaya başlamıştır. 14. hücrede akifere ani bir katılım olmuş ancak su tekrar nehre yönelmiştir. Nehrin her iki tarafındaki sınır koşulu yükü, nehirdeki hidrolik yükten daha az olduğunda, etkileşimler akifere doğru yönelmiştir ve akifere giren debi en fazla bu durumda gözlenmiştir (4. durum). Nehrin her iki tarafındaki sınır koşulu yükü, nehirdeki yükten yüksek olduğunda akımdaki yönelim daha çok nehre doğru olmuştur (2. durum). Nehrin sağında ve solunda farklı yükler olduğunda ise hangi taraftaki yük farkı daha fazla ise etkileşim o tarafın karakterine göre davranmıştır. 1. ve 3. durumda her iki modelde nehrin solundaki yük 9 m iken, 3. durumda 1. duruma göre akifere daha fazla debi ile, nehre daha az debi ile su katılmıştır. Bunun nedeni 3. durumda sağ taraftaki yük farkının daha fazla olmasıdır. Birleşme noktalarında yani 6. ve 14. hücrelerde eğrilerin karakteri değişmiş ve ani değişimler görülmüştür. 6. hücredeki ani debi değişimi küçük bir miktar olurken, 14. hücrede yüksek bir değişim gözlenmiştir. Bu durum, tüm yan kollardan nehre katılan debi ve yan kolların kesitleri aynı olduğundan, sadece nehre yaklaşan kolun akış hattı ile açıklanabilir. Nehrin üst bölgelerindeki kollar nehre daha büyük bir açı ile bağlanırken, 6. segment diğer segmentlere göre ana kola çok daha dar bir açıyla bağlanmıştır. Daha önce sunulan ve yeraltı suyu dağılımını ve hız vektörlerini gösteren şekiller incelendiğinde de bu bölgede yan kollar ile ana kol arasında geçişler olduğu gözlenmiştir. Yine aynı şekillerde, yan kollardaki etkileşimin de oldukça fazla olduğu ve ana kola gelecek akışı büyük ölçüde etkilediği görülmüştür. Bu nedenle tüm yan kollardaki etkileşimlerin incelenmesi gerekmektedir. Bu etkileşimler Şekil 5.58'de 4 farklı durum için gösterilmiştir. Grafikler her bir yan kolun 4 farklı durumdaki davranışını göstermektedir. 2. segment nehrin sol üst, 3. segment nehrin sağ üst, 5. segment nehrin sol alt ve 6. segment nehrin sağ alt tarafındaki yan kollarıdır. 2. segmentte 1., 2. ve 3. durumlarda etkileşim akiferden nehre doğru yaklaşık olarak aynı debi ile ilerlerken, 4. durumda büyük bir etkileşim debisi ile önce nehirden akifere, bağlantı noktasına doğru akifere giren debi azalarak son hücrede akiferden nehre doğru yönelmiştir. 2. segmentteki hidrolik yük 8 m'den 7 m'ye lineer olarak değişmektedir. 1., 2. ve 3. durumlarda 2. segmentin olduğu taraftaki sabit yük 9 m, 4. durumda sabit yük 4 m olduğundan etkileşim bu şekilde davranmıştır. Sisteme tanımlanan yüklerle nehirdeki hidrolik yük arasındaki fark 1., 2. ve 3. durumlarda 1 m iken, 4. durumda fark

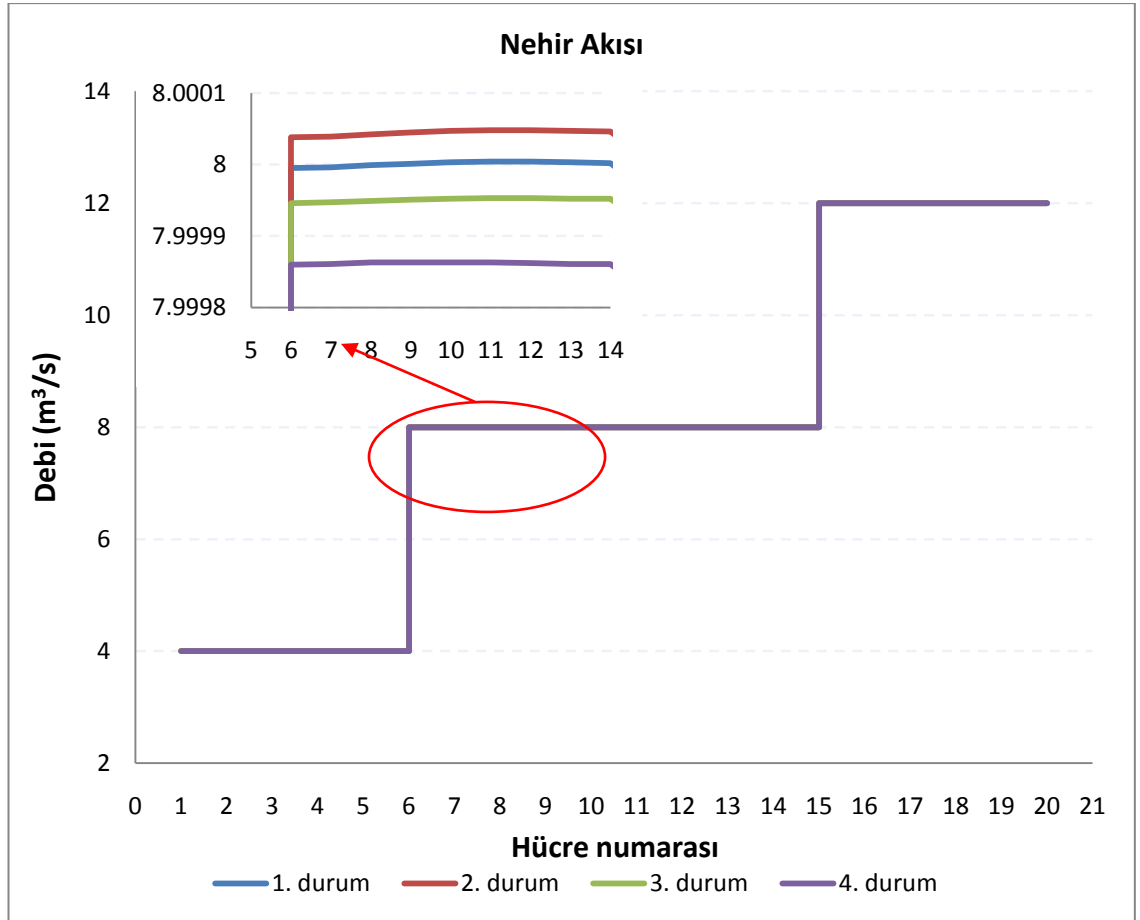
4 m'dir ve etkileşim debisi bu fark arttıkça artmıştır. Ana kola bağlantı noktasında da etkileşim debisi oldukça düşmektedir. 3. segmentte 1., 3. ve 4. durumlarda etkileşim önce nehirden akifere, son hücreye doğru etkileşim debisi azalarak akiferden nehre doğru oluşmuş; 2. durumda akiferden nehre doğru bir akış gözlenmiştir. 2. durumda yan kolun bulunduğu taraftaki hidrolik yük, yan koldaki hidrolik yükten daha fazla (9 m) olduğundan nehre doğru bir akış olmuştur. 1. durumda yan kolun bulunduğu tarafta sabit su seviyesi tanımlanmamıştır. Burada yeraltı suyu ana kolun diğer tarafında tanımlanan 9 m'lik sabit yük ve nehirden gelen akış ile beslenmektedir. Bu nedenle burada akifere doğru bir akış oluşmuştur. 3. ve 4. durumlarda ise yan kolun bulunduğu



Şekil 5.58. Dört farklı durum için yan kollardaki nehir-akifer etkileşimi

tarafta yük 4 m, nehirdeki yük ise 7.5 m olduğundan akım düşük enerjiye doğru ilerlemiş ve akifere büyük bir etkileşim debisi ile geçiş olmuştur. Hidrolik yük farkı her iki durum için aynı olduğundan etkileşim debisi de yaklaşık olarak aynı olmuştur. 1. durumda hidrolik yük olarak yeraltı su seviyesi etken olduğundan ve nehirdeki yük ile farkı 4 m'den küçük olduğundan, 3. ve 4. durumlardakinden daha küçük bir geçiş debisi gözlenmiştir. 5. segmentteki davranış ile 2. segmentteki davranış temeli aynıdır. 1., 2. ve 3. durumlarda 5. segmentin olduğu taraftaki sabit yük 9 m, 4. durumda sabit yük 4 m olduğundan, 1., 2. ve 3. durumlarda akiferden nehre, 4. durumda nehirden akifere geçiş olmuştur. 3. segmentte yükün 6.8 m olması nedeniyle, 1.,2. ve 3. durumlarda sabit yük ve nehir arasındaki yük farkı artmış (9 m'den 6.8 m'ye yönelen akım var), bunun neticesi olarak nehre geçen suyun etkileşim debisi de 2. segmente göre artmıştır. 4. durumda ise fark azaldığından (6.8 m'den 4 m'ye yönelen akım var), etkileşim debisi azalmıştır. Bağlantı noktalarında etkileşim debisi düşmüş ancak yön değiştirmemiştir. 1. ve 2. durumda akiferden nehre doğru bir akım oluşmuştur. 2. durumda yan kolun bulunduğu tarafta yük 9 m, nehirdeki yük ise 6.5 m olduğundan ve 3. segmente göre daha yüksek bir yük farkı olduğundan etkileşim debisi de daha büyük olmuştur. 1. durumda ise yan kolun etrafındaki yeraltı suyu yüksekliği nehirdekinden daha yüksekte olduğundan akım nehre doğru yönelmiş, yük farkı az olduğundan etkileşim debisi oldukça küçük olmuştur. Her iki durumda da son hücrede nehre doğru ani bir debi yükselişi olmuştur. 3. ve 4. durumda yan kolun bulunduğu taraftaki sabit sınır koşulu yükü 4 m'dir ve yan kolun bir noktasına kadar nehirden akifere geçiş varken, orta kısımlardan itibaren akiferden nehre geçiş olmuştur. Burada nehrin başlangıç kısımlarındaki akım 4 m'lik sabit yükün etkisinde davranmış, orta kısımlarındaki akım ise 6 m'lik yüke sahip bağlantı noktasına yönelmiştir. Her iki durumda da bağlantı hücresinde yan kola doğru ani yükselen bir etkileşim debisi görülmüştür. Sonuçlar irdelendiğinde tüm modellerde nehirden akifere veya akiferden nehre doğru gelişen akım, hidrolik yükün etkisinde oluşmuş, hidrolik yük farkı arttıkça akım daha çok etkilenmiştir. Buna bağlı olarak yeraltı suyu akımı modellenirken yükü sabit olan her bir noktanın etki mesafesine sahip olduğu gözlenmiştir. Yeraltı suyu dağılımı ve hız vektörlerini gösteren şekillerde bu etki daha net anlaşılabilir. Yük farkı arttıkça etki mesafesi de artmakta ve dairesel bir bölgeye yayılmaktadır. Kompleks nehir modelinde tüm durumlarda 14. hücrede ani bir etkileşim gerçekleşmiştir. Ana kolda akifere doğru ani bir akım oluşurken, 6. segmentte nehre doğru aynı debi ile ani bir giriş

gözlenmiştir. Bunun nedeni ise 6. segmentin akış hattının bağlantı noktasına doğru ana kola oldukça dar bir açıyla yaklaşmasıdır. Bu yaklaşımda su seviyesi daha az olan yan kolun taşıdığı hidrolik yükün etki mesafesi, ana koldaki akımı içerisine almıştır. Bu nedenle ana koldaki akım düşük yüke yönelmiş, akifere çıkan su, yan kola girmiştir. Ayrıca yan kollardaki etkileşim incelendiğinde kıvrımlı hatta sahip olan yan kollarda etkileşimin değişken bir karakter gösterdiği söylenebilir. Bu durum daha açık olarak nehrin akış karakterinin yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerine olan etkileri incelenirken irdelenecektir. Şekil 5.59'da 4 farklı durum için nehirde gözlenen akış görülmektedir. Nehirdeki akış, etkileşimle uyumlu olarak değişim göstermiştir. Nehre en çok su girişi gözlenen 2. durumda nehirdeki debi en yüksek değerinde iken, akifere en çok su girişi olan 4. durumda nehirdeki debi en düşük değerindedir. 1. durumda sadece 9 m'lik bir sabit yük altında akiferi besleyen su etkileşimlerle nehre geçerek nehrin debisini artırırken, 3. durumda aynı 9 m'lik yüke sahip olmasına rağmen, diğer tarafta sahip olduğu 4 m'lik yük, nehirden su kaybına neden olmuştur. bu nedenle 1. durumda 3. durumdakinden daha yüksek bir debi gözlenmiştir.



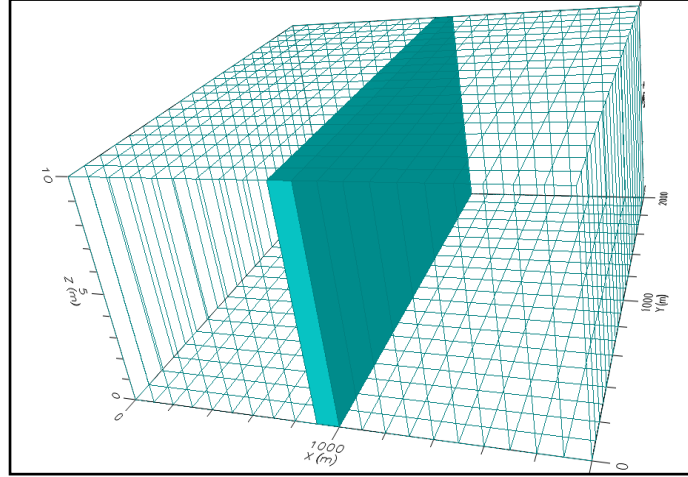
Şekil 5.59. Dört farklı durum için nehir akışı

5.1.3. Nehir Yatağındaki Eğimin Yüzey Suyu-Yeraltı Suyu Etkileşimlerine Etkisi

Akımın oluştuğu yüzeyin eğimi, akımın hızını, debisini ve su yüksekliğini direkt olarak etkilemekte, akım karakterini değiştirebilmektedir. Ayrıca eğimin sızma üzerinde önemli bir etkisinin olduğu da bilinmektedir (Boyras, 2008). Bu durumda nehir yatağındaki eğim, akışı, nehir tabanındaki su geçişini ve nehir ile akifer arasındaki su alış verişini yani yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerini etkileyecektir. Bu etkiyi gözlemek üzere çalışmanın bu bölümünde eğim dikkate alınarak parametrik analizler yapılmıştır. Kullanılan modeller siltli basit akifer modelinden türetilmiştir. Analizlerde tek segmentli, düz akış hattına sahip basit bir nehir kullanılmıştır. Nehirde bir önceki modellerden farklı olarak, su seviyesi girilmemiş; bunun yerine nehir yatağının eğimi ve pürüzlülük katsayısı parametreleri tanımlanmıştır. Başlangıç noktasında $4 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik bir debi değeri girilmiştir. Bu veriler kullanılarak, nehirdeki su seviyesi program tarafından hesaplanacaktır. Modelde sabit sınır koşulu tanımlanmamıştır ve tüm akiferde başlangıç su yüksekliği 5 m olarak girilmiştir. Eğimin parametrik analizini yapmak üzere 3 farklı model kurulmuştur. Birinci model düşük eğimli nehir yatağını, ikinci model orta derece eğimli nehir yatağını, üçüncü model ise yüksek eğimli bir nehir yatağını temsil etmektedir. 3 modelde birbirinin aynısı olup, tek değişken parametre nehir yatağının eğimidir. Her modelde nehre tanımlanan özellikler Tablo 5.4'te sunulmuştur. Model ise Şekil 5.60'ta 3 boyutlu olarak görülebilmektedir.

Tablo 5.4. Nehir özellikleri

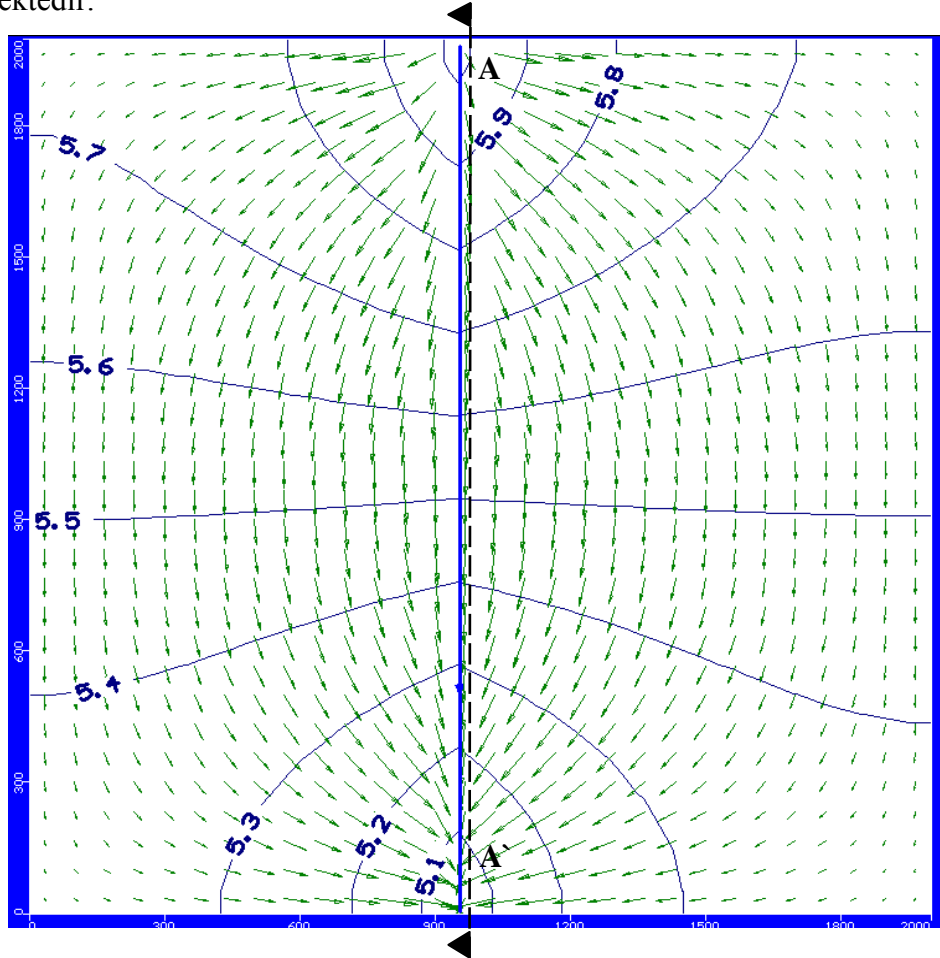
<i>Nehir Modeli</i>	<i>Nehir Yatağı Özellikleri</i>					
	<i>Nehir yatağının başlangıç kotu (m)</i>	<i>Nehir yatağının bitiş kotu (m)</i>	<i>Genişlik (m)</i>	<i>Nehir yatağı sürtünme katsayısı</i>	<i>Debi (m^3/s)</i>	<i>Hidrolik İletkenlik (cm/s)</i>
1. model	5	4	10	0.06	4	1.83×10^{-4}
2. model	6	4	10	0.06	4	1.83×10^{-4}
3. model	8	4	10	0.06	4	1.83×10^{-4}



Şekil 5.60. Parametrik analiz modeli

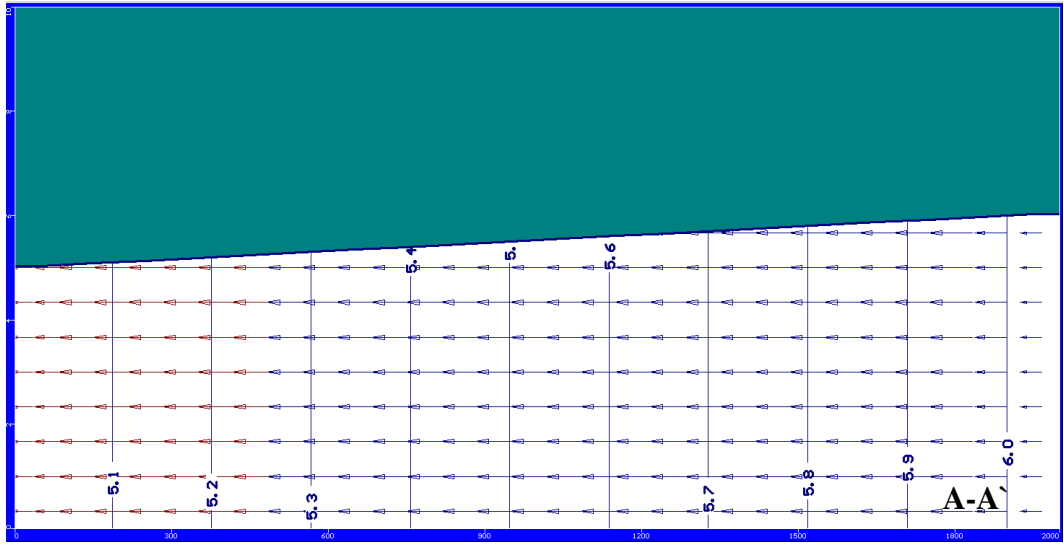
5.1.3.1. Düşük Eğimli Nehir Yatağı Modeli

Bu modelde nehir yatağının başlangıç kotu 5 m, bitiş kotu ise 4 m olarak tanımlanmıştır. Eğim ise 0.0005 değerindedir. Kararlı akım kabulü altında çalışan modelde yeraltı suyu akımı ve hız vektörleri Şekil 5.61’de, akım sonucu nehirdeki su seviyeleri 5.62’de görülmektedir.



Şekil 5.61. Düşük eğimli nehir yatağı modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri

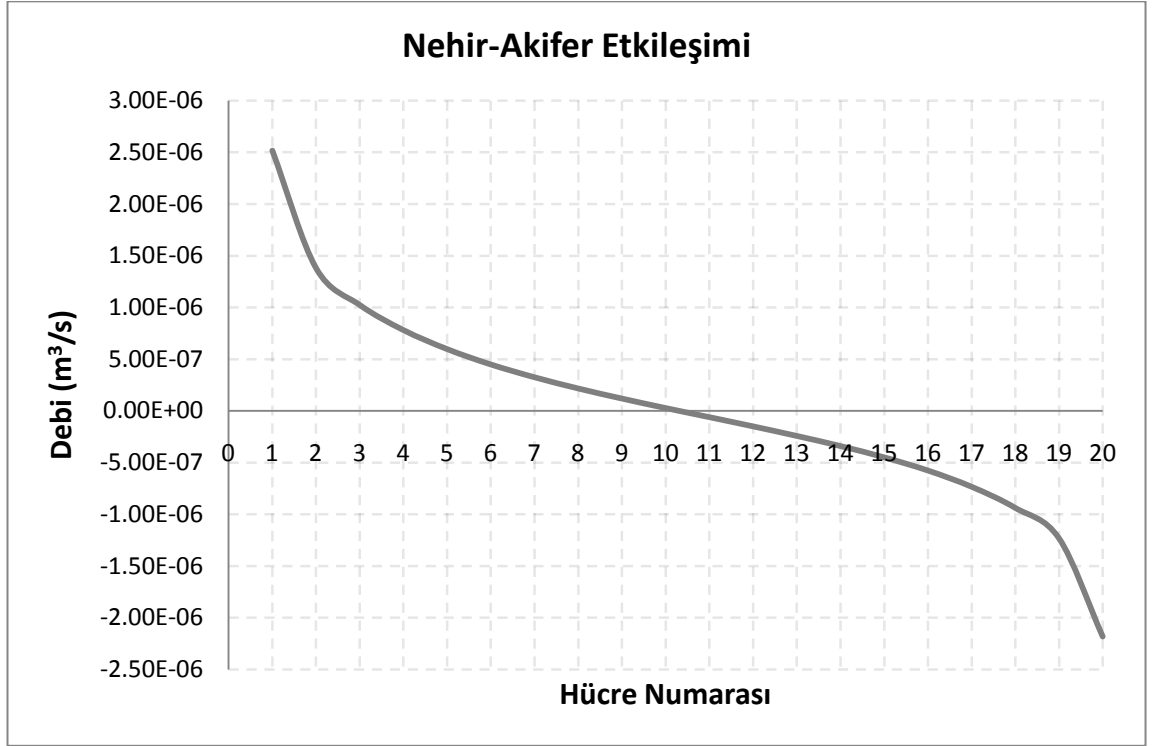
Şekil 5.61'deki yeraltı suyu dağılımı incelendiğinde, üst bölgelerde nehirden akifere doğru bir akım olduğu hız vektörlerine bakılarak anlaşılmaktadır. Akiferde sabit bir sınır koşulu tanımlanmadığından nehirden gelen su tüm akifere yayılarak çıkış noktasına doğru ilerlemiştir. Çıkış noktasına yakın bölgelerde akış akiferden nehre doğru gerçekleşmiştir. Şekil 5.62'de görülen kesit ise tam nehir hizasından alınmıştır ve nehir boyunca su yüksekliğinin değişimini göstermektedir. Nehrin başlangıcında su yüksekliği yaklaşık 1 m iken, nehrin çıkış noktasında da yaklaşık olarak 1 m değerini almıştır.



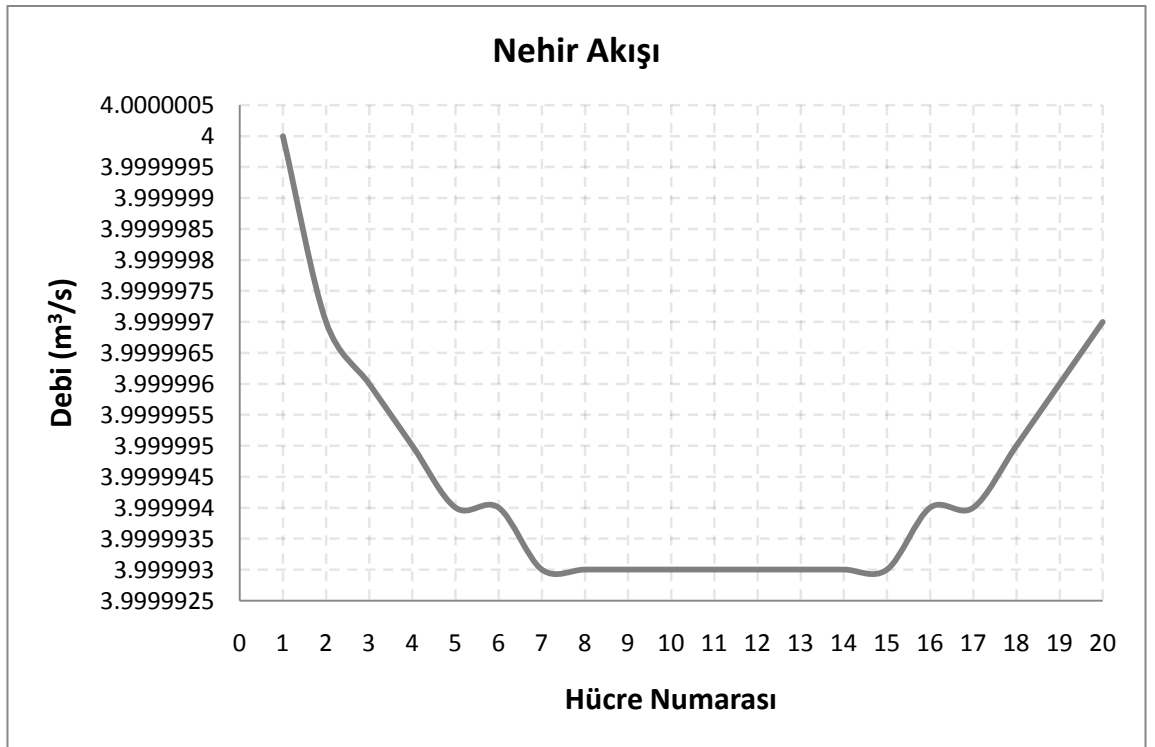
Şekil 5.62. Düşük eğimli nehir yatağı modelinde nehrin boy kesit görüntüsü

Nehirdeki akım sonucu oluşan etkileşimler ise Şekil 5.63 ve Şekil 5.64'teki grafiklerden incelenebilir. Yukarıda hız vektörleri ile incelenen akış, Şekil 5.63'te grafiksel olarak sunulmuştur. Nehrin üst bölgelerinde maksimum $2.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ mertebesinde, akifere doğru bir akım oluşmuştur. Nehrin 10. hücresinden sonra akış yön değiştirmiş ve akiferden nehre doğru akmaya başlamıştır. Eğrinin karakteri incelendiğinde ise nehrin başlangıç ve bitiş noktalarında, etkileşim eğrisinin eğiminin ani olarak arttığı görülmektedir. Bu noktalarda debi daha hızlı yükselmiştir. Ancak nehrin orta kısımlarında daha düzenli olarak seyretmiştir. Şekil 5.64'teki grafik, etkileşimleri de hesaba katarak nehrde yere bağlı olarak su debisinin değişimini göstermektedir. Bu grafik etkileşim grafiği ile doğrudan ilişkilidir. Etkileşim grafiğindeki debi değerleri pozitif olduğunda yani nehirden akifere su geçişi olduğunda nehrin debisi azalmış, etkileşim grafiğinde debi negatif değere sahip olduğunda akiferden nehre su geçişi olmuş ve nehirdeki debi yükselmiştir. Etkileşim debisi sıfıra yaklaştıkça 8. ve 14.

hücreler arasında nehirdeki debinin yaklaşık sabit bir değerde kaldığı görülmüştür. Genel olarak nehirdeki debi $4 \text{ m}^3/\text{s}$ değerinden uzaklaşmamıştır.



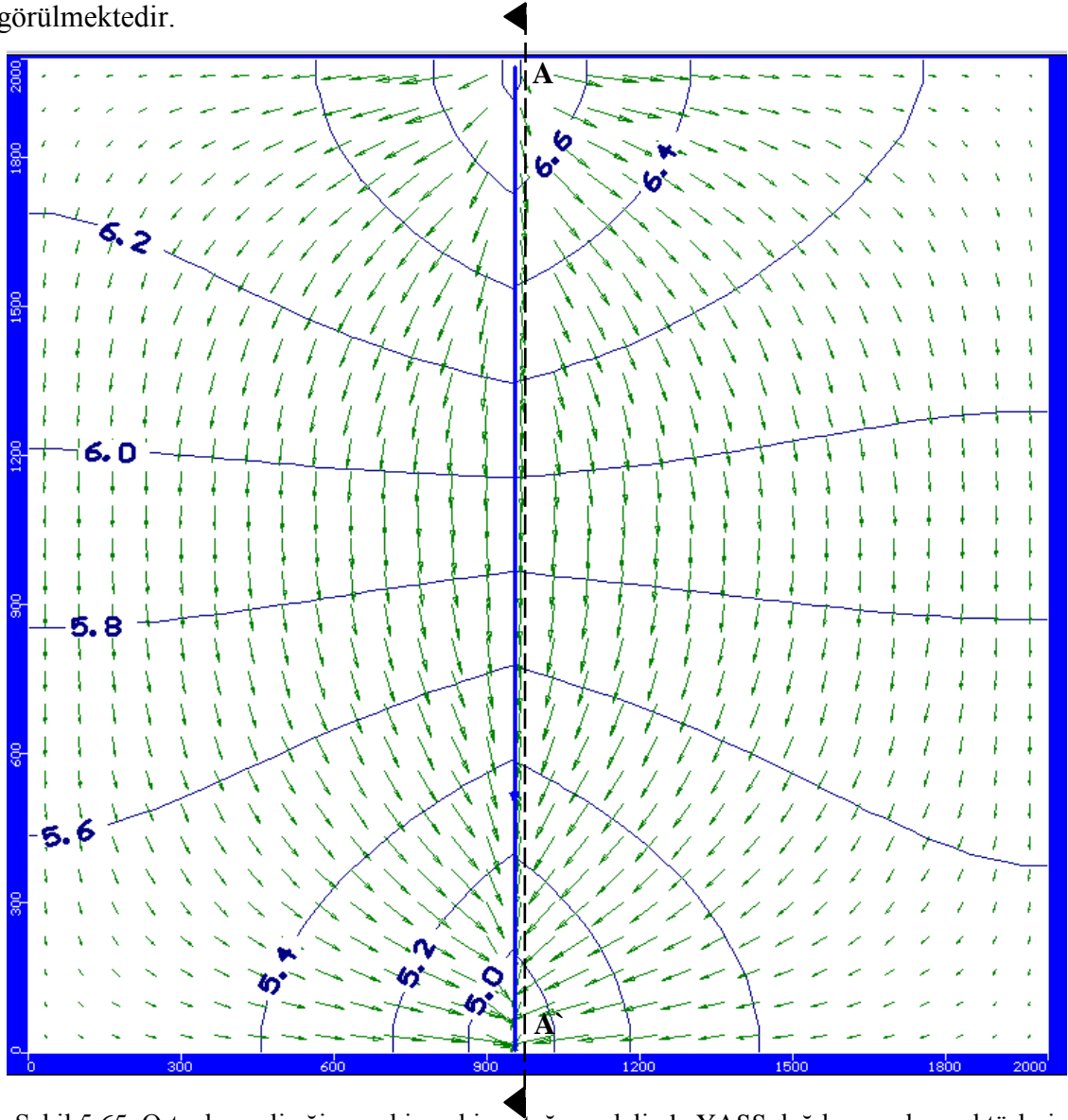
Şekil 5.63. Düşük eğimli nehir yatağı modelinde nehir-akifer etkileşimi



Şekil 5.64. Düşük eğimli nehir yatağı modelinde nehir akışı

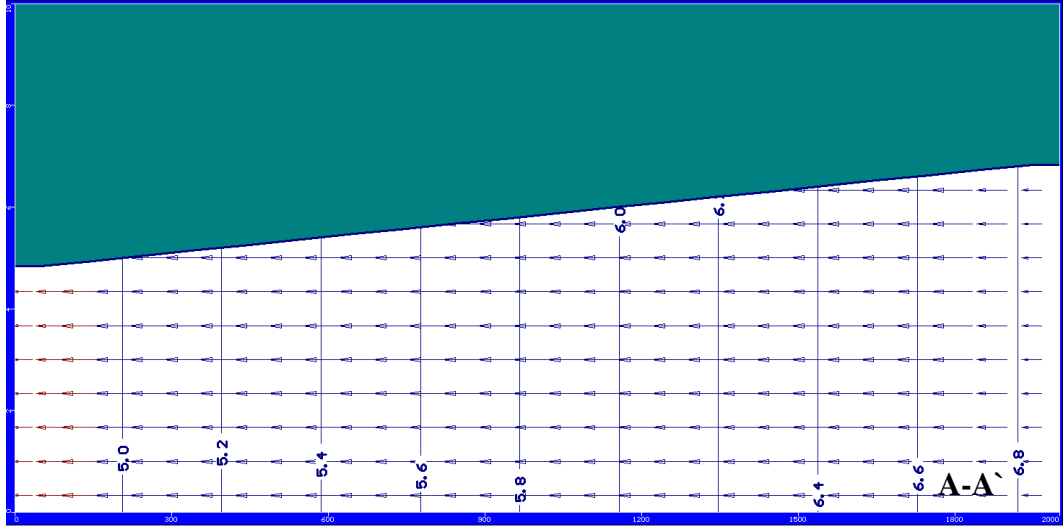
5.1.3.2. Orta Derecede Eğimli Nehir Yatağı Modeli

Bu modelde nehir yatağının başlangıç kotu 6 m, bitiş kotu ise 4 m olarak tanımlanmıştır. Eğim ise 0.0011 değerindedir. Kararlı akım kabulü altında çalışan modelde yeraltı suyu akımı ve hız vektörleri Şekil 5.65'te, akım sonucu nehirdeki su seviyeleri Şekil 5.66'da görülmektedir.



