

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NEHİRLERDE 2 BOYUTLU TAŞKIN MODELLEMESİ
VE TAŞKIN HARİTALARININ OLUŞTURULMASI**

DOKTORA TEZİ

Osman SÖNMEZ

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : HİDROLİK
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Emrah DOĞAN

Ağustos 2013

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NEHİRLERDE 2 BOYUTLU TAŞKIN MODELLEMESİ
VE TAŞKIN HARİTALARININ OLUŞTURULMASI

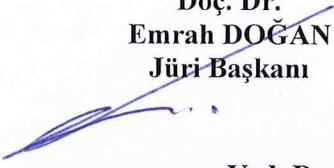
DOKTORA TEZİ

Osman SÖNMEZ

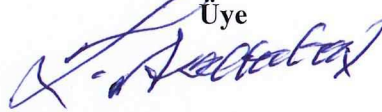
Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 27 / 08 /2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

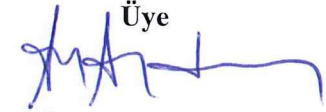
Doç. Dr.
Emrah DOĞAN
Jüri Başkanı



Prof.
Lütfi SALTABAŞ
Üye



Doç. Dr.
Abdurrahim AYDIN
Üye



Yrd. Doç. Dr.
Ali UYUMAZ
Üye



Doç. Dr.
Mücahit OPAN
Üye



Babama....

ÖNSÖZ

“NEHİRLERDE 2 BOYUTLU TAŞKIN MODELLEMESİ VE TAŞKIN HARİTALARININ OLUŞTURULMASI” başlıklı doktora tez çalışması, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doç. Dr. Emrah DOĞAN’ın danışmanlığında hazırlanmıştır.

Araştırma konusunun seçimi, planlanması ve yürütülmesi sürecinde değerli görüş ve önerileriyle beni yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Emrah DOĞAN’a teşekkür ederim.

Çalışmamın her aşamasında sağladığı katkı ve desteklerinden dolayı çok değerli hocam Sayın Prof. Lütfi SALTABAŞ’a ve tezimin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç.Dr. Abdurrahim Aydın’a teşekkür ederim.

1 yıl süreyle tez çalışmalarımı birlikte sürdürdüğüm University of Iowa öğretim üyesi Sayın Nathan Young ’a sağladığı değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca sürekli destek verip bugünlere gelmemde büyük emekler harcayan anneme ve babama, yüksek lisans ve doktora eğitimim boyunca gösterdiği sabır ve anlayıştan dolayı eşim Nagihan SÖNMEZ’ e sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Taşkın ve Taşkın Türleri	3
1.1.1. Lokal taşkınlar	5
1.1.2. Nehir taşkınları	5
1.1.3. Kıyısal taşkınlar	6
1.1.4. Ani taşkınlar.....	7
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR.....	10
BÖLÜM 3.	
YÖNTEM.....	20
3.1. Hidrolik Model Altyapısı	20
3.2. 1 Boyutlu Akış Modelleri	22
3.3. 2 Boyutlu Akış Modelleri	24
3.4. LIDAR (Light Detection and Ranging) Topografik Data Tarama Sistemi	26
3.4.1. LIDAR verilerin taşkın çalışmalarında kullanımı	27
BÖLÜM 4.	
ÇALIŞMA SAHASI	29

4.1. Çalışma Sahası İklim ve Yağış Özellikleri	31
4.1.1. Yağış	32
4.1.2. Sıcaklık	34
4.1.3. Nem	36
4.1.4. Rüzgar hızı.....	37
4.2. 2008 Yılı Taşkını.....	38
4.3. Arazi Kullanımı	39

BÖLÜM 5.

MODEL DATALARININ HAZIRLANMASI.....	42
5.1. Arazi Modelinin Elde Edilmesi	42
5.2. Taşkın Debinin Hesaplanması.....	43
5.2.1. Tarihsel pik debilerin hesaplanması.....	44
5.2.2. Bulletin17B	47
5.2.2.1. Log pearson tip III	48
5.3. 1 Boyutlu Model (HecRAS)	49
5.3.1. 1 boyutlu model kabilrasyonu	59
5.4. 1 ve 2 Boyutun Birlikte Ele Alındığı (Coupled) Model.....	72
5.4.1. 1 boyutlu model altyapısı.....	74
5.4.1.1. Mike 11	75
5.4.2. 2 boyutlu model altyapısı.....	76
5.4.2.1. Mike 21	79
5.5. 2 Boyutlu Akış Modelleri	80
5.5.1.1. Standart bağ.....	82
5.5.1.2. Yanal (Lateral) bağ.....	82
5.5.1.3. Yapı (Structure) bağı	83
5.5.2. 1 ve2 Boyutlu (Couple) Model Altyapısının Kurulması.....	84
5.5.2.1. Mike 11 Modelinin Oluşturulması	84
5.5.2.2. Mike 21 modelinin oluşturulması	89
5.5.2.3. Mike flood modelinin oluşturulması.....	93
5.5.3. 1 ve2 boyutlu (Couple) model kalibrasyonu	96
5.6. Farklı Çözünürlüklere Sahip Sayısal Yükseklik Modellerinin Taşkın Yayılmına Etkisi.....	107

5.7. Taşkın Risk Değerlendirmesi.....	119
5.8. Taşkın Risk Haritaları	121
5.9. Amerika Birleşik Devletleri'nde Afet Yönetim Sistemi.....	122
5.9.1. FEMA'nın misyonu	122
5.9.2. FEMA'nın görevleri.....	123
5.10. FEMA (Federal Acil Durum Yönetim Ajansı) Taşkın Bölgeleri Belirleme Kriterleri.....	123
5.11. Taşkın Risk Yönetim Planları	126
BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	134
KAYNAKLAR.....	138
ÖZGEÇMİŞ.....	146

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. 1900-2010 yılları arasında dünya genelinde meydana gelen doğal afetler..	2
Şekil 1.2. 2001-2011 yılları arasında dünya genelinde meydana gelen doğal afetlerin genel dağılım çizelgesi.	2
Şekil 1.3. Şehirleşmenin su döngüsü üzerindeki etkisi.....	5
Şekil 1.4. Misisipi Nehrinin normal akım ve taşkın anına ait uydu görüntüleri	6
Şekil 1.5. Deprem sonrası oluşan kıyı taşkını Japonya-2011.....	7
Şekil 3.1. Lidar veri toplama yöntemi.....	17
Şekil 4.1.Cedar Nehri ve Iowa Nehri Havzaları.....	30
Şekil 4.2.Waverly ve Janesville şehirlerine ait lokasyonlar.....	31
Şekil 4.3. 2012 yılı kar yağışı dağılımı	32
Şekil 4.4. Yıllara göre kar yağışı değişimi	33
Şekil 4.5. 2012 yılı yağış dağılımı	33
Şekil 4.6. Yıllara göre yağış dağılımı.....	34
Şekil 4.7. 2012 yılı sıcaklık değişimi	35
Şekil 4.8. Yıllara göre sıcaklık değişimi	35
Şekil 4.9. 2012 yılı güneşli gün sayısı dağılımı	36
Şekil 4.10. 2012 yılı bulutlu gün sayısı dağılımı	36
Şekil 4.11. 2012 yılı nem değişimi.....	37
Şekil 4.12. 2012 yılı rüzgar hızı değişimi	37
Şekil 4.13. 2008 taşkınında Waverly şehrine ait bazı fotoğraflar	38
Şekil 4.14. 2008 taşkınına oluşturan yağışa ait radar görüntüsü	38
Şekil 4.15. 2008 taşkınına oluşturan yağışa ait radar görüntüsü	39
Şekil 4.16. Arazi kullanım haritası.....	41
Şekil 5.1. Revize öncesi ve sonrasına ait arazi modeli görüntü kesitleri.	43
Şekil 5.2. Yıllık maksimum akımların saçılım grafiği	47
Şekil 5.3. HEC-SSP programından bir kesit	48

Şekil 5.4. %5 ve %95 güven aralıkları içerisinde tekerrürlü taşkın debileri saçılım grafiği.....	49
Şekil 5.5. Enerji eşitliğinde kullanılan terimlerin sembolik gösterimleri	51
Şekil 5.6. HEC-RAS alt bölüm taşıma yöntemi.....	52
Şekil 5.7. Kompozit nc hesaplaması için yan yüz eğimlerinin tanımlanması.....	53
Şekil 5.9. HEC-GeoRas menüsü	54
Şekil 5.10. HEC-GeoRAS geometri menüsü ve elemanları	55
Şekil 5.11. RAS haritalama menüsü elemanları.....	55
Şekil 5.12. ApUtilities menüsünün elemanları	56
Şekil 5.13. Taşkın analizi akış diyagramı (HecRas)	57
Şekil 5.14. Nehir boyunca model elemanlarının oluşturulmuş	58
Şekil 5.15. HEC-RAS Model Görünümü.....	58
Şekil 5.16. Su yüzü profilleri	59
Şekil 5.17. 2008 yılı taşkını su yüzü profili	60
Şekil 5.18. Waverly şehir merkezi, 2008 yılı taşkını	60
Şekil 5.19. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, 2008 Yılı Taşkını.....	61
Şekil 5.20. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-500	63
Şekil 5.21. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-200	64
Şekil 5.22. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-100	65
Şekil 5.23. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-50	66
Şekil 5.24. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-25	67
Şekil 5.25. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-10	68
Şekil 5.26. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-5	69
Şekil 5.27. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-2	70
Şekil 5.28. Farklı çözünürlükler ve tekerrürler için taşkın su seviyesi	71
Şekil 5.29. Farklı çözünürlükler ve tekerrürler için taşkın etkisi altında kalan alanlar.....	71
Şekil 5.30. Farklı topografyalar için taşkın risk durumu	73
Şekil 5.31. Coupled model şematik gösterimi	74
Şekil 5.32. Q (debi) ve h (su seviyesi) hesaplama noktasal döngüleri.....	76
Şekil 5.33. 2 yönlü akış değişimi şematik gösterimi.....	77
Şekil 5.34. 2 boyutlu şematik düzlemde sonlu faklar yöntemi	80
Şekil 5.35. Mike flood bağ yapıları.....	81

Şekil 5.36. Standart bağ şematik yapısı	82
Şekil 5.37. Yanal bağ şematik yapısı	83
Şekil 5.38. Yapısal bağ şematik yapısı.....	84
Şekil 5.39. Mike 11 model dosyaları	85
Şekil 5.40. Cedar Nehir ağı dosyası	86
Şekil 5.41. Cedar Nehri kesit dosyası	87
Şekil 5.42. Cedar Nehri debi seviye (Q-h) ilişkisi	87
Şekil 5.43. Cedar Nehri sınır koşulları dosyası.....	88
Şekil 5.44. Cedar Nehri hidrodinamik dosyası	88
Şekil 5.45. Tamamlanmış 1 boyutlu Cedar Nehri taşkın model yapısı.....	89
Şekil 5.46. Mike 21 model dosyası	90
Şekil 5.47. Çalışma sahası batimetri dosyası	91
Şekil 5.48. Çalışma sahası pürüzlülük dosyası	93
Şekil 5.49. Taşkın analizi akış diyagramı (Mike Flood).....	94
Şekil 5.50. MikeFlood model dosyası.....	95
Şekil 5.51. MikeFlood yanal bağ yapısı.....	95
Şekil 5.52. Kalibre edilmiş model su yüzü profili	96
Şekil 5.53. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, 2008 Yılı Taşkını.....	97
Şekil 5.54. 2008 yılı taşkın yayılımı ve model sonucu kıyası-1	97
Şekil 5.55. 2008 yılı taşkın yayılımı ve model sonucu kıyası-2	98
Şekil 5.56. 2008 yılı taşkın yayılımı ve model sonucu kıyası-3	98
Şekil 5.57. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-2.....	99
Şekil 5.58. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-5.....	100
Şekil 5.59. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-10.....	101
Şekil 4.60. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-25.....	102
Şekil 5.61. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-50.....	103
Şekil 5.62. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-100.....	104
Şekil 5.63. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-200.....	105
Şekil 5.64. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-500.....	106
Şekil 5.65. 5m, 10m ve 30m çözünürlüklere sahip sayısal yükseklik modelleri	108
Şekil 5.66. Farklı çözünürlüklere sahip sayısal yükseklik modellerine ait taşkın yayılım haritaları, T-2.....	110

Şekil 5.67. Farklı çözünürlüklere sahip sayısal yükseklik modellerine ait taşkın yayılım haritaları, T-5	111
Şekil 5.68. Farklı çözünürlüklere sahip sayısal yükseklik modellerine ait taşkın yayılım haritaları, T-10	112
Şekil 5.69. Farklı çözünürlüklere sahip sayısal yükseklik modellerine ait taşkın yayılım haritaları, T-25	113
Şekil 5.71. Farklı çözünürlüklere sahip sayısal yükseklik modellerine ait taşkın yayılım haritaları, T-100	115
Şekil 5.72. Farklı çözünürlüklere sahip sayısal yükseklik modellerine ait taşkın yayılım haritaları, T-200	116
Şekil 5.73. Farklı çözünürlüklere sahip sayısal yükseklik modellerine ait taşkın yayılım haritaları, T-500	117
Şekil 5.74. Farklı çözünürlükler ve tekerrürler için taşkın yayılım alanları	118
Şekil 5.75. Farklı çözünürlükler ve tekerrürler için taşkın su seviyesi	119
Şekil 5.76. 500 yıllık tekerrürlü taşkın yayılımı risk dağılımı	120
Şekil 5.77. 500 yıllık tekerrürlü taşkın yayılımı risk derecesi	120
Şekil 5.78. Risk haritalanma, değerlendirme ve planlama döngüsü (FEMA, 2009)	121
Şekil 5.79. Taşkın risk zonları haritası	125
Şekil 5.80. Taşkın yönetim adımlarını	126
Şekil 5.81. Taşkın gelişimi (8 er saat zaman dilimleri için).....	128
Şekil 5.82. Taşkın risk yönetim planı (8. saat).....	129
Şekil 5.83. Taşkın risk yönetim planı (16. saat).....	130
Şekil 5.84. Taşkın risk yönetim planı (24. saat).....	131
Şekil 5.85. Taşkın risk yönetim planı (48. saat).....	131
Şekil 5. 86. 100 tekerrürlü taşkın risk yönetim planları	132
Şekil 5. 87. 100 tekerrürlü taşkın risk yönetim planları (Parselasyonlu)	133

ÖZET

Anahtar kelimeler: Taşkın, 1 ve 2 Boyutlu Model, Risk Analizi, Risk Yönetimi

2008 yılında Iowa eyaletinin büyük bir bölümünde meydana gelen taşkın birçok konut ve işyerinin hasar görmesine ve birçok can kaybına yol açmıştır. Meydana gelen toplam hasar \$10 milyar olarak tahmin edilmektedir. Taşkından etkilenen şehirlerden biriside Cedar Nehri'nin tam ortasından aktığı Waverly dir.

Waverly için, yüksek çözünürlüklü 1 boyutlu ve 2 boyutlu modelin birlikte çalıştırılması ile elde edilmiş hidrodinamik model geliştirilmiştir. Modelin geliştirilmesi amacıyla kanal geometrisi, batimetrik arazi çalışması ile topoğrafi datası ise Iowa üniversitesi bünyesindeki IIHR – Hydrosience & Engineering in yapmış olduğu Lidar(Light Detection and Ranging) yüzey topoğrafisi temini çalışmaları ile oluşturulmuştur. Akım verileri USGS (United States Geological Survey)'in 05458300 nolu akım ölçüm istasyonundan temin edilmiştir. Pürüzlülük katsayıları ise “National Land Cover Dataset” arazi kullanım haritaları ve hava fotoğraflarından yararlanılarak tahmin edilmiştir. Taşkın analizleri 1 boyutlu, 1 ve 2 boyutlu modellerin birlikte ele alınması şeklinde ayrı ayrı modellenmiştir. 1 boyutlu modelleme için HecRas hidrolik programı kullanılmıştır. 1 ve 2 boyutlu modellerin birlikte ele alındığı MikeFlood hidrodinamik programı ile de 2 boyutlu taşkın simülasyonu yapılmıştır. Hidrodinamik taşkın modeli, 2008 yılı taşkını ile kalibre edilmiştir.

Çalışmanın dört ana amacı bulunmaktadır. İlki sabit akışlar için taşkın yayılım haritalarının elde edilmesidir. Taşkın haritaları 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıl tekerrürlü taşkın debileri için hazırlanmıştır. Bu haritalar sayesinde su seviyesi ile taşkın riski arasındaki ilişkinin kullanıcılar tarafından rahatça tespit edilmesi sağlanmıştır. Bu haritalar ile Waverly şehir plancılarının ve sakinlerinin potansiyel taşkın riskini bilerek buna göre kararlar almaları konusunda yardımcı olacağı düşünülmektedir. Çalışmanın ikinci amacı ise, tasarlanmış olan modelin farklı çözünürlük kalitesine sahip sayısal yükseklik modelleri kullanılarak oluşturulmasıdır. Bu sayede elde edilen taşkın yayılım haritaları kıyaslanarak çözünürlüğün, taşkın yayılım haritaları sonuçlarını nasıl etkilediği tespit edilmiştir. Çalışmanın üçüncü amacı ise FEMA'nın belirlemiş olduğu standartlar çerçevesinde çalışma sahasına ait taşkın risk zonlarının belirlenmesidir. Belirlenen bu zonlar sayesinde taşkın riskine karşı yapılacak olan sigorta işlemleri için çalışma sahası farklı bölgelere ayrılarak risk dereceleri belirlenmiştir. Çalışmanın dördüncü amacı ise 100 yıl tekerrürlü taşkın gelişimi belirlenerek, taşkın süresince yapılması gereken risk yönetim süreçlerinin planlamasıdır. Bu sayede taşkın durumunda olası panik, kargaşa durumlarının önüne geçilmesi, meydana gelecek can ve mal kayıplarının azaltılmasında bu planların faydalı olacağı düşünülmektedir.

2 DIMENSIONAL FLOOD MODELS AND CREATING FLOOD INUNDATION MAPS IN RIVERS

SUMMARY

Keywords: Flood, 1 and 2-Dimensional Model, Risk Analysis, Risk Management

In 2008 flooding occurred over a majority of Iowa, damaging homes, displacing residents, and taking lives. Estimated damages to the state totaled \$10 billion. One of the city affected by the flood was Waverly City which is the Cedar River flow in side of it.

A high-resolution coupled one-dimensional/ two-dimensional (1D/2D) hydrodynamic model of Waverly City was developed. To develop the model, channel geometry was obtained from bathymetric surveys performed by IIHR – Hydroscience & Engineering and combined with surface topography obtained from Light Detection and Ranging (LiDAR) surveys. Discharges data were obtained from United States Geological Survey (USGS) stream gage 05458300. Roughness parameters were estimated using land use data from the National Land Cover Dataset and aerial photos. MikeFlood coupled 1D/2D hydrodynamic modeling software and 1D model were used flood analyses. The model was calibrated with 2008 flood.

This study has four major objectives. The first objective of this study was to create steady flow inundation maps. Maps were also created corresponding to 10, 25, 50, 100, and 500 year return period floods. These maps can be used by residents and planners in Waverly City to help make informed decisions about potential risk from floods.

The second objective of this study was to run the model with different resolution digital elevation models. Resolution effect was detected on flood inundation maps by this way.

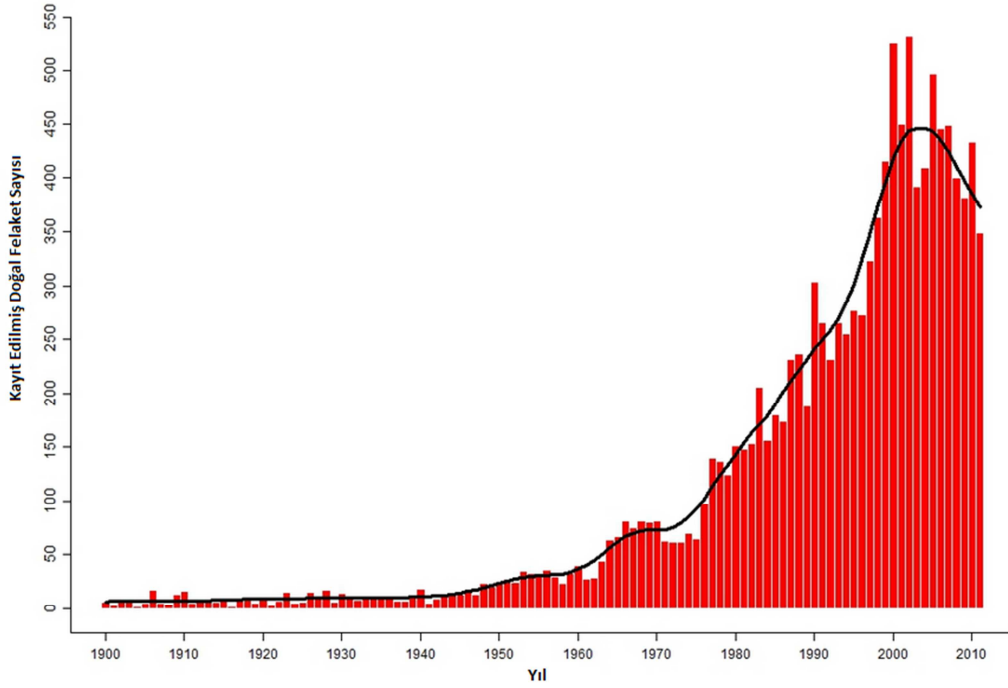
The third objective of this study was to create risk zones according to standard of FEMA. Whereby, it helps to creating of risk rates for insurance. The fourth objective of this study was to determine the development of the 100-year flood, planning to flood risk management processes during flood. Thus, possible panic and cause can prohibited during floods and also these plans are expected to be helpful for reducing loss of life and property.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

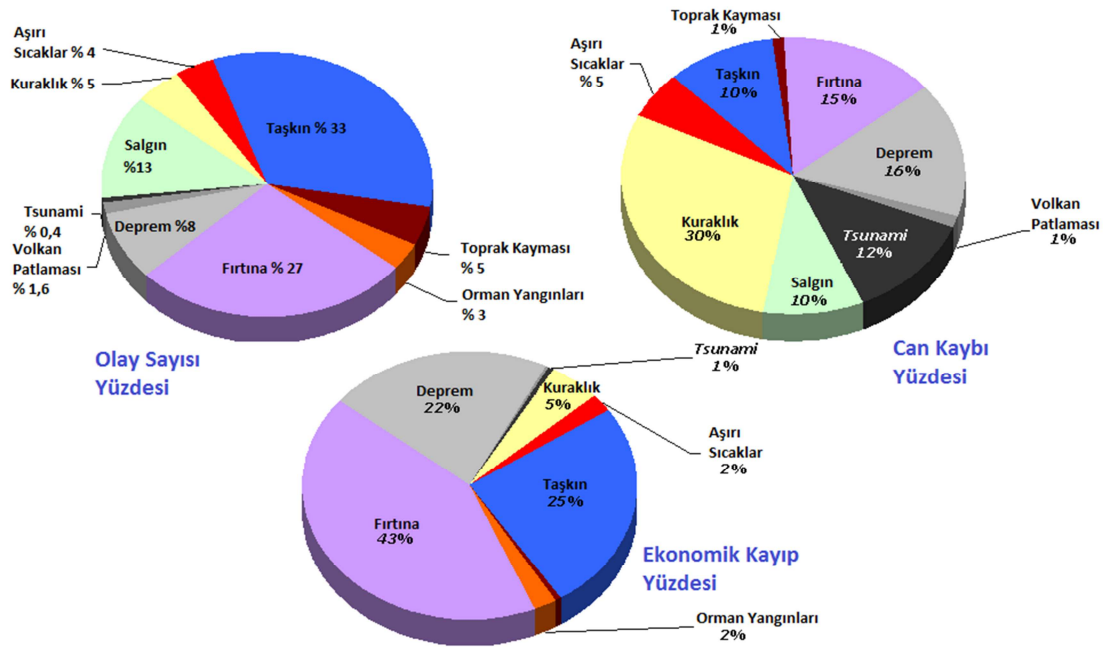
Taşkın felaketi büyüklüğü, sıklığı, oluşumu, can ve mal kaybı ile sosyo-ekonomik aktivitelere verdiği zararlarla dünyanın en büyük küresel tehlikesi olarak kabul edilmektedir [1]. Taşkınlar en çok hayat kaybına sebep olan doğal afetlerin sıralanmasında kuraklık, depremler ve fırtınalardan sonra dördüncü sırada gelmektedir [2]. Ancak Birleşmiş Milletler Kalkınma Programında, 1980 ile 2000 yılları arasında meydana gelen taşkınların depremlerden daha fazla can kaybına sebep olarak tropikal siklonlardan sonra ikinci sırada can kaybına neden olan doğal felaketler olarak belirtilmiştir [3]. Trend analizleri büyük taşkın felaketleri ve kayıplarının son yıllarda çok büyük oranda arttığını ortaya koymaktadır [4]. Son otuz-kırk yılda taşkın olaylarının sıklığı ve şiddetinin artmasına bağlı olarak dünya genelinde taşkınların neden olduğu can ve mal kayıpları büyük oranda artmıştır [2], [5]. Sadece geçtiğimiz son on yılda taşkın felaketinden kaynaklanan zararların telafisi için 250 milyar doların üzerinde maddi kaynak harcanmıştır [3]. 2011 yılında Japonya’da depremin ardından meydana gelen kıyısal taşkın olayında ise maddi kaybın 300 milyar dolar civarında olduğu tahmin edilmektedir [6].

Aşağıda verilen grafiklerden, doğal afetlerin son 30 – 40 yılda çok belirgin olarak arttığı (Şekil 1.1), son on yıldaki afetlerin büyük çoğunluğunun meteorolojik kökenli afetler olduğu (Şekil 1.2) ve taşkın kaynaklı afetlerden dolayı çok sayıda insanın yaşamını kaybettiği ya da zarar gördüğü (Şekil 1.2) anlaşılmaktadır.

Kayıt Edilmiş Doğal Felaketler 1900-2011



Şekil 1.1. 1900-2010 yılları arasında dünya genelinde meydana gelen doğal afetler (EMDAT, 2012).



Şekil 1.2. 2001-2011 yılları arasında dünya genelinde meydana gelen doğal afetlerin genel dağılım çizelgesi (EM-DAT, 2012).

Sel ve taşkın olayları ve meydana getirdiği zararlar gün geçtikçe artmaktadır. Küresel ölçekte 1994-2003 yılları ortalamasına göre her yıl 255 milyondan fazla insan (sel, taşkın, deprem vb) doğal afetlerden etkilenmiştir. Yine aynı verilere göre ortalama 58 bin insan hayatını bu afetlerden dolayı kaybetmiştir.

Sadece 2003 yılında dünyadaki her 25 insandan 1'i doğal afetlerden etkilenmiştir [7]. 2004 ve 2005 yıllarında ise önceki yılların ortalamasına kıyasla doğal afetlerde meydana gelen artışın % 18 olduğu belirtilmektedir [8]. Yılda ortalama 250 bin kişi, yeryüzünün değişik bölgelerinde, yağış dengesinin değişmesi, küresel ısınmanın getirdiği iklim değişikliği ve doğal bitki örtüsündeki değişimin lokal iklim üzerinde yaptığı etkiler gibi meteorolojik karakterli doğal afetlerden etkilenmekte ve bu afetler 50-100 milyar ABD doları maddi zarara neden olmaktadır [9]. Sadece 1991-1995 yılları arasında Avrupa'da meydana gelen sellerin meydana getirdiği ekonomik zarar 99 milyar Avro olarak tahmin edilmiştir [10].

1.1. Taşkın ve Taşkın Türleri

Taşkınların yalnızca meteorolojik olaylara bağlı olarak ifade edilmesi mümkün değildir. Özellikle ekonomik gelişme faaliyetinin yoğun bir biçimde devam ettiği şartlarda, sanayileşme ve sektör çeşitliliğinin beraberinde getirdiği kentleşme aktivitesi, akarsu havzalarının muhtelif kesimlerindeki insan faaliyetinin çeşitliliğini ve yoğunluğunu da büyük ölçüde arttırmaktadır. Bu durum ise havza bütünündeki hidrolojik dengeyi bozmakta ve sonuçta can ve mal kaybına yol açan taşkın afetleri yaşanmaktadır. Akarsu havzaları içinde büyüyen yerleşimler, açılan yeni yollar ve kurulan yeni tesisler ile arazi yapısı değişmekte, elverişsiz tarım yöntemleri ile topraklar daha yoğun bir şekilde kullanılmakta, ormanlar ve meralar tahrip edilmekte, tüm bu koşullarda taşkın afetleri giderek daha büyük ve sık olarak görülmektedir [11].

Dünya Meteoroloji Organizasyonu ve Global Su Birliği (WMO/GWP) taşkına neden olan faktörleri, hidrolojik, meteorolojik ve insan müdahalelerine bağlı etkiler olarak üç ana başlık altında ele alarak Tablo 1.1'de sınıflandırmıştır [12].

Tablo 1.1. Taşkına neden olan faktörler [12]

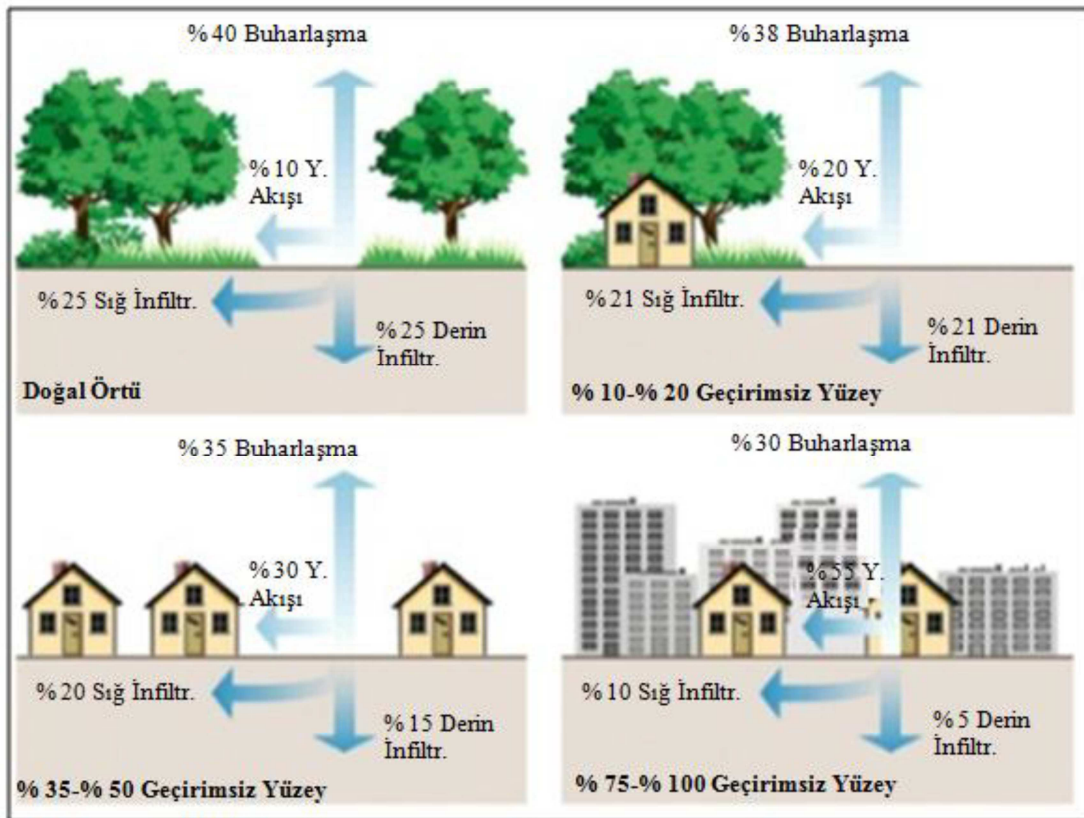
Meteorolojik Faktörler	Hidrolojik Faktörler	Taşkın Olayımın Ağırlaştırıcı İnsan Faktörü
<ul style="list-style-type: none"> • Yağış • Siklonik fırtınalar • Küçük ölçekli fırtınalar • Sıcaklık • Kar yağışı ve kar erimesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Toprağın nem oranı • Fırtına öncesi yeraltı su seviyesi • Yüzeyin doğal sızma oranı • Su geçirmez alanların varlığı • Kanal kesit şekli ve pürüzlülük • Yatağından taşan akım için kanal ağının varlığı ya da yokluğu • Havzanın çeşitli yerlerinde yüzeysel akımın senkronizasyonu • Drenajı engelleyen yüksek gelgit 	<ul style="list-style-type: none"> • Arazi kullanım değişiklikleri (Ormansızlaştırma ve şehirleşmeden kaynaklanan yüzeyin sızdırmasının engellenmesi) akımı artırır ve sedimentasyona sebep olabilir • Taşkın yatağının işgal edilmesiyle akımın engellenmesi • Alt yapının olmaması veya bakımsız/yetersiz olması • Mamba yakınında yapılan çok etkili drenajlar akım yüksekliğini artırması. • İklim değişikliğinin taşkın ve yağışın sıklığını ve büyüklüğünü etkilemesi • Şehirlerdeki mikro klima etkisinin yağışı tetiklemesi

WMO/GWP yukarıda belirtilen taşkına sebebiyet veren faktörlerin bir ya da bir kaçının neden olduğu taşkınları genel olarak dört kategoriye ayırmıştır;

- Lokal taşkınlar
- Nehir taşkınları
- Kıyusal taşkınlar
- Ani taşkınlar

1.1.1. Lokal taşkınlık

Daha çok toprağın geçirimsizliğini engelleyen yapıların yüzeyi kapladığı, şehirleşmenin olduğu alanlarda meydana gelen lokal taşkınlık, şehir taşkınlık olarak da adlandırılmaktadır. Mevsimsel yağışların devam ettiği süre boyunca yoğun ve şiddetli yağışlarla beraber, yüzeyin geçirimsizliğinin olmadığı ya da çok azaldığı alanlarda yağışın topraktan sızamayıp, yüzey akımına sebep olduğu taşkın türüdür. Yapılaşmanın su döngüsüne ve buna bağlı olarak lokal taşkına etkisi şematik olarak Şekil 1.3’ de gösterilmektedir. Lokal taşkınlık genellikle yüzey geçirimsizliğinin azaldığı alanlarda meydana gelmesinin yanı sıra yapılaşma için yanlış yer seçimi ve arazi kullanımına bağlı olarak çok hızlı gelişerek şehirlerin bir bölümünün, su altında kalmasına neden olur [13], [14], [15].

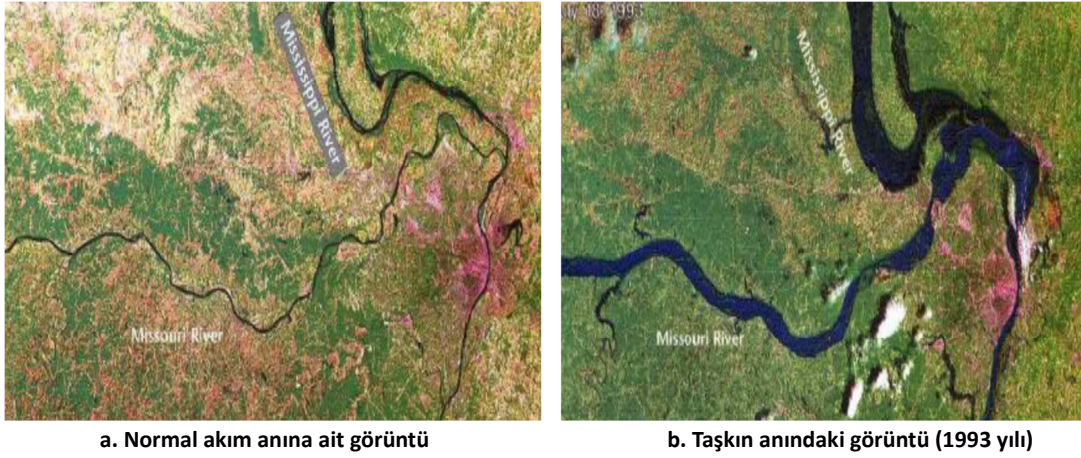


Şekil 1.3. Şehirleşmenin su döngüsü üzerindeki etkisi [12]

1.1.2. Nehir taşkınlık

En yaygın olan taşkın türüdür. Şiddetli yağışlar, kar ve buz erimelerin tetiklediği akımın nehir ana yatağının taşıma kapasitesini aşarak, yatağından taşması olayıdır

[16]. Şekil 1.4'de Missisipi üzerinde meydana gelen nehir taşkını gösterilmektedir. Toprağın geçirimsizliği, yüzeyi kaplayan bitki örtüsü, toprak kullanım şekli nehir taşkınının büyüklüğü ve şiddetini önemli ölçüde etkilemektedir [12]. Nehirleri çevreleyen düzlükler genellikle verimli topraklar ve yerleşilmesi kolay alanlar olduğundan, nehir havzalarında yoğun yapılaşma olmaktadır. Bu da, yerleşmenin yoğunluğuna paralel olarak, taşkınların neden olacağı hasarı arttırmaktadır.



Şekil 1.4. Missisipi Nehrinin normal akım ve taşkın anına ait uydu görüntüleri [17]

1.1.3. Kıyısal taşkınlar

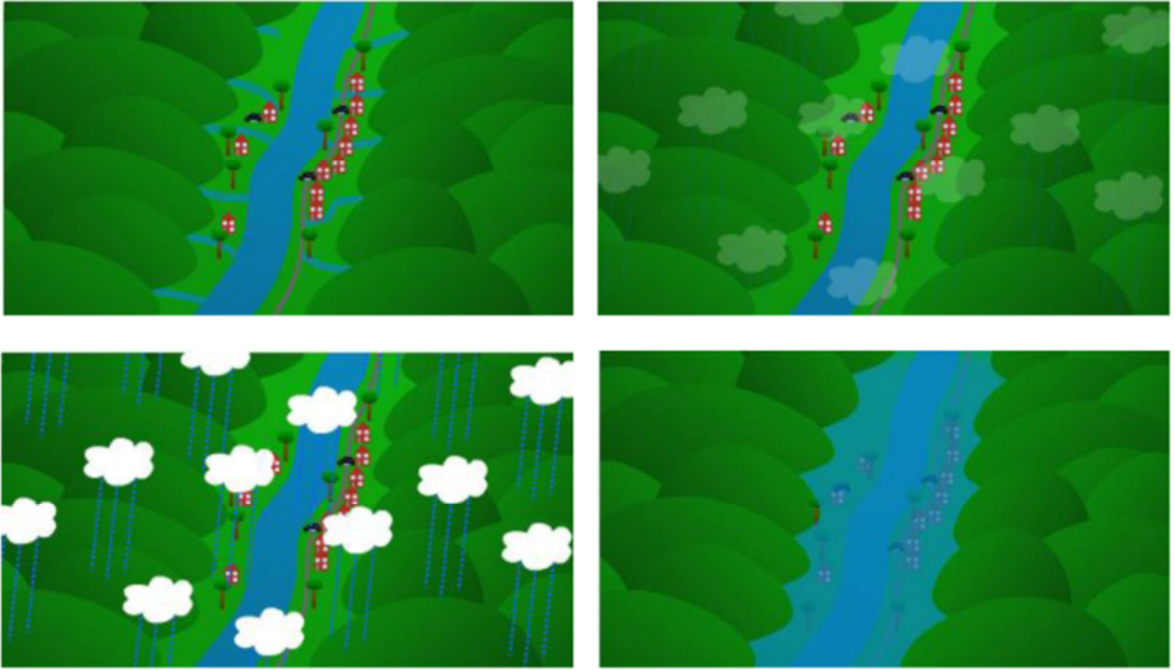
Genel olarak kıyı alanı boyunca meydana gelen taşkınlardır. Şiddetli yağışa sebep olan tropikal fırtına ve kasırgalar, büyük dalgalar oluşturan volkanik patlamalar veya depremler okyanus sularının kıyıya doğru hareket etmesine ve kıyısal taşkına neden olmaktadır [16]. Kıyısal taşkınlar çok güçlü ve yüksek dalgalarla birlikte çok büyük su kütlelerinin kıyıya doğru hareketine neden olduğundan çok büyük hasarlara neden olmaktadır [18]. Ayrıca kıyı taşkınlarının sebep olduğu yüksek dalgalar nehir ve drenaj sistemlerinin deşarjına engel olarak nehir ve lokal taşkınların yaşanmasına neden olabilmektedir [12]. 2011 yılında Japonya'da, deprem sonrası meydana gelen kıyısal taşkın, bu taşkın türünün yıkıcı etkilerinin ne denli büyük olabileceğini göstermiştir (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Deprem sonrası oluşan kıyı taşkını Japonya-2011 [19].

1.1.4. Ani taşkınlar

Çok şiddetli yağışlar, bulut patlamaları, toprak kaymaları, buz kütlelerinin ani salınımı, baraj yıkılmaları ya da taşkın koruma çalışmalarının başarısızlığından kaynaklanan, dağlık alanlardaki mabdan harekete geçen yüzeysel akımın çok hızlı birikimi sonucu ani taşkınlar meydana gelmektedir. Su seviyesindeki yüksek akım şiddetinin neden olduğu ani yükselmeyi takiben su yüksekliğinde hızlı bir azalma olur. Deşarjlar çok hızlı maksimum seviyeye ulaşır ve hemen hemen aynı hızda azalır [12]. Ani taşkınlar meydana geldiği alanda ağır hasarlara neden olmasının yanında sediment taşınımı ve erozyonlara neden olabilmektedir. Ani taşkınlardan korunmaya yönelik risk planlamalarında, meteorolojik verilerin gerçek zamanlı takibi ve arazi kullanım bilgisi büyük önem taşımaktadır [20]. Ani taşkınların oluşumu Şekil 1.6'da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Ani taşkın oluşumunun şematik gösterimi [21].

Avrupa Dönüşümlü Taşkın Haritalama Birliği, (European Exchange Circle on Flood Mapping- EXCIMAP) ise taşkın türlerini şu şekilde tanımlamaktadır;

Nehir taşkınları (taşkın yatağında meydana gelen taşkınlar)

- Deniz sularının taşkını
- Dağdan ya da yüksek alanlardan gelen yüzeysel akımın neden olduğu taşkınlar
- Akdeniz havzasında kısa süreli ani taşkınlar
- Yer altı suları taşkınları
- Göl taşkınları

Aynı kaynakta taşkınların nedenleri, etkileri ve ilgili parametreler taşkın türlerine bağlı olarak Tablo 1.2’de verildiği şekilliyle sınıflandırılmıştır [22].

Tablo 1.2. Taşkın türleri ve nedenleri [22]

Taşkın Türü	Taşkın Nedenleri	Taşkın Etkileri	İlgili Parametreler
Nehir taşkınları (taşkın yatağında meydana gelen taşkınlar)	<ul style="list-style-type: none"> Yoğun yağmurlar ve/veya kar erimeleri Buz sıkışması, tıkanıklık Koruma amaçlı yapılan yapıların yıkılması 	<ul style="list-style-type: none"> Nehir havzası dışına su taşması (durgun ya da hareketli) 	<ul style="list-style-type: none"> Genişlik Suyun derinliği Suyun şiddeti Sel yayılımı (selin ilerlemesi)
Deniz sularının taşkını	<ul style="list-style-type: none"> Fırtınanın büyümesi Tsunami Yüksek dalgalar 	<ul style="list-style-type: none"> Kıyı hattı boyunca suyun taşması (durgun ya da hareketli) Tarım arazilerinin tuzlanması 	<ul style="list-style-type: none"> Genişlik Suyun derinliği Suyun şiddeti Sel yayılımı (selin ilerlemesi)
Dağdan ya da yüksek alanlardan gelen yüzeysel akımın neden olduğu taşkınlar	<ul style="list-style-type: none"> Bulut patlamaları Göl taşkınları Havzadaki yamaç instabilitesi Debris akışı 	<ul style="list-style-type: none"> Su ve sediment taşması Taşkın hattı boyunca erozyon 	<ul style="list-style-type: none"> Genişlik Suyun derinliği Suyun şiddeti Sel yayılımı (selin ilerlemesi) Sediment birikimi
Akdeniz havzasında kısa süreli ani taşkınlar	<ul style="list-style-type: none"> Bulut patlamaları 	<ul style="list-style-type: none"> Su ve sediment taşması Taşkın hattı boyunca erozyon 	<ul style="list-style-type: none"> Genişlik Suyun derinliği Suyun şiddeti Sel yayılımı (selin ilerlemesi) Sediment birikimi
Yer altı suları taşkınları	<ul style="list-style-type: none"> Komşu su kütlelerindeki yüksek su seviyesi 	<ul style="list-style-type: none"> Taşkın yatağındaki durgun su birikimi (uzun süreli taşkın) 	<ul style="list-style-type: none"> Genişlik Suyun derinliği
Göl taşkınları	<ul style="list-style-type: none"> Kaynağa ya da rüzgârlara bağlı olarak su seviyesindeki yükselme 	<ul style="list-style-type: none"> Durgun suyun gölün dışına taşması 	<ul style="list-style-type: none"> Genişlik Suyun derinliği

BÖLÜM 2. LİTERATÜR

Dünyada birçok bölge ve ülkede taşkınlar ekonomik ve sosyal hayatı etkileyen en önemli doğal felaketlerden biri olarak birçok bilim adamı için önemli bir çalışma alanı olmuştur. Meydana gelen taşkınları anlamak ve etkilerini ortaya koymak için değişik bilgisayar modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerin ana bileşenlerini genel olarak dört kısımda toplamak mümkündür. Bunlar; hidrolojik modeller, hidrolik modeller, taşkın haritalamaları ve modelde kullanılmak üzere mekânsal verilerin üretilmesidir [23].

Özellikle CBS teknolojilerindeki ilerleme ve sayısal yükseklik modellerindeki kalite artırımlarıyla birçok hidrolojik, hidrolik, su kaynakları ve çevre ile ilgili araştırmalarda uygulamalar artmıştır [24].

CBS ile hidrolojik ve hidrolik modellemelerine ait yazılımların entegrasyonu birçok amaç için gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birisi olan HEC-GeoRAS, ArcGIS CBS yazılımı içerisinde bir uzantı olup mekânsal verilerin işlenmesi için üretilmiştir. Bu uzantıyla var olan sayısal arazi modeli üzerinden akarsu yataklarına ait geometrik verilerin çıkartılması, işlenmesi, HEC-RAS hidrolik yazılımına ait veri tabanının okunması, su yüzeylerine ve taşkınların haritalanması yapılabilmektedir. HEC-RAS ise tek boyutlu, sürekli akımlara ait su yüzeylerinin hesaplandığı ve süreksiz akımlara ait modellemelerin yapıldığı, veri saklama ve yönetim kapasitesi olan dünyada yaygın olarak kullanılan hidrolik yazılımdır [25]. CBS'nin kullanımıyla akarsu sistemlerine ait hidrolik modellemeler daha kolaylaştırılmıştır. Verilerin hazırlanması, modellerin yorumlanması gibi zaman alan ögeler CBS ile daha basitleştirilmiştir [26]. Böylece CBS ve hidrolik yazılımlarla yapılan taşkın modellemeleriyle, olası taşkınlarla ait su yüzeylerinin dağılım alanları, bunlara ait hacim ve derinlik hesaplamaları yapılabilmektedir.

Taşkın konusunda dünyada yapılan çalışmalar bulunmakla beraber son yıllarda daha da önem arz eder bir hale gelmiştir. Türkiye de ise bu konularda yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Dünya ve Türkiye’de konu ile ilgili yapılmış bazı çalışmalara yer verilmiş ve yapılan çalışmanın literatürden farkı anlatılmıştır.

Amerika’da taşkın ile ilgili yapılan çalışmalara bakacak olursak;

Johnson (1998), 2500 hektardan daha büyük havzalarda SCS-CN yağış-akış metodunun uygulanabilirliğini araştırdığı çalışmasında simülasyondan sonraki akış değerleriyle güncel akış değerlerini birbirine yakın bulmuş ve SCS-CN metodunun uygulanmasında havza büyüklüğünün bir etkisi olmadığını belirtmiştir [27].

Mclin ve ark. (2001), Pajarito Platosu’nda (Meksika) 100 yıllık yineleme dönemine sahip taşkın debisinin oluşturabileceği taşkın alanlarını tespit edebilmek için ArcView ve HEC bileşimi bir model hazırlamışlardır. Çalışma alanının hidrolojik analizleri HEC tarafından geliştirilen Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) ile yaptıktan sonra taşkın debisini tespit eden araştırmacılar, HEC-RAS hidrolik modeli ile taşkın anında su seviyelerinin hangi kotlara ulaşacağını bulmuşlardır [28].

Tate ve ark. (2002), Texas’ta Waller Nehri’nde taşkın sahalarını belirlemek için arazi modellerini oluşturmuşlardır. Arazi modelinin oluşturulması için CBS’den, hidrolik modelin oluşturulabilmesi için de HEC-RAS’tan yararlanılmıştır. Sayısal yükseklik haritası topoğrafik verilerden CBS’de oluşturulmuş ve HEC-RAS’tan alınan akım seviyeleri de Digital Elevation Model (DEM) isimli sayısal arazi modeline girilip taşkın risk haritaları bahsedilen havza için üretilmiştir [29].

Aggett ve Wilson (2009), Naches Irmağı’nın çakıl yataklı bir kolunda (Washington) yüksek çözünürlüklü LIDAR görüntülerini kullanarak hazırladıkları sayısal arazi modelinden, HEC-GeoRAS ile aldıkları topoğrafik kesitlerden faydalanarak, hidrolik analizleri HEC-RAS programı ile gerçekleştirmiş ve tekrar HEC-GeoRAS ile çıktılarını alarak taşkın risk haritalarını oluşturmuşlardır [30].

Gabriele Villarini ve ark. (2009), Kuzey Karolina da bulunan Chorlotte havzasında 1997 yılında meydana gelen fırtına ve taşkın hadisesi ele alınmıştır. Düşen toplam yağış miktarı ve maksimum taşkın debisi farklı iki radar verisi ve havzada yer alan yağış ve akış gözlem istasyonlarının verileri kullanılarak tahmin edilmiş ve sonuçlar kıyaslanmıştır [31].

Gabriele Villarini ve ark. (2009), Akım ölçüm istasyonu olmayan bölgeler için taşkın frekans analizlerinin elde edilmesine yönelik yöntemler geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla çeşitli havza parametreleri farklı istatistiksel yöntemler için girdi parametresi olarak kullanılmış ve çeşitli tekerrür aralıklarına ait debiler hesaplanmıştır [32].

W.F. Krajewski, J.A. Smith (2002), Radar gözlemleri ile elde edilen yağış verilerinin hidrolojik olayların tanımlanması için kullanılması konu alınmıştır. Bu amaçla NEXRAD radar verileri kullanılarak yağış tahmini yapılmıştır. Yapılan tahminlere dayalı olarak oluşacak akış ve taşkın tahmini yapılması esas alınmıştır. Oluşabilecek ekstrem yağışların tahmini için teorik yöntemler geliştirilmeye çalışılmıştır [33].

Aaron Cook, Venkatesh Merwade (2009), 1 boyutlu ve 2 boyutlu taşkın yayılım haritalarının elde edilmesi konu alınmıştır. 1 boyutlu model için HEC-RAS, 2 boyutlu model için WMS programı kullanılmıştır. Bu amaçla 1 boyutlu modelde altlık olarak topografik DEM verileri, 2 boyutlu model için altlık olarak LİDAR DEM verileri kullanılmıştır. Yine aynı nehir üzerinde alınmış kesit sayısı katları şeklinde artırılıp azaltılarak elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Bu işlemlerin aynısı 10 yıllık, 100 yıllık ve 200 yıllık dönüş aralıkları için yapılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır [34].

Gümrükçüoğlu ve diğ. (2010), ABD'deki Kansas Nehri'nde 1993 yılında meydana gelen taşkından sonra arazi kullanım durumundaki değişimleri belirlemek amacıyla, uzaktan algılama yöntemlerini kullanarak yaptıkları çalışmada, taşkından sonra tarım, orman, mera ve açık alanlarda alansal olarak büyük değişimlerin meydana geldiğini belirtmişlerdir [35].

Türkiye’de taşkınla ilgili yapılan çalışmalar ise;

Yazıcılar ve Önder (1998), HEC-RAS yazılımını Türkiye’de ilk kez, Bartın nehrinde taşkın anında oluşabilecek su yüzü seviyelerinin hesaplanması için kullanmıştır. Bulunan su yüzü kotlarına göre tespit edilen taşkın alanı, 1998’de Bartın Merkez’de yaşanan taşkın anında oluşan ve haritalanan gerçek alanlarına oldukça yakın sonuçlar vermiştir [36].

Baga (1999), CBS kullanılarak, taşkın risk haritalarının oluşturulması, taşkın risklerinin ortaya konulması konusunda Türkiye’deki ilk uygulamayı, Çayboğazı Havzası’nın Muğla Fethiye İlçesi’nde, Danish Hydraulic Institute (DHI) ve ESRI tarafından geliştirilen Mike 11 GIS modülünü kullanmış ve çeşitli durumlara (taşkın seddesi olması ve olmaması) göre taşkın risk haritalarını hazırlamıştır [37].

Onuşluel (2005), İzmir Karşıyaka İlçesindeki Bostanlı Nehir Havzasının taşkın alanlarının HEC-RAS ve CBS yöntemleriyle belirlenmesi ve görsel olarak ortaya konulmasını amaçlayan bir doktora tez çalışması yapmıştır. Bu çalışmada, hidrolojik ve hidroluk yazılımlardan elde ettiği verileri, CBS tabanında “otomatize taşkın yatağı belirleme tekniği” ile göstermeyi amaçlamıştır. HEC-RAS hidroluk modeli İzmir Bostanlı Havzası’ndaki kritik yerlere zamanla değişen ve zamanla değişmeyen akım simülasyonlarının oluşturulması amacıyla uygulanmıştır. Taşkın pik değerleri ve taşkın hidrografları HEC-HMS ile elde edilmiş ve bu model çıktıları HEC-RAS modelinde girdi olarak kullanılmıştır. HEC-RAS modelinden elde edilen su derinlikleri daha sonra ArcView sistemine uygun yardımcı programlar ile aktarılmış ve böylece taşkın altında kalabilecek olan alanlar belirlenerek görsel hale getirilmiştir [38].

Usul ve Turan (2006), CBS’ni kullanarak Ulus Havzası’nın hidrolojik taşkın analizini yapmak ve olası taşkınları tahmin etmek için yaptıkları çalışmada, Mike 11 modelleme sistemini kullanarak 25, 50 ve 100 yıl tekerrürlü taşkın debilerini hesaplamışlar ve taşkın risk haritası oluşturmuşlardır [39].

Özdemir (2007), Havran ilçe merkezi ve ovası için CBS ve hidrolik yazılımlar kullanarak olası taşkınların hidrolik modellemesini oluşturmak ve taşkın haritalarını üretmek amacıyla yaptığı çalışmada, HEC-RAS ve HEC-GeoRAS yazılımlarının taşkın haritalaması konusunda güçlü bir alt yapıya sahip olduklarını ve bunların risk yönetimi açısından yapılacak planlarda önemli bir yere sahip olduklarını vurgulamıştır [40].

Demirkese (2011), Türkiye, Hatay ili için çoklu risk değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu amaçla Hatay ili ve bölgesi için, denize kıyısı olan bölgelerin deniz yükselmesi sonucu meydana gelecek kıyı taşkınları, akarsu yatağı ve civarı için taşkın riski ve deprem riski açısından farklı kriterler dikkate alınarak çoklu risk analizi yapılmıştır. Taşkın riskinin belirlenmesinde SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) DEM verileri kullanılarak çeşitli kriterlere göre taşkın riski altında kalabilecek yerler belirlenmiş ve risk haritalaması yapılmıştır [41].

Saf (2009), Büyük ve Küçük Menderes üzerinde bulunan 45 adet akım gözlem verileri homojenlik testine tabi tutulmuştur. Bu verilerden homojen olan 36 adet akım gözlem istasyonuna ait verilere L momentleri yöntemi uygulanarak taşkın frekans analizi yapılmıştır [42].

Topaloğlu ve diğ. (1999), örnek bir havzada gözlenmiş akım miktarlarının sistem simülasyonu ve frekans analizlerinde kullanılabilirliğini bazı istatistik analiz teknikleriyle incelemişler, daha sonra bu analiz tekniklerini Orta Anadolu Kapalı Havzasındaki akım gözlem istasyonlarında ölçülen anlık maksimum akış verilerine uygulamışlar ve sonuç olarak 9 istasyondan 5 tanesinin akım verilerinin frekans ve simülasyon çalışmalarında güvenle kullanılabileceğini tespit etmişlerdir [43].

Temiz ve diğ. (2004), Batı Karadeniz Bölgesi'nde, Log Pearson Type III (LP III) dağılım yöntemiyle hesapladıkları 50 yıllık tekerrür süresine sahip akımların oluşturacağı potansiyel taşkın alanlarını, CBS teknikleri kullanarak değerlendirmişler ve sonuç olarak çalışma alanının kuzeybatı kesimlerinin göreceli olarak daha fazla taşkın potansiyeline sahip olduğunu belirtmişlerdir [44].

Özdemir (2008), Havran Çayı'nın (Balıkesir) farklı tekraralama sıklıklarındaki akım miktarlarını Gumbel ve LP III istatistik dağılım yöntemleriyle hesaplayarak iki yöntemin sonuçlarını karşılaştırmış ve Havran Çayı'nda 1981 yılında meydana gelen taşkında ölçülen akım miktarının yaklaşık olarak Gumbel dağılımında 100 yıllık, LP III dağılımında ise 50 yıllık tekraralama sıklığına karşılık geldiğini belirlemiştir [45].

Demirkesen ve diğ. (2007), Landsat-7 ETM+ uydu görüntülerini kullanarak İzmir'in sahil taşkınları risk analizini yapmışlar ve deniz seviyesinden 2 ve 5 m yükseklikte bulunan sahil alanlarının su baskınına karşı savunmasız olduğunu belirtmişler, yılda 20-50 mm ortalama deniz seviyesi artışı senaryolarına göre 2100 yılı yakınlarında birçok sahil şehirlerinin büyük risk altında olacağını vurgulamışlardır [46].

Gül ve diğ. (2009), İzmir Bostanlı Havzası'nda yaptıkları çalışmada hidrolojik model ve hidrolik model kombinasyonu ile Bostanlı Barajı'nın potansiyel faydasını test etmişler, barajın potansiyel taşkın kontrolünde ve pik akımları düşürmede pozitif etkilerinin olduğunu belirtmişlerdir [47].

Kaleyci (2004), Değirmendere Havzası'nda taşkın frekans analizi ve taşkın sahalılarının belirlenmesi adlı bir yüksek lisans tez çalışması yapmıştır. Bu çalışmada taşkın tahmin hesapları için, hem istatistikî yöntemler hem de birim hidrograf yöntemleri kullanılmıştır. Değirmendere Havzası'nda bulunan 7 adet Akım Gözlem İstasyonunun (AGİ) noktasal ve bölgesel taşkın frekans analizi istatistikî yöntemlerle yapılmış ve 500, 1000, 10000 yıl yinleme dönemli taşkın debileri belirlenmiştir. Sentetik birim hidrograf yöntemlerinden, Devlet Su İşleri (DSİ) Sentetik ve Mockus Metotları da uygulanarak aynı yinleme dönemli debiler elde edilmiştir. Bulunan taşkın debileri HEC-RAS bilgisayar programıyla değerlendirilerek, su yüzü kotları incelenmiş ve derelerin sağ ve sol sahillerinde bazı bölgelerin sular altında kalacağı öngörülmüştür [48].

Akar ve Ark. (2009), İstanbul Beykoz sınırındaki Yeniçiftlik Nehir Havzası'nda 10, 50 ve 100 yıl tekerrürlü debilerin oluşturacağı taşkın alanlarını tespit etmişlerdir. Analizlerin gerçekleştirildiği topoğrafik veriler 1/25000 ve 1/5000 çözünürlüklü uydu fotoğrafları ve arazi gözlemlerinden oluşmaktadır. Topoğrafik verilerden elde

edilen arazi modelinden kesitler çıkarılmış ve HEC-GeoRAS alt programıyla hidrolik analizlerin gerçekleştirilmesi için HEC-RAS'a aktarılmıştır. Hidrolik model ile tespit edilen su yüzü profilleri tekrar CBS' ye aktarılmış ve IKONOS uydu görüntülerinden elde edilen arazi kullanım haritasıyla karşılaştırılıp, nerelerin sular altında kalabileceği 3 farklı senaryo için gösterilmiştir. Bu çalışma sonunda Yeniçiftlik Nehir Havzası'nda yaklaşık 9 km'lik nehir kolunun taşkın haritaları üretilmiştir [49].

Diğer bölgelerde yapılan taşkın çalışmalarına bakacak olursak;

Gerassimov, Bojilova (2008), Bulgaristan 4 ana hidrolojik bölgeye ayrılmış ve bu bölgelerdeki nehirlerin karakteristikleri incelenmiştir. Tunca havzasında yer alan Meriç nehri çalışma sahası olarak seçilmiş ve olası taşkınlar birçok yönden ele alınarak incelenmiş. Meriç nehri için günlük anlık maksimum ve minimum debiler tespit edilmiştir [50].

Artinyan, Habets (2008), Baraj işletmesi konusunda 72 saat önceden akım tahminine yönelik bir model geliştirilmeye çalışılmıştır. Çalışma sahası olarak Arda nehri havzası seçilmiştir. SVAT modeli ile gerçek akım verileri elde edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla havza eşit boyutlarda gridlere bölünerek ele alınmıştır. Kar erimesi ve gerçek evapotranspirasyon yağış sıcaklık gibi veriler kullanılarak SVAT modeli çalıştırılmıştır [51].

Angelidis ve ark. (2010), Arda Nehri havzası için geliştirilmiş bir model ile çeşitli senaryolar için yağış akış modelleri kurularak taşkın riski ve yine bu havza içerisinde yer alan barajların hem hidrolojik hem de ekonomik açıdan en iyi şekilde işletilmesine yönelik sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Böylece mansab bölgesinde taşkın önlenirken, hidroelektrik enerji kayıplarını da minimuma indirmek amaçlanmıştır. Geliştirilen bu modelin başka havzalar içinde kullanılabileceği ortaya konmuştur [52].

Vojinovic ve Tutulic (2009), Şehir taşkınları konu alınmıştır. Hollanda'nın St Martin kentinde meydana gelen taşkınlar için hem 1 boyut hem de 1 ve 2 boyutun birlikte ele alındığı taşkın modelleri kullanılmıştır. Modellemelerde altlık olarak LİDAR

verileri kullanılmıştır.1 boyutlu taşkın modellemesi için Mike 11, 2 boyutlu modelleme için ise Mike 21 programı kullanılmıştır. 10 yıllık, 100 yıllık ve 200 yıllık taşkın debisi için 1 ve 2 boyutlu modellerle taşkın yayılım haritaları elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre risk ve zarar haritaları oluşturulmuş 1 ve 2 boyutlu modellerin avantaj ve dezavantajları kıyaslanmıştır [53].

Hung ve ark. (2012), 17 milyon insanın yaşadığı Vietnam'ın Mekong havzasında hemen hemen her yıl meydana gelen taşkınlar ele alınmıştır. Meydana gelen taşkınların karakteristikleri, dinamik etkileri ve taşkın yayılım haritalarının elde edilebilmesi konusunda çalışılmıştır. Bu amaçla taşkın sahasına kurulan istasyon ile taşkın karakteristikleri saptanmaya çalışılmıştır. TerraSAR-X uydu görüntüleri de kullanarak taşkın alanlarının mevsimsel değişimi incelenmiştir [54].

Karmakar (2010), Coğrafi bilgi sistemi (GIS) kullanılarak taşkın riski farklı yönleriyle (fiziksel, ekonomik, altyapı ve sosyal) değerlendirilmiş ve farklı amaçlar için kullanılabilir taşkın risk haritaları elde edilmiştir [55].

Birkhead ve diğ. (2007), Nil Nehri havzasında yaptıkları çalışmada, hidrolojik modelleme ile elde ettikleri verileri kullanarak Nil Nehri taşkın yatağının bir boyutlu hidrolik modelini oluşturup taşkın özelliklerini tahmin etmeye çalışmışlar ve hidrolik modelleme yöntemlerinin taşkın yatağı sistemlerinin analizinde yararlı olacağını belirtmişlerdir [56].

Amini (2010), İran'ın kuzeybatısındaki örnek bir nehrin bir bölümünde yaptığı çalışmada, taşkın sonrasında su altında kalacak alanları belirlemek amacıyla IKONOS uydu görüntülerini ve Sayısal Yükseklik Modelini (SYM) kullanarak taşkın risk haritaları oluşturmuş ve sonuç olarak geliştirilen bu modelin taşkın risk yönetiminde kullanılabilirliğini ileri sürmüştür [57].

Ludlow (2009), Gana'da örnek bir nehir havzasında meydana gelebilecek pik akımları ve sel sularının zamanını tahmin etmek amacıyla yaptığı araştırmada, UA ve CBS desteğiyle birlikte SCS-CN yağış-akış metodunu kullanmıştır. Bu metodu, pik akımlar ile olası kanal taşkınlarının miktar ve zamanını elde etmek için Hydrologic

Modeling System (HEC-HMS) modelini kullanarak uygulamış ve sonuçlarını daha önce selden etkilenen ve sık sık sular altında kalan alanlarla ilgili yayımlanan belge ve haritalarla karşılaştırarak çalışmanın tarihsel bir taşkın risk verisi olarak yardımcı olacağını vurgulamıştır [58].

Chuan ve Jing (2006), Çin'deki bir nehir havzasında; eğim açısı, şiddetli yağışların olduğu günler, nehir kanalı yapısı, maksimum yağışlar ve geçmişte yaşanan taşkın olayları gibi faktörleri analiz ederek CBS teknikleri vasıtasıyla havzayı, taşkın riski taşınması bakımından bölgelere ayırarak risk haritası oluşturmuş ve havza alanının % 17,9'unu son derece yüksek riskli, % 45,9'unu yüksek riskli, % 25,2'sini orta riskli, % 11'ini düşük riskli bölge olarak belirlemiştir [59].

Gutry-Korycka ve ark. (2006), Vistula Nehri'nde (Varşova, Polonya) bir boyutlu analiz yapan hidrolik model olan HEC-RAS ile 100 yıl yineleme dönemine sahip debiye göre buldukları su yüzü profillerini, önceden CBS'de hazırlanan sayısal yükseklik modellerinin üzerine ekleyerek taşkın risk haritalarını üretmişlerdir [60].

Balabanova ve ark. (2008), Mike 11 yazılımını kullanarak buldukları su seviyelerini ArcView Programı ile hazırlamış oldukları SYM'ye girmiş ve Bulgaristan Novi Iskar Sahası için taşkın analizi yapmışlardır. Bölge için önemli bir problem olan taşkını modelleyip risk haritalarını oluşturmuşlardır [61].

Solaimani (2009), çalışmasında, Zaremrood Irmağı'nın 4 km' lik son bölümünde (Tajan Irmağı'nın membası, İran) 2-5-10-25-50 ve 100 yıl tekerrürlere sahip taşkın debilerinin oluşturacağı taşkın alanlarını HEC-RAS/HEC-GeoRAS paket programlarını ve CBS yöntemlerini kullanarak tespit etmiştir. Çalışmasında, taşkın alanlarının tespitinde kullanılan son teknolojilerden olan bu yöntemin pratikliğini göstermektedir [62].

Bu çalışmada ise Amerika Birleşik Devletleri, Iowa Eyaleti'nin Waverly şehri için taşkın yayılım ve risk haritaları hazırlanmıştır. Hidrodinamik taşkın modeline altlık oluşturacak sayısal yükseklik modeli, "LIDAR" arazi taraması verileri ile nehir kanalında yapılmış batimetrik ölçümlerin birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Farklı

tekerrür aralıklarına sahip taşkın debileri ise FEMA (Federal Emergency Management Agency)'nın belirlemiş olduğu standartlar gereği "Bulletin 17 B" yöntemine uygun şekilde HEC-SSP programı kullanılarak hesaplanmıştır, Nehir yatağı ve taşkın yatağına ait pürüzlülük katsayıları ise arazi kullanım verileri ve hava fotoğraflarından yararlanılarak tahmin edilmiştir. Model, 2008 yılında meydana gelmiş taşkın ile kalibre edilmiştir. Taşkın yayılım haritaları farklı tekerrür aralıkları için 1 boyutlu (HECRAS), 1 ve 2 boyutun birlikte ele alınması ile (MIKE11,MIKE21 ve MIKEFLOOD) elde edilmiştir. Hidrodinamik taşkın modeli, özellikle Waverly şehir merkezi için farklı çözünürlüklerdeki sayısal yükseklik modelleri (5m, 10 m ve 30 m) ile koşturulmuş elde edilen sonuçlar kıyaslanarak çözünürlüğün taşkın yayılım haritalarının hassasiyetini ne kadar etkilediği belirlenmeye çalışılmıştır. FEMA'nın belirlemiş olduğu standartlar çerçevesinde çalışma sahasına ait taşkın risk zonlarının belirlenmiştir. Belirlenen bu zonlar sayesinde taşkın riskine karşı yapılacak olan sigorta işlemleri için çalışma sahası farklı bölgelere ayrılarak risk derecelendirilmesi yapılabilecektir. 100 yıl tekerrürlü taşkın gelişimi belirlenerek, taşkın süresince yapılması gereken risk yönetim süreçlerinin planlaması yapılmıştır. Bu sayede taşkın durumunda olası panik, kargaşa durumlarının önüne geçilmesi, meydana gelecek can ve mal kayıplarının azaltılmasında bu planların faydalı olacağı düşünülmektedir.

BÖLÜM 3. YÖNTEM

Suyun akışı doğal bir ortamda sayısal yöntemler kullanılarak hesaplanabilir. Bu yöntemler, suyun akışı ile ilgili iki temel denklem olan süreklilik ve hareket denklemleri kullanılarak elde edilmektedir. Bu denklemlerin ilişkilendirilmesi ile 3 boyutlu karmaşık akışların çözümlenmesinde kullanılan Navier-Stokes denklemleri elde edilmektedir. Karmaşık olmayan 1 ve 2 boyutlu akışların çözümlenmesinde ise basitleştirilmiş St. Venant denklemleri kullanılarak akış hesaplanabilmektedir. Daha önceleri bilgisayar kapasitelerinin sınırlı olması ve St. Venant denklemlerinin hesaplamayı kolaylaştırmasından ötürü kullanılıyordu. Son gelişmeler ile bilgisayar kapasiteleri 2 boyutlu çalışmalar yapmaya uygun hale gelmiştir. 2 boyutlu modeller kompleks topografyalarda daha doğru sonuçlar vermekte fakat kapasite büyüklüğü ve nehir yatağında bulunan yapıların modellenmesi açısından da olumsuzlukları beraberinde getirmektedir.

1 ve 2 boyutlu modelin birlikte koşturulması ile bu iki modelin avantajlarından yararlanılmaktadır. Hidrolik modeller geliştirilirken, kullanılacak dataların toplanması, data kalitesi, kullanılan programların verdiği hatalar gibi birçok belirsizlikler ile karşılaşmaktadır. Bu belirsizlikler göz önünde bulundurularak modeller tasarlanmalı ve gerekli kalibrasyonlar yapıp ona göre model seçilmelidir.

3.1. Hidrolik Model Altyapısı

Akışkanın hareketi, sayısal hidrolik modellemesi Süreklilik ve Navier-Stokes denklemleri ile çözümlenmektedir. Süreklilik Denklemi, Denklem 3.1 de gösterilmiştir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.1)$$

ρ ; akışkanın yoğunluğunu, x,y,z ; Kartezyen koordinatlarını, u,v,w ; ise sırasıyla x,y ve z doğrultusundaki hızlarını ifade etmektedir. Hareket denklemleri ise Navier-Stokes denklemlerinin (Denklem 3.2-3.4) üretilmesinde kullanılmaktadır.

$$\rho g_x + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (3.2)$$

$$\rho g_y + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} = \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (3.3)$$

$$\rho g_z + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} = \rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) \quad (3.4)$$

σ ve τ sırası ile normal ve kayma gerilmelerini, g ise yerçekimi ivmesini ifade etmektedir. Süreklilik ve hareket denklemlerinin her ikisi de, hareket halindeki veya kararlı haldeki akışkanlar için kabul edilir. Herhangi bir sıkıştırılmaz Newtonyen akışkan için gerilmeler, deformasyon oranı ile doğrusal olarak ilişkilidir. Bu ilişki Denklem 3.5-3.10 arasında gösterilmiştir.

$$\sigma_{xx} = -p + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \quad (3.5)$$

$$\sigma_{yy} = -p + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \quad (3.6)$$

$$\sigma_{zz} = -p + 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \quad (3.7)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (3.8)$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = \mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \quad (3.9)$$

$$\tau_{zx} = \tau_{xz} = \mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (3.10)$$

p ; akışkan basıncını, μ ; dinamik viskoziteyi göstermektedir. Navier-Stokes denklemleri, Denklem 3.5-3.10'un Denklem 3.2-3.4'de yerine yazılması ile elde edilir. Navier-Stokes denklemleri, Denklem 3.11-3.13'te verilmiştir.

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (3.11)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3.12)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (3.13)$$

Navier-Stokes denklemleri ile süreklilik denklemleri sıkışmaz newtonien akışkanların hareketini tanımlayan denklemlerdir. Fakat Navier-Stokes denklemlerinin çözümlenmesi oldukça karmaşıktır. Bu yüzden taşkın yatağı akışı 3 boyutlu olmasına rağmen, tercih edilen metotlar daha basit olmaktadır [63].

3.2. 1 Boyutlu Akış Modelleri

Akarsu hidrolik modelleme için en yaygın kullanılan yaklaşım Saint-Venant Denklemlerinin 1 boyutlu sonlu farklar yöntemidir [63]. Saint-Venant denklemleri Denklem 3.14 ve 3.15’de gösterilen kütle korunumu ve momentum korunumu ilkesine dayanmaktadır.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (3.14)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uQ) + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} - S_0 \right) + gAS_f = 0 \quad (3.15)$$

Q; debi, A; kesit alanı, u; boykesit doğrultusundaki hızı, h; akış derinliğini, S₀; kanal eğimini, S_f; sürtünme eğimini ifade etmektedir. Saint-Venant Denklemlerinin 1 boyutlu çözümleri çeşitli varsayımları esas alarak türetilmiştir. Buna göre; akış tek boyutludur. Kesit boyunca su seviyesi yataydır. Nehir yatağında mendereslenme az ve dikey doğrultudaki ivme ihmal edilmektedir. Sürtünme ve türbülans etkisi, pürüzlülük ilkelerine uygun şekilde hesaplanmalıdır. Nehir yatağının eğimi küçük olmalıdır [64].

1 boyutlu modellemelerde yaygın olarak kullanılan MIKE11 ve HEC-RAS programları da Navier-Stokes denklemlerini kullanmaktadırlar. Mike 11 programının kullanmış olduğu temel eşitlik denklem 3.16 ve 3.17’de verilmiştir.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (3.16)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2AR} = 0 \quad (3.17)$$

Q; debi, x; kanal uzunluğu, A; kesit alanı, q; kanalın birim genişliğine giren veya çıkan yanal debi, t; zaman, h; akış derinliği, C; Chezy katsayısı, R ise hidrolik yarıçapı ifade etmektedir.

HEC-RAS programı ise sürtünme kayıplarını hesaplamak için Chezy katsayısının yerine Manning pürüzlülük katsayısının kullanılması dışında benzer bir yaklaşıma sahiptir [65]. HEC-RAS programında kararsız akımların çözümü de mümkündür. Bunun için 4 noktalı kapalı şema yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde her $(n+\theta)$ Δt noktası için konumsal türevleri ve fonksiyonları hesaplanır. Kapalı şema içerisinde sonuçlar eş zamanlı olarak denklemlere dönüştürülerek bir sonraki adım için 1 boyutlu denklemin çözümüne devam edilir. Kapalı şema yöntemi çözümü etkileyebilecek şekilde bilgilere müdahale etmenize izin vermektedir. Buda hesaplama açısından açık şema yöntemine göre daha fazla efor sarf etmesine yol açmakla birlikte nümerik stabiliteyi arttırmaktadır. Von Neuman stabilite analizi Fread (1974) tarafından gerçekleştirilmiş ve Liggett and Cunge (1975) ise kapalı şema yönteminin $0.5 < \theta < 1.0$ değerleri arasında her koşul için stabil olduğunu ortaya koymuşlardır [66].

MIKE 11 programı da kapalı şema yöntemini kullanmaktadır. HEC-RAS programından farklı olarak 6 noktalı Abbott şemasını genel Saint-Venant denklemlerinin çözümünde kullanmaktadır [66]. Hesaplamalarda her bir grid için debinin, Q ve su seviyesinin, h değişimi hesaplanmaktadır. Simülasyon zamanı ise hesaplamanın yapıldığı düğüm noktasına göre değişmekle birlikte genel olarak birkaç dakika içerisinde tamamlanmaktadır.

1 boyutlu sonlu farklar nehir modellemelerinde bazı kabuller yapılmaktadır. Buna göre, akış hızının nehir en kesitine dik olduğu kabul edilir. Buna ek olarak nehir en kesitindeki su yüzü yüksekliğinin bütün kesit boyunca aynı olduğu kabulü yapılır. Nehir anakolu genelde doğal yan kollar ve durgun su alanları içermektedir, fakat buda model kabullerine göre ihmal edilmektedir [63].

1 boyutlu modellerin geliştirilmesinde, modele ait geometrik özelliklerin tanımlanması kullanıcı tarafından yapılmaktadır. Bates and De Roo (2000)'da

yaptıkları çalışmada, kesitlerin belirlenmesi ve yerleştirilmesinin, modelin doğruluğu açısından çok büyük bir önemi olduğunu vurgulamışlardır. Buna ek olarak, kesitin, taşkın sahasında uzatılacağı mesafede model sonuçlarının doğruluğunu etkileyebilmektedir.

3.3. 2 Boyutlu Akış Modelleri

1 boyutlu modellerin pratik olmasına rağmen beraberinde getirmiş olduğu limitler yüzünden Navier-Stokes denklemleri için 2 boyutlu derinlik ortalaması kodları geliştirilmiştir. Derinlik ortalaması Navier-Stokes denklemleri sığ su Saint-Venant denklemleri olarakta adlandırılmaktadır. Bu denklemlerden, 2 boyutlu sayısal kümelerin sınıflandırılması veya basitleştirilmiş tahminler yapılabilir [67].

Mevcut araştırmanın amacı yerel ölçekte doğru taşkın yayılım dasetası sağlamak olduğundan, sayısal modelin çözümlenmesinde, Full Dynamic Saint-Venant denklemlerinin uygulanması gerekmektedir. Denklem 3.18-3.20 arasında Saint Venant Denklemleri verilmiştir. Denklem 3.18 süreklilik, Denklem 3.19 ve 3.20 ise momentumun korunumu denklemlerini temsil etmektedir.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hU)}{\partial x} + \frac{\partial(hV)}{\partial y} = 0 \quad (3.18)$$

$$\frac{\partial(hU)}{\partial t} + \frac{\partial(hUU)}{\partial x} + \frac{\partial(hVU)}{\partial y} = \frac{\partial(hT_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(hT_{xy})}{\partial y} - gh \frac{\partial z}{\partial x} - \frac{\tau_{hx}}{\rho} \quad (3.19)$$

$$\frac{\partial(hV)}{\partial t} + \frac{\partial(hUV)}{\partial x} + \frac{\partial(hVV)}{\partial y} = \frac{\partial(hT_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(hT_{yy})}{\partial y} - gh \frac{\partial z}{\partial y} - \frac{\tau_{hy}}{\rho} \quad (3.20)$$

Yukarıdaki denklemlerde, U ve V ; sırasıyla x ve y doğrultusundaki ortalama derinlikteki hızı, T_{xx} , T_{xy} ve T_{yy} ; ortalama derinlikteki türbülans gerilmesini, z ; su yüzü kotunu, τ_{hx} , τ_{hy} ; sürtünmeden dolayı oluşan yatak kayma gerilmesini ifade etmektedir [68].

Danish Hydraulic Institute (DHI)' nün yazılımı olan MIKE 21 de kütle ve momentumun korunumunu iki yatay boyutta açıklayan denklemler kullanılmaktadır. Kullanılan bu eşitlikler Denklem 3.21-3.23 arasında verilmiştir.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \quad (3.21)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] = 0 \quad (3.22)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2+q^2}}{C^2h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] = 0 \quad (3.23)$$

h; su derinliği, d; su derinliğinin zamanla değişimi, ζ su yüzü kotu, p ve q; sırasıyla x ve y doğrultusundaki akış yoğunluğu, C; Chezy pürüzlülük katsayısı, g; yerçekimi ivmesi, ρ_w ; suyun yoğunluğu, x ve y; kartezyen koordinat sistemi, t; zaman, τ_{xx} , τ_{xy} ve τ_{yy} ; efektif kesme gerilmesi bileşenlerini ifade etmektedir [66].

2 boyutlu modellerin, 1 boyutlu modellere nazaran birçok üstünlükleri vardır. Cook ve Merwade (2009) yaptıkları çalışmada topografik ve geometrik özelliklerde göz önünde bulundurularak taşkın yayılım alanlarının tahmininde 2 boyutlu modellerin daha makul sonuçlar vereceğini ortaya koymuşlardır. Bu avantaj özellikle kentsel bölgelerin taşkın modellemesinde daha da belirgin hale gelmektedir [69]. Horritt and Bates (2000)'e göre, 2 boyutlu modellerin gözlem ve tahminlerin mekânsal olarak dağılmış olduğu, 1 boyutlu taşkın modellemesi ise noktasal seviye veya debi ölçümlerinin olduğu durumlarda tercih edilmektedir. 1 boyutlu modellere göre düşük hesaplama verimliliği 2 boyutlu modellerin en büyük dezavantajlarıdır. 2 boyutlu modellerde hesaplama süresi ve mekânsal çözünürlük arasında bir dengenin sağlanması gerekmektedir [70]. Frank ve diğerleri 2001 yılında yaptıkları çalışmada ise 2 boyutlu modellerin köprü ve baraj gibi yapıları temsil etme kabiliyetlerinin düşük olduğunu söylemişlerdir. Bunun için hesaplama zamanını azaltmak ve yapıları tam temsil edecek simülasyon için nehir yatağının 1 boyutlu, taşkın yatağında sadece 2 boyutlu olarak ele alındığı potansiyel metot kullanılmalıdır.

3.4. LIDAR (Light Detection and Ranging) Topografik Data Tarama Sistemi

Sayısal yükseklik modelleri (SYM), arazide ölçülen noktalara dayalı olarak arazinin, bir ya da birden fazla matematiksel model kullanılarak elde edilmiş biçimdir. Kullanılan bu matematiksel modeller genellikle enterpolasyon yöntemleri olarak adlandırılırlar. Yüzey modellemesi, araziye dayalı bütün çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yeryüzünün ya da nesne yüzeyinin uygun bir enterpolasyon yöntemi ile modele etki eden parametrelerin de göz önüne alınarak modellenmesi, çalışmanın niteliği ve çalışmadan beklenen hassasiyete göre değişebilmektedir. Araziye ilişkin kaynak verinin yoğunluğu ve dağılımı, seçilecek enterpolasyon yöntemi ve gridleme aralığı, sayısal yükseklik modellerinin hassasiyetini etkileyen faktörler olarak sıralanabilirler. Hava lazer teknolojisi olarak adlandırılan LIDAR tekniği, son yıllarda yaygın olarak kullanılan 3 boyutlu bir veri toplama sistemidir (Şekil3.1) Kullanımının yaygınlaşmasındaki temel etken ise bu yöntem sayesinde hızlı ve etkin olarak yüksek çözünürlüklü arazi verisinin elde edilebilmesidir. Pek çok farklı disiplin tarafından değişik nitelikteki mühendislik projeleri, enerji ve doğal kaynakların yönetimi, çevresel etkiler ve doğal afetler sonucu oluşan hasarların izlenmesi, arkeoloji, jeolojik çalışmalar vb. gibi farklı uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır. LIDAR tekniği, yeryüzüne ya da nesne yüzeyine ait yoğun ve hassas veri setlerinin elde edilmesine olanak sağlamasının yanında, mekâna dayalı çalışmalarda standart bir uygulama haline gelmiştir. Bu noktada, 3 boyutlu nokta koordinatlarının elde edilmesinde LIDAR teknolojisi, hızlı ve etkin sonuçlar sunarak, yeryüzündeki büyük alanlara ait arazi verisinin elde edilmesinde büyük kolaylık sağlamaktadır.

Planlamada pek çok etken olmasına rağmen en önemli olanı arazi yüzeyine ait verilerin doğru ve hassas olarak elde edilmesine olanak sağlayan yükseklik modelleridir. Uygun sayısal yükseklik modellerinin araziye ait verilerden üretilmesi, çalışmanın bütününde önemli bir etken olmakla birlikte, yapılacak planlamanın da temelini oluşturmaktadır.



Şekil 3.1. Lidar veri toplama yöntemi

3.4.1. LIDAR verilerin taşkın çalışmalarında kullanımı

Taşkın modellemesinde topografyanın doğru olarak temsil edilmesi çok büyük önem taşımaktadır. Taşkın modelleri simülasyon süresi boyunca akış şeklini çok iyi bir şekilde simüle edebilmektedir. Taşkın seviyesinin yükselip alçalması, akış hızı, akış yönü, taşkın süresi, yayılım alanlarını simüle ederek büyük ölçüde sel potansiyelini ve potansiyel hasarı tahmin etmemize katkıda bulunur. Taşkınla alakalı bu detayların, gerçek dünyadaki suyun akışını temsil edilebilmesi için, detaylı ve gerçeği yansıtan SYM lerine ihtiyaç duyulmaktadır.

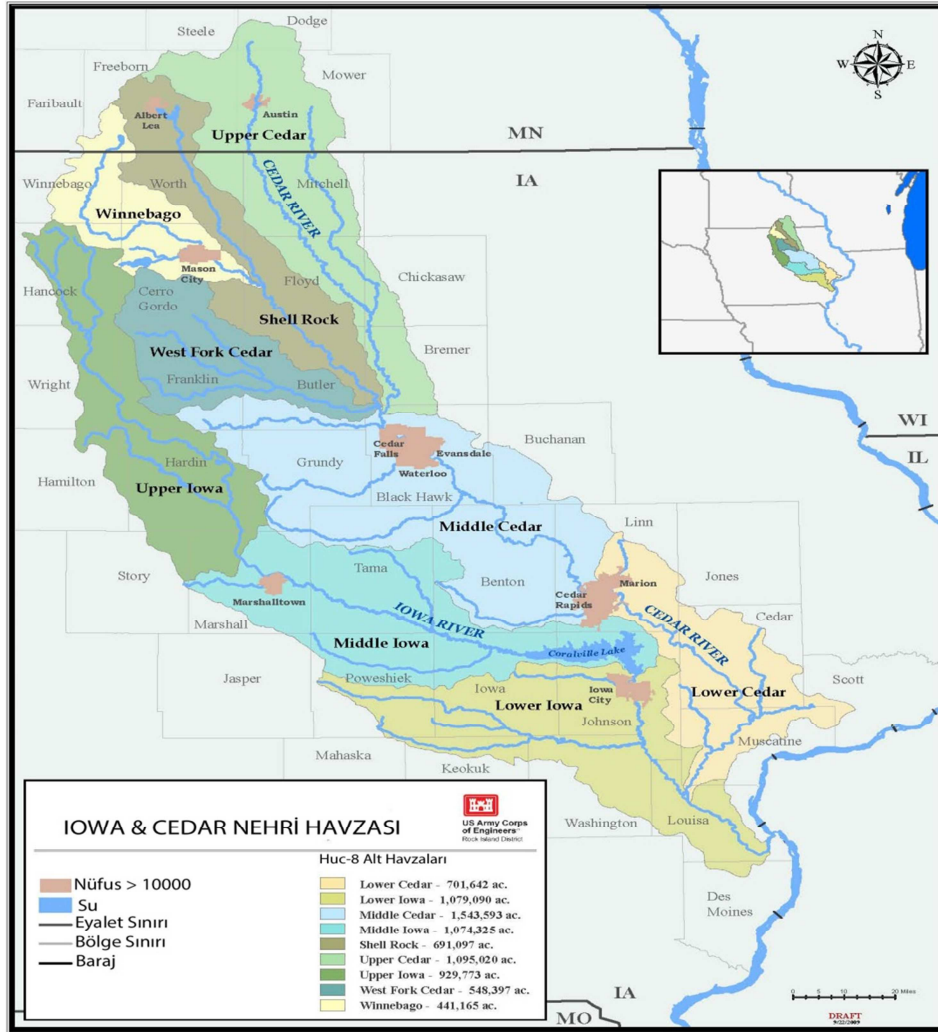
LIDAR veri toplama yöntemindeki gelişmeler ile topografik verilerin gerçeği yansıtmadaki sorunlarını çözmek mümkün olmuştur. LIDAR'ın birincil avantajı, eş yükselti eğrilerinden üretilmiş topografik datalara nazaran yatay doğrultudaki hataların daha az olduğu dijital temsil modellerdir. LIDAR verisi yaklaşık 1m lik çözünürlük 15 cm gibi yüksek bir hassasiyetle arazi yükseklik haritaları üretebilir. Bir diğer avantajı ise, veri toplama işleminin hızlı olması ve taşkın sahası üzerinden

yapılan birden fazla uçuşla daha hassas topografik verilerin elde edilebilmesidir. Yüksek çözünürlüklü modeller, taşkının bentler, seddeler ve hendekler ile kontrol edildiği küçük ölçekli hidrolik modellerde ve bu modellerin doğru bir şekilde sonuçlandırılmasında büyük avantajlar sağlamaktadır (Şekil 3.1).

BÖLÜM 4. ÇALIŞMA SAHASI

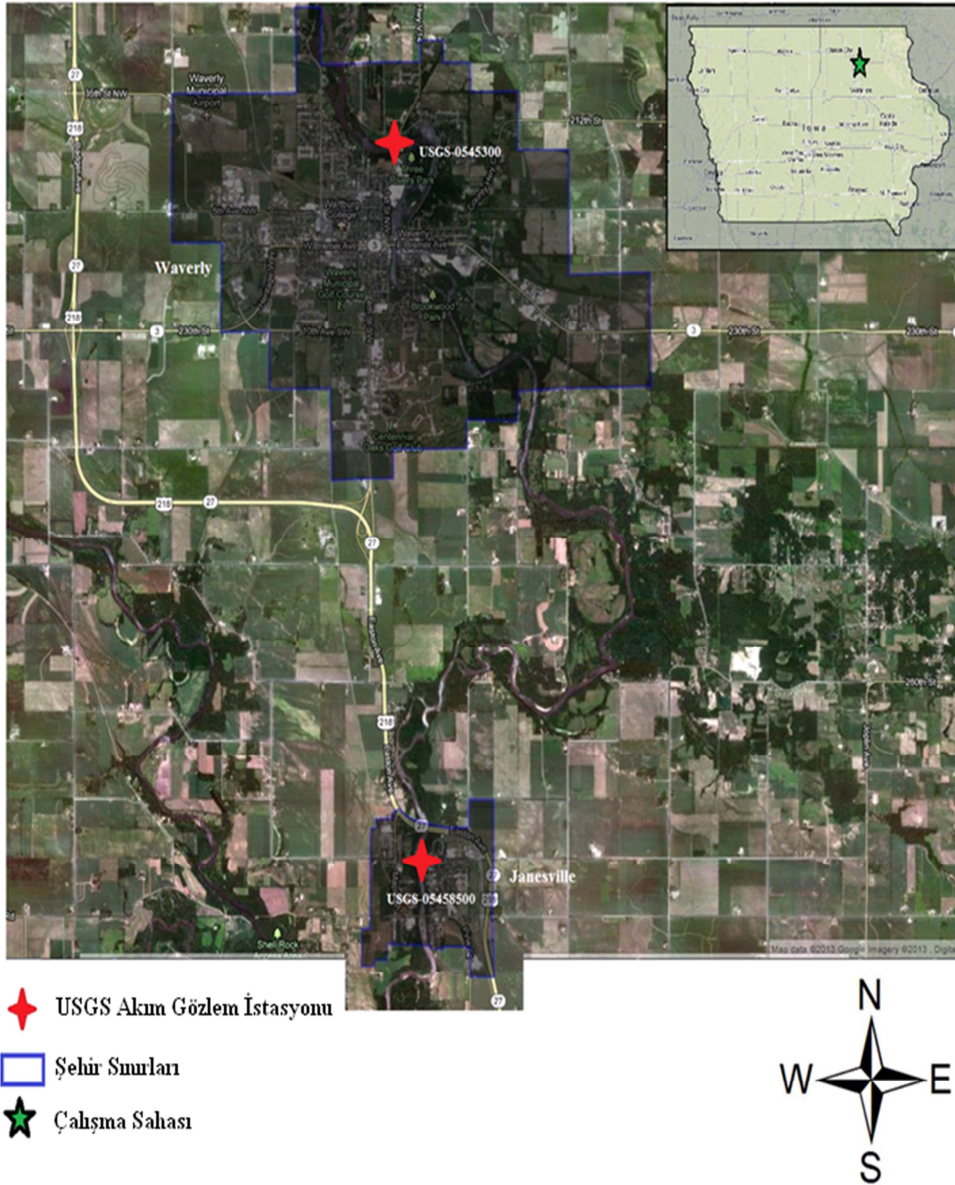
43°58' K - 41°09' K enlemleri ile 93°39' B - 91°01' B boylamları arasında bulunan Cedar Nehri ve Iowa Nehri Mississippi Nehrinin doğu Iowadaki en büyük kollarıdır. Bu iki nehirde güneydoğu istikametinde akarak Mississippi nehrini beslerler. Cedar Nehri Minnesota Eyaletinin güney doğusundan doğar ve Iowa Nehri ile Mississippi Nehrinin birleşim noktasından 50 km yukarisından birleşir (Şekil 4.1) . Cedar nehri havzası 20,319 km² dir. Nehir' in çalışmaya konu olan kısmı, havzanın kuzeybatısından güneydoğusu doğrultusuna uzanan 23 km lik bir kısmı kapsamaktadır. Cedar Nehri çalışma sahası boyunca olan kesiminin eğimi yaklaşık 0,00045 m/m dir. Çalışma sahası boyunca Cedar Nehrine dahil olan ve ayrılan bir yan kol olmayıp çalışma sahası bitiminde nehir iki kola ayrılmaktadır. Çalışma sahası 145.5 km² lik bir alanı kapsamaktadır. Çalışmaya konu olan Waverly şehri ise 29.81 km² lik bir yüzölçümüne sahiptir.

Waverly, Iowa eyaletinin kuzeydoğu kısmında, Cedar Nehri boyunca uzanan bir şekilde konumlanmaktadır. Waverly çalışma sahası olarak seçilmiş ve Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Cedar Nehrinin çalışma sahası içinde kalan kısmında 5 adet köprü 1 adet baraj bulunmaktadır. USGS(United States Geological Survey) e ait 05458300 nolu akım gözlem istasyonu da bu 5 köprü içerisinde Horton Rd. Köprüsü üzerinde kurulu bulunmaktadır.



Şekil 4.1.Cedar Nehri ve Iowa Nehri Havzaları

Bu gözlem istasyonu 1547 km² lik bir drenaj alanına sahip olup, 2001 tarihinden itibaren akım kayıtları bulunmaktadır. Bu tarihler arasında 12 tane pik akım gözlem değeri ölçülmüştür. Bunlar içerisinde en büyüğü 2008 yılında 1489.46 m³/s (52600 cfs) olarak ölçülmüştür. 05458300 nolu akım gözlem istasyonu da çok fazla akım kaydı bulunmadığından yine aynı nehir üzerinde Waverly'nin mansabında bulunan Janesville şehrinde kurulu olan 05458500 nolu USGS akım gözlem istasyonuna ait akım değerleri istatistiksel yöntemlerle Waverly akım gözlem istasyonuna ötelenmiş ve bu veriler modelin hidrolojik altyapısını hazırlamak için kullanılmıştır. Janesville akım gözlem istasyonundan elde edilen pik akım verileri 1905 yılı itibariyle başlamış ve toplamda 93 adet veri toplanmıştır. Bu veriler içerisinde ölçülmüş en büyük değer ise 1512 m³/s (53400 cfs) dir. Bu istasyon verileri kullanılarak Waverly için yapılacak hidrolojik modellere altyapı oluşturacak debi veri bankası oluşturulmuştur.



Şekil 4.2. Waverly ve Janesville şehirlerine ait lokasyonlar

4.1. Çalışma Sahası İklim ve Yağış Özellikleri

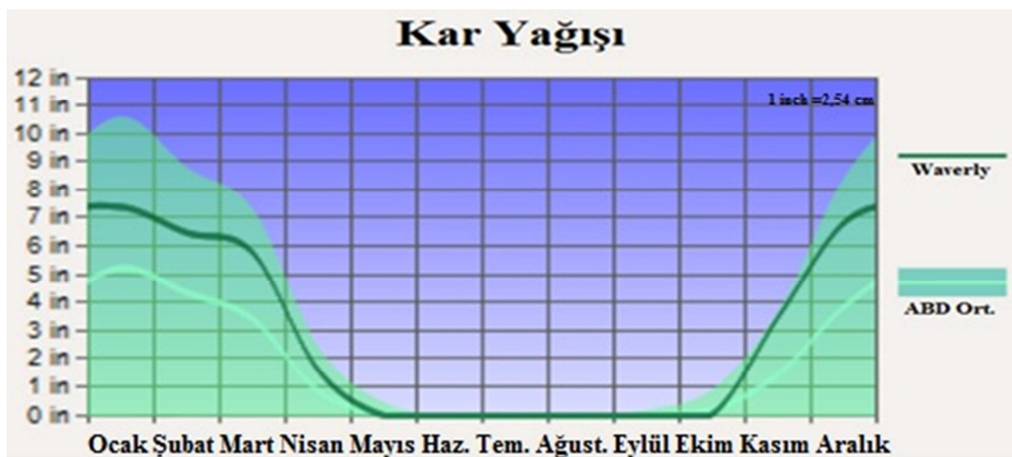
İklim özellikleri havza özelliklerinin analiz edilmesi ve başka havzalarla benzer özellikler gösterip göstermediğinin tetkik edilebilmesi açısından önemlidir. Çünkü taşkın hidrograflarının elde edilebilmesi için; gerekli olan yağış verilerinin elde edilmesi esnasında; eğer elde ilgili havzaya ait yeterli veri yoksa; iklim ile topografya şartları benzer olduğu takdirde gözlenmiş büyük yağışlar, meydana geldikleri bölgeden projelendirilmesi istenen havzaya aktarılabilirler. Burada

gözlenmiş maksimum değer, atmosferde bulunabilen yağışa dönüşebilir nem ile maksimize edilmelidir.