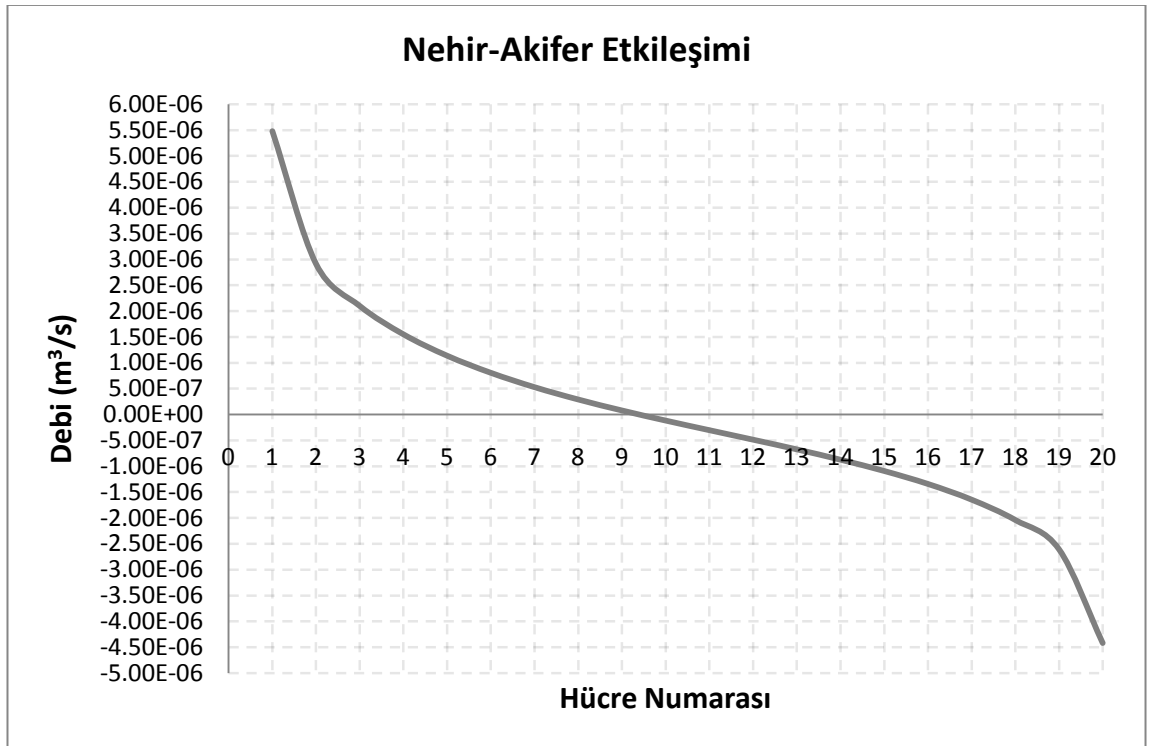
Şekil 5.65. Orta dereceli eğime sahip nehir yatağı modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri

Şekil 5.65 incelendiğinde akım karakterinin düşük eğimli nehir yatağı modeli ile aynı olduğu görülmektedir. Hızdaki muhtemel artış ise vektörler yardımıyla net bir şekilde görülememektedir. Bu nedenle etkileşim debisi ve nehirdeki debi değerleri incelenerek analiz sonuçları yorumlanabilir. Şekil 5.66'daki nehir kesitinde su yüksekliğinin düşük eğim modeline göre azaldığı görülmüştür. Başlangıçta ve bitiş noktasında su yüksekliği yaklaşık 0.83 m civarındadır. Bir önceki modele göre, aynı debi değeri ile su yüksekliğinin azalması, akımın hızının arttığını doğrulamaktadır.



Şekil 5.66. Orta dereceli eğime sahip nehir modelinde nehrin boy kesiti

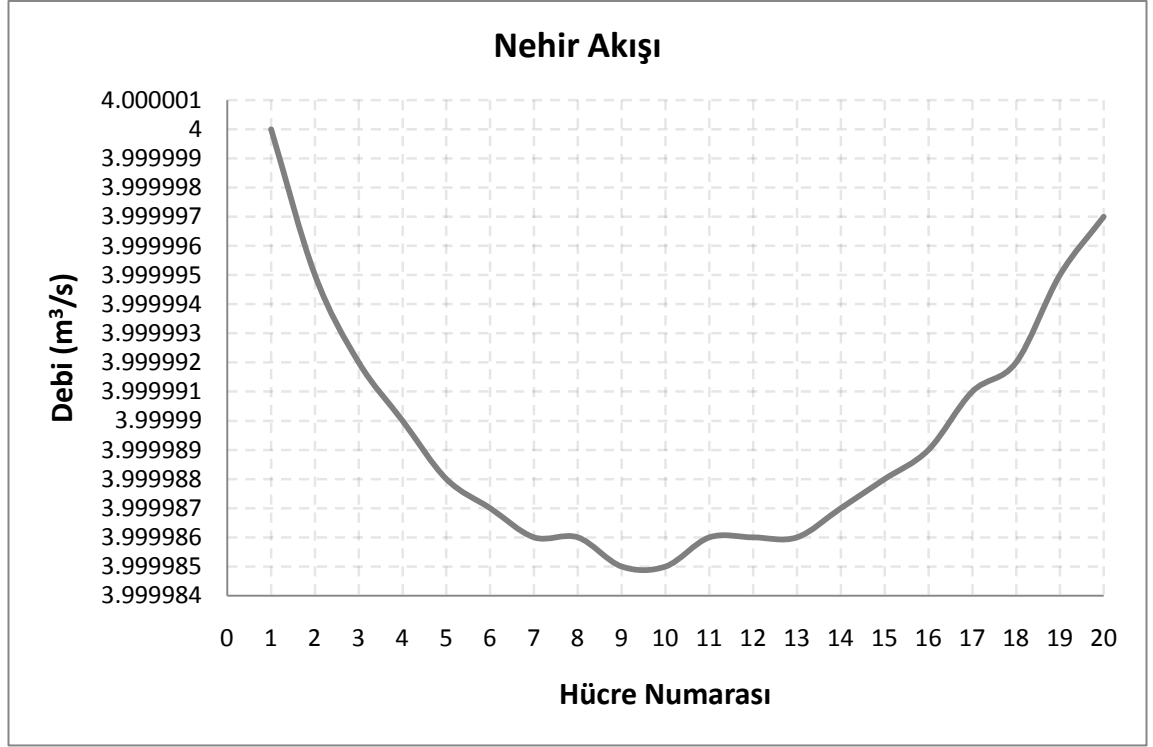
Eğimin değişmesi nedeniyle hızın ve kesit alanının değişmesi bu formasyondaki etkileşimleri de etkileyecektir. Bu etkileşimler ise Şekil 5.67'deki ve Şekil 5.68'deki grafiklerden takip edilebilir.



Şekil 5.67. Orta dereceli eğime sahip nehir modelinde nehir-akifer etkileşimi

Şekil 5.67 nehir boyunca akifer ile nehir arasındaki su alışverişini göstermektedir. Burada bir önceki modelde gözlenen akım ile benzer bir karakterde akım oluşması, etkileşimlerinde benzer karakterde olmasına neden olmuştur. Nehrin başlangıç

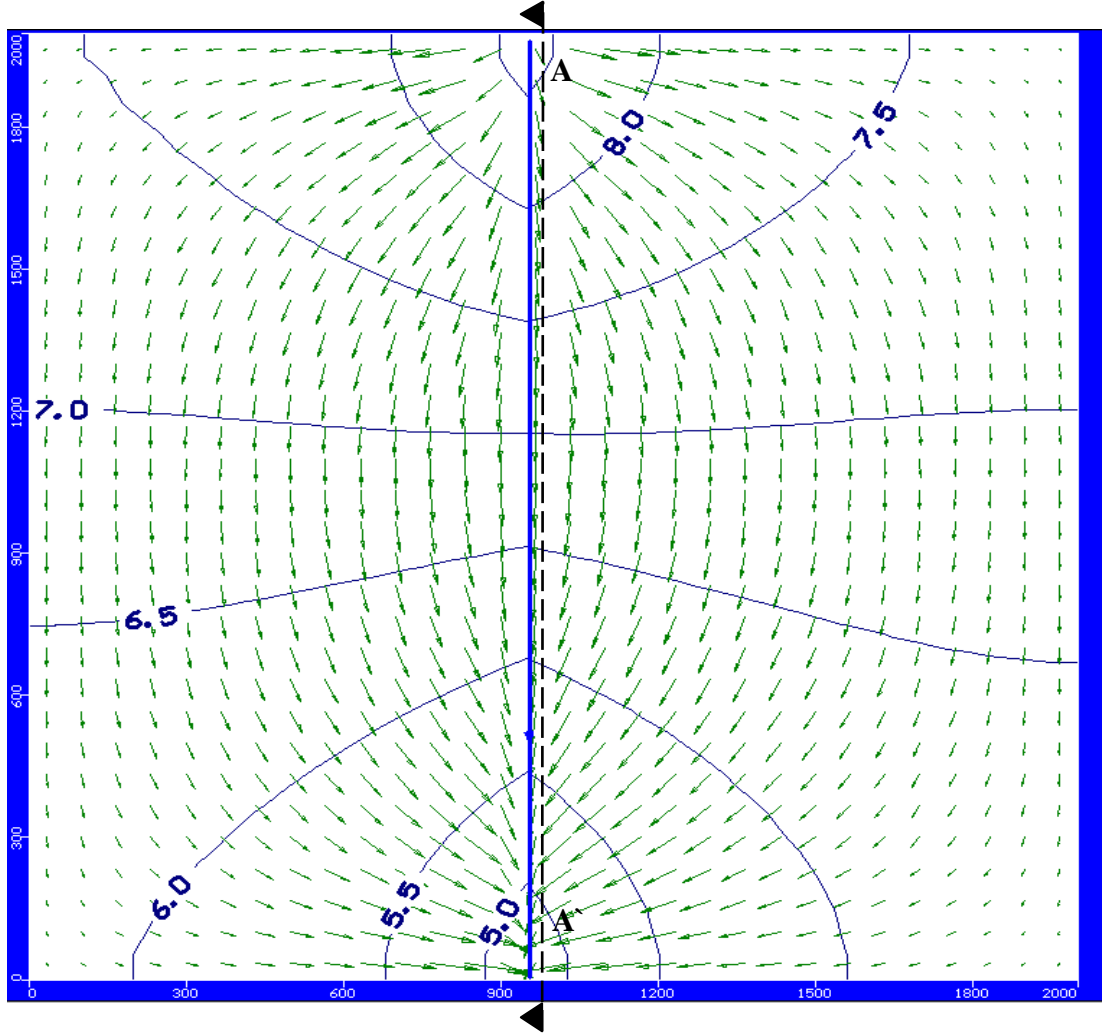
noktalarında akifere su girişi varken, nehrin sonlarına doğru bu değer azalarak nehre doğru su girişi olmasına neden olmuştur. Şekil 5.68’de gözlenebilen nehirdeki debi değişimi etkileşim grafiği ile uyumlu olarak değişmiştir. Nehrin 9. hücresine kadar nehirdeki debi azalmış, daha sonrasında nehre su girişi olması ile beraber, nehirdeki debi artmıştır.



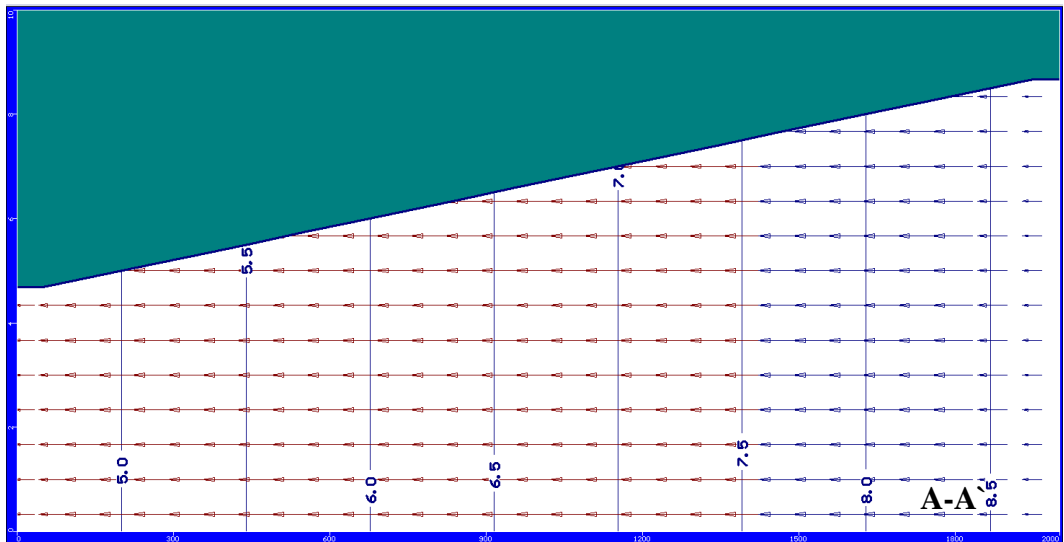
Şekil 5.68. Orta dereceli eğime sahip nehir modelinde nehir akışı

5.1.3.3. Yüksek Eğimli Nehir Yatağı Modeli

Bu modelde nehir yatağının başlangıç kotu 8 m, bitiş kotu ise 4 m olarak tanımlanmıştır. Eğim ise 0.002 değerindedir. Kararlı akım kabulü altında çalışan modelde yeraltı suyu akımı ve hız vektörleri Şekil 5.69’da, akım sonucu nehirdeki su seviyeleri 5.70’te görülmektedir. Şekil 5.69 incelendiğinde yeraltı suyu akım karakterinin önceki modellerle aynı olduğu söylenebilir. Nehir boyunca akiferden nehre ve nehirden akifere su geçişi olmuştur. Şekil 5.70’teki nehir kesiti incelendiğinde ise nehirdeki su yüksekliğinin başlangıç ve bitiş noktalarında 0.6 m civarında olduğu söylenebilir. Akım kararlı akıma yakın bir seyirdedir. Önceki modellere göre; aynı debi değeri ile su yüksekliğinin azalması, hızın biraz daha arttığını göstermektedir.



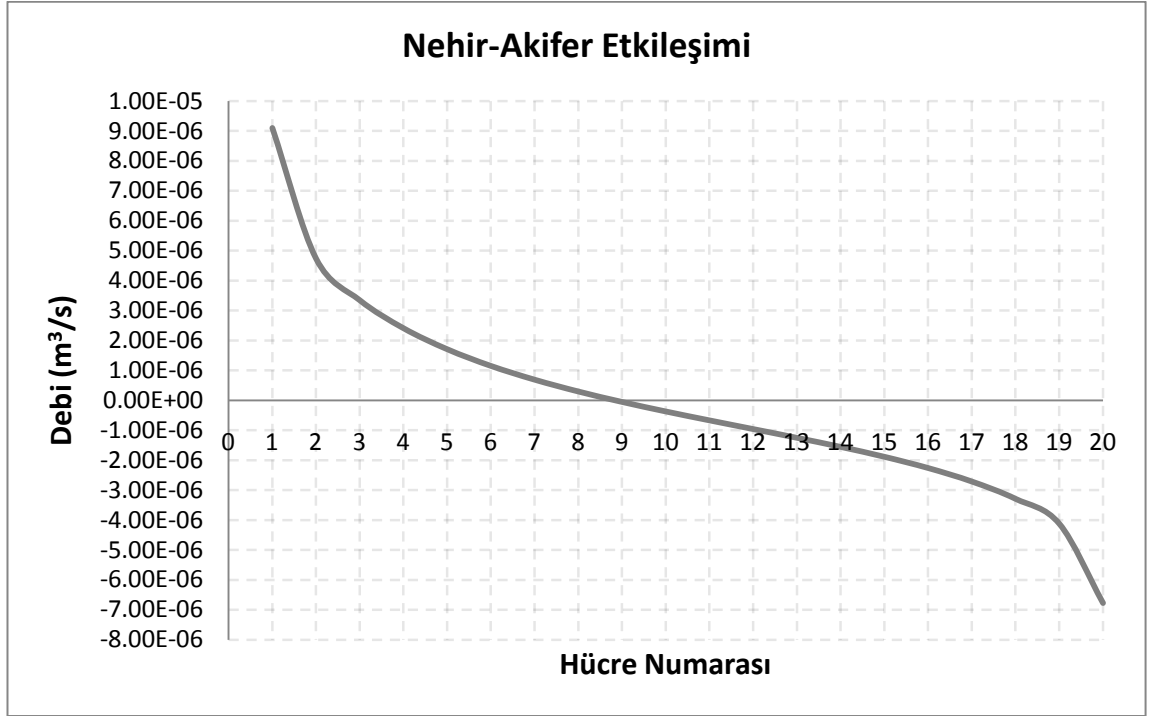
Şekil 5.69. Yüksek eğime sahip nehir yatağı modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri



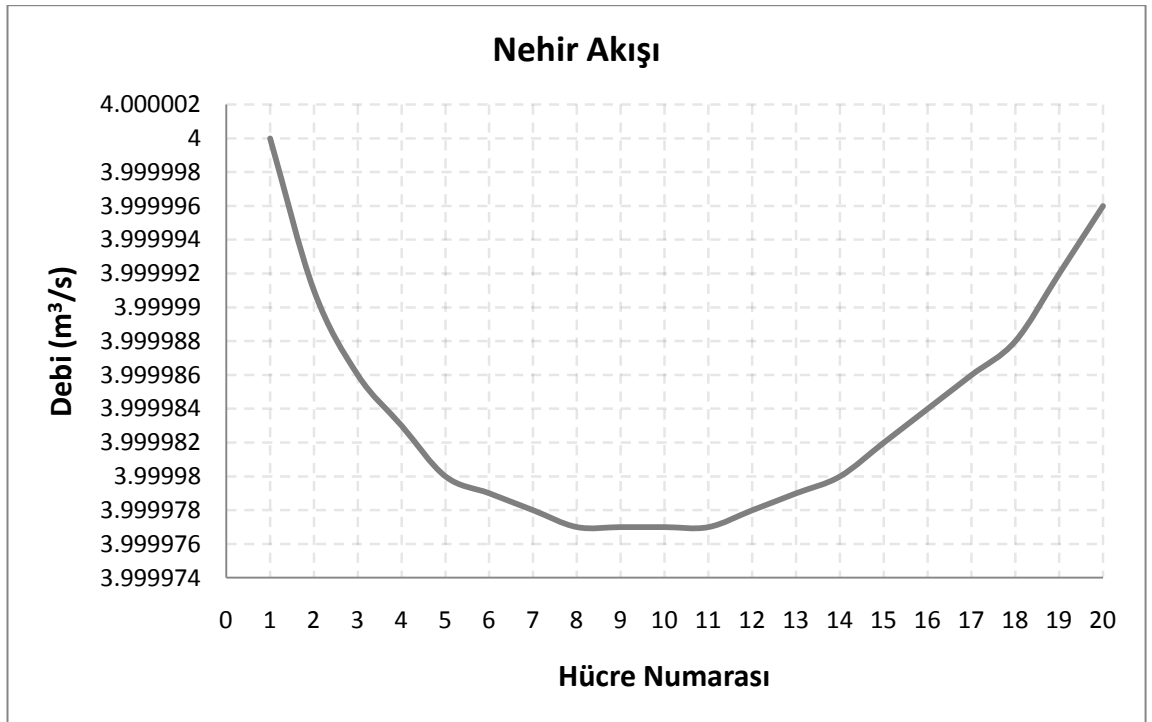
Şekil 5.70. Yüksek eğime sahip nehir yatağı modelinde nehrin boy kesiti

Akım boyunca nehir ile akifer arasındaki etkileşimler ise Şekil 5.71 ve Şekil 5.72'deki grafiklerden takip edilebilir. Şekil 5.71'de nehrin başlangıç bölgelerinde akifere doğru

bir akış görülmüştür, akım devam ettikçe bu debi yön değiştirmiş ve akiferden nehre doğru akış olmaya başlamıştır. Şekil 5.72'teki grafik ise etkileşim grafiği ile tutarlı olarak değişmiş, 9. hücreye kadar nehirdeki debide azalma olurken, sonrasında debi artış göstermiştir.



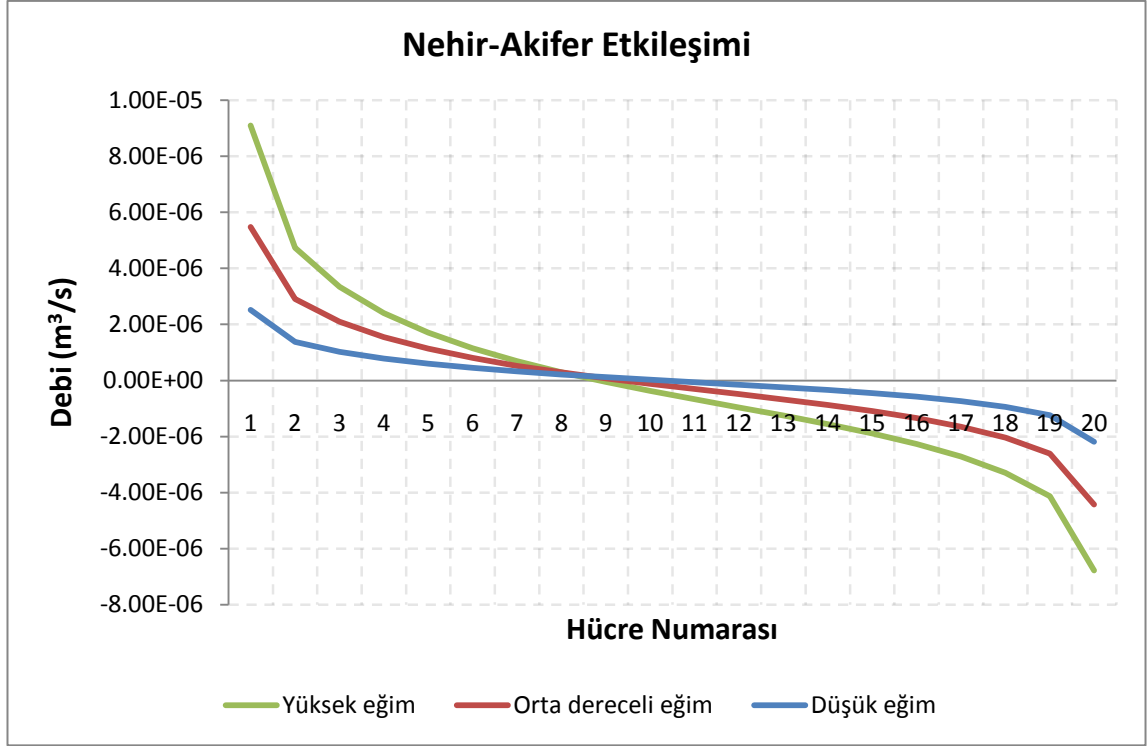
Şekil 5.71. Yüksek eğime sahip nehir modelinde nehir-akifer etkileşimi



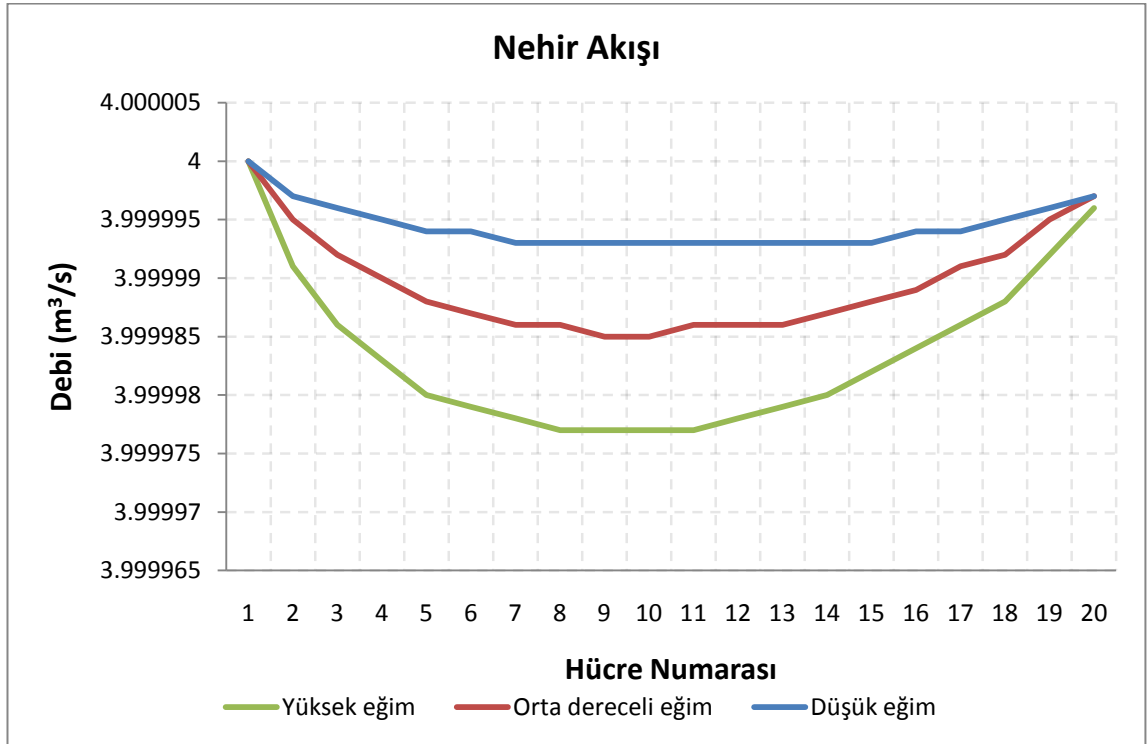
Şekil 5.72. Yüksek eğime sahip nehir modelinde nehir akışı

5.1.3.4. Karşılaştırma

3 farklı eğim için analizler yapılarak sonuçları ayrı ayrı sunulmuş ve yorumlanmıştır. Ancak parametrik etkiyi inceleyebilmek için bütün eğim parametrelerinin etkileşim üzerindeki etkileri tek bir grafik üzerinden değerlendirilmelidir. Şekil 5.73'te tüm modellerin etkileşim değerleri toparlanmıştır. Grafik incelendiğinde tüm modellerde etkileşim karakterinin nehrin aynı bölgesinde benzer olduğu görülmektedir. Değişen ise bu etkileşimin mertebesidir. Düşük eğimde etkileşim debisi en düşük değerlere sahiptir. Orta dereceli eğimde etkileşimin debi değeri her iki durum için, yani akiferden nehre su geçişi ve nehirden akifere su geçişi durumları için, artış göstermiştir. Ayrıca etkileşimin debisini gösteren eğri düşük eğimde yataya daha yakındır. Eğim arttıkça eğri yataydan uzaklaşarak, daha dik konuma yaklaşmıştır. Yani eğimin artması nehir boyunca görülen etkileşim debisinin Δx mesafesindeki değişim miktarını etkilemiştir. Kurulan 3 modelde, nehrin başlangıcına verilen $4 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik debinin etkileşim sonucu değişimini gösteren grafik ise Şekil 5.74'te görülmektedir. Burada düşük eğim sonucu nehirdaki debinin en yüksek mertebede olduğu, eğim arttıkça da nehirdaki debinin azaldığı görülmektedir. Düşük eğimde etkileşim debisi az olduğundan ve debi değişiminin mertebesi çok küçük olduğundan nehirdaki akış daha az etkilenmiş, bazı noktalarda değişim yataya çok yakın seyretmiştir. Eğim arttıkça nehir boyunca Δx mesafesindeki debi değişiminin artması ve etkileşim debisinin de bu duruma paralel olarak artış göstermesi sonucu, akifere daha fazla su girişi olmuş ve nehirdaki akış bu etkileşimden daha çok etkilenmiştir.



Şekil 5.73. Nehir yatağındaki eğim değişiminin nehir-akifer ilişkisine olan etkileri



Şekil 5.74. Nehir yatağındaki eğim değişiminin nehir akışına olan etkileri

5.1.4. Nehir Yatağındaki Pürüzlülüğün YüzeY Suyu-Yeraltı Suyu Etkileşimlerine Etkisi

Akışı etkileyen en önemli nehir parametrelerinden birisi nehir yatağının karakteridir. Nehir yatağındaki zemin danelerinin tipi ve boyutları, su altındaki bitkiler suyun akışını yavaşlatır. Bu durum hidrolik hesaplara ‘pürüzlülük katsayısı’ parametresiyle dahil edilir. Pürüzlülük katsayısı akımın debisini ve hızını direkt olarak etkilediğinden yüzeY suyu-yeraltı suyu etkileşimleri üzerindeki rolü araştırılmalıdır. Pürüzlülük katsayısının rolünü incelemek üzere kullanılan modeller siltli basit akifer modelinden türetilmiştir. Analizlerde tek segmentli, düz akış hattına sahip basit bir nehir kullanılmıştır. Nehirde su seviyesi girilmemiş; bunun yerine nehir yatağının eğimi ve pürüzlülük katsayısı parametreleri tanımlanmıştır. Nehir yatağının başlangıç kotu 6 m, bitiş kotu 4 m’dir. Başlangıç noktasında 4 m³/s’lik bir debi tanımlanmıştır. Modelde sabit sınır koşulu tanımlanmamıştır ve tüm akiferde başlangıç su yüksekliği 5 m olarak girilmiştir.

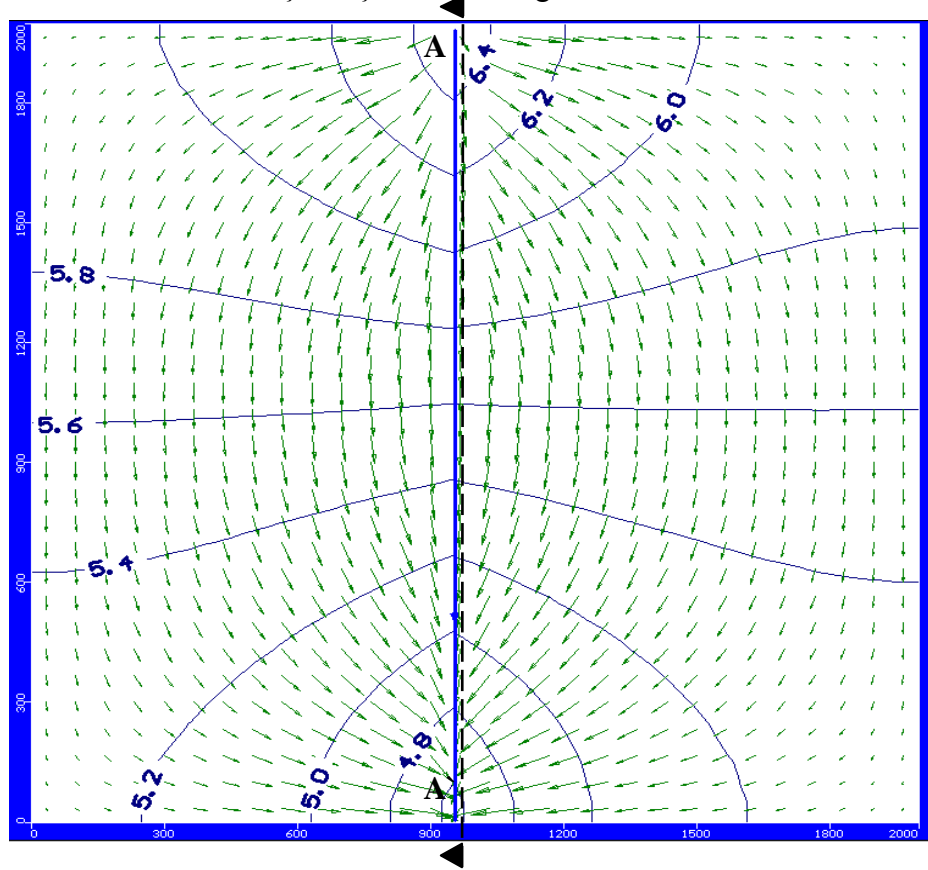
Pürüzlülük katsayısının parametrik analizini yapmak üzere 3 farklı model kurulmuştur. Her modelde farklı pürüzlülük katsayıları kullanılmıştır. Seçilen katsayılar doğal formasyona sahip bir nehir yatağı düşünülerek belirlenmiştir. Her modelde nehre tanımlanan özellikler Tablo 5.5’te sunulmuştur.

Tablo 5.5. Nehir özellikleri

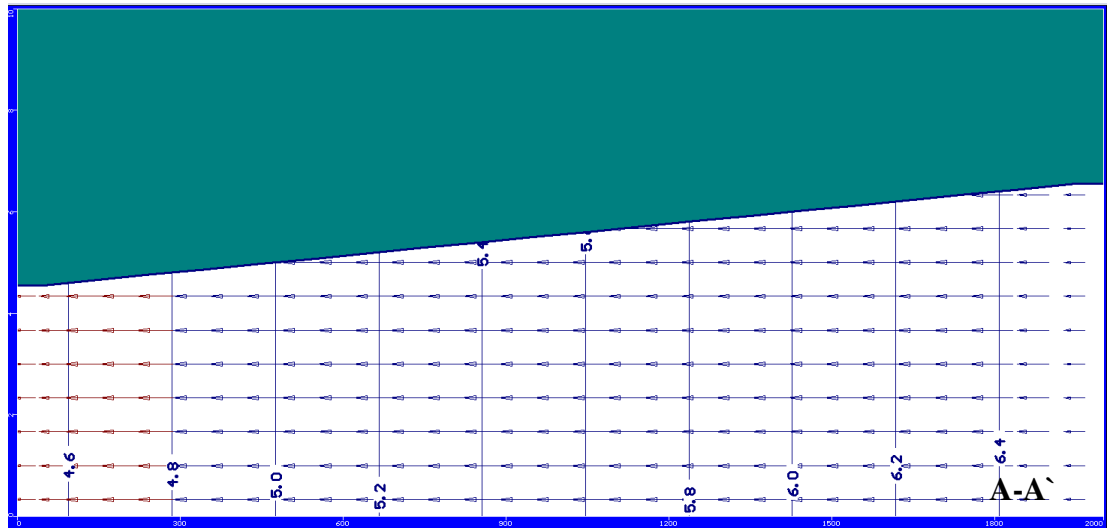
<i>Nehir Modeli</i>	<i>Nehir Yatağı Özellikleri</i>					
	<i>Nehir yatağının başlangıç kotu (m)</i>	<i>Nehir yatağının bitiş kotu (m)</i>	<i>Genişlik (m)</i>	<i>Nehir yatağı sürtünme katsayısı</i>	<i>Debi (m³/s)</i>	<i>Hidrolik İletkenlik (cm/s)</i>
1. model	6	4	10	0.03	4	1.83×10 ⁻⁴
2. model	6	4	10	0.06	4	1.83×10 ⁻⁴
3. model	6	4	10	0.09	4	1.83×10 ⁻⁴

5.1.4.1. Düşük Pürüzlülüğe Sahip Nehir Yatağı Modeli

Bu modelde 0.03 değerinde düşük bir pürüzlülük katsayısı girilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen yeraltı suyu akımı ve hız vektörleri Şekil 5.75'te, nehirde oluşan su yüksekliği Şekil 5.76'da sunulmuştur. Düşük pürüzlülük değerinde oluşan etkileşimin debisi Şekil 5.77'de, nehir akışı ise Şekil 5.78'de görülmektedir.

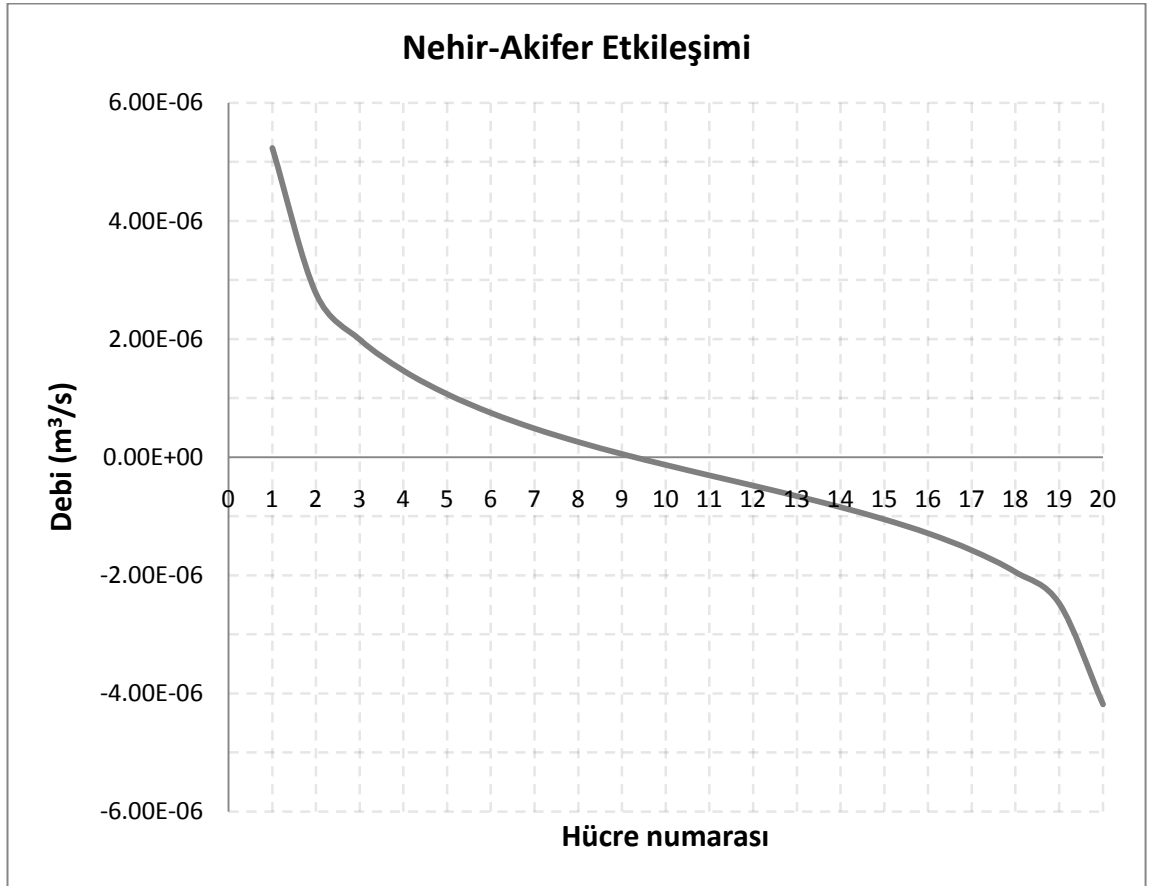


Şekil 5.75. Düşük pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri

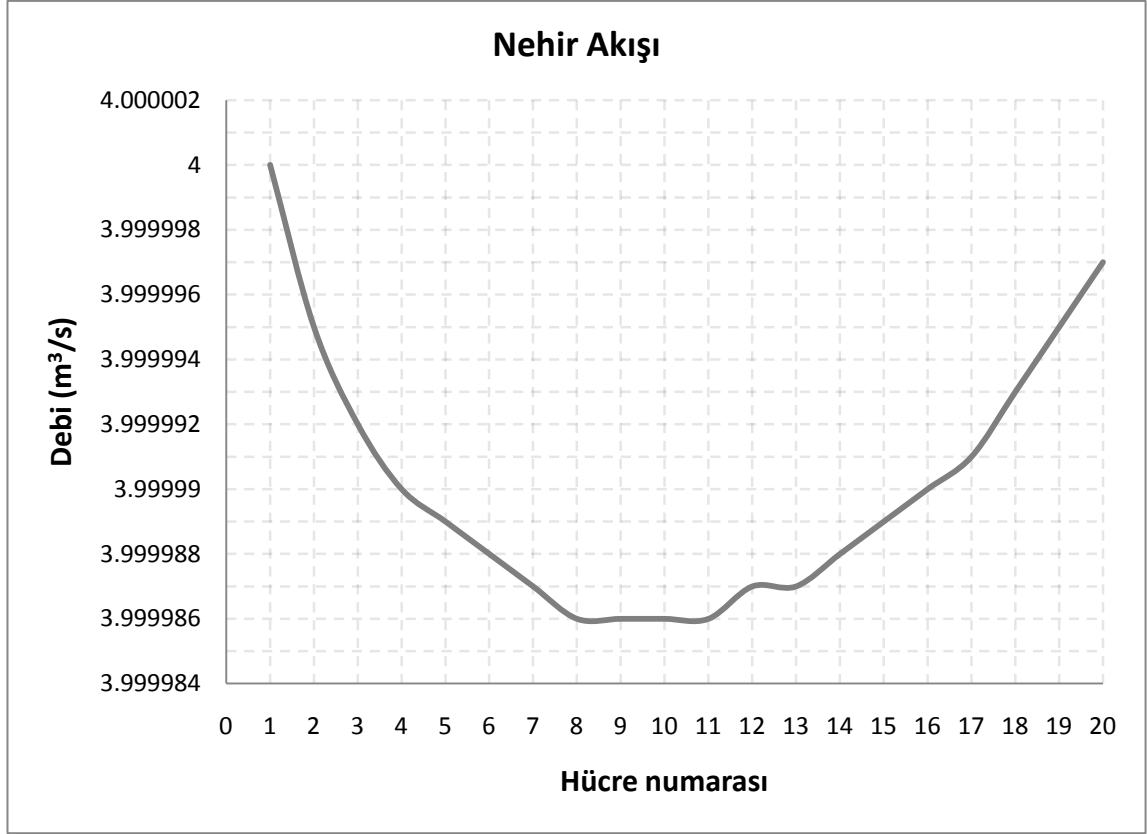


Şekil 5.76. Düşük pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde nehrin boy kesit görüntüsü

Düşük pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde yeraltı suyu akımı, modelin üst bölgelerinde nehirden beslenmekte ve yayılarak aşağı doğru akmaktadır (Şekil 5.75). Alt bölgelerde ise akım, hidrolik yükün daha az olduğu çıkış noktasına doğru toplanmıştır. Başlangıç ve bitiş noktasında nehirdeki su seviyesi 0.5 m civarındadır (Şekil 5.76). Akifer izotropik olduğundan, akifer boyunca yeraltı suyu akımı karakterini bozmadan ilerlemiştir. Nehir yatağında pürüzlülüğün düşük olduğu durum için etkileşimler incelendiğinde ise yeraltı suyu akımının dağılımına uygun olarak üst bölgelerde nehirden akifere doğru su geçişi olurken, alt bölgelere doğru akım ilerlediğinde akiferden nehre doğru bir akım oluştuğu gözlenmiştir. Nehirdeki akış ise etkileşime uygun olarak 9. hücreye kadar azalmış, sonrasında artmaya başlamıştır. Debideki değişim mertebeleri $10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ civarındadır.



Şekil 5.77. Düşük pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde nehir-akifer etkileşimi

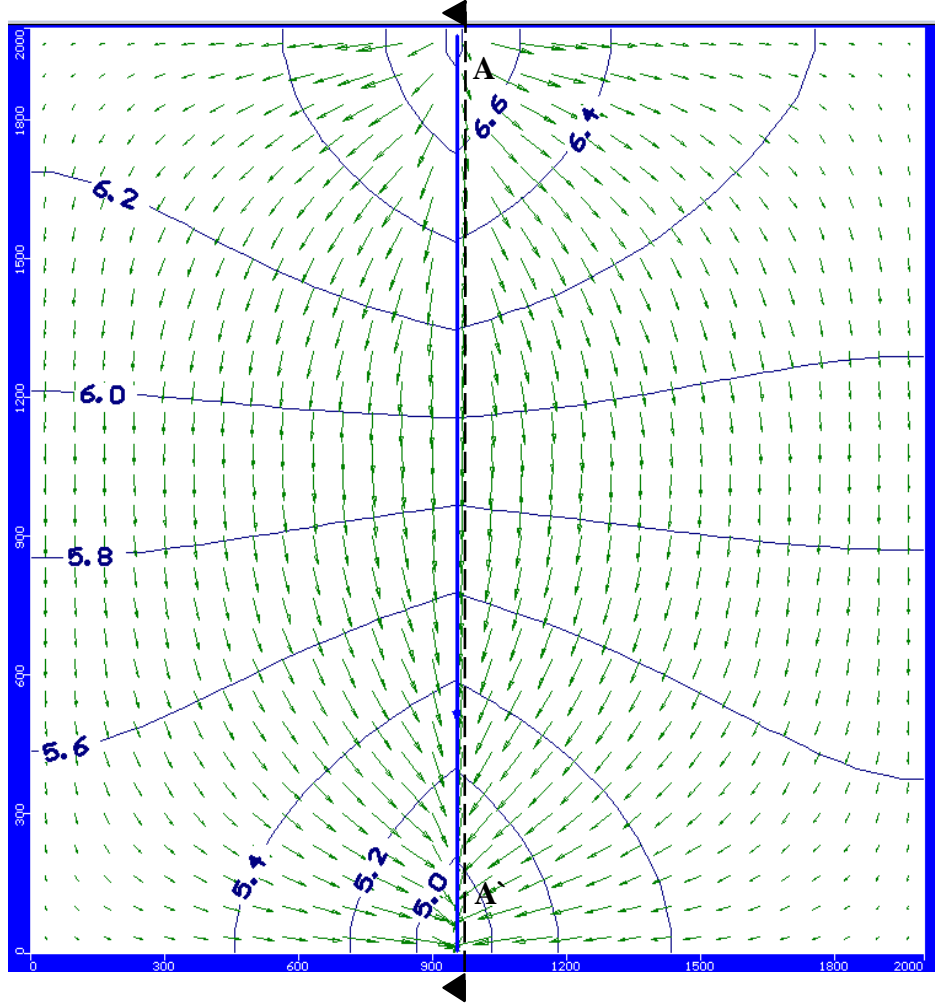


Şekil 5.78. Düşük pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde nehir akışı

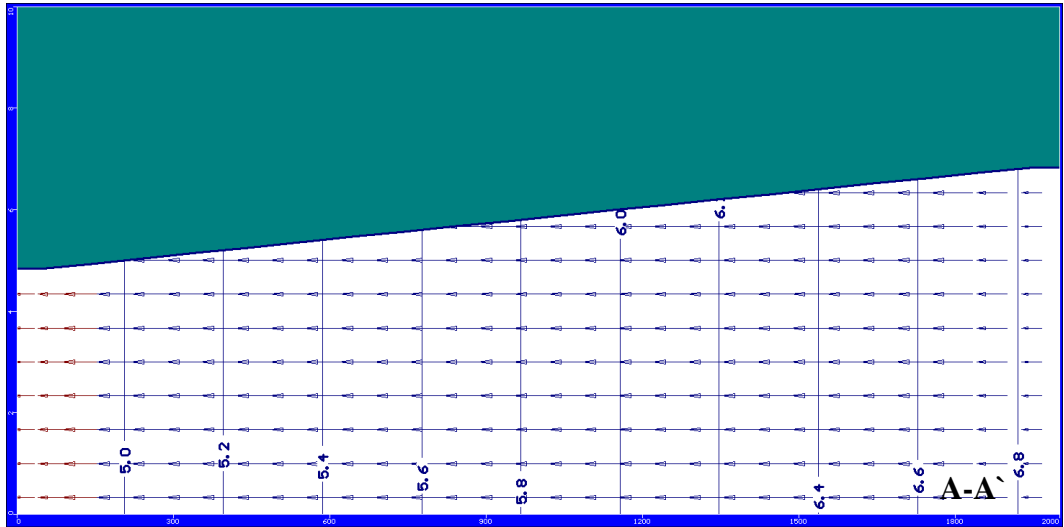
5.1.4.2. Orta dereceli Pürüzlülüğe Sahip Nehir Yatağı

Bu modelde 0.06 değerinde orta dereceli bir pürüzlülük katsayısı girilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen yeraltı suyu akımı ve hız vektörleri Şekil 5.79'da, nehrin kesiti Şekil 5.80'de sunulmuştur. Orta dereceli pürüzlülük değerinde oluşan etkileşimin debisi Şekil 5.81'de, nehirdeki akış ise Şekil 5.82'de görülmektedir.

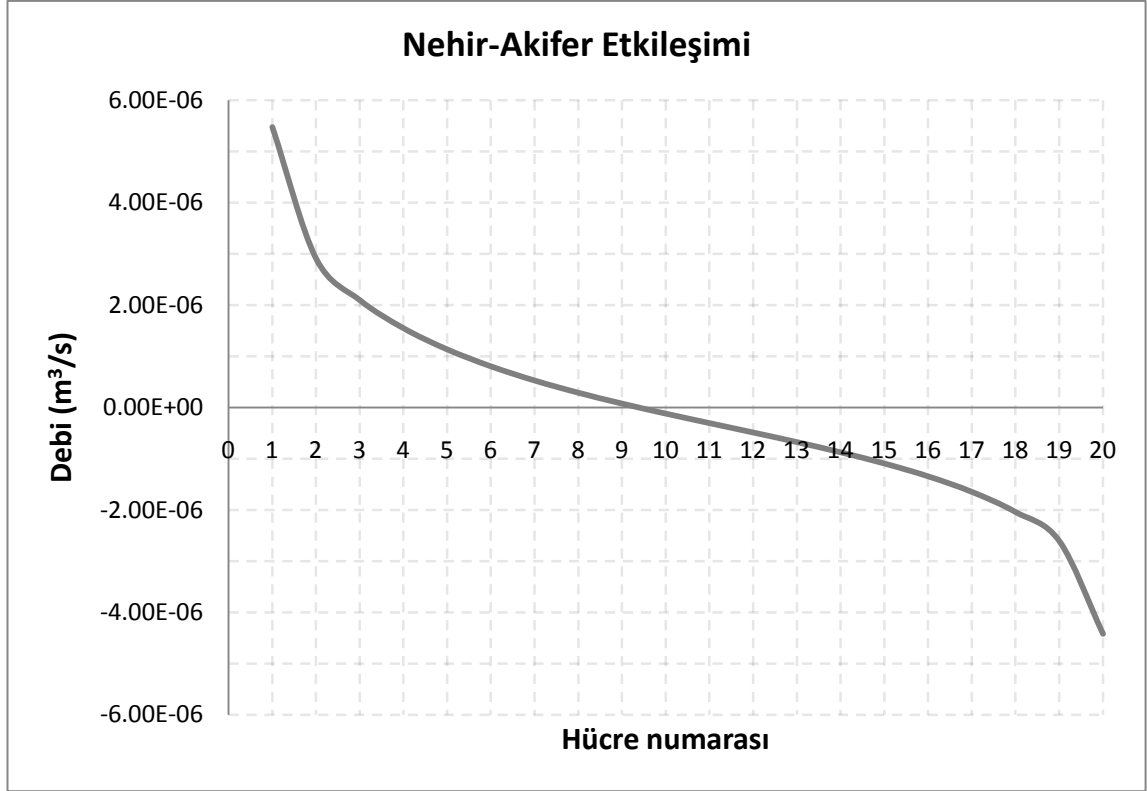
Analiz sonuçları incelendiğinde su yüksekliğinin başlangıç ve bitiş noktasında 0.8 m civarında olduğu görülmektedir. Yeraltı suyu akımının karakteri değişmemiştir. Başlangıçta nehirden akifere doğru akım olurken, çıkış noktasındaki hidrolik yük etkisiyle alt bölgelerde akiferden nehre doğru akım oluşmuştur. Nehirdeki debi ise etkileşimle uyumlu olarak 9. hücreye kadar azalmış, sonrasında artmaya başlamıştır. Etkileşim debisi ve nehirdeki debi incelendiğinde debi değerinin bir önceki modele oldukça yakın olduğu söylenebilir. Ancak nehirdeki debi değişimi eğrilerinin davranışı aynı tipte olsa da, etkileşimin yönü değişirken, eğriler farklılık göstermektedir. Bu da etkileşimler arasında bir fark olduğunu göstermektedir.



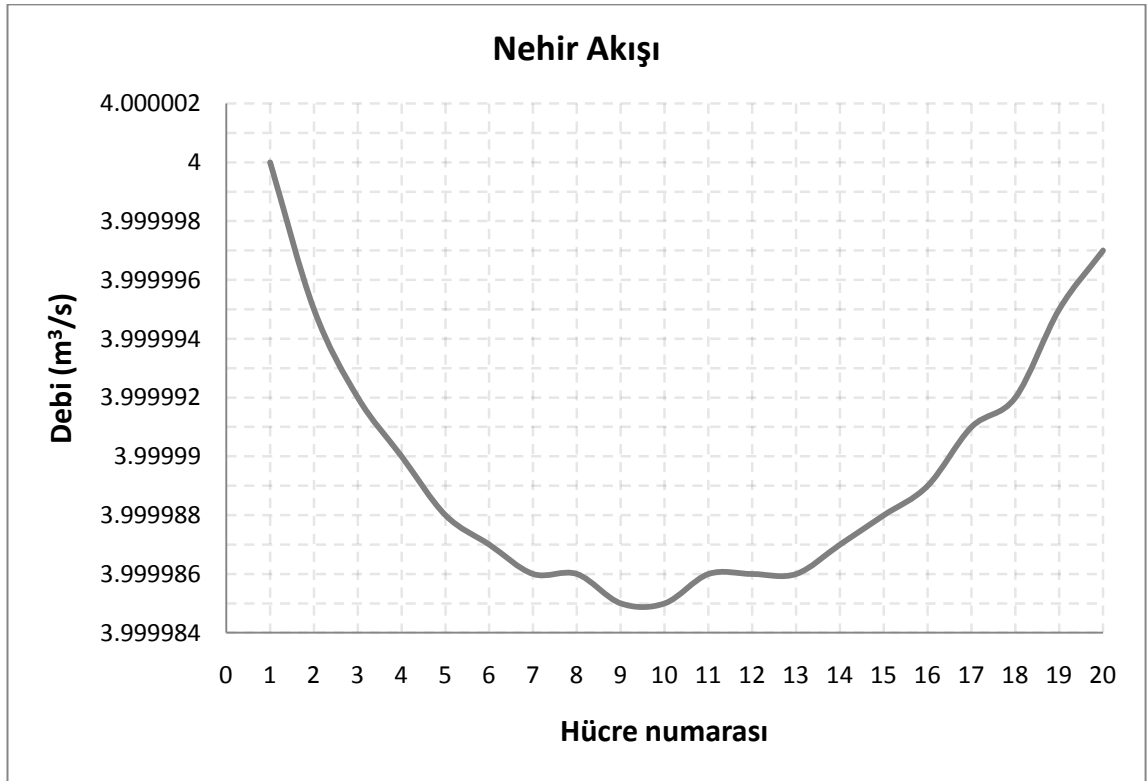
Şekil 5.79. Orta dereceli pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri



Şekil 5.80. Orta dereceli pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde nehrin boy kesit görüntüsü



Şekil 5.81. Orta dereceli pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde nehir-akifer etkileşimi

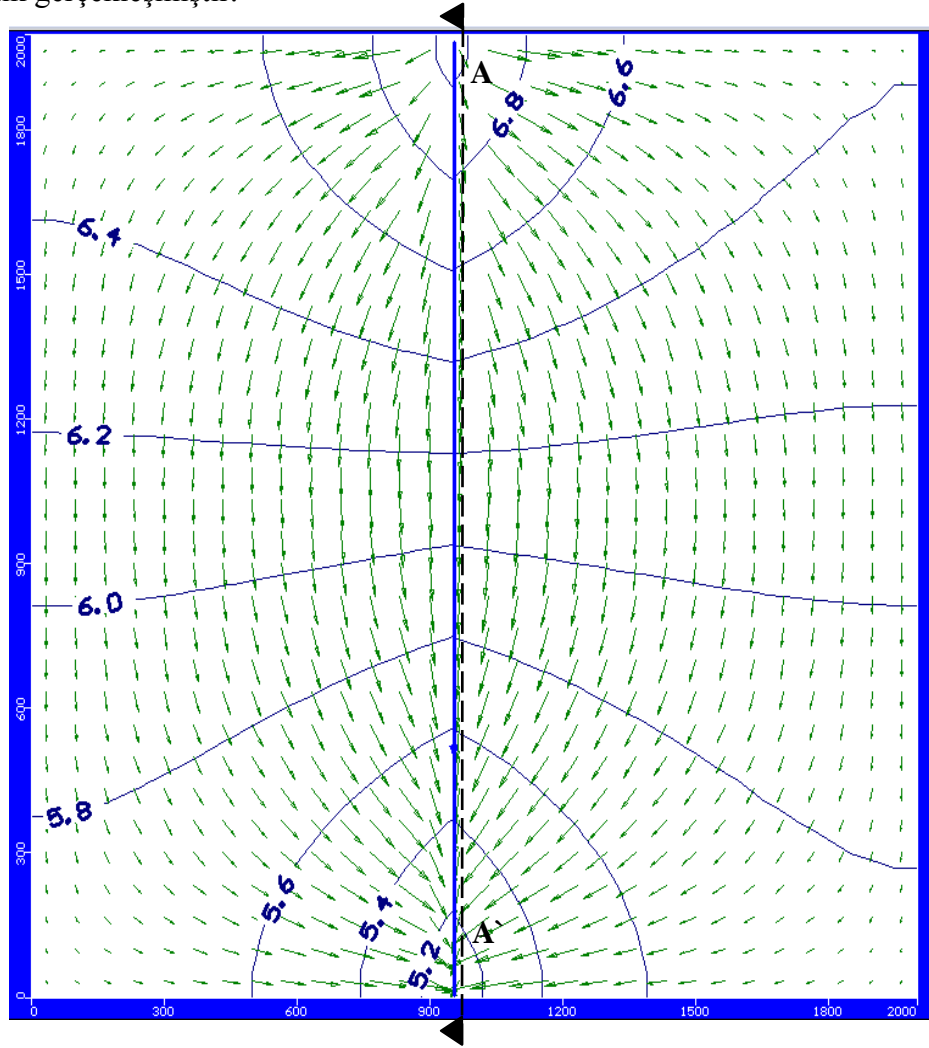


Şekil 5.82. Orta dereceli pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde nehir akışı

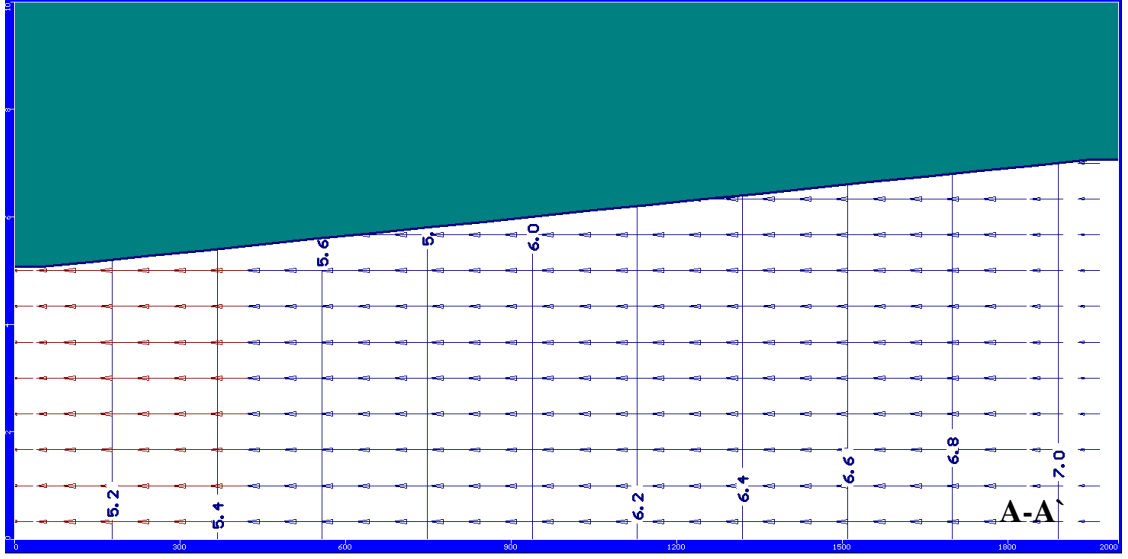
5.1.4.3. Yüksek Pürüzlülüğe Sahip Nehir Yatağı

Bu modelde 0.09 değerinde yüksek dereceli bir pürüzlülük katsayısı girilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen yeraltı suyu akımı ve hız vektörleri Şekil 5.83'te, nehirde oluşan su yüksekliği Şekil 5.84'te sunulmuştur. Yüksek pürüzlülük değerinde oluşan etkileşimin debisi Şekil 5.85'te, nehir akışı ise Şekil 5.86'da görülmektedir.

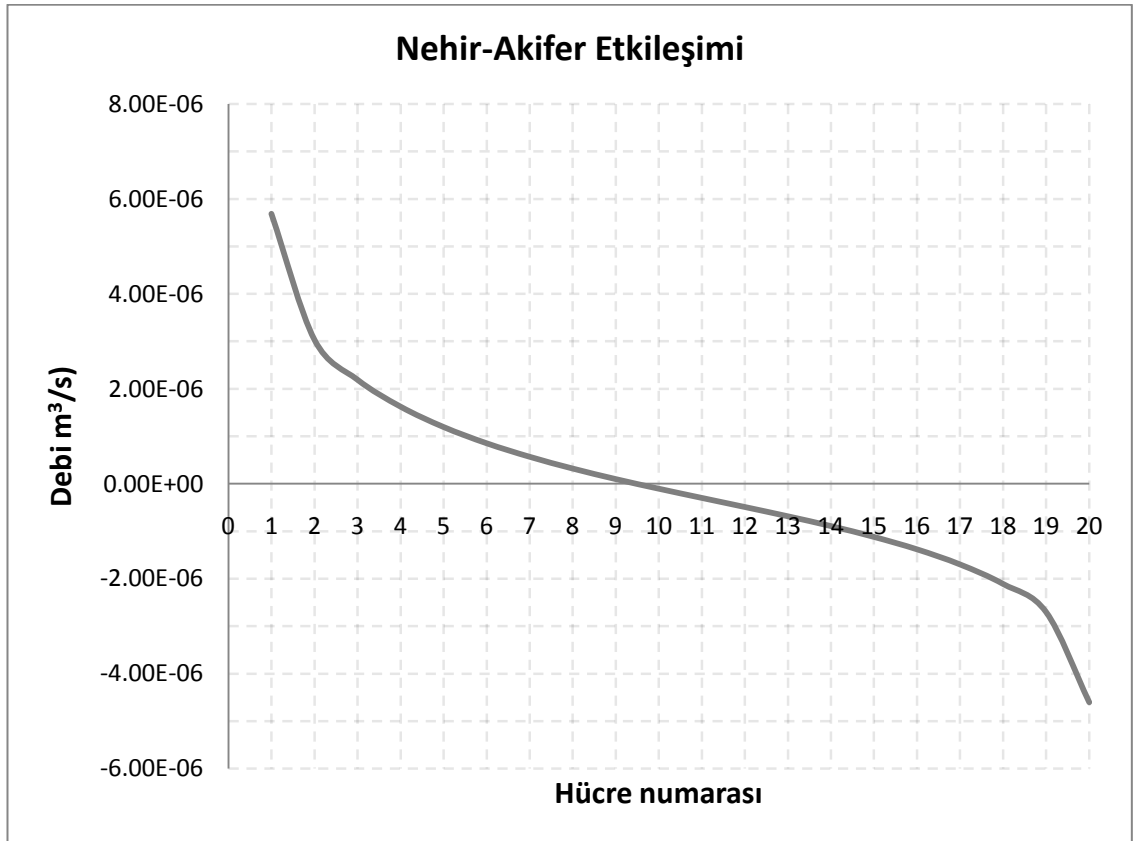
Yüksek pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde yeraltı suyunun genel karakteri değişmemiş ve yayılarak aşağı doğru akmıştır. Su yüksekliği nehrin başlangıç ve bitiş noktalarında 1 m civarındadır. Etkileşim ise nehrin ilk hücrelerinde debi pozitif olduğundan nehirden akifere doğru, nehrin son kısımlarında debi negatif olduğundan akiferden nehre doğru olmuştur. Nehirdeki debi değişimi ise buna paralel olarak değişmiştir. Ancak yine etkileşimin yönünün değiştiği hücrelerde eğrinin karakterinde değişiklik gerçekleşmiştir.



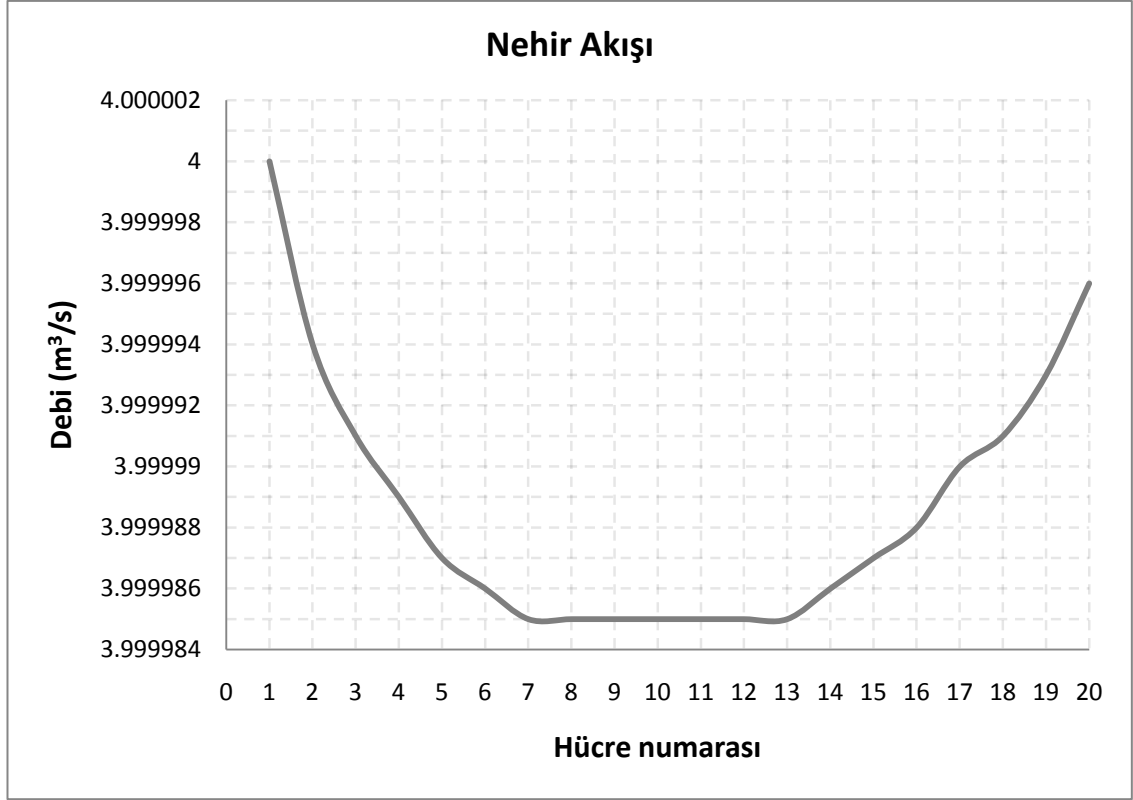
Şekil 5.83. Yüksek pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri



Şekil 5.84. Yüksek pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde nehrin boy kesit görüntüsü



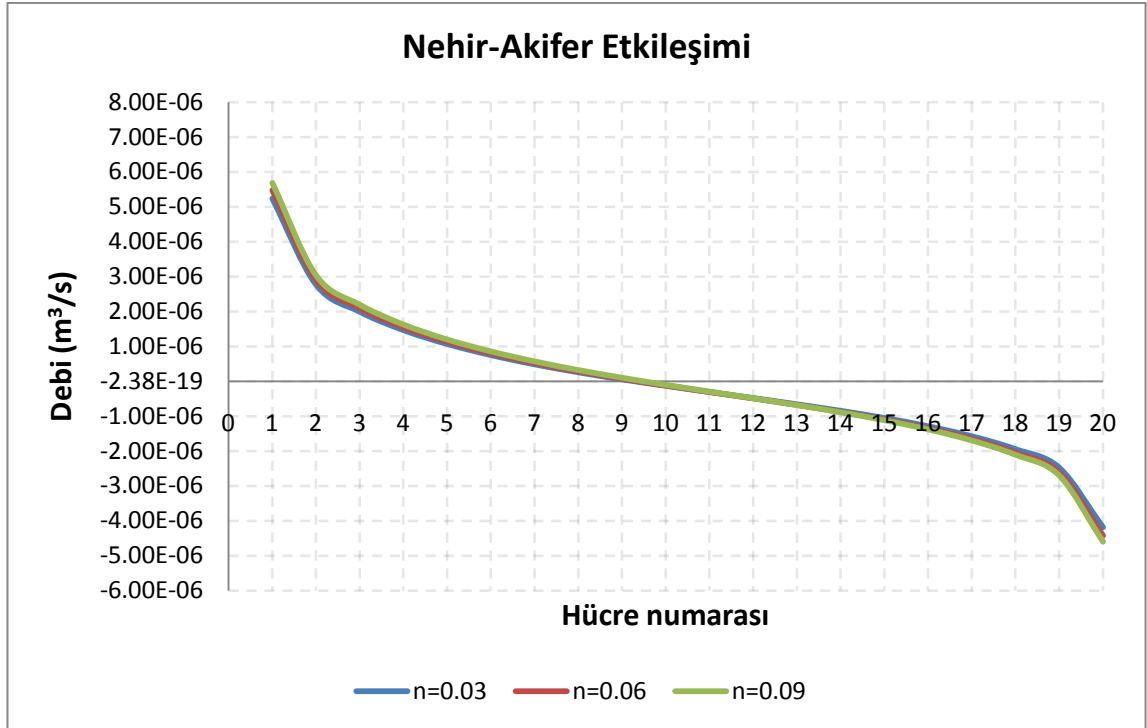
Şekil 5.85. Yüksek pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde nehir-akifer etkileşimi



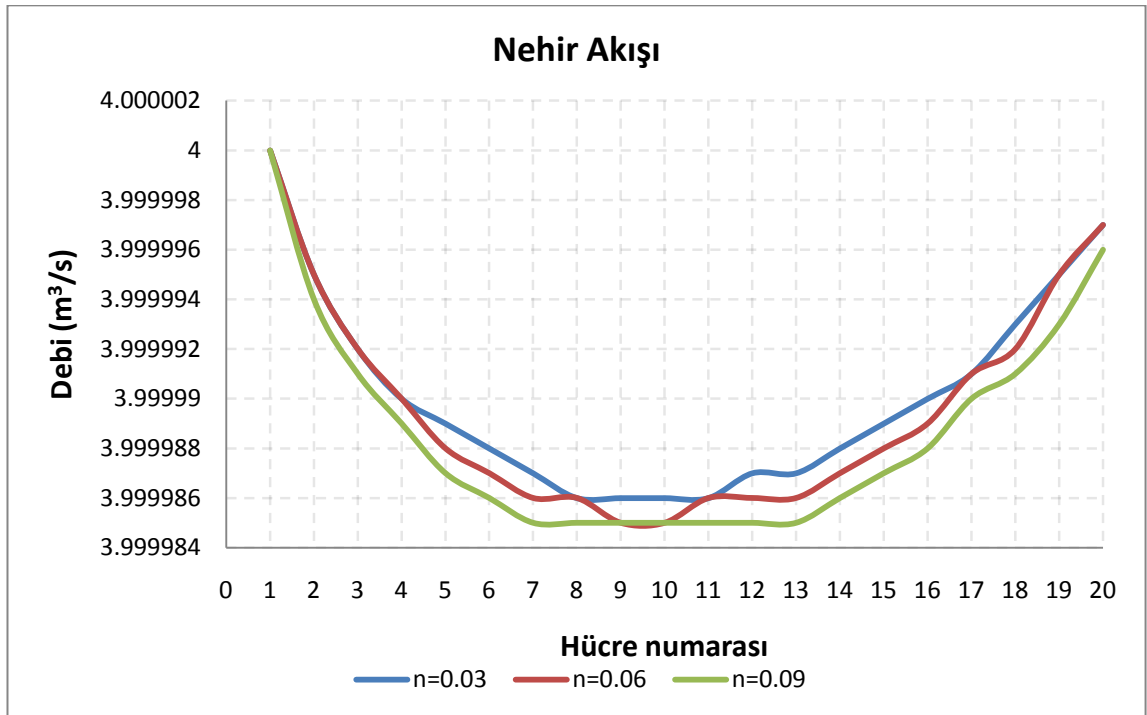
Şekil 5.86. Yüksek pürüzlülüğe sahip nehir yatağı modelinde nehir akışı

5.1.4.4. Karşılaştırma

Pürüzlülüğün yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri üzerine olan parametrik etkisini gözlemek için tüm sonuçların tek grafikte sunulmuş hali Şekil 5.87'den ve Şekil 5.88'den incelenebilir. Her üç pürüzlülük değerinde yaklaşık olarak aynı debiler görülmektedir. Etkileşim debisini gösteren eğriler çakışık duruma oldukça yakındır. Ancak detaylı olarak incelendiğinde yüksek pürüzlülüğün olduğu durumda etkileşim debisinin daha yüksek olduğu, pürüzlülük düştükçe debinin de düştüğü söylenebilir. Ancak aralarındaki değişim 10^{-9} mertebelerinde olduğundan, bu değişim ihmal edilebilir bir mertebededir. Nehirdeki debi değişimi incelendiğinde ise pürüzlülüğün az da olsa etkileşime etki ettiği görülmektedir. Debi değerleri birbirine çok yakındır; ancak pürüzlülüğün en düşük olduğu durumda nehrin debisi daha fazladır, pürüzlülük arttıkça etkileşimin artmasından dolayı nehirde daha fazla etki görülmüş ve debisi daha çok düşmüştür.



Şekil 5.87. Nehir yatağındaki pürüzlülüğün nehir-akifer ilişkisine olan etkileri



Şekil 5.88. Nehir yatağındaki eğim değişiminin nehir akışına olan etkileri

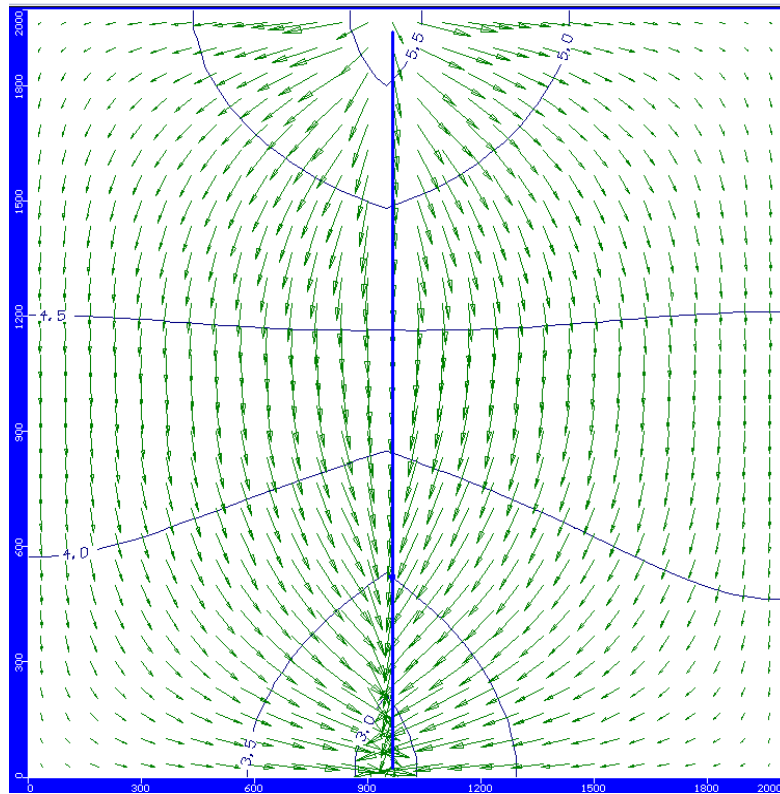
5.1.5. Nehrin Akış Hattının YüzeY Suyu-Yeraltı Suyu Etkileşimlerine Etkisi

Nehir akımı bir çok parametreden etkilenmektedir. YüzeY suyu-yeraltı suyu etkileşimleri de akımı etkileyen parametrelerden etkilenirler. Bir nehrin akış hattının

kıvrımlı olması, bu kıvrımlara çarpan suyun akifere geçmesine sebebiyet verebilir. Nehre katılan kollar veya nehirden ayrılan kollar akımı etkileyeceğinden etkileşimlere de etki edebilir. Nehrin ve yan kollarının karakteri, fiziki yerleşimi etkileşimleri etkileyebilmektedir. Bu etkilerin gözlenmesi için çalışmanın bu kısmında, 3 farklı akış hattına sahip nehirler modellenmiştir. Bunlar, düz akış hattı, kompleks akış hattı ve kıvrımlı akış hattı olarak tanımlanmış, her bir durum için analizler yapılmıştır. Nehirlerin bulunduğu formasyon siltli akifer olarak tanımlanmıştır. Nehir yatağını tanıtırken programa girilen segment özellikleri ve nehir kesiti tüm modellerde aynıdır (pürüzlülük 0.06, genişlik 10 m, hidrolik iletkenlik 1.83×10^{-4} m/s). Analizleri başlatmak için tüm modellerde $4 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik başlangıç debisi tanımlanmıştır.