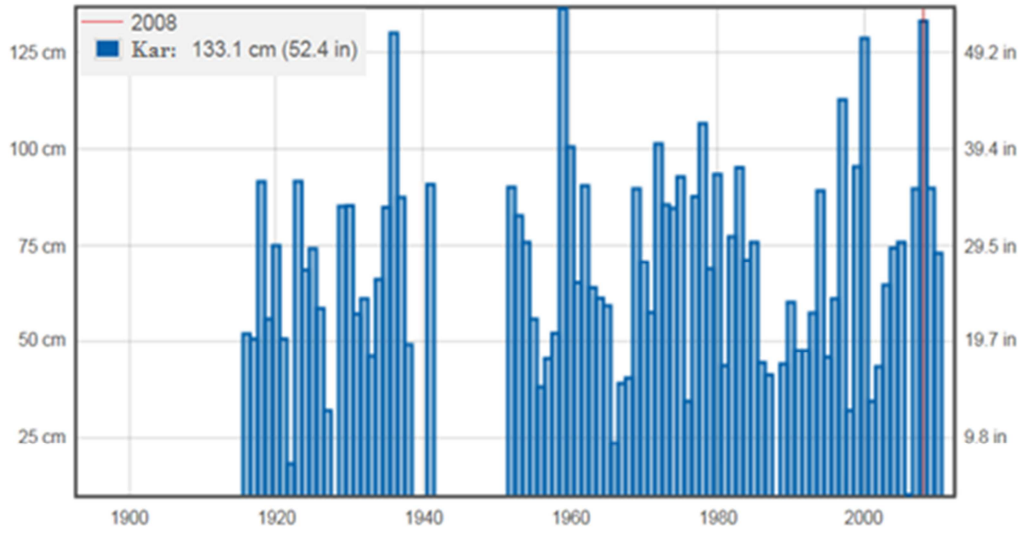
Çalışma sahası konumu itibariyle ortabatı amerika kuşağının iklim özelliklerini yansıtmakta ve aşırı sıcak ve soğukların gözleendiği nemli bir iklim yapısına sahiptir. Bu iklim tipinde, kış aylarında yoğun kar yağışı ve şiddetli soğuklar hakim olmaktadır. Yine aynı bölgede yaz aylarında yüksek nem oranı ve sıcaklık gözlenmektedir. Bahar aylarında ise aşırı yağışlar ve kar erimesi ile meydana gelen taşkınlar gözlenmektedir. Bölgede kaydedilen en büyük taşkınlar 1993 ve 2008 yıllarında gerçekleşmiştir. Waverly şehri ve yakınlarında bulunan meteorolojik ölçüm istasyonlarından elde edilen veriler ve 2008 yılında meydana gelen taşkın oluşumuna etki eden meteorolojik faktörler Şekil 4.3-4.12 arasında verilmiştir.

4.1.1. Yağış

Ortabatı Amerika iklim kuşağında yer alan Waverly Doğu ve batı doğrultularından gelen nemli okyanus hava tabakalarının, Kuzeyden; Kanada ve Alaska tarafından gelen soğuk hava tabakalarıyla karşılaşması sonucu yeterli yoğunlaşma oranına ulaşması sonucu yağmur ve kar şeklinde bölgeye yağış bırakmaktadır. Bölge yılın büyük bir bölümünü yağış alarak geçirmektedir. Kar yağışının büyük kısmı Kasım ayından başlayarak Mart ayı sonlarına kadar devam etmektedir. Bölge kar yağışı ortalaması Amerika ortalamasının üzerindedir. Nisan ayından sonra başlayan yağışlar ile erimeye başlayan kar kütlesi bölge için önemli bir su kaynağıdır.

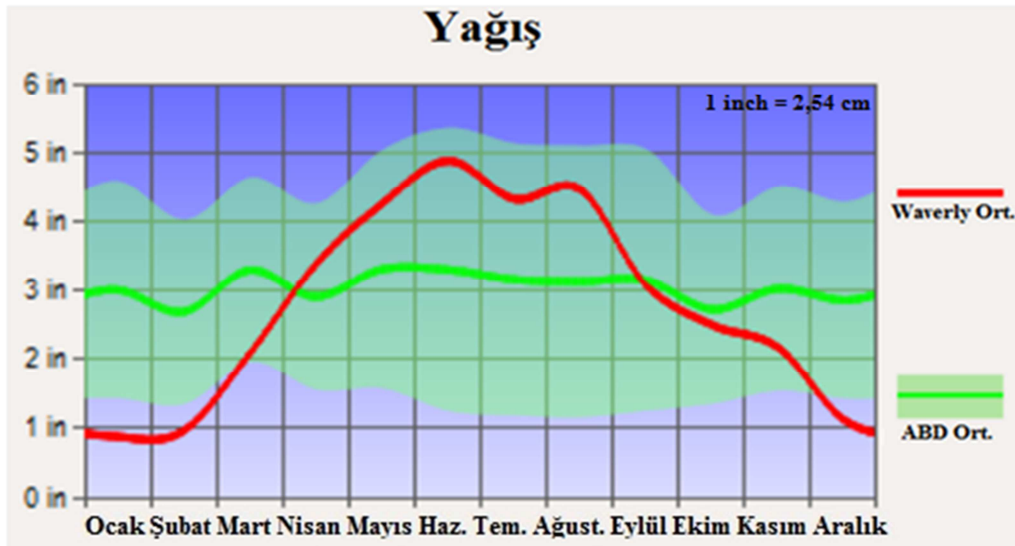


Şekil 4.3. 2012 yılı kar yağışı dağılımı

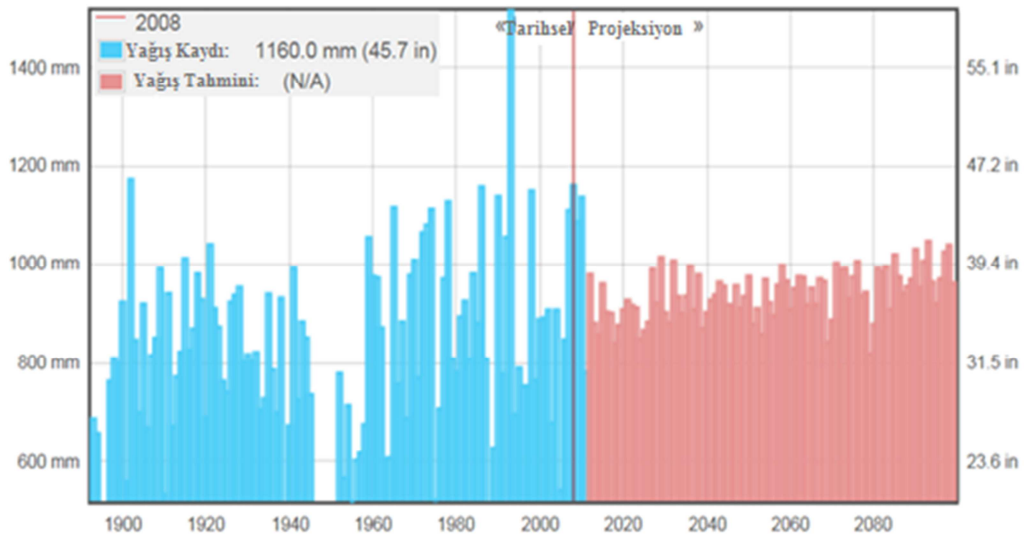


Şekil 4.4. Yıllara göre kar yağışı değişimi

Yılın büyük bir bölümünde yağışların gözüktüğü bölgede yağışlar Nisan ayının başlaması ile artış göstermekte ve Kasım ayına kadar etkili olmaktadır. Özellikle Haziran ve Temmuz aylarında fırtına ve kasırğa şekline dönüşen yağışlar bölgede etkili olmaktadır. Kuvvetli yağışların doğu-batı doğrultusunda olduğu zaman kuzey güney doğrultusunda devam eden nehirlerin havza şekli bakımından daha etkili olmakta ve 2008 yılında da olduğu gibi etkili taşkınlarla yol açmaktadır.



Şekil 4.5. 2012 yılı yağış dağılımı



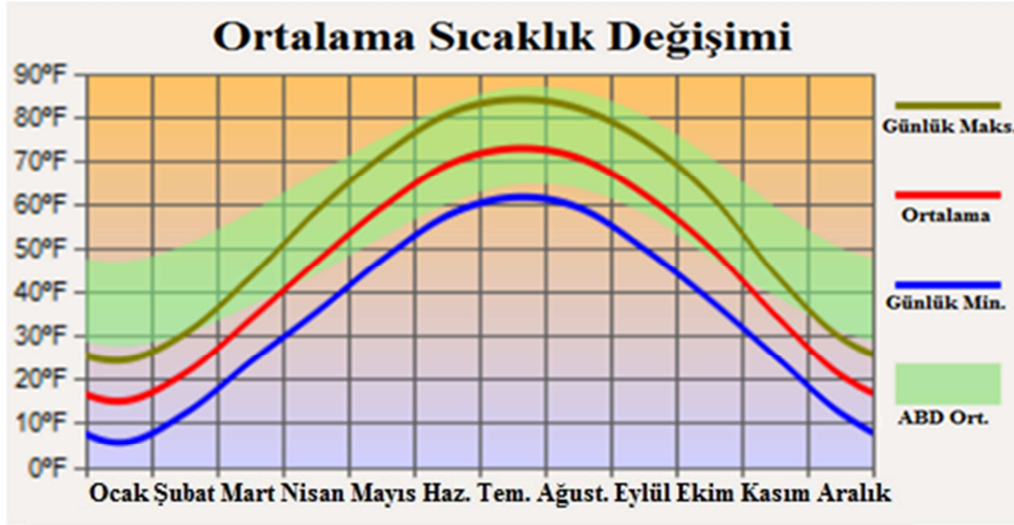
Şekil 4.6. Yıllara göre yağış dağılımı

4.1.2. Sıcaklık

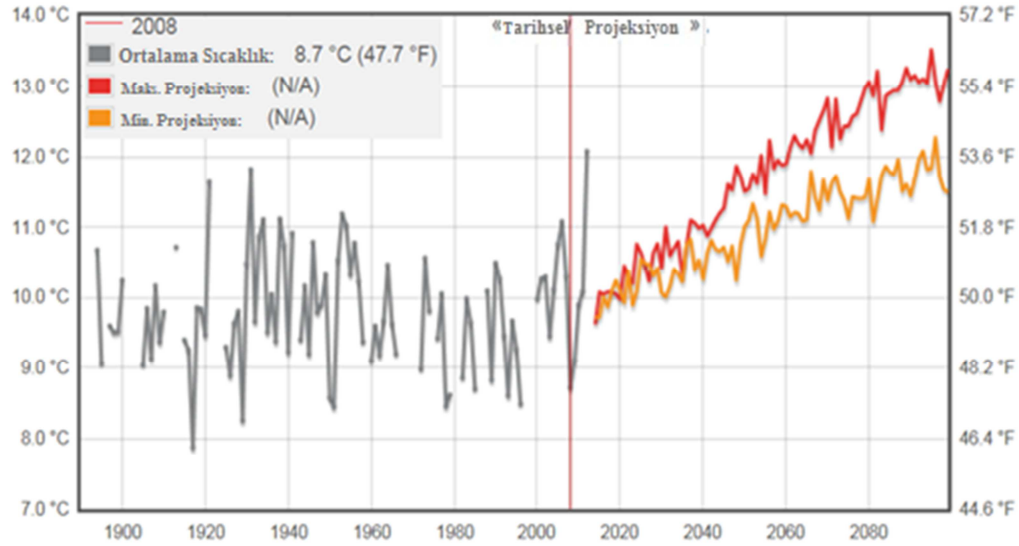
Şehirlerde bulunan istasyonlarda minimum sıcaklığın yıllara göre değişimi şehirleşme ile yakından alakalıdır. Şehirleşme arttıkça yüzeydeki enerji dengesini belirleyen parametreler değişir ve şehir ısı adası olarak adlandırılan bir durum ortaya çıkar. Bu durumda şehirler çevrelerine göre birkaç derece daha sıcak olabilirler. Fakat ölçüm istasyonu şehir merkezinden dışarıda konumlu olduğundan bölgeyi daha iyi temsil etmektedir.

Ölçüm istasyonundan temin edilen Şekil 4.7'deki grafiklerden de görüleceği gibi bölgede yıl boyunca sıcaklık ortalaması, Amerika genelindeki sıcaklık ortalamasından düşük seyretmektedir.

Kar ve yağmur yağışının Amerika ortalaması üzerinde olması da bu verileri doğrulamaktadır.

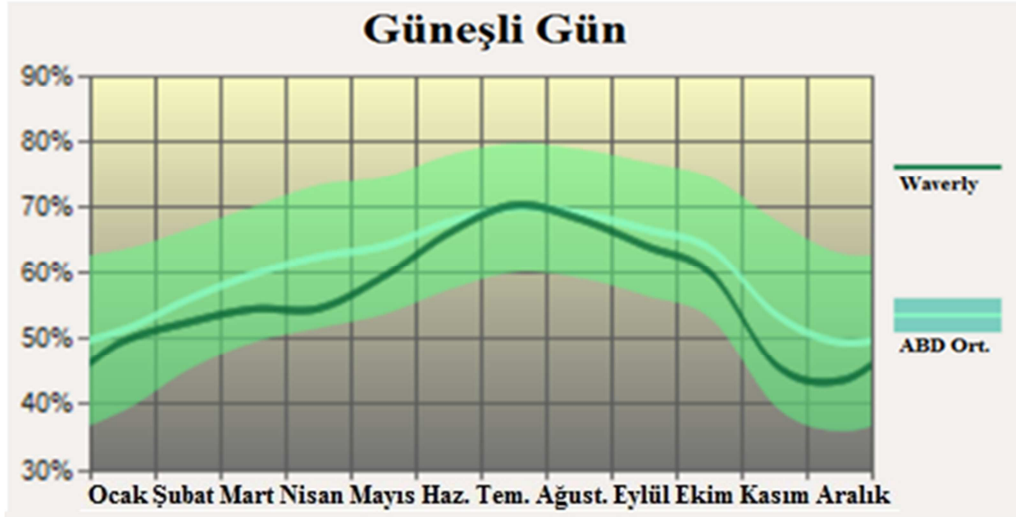


Şekil 4.7. 2012 yılı sıcaklık değişimi

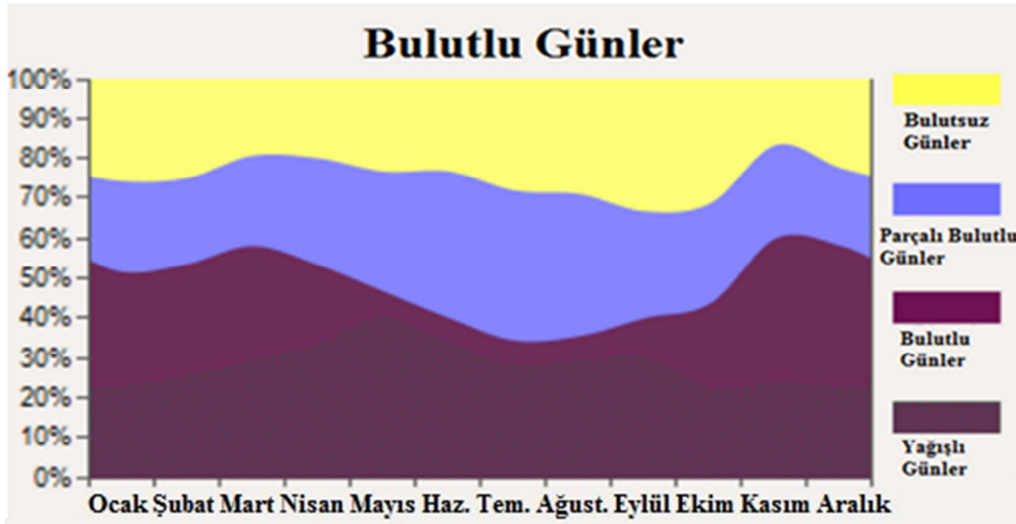


Şekil 4.8. Yıllara göre sıcaklık değişimi

Minimum sıcaklık, genelde güneş etkisinin olmadığı sabaha karşı gerçekleştiğinden dolayı şehirleşmenin iklim üzerindeki etkisini gösteren en önemli meteorolojik parametrelerden kabul edilir.



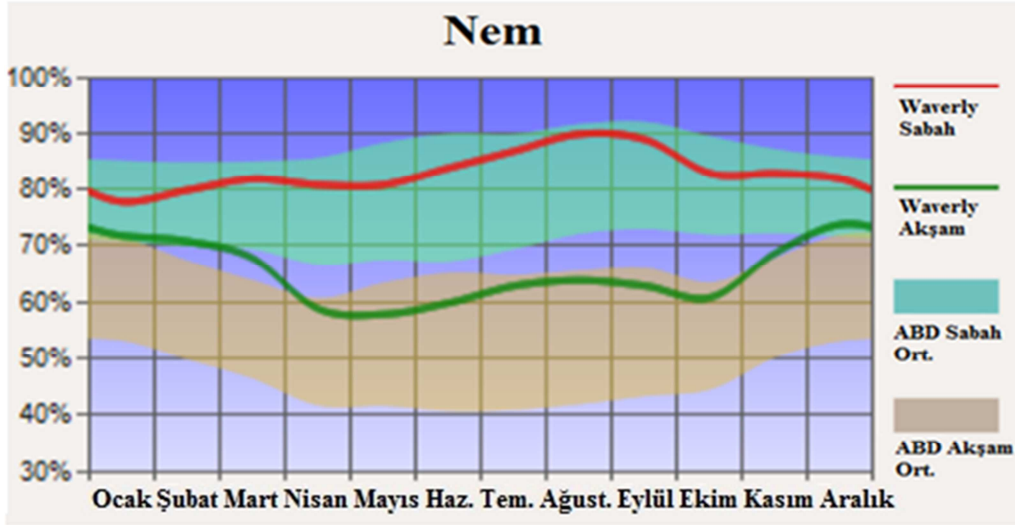
Şekil 4.9. 2012 yılı güneşli gün sayısı dağılımı



Şekil 4.10. 2012 yılı bulutlu gün sayısı dağılımı

4.1.3. Nem

Yılın büyük bölümünü yağışlı geçiren bölgede nem oranı da yıl boyunca yüksek oranlarda seyretmektedir Amerika ortalamasının üst sınırında değere sahip olan bölge nem oranını gösteren grafik Şekil 4.11’de verilmiştir.

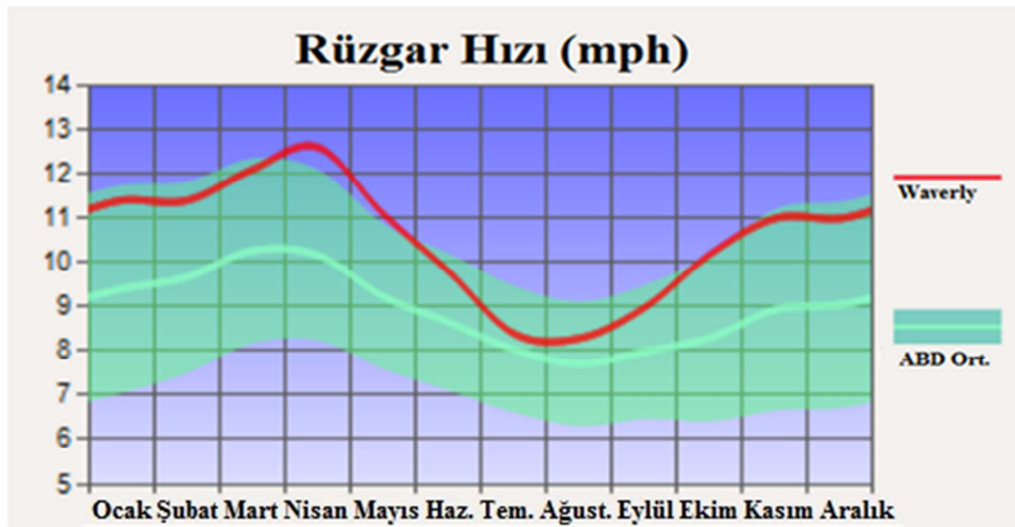


Şekil 4.11. 2012 yılı nem değişimi

4.1.4. Rüzgar hızı

Rüzgâr önemli bir meteorolojik parametre olmakla birlikte karakteristikleri zamanla, konumla ve yükseklikle önemli değişiklikler gösterdiğinden analizi oldukça zor bir parametredir.

Şekil 4.12' den de görüleceği gibi, bölgenin rüzgâr ortalama hızı amerika ortalamasının üzerindedir. Bölgede yüksek kesimlerin fazla olmayışı rüzgâr enerjisini kırmamakta buda kuvvetli rüzgârların oluşmasına neden olmaktadır.



Şekil 4.12. 2012 yılı rüzgar hızı değişimi

4.2. 2008 Yılı Taşkını

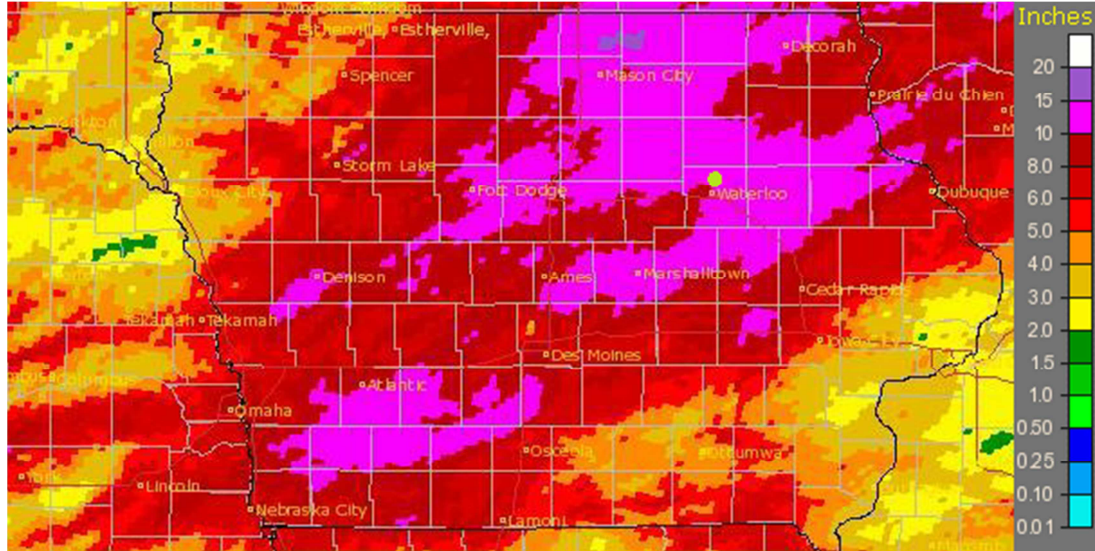
2008 yılında Iowa eyaletinin büyük bir bölümünde meydana gelen taşkın bir çok konut ve işyerinin hasar görmesine ve bir çok can kaybına yol açmıştır. 2008 de yaşanan taşkın, 1985 ve 1999 yıllarında yaşanmış taşkınlardan sonra afet bölgesi olarak ilan edilmiş olan bu eyalet için tarihinde meydana gelen en büyük doğal felaket olarak ilan edilmiştir. Meydana gelen toplam hasar \$10 milyar olarak tahmin edilmektedir. Toplam hasar maliyetinin 3'te 1 i 25 milyon dönümlük tarım arazilerinden kaynaklanmıştır. Bu tarım arazileri de mevcut taşkın yayılım alanının yüzde 16'lık bir kısmını oluşturmaktadır. Meydana gelen taşkın ile birçok kasaba tamamen sular altında kalmış ve 40 000 Iowalının yerleşim yerlerini tahliye etmesine yol açmıştır. Şekil 4.13'de 2008 yılında meydana gelmiş taşkın sırasında Waverly şehrinin durumu fotoğraflarla gösterilmiştir.



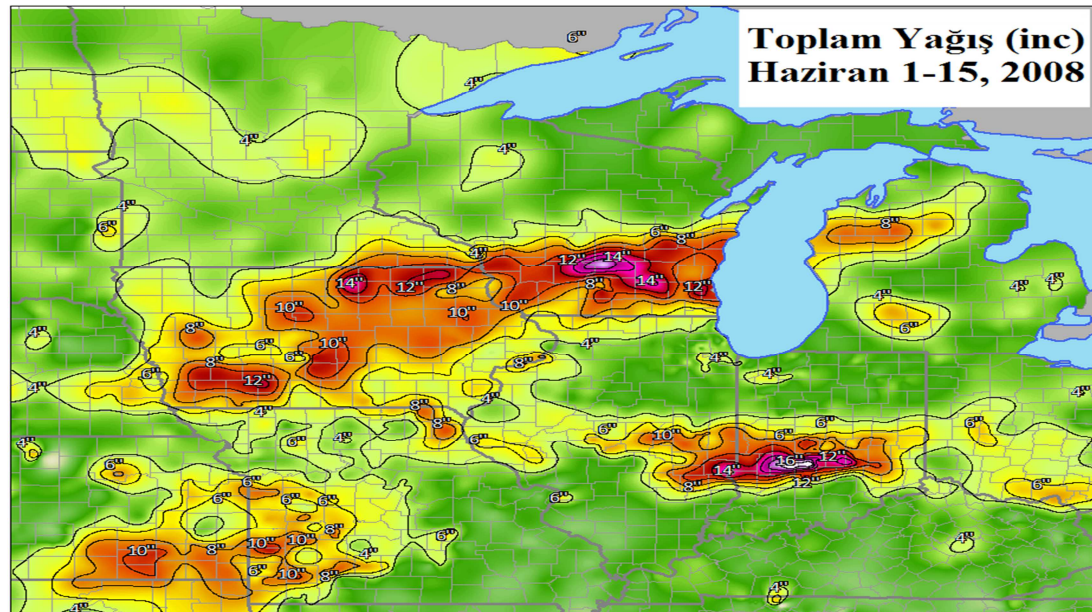
Şekil 4.13. 2008 taşkınında Waverly şehrine ait bazı fotoğraflar

Kışın meydana gelen ağır kar yağışları ve baharın gelmesi ile artan şiddetli yağışlar taşkını tetikleyen temel etkenler olmuştur. 500 yıl tekerrürlü bir taşkın debisinden daha büyük bir debi ile Waverly ve Iowa Eyaleti taşkına maruz kalmıştır. Taşkın

hadisesinin gelişimine neden olan yağış dağılımına ait radar görüntüleri şekil 4.14-4.15' de gösterilmiştir.



Şekil 4.14. 2008 taşkınına oluşturan yağışa ait radar görüntüsü



Şekil 4.15. 2008 taşkınına oluşturan yağışa ait radar görüntüsü

4.3. Arazi Kullanımı

Havza yaklaşımı öncelikle bir havzanın farklı ekosistemleri barındırdığı gerçeğine dayanır. Havza, üzerine düşen yağış sularını belirli bir akarsu kesitine gönderen ve

komşu havzalardan, sırtlardan geçen bir su ayırım çizgisiyle ayrılan, hidrolojik, topografik bir arazi birimi olarak tanımlanmaktadır.

Yeryüzünde her bir havza kendine özgü nitelikleri nedeniyle diğer havzalardan farklıdır. Bu nedenle, bir havza için ortaya konulan bulguları ve önlemleri diğer bir havzaya aynen uygulama olanağı bulunmamaktadır. Havza yönetimi, toprak ve su kaynaklarının olumsuz faktörlerden etkilenmeksizin arzu edilen ürün veya hizmetleri sağlamak amacıyla bir havza üzerindeki toprak ve diğer doğal kaynakların kullanımını yönlendirme ve organize etme süreci olduğuna göre, arazi varlığı göz önüne alındığında, havza sistemi ve havza yönetimi çalışmaları büyük önem kazanmaktadır. Bu bakımdan havza yönetimi amaçlarına, tam anlamıyla ulaşabilmek için öncelikle havzaların belirlenmesi ve ele alınacak her havzada ayrı ayrı araştırma yapma zorunluluğu bulunmaktadır.

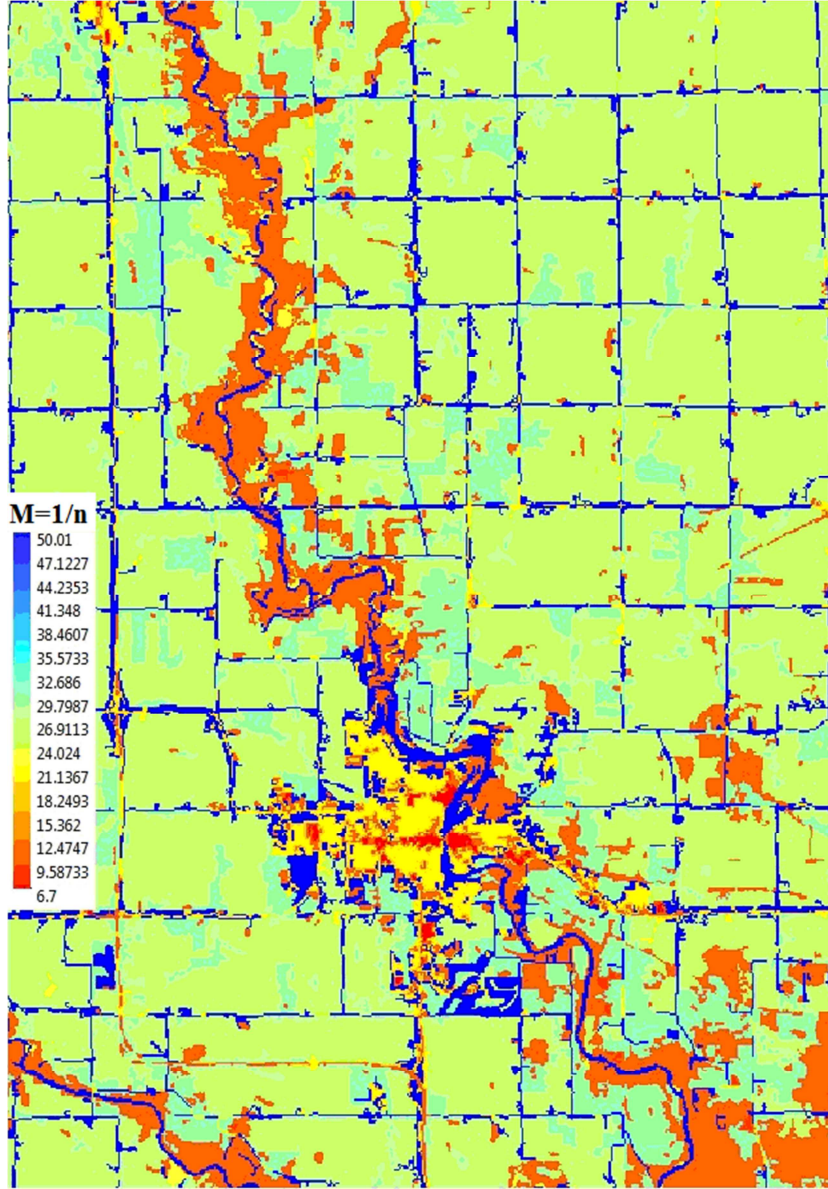
Üzerindeki ekosistem ne olursa olsun bir havzanın girdisi yağış, çıktısı ise yağıştan oluşan akıştır. Bu durumda bir su toplama havzası; toprak, bitki örtüsü ve bunların oluşumunda büyük payı olan yağış ve akıştan oluşan hidrolojik bir sistemdir. Havzanın hem hidrolojik bir sistem olması, hem de üzerine düşen yağış sularını tek bir çıkışla boşaltan iç bükey bir topografik yapı olması, havza içerisinde her hangi bir noktada yapılacak bir uygulamanın, havzanın diğer bölümleri üzerinde de etkili olacağı anlamına gelmektedir.

Sonuç olarak, havzanın bir hidrolojik birim olarak önem taşıması arazi kullanım sınıflarının bir planlama kapsamında ele alınmasını gerektirmektedir. Özellikle şehirleşmenin yoğun olduğu bir bölgede bu sorunun önemi artmaktadır.

Bu çalışmada ise seçilen havzaya ait arazi kullanım haritaları pürüzlülük katsayılarının tespiti için “National Land Cover Dataset” arazi kullanım haritalarından temin edilmiş ve hava fotoğraflarından yararlanılarak revize edilmiştir. Şekil 4.16 da Waverly için hazırlanmış arazi kullanım haritaları verilmiştir.

Arazi kullanım haritasından da anlaşılacağı gibi çalışma sahasının %70 civarı tarım arazi ve mera alanları niteliğindedir. Bu arazi ise kuru otlar, mısır, soya

fasulyesi, yulaf gibi bitki örtüsü ile kaplıdır. Bölgede geniş mısır tarlaları bulunmakta ve Amerika'nın mısır deposu olarak isimlendirilmektedir. Nehir boyu tamamen sık ormanlarla kaplı olup adacıklar şeklindedir. Şehir merkezi toplam çalışma alanının %20'lik bir kısmını oluşturarak yaklaşık 30 km²'lik bir alana yayılmıştır.

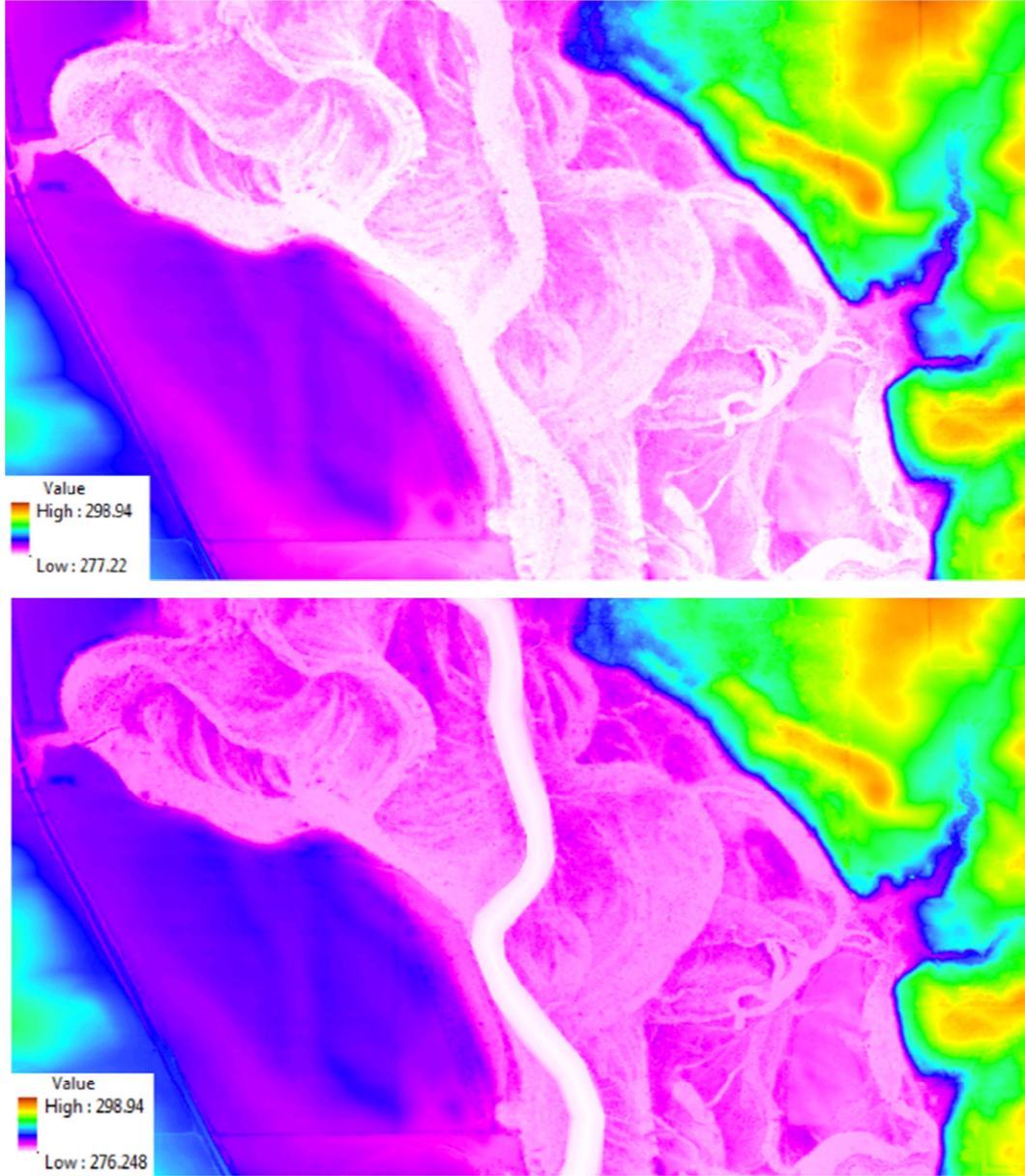


Şekil 4.16. Arazi kullanım haritası

BÖLÜM 5. MODEL DATALARININ HAZIRLANMASI

5.1. Arazi Modelinin Elde Edilmesi

1 ve 2 boyutu hidrodinamik modellerin birlikte kullanıldığı (couple) modellerde yapılması gereken ilk şey taşkınını modelleneceği çalışma sahasının topografik verilerinin elde edilmesidir. Sayısal yükseklik modelleri (DEM) 1 boyutlu model için kesitlerin, 2 boyutlu modeller için ise mesh lerin tanımlanmasında kullanılmaktadır. DEM ler ise kanal boyunca yapılan arazi taramaları sonucu elde edilen kanal batımetrisi ve LIDAR taramaları sonucu elde edilen arazi topografisinin birleştirilmesi ile elde edilmiştir. Bu birleştirme işlemi ArcGIS programı kullanılarak nehir boyunca ölçülen kesitlerin TIN yapısına dönüştürülüp LIDAR verilerinden üretilmiş 1 m hassasiyetli DEM lere kanal boyunca işlenmesiyle yapılmıştır. Bu işlemin yapılmasındaki temel neden havza çapında yapılan LIDAR ölçümlerinin nehir üzerinde su yüzeyini algılaması ve nehir batımetrisi hakkında bilgi vermemesidir. LIDAR ölçümü nehir seviyesinin çok az olduğu bir zamanda yapılmış olmasına rağmen çalışmanın hassas olması ve daha doğru sonuçlar elde edilmek istendiğinden yapılan arazi çalışmalarıyla elde edilen batımetri ile nehir geometrisi revize edilmiştir. Elde edilen yeni arazi modeline ait bir kesit ile revize edilmemiş arazi modeline ait aynı konumu gösteren bir kesit Şekil 5.1 de gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi model içerisinde, nehir araziden daha belirgin bir şekilde ayrılmış ve daha doğru bir arazi modeli elde edilmiştir.



Şekil 5.1. Revize öncesi ve sonrasına ait arazi modeli görüntü kesitleri.

5.2. Taşkın Debisinin Hesaplanması

Waverly için hazırlanacak taşkın modeli için, şehir içinden geçen ve şehir için taşkın riskini oluşturan Cedar Nehri için farklı tekerrür aralıklarına sahip taşkın debileri hesaplanmıştır. HEC-SSP programı taşkın debilerinin hesaplanması amacıyla kullanılmıştır. Waverly’de bulunan USGS e ait 05458300 nolu akım gözlem istasyonu 2001 tarihinde kurulmuş olduğundan 12 adet pik akım değeri elde edilmiş ve bu miktardaki verinin gerçekçi bir analiz yapılması için yeterli olmadığı kanaatine varılmıştır. Yine Cedar Nehri üzerinde Waverly’nin 19.5 km mansabındaki

Janesville şehrinde bulunan 05458500 nolu USGS akım gözlem istasyonuna ait akım verileri kullanılmıştır. En eski verinin 1905 yılına ait olduğu Janesville USGS akım gözlem istasyonunun verileri, akım gözlem istasyonu bulunan nehirlerde akım gözlem istasyonu bulunmayan kesimler için veri tahmini yapılmada kullanılan istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak Waverly için tarihsel akım verileri tahmin edilmiştir. Yapılan istatistiksel analizler sonucu elde edilen akım verileri “Bulletin 17B” yöntemi olarak bilinen istatistiksel analiz yöntemi kullanılarak farklı tekerrür periyotları için taşkın debisi hesaplanmıştır (2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 yıl).

5.2.1. Tarihsel pik debilerin hesaplanması

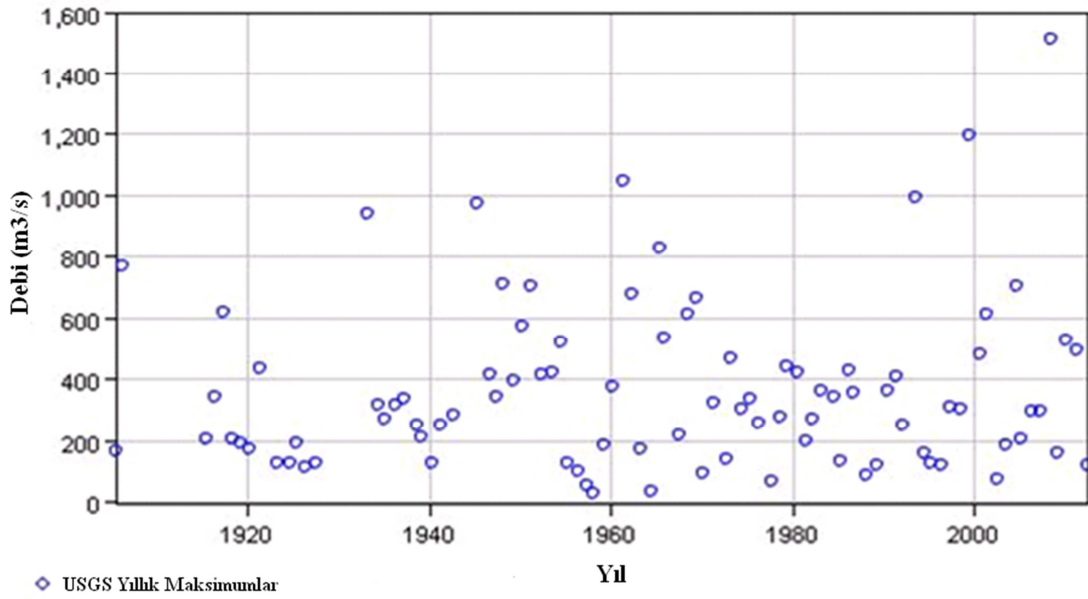
05458300 nolu akım gözlem istasyonunda çok fazla akım kaydı bulunmadığından yine aynı nehir üzerinde Waverly'nin 19.5 km mansabında bulunan Janesville şehrinde kurulu olan 05458500 nolu USGS akım gözlem istasyonuna ait akım değerleri istatistiksel yöntemlerle Waverly akım gözlem istasyonuna ötelenmiş ve bu veriler modelin hidrolojik altyapısını hazırlamak için kullanılmıştır. Janesville akım gözlem istasyonundan elde edilen pik akım verileri 1905 yılı itibariyle başlamış ve toplamda 93 adet veri toplanmıştır (Tablo 5.1). Bu veriler içerisinde ölçülmüş en büyük değer ise $1512 \text{ m}^3/\text{s}$ (53400 cfs) dir. Öteleme için seçilen yöntem USGS in 2001 yılında hazırlamış olduğu “TECHNIQUES FOR ESTIMATING FLOOD-FREQUENCY DISCHARGES FOR STREAMS IN IOWA” raporundan faydalanılarak yapılmıştır. Bu çalışmaya göre Iowa eyaleti çeşitli hidrolojik bölgelere ayrılmış ve bu bölgeler için regresyon katsayıları üretilmiştir. İlgili çalışmanın, akım gözlem istasyonu bulunan nehirlerin akım gözlem istasyonu bulunmayan kısımları için geliştirilmiş denklemler kullanılarak Waverly için tarihsel taşkın pik değer kayıtları elde edilmiştir (Tablo 5.2 ve Şekil 5.2).

Tablo 5.1. Janesville pik akım kayıtları

Tarih	SI (m ³ /s)	Eng.Unit (ft ³ /s)	Tarih	SI (m ³ /s)	Eng.Unit (ft ³ /s)
5/17/1905	165.37	5,840	6/12/1967	217.76	7,690
3/27/1906	767.39	27,100	7/17/1968	614.48	21,700
5/31/1915	204.45	7,220	7/1/1969	665.45	23,500
6/2/1916	342.63	12,100	3/4/1970	96.28	3,400
3/24/1917	620.14	21,900	4/2/1971	322.81	11,400
3/20/1918	209.54	7,400	9/27/1972	143.28	5,060
4/10/1919	194.54	6,870	4/18/1973	467.23	16,500
3/28/1920	175.28	6,190	6/11/1974	305.82	10,800
5/29/1921	433.25	15,300	4/30/1975	339.80	12,000
4/4/1923	131.11	4,630	3/14/1976	262.21	9,260
8/22/1924	124.88	4,410	9/18/1977	69.66	2,460
6/15/1925	194.25	6,860	7/10/1978	275.81	9,740
3/22/1926	113.55	4,010	4/2/1979	444.57	15,700
5/28/1927	131.11	4,630	8/12/1980	421.92	14,900
4/1/1933	942.95	33,300	7/19/1981	199.63	7,050
4/6/1934	317.15	11,200	3/21/1982	272.97	9,640
3/5/1935	271.28	9,580	3/8/1983	362.46	12,800
3/24/1936	317.15	11,200	6/20/1984	342.63	12,100
3/8/1937	339.80	12,000	3/3/1985	131.39	4,640
9/17/1938	252.30	8,910	3/21/1986	427.58	15,100
3/17/1939	212.38	7,500	10/15/1986	356.79	12,600
4/1/1940	124.88	4,410	3/6/1988	87.22	3,080
4/20/1941	251.74	8,890	3/27/1989	118.08	4,170
7/16/1942	286.00	10,100	7/30/1990	362.46	12,800
3/17/1945	971.27	34,300	5/20/1991	410.59	14,500
9/9/1946	416.26	14,700	3/11/1992	250.04	8,830
6/13/1947	345.47	12,200	8/18/1993	991.09	35,000
3/1/1948	710.75	25,100	7/23/1994	161.12	5,690
3/7/1949	396.44	14,000	4/15/1995	126.01	4,450
3/28/1950	572.00	20,200	6/21/1996	120.35	4,250
4/9/1951	707.92	25,000	3/25/1997	311.49	11,000
4/2/1952	416.26	14,700	7/1/1998	302.99	10,700
8/6/1953	424.75	15,000	7/22/1999	1194.97	42,200
6/22/1954	521.03	18,400	7/13/2000	481.39	17,000
3/14/1955	125.44	4,430	4/14/2001	614.48	21,700
4/5/1956	99.96	3,530	6/7/2002	73.34	2,590
5/31/1957	53.52	1,890	5/15/2003	188.02	6,640
2/25/1958	31.15	1,100	9/18/2004	707.92	25,000
3/27/1959	187.46	6,620	2/17/2005	208.70	7,370
3/30/1960	373.78	13,200	4/10/2006	300.16	10,600
3/28/1961	1047.72	37,000	3/24/2007	297.33	10,500
3/31/1962	679.60	24,000	6/10/2008	1512.12	53,400
3/19/1963	175.56	6,200	2/14/2009	161.69	5,710
6/23/1964	35.11	1,240	3/14/2010	526.69	18,600
4/7/1965	826.85	29,200	3/25/2011	495.54	17,500
10/1/1965	532.36	18,800	5/8/2012	122.05	4,310

Tablo 5.2. Regresyon denklemleri kullanılarak elde edilen Waverly pik akım kayıtları

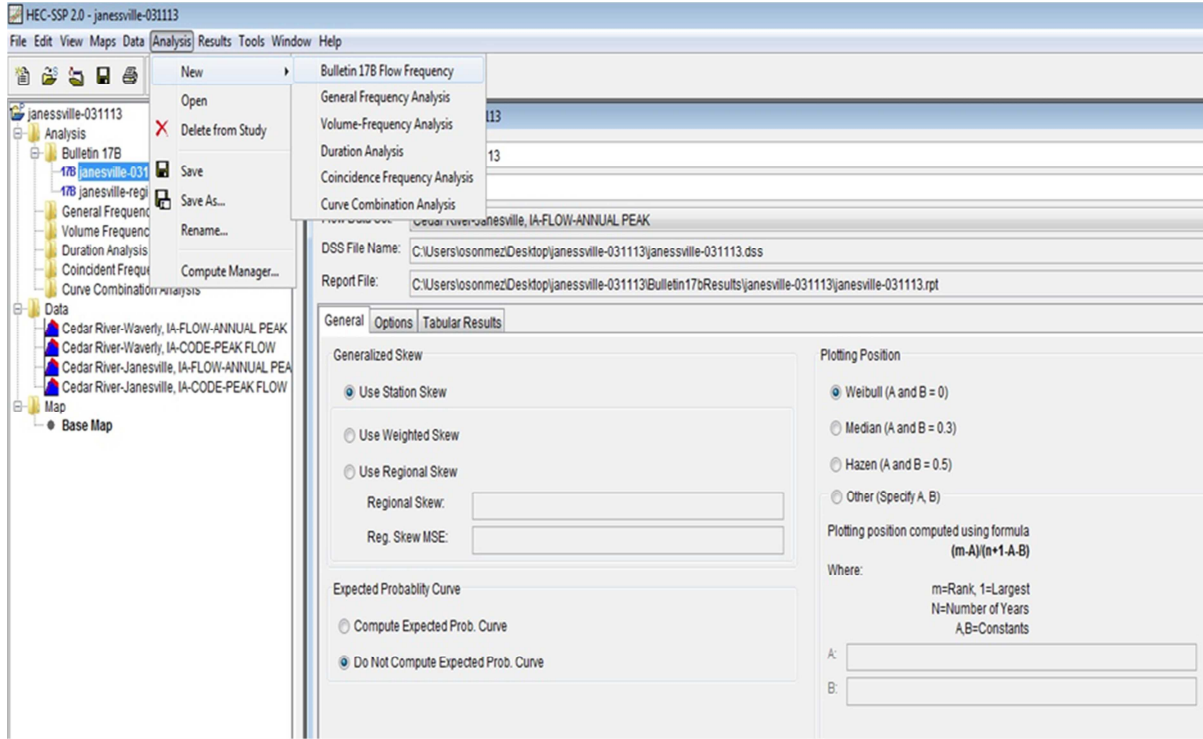
Tarih	SI (m ³ /s)	Eng.Unit (ft ³ /s)	Tarih	SI (m ³ /s)	Eng.Unit (ft ³ /s)
5/17/1905	160.21	5657.71	6/12/1967	210.96	7449.96
3/27/1906	743.43	26254.10	7/17/1968	595.30	21022.65
5/31/1915	198.07	6994.63	7/1/1969	644.67	22766.47
6/2/1916	331.94	11722.31	3/4/1970	93.27	3293.87
3/24/1917	600.78	21216.41	4/2/1971	312.74	11044.16
3/20/1918	203.00	7169.02	9/27/1972	138.81	4902.06
4/10/1919	188.46	6655.56	4/18/1973	452.64	15984.97
3/28/1920	169.81	5996.78	6/11/1974	296.28	10462.89
5/29/1921	419.72	14822.42	4/30/1975	329.20	11625.43
4/4/1923	127.01	4485.48	3/14/1976	254.03	8970.96
8/22/1924	120.98	4272.35	9/18/1977	67.49	2383.21
6/15/1925	188.19	6645.87	7/10/1978	267.20	9435.97
3/22/1926	110.01	3884.83	4/2/1979	430.70	15209.94
5/28/1927	127.01	4485.48	8/12/1980	408.75	14434.91
4/1/1933	913.52	32260.57	7/19/1981	193.40	6829.94
4/6/1934	307.25	10850.40	3/21/1982	264.45	9339.10
3/5/1935	262.81	9280.97	3/8/1983	351.14	12400.46
3/24/1936	307.25	10850.40	6/20/1984	331.94	11722.31
3/8/1937	329.20	11625.43	3/3/1985	127.29	4495.17
9/17/1938	244.43	8631.88	3/21/1986	414.24	14628.67
3/17/1939	205.75	7265.89	10/15/1986	345.66	12206.70
4/1/1940	120.98	4272.35	3/6/1988	84.49	2983.86
4/20/1941	243.88	8612.51	3/27/1989	114.40	4039.84
7/16/1942	277.07	9784.74	7/30/1990	351.14	12400.46
3/17/1945	940.95	33229.36	5/20/1991	397.78	14047.40
9/9/1946	403.26	14241.15	3/11/1992	242.23	8554.38
6/13/1947	334.68	11819.19	8/18/1993	960.15	33907.51
3/1/1948	688.57	24316.53	7/23/1994	156.09	5512.39
3/7/1949	384.06	13563.00	4/15/1995	122.08	4311.10
3/28/1950	554.15	19569.48	6/21/1996	116.59	4117.34
4/9/1951	685.82	24219.65	3/25/1997	301.76	10656.65
4/2/1952	403.26	14241.15	7/1/1998	293.53	10366.01
8/6/1953	411.49	14531.79	7/22/1999	1157.67	40882.77
6/22/1954	504.77	17825.66	7/13/2000	466.36	16469.36
3/14/1955	121.53	4291.72	4/14/2001	595.30	21022.65
4/5/1956	96.84	3419.81	6/7/2002	71.05	2509.16
5/31/1957	51.85	1831.01	5/15/2003	182.15	6432.74
2/25/1958	30.18	1065.66	9/18/2004	685.82	24219.65
3/27/1959	181.61	6413.36	2/17/2005	202.18	7139.95
3/30/1960	362.12	12787.97	4/10/2006	290.79	10269.13
3/28/1961	1015.02	35845.08	3/24/2007	288.05	10172.25
3/31/1962	658.39	23250.86	6/10/2008	1464.92	51733.17
3/19/1963	170.08	6006.47	2/14/2009	156.64	5531.77
6/23/1964	34.02	1201.29	3/14/2010	510.25	18019.42
4/7/1965	801.04	28288.55	3/25/2011	480.08	16953.75
10/1/1965	515.74	18213.18	5/8/2012	118.24	4175.47



Şekil 5.2. Yıllık maksimum akımların saçılım grafiği

5.2.2. Bulletin17B

FEMA (Federal Emergency Management Agency) taşkın haritalarının hazırlanması için gerekli taşkın debilerinin hesaplanmasında Bulletin17B yönteminin kullanılmasını tavsiye etmektedir. İstatistiksel analiz yapan çoğu program, bu çalışmada da taşkın debisi analizlerinde kullanılmış HEC-SSP programda analiz yöntemleri arasında bu yöntem yer vermektedir (Şekil 5.3). Log Pearson Tip III yöntemini kullanarak frekans eğrisinin yıllık ekstrem debileri kullanarak hesaplandığı bir yöntemdir. Doğru sonuçlar vermesi için uzun yıllara ait kayıtların bulunması gerekmektedir. Baraj yıkılması gibi ekstrem durumlar için sağlıklı sonuçlar vermediği söylene bilir.