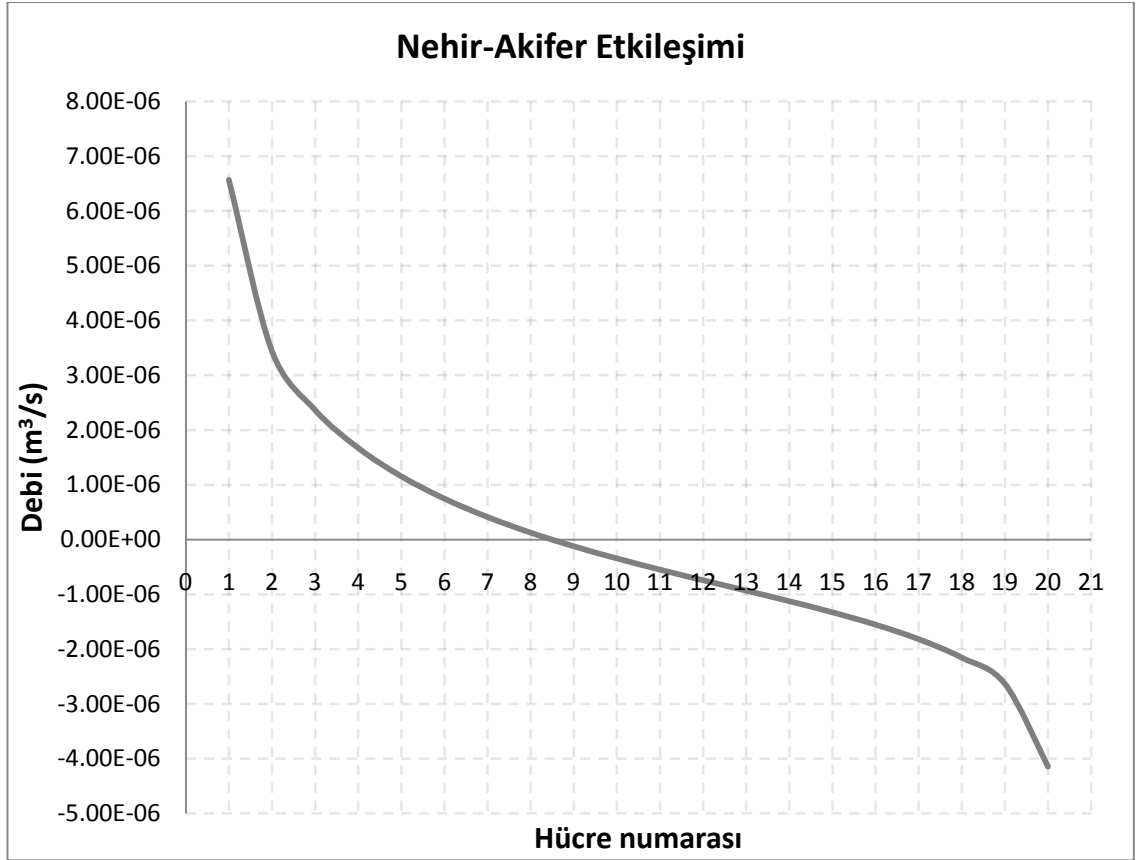
5.1.5.1. Düz Akış Hattına Sahip Nehir Modeli

Bu modelde nehir yatağı 5 m'den 2 m'ye doğru lineer olarak azalan ve düz akış hattına sahip olan bir nehir modeli kurulmuştur. Nehir modeli, analiz sonucu elde edilen yeraltı suyu dağılımı ve hız vektörleri Şekil 5.89'da görülmektedir. Modelde yeraltı suyu seviyesi yaklaşık olarak 5.5 m ile 3 m arasında değişmiştir. Nehrin başlangıcında akifere giren akım aşağı doğru ilerlemiş ve çıkış noktasında doğru tekrar nehre yönelmiştir. Nehirdeki su seviyesi 0.74 m olmuştur.

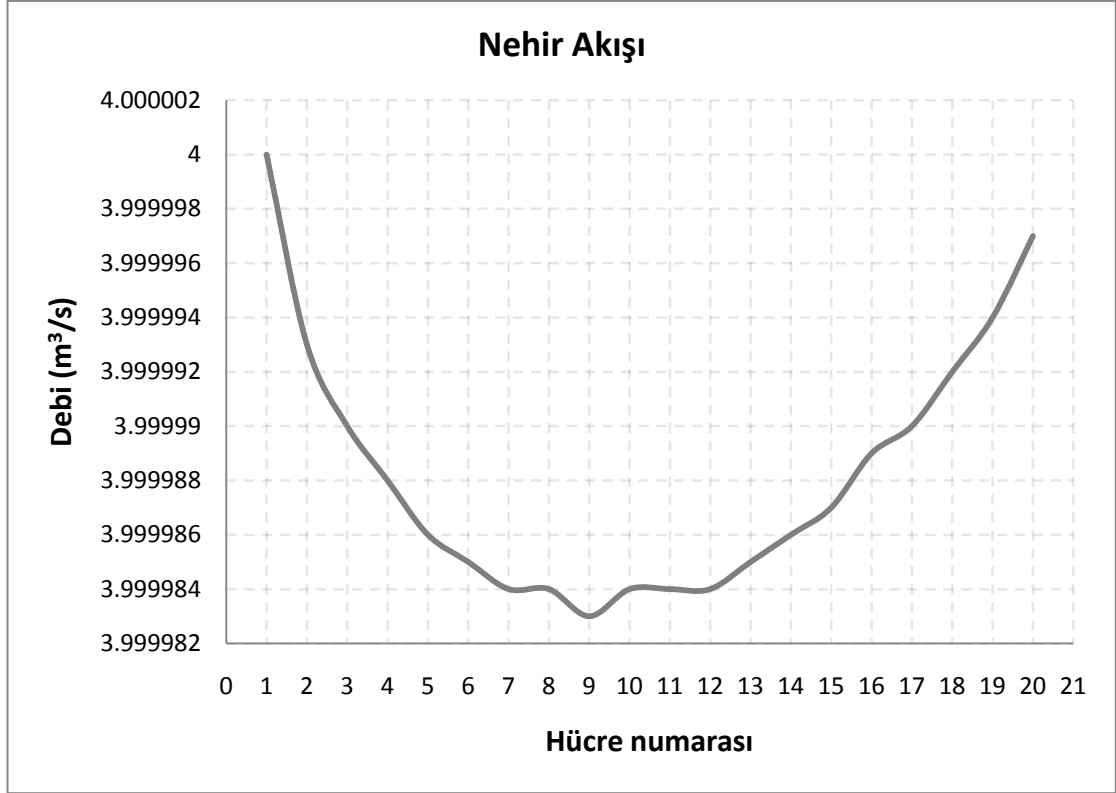


Şekil 5.89. Düz akış hattına sahip nehir modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri

Şekil 5.90’da sunulan etkileşim grafiği incelendiğinde ise yeraltı suyu dağılımıyla uyumlu bir sonuç elde edildiği görülmektedir. Nehrin başlangıcında 7×10^{-6} m³/s debi ile akifere giren akış, 9. hücrede yön değiştirmiş ve nehre doğru artan bir etkileşim debisi ile ilerlemiştir. Öte yandan nehre giren akışın debisi 4×10^{-6} m³/s ye kadar çıkmıştır. Bu durum etkileşim ile nehirden çıkan akış debisinin, etkileşim sonucu tekrar nehre dönen suyun debisinden daha fazla olduğunu göstermektedir. Nehirdeki debiyi gösteren grafik ise Şekil 5.91’de gösterilmiştir. Bu grafik etkileşim grafiği ile uyumlu olarak değişmiş, 9. hücreye kadar azalan akım daha ilerideki noktalarda artmıştır.



Şekil 5.90. Düz akış hattına sahip nehir modelinde nehir-akifer etkileşimi

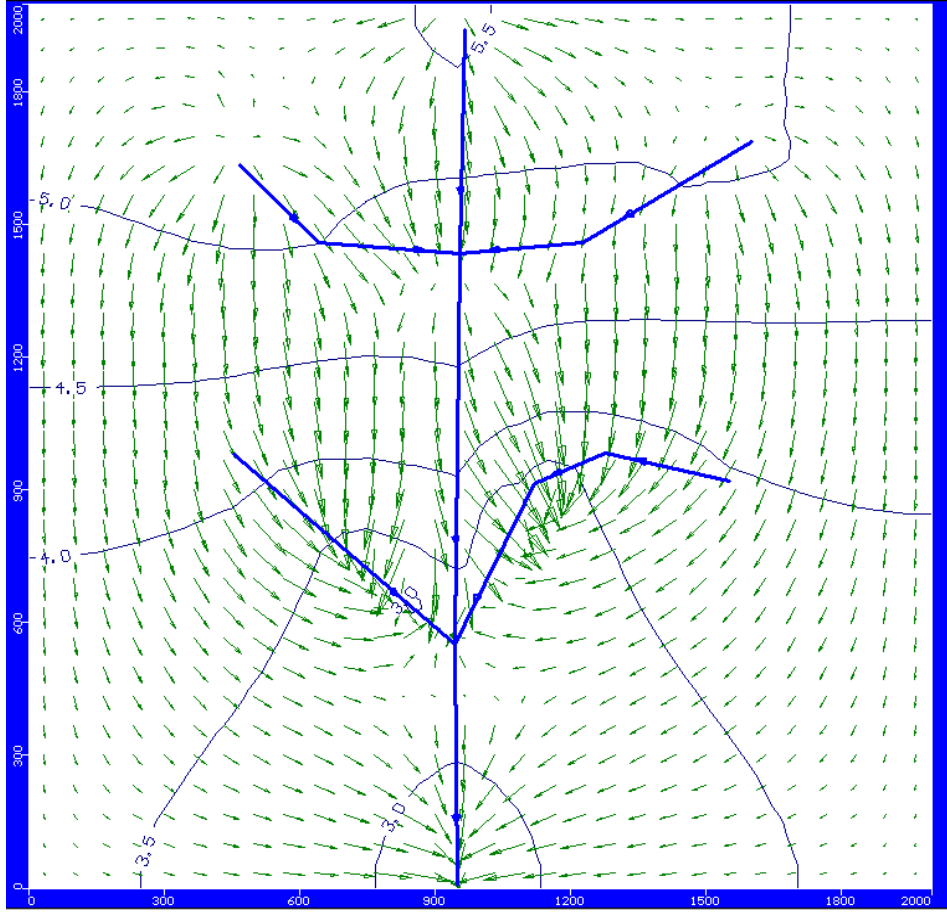


Şekil 5.91. Düz akış hattına sahip nehir modelinde nehir akışı

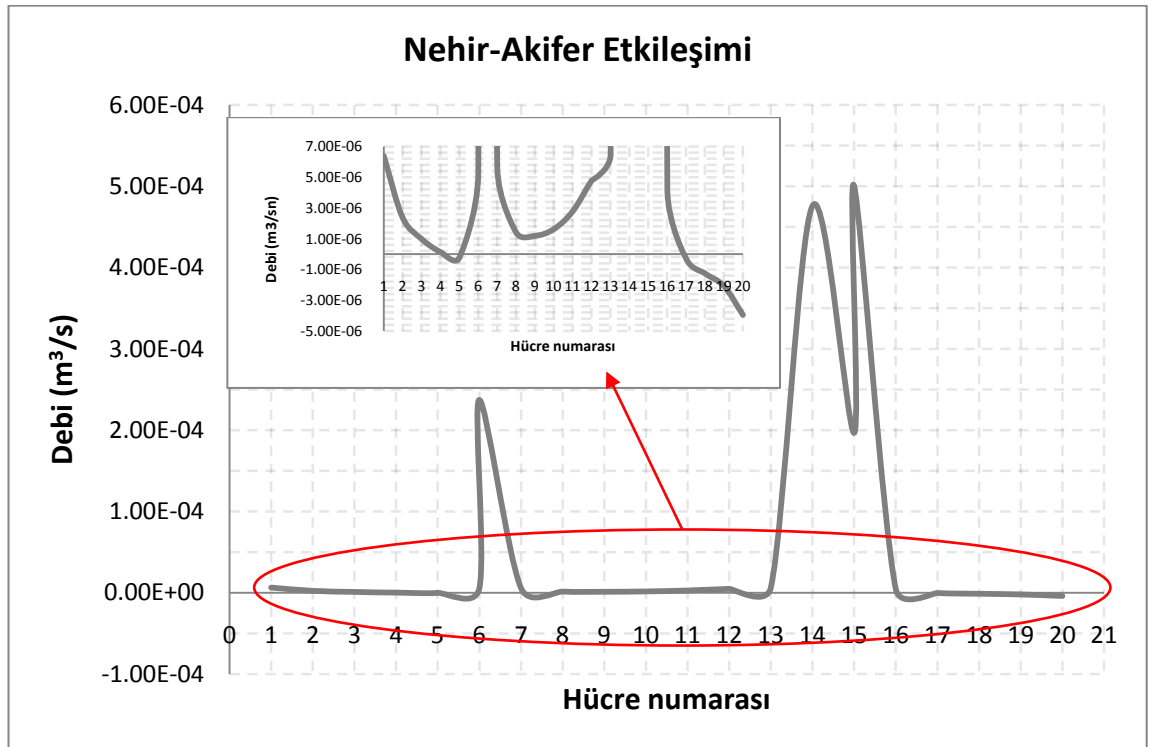
5.1.5.2. Yan Kollu Kompleks Nehir Modeli

Bu modelde düz akış hattına sahip olan bir nehre 4 adet yan kol eklenmiştir. Nehir yatağı ana kolda 5 m'den 1.2 m'ye lineer azalmaktadır. Yan kollarda 2 m³/s'lik debi tanımlanmıştır. Analiz sonucu Şekil 5.92'deki görülmektedir. Yeraltı suyu dağılımı ve hız vektörleri incelendiğinde nehrin başlangıç noktasında akifere doğru bir akım olduğu görülmektedir. Ancak akifere giren bu akış, yan kollardaki hidrolik yükün etkisi ve kolların akımı kesen fiziki koşulları sebebiyle, nehir-akifer etkileşimleri sonucu yan kollara katılmıştır. 2. ve 3. segmentlerde başlangıç noktalarında direkt olarak yeraltı suyuna katılım olmuştur. Bu kollarda nehre doğru ilerleyen akım incelendiğinde yan kolların üst bölgeden akım toplarken, alt taraflarında da akifere doğru bir akış olduğu görülmüştür. Her iki segmentte de akım davranışı oldukça benzerdir. 4. segmentin etrafında oluşan yeraltı suyu akımı nehre paralel ilerlerken yine akımın 5. ve 6. segmentte yani yan kollarda toplandığı görülmektedir. Özellikle kıvrımın bulunduğu 6. segmentte daha hızlı ve karmaşık etkileşimler görülmüştür. 6. segmentin başlangıcında alt bölgeden akifere giren akış, segmentin sonlarına doğru tekrar yan kola katılmıştır. Ana kolun son segmenti olan 7. segmentin etrafındaki yeraltı suyu akımı da başlangıç bölgesinde yan kollara ve bağlantı noktasına doğru akmıştır. Sonrasında ise akım çıkış

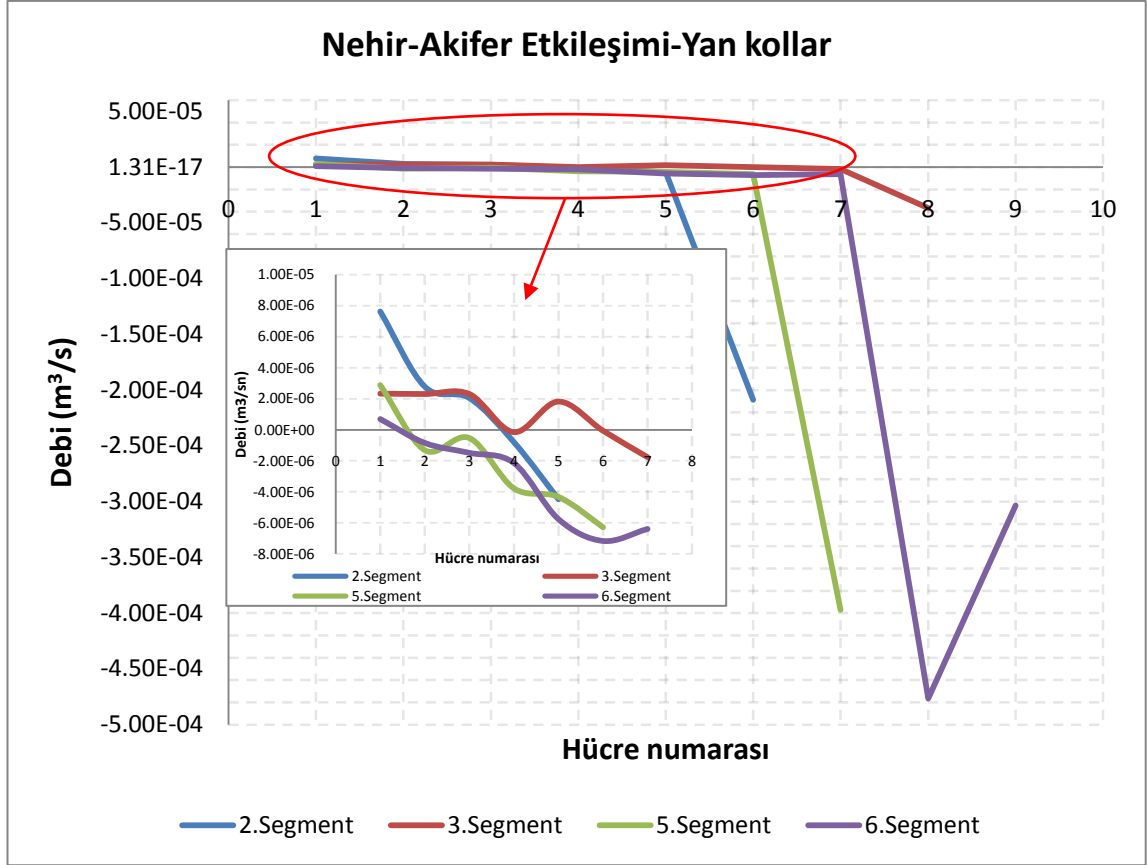
noktasında toplanmıştır. Bu etkileşimleri gösteren grafikler Şekil 5.93'te ve Şekil 5.94'te sunulmuştur. Ana kolun 1. segmentinde akım önce akifere doğru yönelmiş, 4. hücrede küçük bir debi ile nehre dönmüştür. Birleşim noktası olan 6. hücrede akifere doğru ani bir giriş olmuştur. 4. segment boyunca etkileşim nehirden akifere doğru yönelmiş, birleşim hücresinden bir önceki 14. hücrede akifere büyük bir etkileşim debisi ile giriş olmuştur. Birleşim noktası olan 15. hücrede ise akifere doğru üçüncü bir pik debi gözlenmiştir. Ana kolun son segmentinde başlangıçta akifere doğru bir akım söz konusu iken, ilerleyen kısımlarda etkileşim akiferden nehre doğru yönelmiştir. Ana koldaki etkileşim grafiğinden etkileşimin ağırlıklı olarak akifere doğru olduğu anlaşılmıştır. Nehirdeki debi değişimi ise Şekil 5.95'teki gibi etkileşimlerle uyumlu olarak değişmiştir. Yan kollara ait grafik incelendiğinde ise 2. ve 3. segmentin başlangıç bölgelerinde akifere doğru bir etkileşim olduğu, ancak segmentlerin ilerleyen hücrelerinde nehre geçişin başladığı görülmüştür. 5. ve 6. hücrelerde de sadece başlangıçta akifere doğru bir akım görülüyorken, ilerleyen tüm hücrelerde nehre doğru artan bir debi ile etkileşim gerçekleşmiştir. Ana kola ve yan kollara ait grafikler incelendiğinde birleşim noktalarındaki ani artma ve azalma arasındaki ilişki kurulabilmektedir. Ana kolda akifere doğru ani olarak oluşan akıma karşılık yan kollarda nehre ani bir giriş oluşmaktadır. Yani yan kolları ile ana kolun birleştiği noktalarda etkileşim artmakta ve bu bölgelerde biraz daha karmaşık bir akım yapısı gözlenmektedir. Ana kolda bağlantı noktası olmamasına rağmen 14. hücrede akifere büyük bir debi ile giren su, 6. segmentte aynı debi ile yan kola katılan su olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu giriş 6. segmentin birleşim noktasına doğru ilerlerken ana kola çok yaklaşmasının bir sonucudur. Bu görüşün doğruluğunu incelemek üzere nehirde 6. segmentin kıvrımlı ve nehre çok yaklaşan karakteri bozularak, yerine daha düz ve nehre büyük bir açı ile bağlanan bir yan kol oluşturulmuştur. Bu modelin analiz sonuçları ise Şekil 5.96 ve Şekil 5.97'deki grafiklerle verilmiştir. Bu grafiklerde 6. segmentin etrafında oluşan yeraltı suyu akımı incelendiğinde kıvrık durumdaki kadar kompleks değil, yönü ve akışı daha belirgin bir akım olduğu görülmektedir. Ayrıca 14. hücredeki büyük debi kaybolmuştur. O halde nehrin yan kolunun ilerlediği güzergah ve akış karakteri yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerini etkilemektedir.



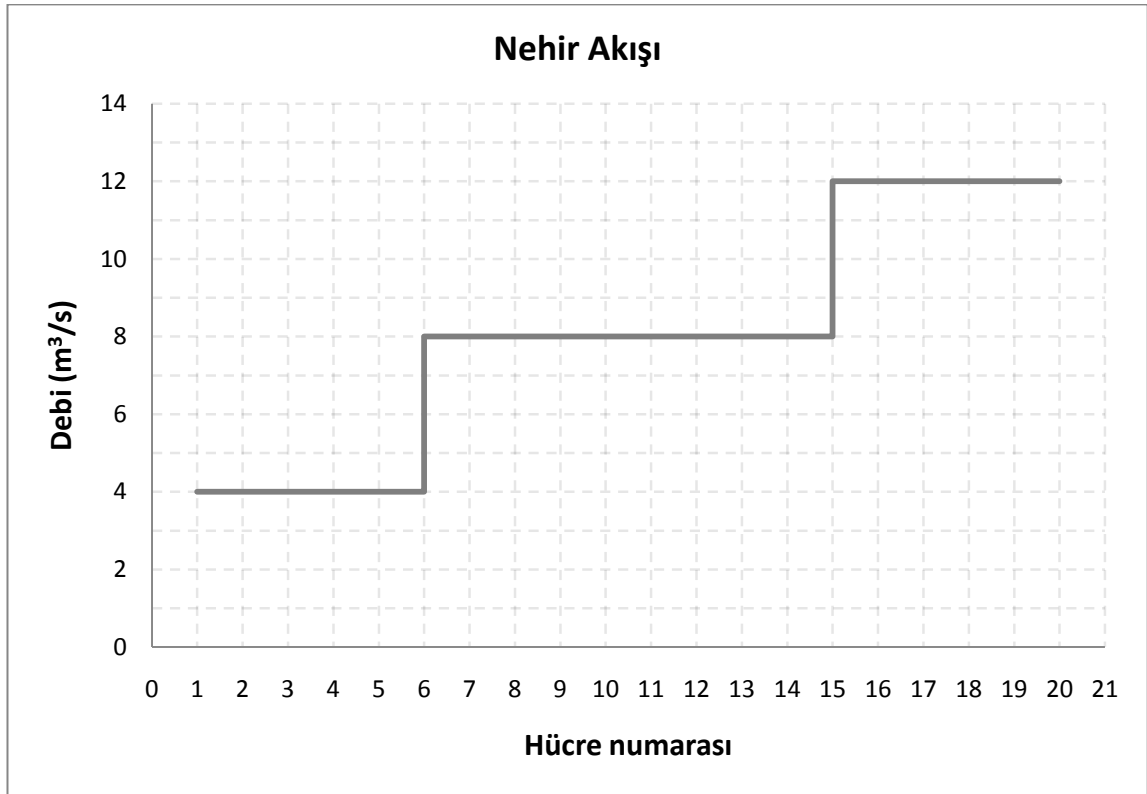
Şekil 5.92. Yan kollu kompleks akifer modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri



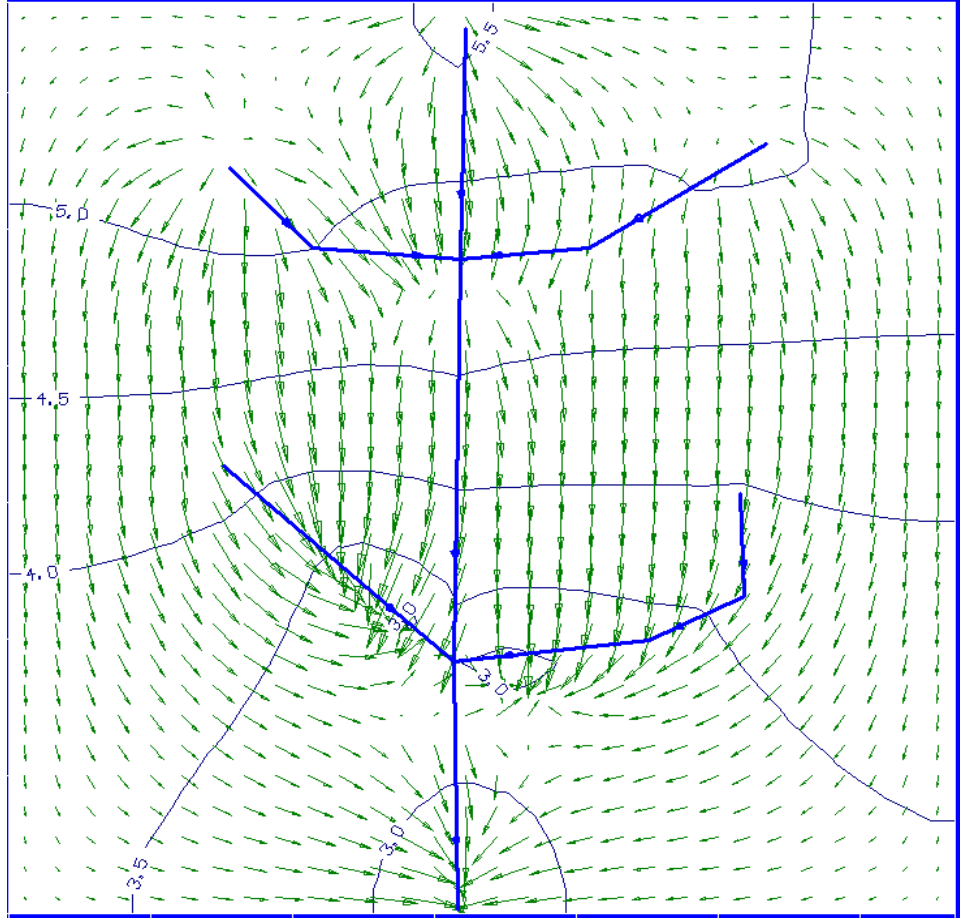
Şekil 5.93. Yan kollu kompleks akifer modelinde nehir akifer etkileşimi



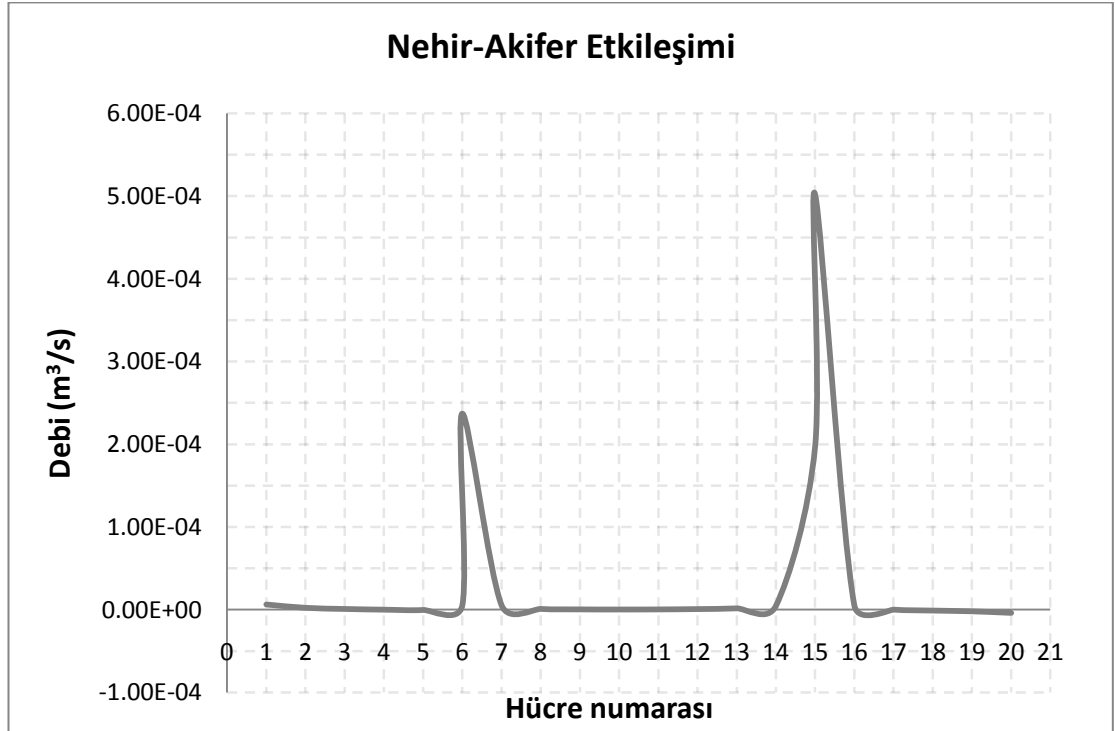
Şekil 5.94. Yan kollu kompleks akifer modelinde yan kollardaki nehir-akifer etkileşimi



Şekil 5.95. Yan kollu kompleks nehir modelinde nehir akışı



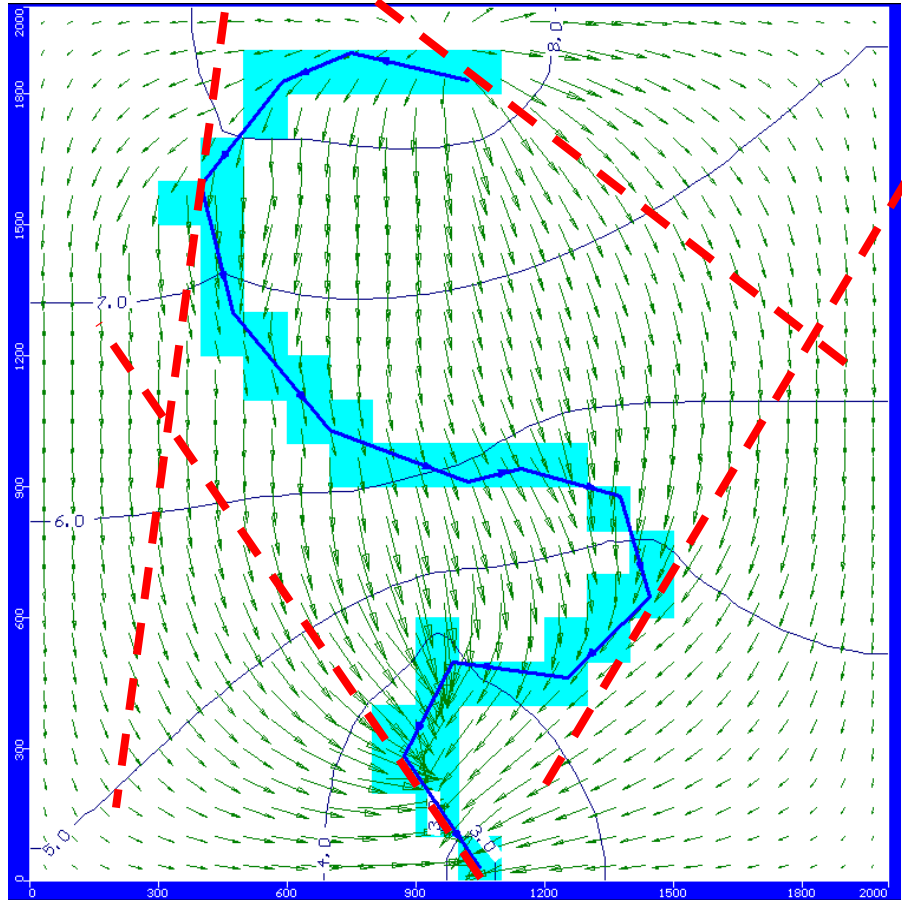
Şekil 5.96. Yan kolun akış hattının değiştirildiği modelin YASS dağılımı ve hız vektörleri



Şekil 5.97. Yan kolun akış hattının değiştirildiği modelin nehir-akifer etkileşimleri

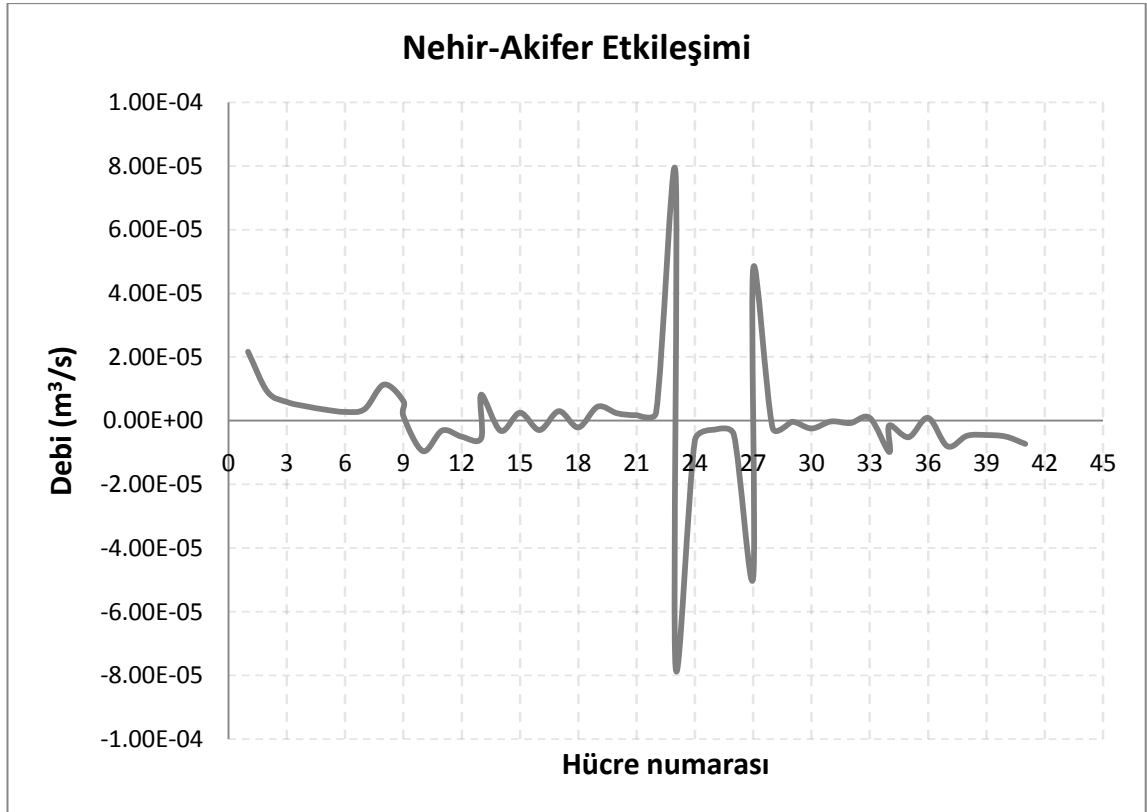
5.1.5.3. Kıvrımlı Nehir Modeli

Bu modelde şekilde görülen kıvrımlı bir nehir tanımlanmıştır. Menderes boyu ve genişliği farklı olan üç kıvrımlı bu nehre başlangıç noktasında $4 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik bir debi verilmiştir. Nehir tabanının başlangıç kotu 8 m, bitiş kotu ise 2 m'dir. Yeraltı suyu dağılımı ve hız vektörleri Şekil 5.98'de görülmektedir. Bu şekil incelendiğinde nehrin her segmentinde ve segmentlerin her parçasında sürekli bir akış girişi ve çıkışı olduğu görülmektedir. Yeraltı suyu dağılımının genel görüntüsü, etkileşim ile oluşan akımın nehrin başlangıç ve bitiş noktaları dikkate alınarak mendereslere çizilen teğetler arasında ilerlediğini göstermektedir. Bu çizgiler arasında üst segmentten akifere gelen akış alt segmente doğru akmış ve buradan tekrar nehre katılmıştır. Segmentler arasındaki bu alış-veriş menderes boyu kısaldıkça ve menderes genişliği arttıkça daha yoğun ve belirgin olarak gözlenmiş, nehrin 2. kıvrımını bağlayan segmentler arasında oluşan akım bu duruma örnek teşkil etmiştir. Ayrıca nehrin kıvrıldığı noktalarda nehrin etrafındaki akım bu kıvrım noktalarına doğru yönelmiştir. Özellikle tüm akışı toplayan 3. kıvrımda bu etki daha belirgin olarak gözlenmiştir.

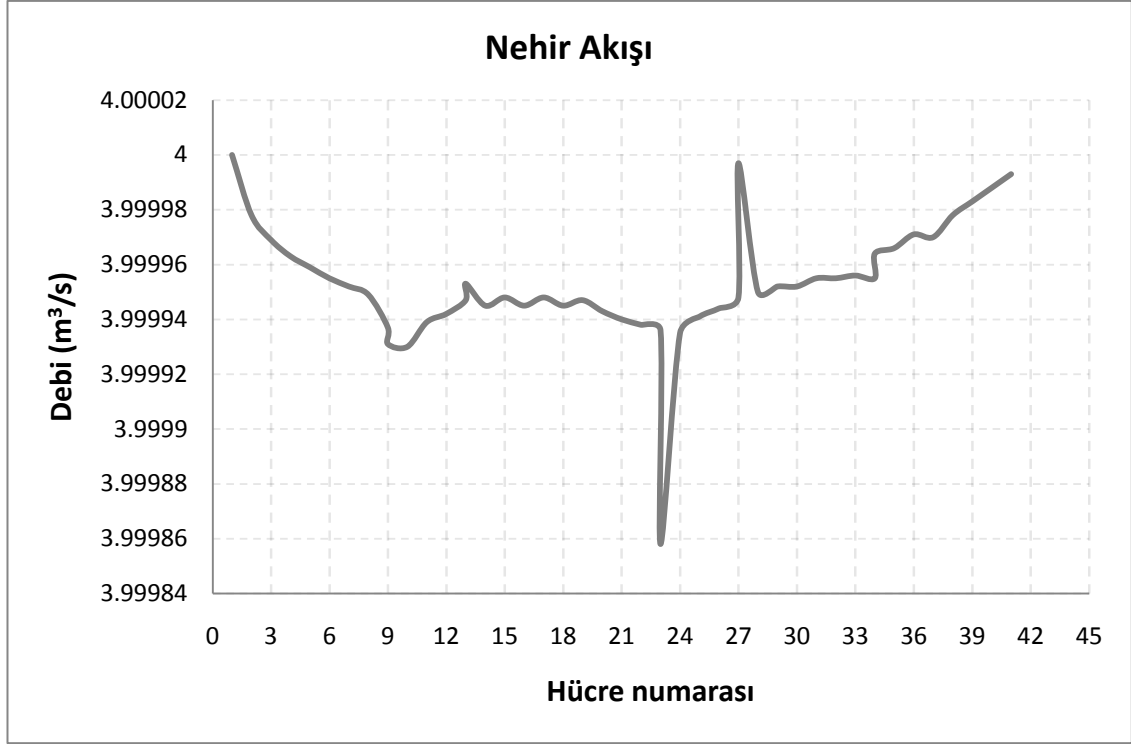


Şekil 5.98. Kıvrımlı nehir modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri

Menderesli nehirlerdeki akış, ilerleyişi sırasında sürekli olarak nehrin kenarlarına doğru çarpar ve bu çarpma sonucu akifere geçiş görülür. Bölgenin topoğrafyasına göre akifere giren su tekrar nehre dönebilir veya akiferin başka bir noktasına sürüklenir. Yani menderesli nehirlerde etkileşim görülmesi beklenmektedir. Şekil 5.99'da yapılan analizler sonucu elde edilen etkileşim grafiği de bu etkileşimin oldukça yoğun olduğunu göstermektedir. Başlangıçta akifere doğru yönelen etkileşim 9. hücrede nehre doğru yön değiştirmiş ve 13. hücreye kadar bu durumunu korumuştur. 13. hücreden sonra etkileşim sürekli olarak yön değiştirmiştir. 23. hücrede debisi ani olarak artmış ve nehre yönelmiştir. 27. hücrede ise tekrar akifere ani bir debi ile geçiş yapmıştır. Buradan sonra ağırlıklı olarak nehre doğru etkileşim gerçekleşmiştir. Grafikte dikkat çeken nokta etkileşimin yönü aynı olsa bile sürekli farklı ve değişken debi değerlerine sahip olarak ilerlemesidir. Bu durum da kıvrımlı nehir boyunca etkileşim sonucu nehir-akifer arasındaki alış-verişin ne kadar yoğun olduğunu doğrulamaktadır. Etkileşim debisi $8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ değerine kadar yükselmiştir. Şekil 5.100'de görülen nehirdeki debi değişimi ise etkileşim grafiği ile uyumlu olarak artıp azalmıştır.



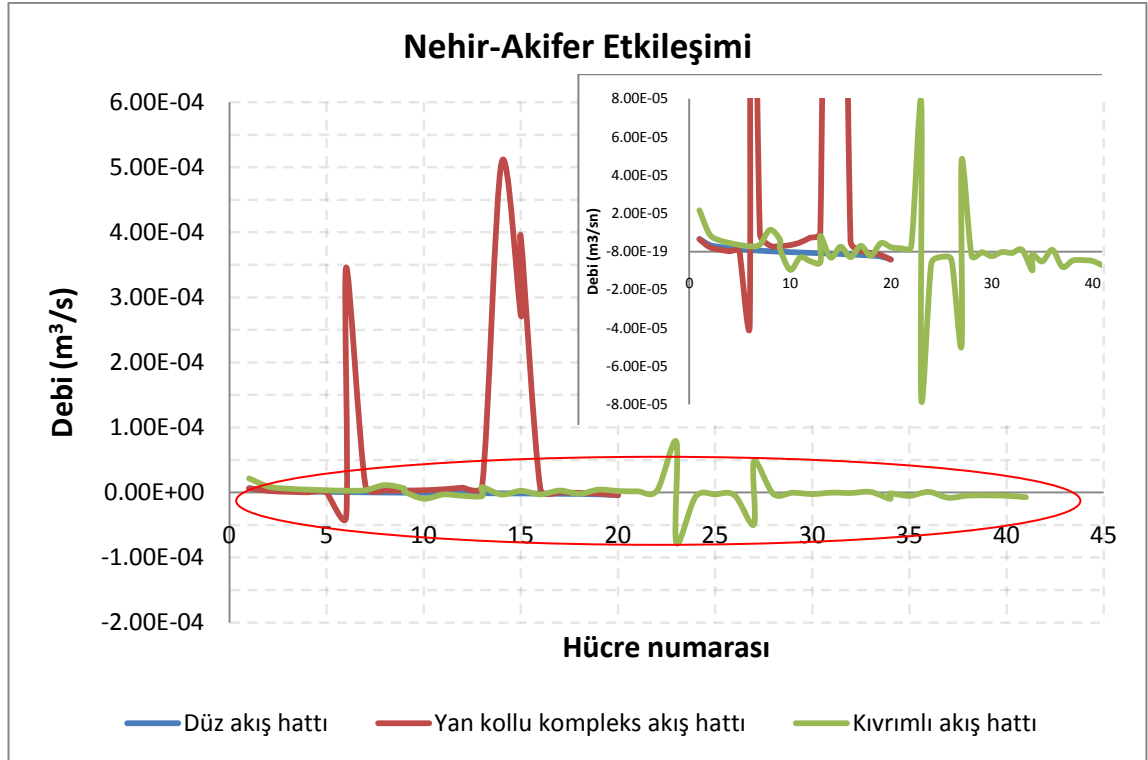
Şekil 5.99. Kıvrımlı nehir modelinde nehir-akifer etkileşimi



Şekil 5.100. Kıvrımlı nehir modelinde nehir akışı

5.1.5.4. Karşılaştırma

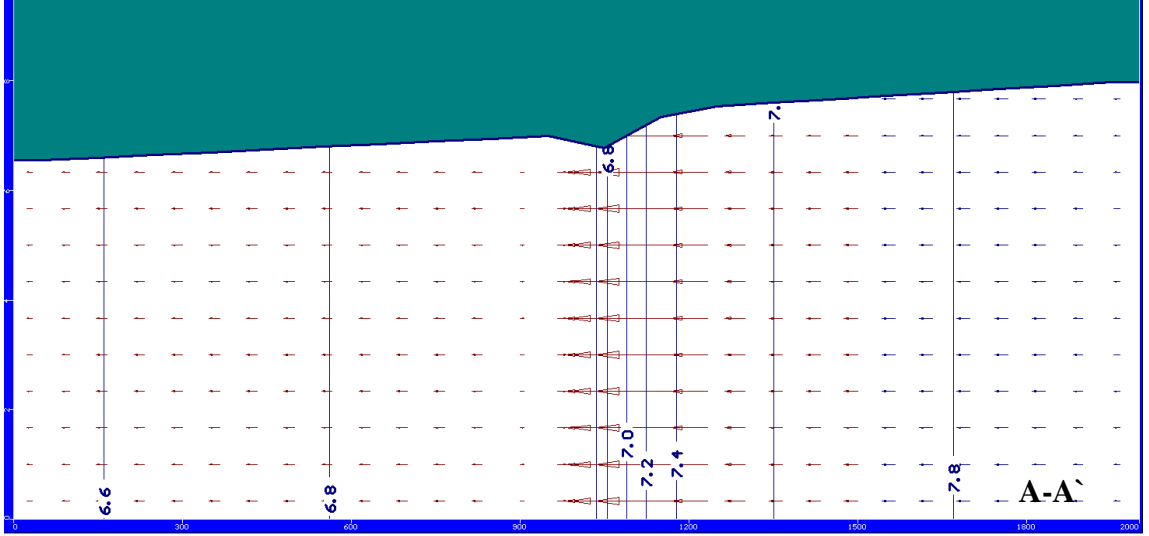
Analizi yapılan 3 farklı nehir akış hattına ait elde edilen yeraltı suyu dağılımı ve etkileşimler Şekil 5.101’de gösterilmiştir. Bu grafik incelendiğinde, farklı akış hatlarının nehir-akifer arasındaki etkileşimleri büyük ölçüde etkilediği görülmüştür. En kararlı etkileşim basit nehir modelinde gerçekleşmiş, akımın belli bölgelerinde aynı yönde ve lineere yakın bir debi değişim grafiği elde edilmiştir. Kompleks nehir modelinde ise etkileşimler daha aktif hale gelmiştir. Yan kolların etkileşim üzerindeki rolü oldukça büyük olmuş, bu durum ana koldaki akımı da etkilemiştir. Ayrıca yan kolların ve ana kolun birleştiği noktalarda etkileşimin çok arttığı gözlenmiştir. Etkileşim debisi düz akış hattında lineere yakın olarak sürekli azalırken (veya artarken), burada periyodik olarak (4-5 hücrede bir) lineere yakın bir şekilde azalıp artmıştır. Kıvrımlı akış hattında ise sürekli artıp azalarak değişkenlik göstermiştir. Kıvrımlı nehir hattında akiferdeki akımı oldukça etkileyen nehir-akifer etkileşimleri meydana gelmiştir. Etkileşim debisi istikrarsız olarak kısa periyotlarda sürekli değişmiştir. Kıvrımların boyu ve genişliğinin bu etkileşimin yayıldığı alanı etkilediği anlaşılmıştır. Tüm modeller incelendiğinde en istikrarsız etkileşim karakteri ve yayılı olarak en yüksek etkileşim debisi kıvrımlı nehirde, noktasal olarak en büyük etkileşim debisi ise nehrin yan kollarla birleşme noktalarında olduğu gözlenmiştir.



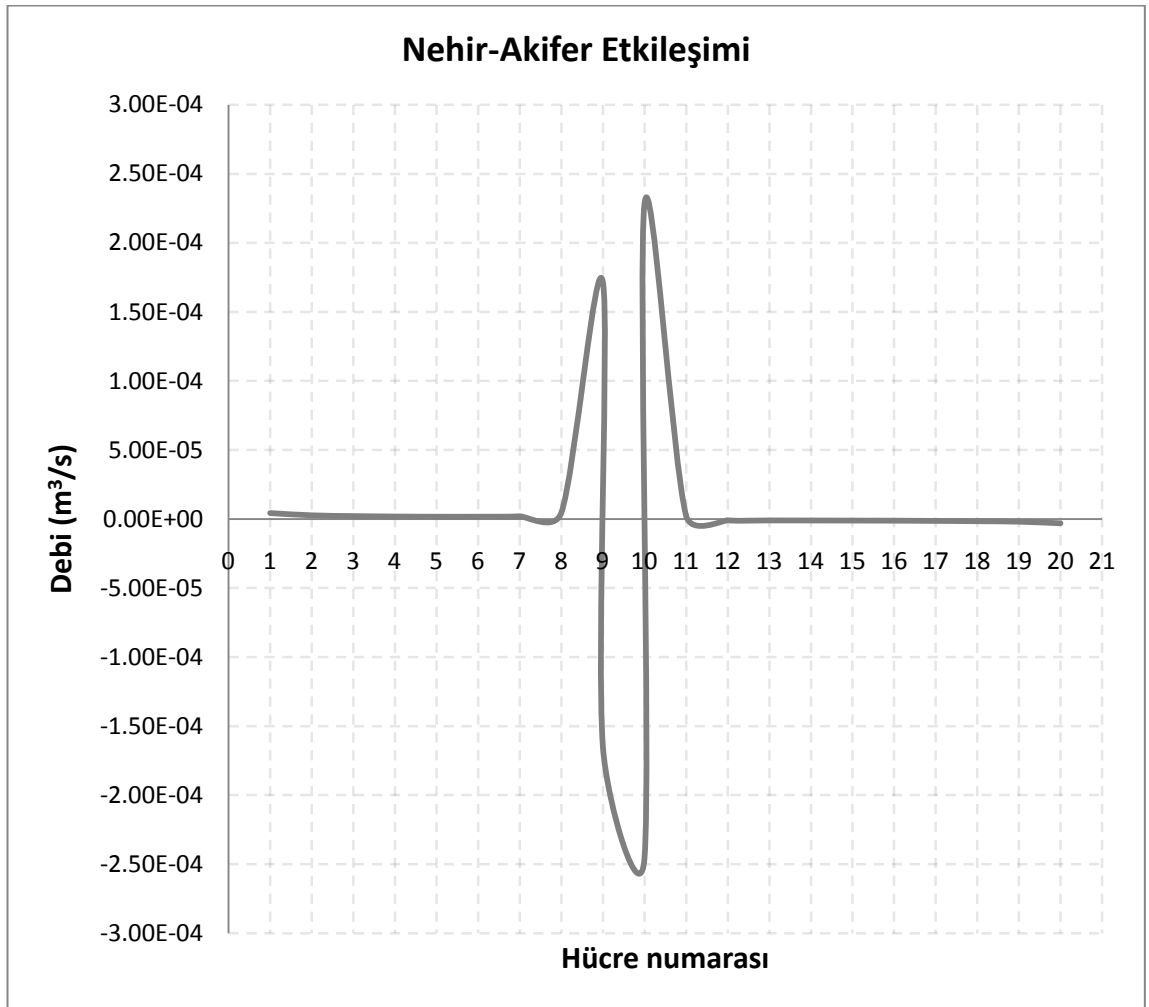
Şekil 5.101. Nehrin akış hattının nehir-akifer etkileşimlerine etkisi

5.1.6. Nehir Yatağındaki Ani Eğim Değişiminin YüzeY Suyu-Yeraltı Suyu Etkileşimlerine Etkisi

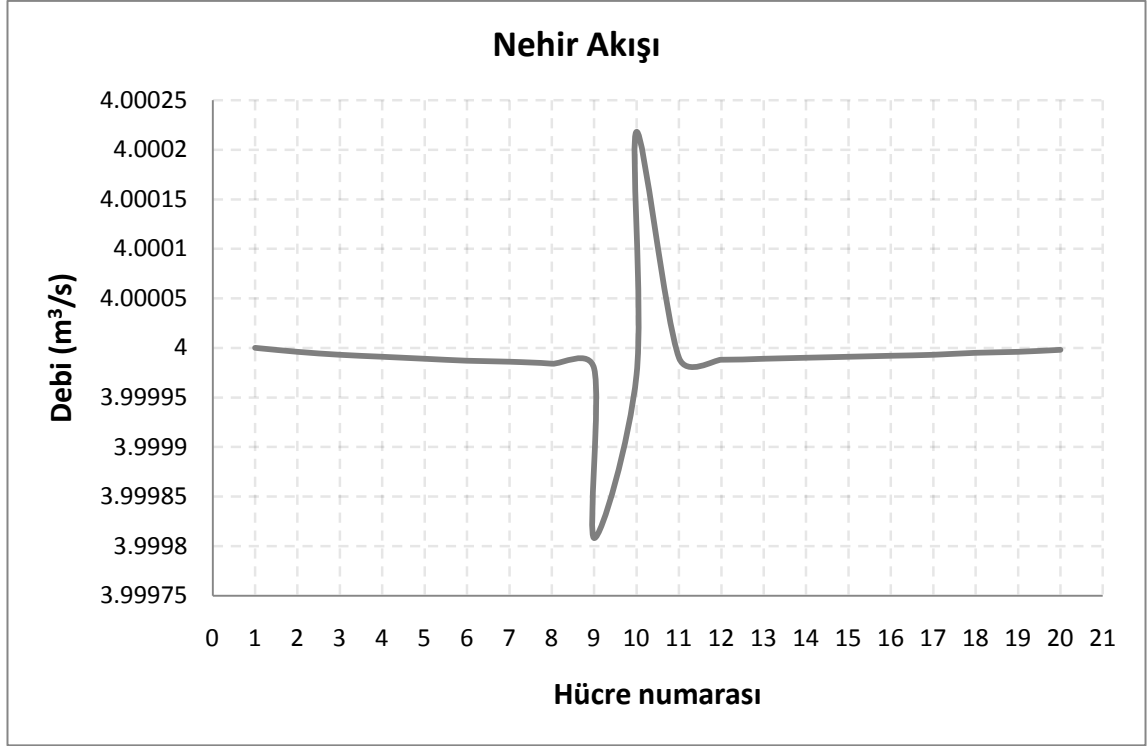
Nehir yatakları, bölgesel topoğrafik özelliklerden dolayı her zaman aynı eğimle ilerlemeyebilir. Aynı yatak üzerindeki farklı eğimler akımın karakterini değiştirebilirler. Çalışmanın bu bölümünde düz akış hattına sahip olan bir nehrin orta kısmındaki, yaklaşık olarak 100 m'lik bir bölgesinde ani eğim değişimi yapılarak akımda meydana gelen değişiklikler incelenmiştir. Bu değişimin yüzeY suyu-yeraltı suyu etkileşimlerine olan etkileri gözlenmiştir. Modeller kurulurken 3 farklı durum göz önüne alınmıştır. Birinci durumda ani eğim değişimi düşük bir eğimle gerçekleşmiştir. İkinci ve üçüncü durumlarda bu eğim biraz daha arttırılmıştır. Kullanılan nehir düz akış hattına sahiptir ve 3 segmentten oluşmaktadır. 1. segmentin eğimi tüm modellerde sabit ve 0.00063,3. segmentin eğimi sabit ve 0.0005 değerindedir. 2. segment ani eğim değişiminin olduğu segmenttir. Nehir yatağının pürüzlülüğü tüm modellerde 0.06 değerindedir. Nehre 4 m^3/s 'lik bir debi verilmiştir. Akımın modellendiği akifer siltli basit akifer modelinden türetilmiştir. Herhangi bir sınır koşulu tanımlanmamıştır ve başlangıç su yüksekliği 5 m girilmiştir.



Şekil 5.103. Düşük eğimle ani eğim değişimi modelinde nehrin boy kesiti



Şekil 5.104. Düşük eğimle ani eğim değişimi modelinde nehir-akifer etkileşimleri



Şekil 5.105. Düşük eğimle ani eğim değişimi modelinde nehir akışı

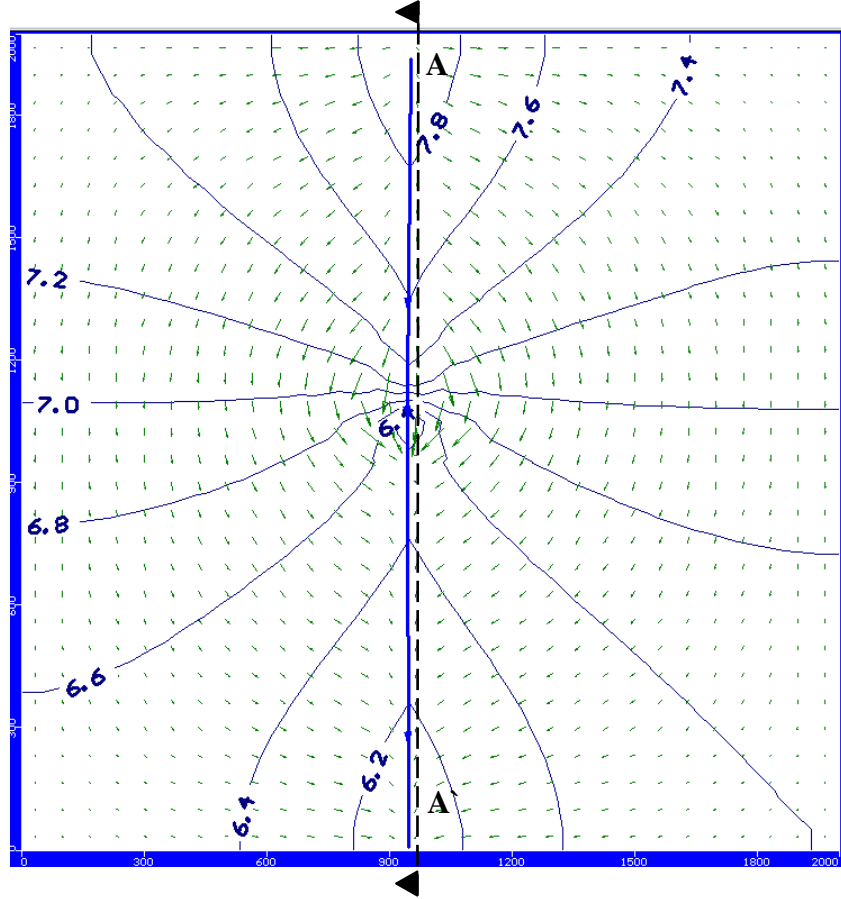
5.1.6.2. Orta Dereceli Eğimle Ani Eğim Değişimi

Ani eğim düşüşünün orta dereceli bir eğim ile oluşturulduğu bu modelde, 1. ve 3. segmentin eğimleri değiştirilmemiş, ani düşüşün gerçekleştiği 2. segmentteki eğim 0.01 değerine arttırılmıştır. Analiz sonucu oluşan yeraltı suyu akımı ve hız vektörleri Şekil 5.106'da, nehir kesiti Şekil 5.107'de görülmektedir. Bu durum altında meydana gelen etkileşimler ise şekil Şekil 5.108 ve Şekil 5.109'dan takip edilebilir.

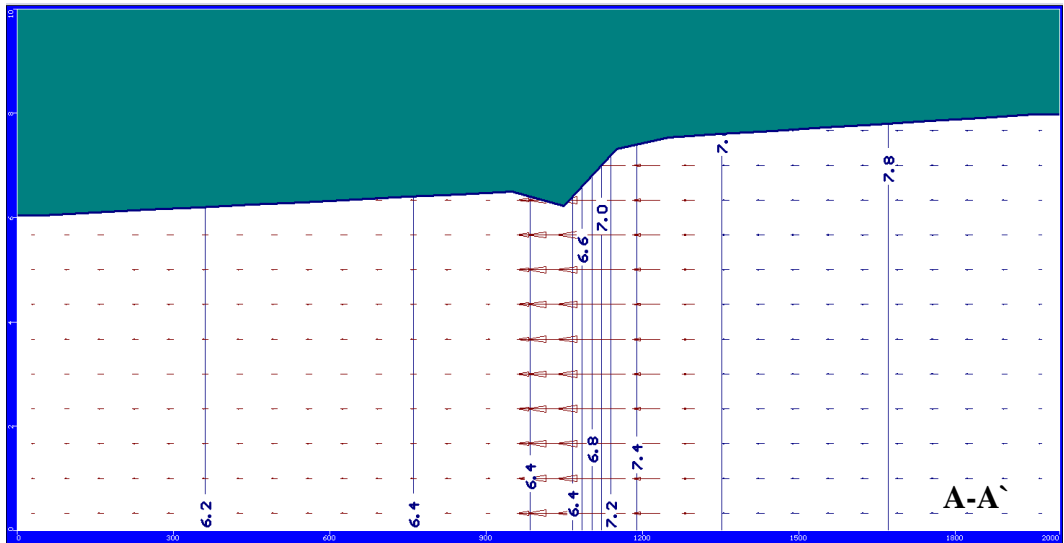
Yeraltı Δx mesafesindeki suyu akımı bir önceki modele benzer bir şekilde dairesel bir formda yayılarak aşağı doğru ilerlemiştir. Üst bölgelerde nehirden akifere doğru bir akım oluşurken, alt bölgelerde akım akiferden nehre dönüş eğilimindedir. Eğimin aniden düştüğü noktada bir önceki modele göre daha yoğun bir yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimi gözlenmiştir. Akifere yayılan suyun hızını gösteren vektörler bir miktar küçülmüş, ancak düşüşün olduğu bölgedeki hız vektörleri büyümüştür. Yani ani eğim değişiminin olduğu yerdeki akım miktarı artmıştır. Nehirde, 1. ve 3. segmentte su yüksekliği yaklaşık 1 m iken, 2. segmentte 0.42 m'ye düşmüştür.

Şekil 5.108'deki nehir-akifer etkileşimi grafiği incelendiğinde ani eğim düşüşünün görüldüğü noktada diğer bölgeler göre oldukça yüksek bir etkileşim debisi

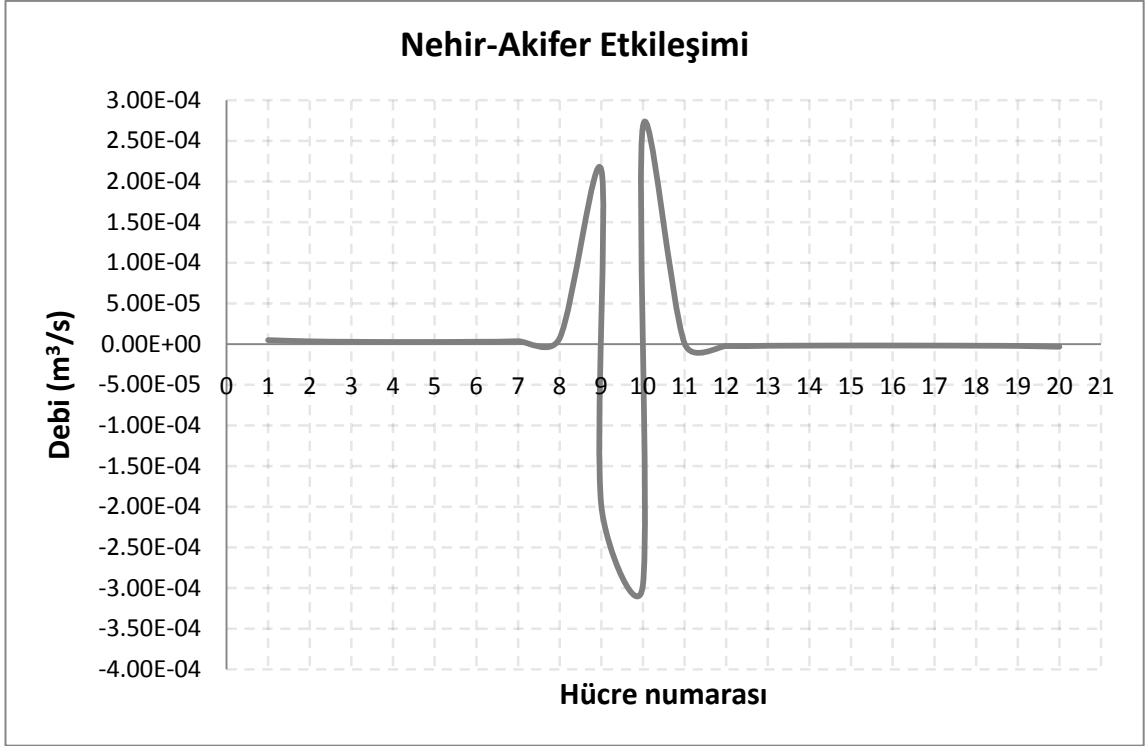
görülmektedir. Genel davranış bir önceki model ile aynıdır. Etkileşim debisi ani değişiminin olduğu yerde $10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ mertebesinde dir. Nehirdeki debi değişimi ise etkileşim grafiği ile uyumlu olarak ilerlemiş ve $4 \text{ m}^3/\text{s}$ değerine yakın olarak artıp, azalmıştır. Debi değişimi ani düşüşün olduğu bölgede daha yüksek mertebelerde olmuştur.



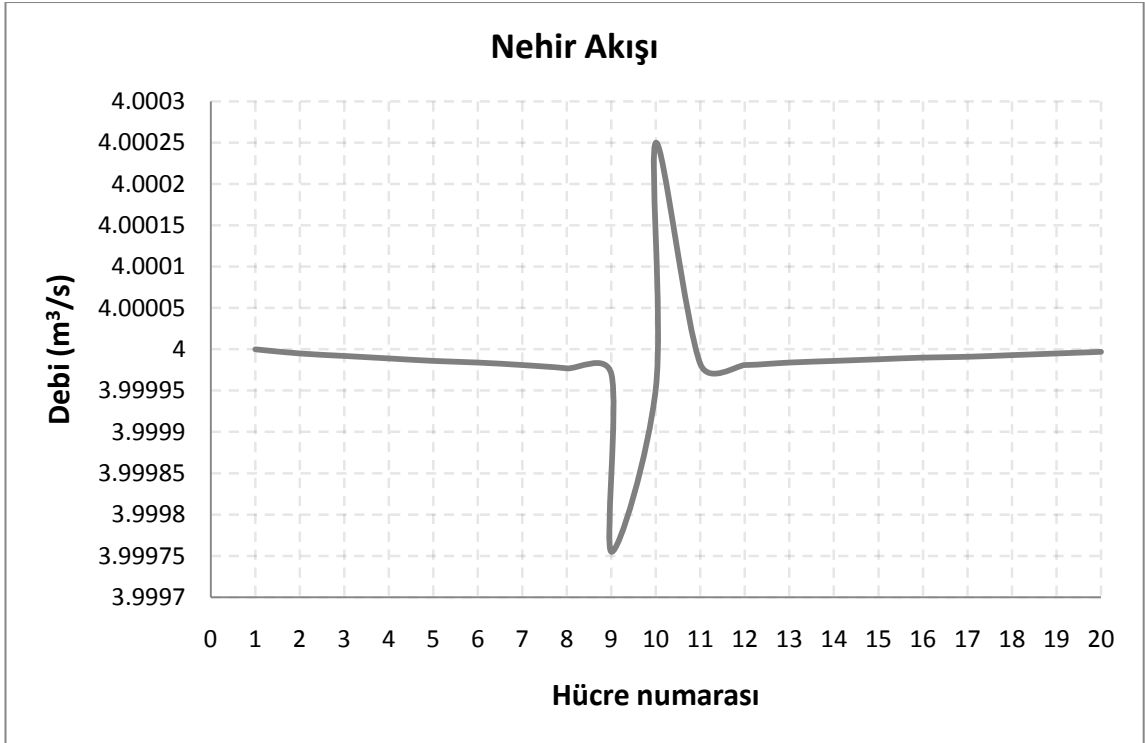
Şekil 5.106. Orta dereceli eğimle ani eğim değişimi modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri



Şekil 5.107. Orta dereceli eğimle ani eğim değişimi modelinde nehrin boy kesiti



Şekil 5.108. Orta dereceli eğimle ani eğim değişimi modelinde nehir-akifer etkileşimleri

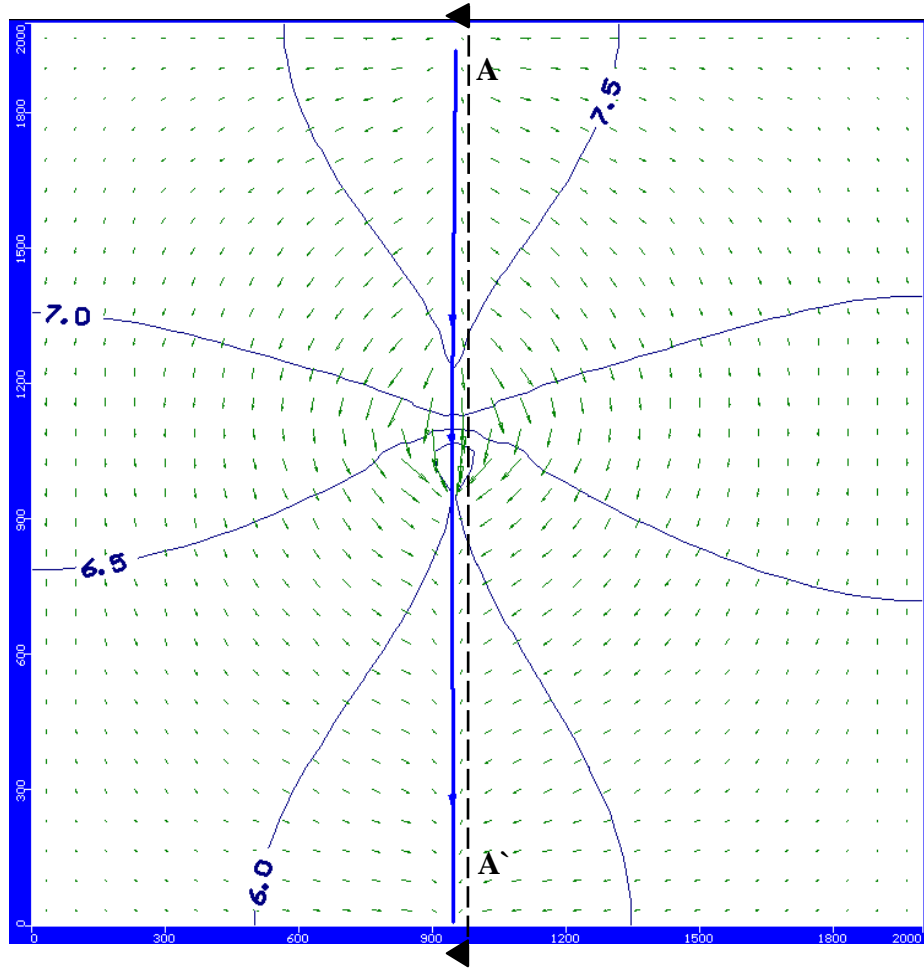


Şekil 5.109. Orta dereceli eğimle ani eğim değişimi modelinde nehir akışı

5.1.6.3. Yüksek Eğimle Ani Eğim Değişimi

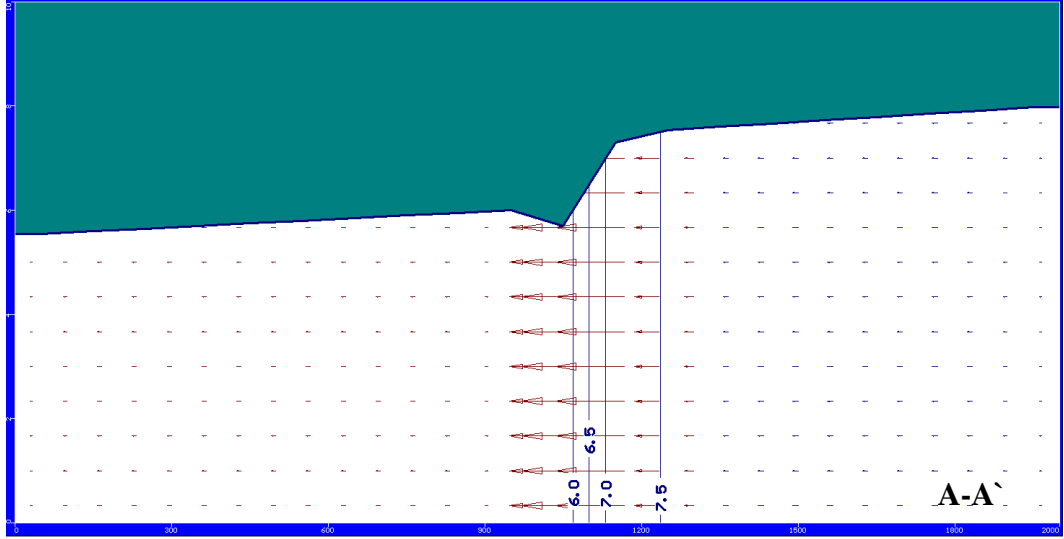
Ani eğim düşüşünün yüksek dereceli bir eğim ile oluşturulduğu bu modelde de, 1. ve 3. segmentin eğimleri değiştirilmemiş, ani düşüşün gerçekleştiği 2. segmentteki eğim 0.015 değerine arttırılmıştır. Analiz sonucu oluşan yeraltı suyu akımı ve hız vektörleri Şekil 5.110'da, nehir kesiti Şekil 5.111'de görülmektedir. Bu durum altında meydana gelen etkileşimler ise Şekil 5.112 ve Şekil 5.113'den takip edilebilir.

Yeraltı suyu akımı incelendiğinde akım karakterinin daha önceki modellerle aynı dairesel forma sahip olduğu görülmektedir. Ancak yeraltı suyu hızını gösteren vektörler akifer etrafında biraz daha küçülmüştür. Nehir-akifer arasındaki yüksek akım yoğun olarak düşüşün gerçekleştiği bölgede meydana gelmiştir. Yani ani düşüş sonucu oluşan etkileşimler ve nehirdeki su seviyesi değişimi yeraltı suyuna dağılan akımı etkilemektedir. Modelin üst bölgelerinde akım nehirden akifere yönelirken, alt bölgelerde çok küçük hızlarda nehrin çıkış noktasına doğru ilerlemiştir. 1. ve 3. segmentte nehirdeki su yüksekliği yaklaşık 1 m iken, 2. segmentte 0.38 m'ye düşmüştür.