Şekil 5.3. HEC-SSP programından bir kesit

5.2.2.1. Log pearson tip III

Log-Pearson Tip 3 Dağılımı taşkın analizlerinde sıkça kullanılan bir olasılık dağılımıdır. Kullanılan logaritmik değişkenler, Log-Normal dağılıma benzerdir. Dağılımı oluşturan parametreler ise;

$$\overline{\log X} = \frac{\sum \log x}{N} \quad (5.1)$$

$$\sigma_{\log x} = \sqrt{\frac{\sum (\log x - \overline{\log x})^2}{N-1}} \quad (5.2)$$

$$C_S = \frac{N \times \sum (\log x - \overline{\log x})^3}{(N-1) \times (N-2) \times (\sigma_{\log x})^3} \quad (5.3)$$

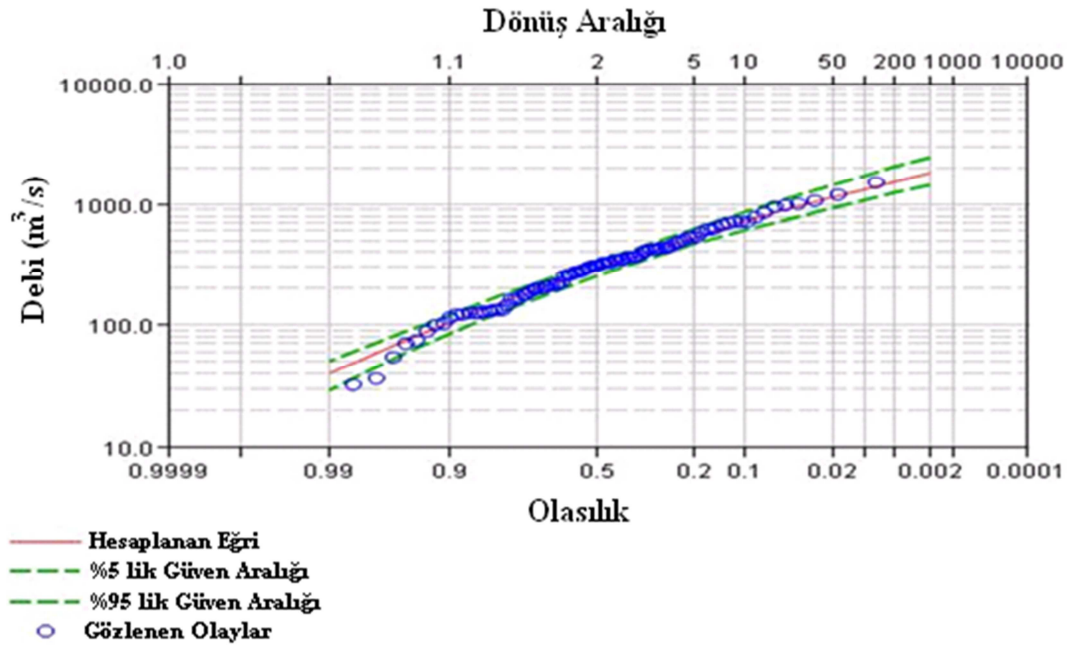
$$\log x = \overline{\log X} + \kappa \times \sigma_{\log x} \quad (5.4)$$

$\log x$; logaritmik ortalama, $\sigma_{\log x}$; logaritmik standart sapma, C_S ; çarpıklık katsayısı, κ ; frekans faktörü olarak verilmiştir.

HEC-SSP programında Bulletin 17B (Log Pearson TİP III) yöntemi kullanılarak 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 yıl tekerrürlü taşkın debileri hesaplanmış ve Tablo 5.3 ve Şekil 5.4 de verilmiştir.

Tablo 5.3 Farklı tekerrürler için görülmesi muhtemel taşkın debileri

Tekerrür Aralığı (Yıl)	Taşkın Debisi (m ³ /s)	0.05 lik Güven Aralığı (m ³ /s)	0.95 lik Güven Aralığı (m ³ /s)
500	1631.4	2447	1439
200	1401.8	2040	1241
100	1232.5	1746	1093
50	1064.4	1465	947
25	899.8	1113	754
10	681.5	863	609
5	513.8	627	462
2	282.6	332	255



Şekil 5.4. %5 ve %95 güven aralıkları içerisinde tekerrürlü taşkın debileri saçılım grafiği

5.3. 1 Boyutlu Model (HecRAS)

Taşkın anında oluşabilecek çeşitli tekerrürlere sahip taşkın debileri, tüm nehir yatağında oluşturacağı su seviyelerinin tespiti için, topografyanın değiştiği yerlerde kesitler alınarak, hesaplamalarının elde yapılması zaman açısından pek mümkün değildir. Aynı zamanda, debinin veya kesitlerden bazılarının değişmesi durumunda

tüm hesaplar baştan yapılmak zorundadır. Bu nedenle, CBS ile uyumlu olarak hidrolik analizlerin yapılabileceği hazır bir bilgisayar programından HEC-RAS programı seçilmiştir.

U.S. Army Corps of Engineer tarafından geliştirilmiş olan HEC-RAS programı 1 boyutlu kararlı ve kararsız akışların hesaplanmasında kullanılmaktadır. HEC-RAS hidrolik analiz programında hesaplamalar mansaptan membaya doğru yapılmaktadır. Eğer sel rejimi meydana gelen bir yer bulunuyorsa burada membadan mansaba doğru da su yüzü seviyeleri bulunmalıdır. Bilinen başlangıç su yüzü seviyesinden bulunması istenen en son kesitteki su yüzü seviyesine kadar her iki kesit arasındaki su yüzü profili Bernoulli Enerji Eşitliği kullanılarak tespit edilir (Şekil 5.5).

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_0 \quad (5.5)$$

Z_1, Z_2 : Kıyas düzleminde kanal tabanına kadar mesafe

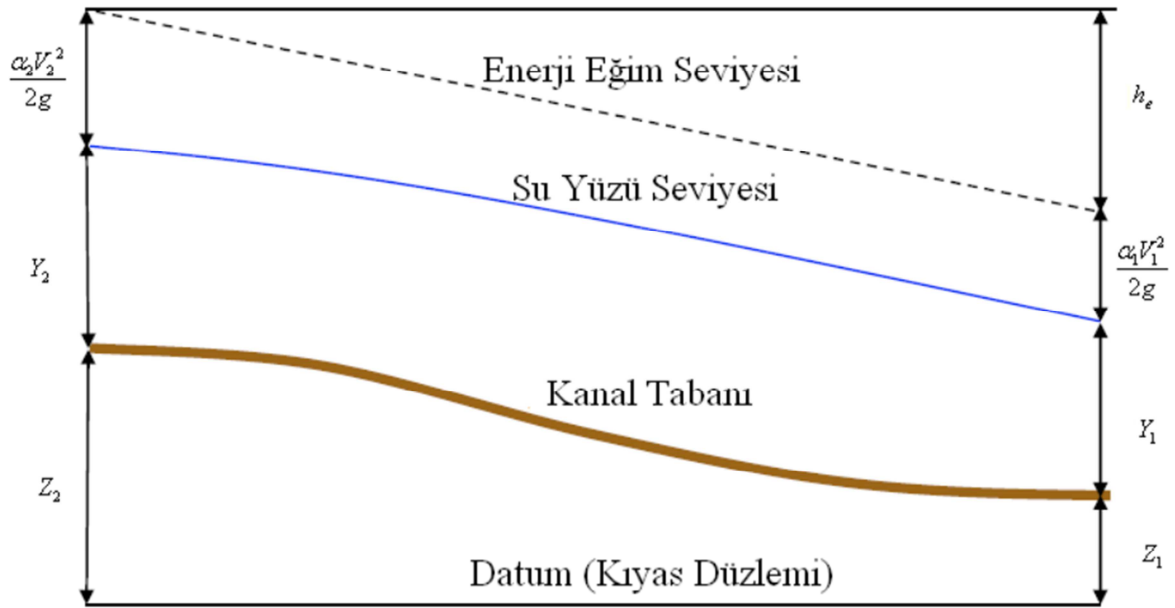
Y_1, Y_2 : Kesitlerdeki su seviyeleri

V_1, V_2 : Kesitlerdeki ortalama hızlar

α_1, α_2 : Hızların düzeltme katsayıları

g : yerçekimi ivmesi

h_0 : İki kesit arasındaki enerji yük kaybı



Şekil 5.5. Enerji eşitliğinde kullanılan terimlerin sembolik gösterimleri

Hidrolik hesaplarda kullanılan enerji kaybı kesit genişlemesi veya daralmasına, iki kesit arasındaki eğime, mesafelere (iki kesit arasındaki sağ sahil, sol sahil ve kesit orta noktası uzaklıkları) ve hıza bağlı olarak değişmektedir (Denklem 5.6). Yani hem sürtünme kaybı hem de kesitin özelliklerinin değişmesine bağlı olarak değişen kayıp hesaplanarak dikkate alınmaktadır.

$$h_0 = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (5.6)$$

C: Genişleme veya daralma kayıp katsayısı

\bar{S}_f : İki kesit arasındaki sürtünme eğimi

Sürtünme eğimi (\bar{S}_f) ise denklem 5.7 ve 5.8 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad (5.7)$$

$$L = \frac{L_{lob}\bar{Q}_{lob} + L_{ch}\bar{Q}_{ch} + L_{rob}\bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \quad (5.8)$$

Burada;

K: kanal taşıma kapasitesi

L_{lob} , L_{ch} , L_{rob} : Sağ, sol taşkın yatağı ve ana kanal genişlikleri

\bar{Q}_{lob} , \bar{Q}_{ch} , \bar{Q}_{rob} : Sağ, sol taşkın yatağı ve ana kanaldaki kesitler arası aritmetik ortalama debi

Kesitte toplam taşıma kapasitesinin ve hızın hesaplanabilmesi için HecRas kesiti Ana kanal ve taşkın yatağı olarak ikiye ayırır ve her bir bölüm için denklem 5.9 ve 5.10 kullanılarak hesaplanır (Şekil 5.6).

$$Q = KS_f^{1/2} \quad (5.9)$$

$$K = \frac{1,486}{n} AR^{2/3} \quad (5.10)$$

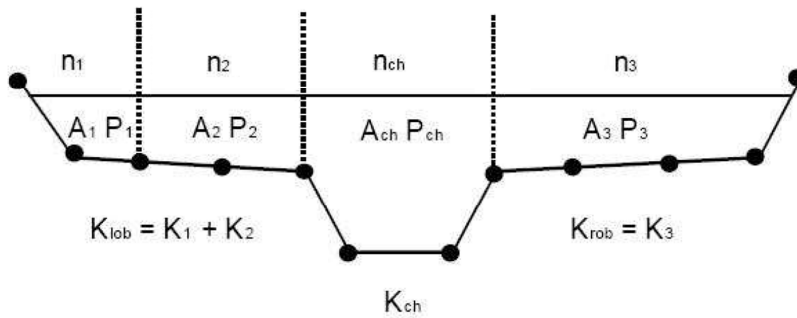
Burada;

K: kanal taşıma kapasitesi

n: Manning pürüzlülük katsayısı

A: Toplam akış alanı

R: Hidrolik yarıçap



Şekil 5.6. HEC-RAS alt bölüm taşıma yöntemi

Toplam akış kapasitesi ise hesaplanan taşkın yatakları ve ana kanal kapasitesinin toplamına eşit olmaktadır. Kanal içerisinde de eğer pürüzlülük değişiyorsa bu durumda da bölünerek her bölüm için kapasite hesaplanır. Kompozit bir yapıdaki ana kanal için manning pürüzlülük katsayısı eşitlik 5.11 deki gibi hesaplanır (Şekil 5.7).

$$n_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i n_i^{1,5})}{P} \right]^{2/3} \quad (5.11)$$

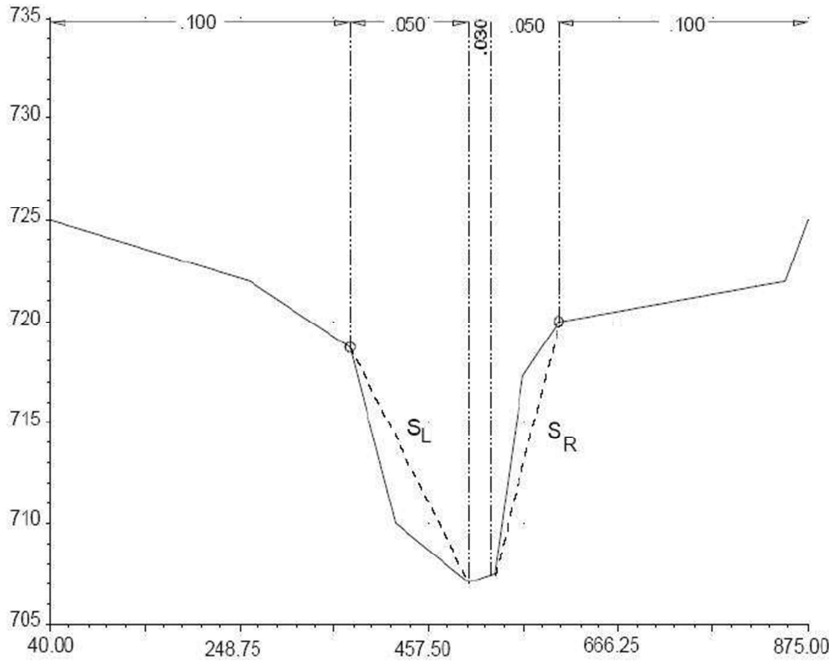
Burada;

n_c : Kompozit veya eşdeğer pürüzlülük katsayısı

P: Tüm kanal ıslak çevre

n_i : i. bölümdeki pürüzlülük

P_i : i. bölümdeki ıslak çevre



Şekil 5.7. Kompozit n_c hesaplaması için yan yüz eğimlerinin tanımlanması

Köprülerde, hidrolik sıçramanın meydana geldiği karışık rejimli akıslarda momentum denklemleri de kullanılmaktadır (Denklem 5.12).

$$\frac{Q_2 \beta_2}{g A_2} + A_2 \bar{Y}_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L S_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L \bar{S}_f = \frac{Q_1 \beta_1}{g A_1} + A_1 \bar{Y}_1 \quad (5.12)$$

Burada;

β : Düzensiz kanallarda hız dağılımı momentum katsayısı

\bar{Y}_1, \bar{Y}_2 : ortalama su derinliği

Q_1, Q_2 : Debi

A_1, A_2 : Islak Alan

L: Kesitler arası mesafe

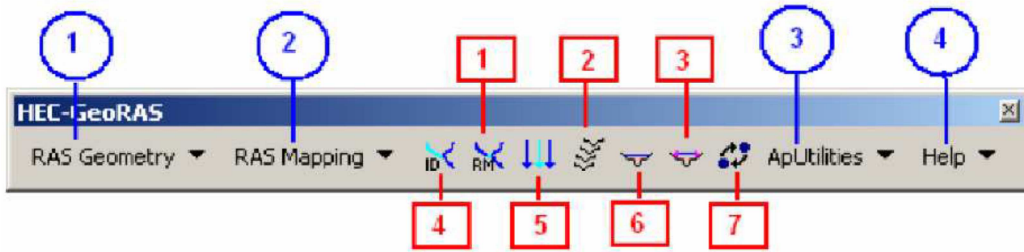
S_0 : Kanal eğimi

\bar{S}_f : İki kesit arasındaki sürtünme eğimi

HEC-RAS analiz programına girilmesi gerekenler veriler:

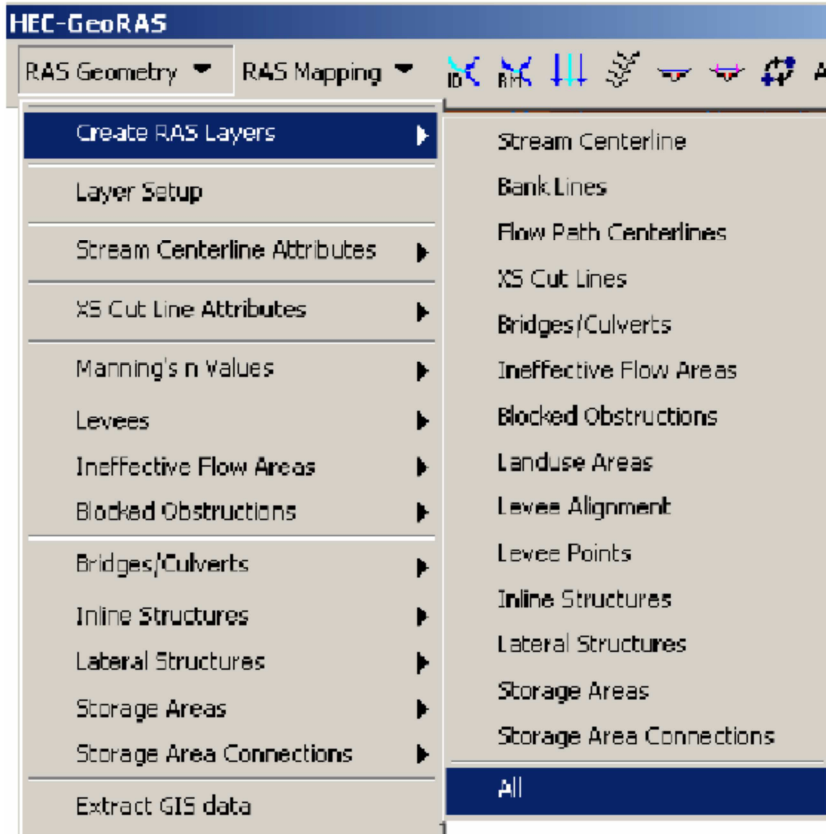
- i. Nehir yatağı enkesiti
- ii. Nehir yatağı boy profili
- iii. Debi
- iv. Nehir yatağı pürüzlülüğü değerleridir.

ArcGIS 9.3 yazılımının bir uzantısı olarak çalıştırılabilen HEC-GeoRAS temel olarak HEC-RAS yazılımı ile hidrolik modelleme yapılabilmesi için ihtiyaç duyulan geometrik verinin hazırlanması ve HEC-RAS'ta modelleme sonrasında sonuçların gösterim ve sunumunda kullanılmaktadır. HEC-GeoRAS 4 menü (mavi daire) ve 7 düğmeden (kırmızı dörtgen) oluşmaktadır (Şekil 5.9).



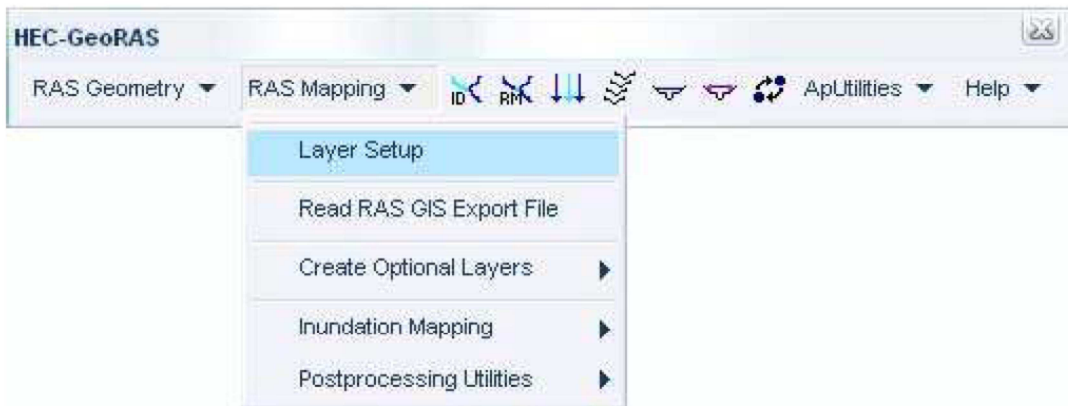
Şekil 5.9. HEC-GeoRas menüsü

“RAS Geometri” menüsü, CBS verilerinin HEC-RAS ortamında değerlendirilmesi için gerekli olan geometrik verilerin oluşturulmasında kullanılmaktadır. Bu menü altında geometrik verilere ait sınıflar (feature class) (Şekil 5.10) için öznitelik değerleriyle beraber varsayılan (default) olarak .mdb dosyası oluşturulmaktadır.



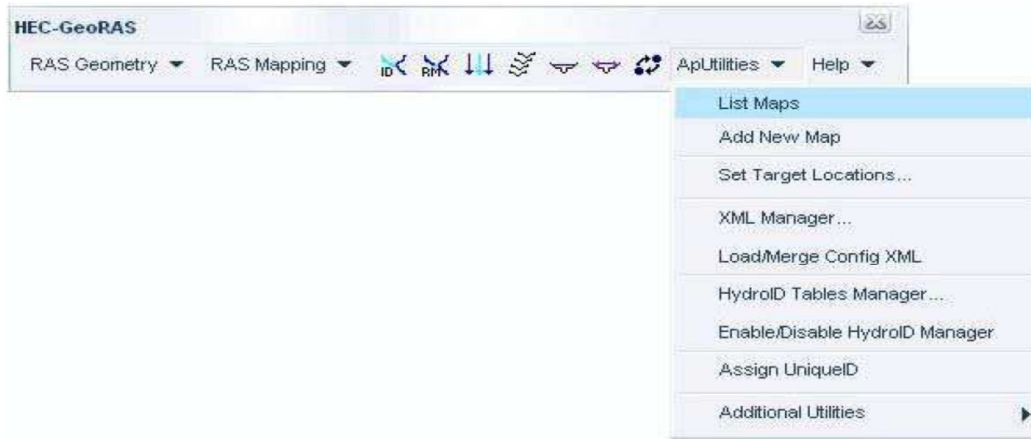
Şekil 5.10. HEC-GeoRAS geometri menüsü ve elemanları

“RAS Harita Yapım” menüsü (Şekil 5.11), HEC-RAS analiz sonuçlarının CBS ortamında işlenmesi, taşkın sınır ve derinlik haritalarının oluşturulması ve sunumunda kullanılmaktadır.



Şekil 5.11. RAS Haritalama menüsü elemanları








“ApUtilities” menüsü Geometri dosyasının saklanacağı yeni harita katmanının oluşturulması ve veri yönetiminde kullanılmaktadır (Şekil 5.12).



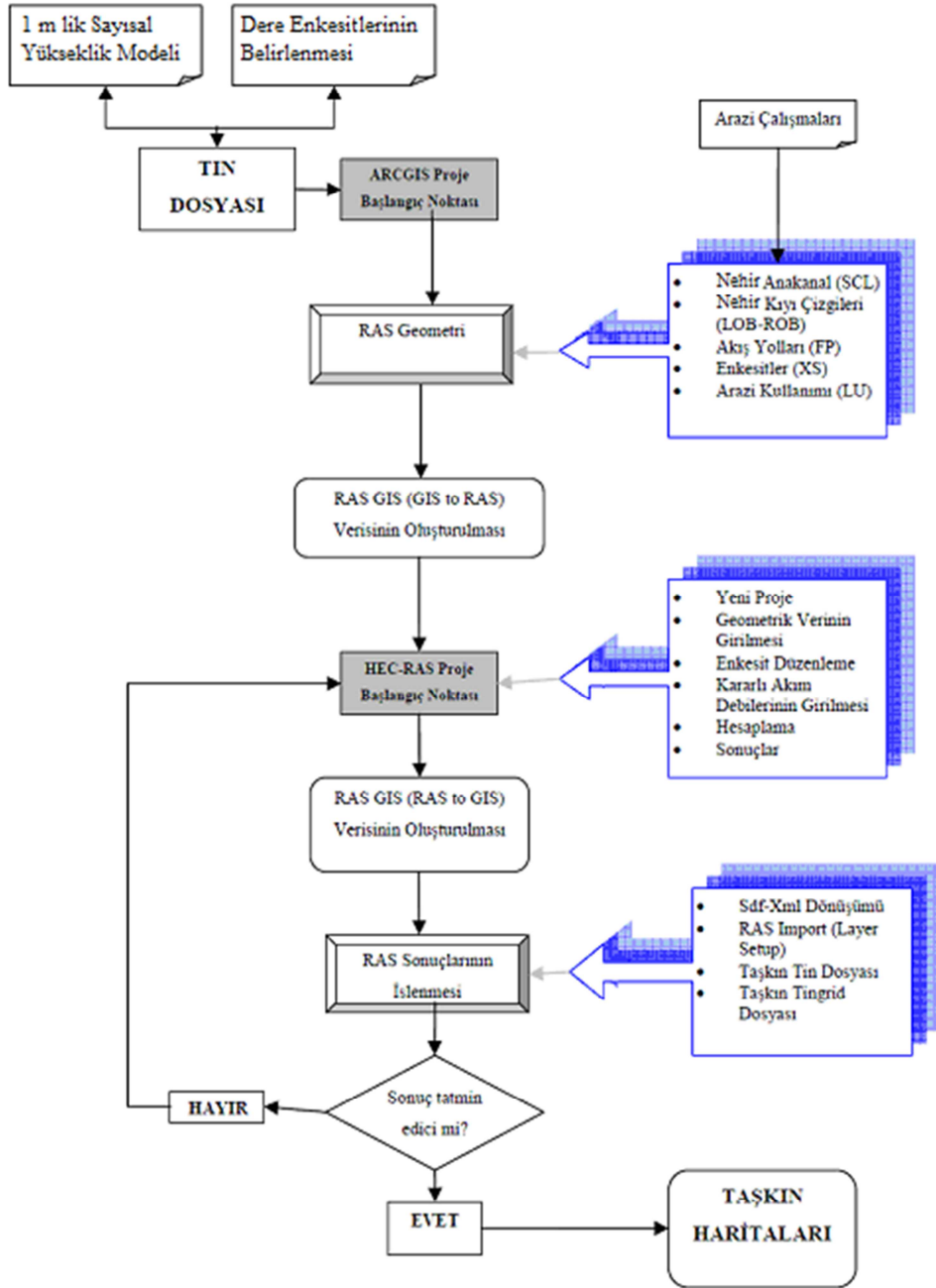
Şekil 5.12. ApUtilities menüsünün elemanları

HEC-GeoRAS düğmeleri Geometri katmanlarına veri girilmesi ve HEC-RAS analiz sonuçlarının çıktı formatının (.sdf), HEC-GeoRAS'ta harita ve analiz sonrası işlemlerde kullanılmak üzere (.xml) formatına dönüştürülmesinde kullanılır (Tablo 5.4).

Tablo 5.4. HEC GeoRAS işlev düğmeleri

Elemanlar	İşlevleri
	Dere ve kollarına isim verilmesini sağlar.
	Dereye ait istasyon değerinin girilmesini sağlar.
	Akış yolu katmanına ait çizginin tipini (sol, kanal, sağ) girmeyi sağlar.
	Dere çizgisine dik bir şekilde belirlenen aralıklarla enkesit oluşturmayı sağlar.
	Seçilen en kesiti interaktif olarak düzeltmeyi, yeniden çizmeyi sağlar.
	Sedde çizgisinin yüksekliğini enterpolasyon yapmak amacıyla girmeyi sağlar.
	HEC-RAS analiz sonucunun çıktı dosyalarını (.sdf)'den (.xml)'e dönüştürmeyi sağlar.

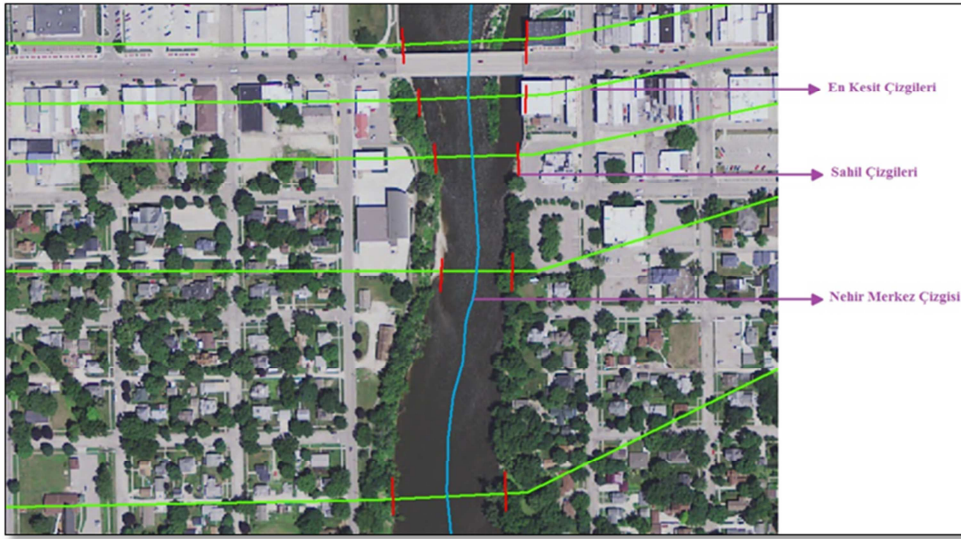
Taşkın analizinde HEC-RAS ve HEC-GeoRAS yazılımlarının beraber kullanılarak taşkın haritası oluşturulması sırasında izlenen adımlar Şekil 5.13'te gösterilmiştir.



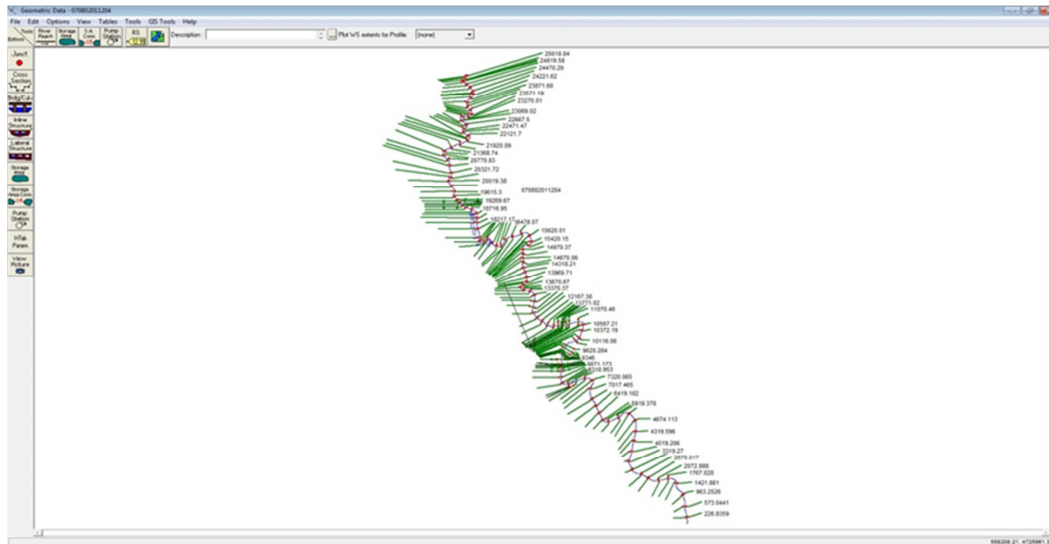
Şekil 5.13. Taşkın analizi akış diyagramı (HecRas)

ArcGIS programı kullanılarak sayısallaştırılmış nehir boyunca topografya ve batimetrimin gerektirdiği aralıklarla nehir boyunca kesitler oluşturulmuş, sahil çizgileri belirlenmiştir, yine köprü giriş ve çıkışlarına HECRAS programına uygun şekilde etkisiz akış alanları(ineffective flow area) konumlandırılmıştır (Şekil 5.14).

Pürüzlülük katsayıları ise “National Land Cover Dataset” arazi kullanım haritaları ve hava fotoğraflarından yararlanılarak hazırlanmış arazi kullanım modelleri kullanılarak kesitlere ilgili pürüzlülük değerleri atanmıştır. ArcGIS programı ile HEC-RAS arasında ara yüz oluşturularak veri geçişini sağlayan HEC-GeoRAS programı kullanılarak, hazırlanmış sayısal model HEC-RAS’a aktarılmıştır (Şekil 5.15).



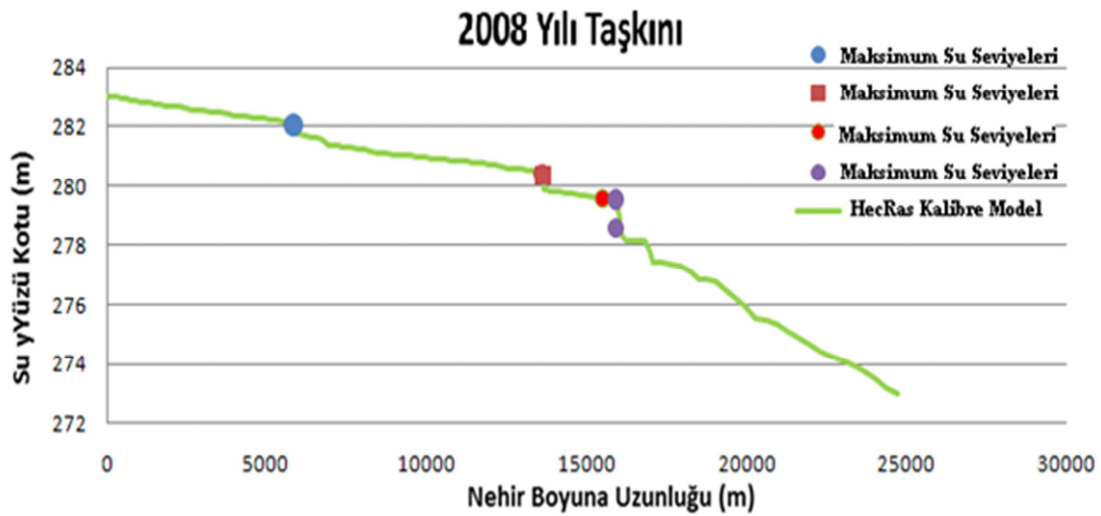
Şekil 5.14. Nehir boyunca model elemanlarının oluşturulması



Şekil 5.15. HEC-RAS model görünümü

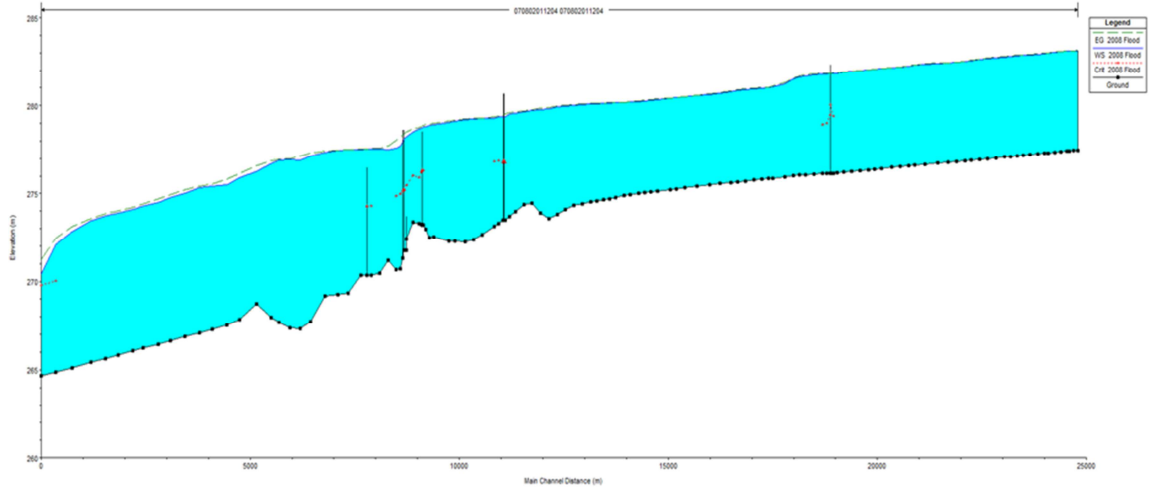
5.3.1. 1 boyutlu model kabilasyonu

1 boyutlu model, hidrolik ve hidrolojik altyapıları tamamlandıktan sonra çalışma sahasını doğru bir şekilde temsil etmesi için 2008 yılında meydana gelen taşkın ile kalibre edilmiştir. Bu amaçla 2008 yılında meydana gelen taşkın esnasında köprüler ve muhtelif kesitlerde ölçülmüş maksimum su yüzü kotlarıyla ile 1 boyutlu model analizi sonucu elde edilen su yüzü profili kıyaslanarak hassas bir model elde edilmeye çalışılmıştır (Şekil 5.16). Şekil 5.17 de ise taşkın anındaki modele ait boy kesit yer almaktadır.

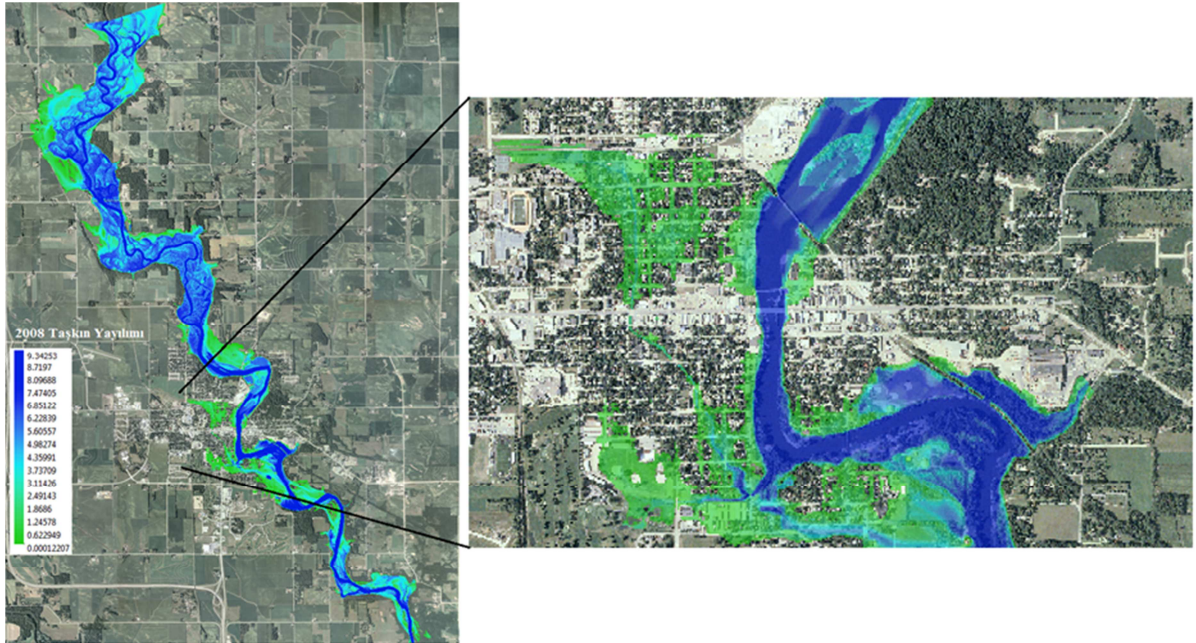


Şekil 5.16. Su yüzü profilleri

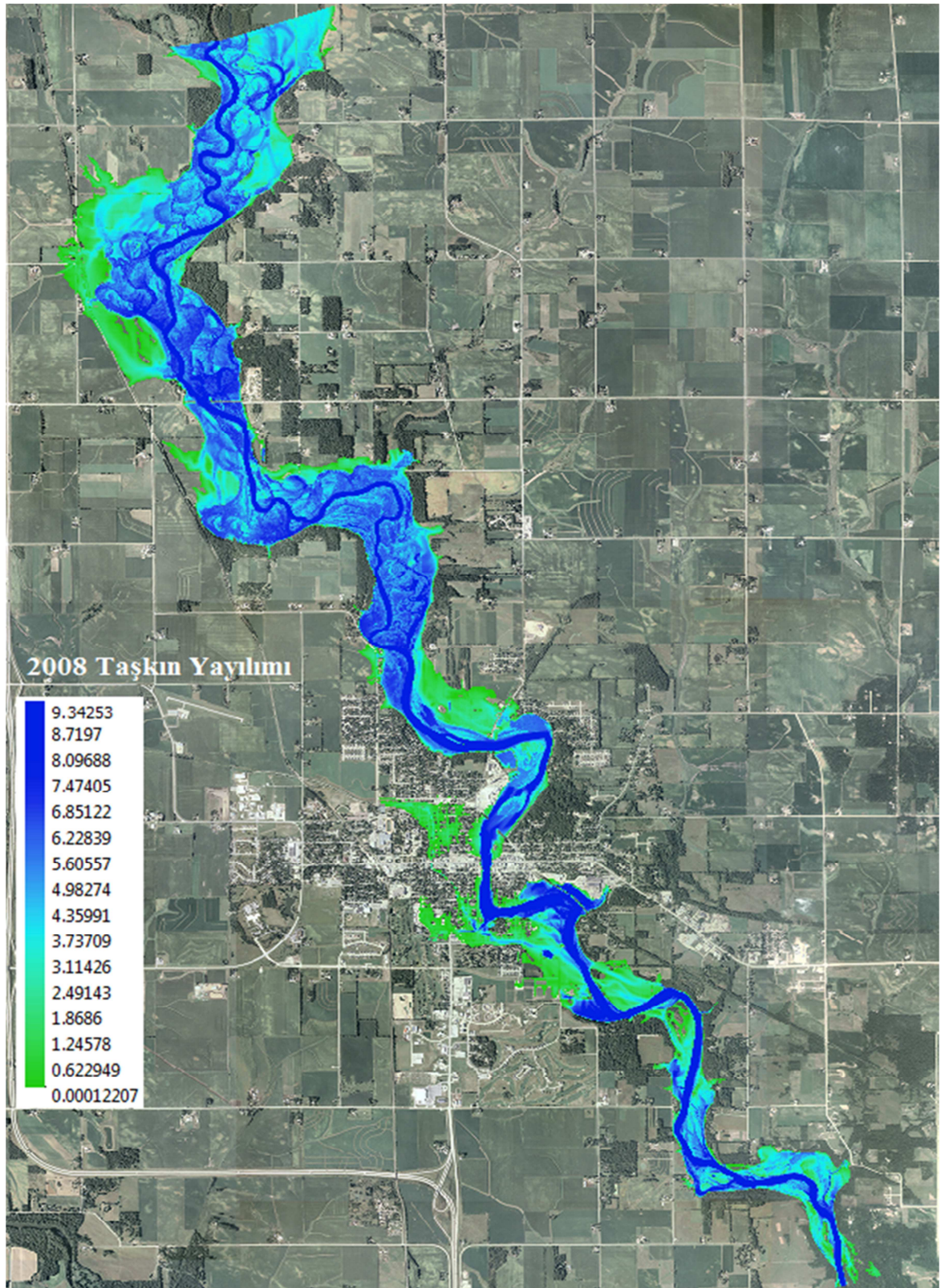
2008 Taşkın analizleri HEC-RAS programı ile modellendikten sonra, akım yükseklikleri elde edilmiş ve CBS' ye aktarılmıştır. Böylece; 2008 yılı taşkınına ait taşkın yayılım haritası elde edilmiş (Şekil 5.18-19) ve çeşitli frekanslardaki debilerin oluşturacağı taşkın alanları tespit edilmesi için kullanılacak model kalibre edilmiştir. Elde edilen 2008 yılı taşkın haritasına bakıldığında 14.45 km² alanın taşkına maruz kaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.17. 2008 yılı taşkın su yüzü profili



Şekil 5.18. Waverly şehir merkezi, 2008 yılı taşkın



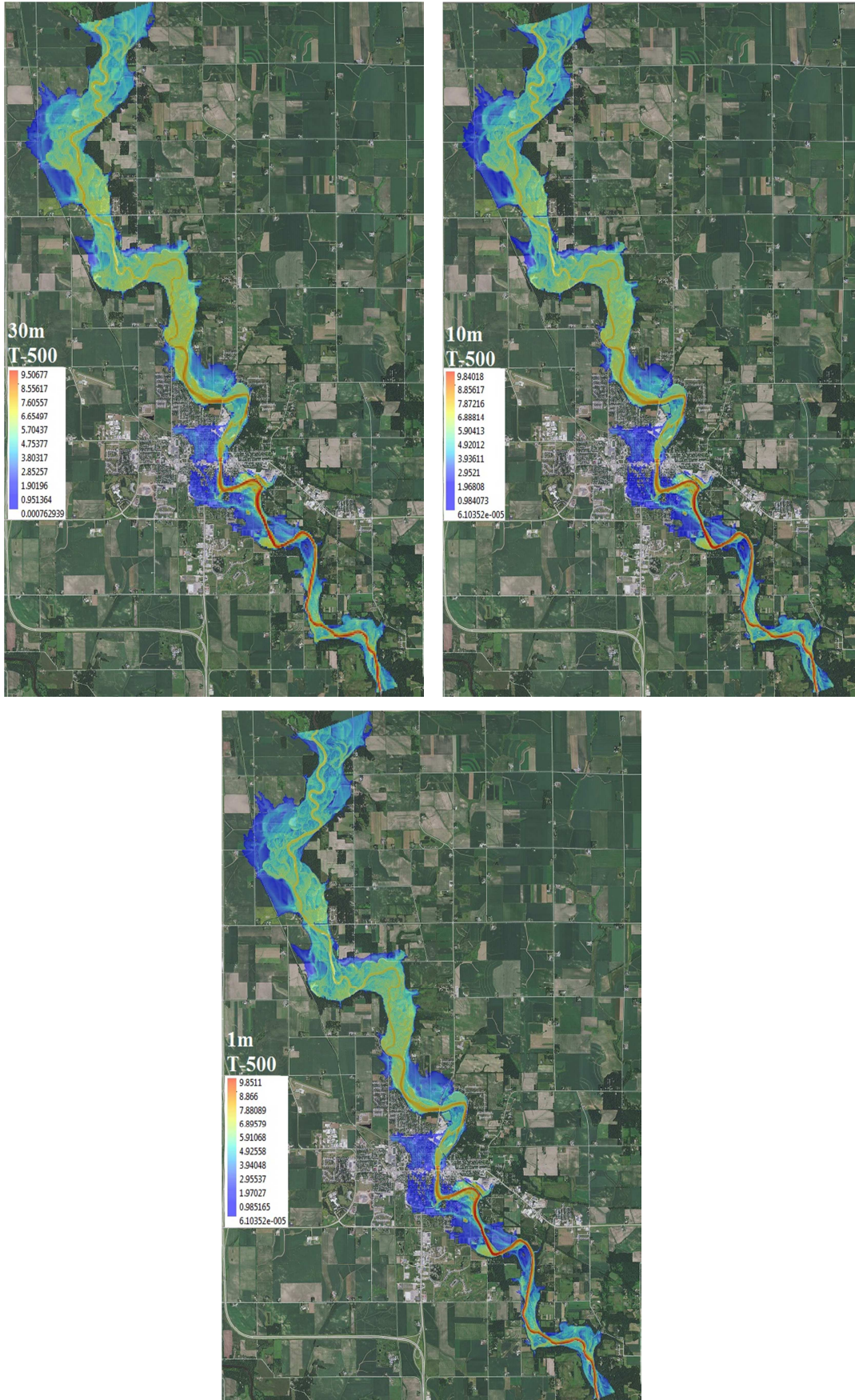
Şekil 5.19. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, 2008 yılı taşkını

Hidrolik model ile tespit edilen su yüzü profilleri ArcGIS'e aktarılırken, HECGeoRAS alt programından yararlanılmıştır. ArcGIS programı içerisinde, HECGeoRAS yardımıyla HEC-RAS'tan alınan su yüzü kotlarını içeren çıktı dosyası, çeşitli aşamalardan geçirilerek arazi modeli üzerine eklenmeye hazır hale getirilmiştir. Sonuç olarak 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıl tekerrürlü taşkın debileri için 8 farklı taşkın senaryosu incelenmiş ve oluşabilecek taşkın alanları tespit edilmiştir (Şekil 5.20- 5.27)

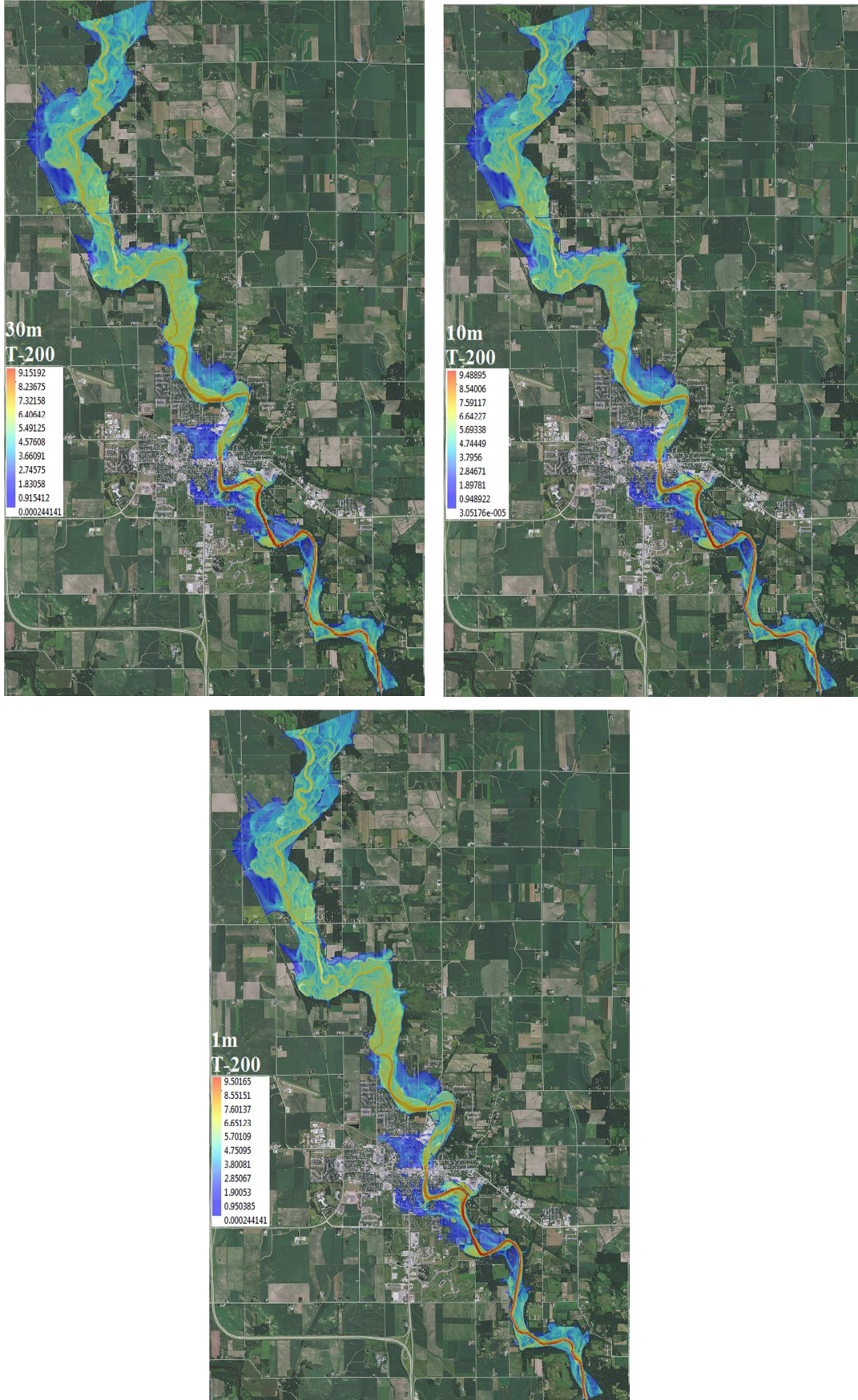
Taşkın risk haritaları oluşturulan 8 farklı senaryoya göre, taşkın suları altında kalacak arazilerin büyüklükleri debilere göre farklılık göstermektedir. Buna göre Q2 debisi meydana geldiğinde 8.2 km² alan taşkın suları altında kalırken, Q500 debisi ile taşkın oluşması durumunda ise 15.5km² lik bir alan taşkına maruz kalmaktadır. Tablo 5.5'de farklı tekerrürler için taşkın etkisi altında kalan alanlar verilmiştir. Risk haritalarında görüldüğü gibi özellikle Cedar Nehri'nin, Waverly Şehrinin menbağında kalan kısımlarında, geniş tarım arazilerinin taşkın suları altında kaldığı görülmüştür. Nehrin bu kesimlerde sığ oluşu, yüksek debilerle birlikte kapasitesini aşması ve yatağın dışına taşması neticesinde meydana gelmiştir. Çünkü aynı tekerrür periyotları için Waverly şehrinin mansabında nehir yatağının derin oluşu bu yayılımı engellenmiştir. Yine Waverly şehir merkezinde taşkınların tekerrür aralığının 10 yıl ve üzerine çıkması durumunda taşkına maruz kaldığı görülmektedir.