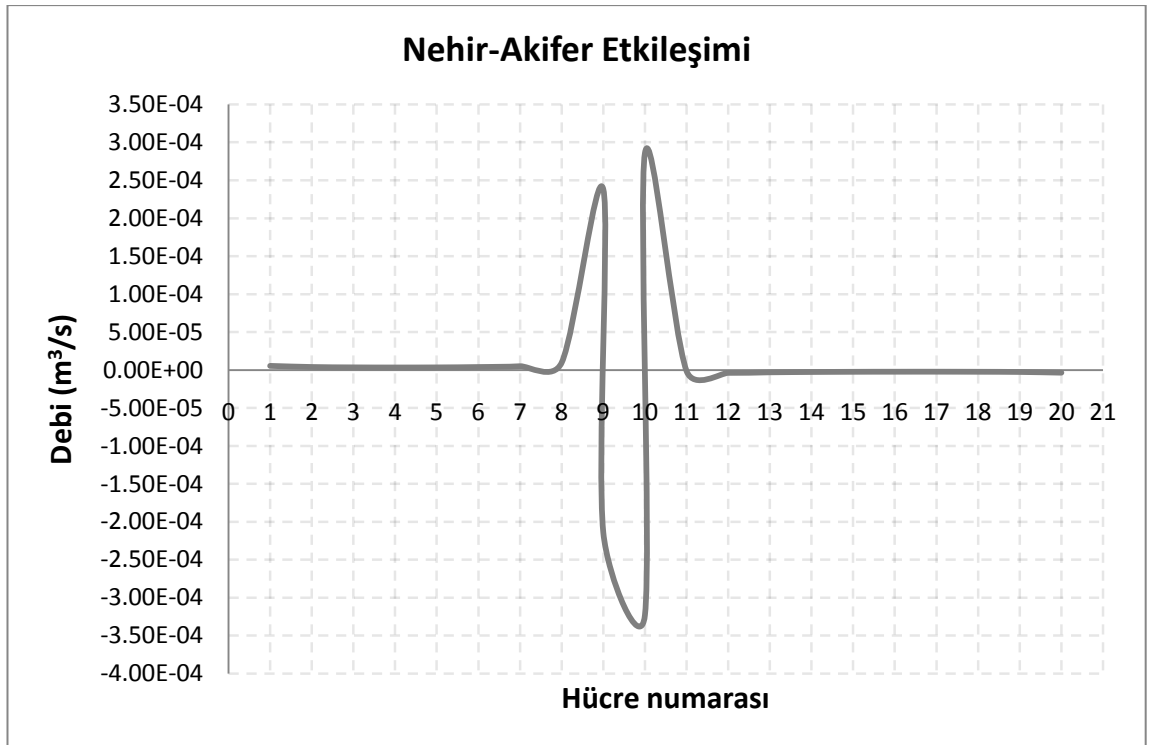


Şekil 5.110. Yüksek eğimle ani eğim değişimi modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri

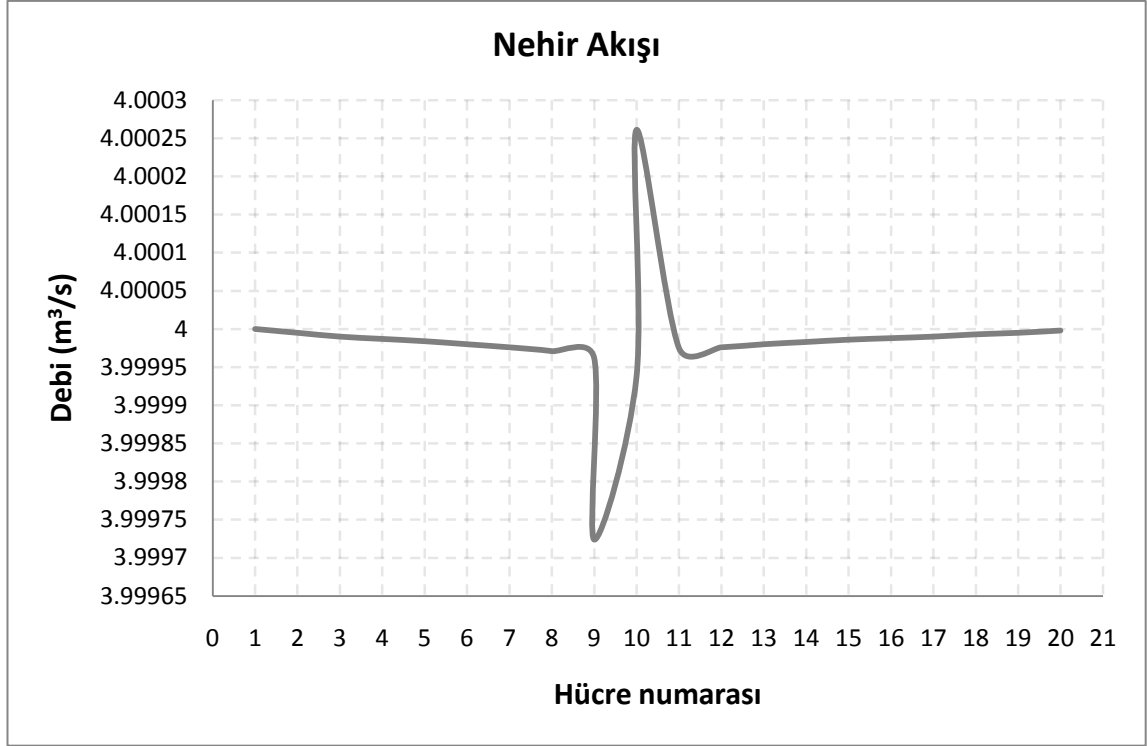
Bu durumdaki etkileşimler incelendiğinde ise yine düşüş olan bölgede yüksek debili bir etkileşim görülmektedir. Aynı şekilde nehirdeki debi de bu noktada ani azalıp artmaktadır. Etkileşim debisi merteye olarak önceki modellere benzemektedir.



Şekil 5.111. Yüksek eğimle ani eğim değişimi modelinde nehrin boy kesiti



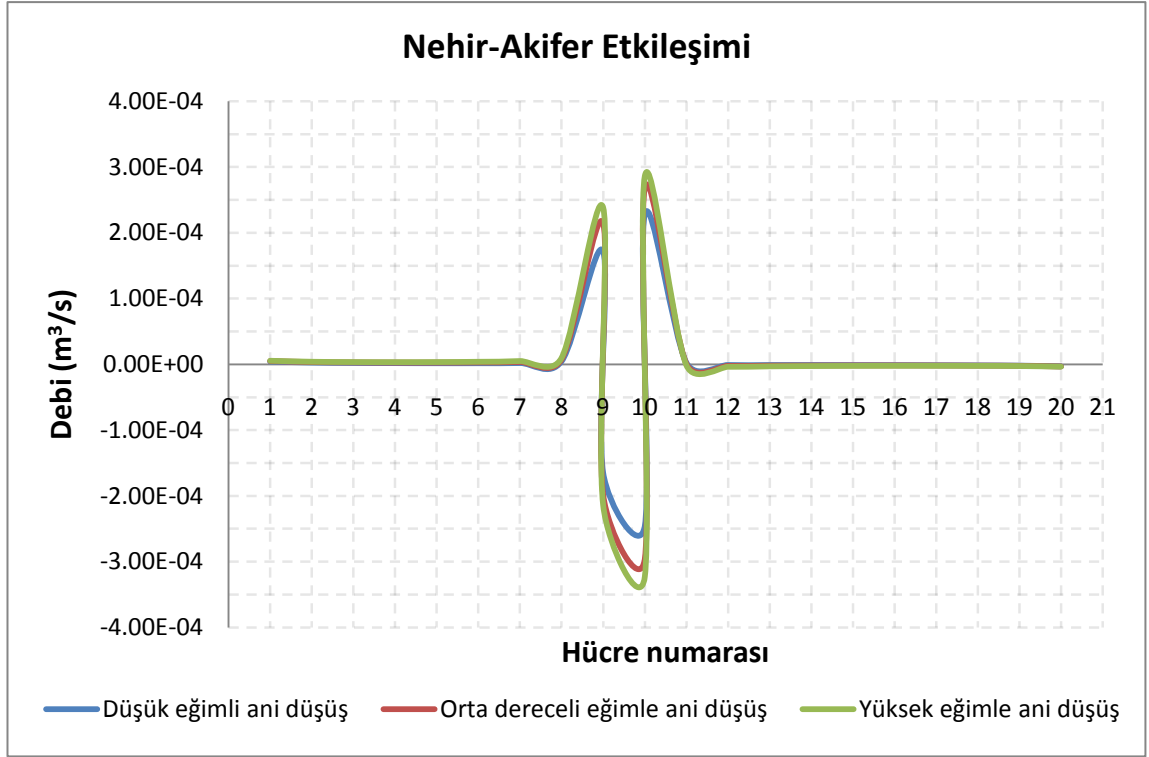
Şekil 5.112. Yüksek eğimle ani eğim değişimi modelinde nehir-akifer etkileşimleri



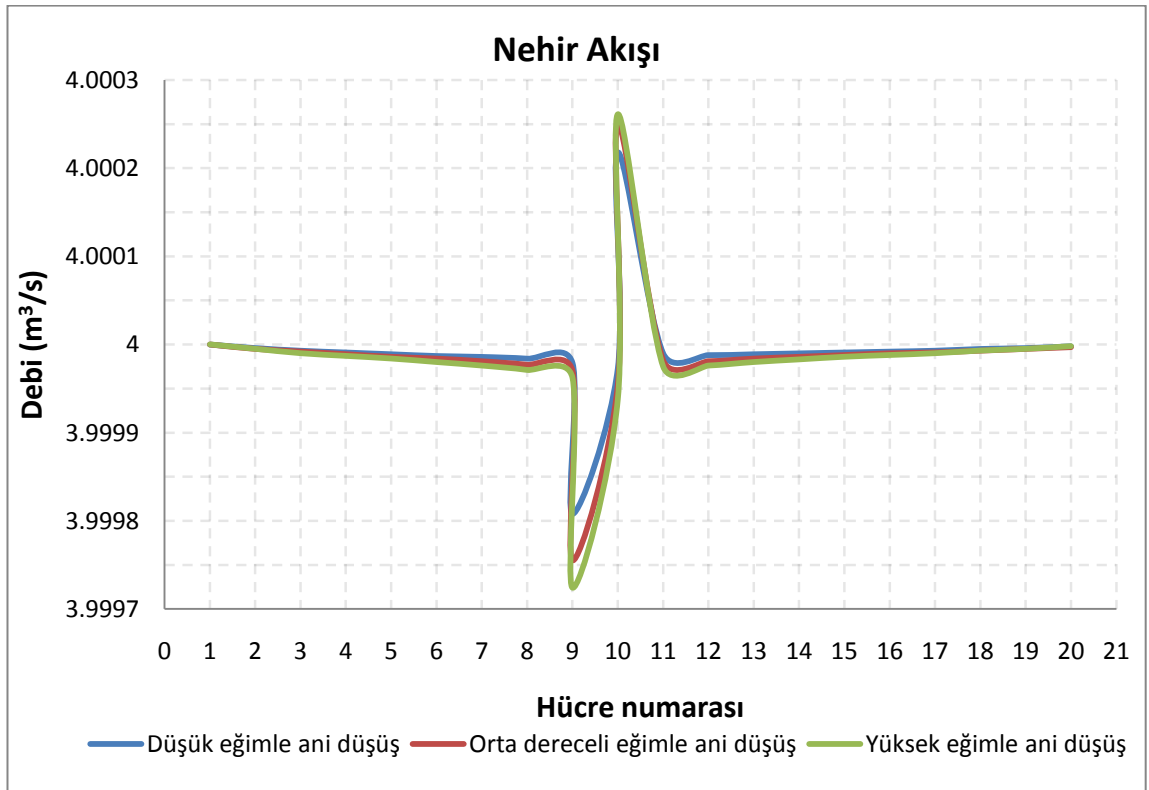
Şekil 5.113. Yüksek eğimle ani eğim değişimi modelinde nehir akışı

5.1.6.4. Karşılaştırma

Nehirdeki ani eğim değişiminin yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri üzerine olan parametrik etkisini gözlemek için tüm sonuçların tek grafikte sunulmuş hali Şekil 5.114'den ve Şekil 5.115'ten incelenebilir. Grafikte tüm durumlar için başlangıçta nehirden akifere doğru akım varken, çıkışa yakın noktalarda akiferden nehre doğru bir etkileşim olduğu görülmektedir. Etkileşim karakteri ise tüm modellerde ani eğim düşüşünün olduğu bölgede yoğun olarak değişmiştir. Başlangıç ve bitiş noktalarında etkileşim debisinin mertebesinin aynı olduğu ve tüm durumlar için aralarındaki farkın da daha az olduğu görülmektedir. Farklar az olsa da etkileşim debisi, nehirdeki ani düşüşün yüksek eğimle gerçekleştiği durumda, en yüksek değerindedir. Ani düşüşün olduğu bölgede ise etkileşim debileri tüm durumlarda 10^{-6} m³/s mertebesinden 10^{-4} m³/s mertebesine yükselmiştir. Bu yükselme miktarının yine ani eğim düşüşünün yüksek eğimle gerçekleştiği durumda en fazla olduğu ve maksimum etkileşim debisinin 3×10^{-4} m³/s olarak bu durumda ortaya çıktığı gözlenmiştir. Aynı şekilde nehirdeki debi değişimi, düşerken en fazla düşüşü, yükselirken de en fazla yükselmeyi, ani düşüşün yüksek eğimle gerçekleştiği durumda göstermiştir. Bu da etkileşimlerin yüksek eğimle gerçekleşen ani düşüşten daha fazla etkilendiğini göstermektedir. En az etkileşim ise düşük eğimle gerçekleşen ani düşüşte görülmüştür.



Şekil 5.114. Nehir yatağındaki ani eğim değişiminin nehir-akifer etkileşimine etkisi



Şekil 5.115. Nehir yatağındaki ani eğim değişiminin nehir akışına olan etkisi

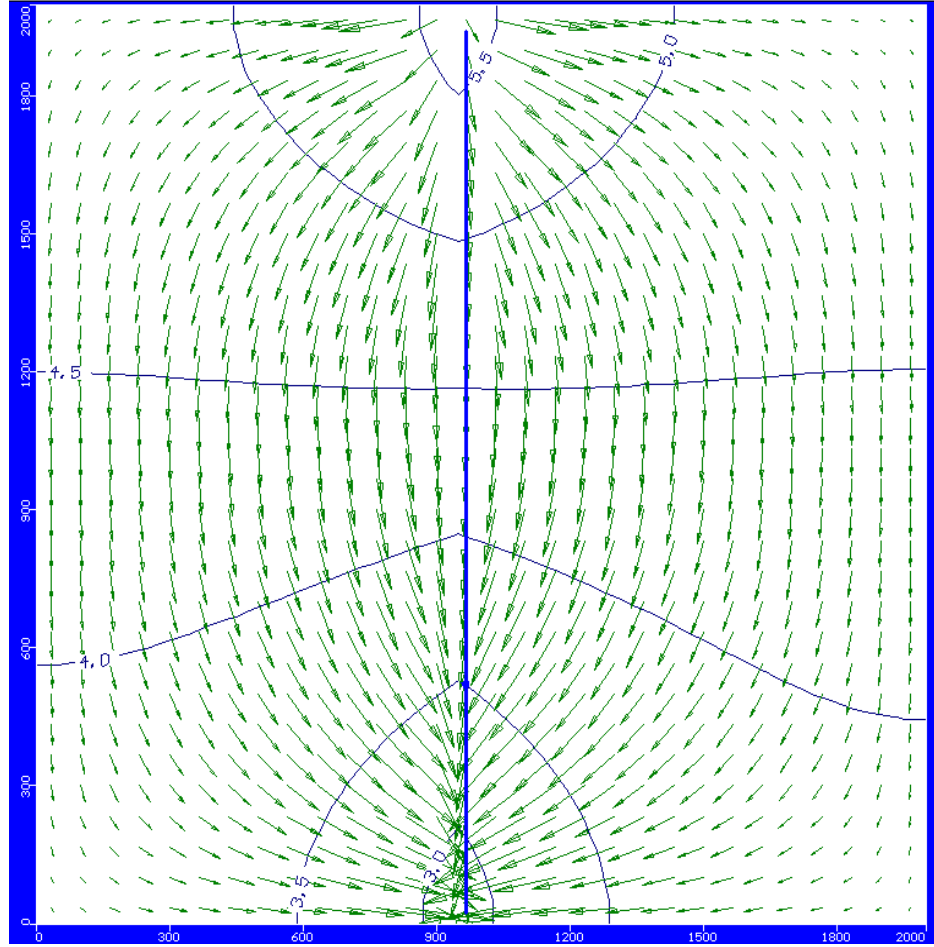
5.1.7. Akifer Özelliklerinin YüzeY Suyu-Yeraltı Suyu Etkileşimlerine Etkisi

Yeraltı suyu akımı, akifer içerisinde ilerlediğinden akifere ait parametreler bu akışı direkt olarak etkilemektedir. Akifer içerisindeki zemin tabakaları, geçirimsiz tabakalar ve bu tabakaların permeabilite, porozite gibi karakteristik özellikleri akımın ilerleyişinde önemli rol oynarlar. Yeraltı suyu akımını açıklayan Darcy yasası incelendiğinde, akımı etkileyecek en önemli zemin parametresinin hidrolik iletkenlik olduğu görülür. Bu nedenle çalışmanın bu bölümünde hidrolik iletkenliğin etkileşimler üzerindeki rolü kurulan prototip model ile araştırılmıştır.

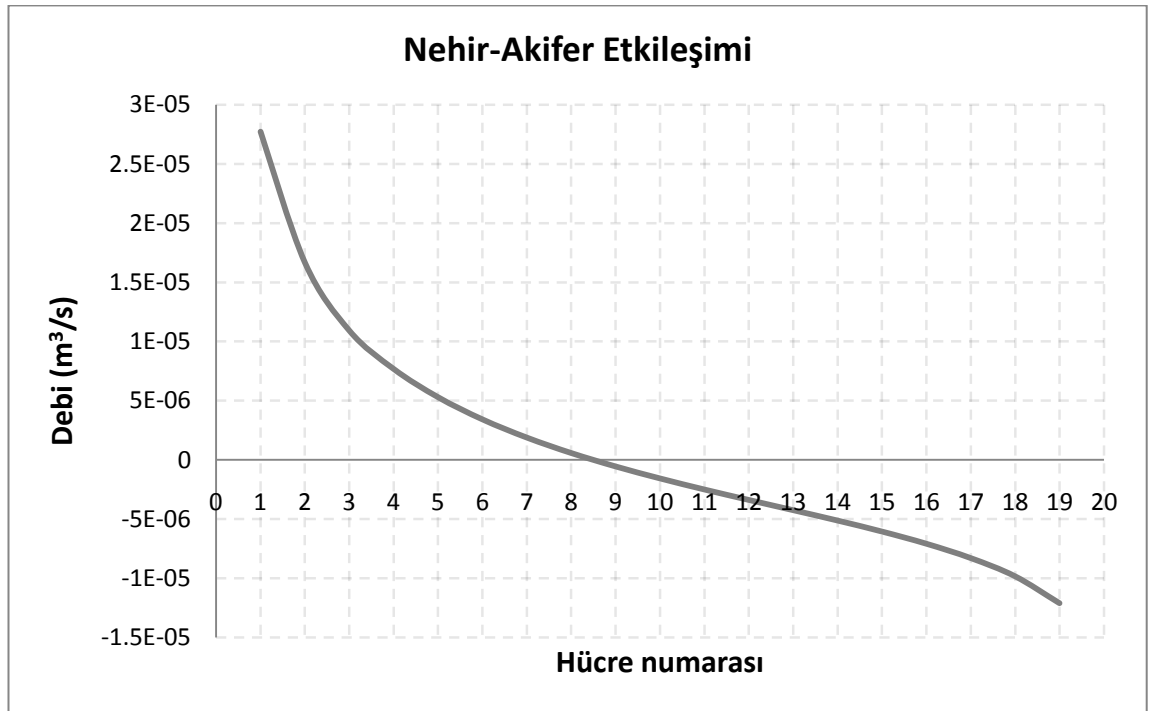
Hidrolik iletkenlik için kurulan prototiplerde iki farklı model kullanılmıştır. Bu prototiplerden birincisinde siltli zemine ait bir akiferde basit nehirde oluşan yüzeY suyu-yeraltı suyu etkileşimlerini, ikincisinde ise kumlu bir zemindeki basit nehirde oluşan yüzeY suyu-yeraltı suyu etkileşimleri modellenmiştir. Siltli zemine sahip akiferde basit bir nehir modelindeki etkileşim ve yeraltı suyu akımı sonuçları daha önce bölüm “5.1.5.1. Düz akış hattına sahip nehir modeli”nde verildiği için bu bölümde tekrarlanmamıştır. Sadece kumlu zemine sahip olan akiferde yapılan analiz sonuçları sunulmuş ve her iki modelin karşılaştırılması yapılmıştır.

5.1.7.1. Kumlu Akiferde Basit Nehir Modeli

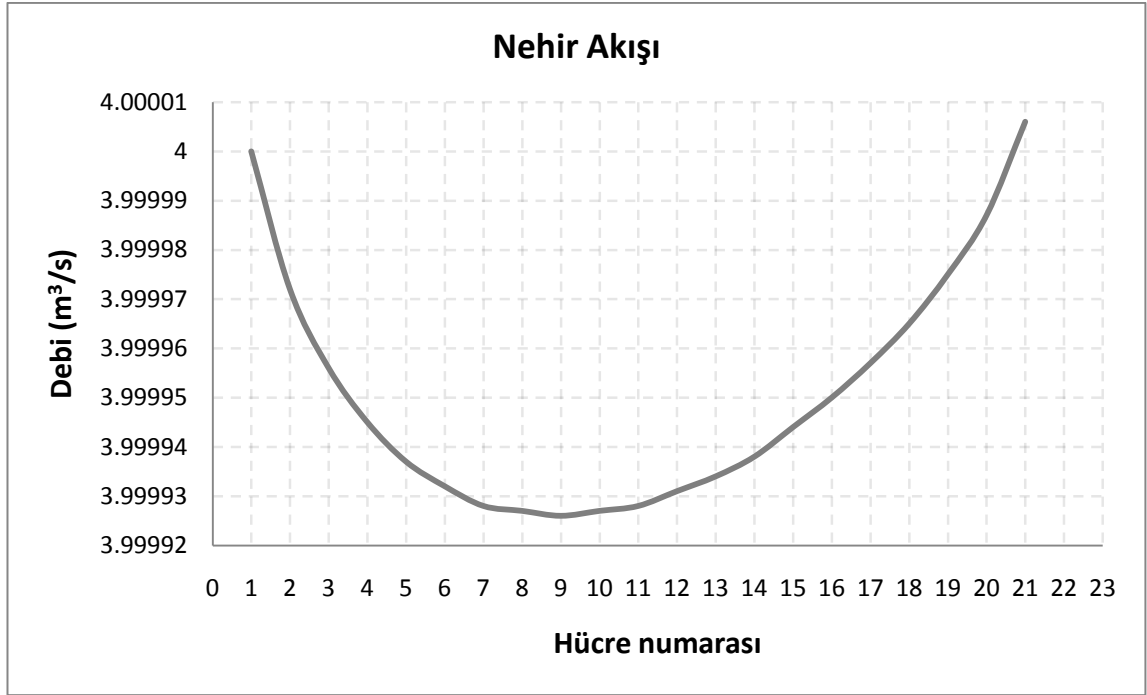
Bu modelde hidrolik iletkenliğı 0.083 cm/s olan kumlu akiferde düz akış hattına sahip bir nehir oluşturulmuştur. Nehir yatağı kotu 5 m'den 2 m'ye azalmaktadır. Nehir yatağındaki pürüzlülük 0.06 ve nehrin genişliğı 10 m'dir. Model analizi sonucu elde edilen yeraltı suyu dağılımı Şekil 5.116'da görölmektedir. Şekilde göröldüğü gibi nehrin başlangıç noktasında akifere doğru bir akım varken ilerleyen kısımlarda akım nehre doğru yönelmiştir. Nehirdeki su yüksekliğı 0.74 m'dir. Bu durumda oluşan nehir-akifer etkileşimleri ise Şekil 5.117'de görölmektedir. Bu grafikte etkileşim debisini ifade eden eğrinin eğiminin fazla olduğu görölmektedir. Nehrin karakterinden ötürü akım istikrarlı ancak debinin yere göre değışimi oldukça hızlıdır. Başlangıçta akifere doğru hızla akan yeraltı suyu 9. hücrede yön değıştirmiş ve nehre doğru akmaya başlamıştır. Şekil 5.118'deki nehirdeki akış grafiğı incelendiğinde ise nehirdeki debinin etkileşimlerle uyumlu olarak hızlıca azalıp arttığı görölmektedir.



Şekil 5.116. Kumlu akifer modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri



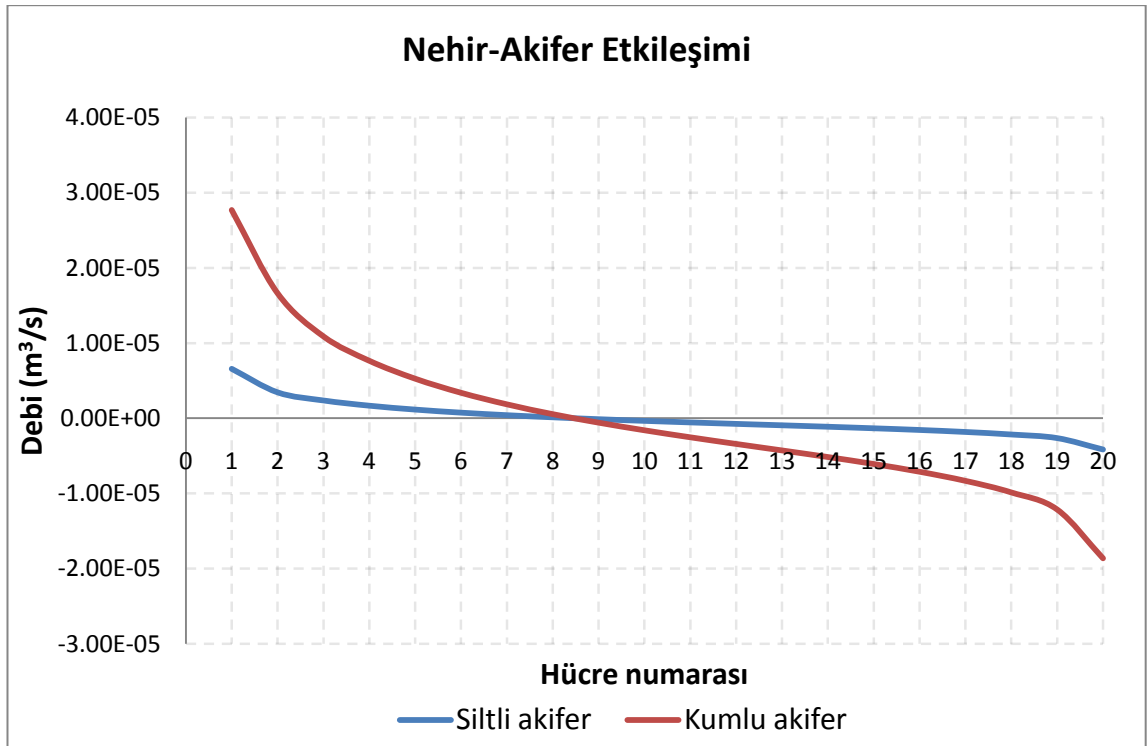
Şekil 5.117. Kumlu akifer modelinde nehir-akifer etkileşimleri



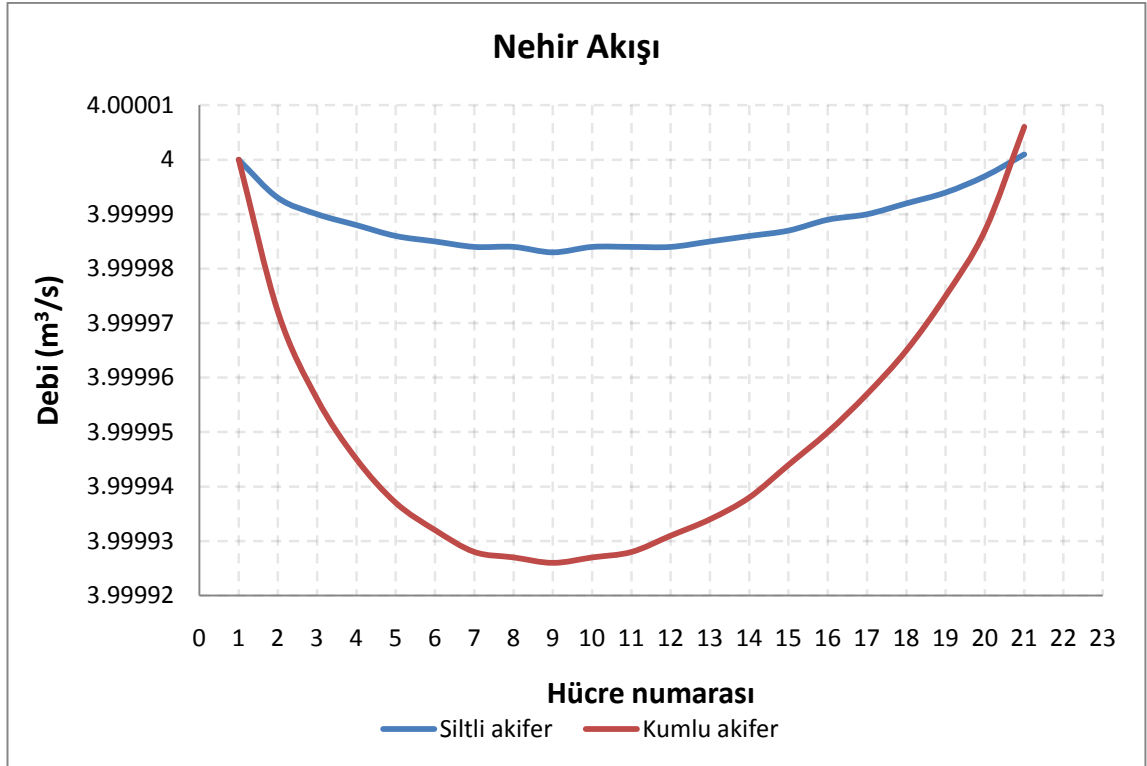
Şekil 5.118. Kumlu akifer modelinde nehir akışı

5.1.7.2. Karşılaştırma

Hidrolik iletkenliğin etkileşim üzerine olan etkilerini görebilmek için siltli akifer ve kumlu akifer modelleri karşılaştırılmış, her iki durumda oluşan yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri Şekil 5.119'da, nehir akışı şekil 5.120'de verilmiştir.



Şekil 5.119. Hidrolik iletkenliğin nehir-akifer etkileşimine etkisi



Şekil 5.120. Hidrolik iletkenliğin nehir akışına olan etkisi

Bu grafikten görüldüğü üzere kumlu akiferde oluşan etkileşim debisi siltli akifere göre çok daha fazladır. Debinin nehir boyunca değişimi de kumlu akiferde daha hızlı ve daha fazladır, yani etkileşim eğrisi daha diktir. Bu durum madde taşınımında ve bu formasyona sahip bölgelerde açılacak içme suyu kuyularında oldukça dikkat edilmesi gereken noktalardan biri olmalıdır. Nehir üzerinde etkileşim yönünün değiştiği nokta her iki akifer için de aynıdır. Hidrolik iletkenliğin artması belirgin olarak etkileşim debisini etkilemiştir.

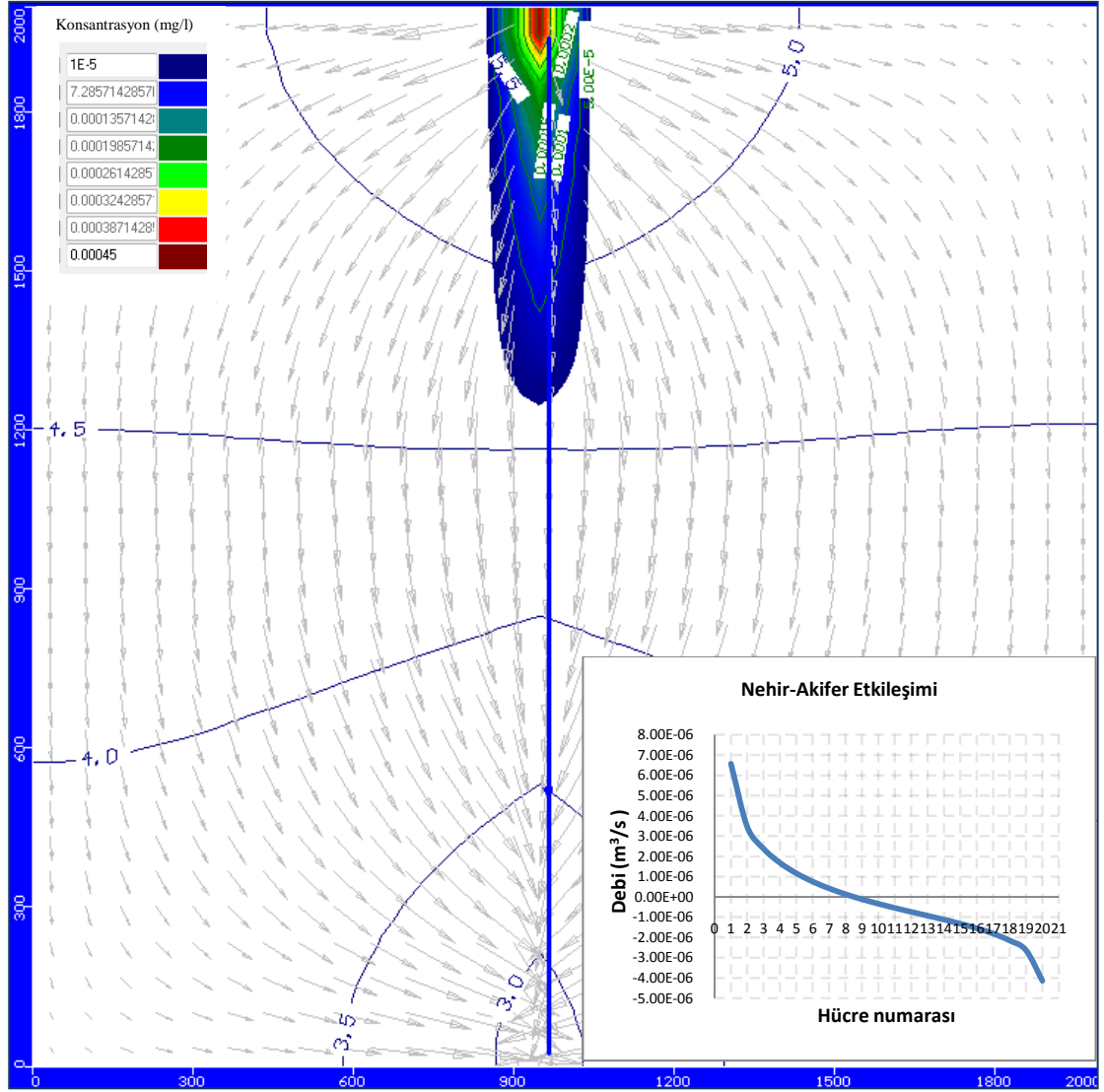
5.2. KİRLİLİK TAŞINIMI MODELLEMESİ İÇİN OLUŞTURULAN PROTOTİPLER

Sulak alanlarda yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerinin incelenmesi su miktarı açısından önemli olduğu kadar, buldukları formasyondaki madde taşınımında da önemlidir. Nehirdeki kirlilik maddeleri etkileşimlerle akifere karışıp buradan kuyu ve galeri gibi su alma yapılarına ulaşabilirler veya zemindeki kirlilik yağış ve sızma ile akifere karışıp etkileşimlerle nehirlere ve göllere gelebilirler. Çalışmanın bu kısmında VISUAL MODFLOW programında parametrik çalışmalar yapmak üzere oluşturulan nehir akışı modellerinde nehre bir kirlilik maddesi tanımlanarak, yüzey suyu-yeraltı

suyu etkileşimleriyle akifere geçen maddenin dağılımı incelenmiştir. VISUAL MODFLOW programının nehir gibi yüzeysel sularda madde taşınımını hesaplaması için bu kaynaklara “Point Source (noktasal kaynak)” seçeneğiyle kirlilik tanımlanmıştır. Programın bu seçeneği ile kirlilik dağılımı analizlerinin yapılabilmesi için gerekli olan girdiler, tanımlanan kirlilik maddesinin konsantrasyonu ve nehre bırakıldığı süredir. Kirlilik taşınımı analizlerini MODFLOW programının MT3DMS modülü çalıştırmaktadır. İterasyon sayısı, süresi ve minimum/maksimum Δt zaman aralıkları “point source” penceresinde girilen verilere göre kullanıcı tarafından düzenlenir.