Tablo 5.5. Farklı çözünürlükler ve tekerrürler için taşkın etkisi altında kalan alanlar

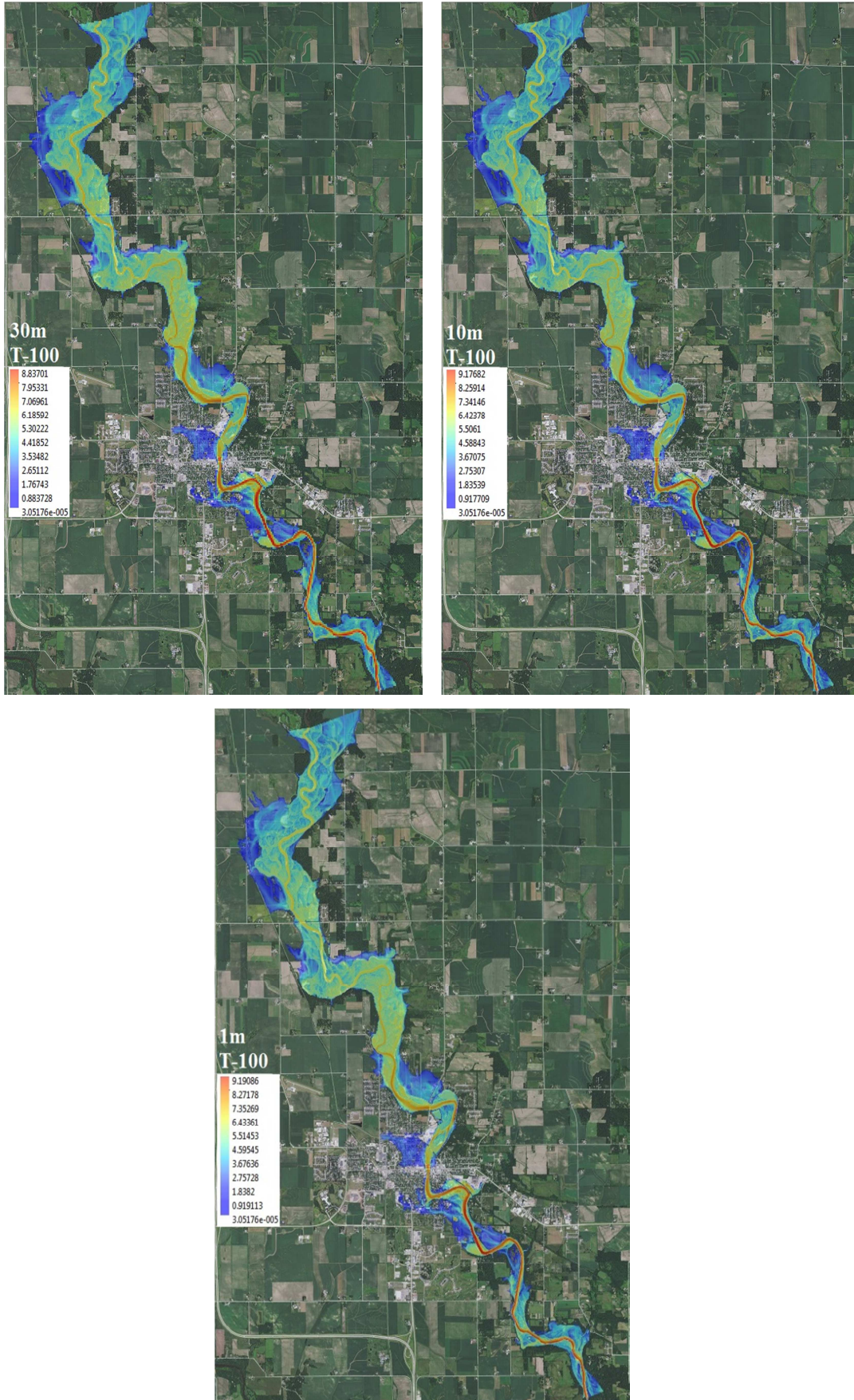
Taşkın Tekerrür Aralığı (Yıl)	2	5	10	25	50	100	200	500
Su Altında Kalan Alanlar (km ²)-1m	8.30	10.70	11.88	12.99	13.79	14.62	15.32	16.06
Su Altında Kalan Alanlar (km ²)-10m	8.39	10.74	11.94	13.04	13.84	14.67	15.37	16.11
Su Altında Kalan Alanlar (km ²)-30m	8.47	10.78	11.99	13.13	13.94	14.74	15.42	16.17



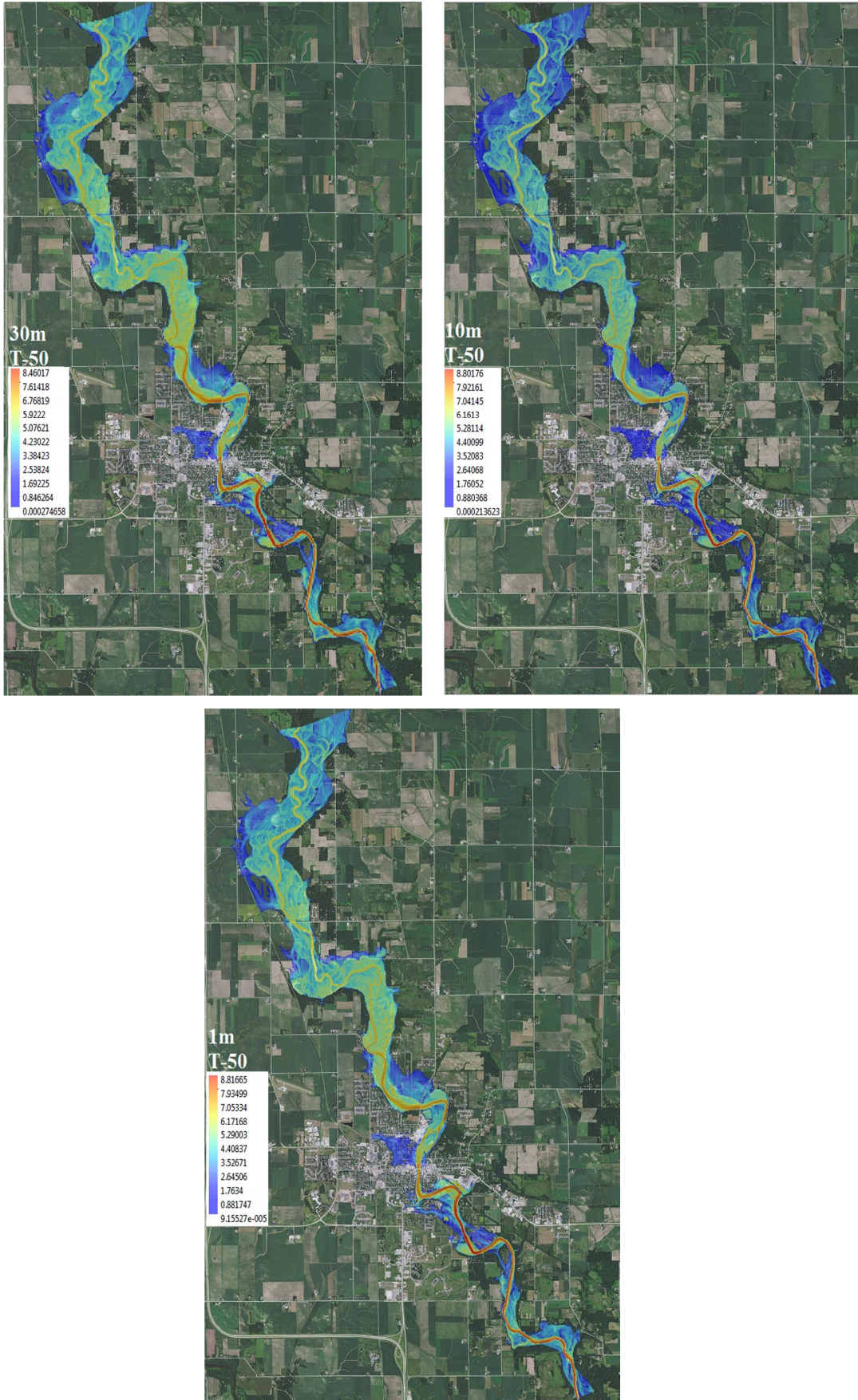
Şekil 5.20. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-500



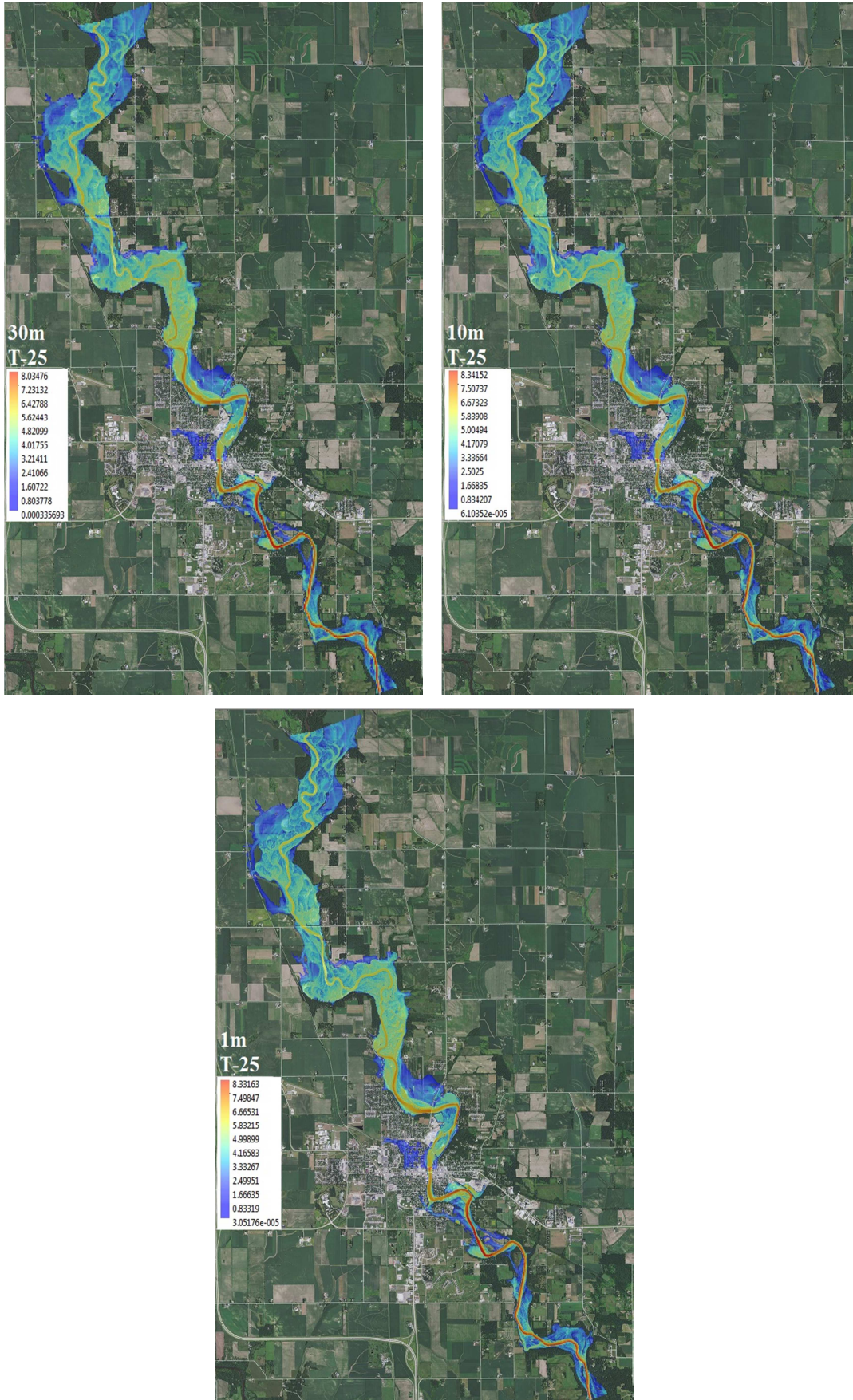
Şekil 5.21. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-200



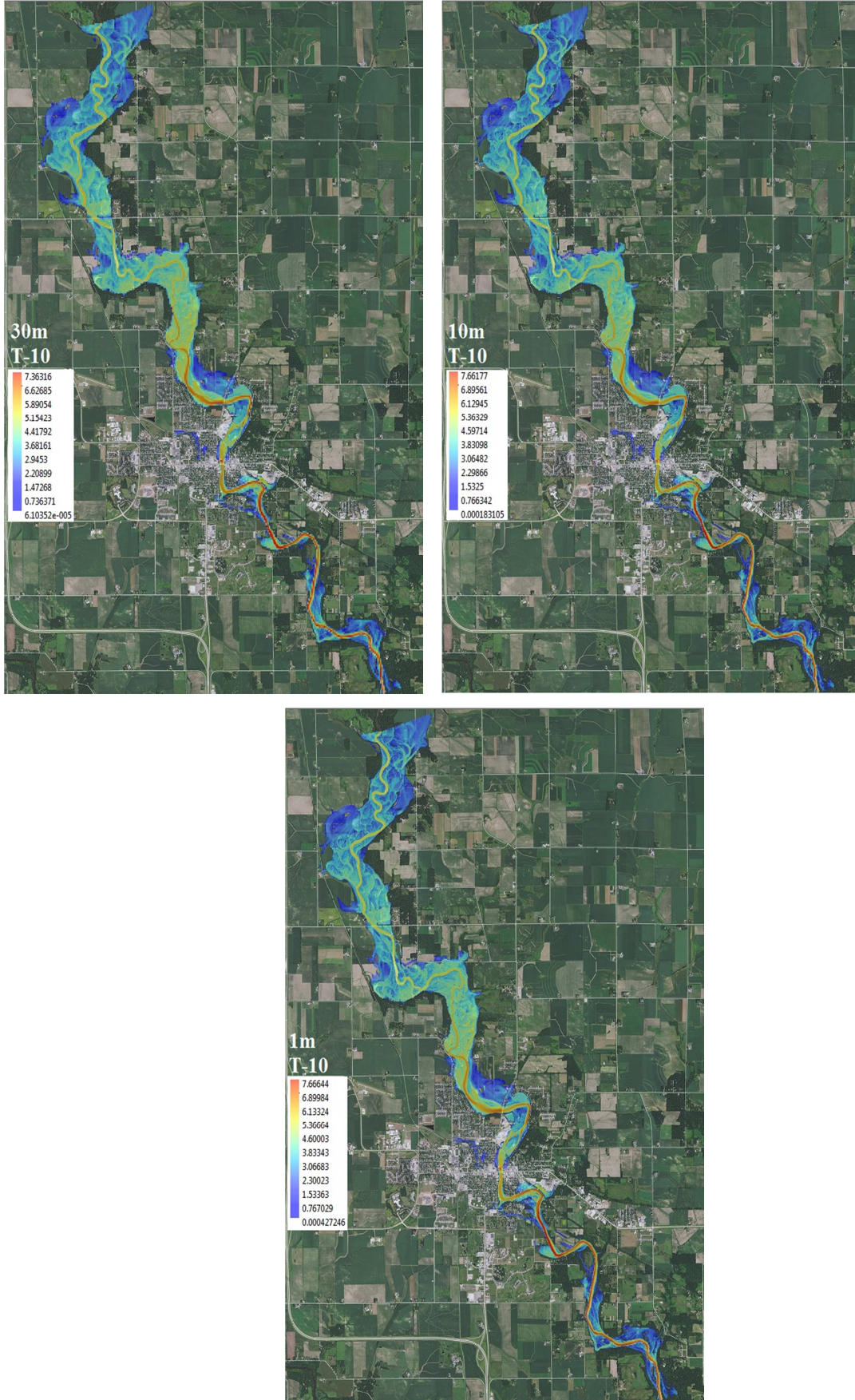
Şekil 5.22. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-100



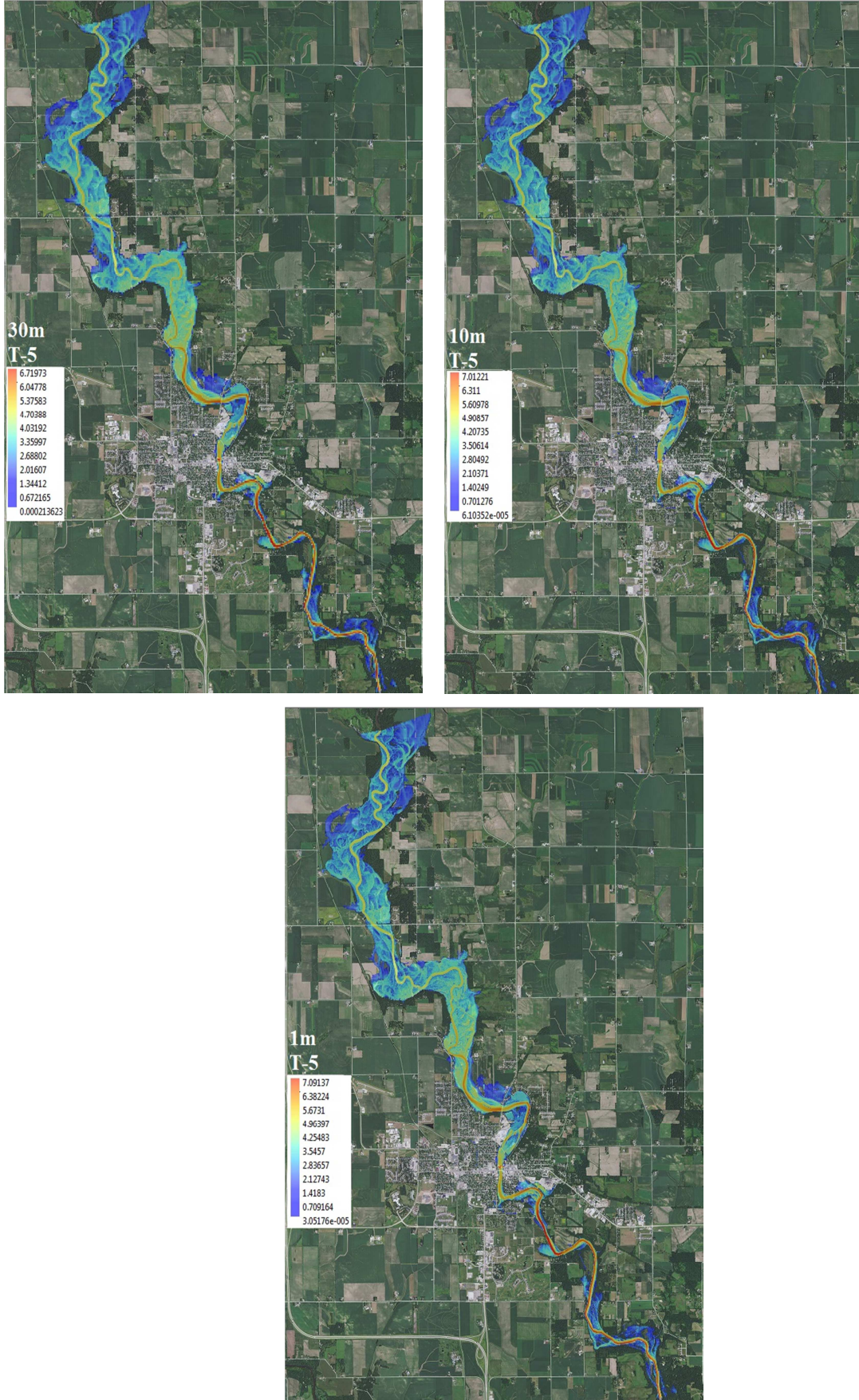
Şekil 5.23. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-50



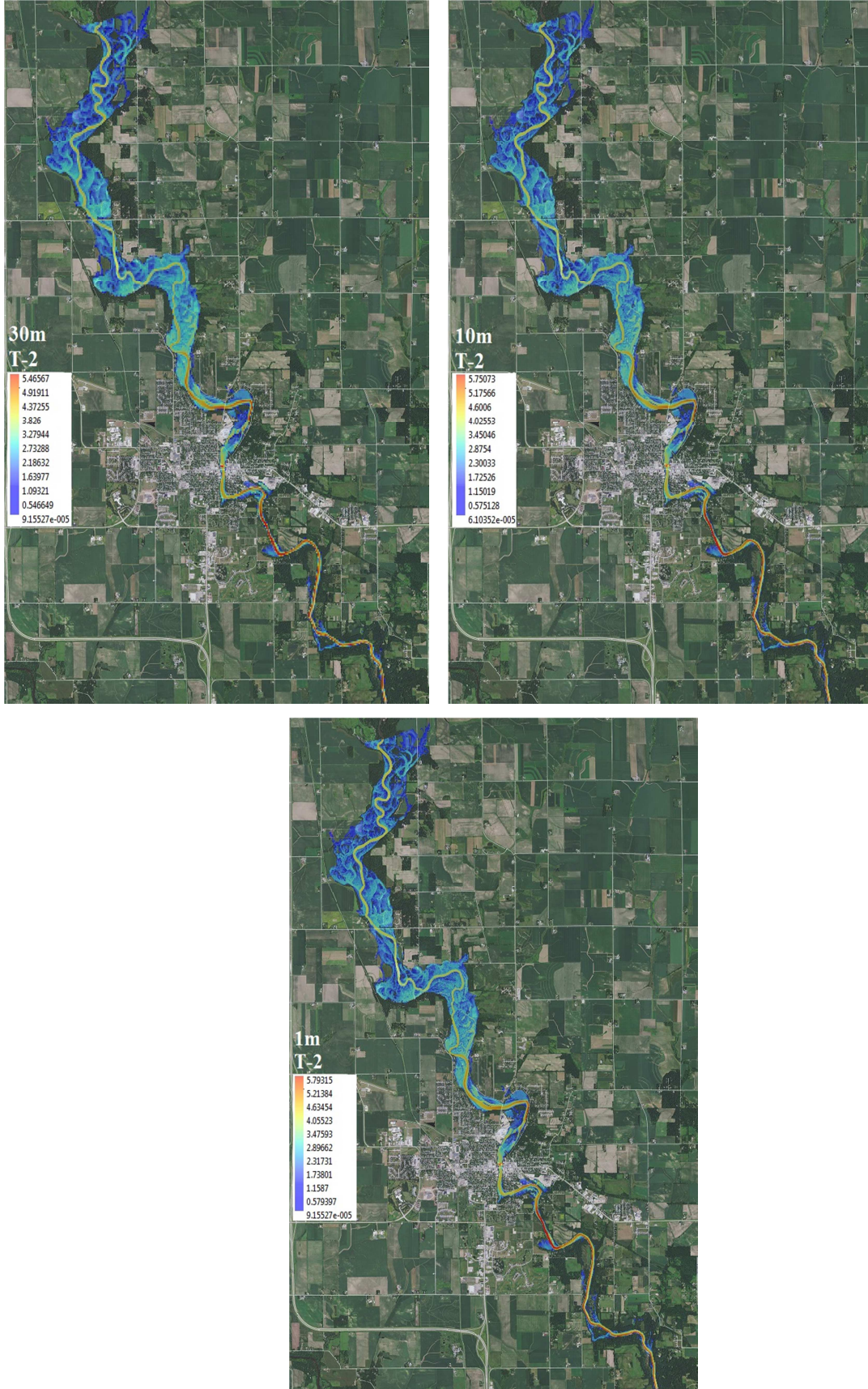
Şekil 5.24. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-25



Şekil 5.25. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-10

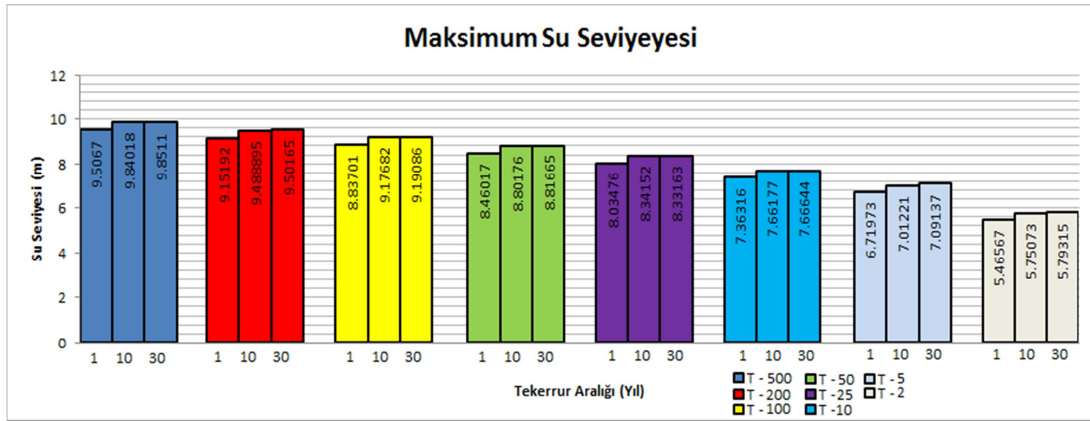


Şekil 5.26. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-5

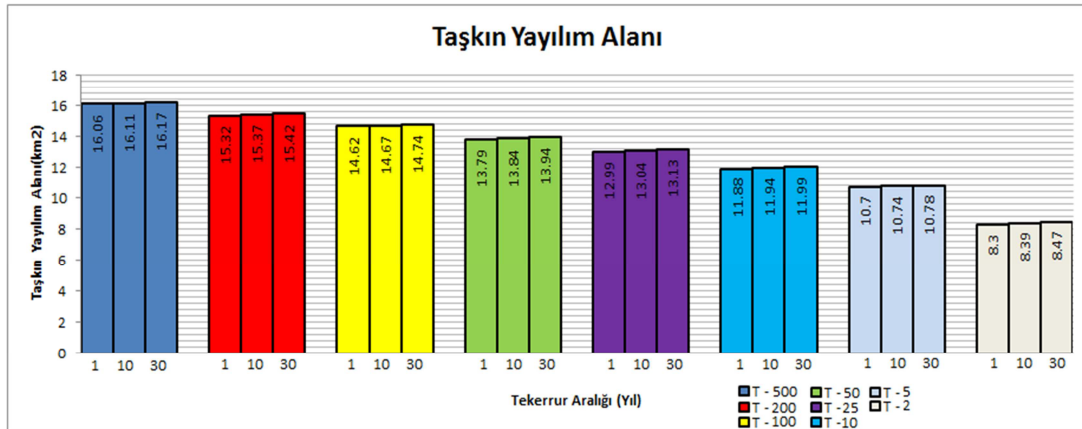


Şekil 5.27. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-2

CBS'nin çıktıları, risklerin etkisini ve riskli alanların nerelere erişebileceğini göstermektedir. Su yüzü kotlarının ulaştığı maksimum seviyelerin bulunduğu katman şeffaflık ayarları değiştirilerek sular altında kalan alanlar daha da anlaşılır biçimde görülebilir. Buna 500 yıl tekerrürlü taşkında ise şehrin büyük bir kısmı olmak üzere, 1 tanesi şehrin girişinde 1 tanesi de şehrin çıkışında bulunan iki fabrika taşkın riskine maruz alanlar içerisinde yer almaktadır. Şehrin dışarısında yer alan fabrikanın üretmiş olduğu iş makinelerinin depolandığı alanların sular altında kaldığı gözlenmiştir. Taşkın yayılımına ait su seviyesi ve alansal değişim Şekil 5.28 ve Şekil 5.29 da verilmiştir.



Şekil 5.28. Farklı çözünürlükler ve tekerrürler için taşkın su seviyesi



Şekil 5.29. Farklı çözünürlükler ve tekerrürler için taşkın etkisi altında kalan alanlar

5.4. 1 ve 2 Boyutun Birlikte Ele Alındığı (Coupled) Model

Taşkın riskini belirli bir alanda belirli bir zaman süresi içerisinde sular altında kalma olasılığı olarak tanımlayabiliriz. Bu nedenle, geleneksel taşkın risk haritaları, taşkın olasılığını Şekil 5.30 daki gibi tasvir etmektedir. Bu durumda su seviyesi ile meydana gelme olasılığı arasında ters ilişki vardır yani yüksek su seviyelerinin meydana gelme olasılıkları düşüktür. Buna göre, Şekil 5.30 daki A noktasının zarar görme olasılığı D noktasından daha büyüktür.

Yine Şekil 5.30'un alt kısmındaki su seviyesinin altındaki alanları temsil eden genelde büyük nehirlerin deltalarında, kıyı alanlarında ve geniş düzlüklerde bulunan nehir yataklarının alüvyal arazilerin taşkın durumu şematize edilmiştir. Bu durumda içinde nehrin doğal setleri (B) veya taşkın duvarlarını (C) aşmadığı müddetçe su seviyesi ile dönüş aralığı arasında bir ilişki vardır.

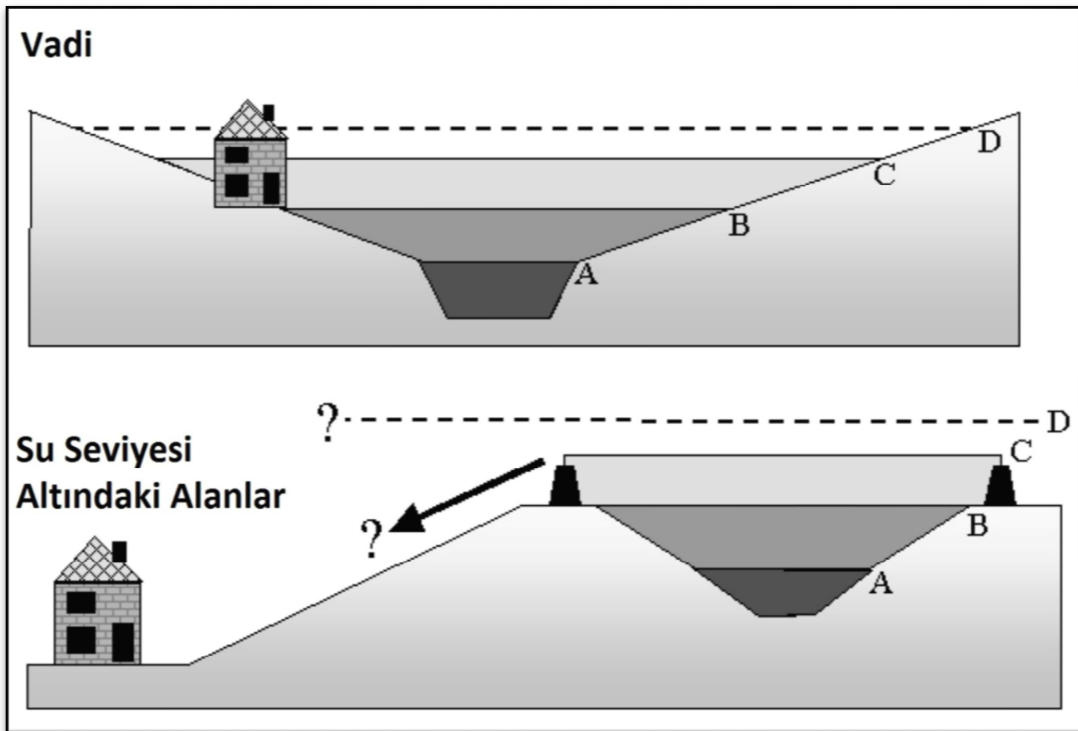
Alışılmış 1 boyutlu taşkın haritalarına göre böyle bir durum için, su seviyesi altındaki tüm arazilerin taşkın riski taşkın duvarının riski ile aynı düzeydedir yani bu seviyenin aşılması durumunda bütün arazinin risk altında olacağı kabulü vardır. Bu yaklaşım akışın yayılımını dikkate almaz ve su seviyesinin altında kalan bütün arazide derecelendirme yapmaksızın taşkın riski altında olarak belirlenir.

Su seviyesinin D ye ulaşması durumunda taşkın anında bütün araziye yayılmayacaktır. Yayılım alanına doldurması zaman alacaktır. Ne kadar zaman alacağı suyun yayılımına, arazinin karakterine, pürüzlülük durumuna ve bina gibi engelleyici unsurların bulunmasına bağlı olarak değişmektedir.

Bu zaman bileşeni karar vericileri için büyük önem taşımaktadır. Çünkü bazı insanlar bir kaç saat içerisinde taşkın riski ile karşı karşıya kalacak iken bazıları için ise bu risk günler sonra tehlike oluşturacaktır. Yöneticilerin hangi insanların ilk olarak tahliye edilmeleri gerektiğini ve hangi yolların kullanılabilir olduğunu önceden bilmeleri gerekmektedir.

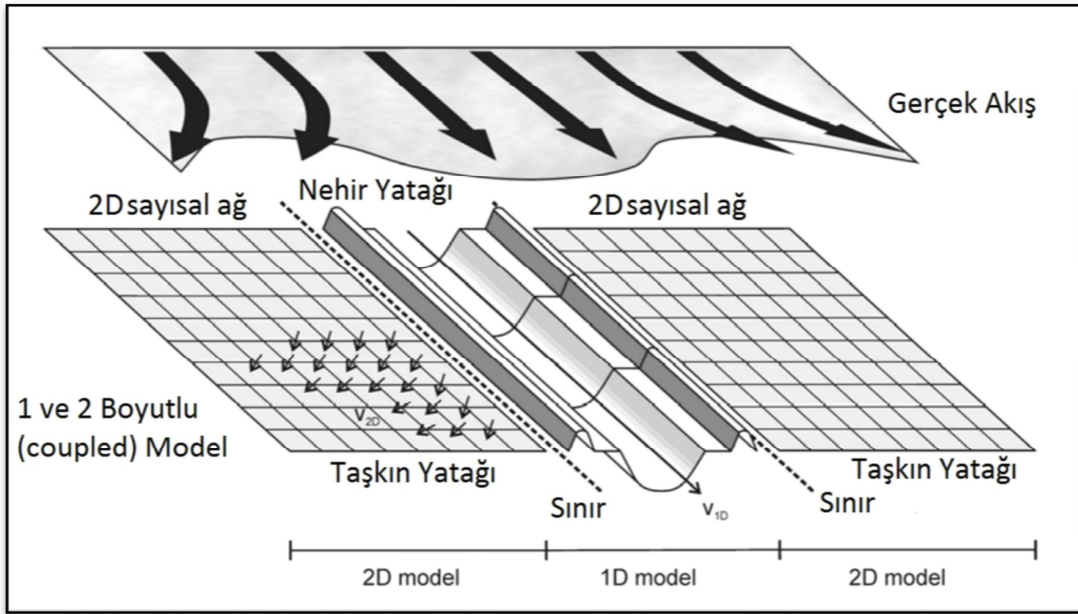
Alışlagelmiş 1 boyutlu taşkın haritaları bu tür planları geliştirmek için gerekli ve doğru bilgiyi sağlayamamaktadır. Ayrıca gelecekte olması muhtemel taşkınlar için bu planların yapılmasında bir fayda sağlamayacaktır.

Taşkın modellemelerinde 1 ve 2 boyutlu (Coupled) modellerin kullanılması bu gibi durumların çözümlenmesinde faydalı olmaktadır.



Şekil 5.30. Farklı topografyalar için taşkın risk durumu

Çalışmada kullanılan 1 ve 2 boyutlu modelin birlikte ele alınmasıyla oluşturulan literatürdeki adı ile coupled model, akışın nehir yatağı kapasitesini aşması durumunda, taşkın yatağında yayılımının modellenmesi esasına dayanmaktadır. Nehir yatağı dışına çıkan akış, grid denilen her bir hücre için hareketi hesaplanarak taşkın yatağındaki akış modellenmektedir (Şekil 5.31). Sayısal yükseklik modelinin kalitesi, grid büyüklüğünü etkilediğinden hassas ve doğruluk oranı yüksek sonuçlar elde etmek için yüksek kalitedeki sayısal yükseklik modellerine ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 5.31. Coupled model şematik gösterimi

5.4.1. 1 boyutlu model altyapısı

1 boyutlu hidrodinamik model altyapısı aşağıdaki kabulleri temel almaktadır:

Su, sıkıştırılmaz ve homojendir.

Akarsu yatağı eğimi küçüktür.

Su genişlikleri, su derinliği ile kıyaslandığında daha büyüktür. Bu kabul akışın daima tabana paralel olmasını sağlar. Dikey doğrultudaki ivmelenme yok sayılabilir.

Temel 1 boyutlu hidrodinamik modeller kütle ve momentumun korunumu ilkeleri dikkate alınarak elde edilir. Hidrolik pürüzlülük ve yanal akım girişleri dikkate alınarak denklemler şu şekilde yazılabilir.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (5.13)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha Q^2}{A} \right) + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0 \quad (5.14)$$

Burada;

A: Akış kesit alanı (m²),

R: Hidrolik yarıçapı (m)

C: Chezy pürüzlülük katsayısı (m^{1/2}/s)

g: Yerçekim ivmesi (m/s²)

h: Su derinliği (m)

Q: Debi (m^3/s)

α : Momentum dağılım katsayısı

q: Yanal akım

1 boyutlu hidrodinamik modelleri kurmak için 2 temel dataya ihtiyaç duyulmaktadır, bunlar sınır koşulları ve topografik datalar olarak sınıflandırılabilir. Mamba debi değeri ve mansab su yüzü kotu modelin sınır koşullarının oluşturulması için gerekli verilerdir. Akarsu yatağı ve taşkın yatağına ait kesitlerde modelin topografik altyapısını oluşturmaktadır. Model çıktıları ise her kesit için su seviyesi ve debi değerlerini vermektedir.

Fakat Sonuçlar sadece kesit bilgisinin olduğu noktalar için elde edilebilmektedir. Bu yüzden model oluşturulurken kesitler sonuç elde edilmek istenen noktaları belirli bir stratejiye göre yerleştirilmelidir.

1 boyutlu modelde debi ve hız sadece akım doğrultusunda 1 boyutta elde edilmektedir. Bu yüzden 1 boyutlu model ile kompleks bir topografiye sahip arazilerde taşkın dalgasının yayılımını doğru bir şekilde takip etmek mümkün değildir.

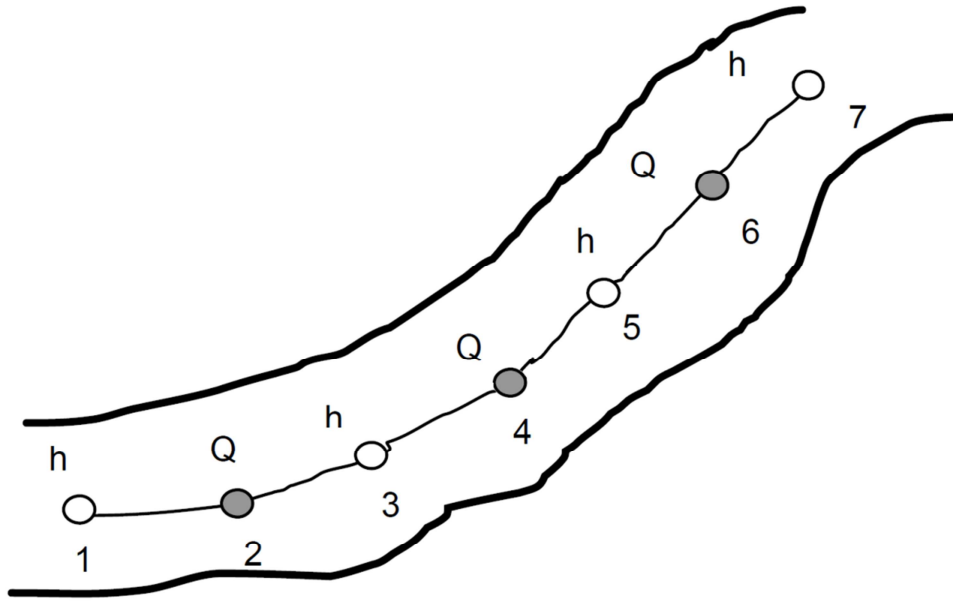
Taşkın yatağına ve yatağından akışın mevcut olduğu durumlarda taşkın dalgasının gelişimini etkilemesinden ötürü 1 boyutlu modeller ile yapılan taşkın simülasyonları gerçekçi sonuçlar vermeyecektir.

5.4.1.1. Mike 11

Mike 11, 1 boyutlu kararsız akışların kapalı sonlu farklar yöntemi kullanılarak hesaplandığı bir programdır. 2 boyutlu model ile bağ kurularak taşkın yatağındaki akışta simüle edilebilmektedir. Bu program nehir boyunca taşkın, yine nehir üzerinde bulunan menfez, köprü, regülatör v.s. hidrolik yapıların modellenmesi amacıyla tasarlanmıştır. Eklenen GIS modülü sayesinde de sonuçların taşkın yönetimi açısından kullanılacak şekilde sunulmasını sağlamaktadır.

Mike 11 programı kinematik, difüzyon ve full dinamik dalga yayılım eşitliklerini kullanabilmektedir. Süreklilik ve momentumun korunumu denklemlerinin sonuçları, kapalı şema sonlu farklar yöntemini esas almaktadır. Bu şema belirlenmiş dalga yayılım metodundan (kinematik, difüzyon, dinamik) bağımsız bir şekilde yapılanmaktadır. Modelde kullanılan Q (debi) ve h (su seviyesi) hesaplama noktasal döngüleri Şekil 5.32’de gösterilmiştir. Q noktaları iki h noktası arasında veya hidrolik yapıların bulunduğu noktalarda hesaplanmaktadır. h noktaları ise ya kesitlerin bulunduğu yerlerde veya iki kesitin ortasında yer almaktadır.

Hidrodinamik modeller nehir ve taşkın yatağı topoğrafisi ve bunlara dahil olan insan yapımı hidrolik yapılar ve taşkın kontrol yapıları da dahil olmak üzere bu veriler doğrultusunda çalışmaktadır.



Şekil 5.32. Q (debi) ve h (su seviyesi) hesaplama noktasal döngüleri

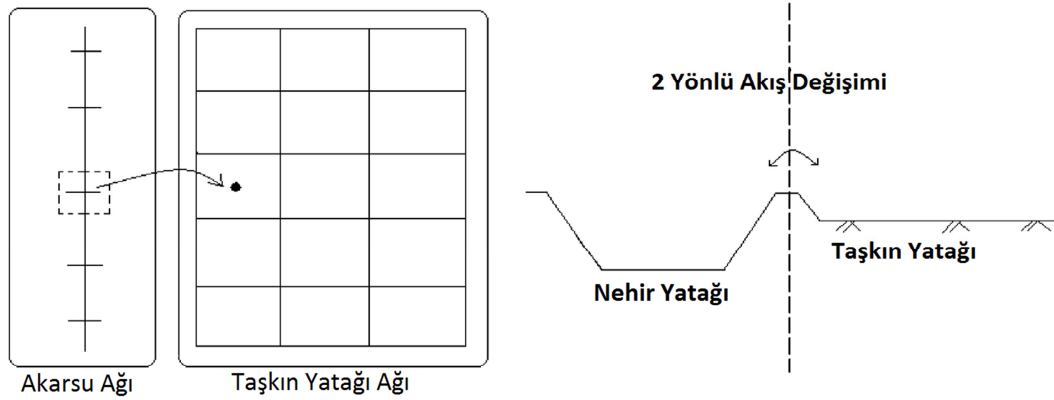
5.4.2. 2 boyutlu model altyapısı

Taşkın yatağı akış simülasyonu için 2 boyutlu kararsız akış denklemleri St Venant süreklilik denklemleri ve momentum denklemleri x ve y doğrultuları için elde edilmiştir.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = q_l \quad (5.15)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial vN}{\partial y} + gh \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \tau_x(b) = 0 \quad (5.16)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial uN}{\partial x} + \frac{\partial vN}{\partial y} + gh \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \tau_y(b) = 0 \quad (5.17)$$



Şekil 5.33. 2 yönlü akış değişimi şematik gösterimi

Burada,

H ve h: Sırasıyla su seviyesi ve derinlik,

u ve v: Sırasıyla x ve y doğrultusundaki akış hızı

g ve ρ : Sırasıyla yerçekim ivmesi ve yoğunluk

M ve N: Sırasıyla x ve y doğrultusundaki akış miktarı ($M=uh$, $N=vh$)

q_l : Taşkın yatağındaki etkili akış yoğunluğu

$\tau_x(b)$ ve $\tau_y(b)$: Sırasıyla x ve y doğrultusundaki taban kesme gerilmesi

Şekil 5.33 de 2 boyutlu şematik düzlemde sonlu farklar yöntemi kullanılarak x ve y doğrultusundaki t zaman aralığındaki akış elde edilmektedir.

Model alt yapısı nedeniyle çok düz taşkın yataklarında ve kompleks topografyalarda taşkın dalgası yayılımı 1 boyutlu bir hareket değildir. Yanal akışların doğru bir şekilde belirlenebilmesi için 2 boyutlu model yaklaşımına ihtiyaç duyulmaktadır.

2 boyutlu modellemelerde süreklilik ve momentum denklemleri 2 boyutta yazılmaktadır (x ve y doğrultuları). Sonuçlar ise çözüm etki alanındaki her bir hücre

(grid) için hesaplanmaktadır. Bu nedenle model hesaplama zamanı uzayarak daha büyük kapasitede sonuçlar elde edilmektedir.

1 boyutlu modelde su seviyesi ve debi sadece kesit bulunan noktalar için elde edilebilirken, 2 boyutlu modelde bu sonuçlar çözüm alanındaki her bir hücre için elde edilebilmektedir. Ayrıca akış ve yanal doğrultulardaki debi ve hız değerleri de 2 boyutlu modelle hesaplanabilmektedir.

2 boyutlu modelin kullanılmasının asıl faydası, belirlenen her zaman aralığı için her bir hücredeki x ve y doğrultusundaki hız ve debi bilgisini sağlamasıdır. 2 boyutta hesaplanan hız profili, taşkın dalgasının gelişimini doğru bir şekilde temsil eder. Böylece taşkın esnasındaki nehrin durumunu, sediment taşınımı hakkında daha iyi tahminler yapmada fayda sağlamaktadır. Nehir içerisinde bulunan hendekler, eşikler v.s. gibi elemanlar için hızların yerel değişimi belirlenebilmektedir. Bu nedenle 2 boyutlu modeller yapılacak nehir taraması, kanal revizyonu, yapılan veya kaldırılan taşkın koruma yapılarının etkilerini hesaplamak içinde kullanılabilir.

Su seviyesi, kaliteli batimetri ve akış özellikleri kullanılarak 2 boyutlu model ile daha doğru bir şekilde belirlenebilmektedir. Su seviyesi taşkın tahmini için birincil derecede öneme sahiptir. Su seviyesi bilgisi taşkın anında acil müdahale için önem arz etmektedir. 2 boyutlu model doğru akış ve akış alanı verisi sağladığından mevcut ve tahmin taşkınlarını değerlendirmek amacıyla kullanılabilir.

2 boyutlu modellerin oluşturulmasında gerekli en önemli data nehir sistemini ve taşkın yatağını doğru bir şekilde yansıtan topoğrafya ve batimetri datalarıdır. Su seviyesinin doğru bir şekilde tahmin edilmesindeki en büyük etken doğru bir şekilde temsil edilmiş taşkın yatağıdır. Diğer gerekli dataları ise temel model parametreleri, kalibrasyon parametreleri ve sınır koşulları olarak 3 e ayırabiliriz.

Temel model parametreleri; hücre genişliği, zaman aralığı, simülasyon süresi, çıktı parametreleri ve bunların elde edilme sıklıklarıdır. Yatak pürüzlülüğü, rüzgâr etkisi kalibrasyon parametreleridir. Hidrografik sınır koşulları ise sabit veya değişebilen (zamana ve yere göre) seviye veya akış olarak belirlenebilir.

Modelin temel çıktısı x ve y doğrultusundaki su seviyesi ve akış yoğunluğudur. Çıktılar su parçacıklarının hız ve akış yönünü içermektedir. Çıktılar, her bir hücre için belirlenen her bir zaman aralığında hesaplanır.

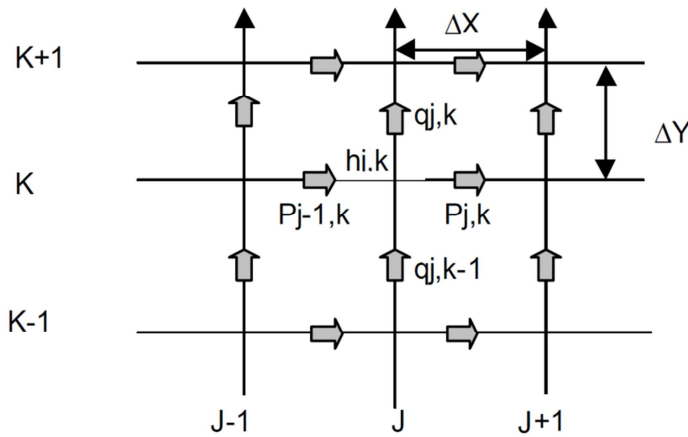
2 boyutlu taşkın analizi, kapsamlı topografik data ve uzun analiz süresi gerektirmesi gibi olumsuz yönlerine rağmen, elde edilen sonuçların detayı ve yapılacak çalışmalar için güvenilir ve gerçekçi sonuçlar vermesinden ötürü taşkın analizlerinde kullanılacak etkili bir yöntem haline gelmiştir.

5.4.2.1. Mike 21

Bu çalışmada iki boyutlu hidrodinamik modelleme için Mike 21 programı kullanılmıştır. Bu program DHI (Danish Hydraulic Institute) tarafından 2 boyutlu kapsamlı analizler yapmak üzere geliştirilmiştir. Gelgit, baraj yıkılması, taşkın dalgaları gibi birçok hidrolik analizlerde kullanılmaktadır.

Model, çeşitli zorlayıcılar nedeniyle akışın ve su seviyesinin değişimini simüle etmektedir. Belirlenmiş batimetri, yatak pürüzlülük katsayısı, rüzgâr alanı ve hidrografik sınır koşulları ile belirlenmiş alan içerisindeki karesel hücreler için su seviyeleri ve akışlar çözümlenir.

Modelleme sistemi tam zamanlı ve lineer olmayan süreklilik ve momentumun korunumu eşitliklerine göre çözümlenir. Simülasyonun çıktısı su seviyesi ve akıştır. Model bir tabakalı akışkanların 2 boyutlu kararsız akımları için simülasyon yapmaktadır. Süreklilik ve momentum denklemleri Şekil 5.34' de gösterildiği gibi karesel hücreler için kapalı sonlu farklar yöntemi kullanılarak çözümlenir.

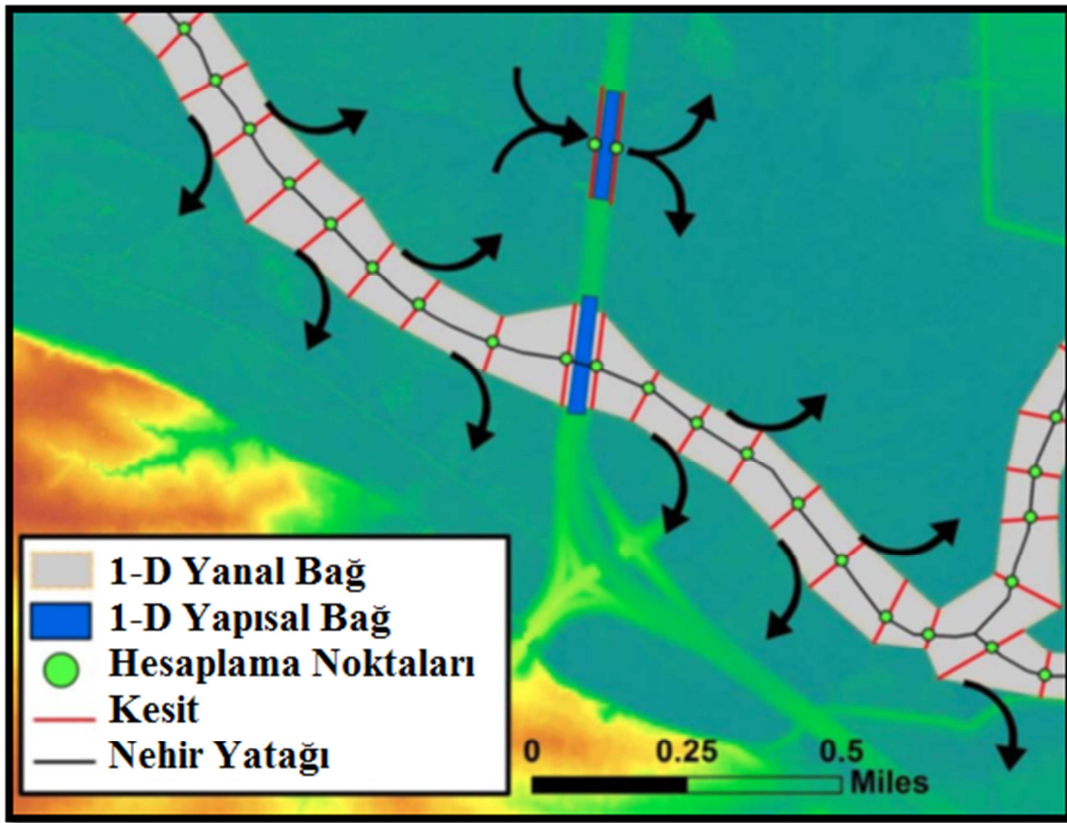


Şekil 5.34. 2 boyutlu şematik düzlemde sonlu farklar yöntemi

5.5. 2 Boyutlu Akış Modelleri

Kentsel taşkın modellemelerinin çözümlenmesinde 1 ve 2 boyutlu modellerin ayrı ayrı kullanılması durumunda birçok zorluklarla karşılaşılmaktadır. 1 boyutlu sayısal modeller, kompleks taşkın yayılım alanlarında modelleme yapmak için yetersiz kalmaktadır. 2 boyutlu sayısal modeller ise nehir yatağındaki yapıların modellenmesinde veya basınçlı akışların modellenmesinde yetersiz kalmaktadır. Bu olumsuz yönlerin aşılması amacıyla son zamanlarda yapılan kentsel modellemelerde 1 ve 2 boyutlu sayısal modellerin birlikte kullanılması düşünülmektedir [71]. 1 boyutlu sayısal modelle nehir yatağının modellenmesi, 2 boyutlu modelle taşkın yatağının modellenmesi durumunda bütün olumsuzluklar önlenerek hesaplama açısından daha verimli ve daha kararlı hidrolik modellerin kurulması sağlanmaktadır. Bu modellerde nehir yatağı tamamen 1 boyutlu olarak ele alınıp 2 boyutlu mesh te nehir yatağı tamamen bloke edilerek hesaplama verimi artırılmaktadır.

MIKE FLOOD programı, 1 boyutlu MIKE 11 ve 2 boyutlu MIKE 21 modeli arasında birçok çeşit bağ kurularak geliştirilmektedir. Bu bağlar Standart bağlar (standart link), Yanal bağlar (lateral link), Yapısal bağlar (structural link) olarak adlandırılmış ve Şekil 5.35' de gösterilmiştir. Bu tür bağlar kararsız akımların modellenmesinde, sınır koşullarının anahtar eğrisi (Rating Curve) ile kontrol edilmesine imkân sunmaktadır.



Şekil 5.35. Mike Flood bağ yapıları

Modelin standart bağ ile bağlandıklarında, MIKE 11 yan kolun debiye katkısı, MIKE 21 hücrelerindeki süreklilik ve momentumun denklemlerini etkilemektedir [66]. Bu yüzden bağların; MIKE 11 yan kolunun MIKE 21 meshinden bir adım önce bağlanması gerekmektedir. Bu yüzden debinin belirlenmesi için kullanılacak zaman aralığı $n+1/2$ kullanılmalıdır. Denklem 5.18' de debi hesabi açıklanmıştır.

$$\frac{\partial Q^{n+1/2}}{\partial t} = - \left(gA \frac{\partial H^n}{\partial x} + \frac{Q^n |Q^n|}{AC^2R} \right) \quad (5.18)$$

Denklemden Q;debi, t;zaman, g; yerçekimi ivmesi, A;kesit alanı, H;su seviyesi, x;boyuna kesit mesafesi, C;Chezy pürüzlülük katsayısı, R; hidrolik yarıçap olarak verilmiştir. Buna göre akışı pürüzlülüğün kontrol ettiği varsayılmaktadır.

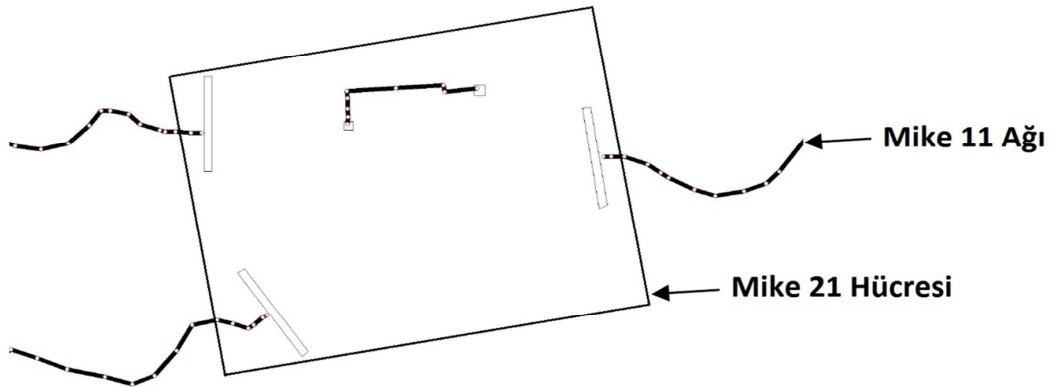
Yanal bağlar ile MIKE 11 yan kollarının MIKE 21 mesh ile bağlanması ile taşkın sularının nehir yatağından taşkın yatağına geçmesi sağlanmış olur. Bağlanma metodu açıktır. Akışın iki model arasında geçişi bazı yapısal ilişkilerle (baraj vs.) kontrol edilir [66].

Yapısal bağlar ise, baraj, köprü gibi yapısal elemanların modele etkilerinin dahil edilmesi amacıyla kullanılır. Kapalı tip olmasına rağmen en kararlı model (coupling) yapısıdır bu bağın özelliği MIKE11 yan kollar boyunca momentum hesaplamak ve MIKE 21 in etkileşimde olduğu yapıların oluşturmuş olduğu hidrolik etkilerden dolayı momentum değişimlerini kontrol etmektir [66]. Momentumun korunumunu sağlamak ve simülasyon sonuçlarını sorgulamak için yerleştirilir.

Mike Flood programı 1 ve 2 boyutlu modellerin birlikte çalıştırılmasında kullanılan bir programdır. Mike Flood programı altında Mike 11 ve Mike 21 modellerini analiz amacına bağlı olarak çeşitli şekilde bağlamak mümkündür.

5.5.1.1. Standart bağ

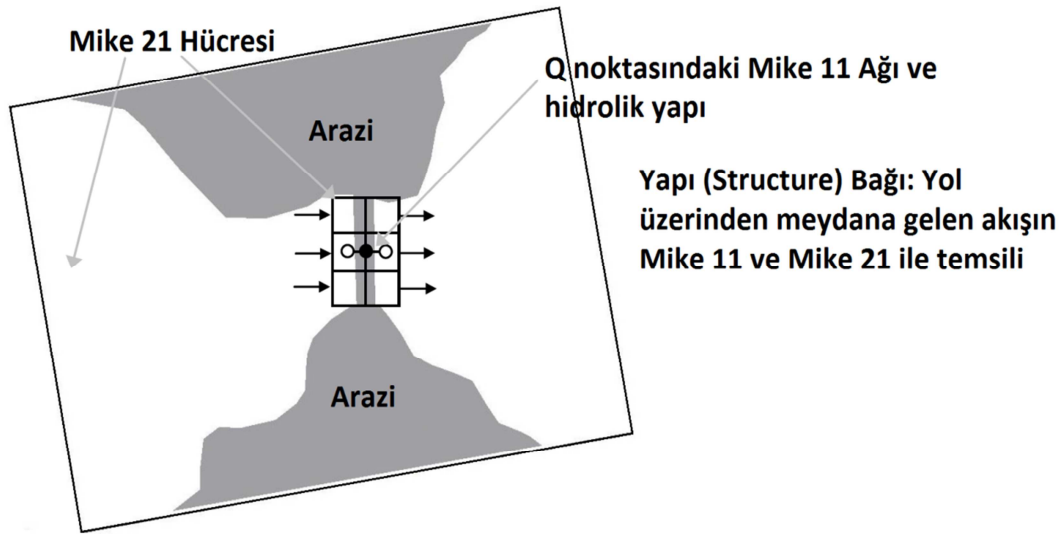
Bir veya birden fazla Mike 21 hücresi ile Mike 11 nehir kolunun bitiminin birleştiği bir bağlantıdır. Bu tür bağlantılar Mike 21 hücrelerini daha detaylı bir şekilde Mike 11 nehir ağına bağlanmasını sağlar. Bu tip bağlantılar Mike 11 ve Mike 21 sınırları boyunca momentumun korunumunu sağlamaktadır. Şematik gösterimi Şekil 5.36' da verilmiştir.



Şekil 5.36. Standart bağ şematik yapısı

5.5.1.2. Yanal (Lateral) bağ

Yanal (Lateral) bağlantılar bir dizi Mike 21 hücresine yan olarak belirlenmiş bir kısım veya bütün Mike 11 ağına nehir boyunca bağlanmasına izin verir. Yanal bağlantı boyunca meydana gelen akış, yapısal eşitlikler veya Q-H ilişkisine bağlı olarak hesaplanır. Bu



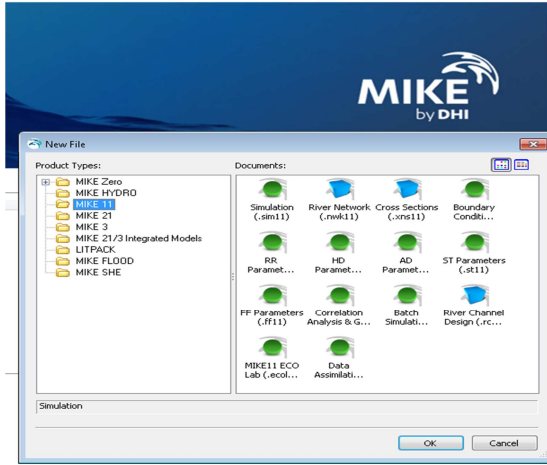
Şekil 5.38. Yapısal bağ şematik yapısı

5.5.2. 1 ve 2 boyutlu (Couple) model altyapısının kurulması

1 ve 2 boyutlu modelin birleştirilmesi, Mike Flood programı kullanılarak yapılmaktadır. Oluşturulan iki ayrı model burada analiz amacına bağlı olarak seçilen bağ yöntemi ile bir birine entegre edilerek bir bütün halinde çalışması sağlanır. Bu sayede elde edilen modellere literatürde Coupled modeller denmektedir. Bu modeli oluşturan modeller olan Mike 11 ve Mike 21 hazırlanma prosesi alt başlıklar halinde anlatılmıştır.

5.5.2.1. Mike 11 modelinin oluşturulması

Mike 11 programı içerisinde çeşitli amaçlar için kullanılan birçok dosya mevcuttur (Şekil 5.39). Bunlardan Taşkın analizi için kullanılacak olanların hazırlanma prosesi bu bölümde anlatılacaktır.

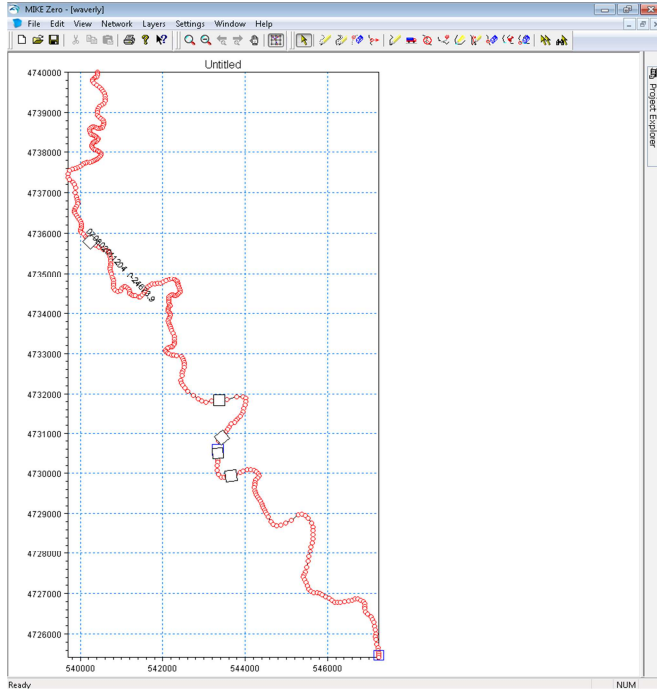


Şekil 5.39. Mike 11 model dosyaları

1. Simülasyon Dosyası : 1 boyutlu analiz için üretilecek olan bütün dosyaların toplandığı, analiz türünün simülasyon zamanının ve sonuç dosyalarının belirlendiği ana proses dosyasıdır.

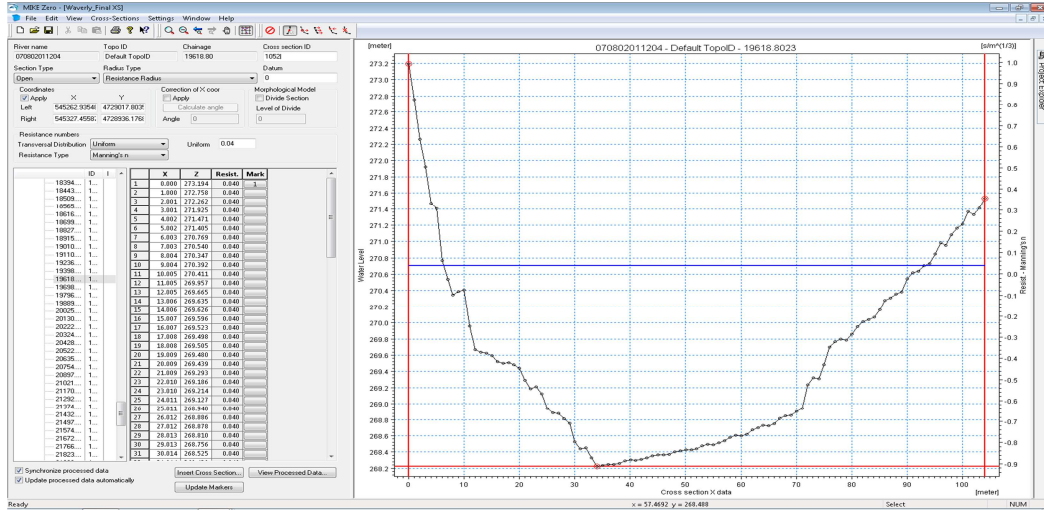
2. Nehir Ağı (River Network) Dosyası : Çalışma sahası olarak seçilmiş olan nehrin sayısal hale dönüştürülüp modele entegre edilmesini sağlayan dosyadır. Nehir ArcGIS programı kullanılarak sayısallaştırıldıktan sonra ASCII formatına dönüştürülür. Nehir ağı dosyası, çalışma sahası koordinatlarında oluşturulduktan sonra üretilmiş olan ASCII dosyası ile belirlenmiş saha içerisinde nehir ağı oluşturulur. Şekil 5.40' da çalışma sahası için oluşturulmuş nehir ağı dosyası verilmiştir.

Oluşturulan nehir ağı üzerindeki hidrolik yapı elemanları da, buldukları koordinatlara aslına uygun bir geometride eklenmiştir. Çalışma sahası olan Cedar Nehri yaklaşık 25 km olup üzerinde 5 köprü ve 1 baraj bulunmaktadır. Baraj için hesaplamalarda kullanılan Q-H ilişkisi modele girilmiştir. Köprüler içinde hesaplama yöntemi olarak Enerji Denklemi seçilerek modele girilmiştir.



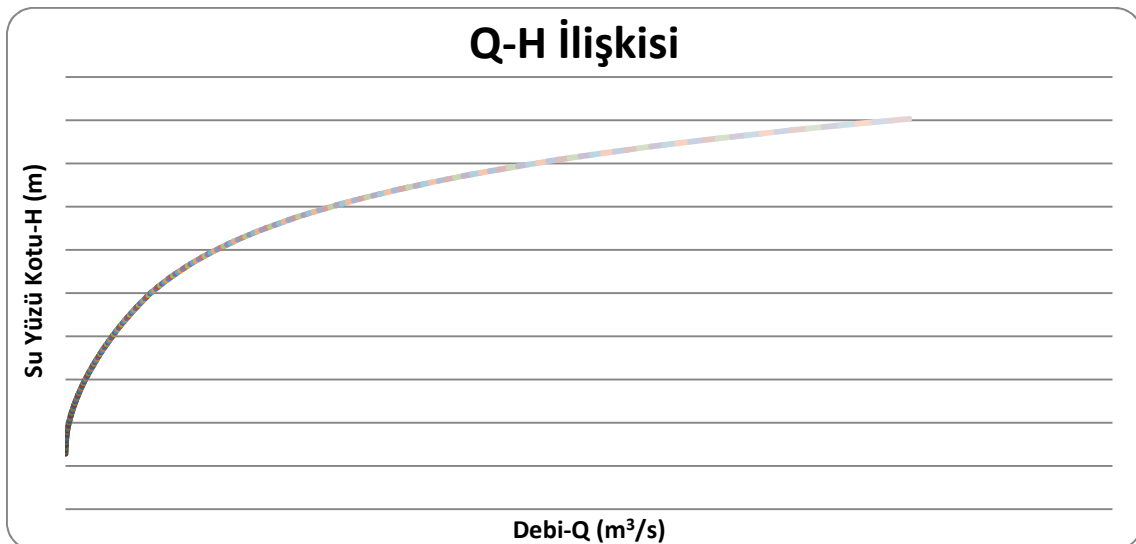
Şekil 5.40. Cedar Nehir ağı dosyası

3. Kesit (Cross-Section) Dosyası : Lidar verisinden üretilmiş olan sayısal yükseklik modeli kullanılarak, nehir boyunca sağ ve sol kıyı çizgisi arasında kesitler üretilmiştir. ArcGIS programıyla üretilen kesitler Mike 11 kesit dosyasına aktarılmıştır. Bunun için MikeGIS programı kullanılmıştır. Taşkın yatağı 2 boyutta analiz edileceği için kesitler sadece kıyı çizgileri arasında üretilmiştir. Mike 11 ortamına aktarılan kesitlerin sağ ve sol kıyı çizgileri ile en düşük kota sahip olan taban noktası belirlenmiştir. Oluşturulan kesit dosyasında her bir kesit için Manning pürüzlülük katsayısı üniform ve 0,04 olarak belirlenmiştir (Şekil 5.41).

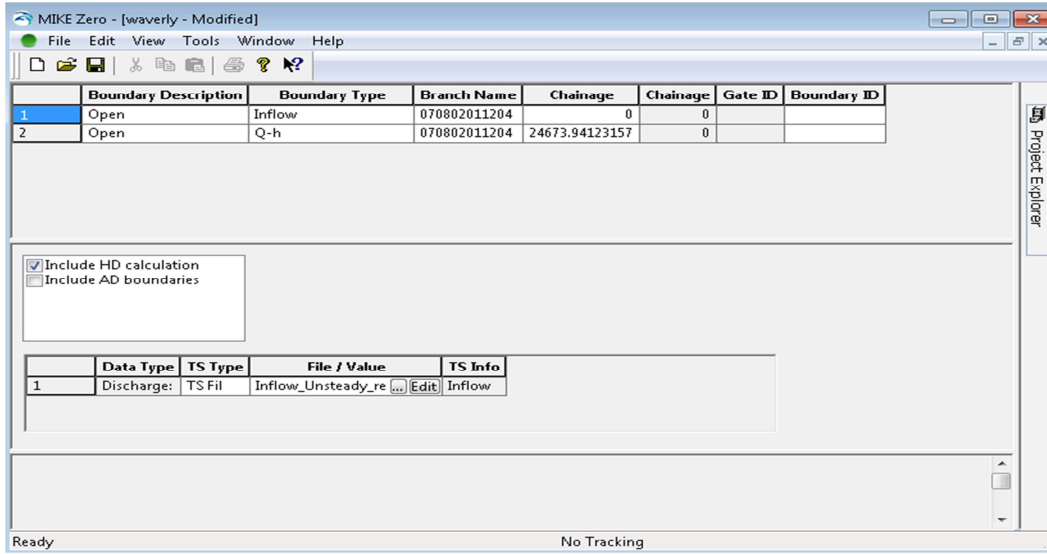


Şekil 5.41. Cedar Nehri kesit dosyası

4. Sınır Koşulları (Boundry Conditions) Dosyası : Nehrin başlangıç ve bitiş kesit noktalarındaki belirlenecek olan sınır şartlarına göre su yüzü kotu ve debinin hesaplanmasını sağlayan dosyadır. Sınır şartları giriş debisi, su yüzü kotu, debi seviye ilişkisi Q-H (Şekil 5.42), taban kotu v.s. olarak belirlenebilmektedir. Bu çalışmada başlangıç kesiti için debi bir hidrograf ile tanımlanıp giriş sınır şartı olarak belirlenmiştir. Çıkış kesitinde ise debi seviye ilişkisi (Şekil 5.43) hesaplanarak çıkış sınır şartı olarak belirlenmiştir.

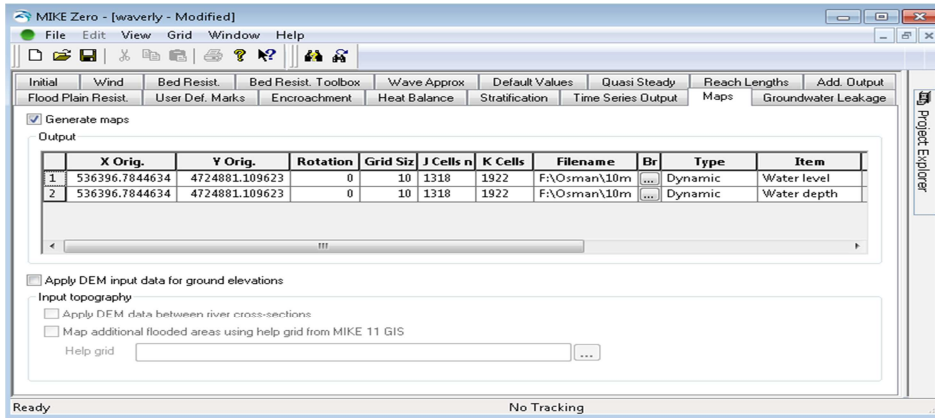


Şekil 5.42. Cedar Nehri debi seviye (Q-h) ilişkisi



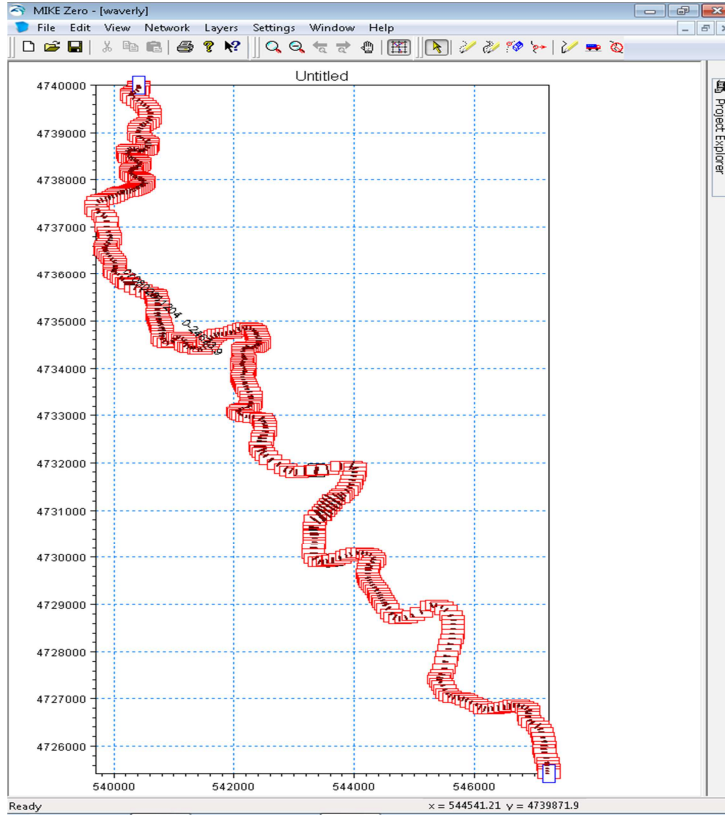
Şekil 5.43. Cedar Nehri sınır koşulları dosyası

5. Hidrodinamik (HD) Dosyası : Hidrodinamik hesaplamalar ile ilgili gerekli bilgilerin yer aldığı dosyadır. Su seviyesi debi ilişkisi, rüzgâr etkisi, yatak pürüzlülüğü, taşkın yatağı pürüzlülüğü, hesaplamalarda kullanılan katsayılar, istenilen çıktı dosyaları ve 1 boyutlu taşkın haritalarının sonuç dosyaları hidrodinamik dosya içerisinde yer almaktadır (Şekil 5.44).



Şekil 5.44. Cedar Nehri hidrodinamik dosyası

Bütün gerekli dosyalar tamamlandıktan sonra simülasyon dosyası altında birleştirilen alt dosyalar ile model analiz edilmeye hazır hale gelmektedir. Şekil 5.45' de 1 boyutlu Mike 11 modelinin son hali yer almaktadır.



Şekil 5.45. Tamamlanmış 1 boyutlu Cedar Nehri taşkın model yapısı

5.5.2.2. Mike 21 modelinin oluşturulması

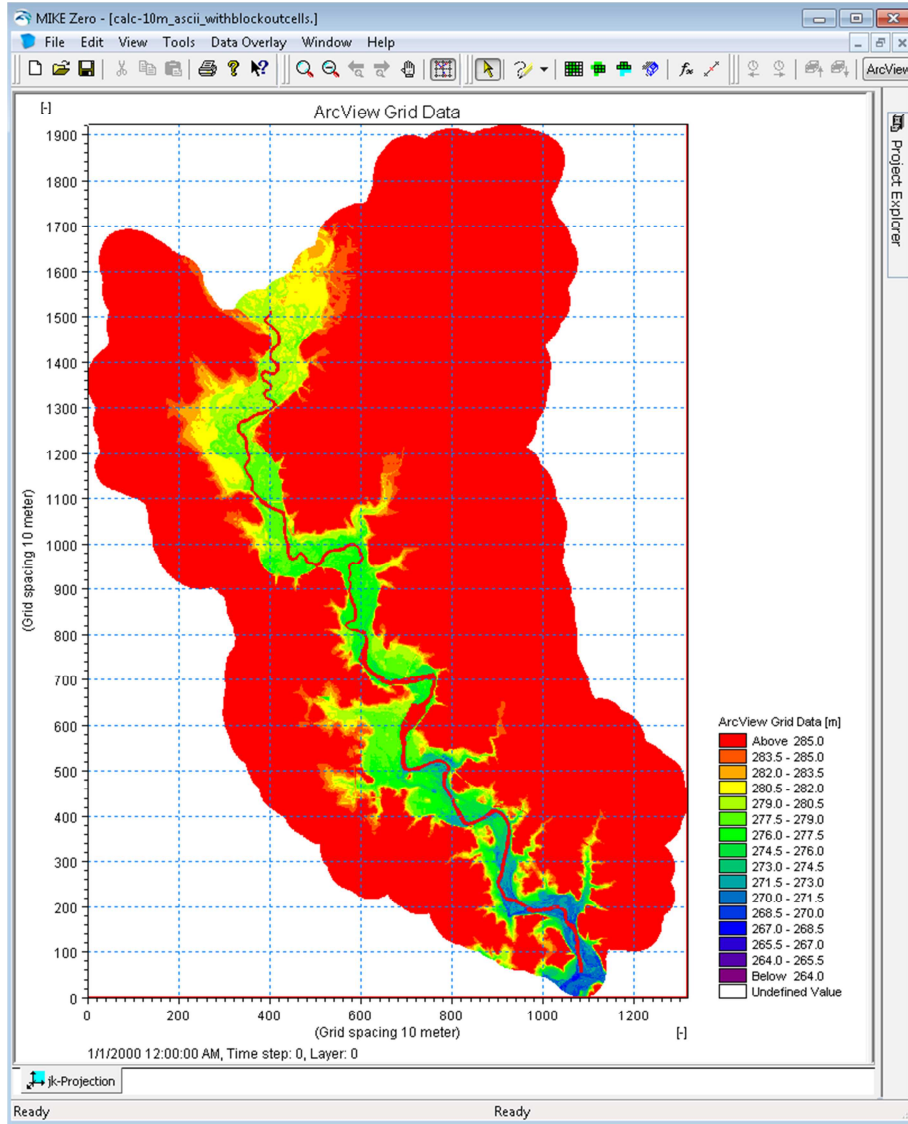
Mike 21, 2 boyutlu serbest yüzeyli akışların modellenmesinde kullanılan bir programdır (Şekil 5.46). Temel bir dosya altında bulunan ikincil dosyalarla yapılmak istenen analiz için gerekli verilerin hazırlanması ile model oluşturulur. Bu çalışmada model, Cedar Nehri için iki boyutlu taşkın analizi alt yapısını oluşturmak için kullanılmıştır.



Şekil 5.46. Mike 21 model dosyası

1. Modül Seçimi : Mike 21 modülleri arasında Hidrodinamik, Hidrodinamik ve Adveksiyon- Dispersiyon, Hidrodinamik ve ECOLab analizleri bulunmaktadır. Bu çalışmada sadece hidrodinamik taşkın analiz yöntemi seçilmiştir.

2. Batimetri : Batimetri dosyasında, çalışma sahasına ait topografik ve batimetrik veriler, coğrafi koordinatlar yer almaktadır. Yine çalışmanın bir başka analiz devamını yoksa yeni bir analiz mi olduğu bu modüle belirlenmektedir. Batimetri dosyası hazırlanırken sayısal yükseklik modeli ArcGIS ortamında ASCII formatına dönüştürülmüştür. ASCII dosyası, MikeGIS aracı ile Mike programında kullanılacak formata (.dfs2) dönüştürülmüştür. Batimetri dosyası etrafı belirlenmiş olan arazi kotu ile sınırlandırılmıştır. Arazinin taşkın ulaşamayacağı kotları belirlenmiş olan arazi kotu ile sabitlenmiştir. Nehir 1 boyutlu analiz edileceğinden ötürü nehir yatağı bloke edilmiştir. Sonuçlandırılmış batimetri dosyası Şekil 5.47' de verilmiştir.



Şekil 5.47. Çalışma sahası batımetri dosyası

3. Simülasyon Periyodu : Yapılacak analizin başlangıç, bitiş zamanını ve bu süreçte modelin hangi sıklık ile analiz yapması gerektiğinin belirlendiği dosyadır. Bu çalışmada 2008 taşkını analiz edilirken taşkın hidrografının başlangıç ve bitiş zamanı, tekerrürlü taşkın analizleri için ise 72 saatlik hidrograflar 0,8 sn lik zaman aralıkları ile analiz edilmiştir.

4. Taşkın ve Kuruluk (Flood and Dry) : Yapılacak taşkın analizinde, oluşturulmuş olan batımetri dosyasının her bir hücresi için taşkın ve kuruluk analizi yapılacaktır. Analiz edilen hücrenin taşkın altında mı yoksa kurumu olduğu bu şekilde tespit edilmektedir. Taşkın ve kuruluk değerleri su seviyesi olarak metre cinsinden modele girdi parametresi olarak belirlenmektedir. Bu

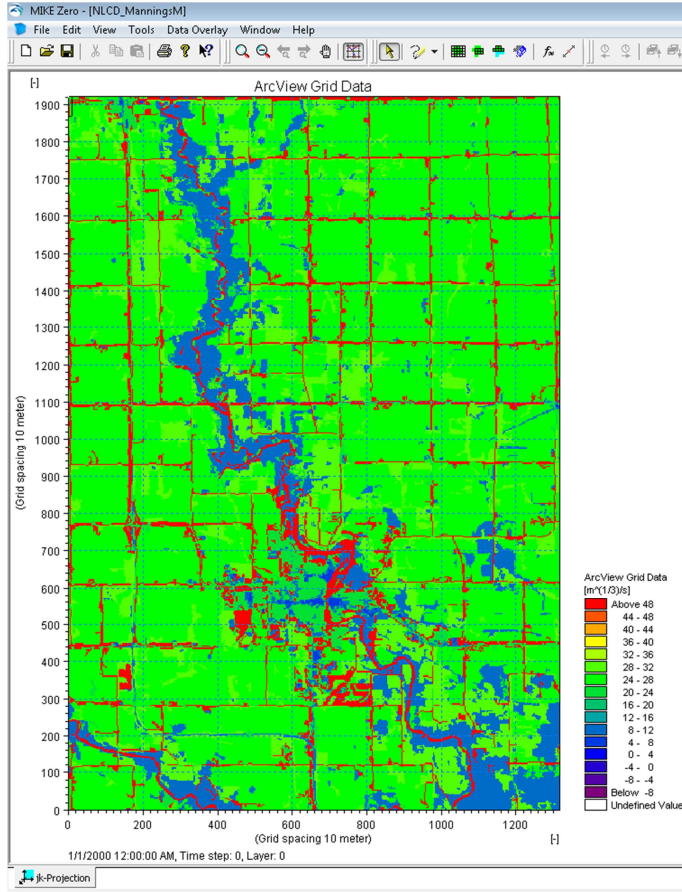
çalışmada ise kuruluk değeri 0,02m, taşkın değeri ise 0,03m olarak belirlenmiştir.

5. Türbülans Viskozitesi (Eddy Viscosity) : Akış sırasında meydana gelen türbülans nedeniyle akışkan içerisinde bir sürtünme meydana gelir. 2 boyutlu modelde türbülans viskozitesi bu amaçla kullanılmaktadır. Türbülans viskozite değerini hesaplarken birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Fakat literatürde en yaygın kullanılan denklem aşağıda verilmiştir.

$$\mu_t = \frac{0,02 * \Delta x * \Delta y}{\Delta t} \quad (5.19)$$

Buna göre, bu çalışmada, 5m lik model için 0,625, 10m lik model için 2,5, 30m lik model için 22,5 olarak belirlenmiştir.

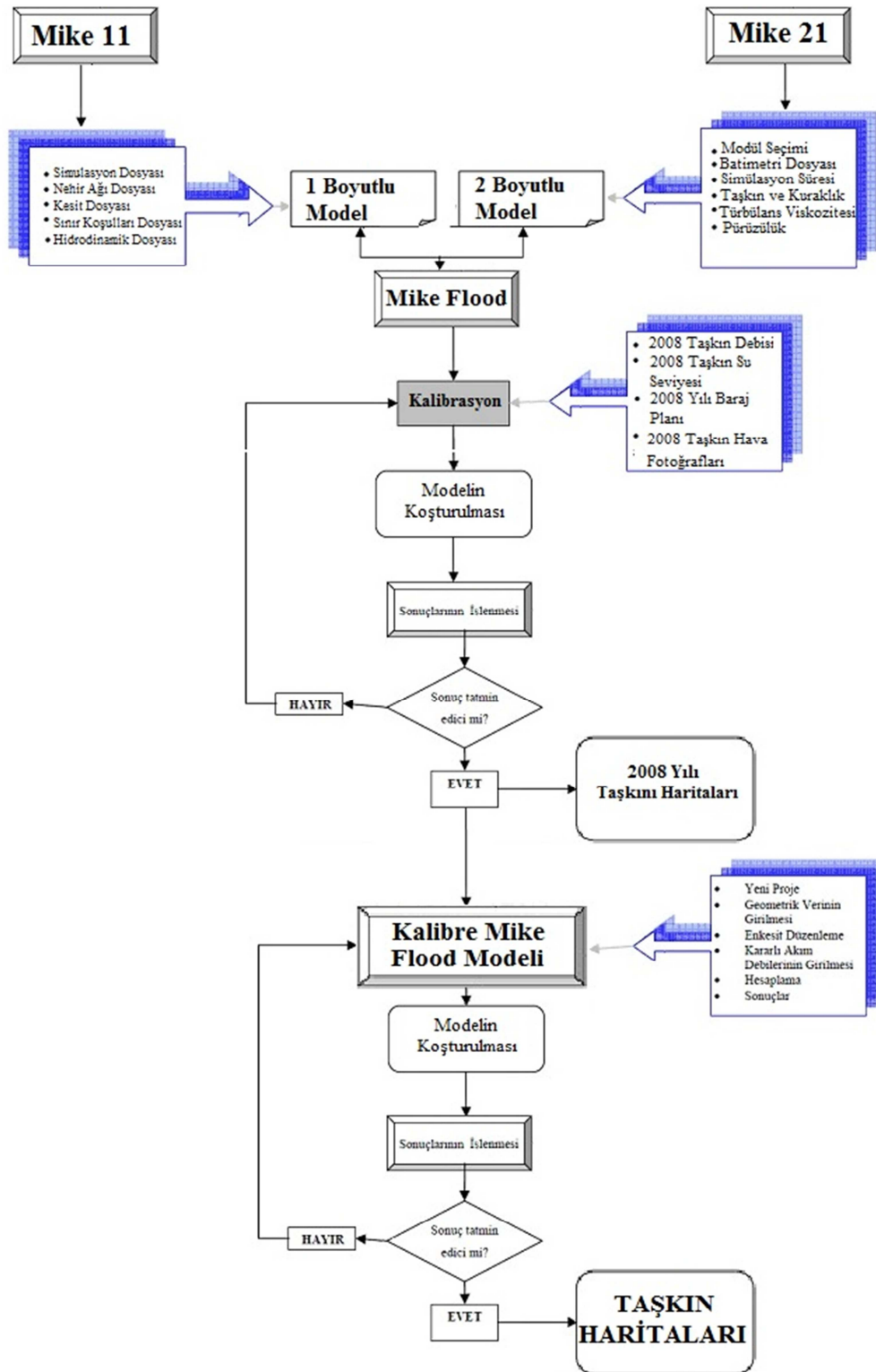
6. Pürüzlülük : Nehir yatağı ve taşkın yatağının pürüzlülük durumunu gösteren model girdi parametresidir. Nehir yatağının pürüzlülüğü ve arazi kullanımını gösteren dosyalar ArcGIS programı kullanılarak ASCII formatına çevrilmiştir. ASCII formatına dönüştürülmüş arazi kullanım datası MikeGIS aracı ile Mike 21de kullanılabilecek formata (.dfs2) dönüştürülmüştür. Şekil 5.48' de çalışma sahası için üretilmiş arazi kullanım datası verilmiştir.



Şekil 5.48. Çalışma sahası pürüzlülük dosyası

5.5.2.3. Mike flood modelinin oluşturulması

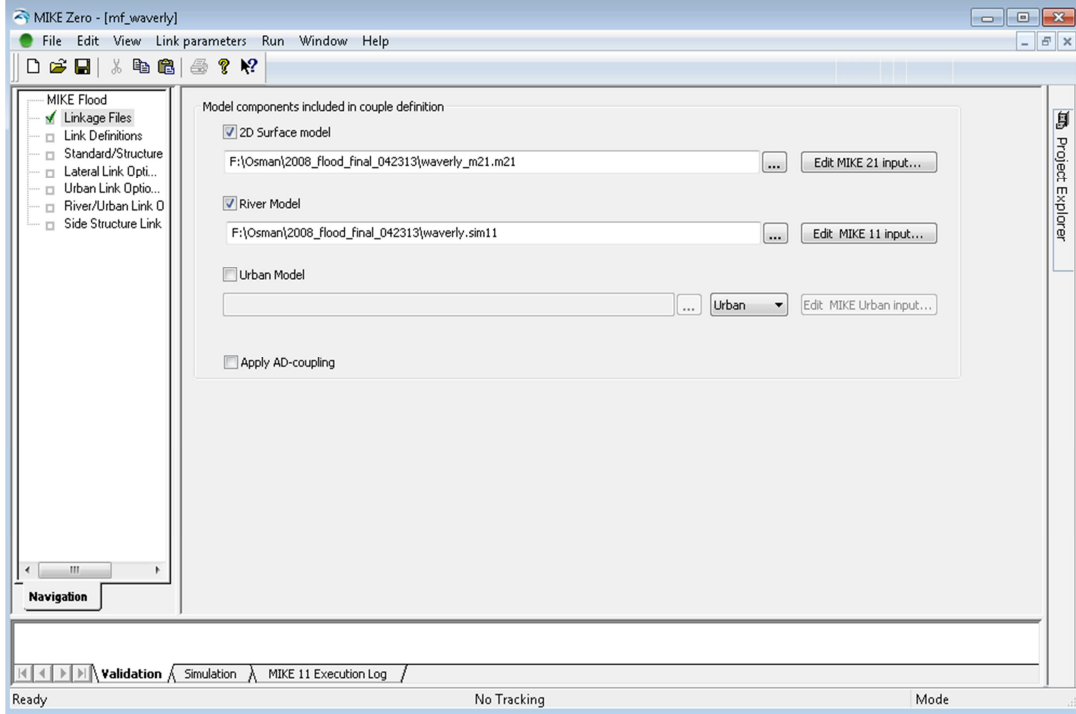
Mike Flood, 1 boyutlu Mike 11 ve 2 boyutlu Mike 21 modellerinin bağlanarak birlikte çalışmalarını sağlayan bir programdır. İki modelin avantajlarını kullanarak daha kuvvetli bir taşkın analiz modeli elde etmede kullanılmaktadır. Bu çalışmada Mike Flood programı kullanılmıştır.