5.2.1. Düz Akış Hattına Sahip Nehir Modelinde Kirlilik Taşınımı

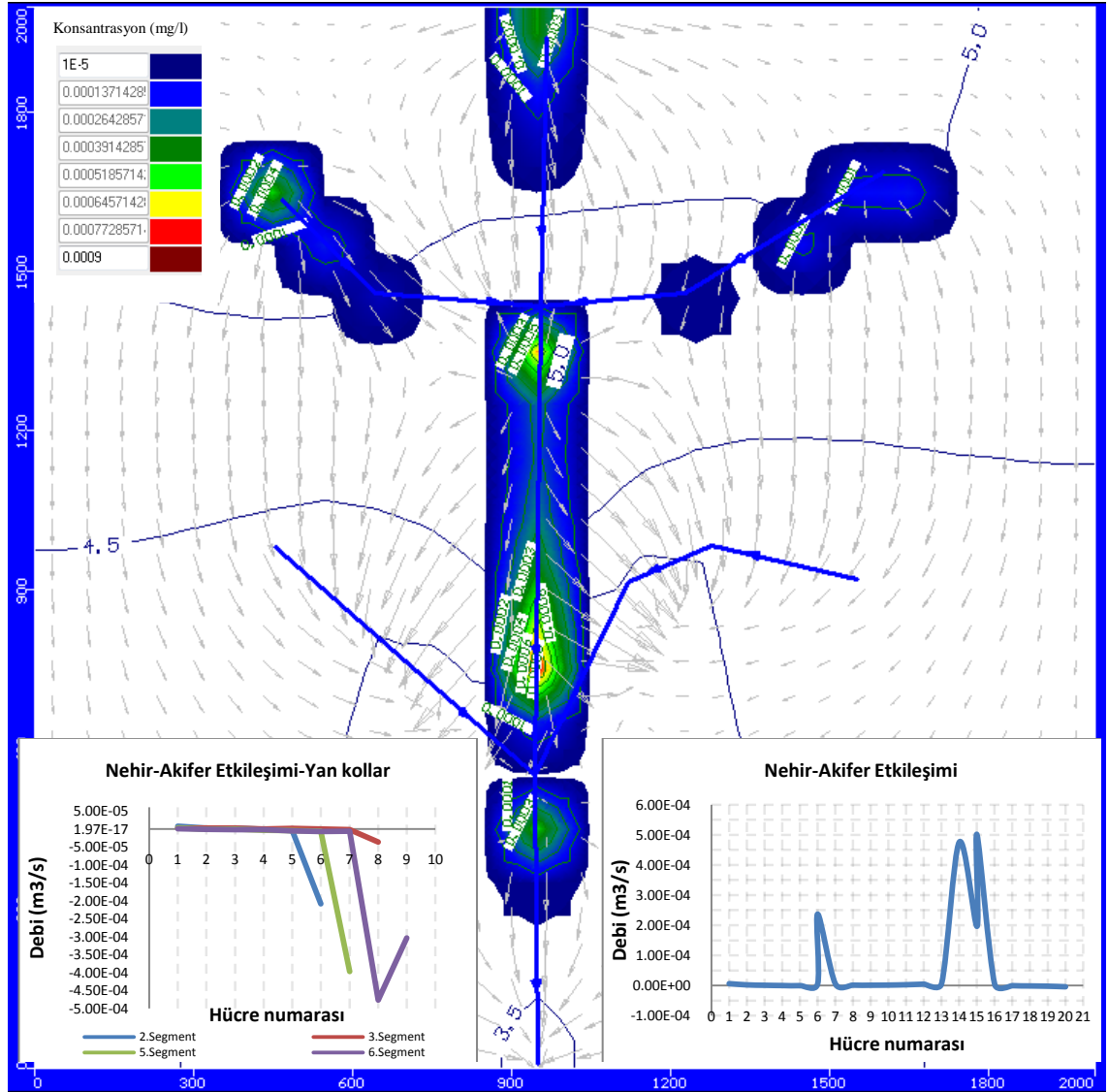
Bu modelde düz akış hattına sahip nehir modelinde nehrin tamamına 1 gün boyunca sürekli olarak görülen 10 mg/lt'lik kirlilik maddesi tanımlanarak analizler yapılmıştır. Şekil 5.121’de analiz sonucunda yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleriyle nehirdeki kirlilik maddesinin akifere doğru dağılımı görülmektedir. Şekilde mavi çizgiler eş derinlik eğrilerini, yeşil çizgiler ve renklendirme ise madde konsantrasyonunun dağılımını göstermektedir. Daha önce hazırlanan “Düz Akış Hattına Sahip Nehir Modeli”nde sunulan yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimi grafiğine göre (Şekil 5.90) 9. hücreye kadar nehirde akifere, ilerleyen hücrelerde ise akiferden nehre doğru bir akım gözlenmişti. Aynı modeldeki madde dağılımına bakıldığında ise etkileşimin nehirde akifere doğru olduğu hücrelerde kirlilik maddesi transferi olduğu görülmüştür. Nehrin yakınlarında daha yüksek konsantrasyon değeriyle görülen madde, akifer içerisinde ilerledikçe konsantrasyonu azalmıştır. Ayrıca etkileşim debisinin yüksek olduğu yerde konsantrasyon 0.00045 mg/lt ile maksimum değerini almıştır. İlerleyen hücrelerde etkileşim debisi azaldıkça akifere geçen maddenin konsantrasyonu da azalmıştır. Etkileşimin akiferden nehre doğru olduğu hücrelerde akifere madde geçişi olmadığından akiferin bu bölgesinde konsantrasyon dağılımı gözlenmemektedir.



Şekil 5.121. Düz akış hattına sahip nehir modelinde nehirdeki maddenin akiferdeki dağılımı

5.2.2. Yan Kollu Kompleks Nehir Modelinde Kirlilik Taşınımı

“Yan Kollu Kompleks Nehir Modeli”nde tüm yan kollara ve ana kola kirlilik maddesi konsantrasyonu 1 gün boyunca sürekli olarak 10 mg/lt tanımlanmıştır. Bu modelde analizler sonucu kirlilik maddesinin dağılımı Şekil 5.122’de görülmektedir. Burada da akifere madde geçişi, etkileşimin nehirden akifere doğru olduğu bölgelerde gerçekleşmiştir. Etkileşim debisinin daha yüksek olduğu noktadaki madde konsantrasyonu daha yüksek olmuştur. Özellikle 14. hücreye yaklaştıkça renklendirilmiş görüntüde maksimum aralığı ifade eden kırmızı renkler görülmüştür ve nehir boyunca akifere geçen maddenin konsantrasyonu en yüksek 0.0009 mg/lt olmuştur. 5. ve 6. segmentlerde akifere madde geçişi görülmemiştir; çünkü bu yan kollarda etkileşim akiferden nehre doğrudur.

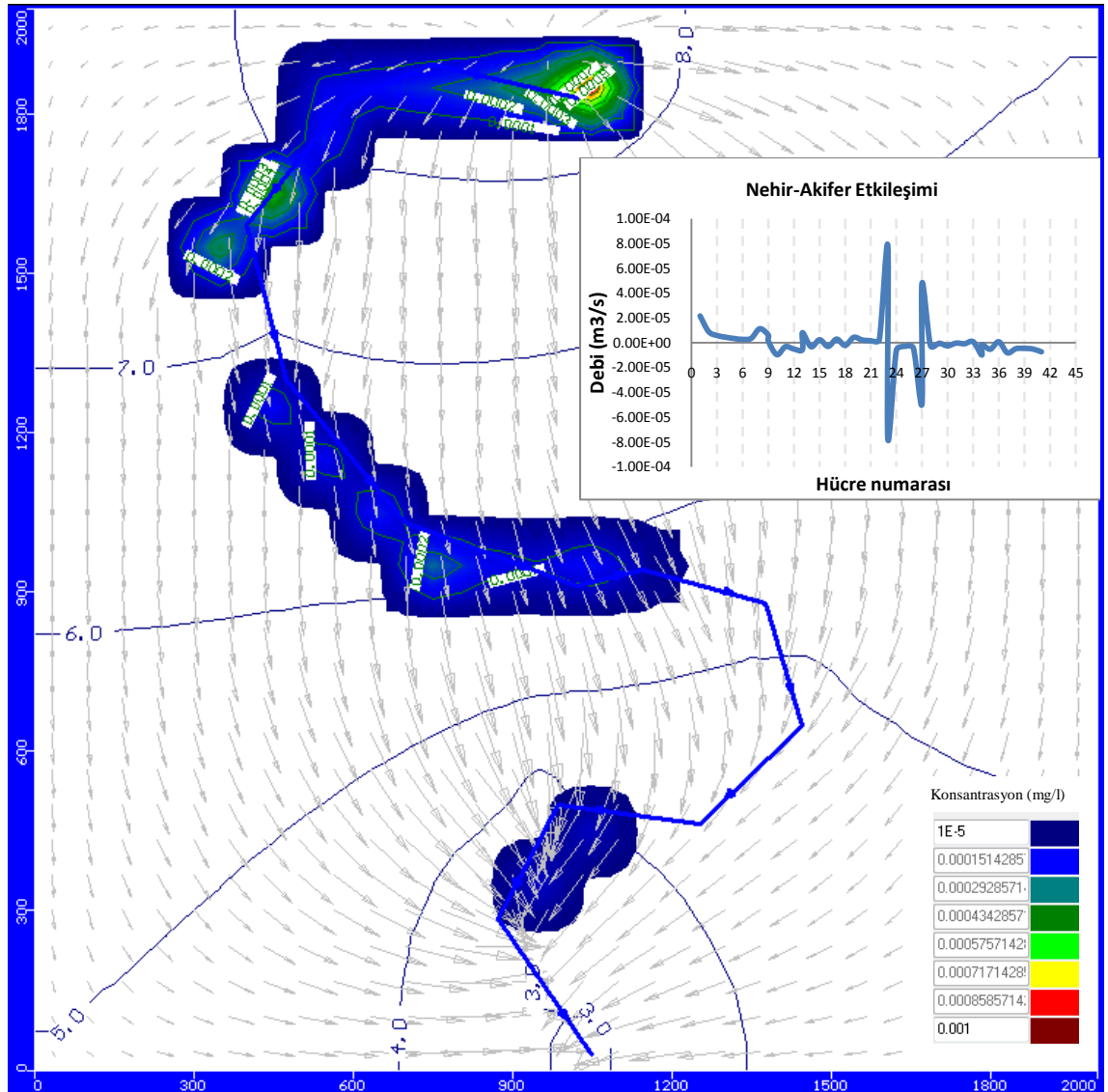


Şekil 5.122. Yan kollu kompleks akış hattına sahip nehir modelinde nehirdeki maddenin akiferdeki dağılımı

5.2.3. Kıvrımlı Nehir Modelinde Kirlilik Taşınımı

Nehrin akış hattının etkileşimler üzerindeki rolü incelenirken ele alınan son model olan “Kıvrımlı Nehir Modeli”nde 1 gün boyunca sürekli olarak görülen 10 mg/lt’lik kirlilik maddesi konsantrasyonu nehrin tamamına tanımlanmış ve model çalıştırılmıştır. Sonuçlar Şekil 5.123’te görülmektedir. Nehrin ilk hücrelerinde etkileşim nehirden akifere doğru olduğu için, akifere doğru genişleyen bir konsantrasyon dağılımı oluşmuştur. Madde dağılımının olduğu hücreler etkileşim grafiği ile karşılaştırıldığında, uyumlu bir şekilde, nehirden akifere geçiş olduğu bölgelerde kirlilik maddesi akifere yayılmış, akiferden nehre doğru etkileşim oluştuğunda ise akiferde bir dağılım

gözlenmemiştir. Madde konsantrasyonu en fazla başlangıç bölgesinde 0.001 mg/lt olarak gözlenmiştir.



Şekil 5.123. Kıvrımlı akış hattına sahip nehir modelinde nehirdeki maddenin akiferdeki dağılımı

5.2.4. Karşılaştırma

Analizler değerlendirildiğinde madde dağılımının etkileşimin daha az olduğu düz akış hattına sahip nehirde, diğer modeller kadar yoğun olmadığı görülmüştür. Noktasal olarak etkileşim debisinin yüksek görüldüğü yan kollu nehirde birleşim noktalarının yakınlarda ve nehirdeki yük farkından dolayı etkileşimin arttığı bölgelerde kirlilik dağılımı yoğun olarak gözlenmiştir. Ayrıca nehir boyunca etkileşimin çok etkili ve yoğun olarak görüldüğü kıvrımlı nehirde de kirlilik dağılımı yoğun olarak görülmüştür.

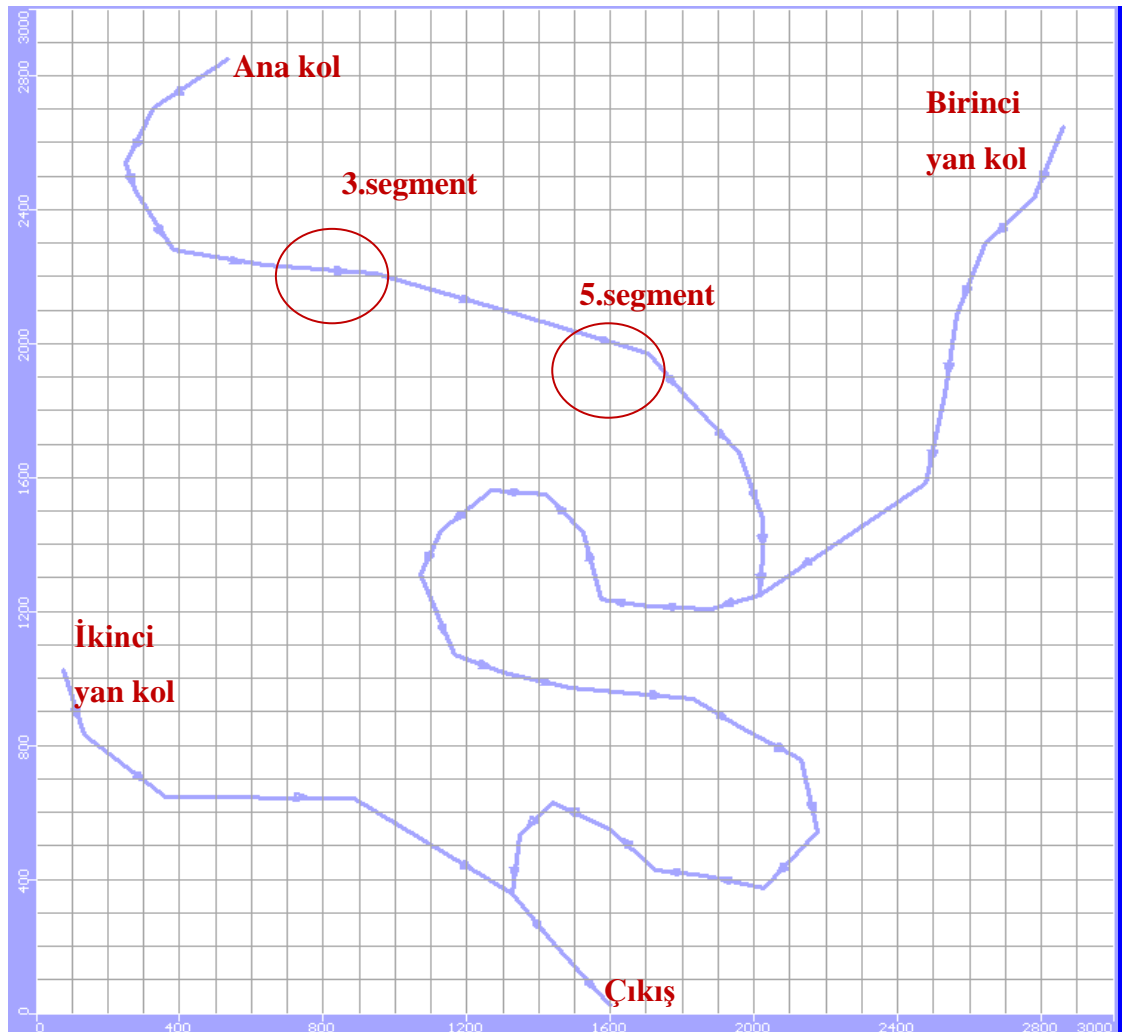
Kirlilik maddesinin etkileşimler sonucunda yayıldığı alan kıvrımlı nehirde ve yan kollu nehirde düz akış hattına sahip nehre göre çok daha büyüktür.

5.3. KAVRAMSAL NEHİR-AKİFER MODELİ

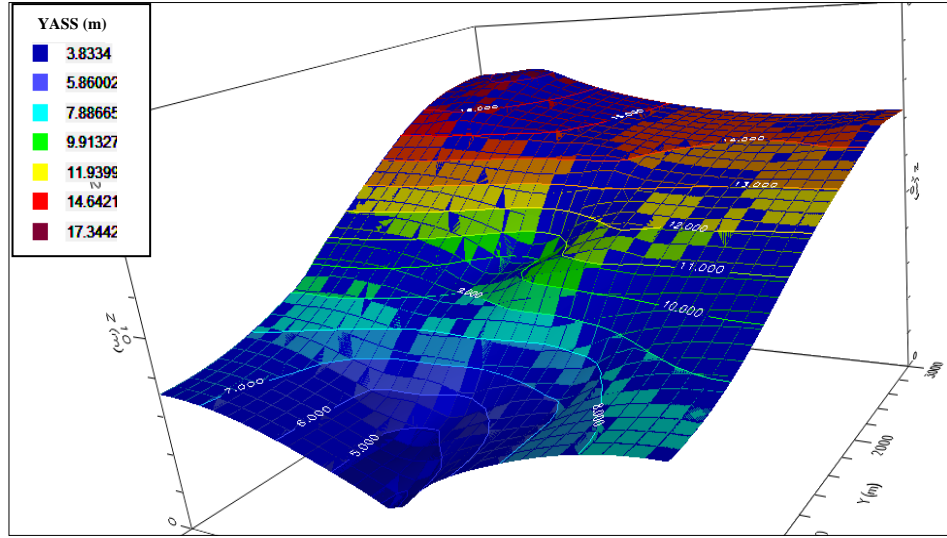
Hazırlanan tüm prototip modeller değerlendirilerek, yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerinin en çok etkili olabileceği durumlar belirlenmiştir. Etkileşimleri artıran bu özellikler kullanılarak, yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerinin çok yoğun olduğu bir kavramsal model kurulmuştur. Oluşturulan kavramsal model (3000×3000 m) (30×30 hücre) boyutundadır. Modelde 20 m derinliğe sahip tek katmanlı akifer kullanılmıştır ve tanımlanan akiferin hidrolik iletkenliği 0.001 cm/s ile yüksek bir değer olarak belirlenmiştir. Bu akiferde tanımlanan nehrin akış hattı, etkileşimin çok yoğun olduğu kıvrımlı özelliğe ve noktasal olarak etkileşim debisini yükselten yan kollara sahiptir. Nehrin ana kolunda eğim ortalama 0.0015'tir. Kısa mesafede eğim 3. segmentte 0.01 ve 5. segmentte 0.005 değerine artırılarak iki kere ani eğim değişimi oluşturulmuştur. Ana kola katılan iki adet yan kol bulunmaktadır. Birinci yan kolun eğimi ana kola yakın iken, ikinci yan kolun eğimi ortalama 0.0025'tir. Nehir tabanı 17.7 m'den 3 m'ye azalmaktadır. Nehir yatağının kalınlığı 1 m, hidrolik iletkenliği 0.001 cm/s ve pürüzlülük katsayısı 0.07 olarak tanımlanmıştır. Nehrin genişliği 10 m'dir. Nehrin başlangıcına 2 m³/s, yan kollara 0.5 m³/s debi verilmiştir. Analizler yapılırken çözüm yöntemi yeraltı suyu akımı için MODFLOW modülünde "WHS Solver", kirlilik taşınımı için MT3DMS modülünde "Method of Characteristic" olarak belirlenmiştir. Oluşturulan model Şekil 5.124'te, akımın 3 boyutlu görüntüsü Şekil 5.125'te, analiz sonucu oluşan yeraltı suyu dağılımı ise Şekil 5.126'da görülmektedir.

Yeraltı suyu dağılımı incelendiğinde nehrin başlangıcında akifere doğru bir akım olduğu görülmektedir. Ana kol ile birinci yan kol arasında kalan 1. bölgede oluşan yeraltı suyu dağılımı oldukça yavaş ilerlemiştir. Bu bölgede akım birleşme noktasına doğru yönelmiştir. Ana kol ile ikinci yan kol arasındaki 2. bölgede ise yeraltı suyu daha hızlı akmaktadır. Kıvrımların teğetleri arasında kalan kısımda akım kıvrıma doğru toplanırken, diğer bölgelerde akım ikinci yan kola doğru akmıştır. Kıvrımlarda menderes genişliği boyunca akım, nehrin üst taraftaki segmentlerinden alt taraftaki segmentlerine doğru yönelmiştir. Bu kısımlarda önemli etkileşimler olduğu

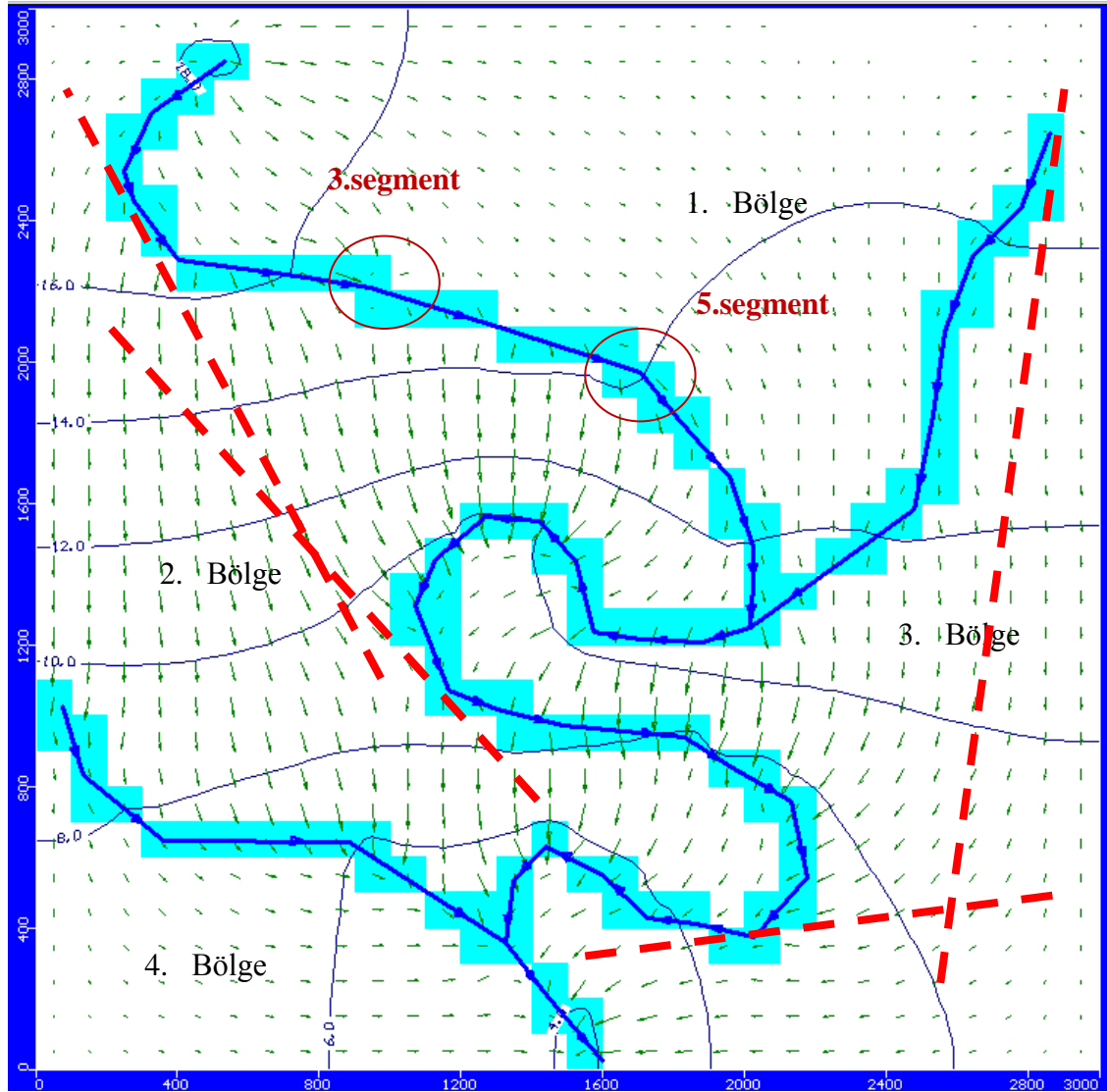
anlaşılmaktadır. 3. bölgede de birinci yan kolun başlangıç noktası ile ana koldaki kıvrımın teğetleri arasında kalan bölgedeki yeraltı suyu kıvrıma doğru akmış, diğer kısımlardaki akım çıkış noktasına doğru toplanmıştır. 4. bölgede ise akımın bir kısmı ikinci yan kolun son segmentinde bir kısmı ise çıkış noktasına doğru nehre katılmıştır. Ani değişimin yüksek eğimle gerçekleştiği 3. segmentte akım nehre doğru ani olarak yönelmiş, çevresindeki akımın genel akış hattına uymamıştır. 5. segmentte ise daha düşük eğimle gerçekleşen ani düşüş, menderes genişliği arasında kalmıştır. Nehrin bu bölgesinde bulunan kıvrımlardan dolayı nehrin üst kısmından alt kısmına doğru oluşan kuvvetli akım 5. segmentteki ani düşüşün etkisini bastırmıştır. Yeraltı suyu akımının genel davranışı incelendiğinde akımın daha çok kıvrımlarda toplandığı, mendereslerde yoğun etkileşimlerle menderes genişliği boyunca bir akım oluştuğu gözlenmiştir. Yeraltı suyu hızı ve akım yönü hidrolik yük farklarından etkilenmiştir.



Şekil 5.124. Kavramsal nehir-akifer modeli



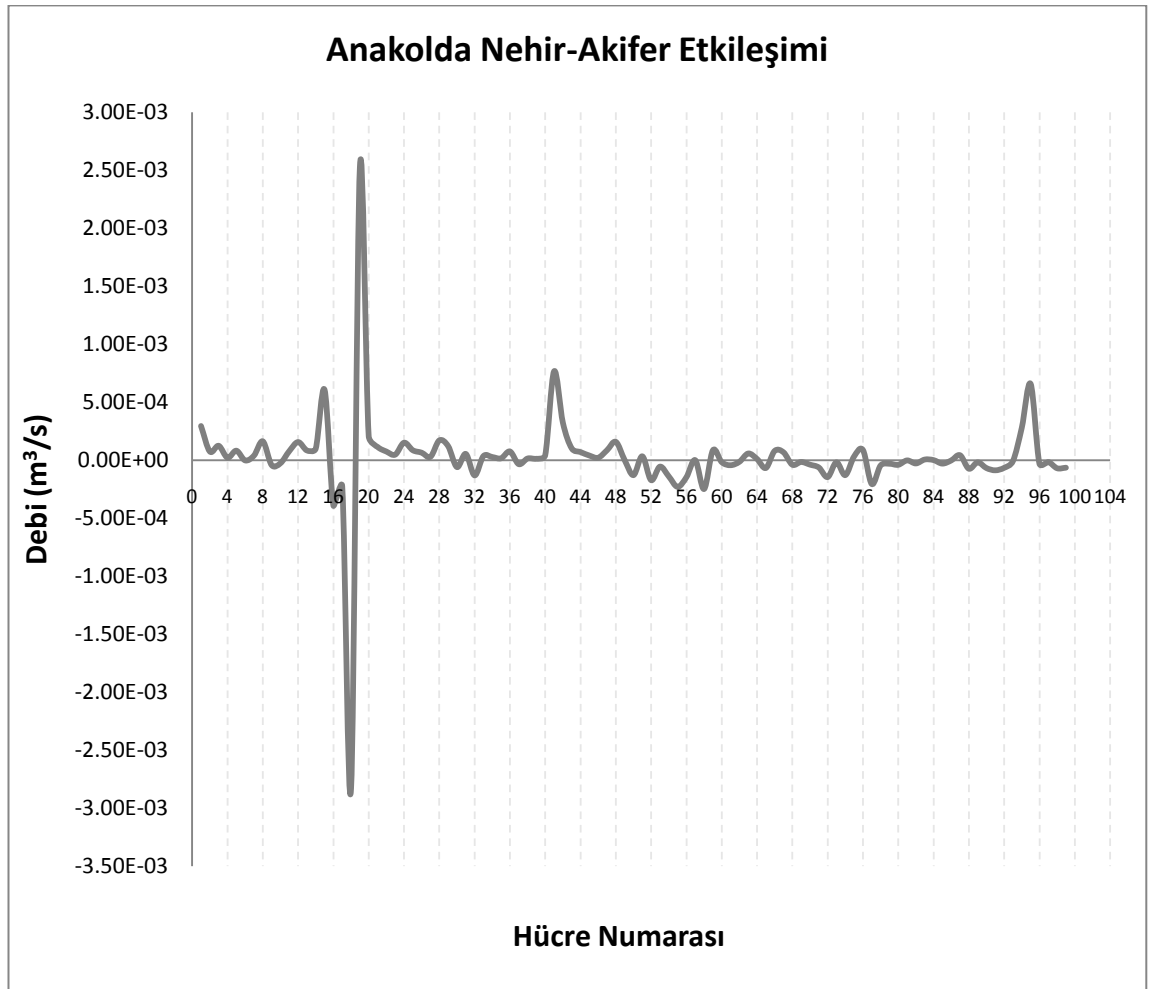
Şekil 5.125. Kavramsal nehir-akifer modelinde akımın 3 boyutlu görüntüsü



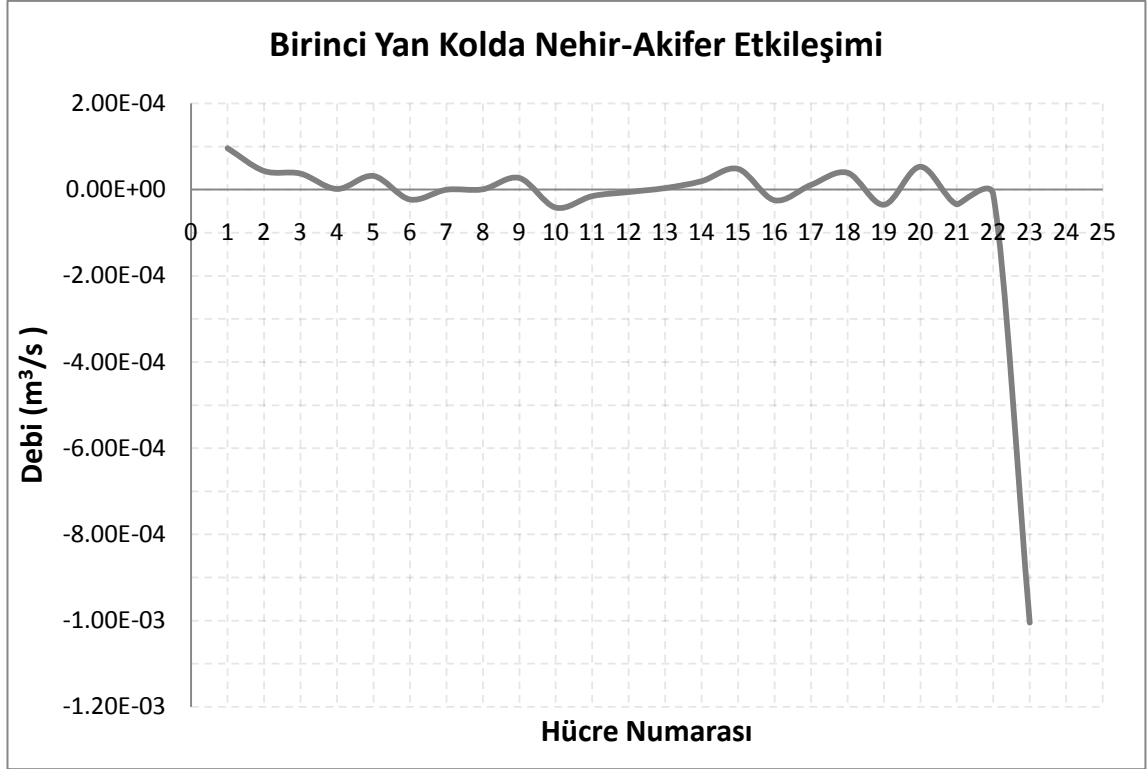
Şekil 5.126. Kavramsal nehir-akifer modelinde YASS dağılımı ve hız vektörleri

Analiz sonucunda yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri için sonuçlar alınmış ve ana koldaki nehir–akifer etkileşimi Şekil 5.127’de, birinci yan koldaki etkileşim Şekil 5.128’de, ikinci yan koldaki etkileşim ise Şekil 5.129’da sunulmuştur. Şekil 5.130, 5.131 ve 5.132’de etkileşimler sonucu nehir boyunca oluşan debi değişimleri görülmektedir. Ana koldaki etkileşim grafiği, nehir boyunca etkileşim yönünün değişken olduğunu göstermektedir. Etkileşim nehrin başlangıcında nehirden akifere doğru iken, ilerleyen hücrelerde birkaç hücrelik periyotlarla yön değiştirmiş, bu değişimler sırasında görülen etkileşim debisi ise sürekli değişken değerler almıştır. Yüksek eğimle ani değişimin olduğu bölgede etkileşim ani olarak önce nehre sonra akifere doğru giriş yapmıştır. Bu bölgenin devamında birkaç hücre boyunca etkileşim akifere doğru yönelmiştir. Ardından nehre doğru küçük girişlerle birkaç hücrelik periyotlarda etkileşimin yönü değişmeye devam etmiştir. Yeraltı suyu dağılımı değerlendirilirken bahsedilen 5. segmentteki ani düşüş etkisinin menderes nedeniyle sönmüldüğü, etkileşim grafiğinden de anlaşılmaktadır. Bu bölgede etkileşimde belirgin bir değişim görülmemiştir. Birinci yan kolun ana kol ile birleştiği noktada etkileşim debisinde akifere doğru ani bir artış olmuştur. Bu noktanın devamında etkileşim yön değiştirerek devam etmiştir. Akifere doğru ani bir debi yükselişi ikinci yan kolun ana kola bağlandığı noktada bir kez daha görülmüştür. Çıkış noktasında ise etkileşim nehre yönelmiştir. Sonuç olarak, ana koldaki etkileşim ani değişimin gerçekleştiği noktada ve yan kolların ana kola birleştiği noktalarda etkileşimde artış görülmüş, nehrin kıvrımlı yapısı ve akiferin yüksek hidrolik iletkenliğe sahip olması etkileşim debisinin mertebesinin yükselmesine neden olmuştur. Birinci yan kolda etkileşim akifere doğru yönelmiş, devamında sürekli yön ve debi değiştirmiştir. Ana kola bağlandığı hücrede ise nehre doğru ani bir debi yükselişi olmuştur. Bu durum birleşim hücresinde ana kolda akifere doğru geçen akımın yan kola katıldığını göstermektedir. Bu kolda debi daha düşük dolayısı ile hız ve etkileşimin gerçekleştiği yüzey alanı daha küçüktür. Eğim ana kolun eğimine yakındır ancak yan kolun akış hattı ana kol kadar kıvrımlı değildir. Bu nedenlerle birinci yan koldaki etkileşim debisi ana koldaki debiden daha düşük mertebeli olmuştur. İkinci yan kolda ise eğimin daha yüksek olmasına rağmen debinin düşük olması etkileşim mertebesi ana koldakinden daha düşük olmasına sebep olmuştur. Bu kolun başlangıç bölgesinde birkaç hücrede düşük etkileşim debisi ile akifere yönelen akım görülürken, genel olarak etkileşim nehre doğru olmuştur. Birleşim hücresinde ise etkileşim debisi ani bir artış göstermiştir. Tüm modele bakıldığında etkileşim debisinin

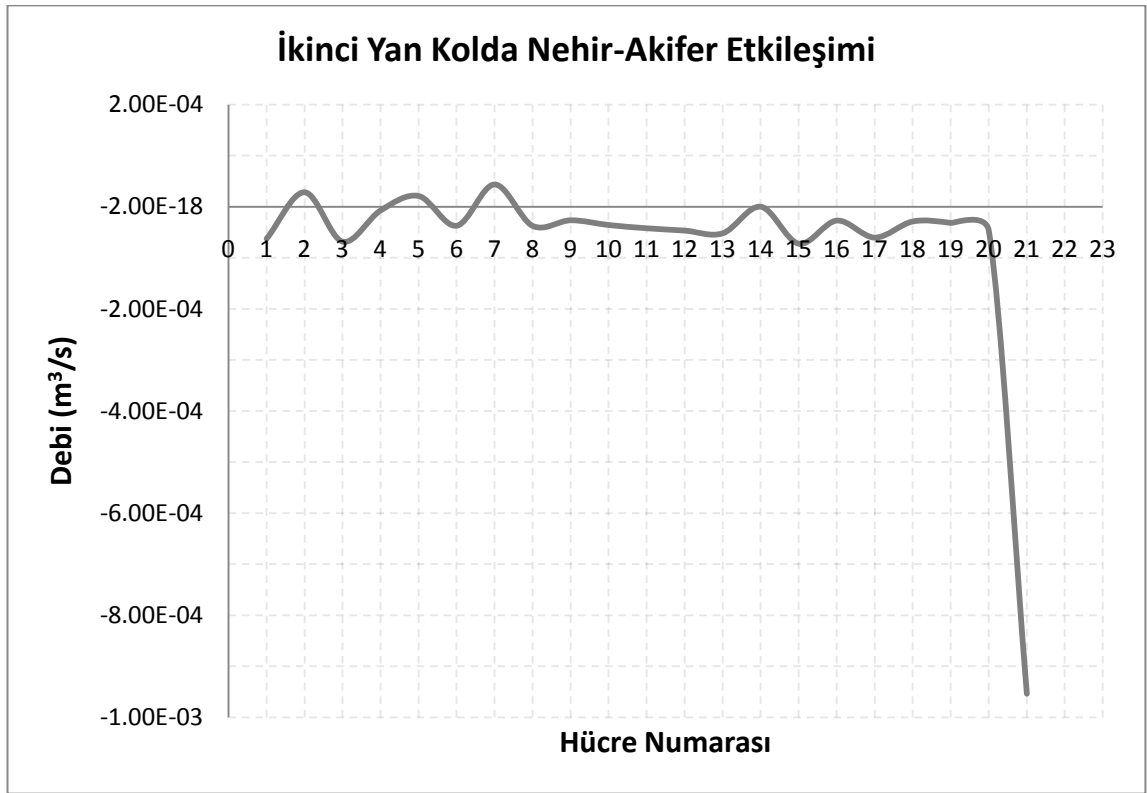
$2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ değerine kadar ulaştığı görülmüştür. Nehir akışı incelendiğinde ise ana kolda $2 \text{ m}^3/\text{s}$ ile başlayan debi etkileşimle uyumlu olarak artıp azalmıştır ve birleşim noktalarında yan koldaki debinin nehre katılması ile çıkış noktasındaki debi $3 \text{ m}^3/\text{s}$ civarına yükselmiştir. Birinci ana kolda nehirdeki debi değişimi etkileşimin akifere doğru olduğu noktalarda azalmış, nehre doğru olduğu noktalarda artmıştır. İkinci yan kolda etkileşimin genel karakteri nehre doğru olduğundan debi sürekli yükselmiştir.