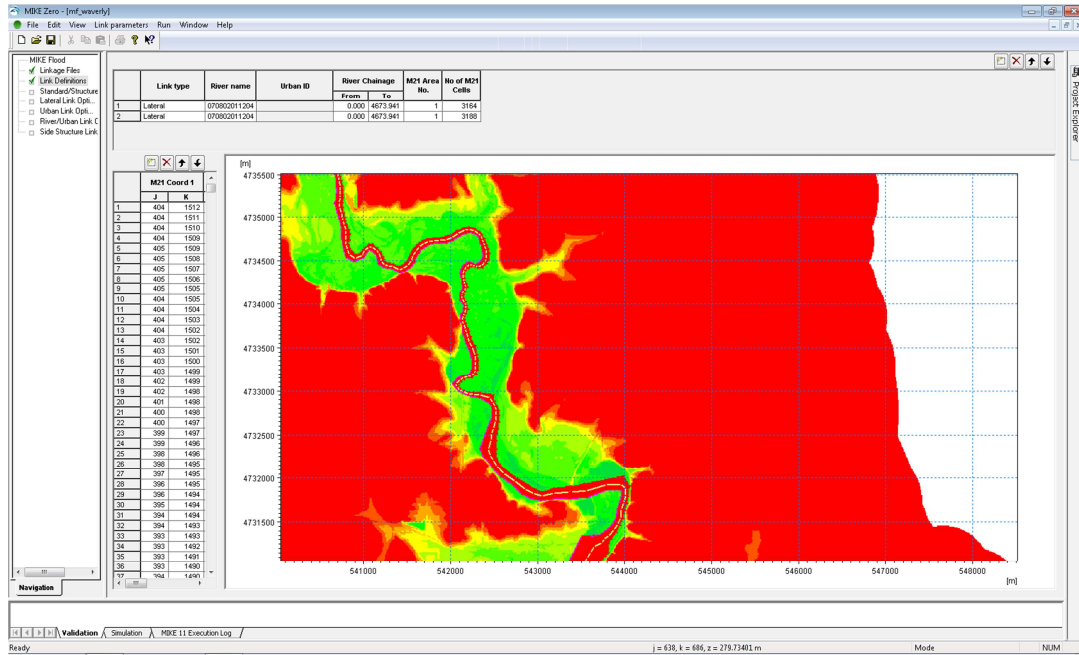
Şekil 5.49. Taşkın analizi akış diyagramı (Mike Flood)

Üretilmiş olan modeller daha önce bahsedilmiş olan yanıl bağlar üretilerek birbirine bağlanmış ve taşkın sularının 2 boyutlu taşkın yatağında yayılımı incelenmiştir. Şekil

5.50' da Mike Flood programına ait bir görüntü verilmiştir. Şekil 5.51' de ise Mike 11 ile Mike 21 arasında oluşturulan yanıl bağlar gösterilmiştir.



Şekil 5.50. Mike Flood model dosyası



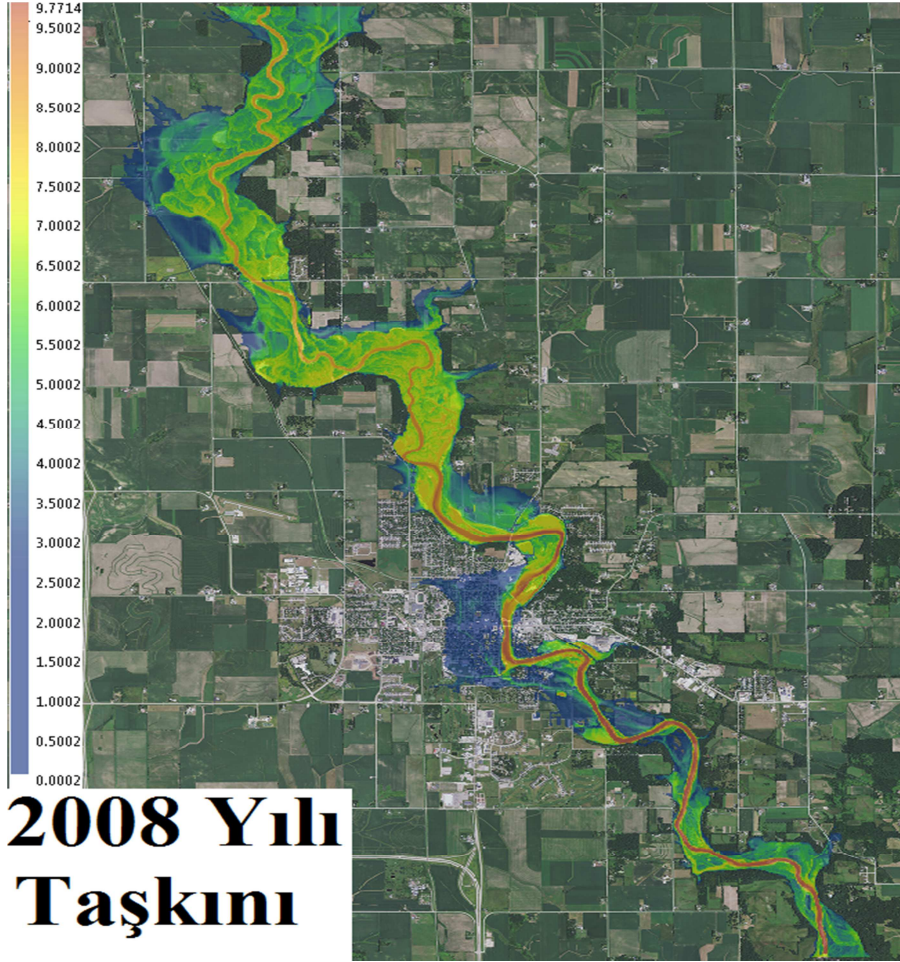
Şekil 5.51. Mike Flood yanıl bağ yapısı

5.5.3. 1 ve 2 Boyutlu (Couple) Model Kalibrasyonu

1 ve 2 boyutlu model, hidrolik ve hidrolojik altyapıları tamamlandıktan sonra çalışma sahasını doğru bir şekilde temsil etmesi için 2008 yılında meydana gelen taşkın ile kalibre edilmiştir. Bu amaçla 2008 yılında meydana gelen taşkın esnasında köprülerde ölçülmüş su seviyeleri ile model sonucu elde edilen su yüzü profili kıyaslanarak hassas bir model elde edilmeye çalışılmıştır (Şekil 5.52). Şekil 5.53' de ise taşkın esnasında havadan çekilmiş fotoğraf ile model sonucu elde edilen taşkın yayılımı kıyaslanmıştır.

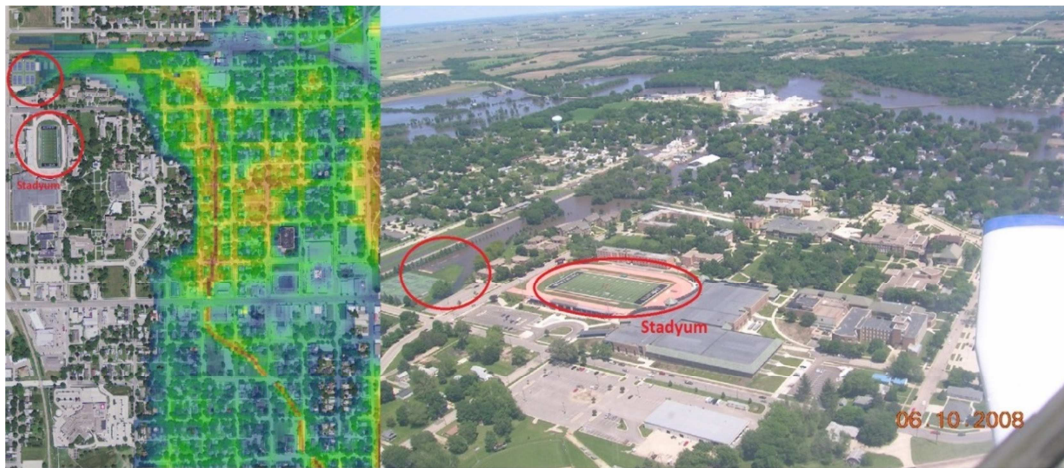


Şekil 5.52. Kalibre edilmiş model su yüzü profili



Şekil 5.53. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, 2008 yılı taşkını

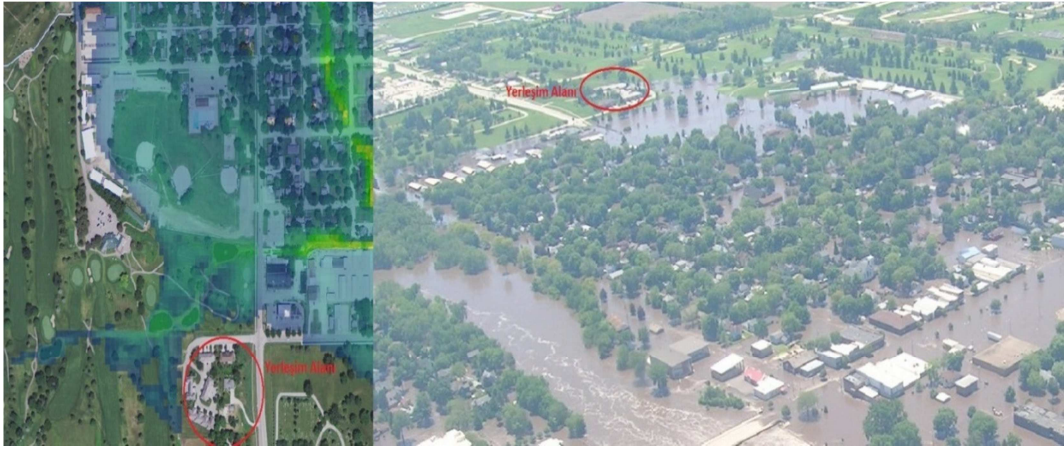
Taşkın esnasında meydana gelen yayılım ile model sonucu elde edilen yayılım Şekil 5.54-5.56 arasında verilmiştir.



Şekil 5.54. 2008 yılı taşkın yayılımı ve model sonucu kıyası-1



Şekil 5.55. 2008 yılı taşkın yayılımı ve model sonucu kıyası-2

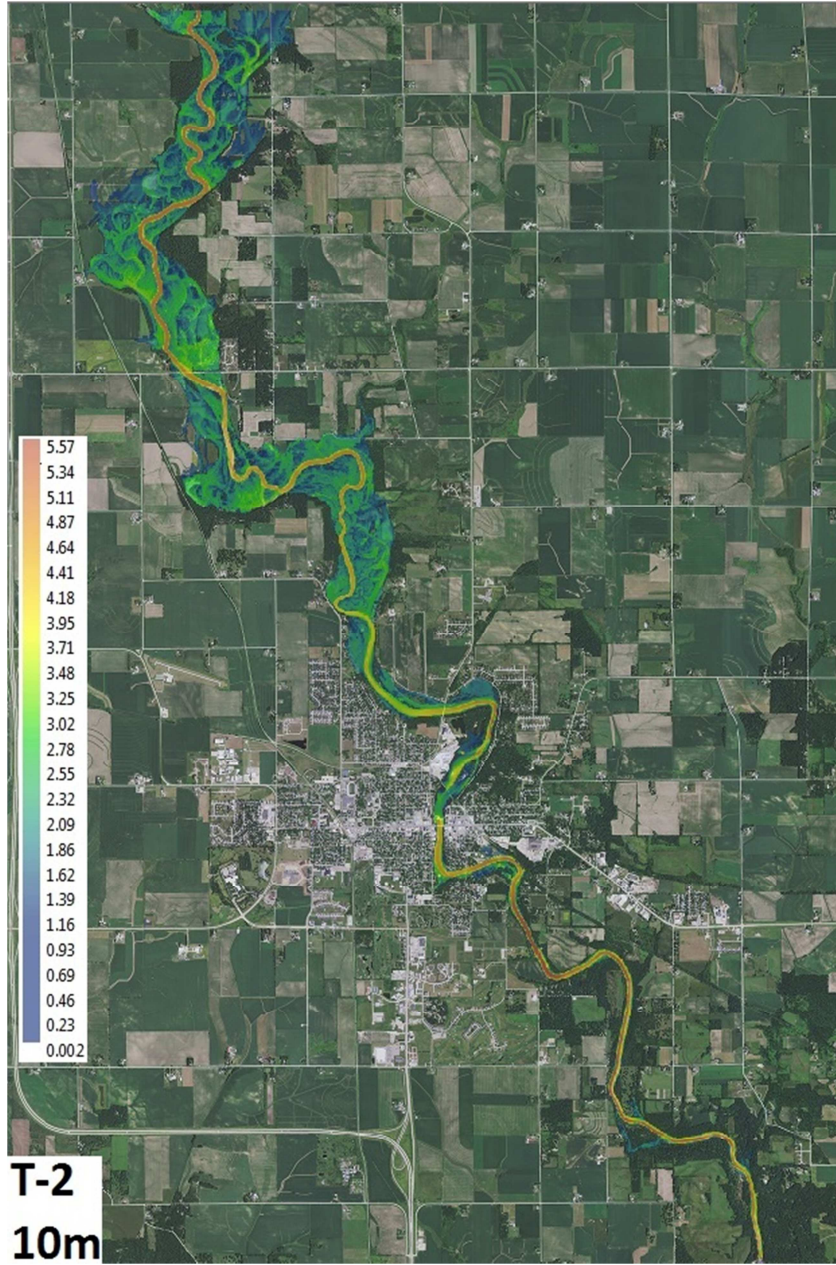


Şekil 5.56. 2008 yılı taşkın yayılımı ve model sonucu kıyası-3

2008 Taşkın analizleri Mike Flood programı ile modellendikten sonra, akım yükseklikleri elde edilmiştir. Hidrolik model ile tespit edilen su yüzü profilleri .dfs2 formatından ASCII formatına dönüştürülerek ArcGIS'e aktarılmıştır. Böylece; 2008 yılı taşkınına ait taşkın yayılım haritası elde edilmiş ve çeşitli frekanslardaki debilerin oluşturacağı taşkın alanları tespit edilmesi için kullanılacak model kalibre edilmiştir. Elde edilen 2008 yılı taşkın haritasına bakıldığında 16,41 km² alanın taşkına maruz kaldığı tespit edilmiştir. Ve hava fotoğraflarıyla yapılan kıyaslamada da modelin gerçeğe çok yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

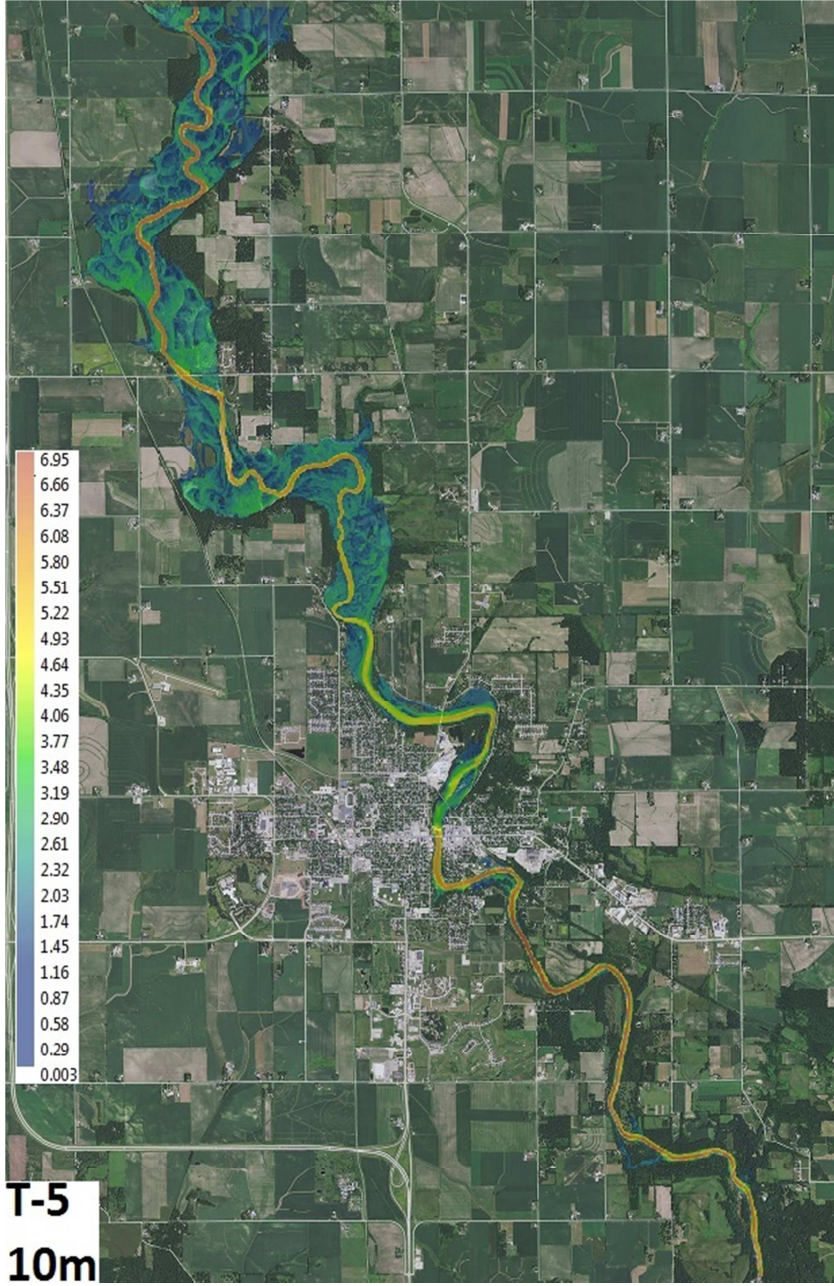
Kalibre edilen model, taşkın sonrası barajda yapılan değişiklikler göz önüne alınarak baraj geometrisi revize edilmiştir. Yapılan revize sonucu barajdaki debi seviye ilişkisi hesaplanıp nehir ağı dosyasında yeni Q-H ilişkisi ile değiştirilmiştir. Elde edilen model daha önceki bölümlerde verilmiş Tablo 5.3 teki farklı tekerrürler için

hesaplanmış taşkın debileri için analiz edilmiştir. Sonuç olarak 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıl tekerrürlü taşkın debileri için 8 farklı taşkın senaryosu incelenmiş ve oluşabilecek taşkın alanları tespit edilmiştir (Şekil 5.57- 5.64)



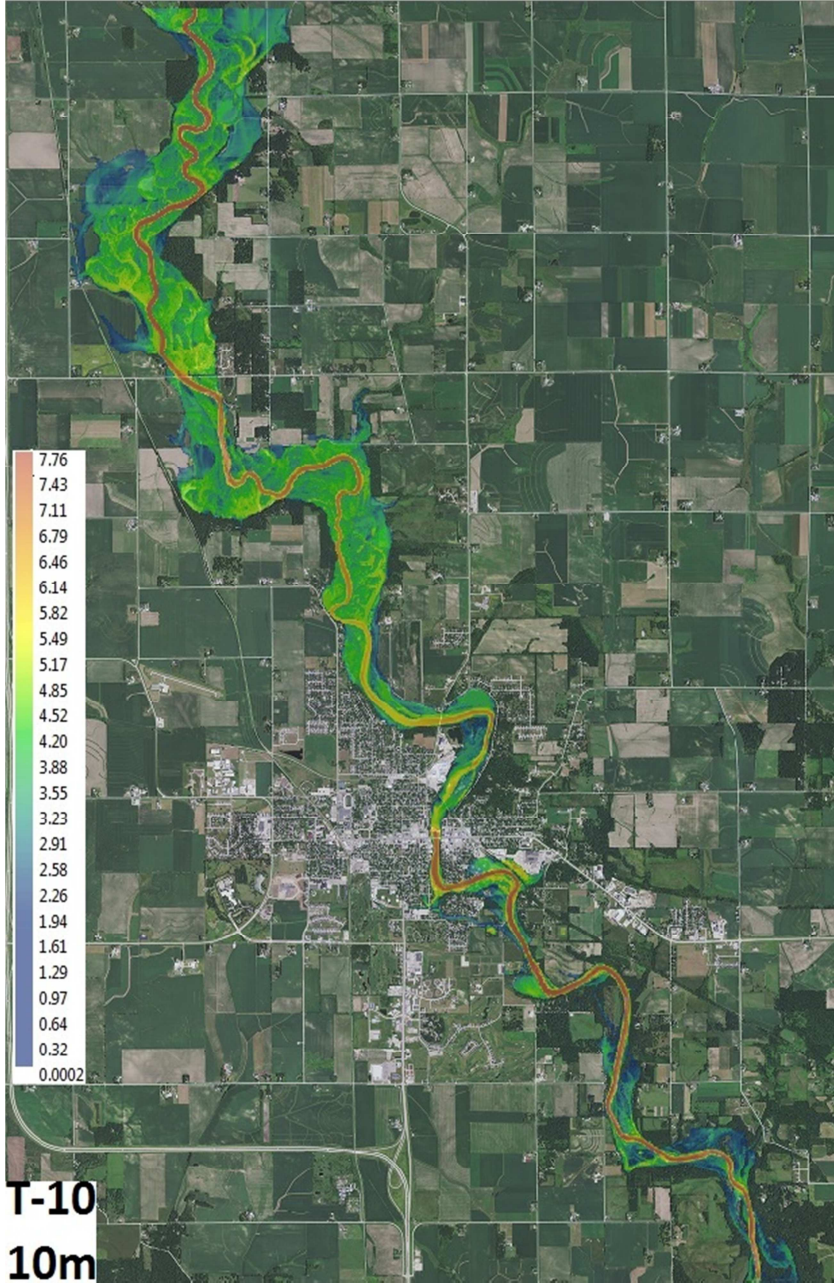
Şekil 5.57. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-2

2 yıl tekerrürlü taşkın durumunda şehrin kuzey kısımlarında sağ ve sol nehir kıyı çizgilerinde hafif taşkınlara neden olmaktadır. 282,6 m³/s lik debiye sahip olan bu taşkında 8.4 km² alan sular altında kalmaktadır.



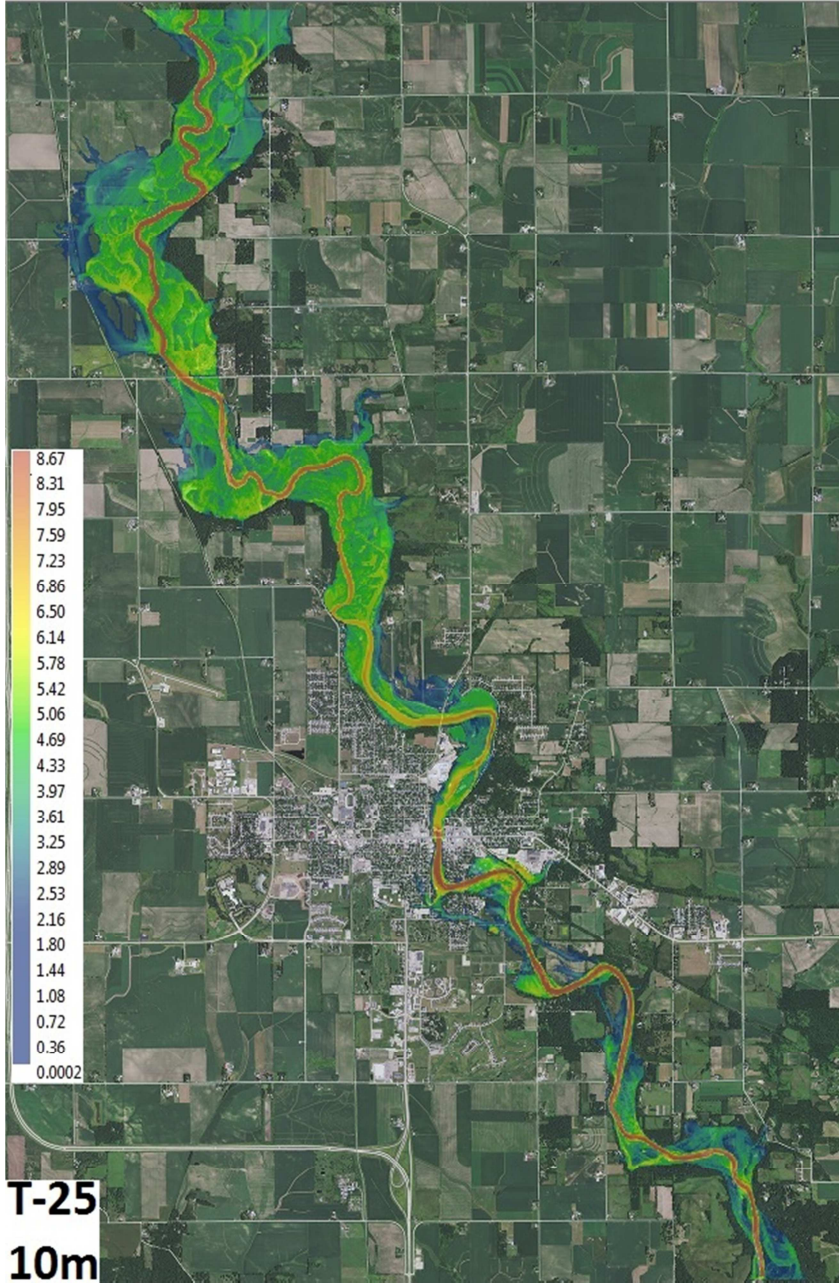
Şekil 5.58. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-5

5 yıl tekerrürlü taşkın durumunda şehrin kuzey kısımlarında sağ ve sol nehir kıyı çizgilerinde hafif taşkınlara neden olmaktadır. Şehir merkezinde taşkın gelişimi gözlenmemektedir. 513,8 m³/s lik debiye sahip olan bu taşkında 8.5 km² alan sular altında kalmaktadır.



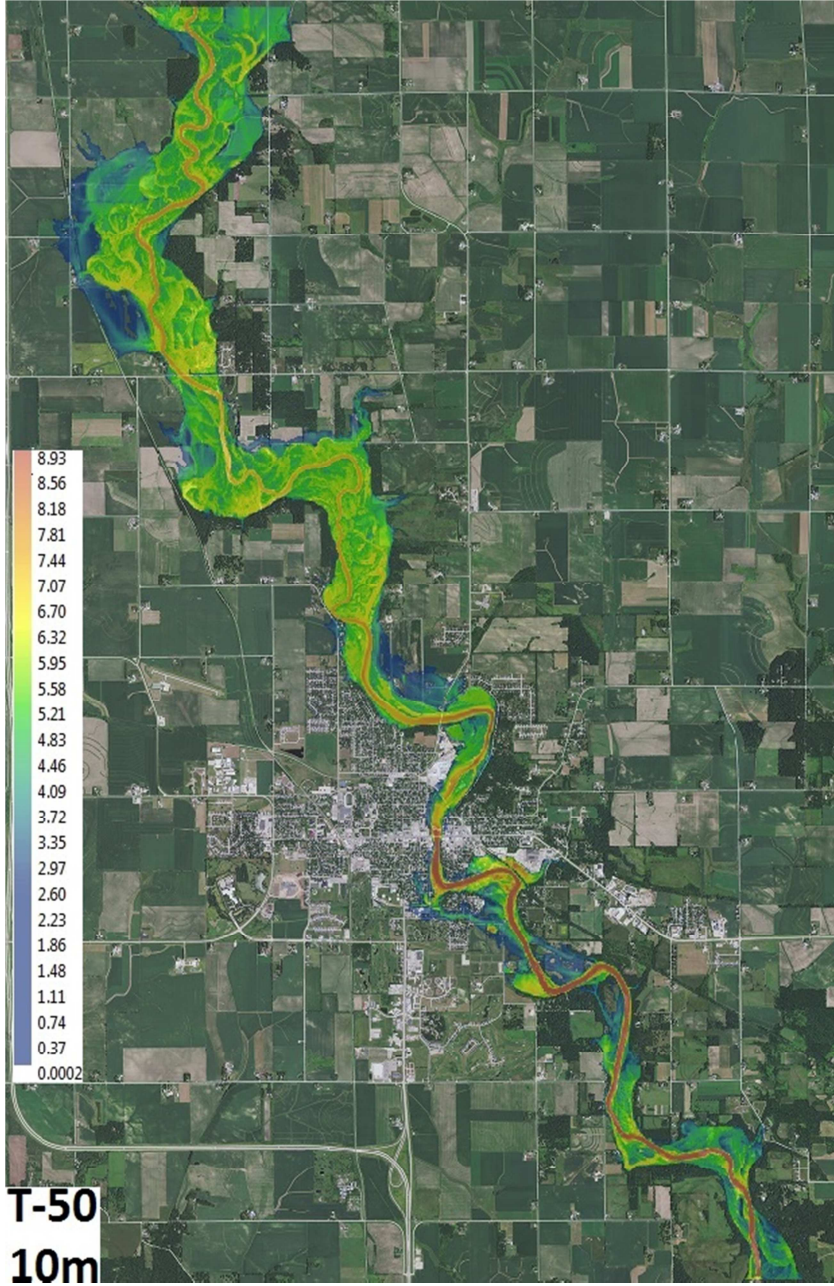
Şekil 5.59. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-10

10 yıl tekerrürlü taşkın durumunda şehrin kuzey kısımlarında sağ ve sol nehir kıyı çizgilerinde taşkın derinlikleri 6 m yaklaşmakta, şehrin güney kısmındaki sahillerde de taşkın gözlenmektedir. Şehir merkezinde taşkın gelişimi gözlenmemekle birlikte şehir çıkışına doğru olan mendereslenmeler nedeniyle bu kısımlarda taşkınlar meydana gelmiştir. 681,5 m³/s lik debiye sahip olan bu taşkında 11,3 km² alan sular altında kalmaktadır.



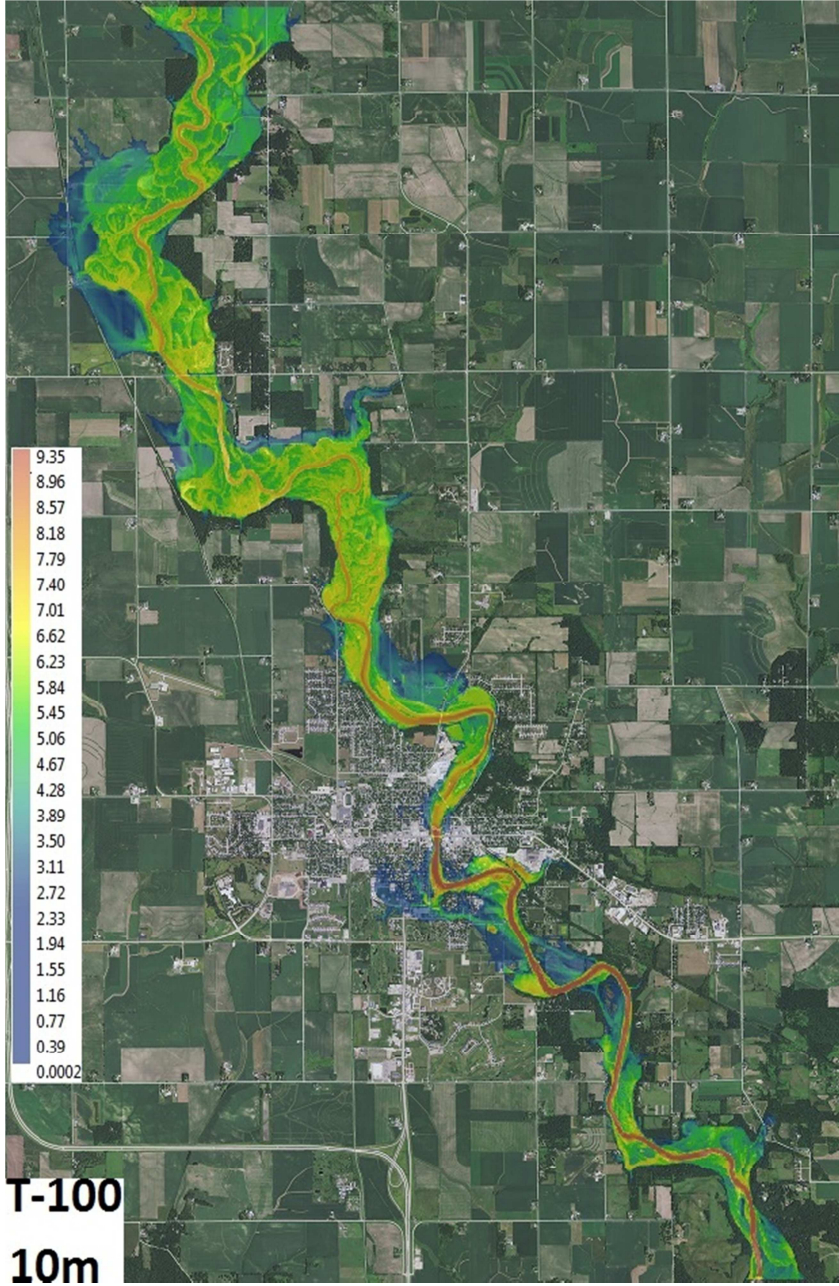
Şekil 4.60. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-25

25 yıl tekerrürlü taşkın durumunda şehrin kuzey kısımlarında sağ ve sol nehir kıyı çizgilerinde taşkın derinlikleri 6 m civarındadır. Şehrin güney kısmındaki sahillerde de taşkın derinliği 5m seviyelerine ulaşmıştır. Şehir merkezinde taşkın gelişimi güneyindeki kısımlardan başlayarak ilerlemektedir. Nehir yatağı derinliği 8 m seviyelerine ulaşmıştır. 899.8 m³/s lik debiye sahip olan bu taşkında 12,7 km² alan sular altında kalmaktadır.



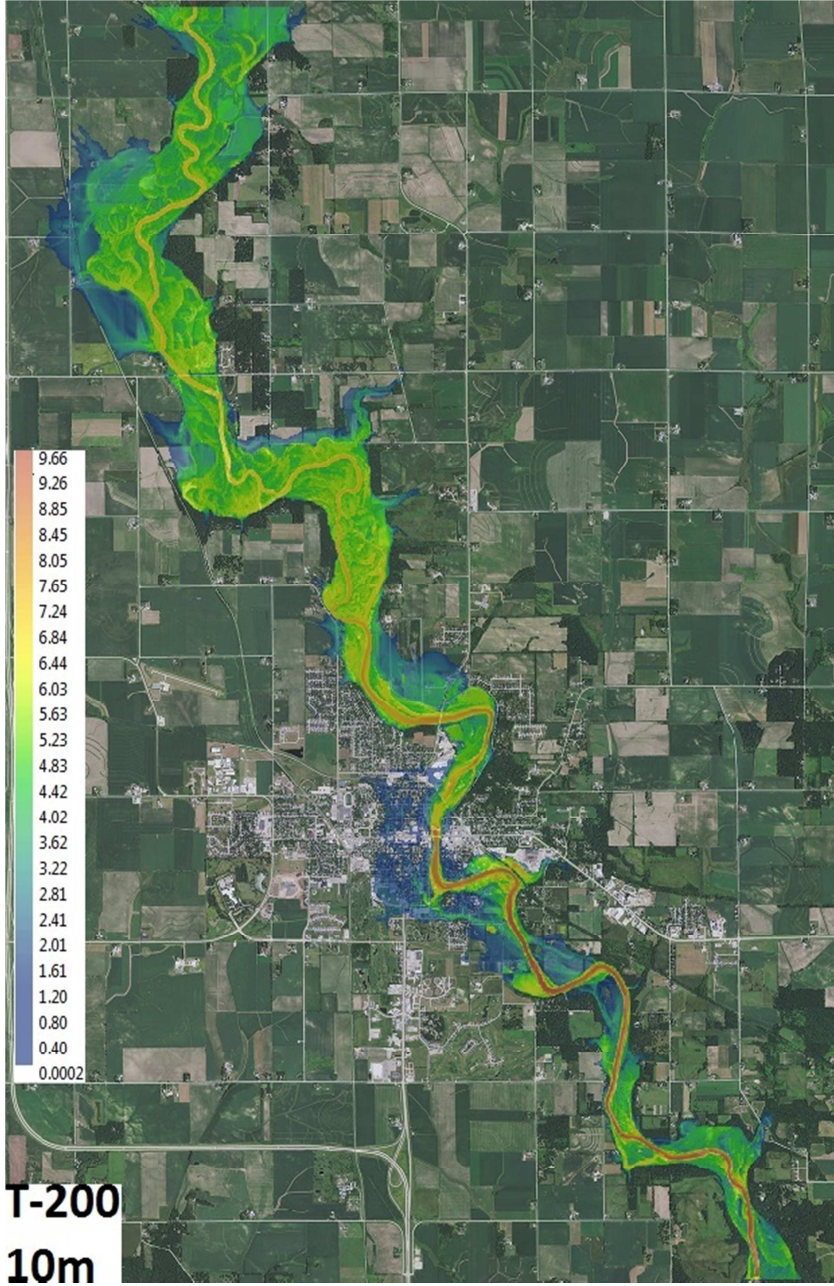
Şekil 5.61. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-50

50 yıl tekerrürlü taşkın durumunda şehrin kuzey kısımlarında sağ ve sol nehir kıyı çizgilerinde taşkın derinlikleri 7 m civarındadır. Şehrin güney kısmındaki sahillerde de taşkın derinliği 6 m seviyelerine ulaşmıştır. Şehir merkezinde taşkın gelişimi güneyindeki kısımlar başta olmak üzere yerleşim bölgelerine yayılmaktadır. Şehrin girişindeki Horton Rd. köprüsü yaklaşımı taşkın sularından kapanmıştır. Şehir merkezi kıyı çizgilerinden taşkın suları iç kesimlere ilerlemeye başlamıştır. Nehir yatağı derinliği 9 m seviyelerine ulaşmıştır. 1064,4 m³/s lik debiye sahip olan bu taşkında 13,7 km² alan sular altında kalmaktadır.



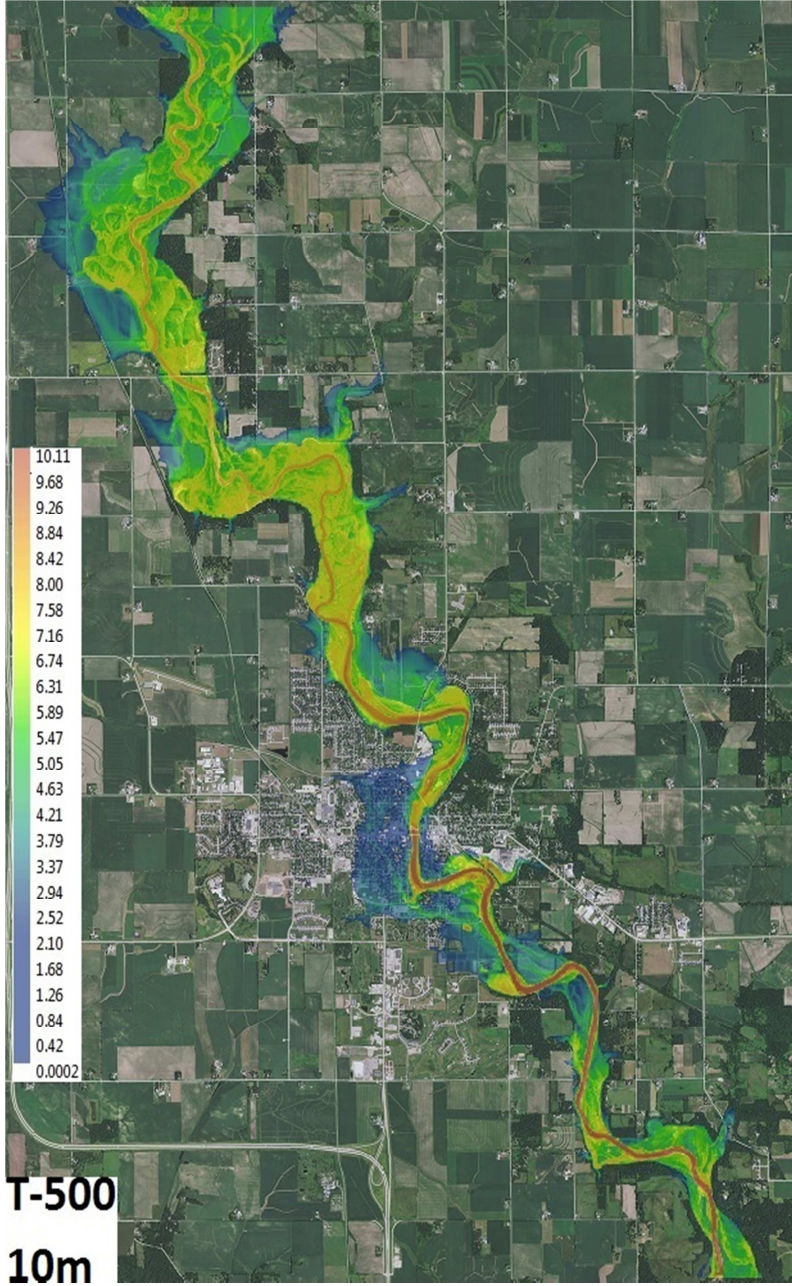
Şekil 5.62. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-100

100 yıl tekerrürlü taşkın durumunda şehrin kuzey kısımlarında sağ ve sol nehir kıyı çizgilerinde taşkın derinlikleri 7,50 m civarındadır. Şehrin güney kısmındaki sahillerde de taşkın derinliği 6 m seviyelerine ulaşmıştır. Şehir merkezinin güneyden başlayarak orta kesimlerine kadar büyük kısmı yerleşim bölgeleri olan alanlar taşkın sularına maruz kalmaktadır. Şehrin merkezindeki bir çok yol taşkın sularından kapanmıştır. Şehir merkezi kıyı çizgilerinden taşkın suları iç kesimlere ilerlemeye başlamıştır. Nehir yatağı derinliği 9,30 m seviyelerine ulaşmıştır. 1232,5 m³/s lik debiye sahip olan bu taşkında 15 km² alan sular altında kalmaktadır.



Şekil 5.63. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-200

200 yıl tekerrürlü taşkın durumunda şehrin kuzey kısımlarında sağ ve sol nehir kıyı çizgilerinde taşkın derinlikleri 7,50 m seviyelerine ulaşmıştır. Şehrin merkezindeki bir çok yol taşkın sularından kapanmıştır. Şehrin kuzeyinde bulunan bir fabrika taşkın sularından etkilenmektedir. Şehrin batı yakasında ise taşkın sularının iç kesimlere yayılımı başlamıştır. Nehir yatağı derinliği 9,50 m seviyelerine ulaşmıştır. 1401,8 m³/s lik debiye sahip olan bu taşkında 16,10 km² alan sular altında kalmaktadır.



Şekil 5.64. Cedar Nehri'nin çalışma sahası kapsamında kalan kısmı, T-500

500 yıl tekerrürlü taşkın durumunda şehrin kuzey kısımlarında sağ ve sol nehir kıyı çizgilerinde taşkın derinlikleri 8,0 m seviyelerine ulaşmıştır. Şehrin merkezinin büyük kısmı taşkın sularından etkilenmiştir. Şehrin güneyinde bulunan bir fabrika taşkın sularından etkilenmektedir. Şehrin batı yakasında da taşkın suları iç kesimlere yayılmıştır. Nehir yatağı derinliği 10 m seviyelerine ulaşmıştır. 1631,4 m³/s lik debiye sahip olan bu taşkında 17,20 km² alan sular altında kalmaktadır.

Taşkın risk haritaları oluşturulan 8 farklı senaryoya göre, taşkın suları altında kalacak arazilerin büyüklükleri debilere göre farklılık göstermektedir. Buna göre Q2 debisi meydana geldiğinde 8.4 km² alan taşkın suları altında kalırken, Q500 debisi ile taşkın oluşması durumunda ise 17.2km² lik bir alan taşkına maruz kalmaktadır. Tablo 5.6'da farklı tekerrürler için taşkın etkisi altında kalan alanlar verilmiştir.

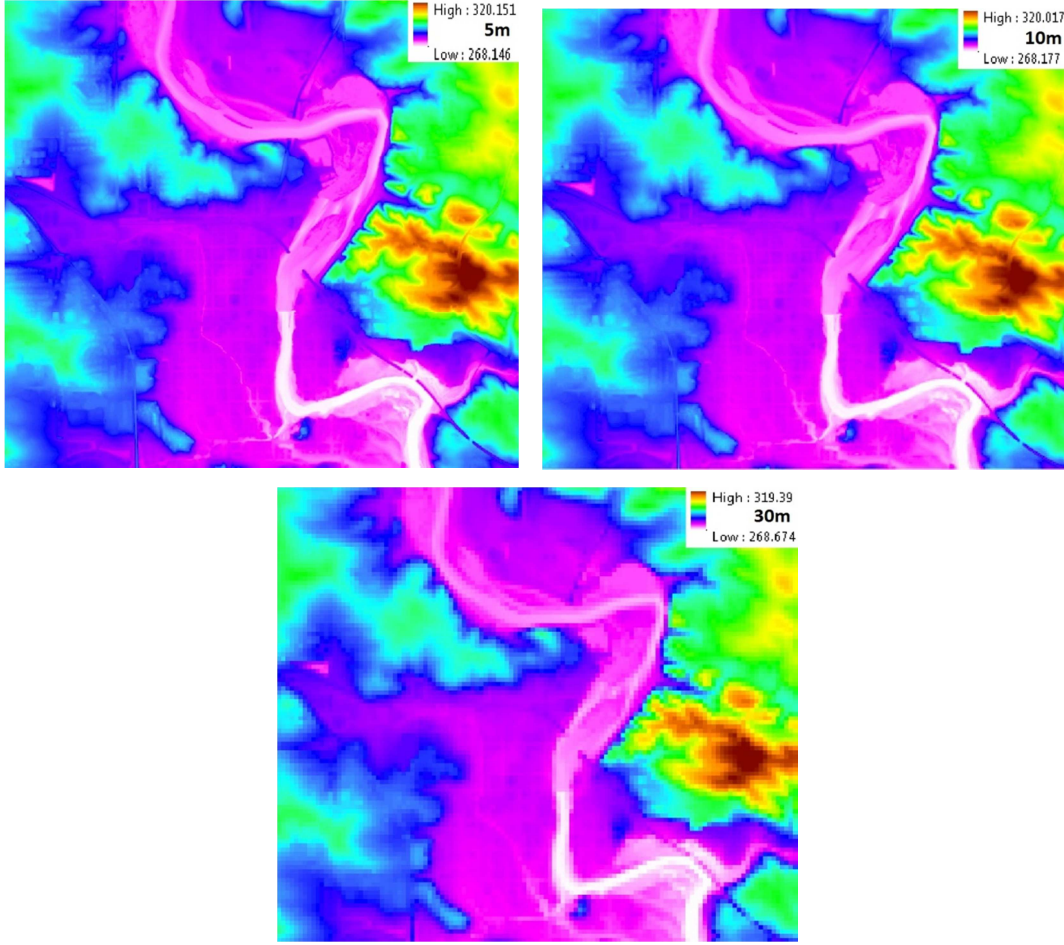
Tablo 5.6. Farklı tekerrürler için taşkın etkisi altında kalan alanlar

Taşkın Tekerrür Aralığı (Yıl)	2	5	10	25	50	100	200	500
Su Altında Kalan Alanlar (km ²)	8.40	8.50	11.30	12.70	13.70	15.00	16.10	17.20

Risk haritalarında görüldüğü gibi özellikle Cedar Nehri'nin, Waverly şehrinin menbasında kalan kısımlarında, geniş tarım arazilerinin taşkın suları altında kaldığı görülmüştür. Nehrin bu kesimlerde sığ oluşu, yüksek debilerle birlikte kapasitesini aşması ve yatağın dışına taşması neticesinde meydana gelmiştir. Çünkü aynı tekerrür periyotları için Waverly şehrinin mansabında nehir yatağının derin oluşu bu yayılımı engellemiştir. Yine Waverly şehir merkezinde taşkınların tekerrür aralığının 10 yıl ve üzerine çıkması durumunda taşkına maruz kaldığı görülmektedir.

5.6. Farklı Çözünürlüklere Sahip Sayısal Yükseklik Modellerinin Taşkın Yayılımına Etkisi

Sayısal yükseklik modelleri kalitesinin, üretilen taşkın yayılım haritalarına etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bunun için, çalışma sahası içerisinde şehir merkezi ve kısmen tarımsal amaçlı kullanılan arazilerin bulunduğu bir alan uygulama sahası olarak seçilmiştir. Bu çalışma sahasına ait 5m, 10m ve 30m çözünürlüklere sahip sayısal yükseklik modelleri çalışmada altlık olarak kullanılmıştır. Şekil 5.65 de farklı çözünürlüklere ait sayısal yükseklik modelleri verilmiştir.



Şekil 5.65. 5m, 10m ve 30m çözünürlüklere sahip sayısal yükseklik modelleri

Sayısal yükseklik modellerinde görüleceği gibi çözünürlüğün azalması ile yükseklik farkının kaybolduğu, özellikle şehir merkezi gibi yükseklik farkının çok olduğu yerlerde düşük çözünürlüğe sahip yükseklik modellerinin ayrıntıları yansıtamadığı gözlenmektedir. Çözünürlük farkının sonuçlara etkisini irdelemek için Şekil 5.65 de verilen sayısal yükseklik modelleri 1 ve 2 boyutun birlikte ele alındığı taşkın modeli ile analiz edilmiştir.