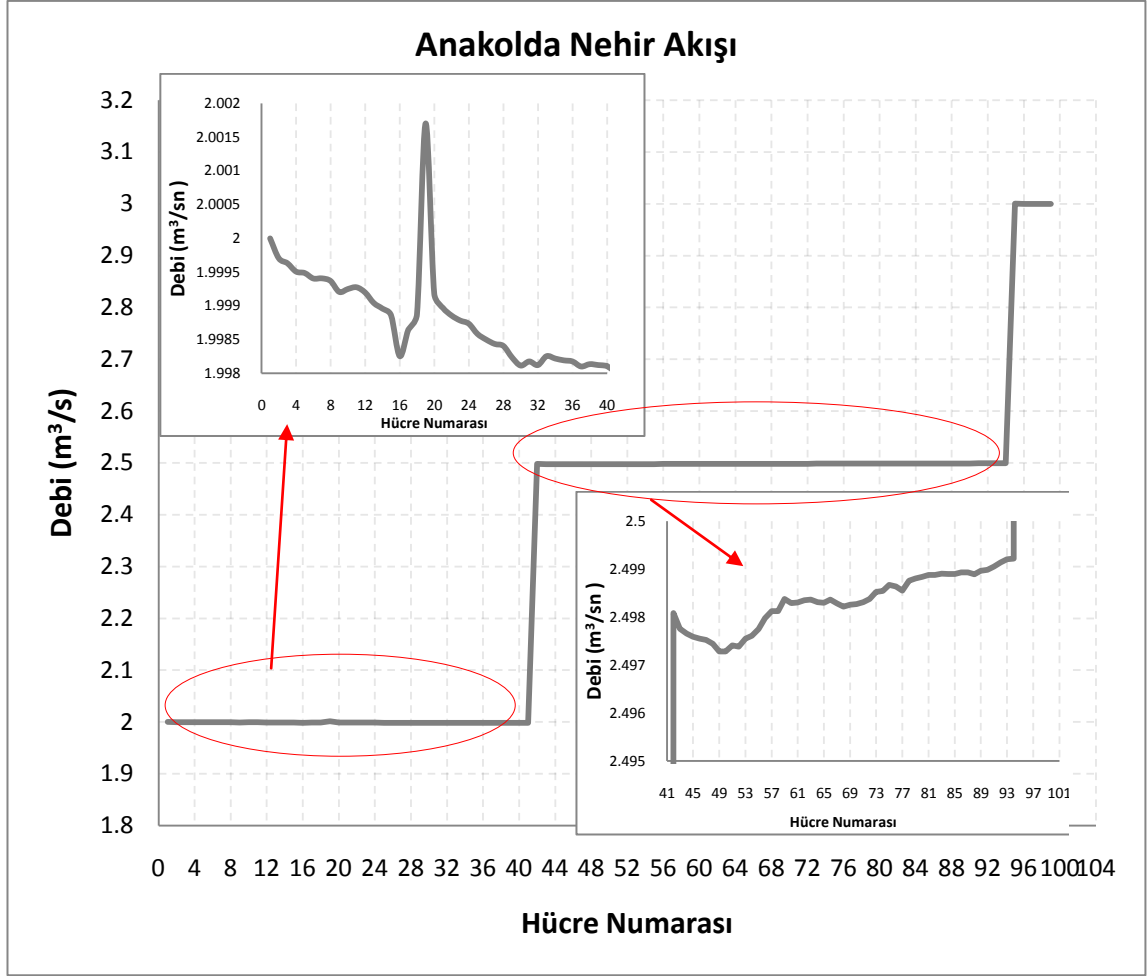
Şekil 5.127. Kavramsal nehir-akifer modelinde ana koldaki nehir-akifer etkileşimi



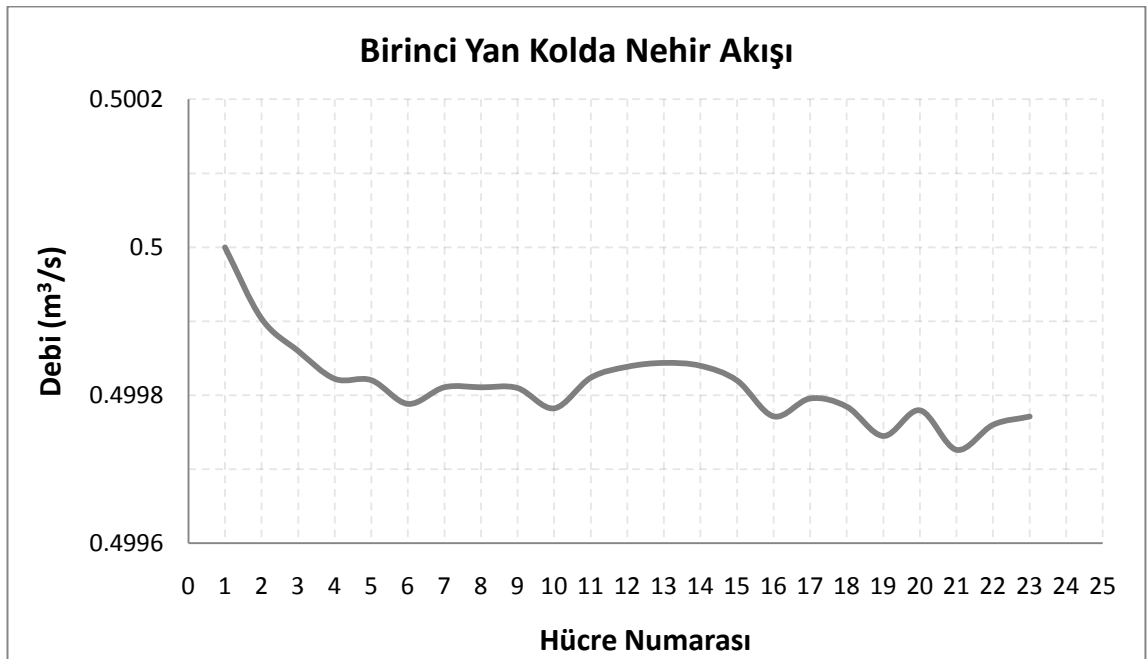
Şekil 5.128. Kavramsal nehir-akifer modelinde birinci yan koldaki nehir-akifer etkileşimi



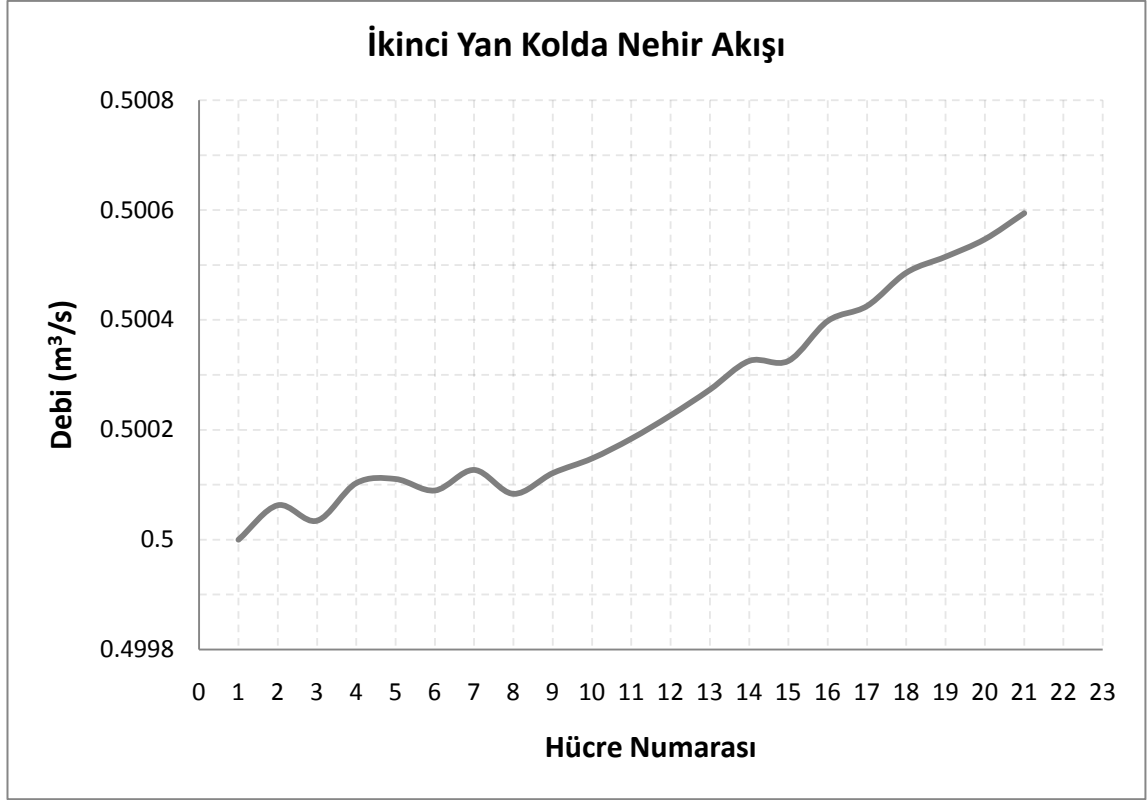
Şekil 5.129. Kavramsal nehir-akifer modelinde ikinci yan koldaki nehir-akifer etkileşimi



Şekil 5.130. Kavramsal nehir-akifer modelinde ana koldaki nehir akışı



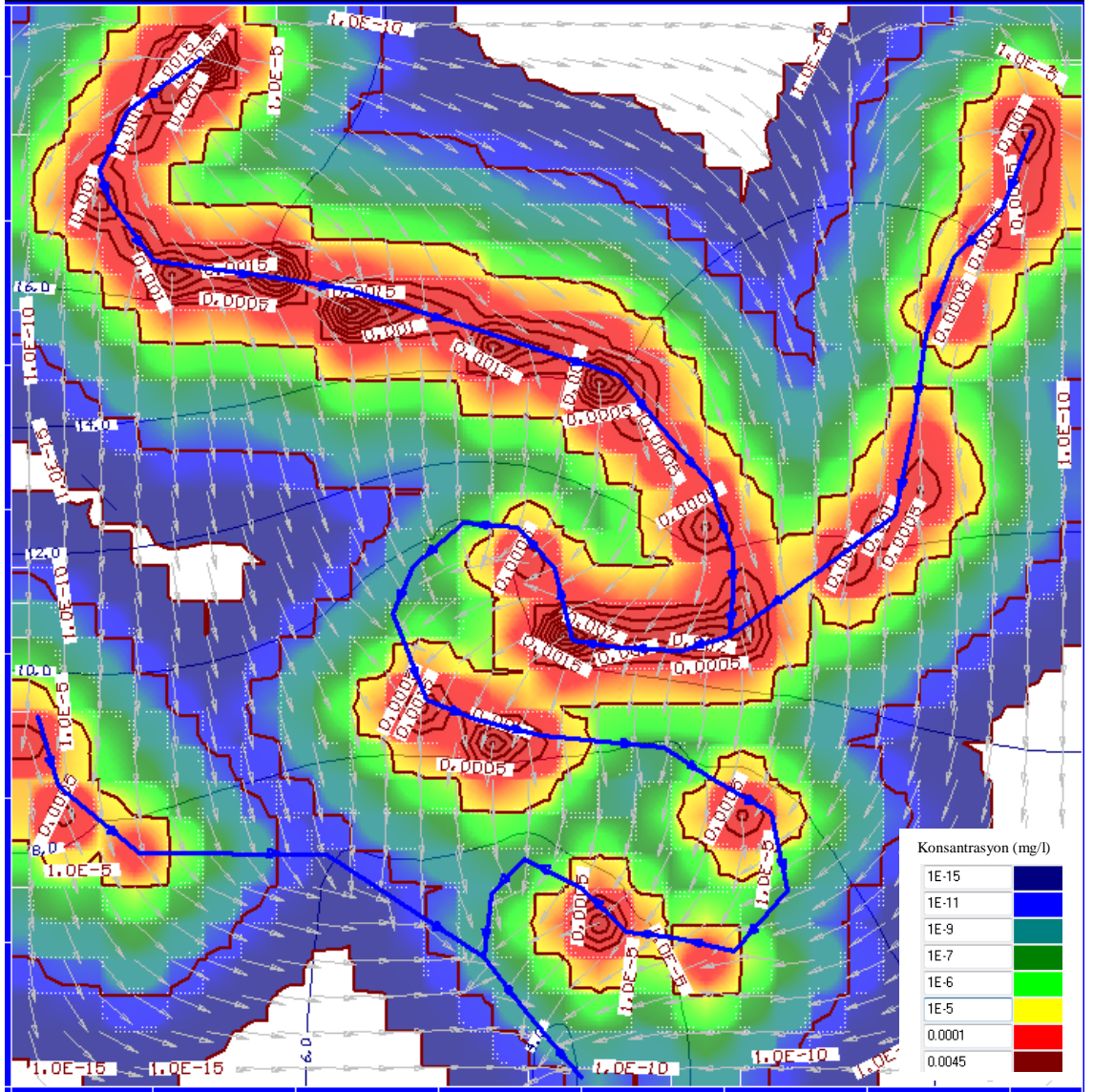
Şekil 5.131. Kavramsal nehir-akifer modelinde birinci yan koldaki nehir akışı



Şekil 5.132. Kavramsal nehir-akifer modelinde ikinci yan koldaki nehir akışı

Şekil 5.133'te nehrin tamamına 1 gün boyunca sürekli olarak tanımlanan ve konsantrasyon değeri 10 mg/lt olan kirlilik maddesinin etkileşimler ve yeraltı suyu akımı nedeniyle akifer içerisindeki dağılımı görülmektedir. Şekildeki oklar yeraltı suyu akışının yönünü göstermektedir. Kırmızı çizgiler ise eş konsantrasyon eğrilerini temsil etmektedir. Genel olarak madde dağılımı incelendiğinde nehirdeki kirlilik maddesinin yoğun olarak nehrin etrafında oluştuğu ve bu bölgelerde etkileşimin nehirden akifere doğru olduğu görülmektedir. Madde geçişi yoğun olarak nehrin başlangıcında, ani eğim değişimlerinde, birinci birleşim yeri ile bu noktayı takip eden nehrin yönünün ani olarak değiştiği kıvrımda görülmektedir. Nehrin yakınlarında madde yoğunluğu 0.0045 mg/lt ile 0.001 mg/lt arasında iken nehirden uzaklaştıkça 10^{-15} mg/lt değerine kadar azalmıştır.

Etkileşimler ile nehirdeki kirliliğin tüm akifer bölgesine dağıldığı görülmektedir. Kirlilik analizi sadece 1 günlük konsantrasyon süreci için yapıldığından yoğunluk değerleri küçüktür. Ancak sürekli sanayi, endüstriyel ve evsel atıklara maruz kalan nehirlerde etkileşimler ile akifere karışan kirlilik maddesinin hem yoğunluğu hem de ulaştığı alan artacaktır. Bu bölgelerde kurulan su alma yapılarında, özellikle kuyularda, etkileşimlerle taşınan kirlilik incelenmeli ve göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 5.133. Kavramsal nehir-akifer modelinde nehirdeki maddenin akifere geçişi ve dağılımı

6. SONUÇLAR

- Bu çalışmada yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerinin hidrolojik davranışını belirlemek üzere farklı nehir-akifer sistemi içeren prototip modeller kurulmuştur. Prototip çalışmalardan elde edilen sonuçlar kullanılarak kavramsal bir nehir-akifer sistemi oluşturulmuştur. Bu kavramsal modelde yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerinin nehir-akifer sisteminin hidrolojik davranışına olan etkileri incelenmiştir. Ayrıca nehirdeki bir kirlilik maddesinin etkileşimler sonucu akifere geçişi ve akiferdeki dağılımı gözlenmiştir.
- Hidrolik yükün etkileşimler üzerine olan etkisinin belirlenmesi için kurulan prototip modellerde ilk olarak düz akış hattına sahip basit bir nehir modeli kurulmuş ve farklı sınır koşullarında analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan etkileşimin yönünün hidrolik yükün yüksek olduğu yerden düşük olduğu yere doğru yeraltı suyu akımını sağlayacak şekilde olduğu gözlenmiştir. Hidrolik yük farkı arttıkça nehir-akifer etkileşimlerinin debisinin de arttığı görülmüştür. Nehrin her iki tarafında farklı sabit yük tanımlandığında ise etkileşim, hidrolik yük farkının daha fazla olduğu tarafa doğru artış göstermiştir. Ayrıca etkileşimin olduğu yönde yük farkının artması, bu yöndeki etkileşimin meydana geldiği akış hattının uzamasına neden olmuştur. Nehir ile yeraltı suyunun yakın derinlikte olduğu yerlerde etkileşim debisi daha uzun mesafede değişim gösterirken, yük farkının artması etkileşim debisinin daha kısa mesafede belirgin değişiklik göstermesine neden olmuştur.
- Hidrolik yükün etkileşimler üzerine olan etkileri incelenirken ele alınan ikinci prototip modelleme kompleks akış hattına sahip bir nehir modelinde gerçekleştirilmiştir. Bu modelde basit nehir modelindeki bulgulara ek olarak, modelde sabit yüke sahip olan her noktanın bir etki mesafesi olduğu ve bu etki mesafesinin sınır koşulları ile arasındaki yük farkı arttıkça uzadığı gözlenmiştir. Bu etki mesafesi ve hidrolik yük farkları etkileşim debisini ve yönünü direkt olarak etkilemiştir. Ayrıca yan kolları olan kompleks akış hattına sahip bir

nehirde, yan kollardaki etkileşimin oldukça fazla olduğu ve ana koldaki akış ve etkileşim üzerinde önemli bir rol oynadığı görülmüştür.

- Nehir yatağının sahip olduğu eğimin yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri üzerindeki rolünü belirlemek üzere düşük, orta dereceli ve yüksek eğimli 3 farklı prototip model kurulmuş ve yapılan analizlerde nehir yatağının eğimi arttıkça etkileşimin gerçekleştiği yöndeki debisinin de arttığı görülmüştür. Bu sonuçlardan etkileşimin, akımın hızından etkilendiği sonucuna varılmıştır.
- Nehir yatağındaki pürüzlülüğün yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri üzerindeki etkileri incelenmiş ve düşük, orta ve yüksek pürüzlülüğe sahip 3 farklı model ile analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre pürüzlülük arttıkça etkileşimin gerçekleştiği yöndeki debisi artmış, ancak bu artış ihmal edilebilecek kadar küçük olmuştur. Pürüzlülüğün artması etkileşimin gerçekleştiği kesit alanını arttırmasına rağmen etkileşim debisinde belirgin bir artış göstermediğinden, hız parametresinin etkileşimler üzerinde daha dominant bir etkisinin olduğu kanısına varılmıştır.
- Nehir akış hattının yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri üzerindeki etkisini incelemek üzere 3 farklı prototip model kurulmuştur. Bu modellerden ilki düz akış hattına sahip nehir modeli, ikincisi yan kollu kompleks akış hattına sahip nehir modeli, üçüncüsü ise kıvrımlı (menderesli) akış hattına sahip nehir modelidir. Analiz sonuçlarına göre düz akış hattına sahip nehirdeki etkileşimin gerçekleştiği yön belirgin ve debisindeki değişim doğrusala yakın olmuştur. Yan kollu nehir modelinde ise yan kollar akımı oldukça etkilemiş ve ana koldaki etkileşimi biraz daha kompleks bir hale getirmiştir. Özellikle birleşme noktalarında etkileşimin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca yan kolların akış hattının da etkileşimler ve nehirdeki akış üzerinde önemli etkileri olduğu görülmüştür. Kıvrımlı nehirde ise etkileşim yönü ve debisi sürekli değişkenlik göstermiştir. Bu 3 model karşılaştırıldığında yan kolları ve kıvrımları olan nehrin düz akış hattına sahip bir nehre göre çok daha yüksek miktarda etkileşime neden olduğu görülmüştür.
- Nehir yatağının belirli bir bölümünde eğimin ani olarak değişmesinin yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmanın bu kısmında ani eğim değişimindeki eğim düşük, orta dereceli ve yüksek olarak derecelendirilerek 3 model kurulmuştur. Analiz sonuçlarına göre ani eğim

değişiminin olduğu yerlerde nehirdeki genel etkileşim karakterine göre ani bir artış olduğu görülmüştür. Bu artışın miktarının ise ani eğimin gerçekleştiği eğim değerinin yükselmesi ile arttığı gözlenmiştir.

- Yeraltı suyu akımı üzerinde direkt olarak etkisi olan en önemli akifer parametresi hidrolik iletkenlik olduğundan hidrolik iletkenliğin etkileşimler üzerindeki rolü incelenmiştir. Kumlu akifer ve siltli akifer olmak üzere farklı iki model kurulmuştur. Hidrolik iletkenliği daha yüksek olan kumlu akiferdeki etkileşimlerin siltli akifere göre daha yüksek debiye sahip olduğu görülmüştür.
- Kurulan tüm modellerde etkileşimler sonucu nehirdeki debinin yere göre değişimi de incelenmiştir. Beklendiği gibi etkileşimin nehirden akifere doğru olduğu bölgelerde nehirdeki debi azalırken, akiferden nehre doğru etkileşim gerçekleşen bölgelerde nehirdeki debinin arttığı görülmüştür.
- Yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerinin nehir ile akifer arasındaki madde geçişine olan etkilerini gözleyebilmek üzere 3 adet kirlilik taşınımı prototipi kurulmuş ve bu modellerde nehir boyunca ve sürekli olarak bir kirlilik maddesi tanımlanmıştır. Farklı akış hattına sahip nehirlerin kullanıldığı bu modellerin analizinde yeraltı suyu akımı, yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri ve akiferdeki kirlilik dağılımı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerinin kirlilik dağılımına direkt olarak ve önemli derecede etki ettiği görülmüştür. Nehirdeki kirlilik maddesinin etkileşimin nehirden akifere doğru olduğu noktalarda nehirden akifere geçiş yaptığı gözlenmiştir. Akifere geçen madde, akifer içerisinde yeraltı suyu akımı ile ilerlemiş ve dağılmıştır. Akiferden nehre doğru oluşan etkileşim bölgelerinde akifere bir kirlilik tanımlanmadığından, akifer içerisinde kirlilik maddesi dağılımı gözlenmemiştir. Ancak yapılan prototip modellerden elde edilen sonuçlar değerlendirilerek akifere yayılı bir maddenin de etkileşimin akiferden nehre doğru olduğu noktalarda nehre karışacağı kanısına varılmıştır. Ayrıca akifer içerisindeki kirlilik dağılımı, yan kollu akış hattına sahip nehir modelinde ve kıvrımlı nehir modelinde, düz akış hattına sahip nehir modeline göre çok daha yoğun olarak gözlenmiş ve çok daha büyük bir alana yayılmıştır.
- Yapılan bütün prototip modellerden elde edilen sonuçlar değerlendirilerek yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerinin en yüksek debili ve yoğun olacağı bir nehir-akifer sistemi kurulmuş ve bu sistem içerisindeki akım, etkileşim ve kirlilik

dağılımı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda nehir akışını etkileyen parametrelerin yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimini de etkilediği görülmüştür. Yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerini ve yeraltı suyu akımını etkileyen parametrelerin de en çok yük farkı ve hidrolik yüklerin etki mesafesinden etkilendiği anlaşılmıştır. Yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerinin nehir akışı ve yeraltı suyu akımının hidrolik davranışı üzerinde oldukça önemli ve ihmal edilemez bir rol oynadığı gözlenmiştir. Ayrıca etkileşimin nehir-akifer arasındaki madde geçişinde etkin olduğu ve etkileşimlerin çok yoğun olduğu bir sistemde nehirdeki kirlilik maddesinin, etkileşimler sonucu akifere geçiş miktarının ve dağılımının da yüksek olduğu görülmüştür. Yeraltı suyu akımı ile akifere dağılan maddenin nehirden çok uzak noktalarda bile görülebildiği tespit edilmiştir.

- Yapılan bu çalışma, yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri konusunda parametrik analizler içerdiği ve madde taşınımı ile yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerinin ilişkisini gösterdiği için büyük önem arz etmektedir. Yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimlerinin nehir-akifer, göl-akifer sistemlerinin ihmal edilmemesi gereken bir hidrolojik parçası olduğu sonucuna açıkça varılmıştır. Bu çalışmadaki sonuçlar nehirdeki debi değişiminin, akımın ve kirlilik dağılımının etkileşimlerden nasıl etkilendiğini gösterdiğinden, su temini ve su kalitesi için yapılan bölgesel modelleme çalışmalarında, hidrojeolojik çalışmalarda ön görü, tahmin ve sahadaki genel akım ve kirlilik dağılımı davranışının yorumlanabilmesi için kullanılabilir. Ayrıca nehirden su alınan tesislerde veya yeraltı suyundan yararlanılacak tesislerin kurulumunda yapılacak ön çalışma ve yaklaşımlarda bu çalışmanın sonuçları faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

ANGIER, J. T., MCCARTY G. W., PRESTEGAARD, K. L., Hydrology of a first-order riparian zone and stream, mid-Atlantic coastal plain, Maryland, *Journal of Hydrology*, 309, 149–166.

ATILLA, A. Ö., 2002, Afyon Ovası Yeraltısuyu Akım Modeli, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 26 (2), 17-30.

BAYAZIT, M., 2003, *Hidroloji*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 975-511-364-9.

BEDIENT, P. B., HUBER, W. C., 2002, *Hydrology and Floodplain Analysis*, Prentice Hall, New Jersey, 0-13-032222-9.

BRADLEY, C., 1996, Transient modeling of water-table variation in a floodplain wetland, Narborough Bog, Leicestershire, *Journal of Hydrology*., 185, 87-114.

BRADLEY, C., 2002, Simulation of annual water table dynamics of a floodplain wetland, Narborough Bog, UK, *Journal of Hydrology*, 261, 150-172.

BOYRAZ, U., 2008, *Büyükçekmece Havzasının Bataklık Modeli*, Lisans Bitirme Projesi, İstanbul Üniversitesi.

BOYRAZ, U., KAZEZYILMAZ-ALHAN, C. M., Büyükçekmece Havzası Bataklık Bölgesinin Hidrolojik Modeli, *I. Ulusal Sulak Alanlar Konferansı Bildiriler Kitabı*, Temmuz 2008 Kayseri, 142-153.

CHO J. , BARONE, V. A., MOSTAGHIMI, S., 2009, Simulation of land use impacts on groundwater levels and streamflow in a Virginia watershed, *Agricultural Water Management*, 96(1),1-11.

CHOI, J., HARVEY, J.W., 2000, Quantifying time-varying ground-water discharge and recharge in wetlands of the northern Florida Everglades, *Wetlands*, 20(3), 500-511.

CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R. and MAYS, L.W., 1988, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill Book Company, USA, 0-07-010810-2.

ÇİRKİN, T., 2006, *Niğde-Misli Ovası Yeraltısuyu Potansiyelinin Araştırılması*, Yüksek Lisans, Hacettepe Üniversitesi.

DEVITO, K.J., HILL, A.R., 1997, Sulphate dynamics in relation to groundwater-surface water interactions in headwater wetlands of the southern Canadian Shield, *Hydrological Processes*, 11(5), 485-500.

- DİŞLİ, E., 2007, *Eymir–Mogan Gölleri Arasında Yeraltısuyu Akım Ve Kütle Taşınım Modeli*, Doktora, Hacettepe Üniversitesi.
- EAGLESON, P.S., 1970, *Dynamic Hydrology*, McGraw-Hill, Inc, New York, 978-0070185968.
- ERDEM, E., 2006, *Mersin-Tarsus Arasında Aliivyon Akiferde Yeraltı Suyu Kirliliğinin Fotometrik Ölçümler İle Araştırılması* Yüksek Lisans, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- GÜLLÜOĞLU, M. S., 2006, *Harran Ovası Yeraltı Suyu Kalitesinin Araştırılması*, Yüksek Lisans, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- GÜNER, İ. N., 2009, *Yukarı Sakarya Havzasında Yeraltısuyu Yaş Dağılımının Çevresel İzleyiciler İle İncelenmesi*, Doktora, Hacettepe Üniversitesi.
- HELMUS, A. M., FERNALD, A. G., VANLEEUEWEN, D. M., ABBOTT, L. B., ULERY, A. L., BAKER, T. T. , 2009, Surface water seepage effects on shallow ground-water quality along the Rio Grande in northern New Mexico. *Journal Of The American Water Resources Association*, 45 (2),407-418.
- HÖKELEKLİ, E., 2010, *Bilgisayar Desteğinde Yeraltı Suyu Modellemesi*, Yüksek Lisans, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- HUANG, J.Q., CHRIST, J. A., GOLTZ, M. N., 2008, An assembly model for simulation of large-scale ground water flow and transport, *Ground Water*, 46(6), 882-892.
- JURY, W. A., GARDNER, W. R., GARDNER, W. H., 1991, *Soil Physics*, John Wiley&Sons, Inc, New Jersey, 0-471-83108-5.
- KANIA, J., HALADUS, A., WITCZAK, S., 2006, On modelling of ground and surface water interactions, *Groundwater and Ecosystems*, 70,183-194.
- KARADAŞ, D., ELÇİ, A., ŞİMŞEK, C., GÜNDÜZ, O., KAZANASMAZ, E., 2007, izmir tahtalı çayı havzasında mevsimsel yeraltı suyu düşümünün matematiksel modelleme ile belirlenmesi, 7. *Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi: Yaşam, Çevre, Teknoloji*, 24-27 Ekim 2007 İzmir, 41-49.
- KAZEZYILMAZ-ALHAN, C.M., MEDINA Jr, M.A., 2007, Kinematic and Diffusion Waves, Analytical and Numerical Solutions to Overland and Channel Flow, *Journal of Hydraulic Engineering-ASCE*, 133 (2), 217-228.
- KAZEZYILMAZ-ALHAN, C.M., MEDINA, M.A., Jr and RICHARDSON, C.J., 2007, A Wetland Hydrology and Water Quality Model Incorporating Surface Water/Groundwater Interactions, *Water Resources Research*, 43 (4), W04434.

- KAZEZYILMAZ-ALHAN, C.M., MEDINA, M.A. JR., 2008, The effect of surface/ground water interactions on wetland sites with different characteristics, *Desalination*, 226, 298-305.
- KNIGHT, J. H., RASSAM, D. W., 2007, Groundwater head responses due to random stream stage fluctuations using basis splines, *Water Resources Research*, 43(6), W06501
- KORKMAZ, S., 2007, *Modeling Of The Flood Regimes In Coupled Stream-Aquifer Systems*, Doktora, Middle East Technical University.
- KURTULUŞ, B., 2008, *Yeraltısuyu Akışı ve Kalitesi'nin Esnek Hesaplama Methodları (Yapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık) İle Modellenmesi*, Doktora, Hacettepe Üniversitesi.
- MAYS, L.W., 2005, *Water Resources Engineering*, John Wiley&Sons, Inc, New Jersey, 0-471-70524-1.
- MCDONALD, M.G., HARBAUGH, A.W., 1988, *A Modular Three Dimensional Finite-Difference Ground Water Flow Model*, United States Government Printing Office, Washington, 01-985-83961.
- MEHL, S., HILL, M.C., LEAKE, S.A, 2006, Comparison of local grid refinement methods for Modflow, *Ground Water*, 44(6),792-796.
- NALBANTÇILAR, M.T., 2002, *Konya Yerleşim Alanı Yeraltı Suyu Kalitesi ve Kirliliği*, Doktora, Selçuk Üniversitesi.
- ÖZGENÇ, A., 2002, *Computation of Grounwater Contamination by Using MODFLOW*, Yüksek Lisans, Dokuz Eylül Üniversitesi.
- ÖZYURT, N.N., 2005, *Aladağ (Kayseri-Adana) Karstik Akiferinde Yeraltısuyu Geçiş Zamanı Dağılımının İncelenmesi*, Doktora, Hacettepe Üniversitesi.
- PRICE, J.S., WADINGTON, J.M., 2000, Advances in Canadian wetland hydrology and biochemistry, *Hydrological Processes*, 14(9), 1579-1589.
- RESTREPO, J.I., MONTOYA, A.M., OBEYSEKERA, J., 1998, A wetland simulation module for the MODFLOW ground water model, *Ground Water*, 36(5), 764-770.
- SAFAVI, H. R., BAHREINI G. R., 2009, Conjunctive simulation of surface water and ground water resources under uncertainty, *Iranian Journal Of Science And Technology Transaction B-Engineering*, 33(B1), 79-94.
- TÜMÜR, Ş., 2002, *Diyarbakır Kenti Yeraltı İçme Suyu potansiyeli ve Kalitesinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- USUL, N., 2005, *Engineering Hydrology*, Metu Press, Ankara, 975-7064-43-2.

VISSMAN, W. Jr., LEWIS G. L., 2003, *Introduction to Hydrology*, Prentice Hall, New Jersey, 0-67-399337-X.

WARREN, F.J., WADDINGTON, J.M., BOURBONNIERE, R.A., DAY, S.M., 2001, Effect of drought on hydrology and sulphate dynamics in a temperate swamp, *Hydrological Processes*, 15(16), 3133-3150.

WILCOX, L.J., BOWMAN, R. S., SHAFIKE, N.G., 2007, Evaluation of Rio Grande management alternatives using a surface-water/ground-water model, *Journal Of The American Water Resources Association*, 43(6), 1595-1603.

WINTER, T.C., HARVEY, J.W., FRANKE, O.L., ALLEY, W.M., 1998, Ground water and surface water a single resource, *U.S. Geological Survey Circular*, 1139.

WINTER, T.C., 1999, Relation of streams, lakes, and wetlands to groundwater flow systems, *Hydrogeology Journal*, 7,28-45.

WINTER, T.C., ROSENBERRY, D.O., 1995, The interaction of ground water with prairie pathole wetlands in the Cottonwood Lake area, East-Central North Dakota, 1979-1990, *Wetlands*, 15(3), 193-211.

YAĞBASAN, Ö., 2007, *Modeling Of Mogan And Eymir Lakes Aquifer System*, Doctor of Philosophy, Middle East Technical University.

YILDIRMIŞ/BOYRAZ, Ş., KAZEZYILMAZ-ALHAN, C. M., 2008, Büyükçekmece havzası yeraltı suyu modeli ve yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri, *Konya Kapalı Havzası Yeraltı Suyu Kuraklık Konferansı Bildiriler Kitabı*, Eylül 2008 Konya, 204-214.

YURTÇU, Ş., 2001, *Kil Zeminlerde Yeraltı Suyu Davranışının Modellenmesi*, Yüksek Lisans, Afyon Kocatepe Üniversitesi.

ZAADNOORDIJK, W.J., 2009, Simulating piecewise-linear surface water and ground water interactions with Modflow, *Ground Water*, 47(5), 723-726.

ÖZGEÇMİŞ

Uğur BOYRAZ 1986 yılında Ankara’da doğdu. İlköğrenimine 1992 yılında Ankara’da Alparslan İlkokulu’nda başladı, sonrasında TEK İlköğretim okulunda devam ederek 2000 yılında birincilikle tamamladı. Orta öğrenimini Dr. Rıdvan Ege- Dr. Binnaz Ege Anadolu Lisesi’nde 2004 yılında bitirdi. Aynı yıl İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde Lisans Eğitimine başladı ve 2008 yılında başarı ile tamamladı. Lisans eğitimi sırasında Hidrolik ana bilim dalında çalışmaya başladı ve bitirme projesini havza modellemesi ve sulak alanlar üzerine yaptı. Bu proje ile bölümünde ikincilik kazandı. Ayrıca bu çalışmasını I. Ulusal Sulak Alanlar Kongresinde sunarak 5. Dünya Su Formuna katkıda bulundu. Mezuniyetinin ardından İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Yüksek Lisans eğitiminde hidroloji, yeraltı suyu, havza modellemesi ve yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimleri konularında çalışmaya devam etti. 2009 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi oldu. Evli ve bir çocuk babası olan Uğur Boyraz hala burada çalışmalarına devam etmektedir.