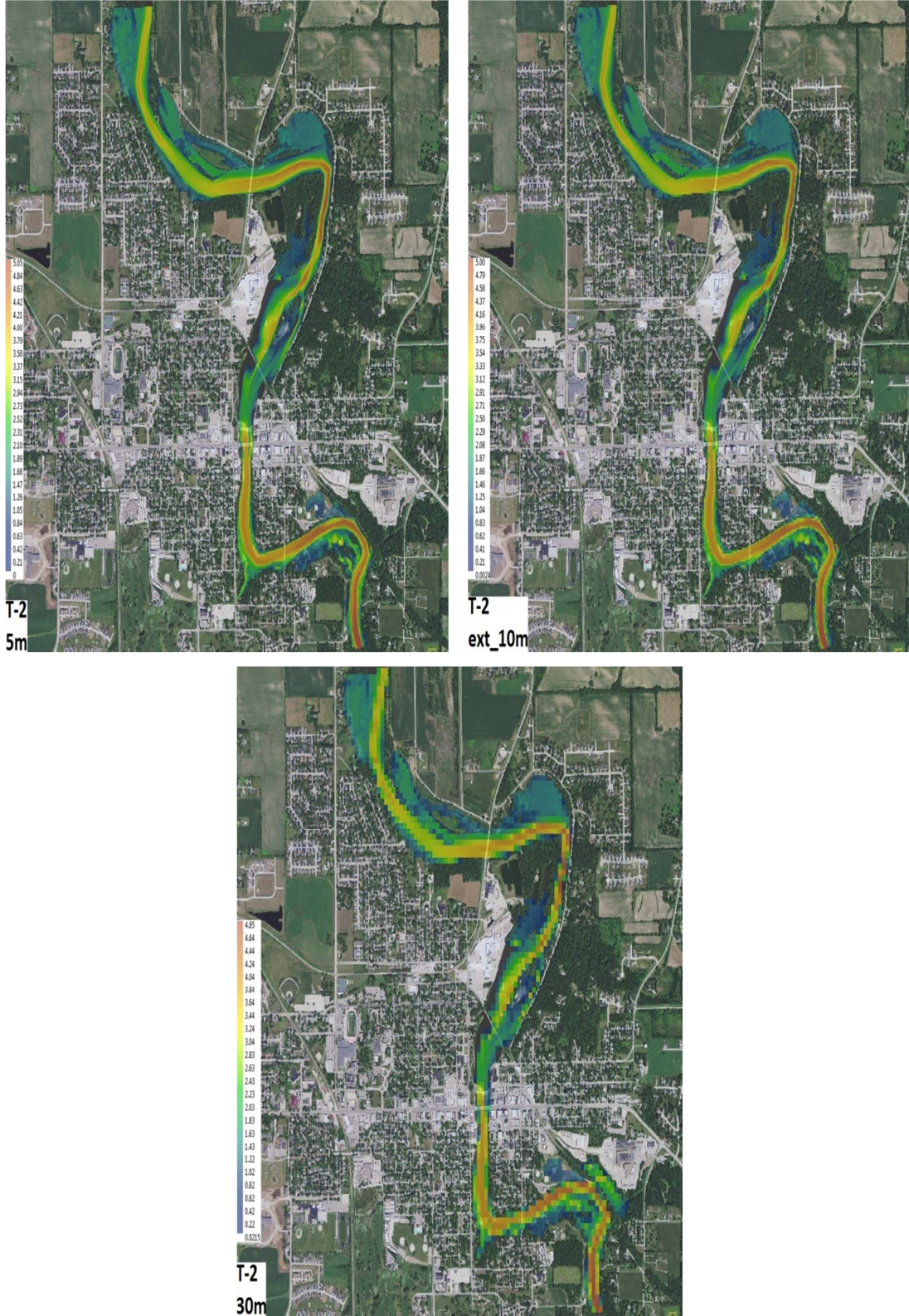
1 boyutlu model için gerekli olan sayısallaştırılmış nehir ağı, daha önce analizi yapılmış tüm çalışma sahasında, spesifik çalışma sahası boyunca kesilerek modele dahil edilmiştir. Kesit verisi, çalışma sahası başlangıç ve bitişi arasında kalan kısımları daha önceki çalışmadan alınarak kullanılmıştır. Sınır koşulları başlangıç kesitinde tekerrürlü taşkın debisi, çıkış kesitinde ise su seviyesi olarak belirlenmiştir. Su seviyesi değeri ise bir önceki çalışmanın ilgili kesitinden okunmuştur. Hidrodinamik dosyası için ise, farklı çözünürlüklerdeki sayısal yükseklik

modellerine ait yatay ve düşey doğrultulardaki hücre sayıları belirlenerek modele girilmiştir.

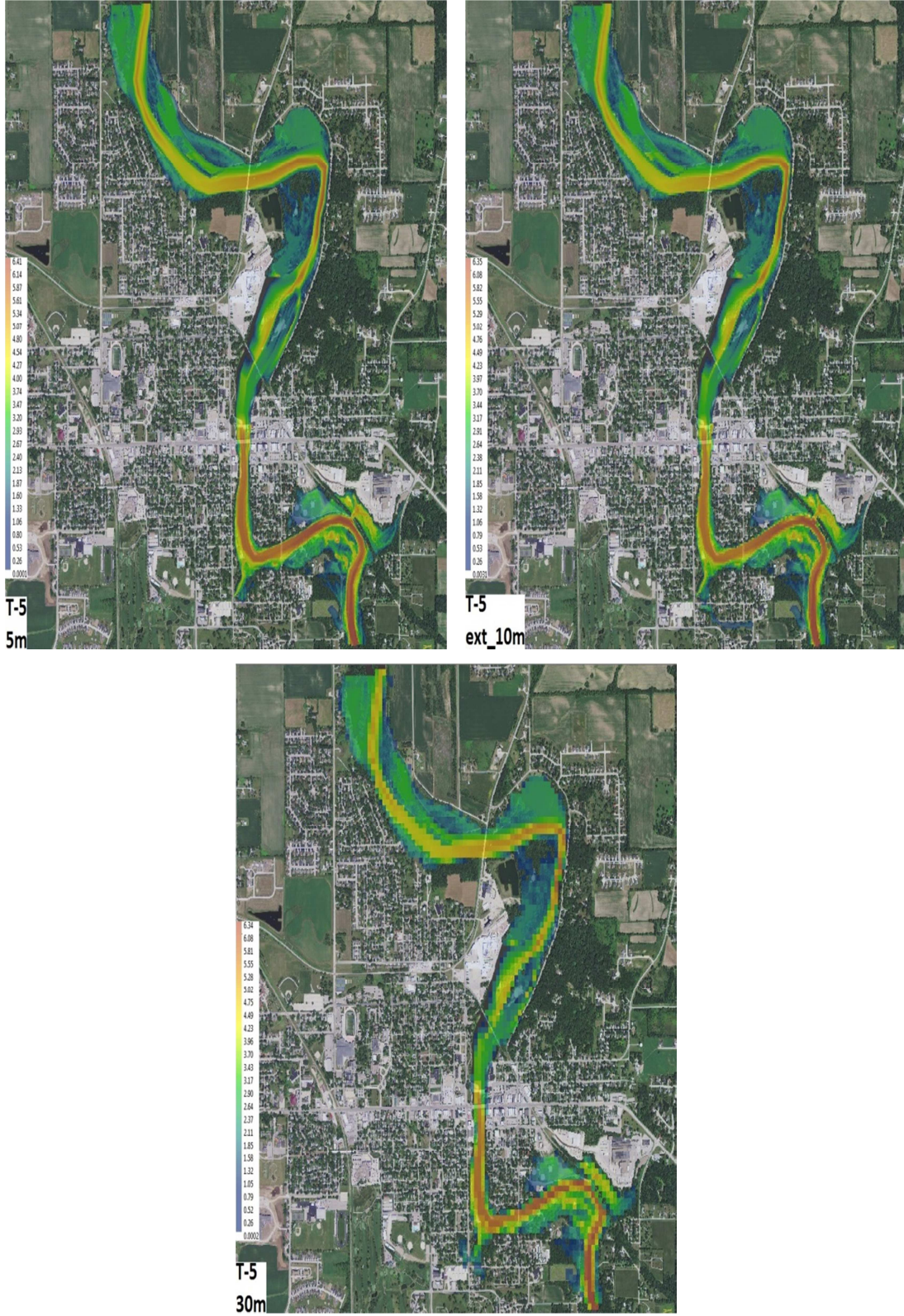
2 boyutlu modelde ise batimetri dosyaları güncellenmiştir. Her bir farklı çözünürlük için, sayısal yükseklik modeli ArcGIS ortamında ASCII formatına dönüştürülmüştür. ASCII formatındaki sayısal yükseklik modelleri MIKEGIS programı ile Mike21 de kullanılabilir .dfs2 formatına dönüştürülmüştür. Bu veriler kullanılarak çalışma sahası için Batimetri dosyası hazırlanmıştır.

Arazi kullanımını gösteren Manning pürüzlülük dosyası da batimetri dosyasının hazırlanmasındaki proses izlenerek farklı çözünürlükler için hazırlanarak modele girilmiştir. Oluşturulacak sonuç dosyası için, sayısal yükseklik modellerine ait hücre sayıları x ve y doğrultularında hesaplanarak modele girilmiştir.

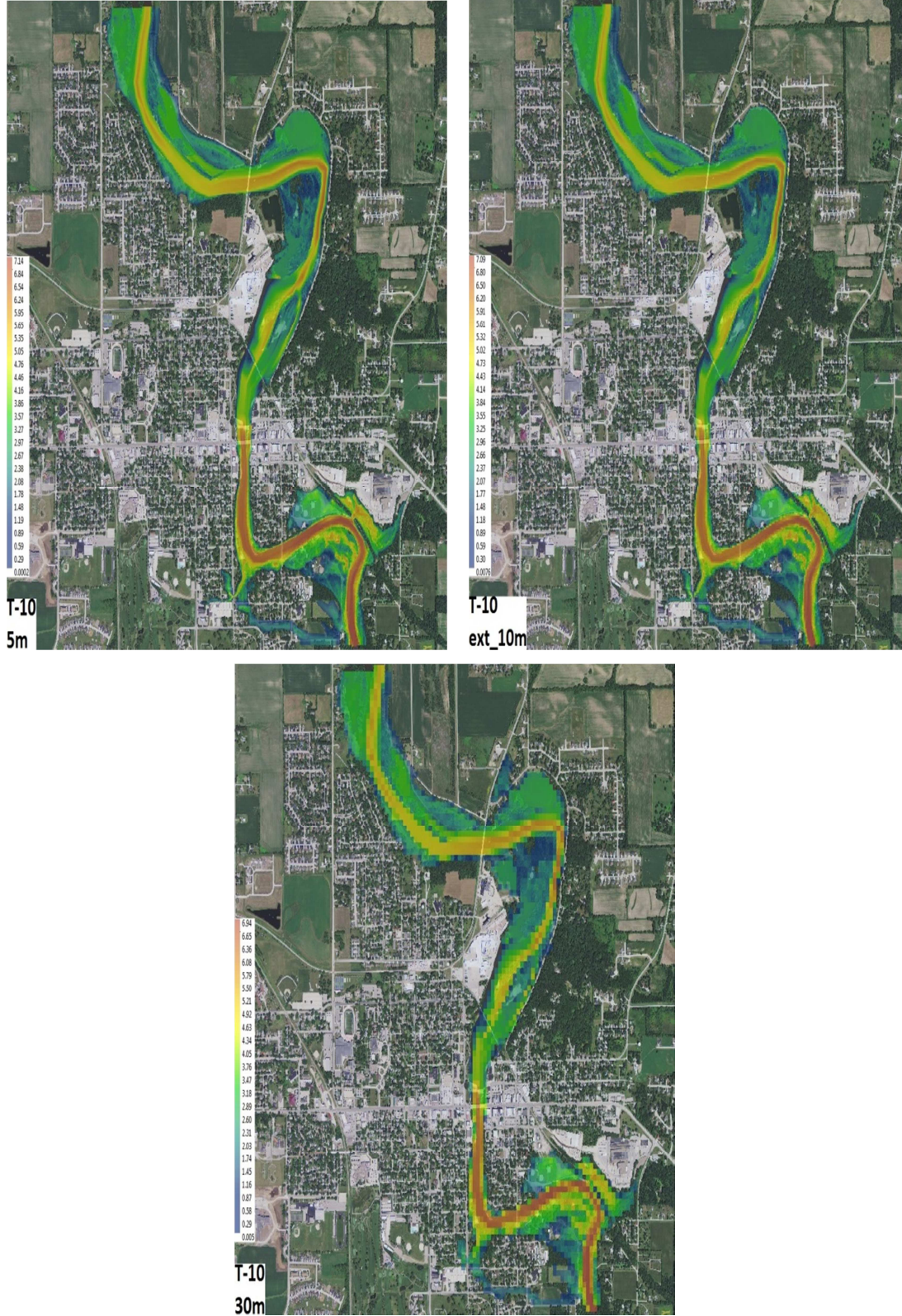
1 ve 2 boyutta alt yapısı oluşturulan model, Mike Flood ortamında birbirlerine bağlanarak model çalıştırılmıştır. Buna analizler sonucu elde edilen 5m, 10 m ve 30 m lik çözünürlüklere sahip taşkın yayılım haritaları Şekil 5.66-5.73' de verilmiştir.



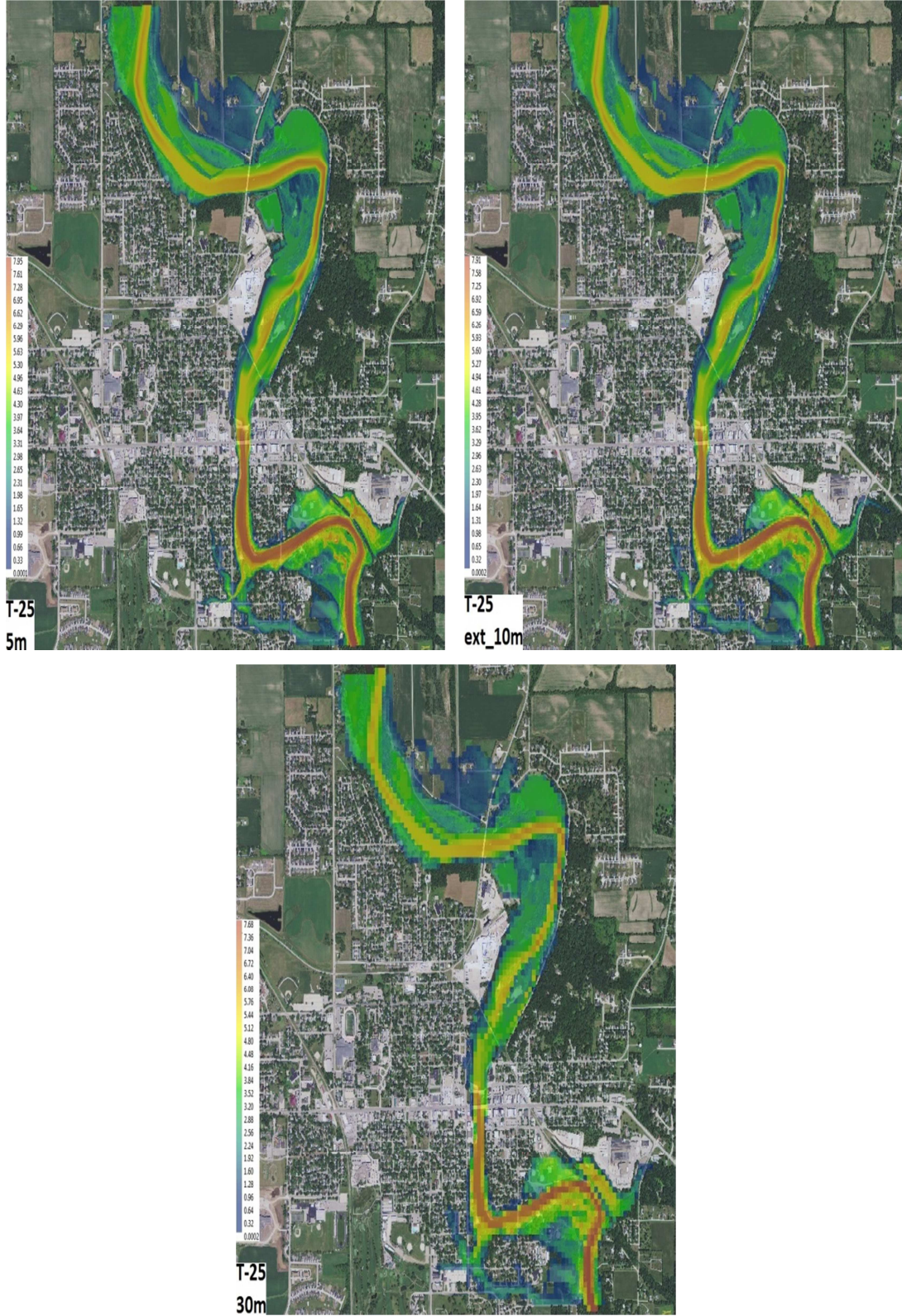
Şekil 5.66. Farklı çözünürlüklere sahip sayısal yükseklik modellerine ait taşkın yayılım haritaları, T-2



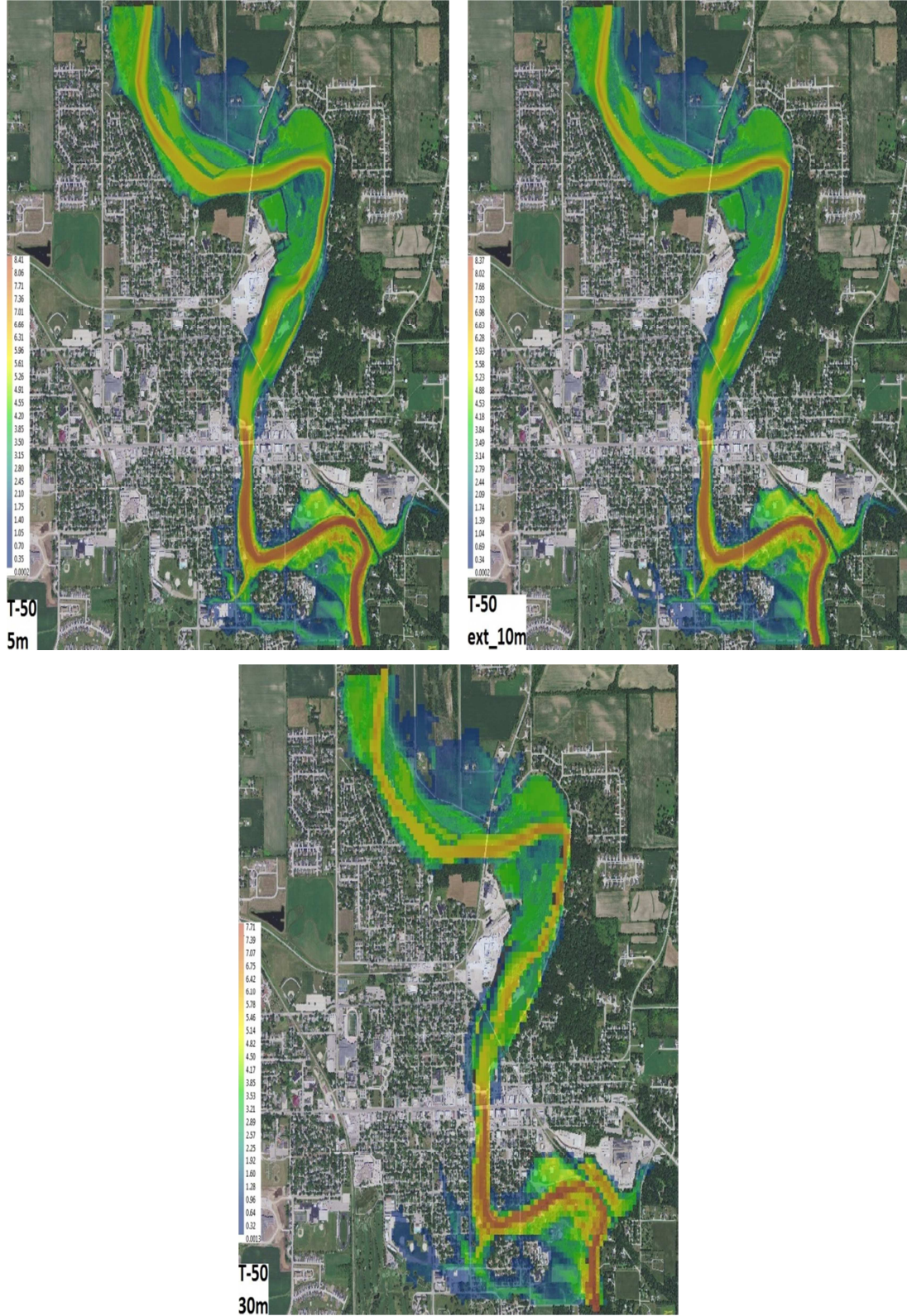
Şekil 5.67. Farklı çözünürlüklere sahip sayısal yükseklik modellerine ait taşkın yayılım haritaları, T-5



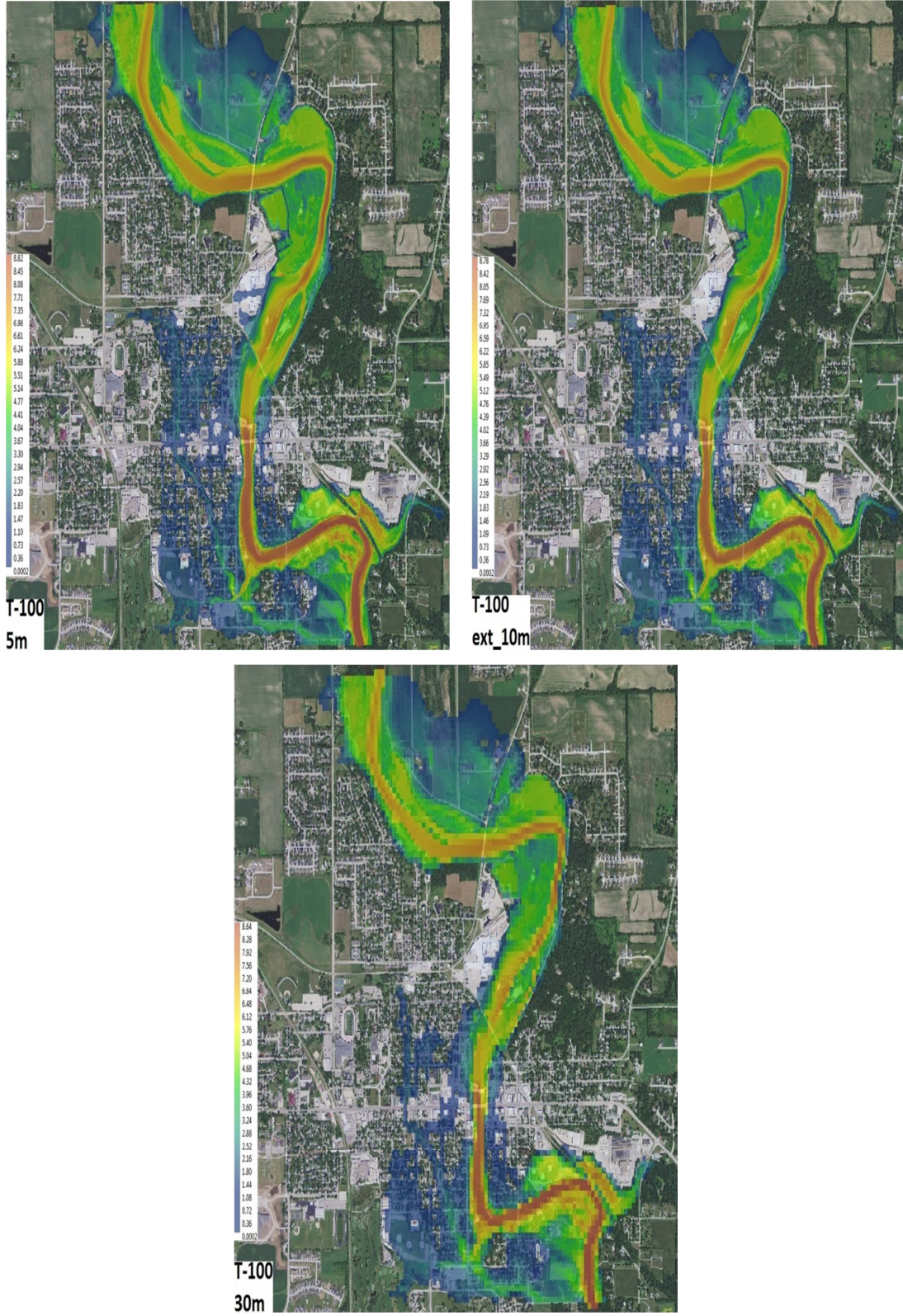
Şekil 5.68. Farklı çözünürlüklere sahip sayısal yükseklik modellerine ait taşkın yayılım haritaları, T-10



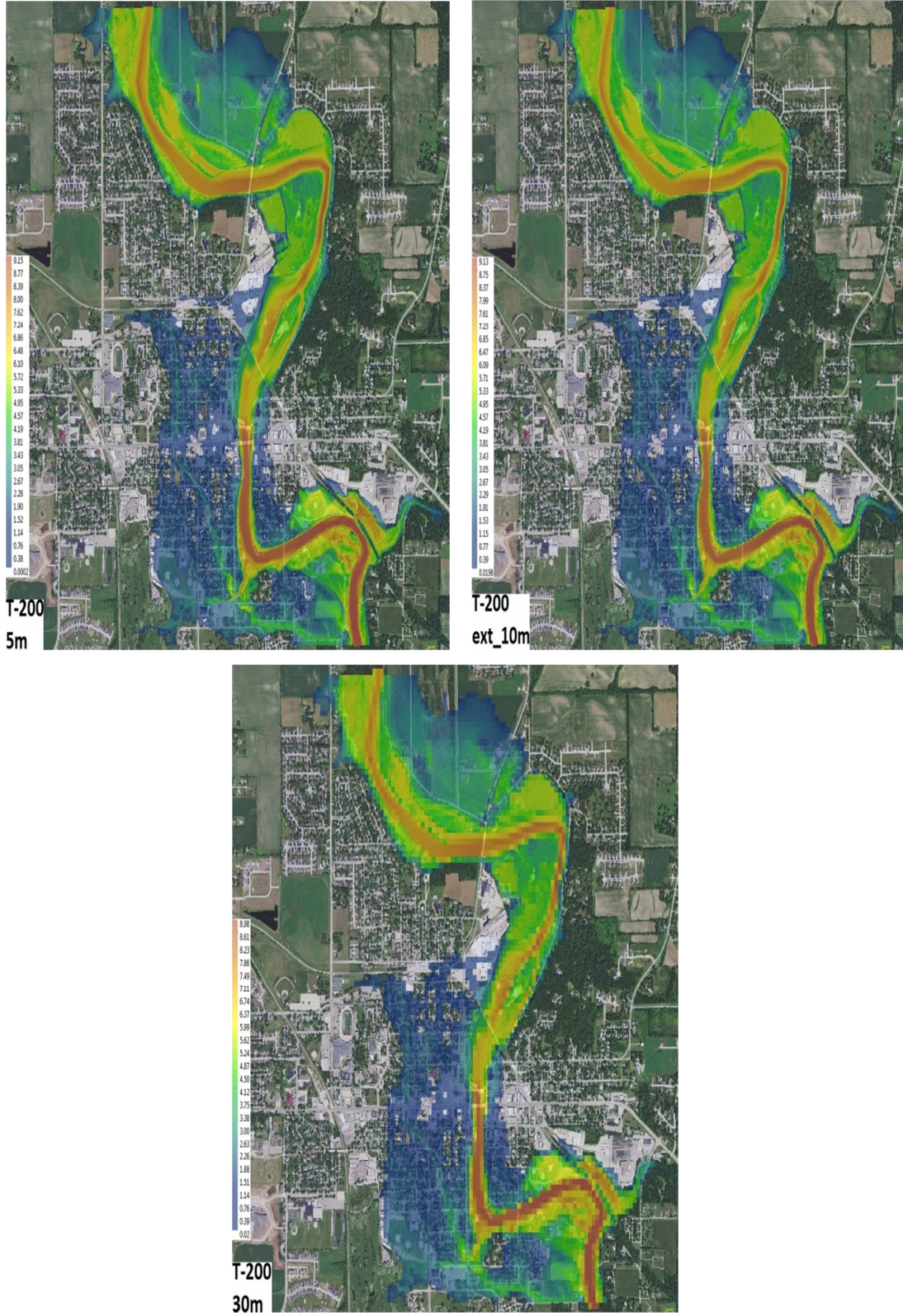
Şekil 5.69. Farklı çözünürlüklere sahip sayısal yükseklik modellerine ait taşkın yayılım haritaları, T-25



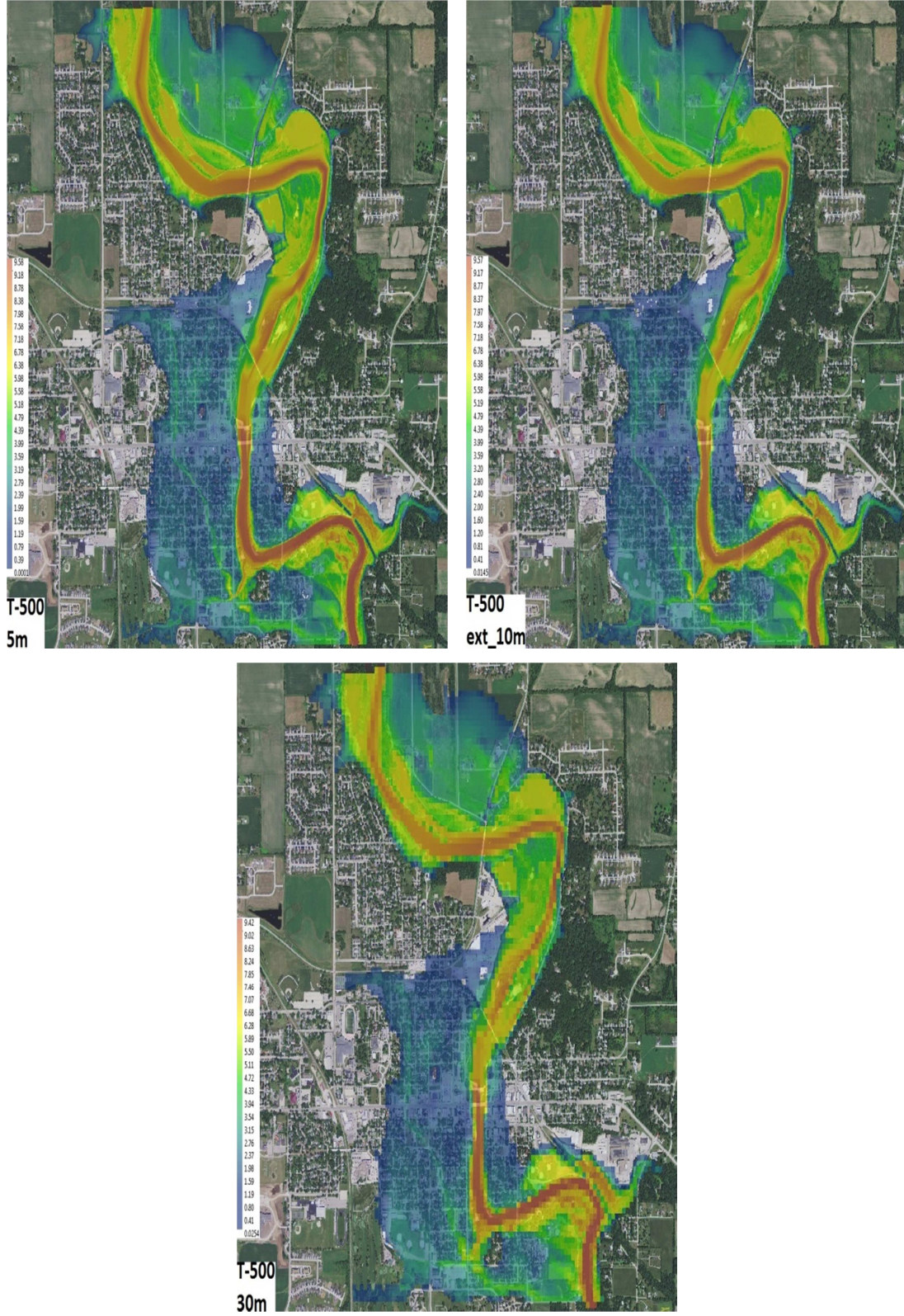
Şekil 5.70. Farklı çözünürlüklere sahip sayısal yükseklik modellerine ait taşkın yayılım haritaları, T-50



Şekil 5.71. Farklı çözünürlüklere sahip sayısal yükseklik modellerine ait taşkın yayılım haritaları, T-100



Şekil 5.72. Farklı çözünürlüklere sahip sayısal yükseklik modellerine ait taşkın yayılım haritaları, T-200

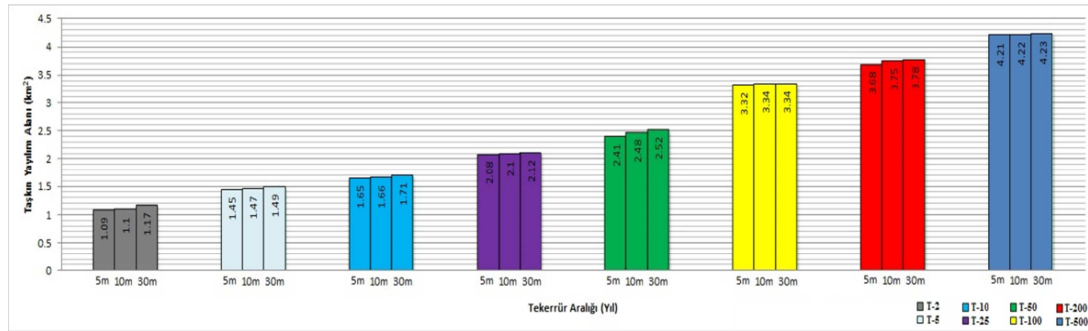


Şekil 5.73. Farklı çözünürlüklere sahip sayısal yükseklik modellerine ait taşkın yayılım haritaları, T-500

Elde edilen taşkın yayılım haritaları ile taşkına maruz kalan alanların, sayısal yükseklik modeline göre değişimi tespit edilmiştir. Sonuçlar Tablo 5.7 ve Şekil 5.74 de gösterilmiştir.

Tablo 5.7. Farklı çözünürlük ve tekerrürler için taşkın etkisi altında kalan alanlar

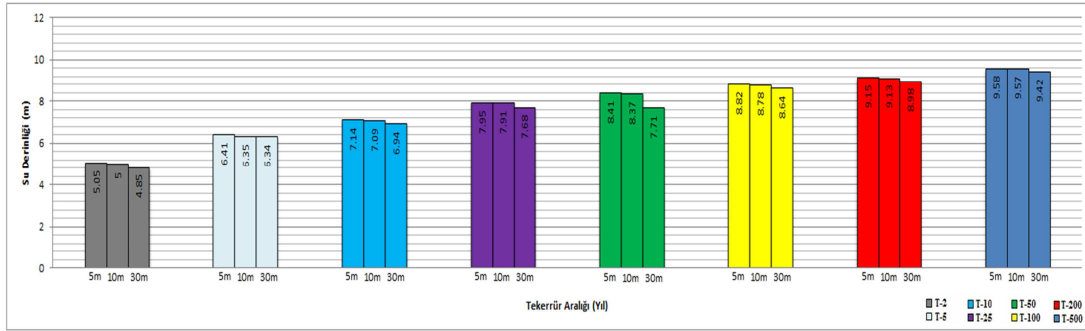
Taşkın Tekerrür Aralığı (Yıl)	2	5	10	25	50	100	200	500
Su Altında Kalan Alanlar (km ²)-5m	1.09	1.45	1.65	2.08	2.41	3.32	3.68	4.21
Su Altında Kalan Alanlar (km ²)-10m	1.10	1.47	1.66	2.10	2.48	3.34	3.75	4.22
Su Altında Kalan Alanlar (km ²)-30m	1.17	1.49	1.71	2.12	2.52	3.35	3.78	4.23



Şekil 5.74. Farklı çözünürlükler ve tekerrürler için taşkın yayılım alanları

Şekilden de anlaşılacağı üzere taşkın yayılım alanlarının, sayısal yükseklik modelinin kalitesinin düşmesi ile arttığı gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak çözünürlüğün azalması, her bir hücre içerisinde kalan yükseklik ortalamasının düşmesi, taşkın esnasında suyun yayılacak olduğu alanın tam olarak temsil edilememesi neticesinde gerçeği yansıtmayan, suyun ulaşamayacağı alanlara ulaşmasına yol açmıştır.

Yükseklik farkının kısa mesafelerde değişmediği, yüzeysel ayrıntıların fazla olmadığı tarımsal arazilerde, çözünürlük farkının taşkın yayılım alanını fazla etkilemediği fakat şehir merkezleri gibi yükseklik farklarının kısa mesafelerde değiştiği alanlarda, sayısal yükseklik modellerinin çözünürlüğünün ayrıntıları ortaya çıkarmada ve daha doğru bir taşkın yayılım haritasının elde edilmesinde etkili olduğu gözlenmiştir.

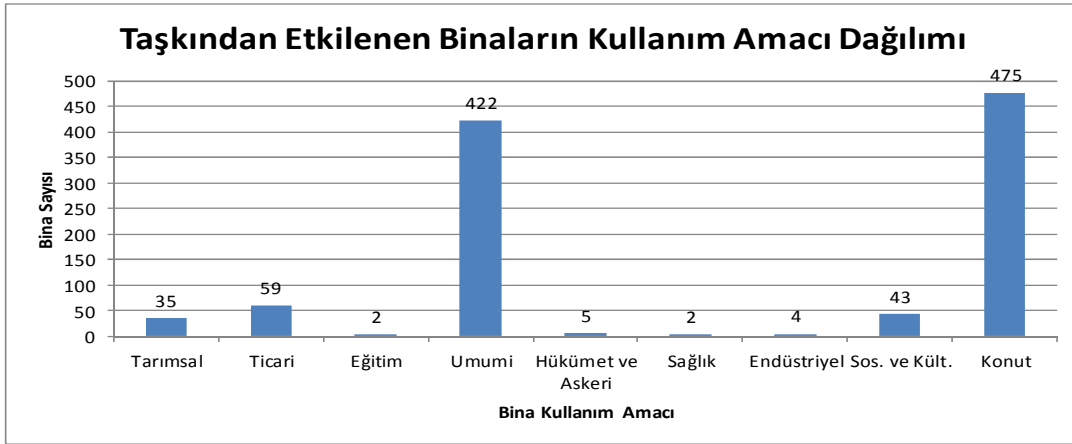


Şekil 5.75. Farklı çözünürlükler ve tekerrürler için taşkın su seviyesi

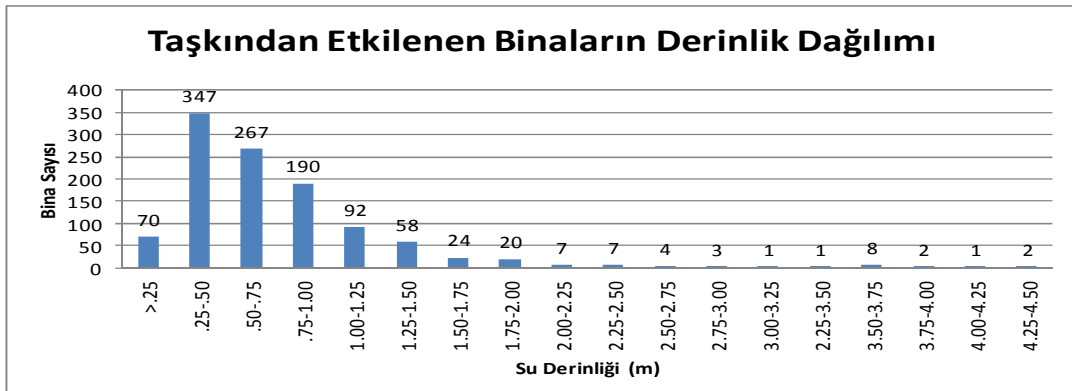
Su derinliğinin ise sayısal yükseklik modelinin çözünürlüğünün artması ile arttığı gözlenmiştir (Şekil 4.65). Çözünürlüğün artması ile yüzeydeki yükseklik değişiminin model tarafından algılanması ile suyun gerçeği yansıtacak bir biçimde taşkın yatağında önüne çıkan engeller arkasında birikmesi neticesi yüksek çözünürlüğe sahip modellerde daha yüksek su seviyelerinin elde edilmesine sebep olmaktadır.

5.7. Taşkın Risk Değerlendirmesi

Taşkın yayılım alanları kalibre edilmiş modeller ile yüksek doğrulukla tespit edilmiştir. Elde edilen model sonucu yapılan analizler ile farklı tekerrür aralıklarına sahip taşkınlar için taşkın yayılım haritaları elde edilmiştir. Bu haritalar kullanılarak taşkın riski altında bulunan binalar, bu binaların kullanım amaçları ve taşkın riskinin boyutu belirlenebilmektedir. Bu amaçla bölgede bulunan binaların kullanım amaçlarını gösteren şehir yönetimi tarafından oluşturulmuş altlık dosyaları kullanılmıştır. Taşkın yayılım haritaları ve bina kullanım amacını gösteren altlıklar çakıştırılarak risk altında bulunan binalar ve bu riskin derecesi belirlenmiştir. Bu çalışma 500 yıl tekerrüre sahip taşkın yayılımı için yapılmış ve sonuçlar Şekil 5.76 ve 5.77' de verilmiştir.



Şekil 5.76. 500 yıllık tekerrürlü taşkın yayılımı risk dağılımı

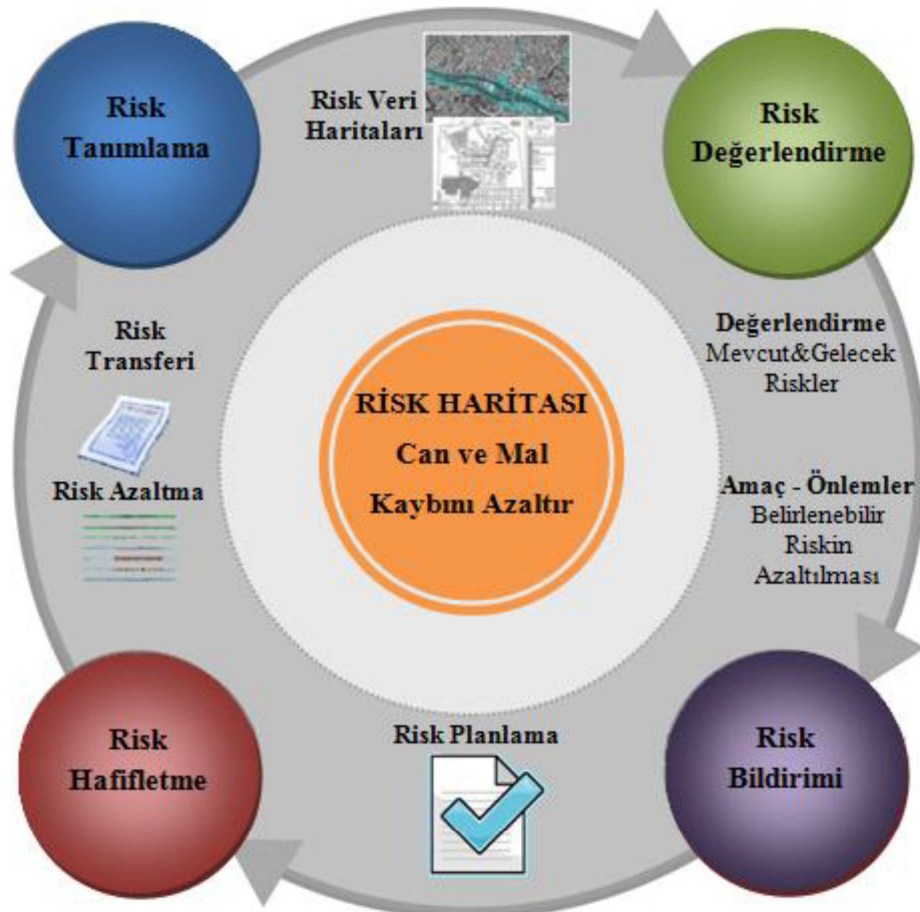


Şekil 5.77. 500 yıllık tekerrürlü taşkın yayılımı risk derecesi

Elde edilen sonuçlar ışığında 500 yıl tekerrüre sahip taşkın olması durumunda kırsal ve şehir merkezinde olmak üzere toplamda 1047 binanın taşkından etkilendiği tespit edilmiştir. Bu binaların büyük bir kısmını konut ve halkın sık kullandığı umumi olarak sınıflandırılan binalar oluşturmaktadır. Yine şehir merkezinde bulunan 2 adet hastane ve 2 adet eğitim merkezi de taşkına maruz kalan alanlar arasında yer almaktadır. 4 adet endüstriyel amaçlı kullanılan binada ise minimum su seviyesi 60 cm civarında olup meydana getireceği zarar konutlara kıyasla büyük olacağından riski arttırmaktadır. Hükümet ve askeriyeye ait bazı binalarda risk altında olduğu elde edilen sonuçlardan tespit edilmiştir. Şehir merkezinde bulunan ve otoyol bağlantısı olan köprülerin açık olması trafiği etkilemekle birlikte su seviyesi yüksek olduğundan yine de risk taşımaktadır. 10m' lik altlıklar ile yapılan analiz sayesinde şehir içerisinde bulunan yollar ve risk durumları da tespit edilebilmesi ile yapılacak olan taşkın yönetim planlarına olanak sağlamaktadır.

5.8. Taşkın Risk Haritaları

Taşkın risk haritaları çeşitli olasılıklar dahilinde, taşkının etki alanını adresleyerek, taşkından etkilenecek toplam nüfusu, riskli alanlardaki unsurları, bu alanlardaki faaliyet türlerini ve bunlara bağlı olarak taşkının sebep olacağı olası kötü sonuçları belirterek [73; 74], can ve mal kaybını en aza indirecek önlemler almayı sağlar [75]. Taşkın risk haritaları, risk yönetimi için gerekli temel altlığı oluşturmasının yanı sıra, taşkından etkilenecek alanları riskin büyüklüğüne göre sınıflandırarak, arazi kullanımı ve yapılaşma planlarının doğru biçimde hazırlanması için ön bilgi oluşturur.



Şekil 5.78. Risk haritalanma, değerlendirme ve planlama döngüsü [75]

Risk haritalarının, taşkın sonucu oluşacak hasarları en aza indirebilmek için, güncel olmaları, yeterli doğrulukta ve gerekli ayrıntı düzeyinde üretilmesi gerekir. Ancak

iklim ve çevre koşullarının değişmesiyle beraber, taşkın risklerinin büyüklüğü, şiddeti ve konumu daimi olarak değişmektedir. Dolayısıyla teknoloji alanındaki gelişmelerden faydalanarak, değişen iklim ve çevre koşullarına paralel olarak risk haritalarının daimi olarak güncellenmesi gerekmektedir.

FEMA taşkın risklerinin doğru bir şekilde belirlenebilmesi için taşkın risk haritalarının,

- Fiziksel değişimler; köprü, menfez, taşkın koruma setleri ve havzanın karakteristiğine etki edecek tüm suni yapılar ile erozyon, orman yangınları vb.
- İklim değişiklikleri; Yağış verilerindeki değişimler (yağışların türü, sıklığı ve şiddetindeki değişimler.)
- Mühendislik metodolojisinde ki değişiklikler; fırtına ve taşkın olayı gibi doğa olaylarının daha iyi anlaşılmasını ve modellenmesini sağlayabilecek bilgisayar programlarındaki yenilikler,

söz konusu olduğunda güncellenmesi gerektiğini belirtmiştir [75].

5.9. Amerika Birleşik Devletleri’nde Afet Yönetim Sistemi

Amerika Birleşik Devletleri’nde afetler ve afet yönetimi ile ilgili yetkili kuruluş FEMA’dır. FEMA, 1979 yılında can ve mal kaybını azaltmak için gerekli destek ve liderliği sağlamak, risk esasına dayalı olarak zarar azaltma, hazırlık, müdahale ve iyileştirmeyi içeren her türlü acil durum yönetim planları ile tehlikelerden ülkeyi korumak amacıyla kurulmuştur.

5.9.1. FEMA’nın misyonu

FEMA; “hazırlık, önleme, afete müdahale ve iyileştirme programlarını içeren kapsamlı, risk tabanlı acil durum yönetimi programı ile ulusun hayati altyapı hizmetlerini korumak, can ve mal kayıplarını en aza indirmek” misyonuna sahip olan bağımsız bir kurumdur.

FEMA afetlerden kaynaklanan riskler veya afetlerin doğurduğu zararların eyalet veya yerel yönetimlerin gücünü aştığı zamanlarda bu yönetimlere yardım eder. FEMA

aynı zamanda ulusal güvenliğin tehlikeye düşmesi durumlarında yönetimin devamlılığını sağlamak için Federal Acil Durum Yönetimi çalışmalarını ve planlamasını koordine eder [76].

5.9.2. FEMA'nın görevleri

FEMA'nın acil durum ve afet ile ilgili faaliyetlerinin süreçleri; afete hazırlanma, afete cevap verme, afet sonrası iyileştirmeye yardım ve afet riskini azaltma çalışmalarından oluşmaktadır.

Bu süreçler boyunca şu görevleri üstlenmektedir [76]:

- Başkan tarafından ilan edilen afetlerde federal müdahaleyi koordine etmek
- Afet yöneticilerinin, kamu kurumlarının ve halkın afete hazırlanmasına yardım etmek
- Afet sonrasında afet olan yerlerin iyileştirilmesi için afet bölgesinde yaşamakta olan afetzedelere ve iş sahiplerine yardım etmek
- Gelecekte karşılaşılabilecek muhtemel afetlerden doğacak zararları azaltma çalışmaları yapmak
- Ulusal sel sigortası programını yönetmek ve sel riskini azaltma çalışmaları yapmak
- Amerika Ulusal Yangın İdaresi'ni yönetmek

ABD' de afet yönetim sistemi katılımcı bir anlayışı benimsemektedir. Afet yönetiminde sadece devletin kurumları yer almamakta, aynı zamanda devlet kurumları ile birlikte özel sektör ve gönüllü kuruluşlar da sisteme entegre olmaktadır.

5.10. FEMA (Federal Acil Durum Yönetim Ajansı) Taşkın Bölgeleri Belirleme Kriterleri

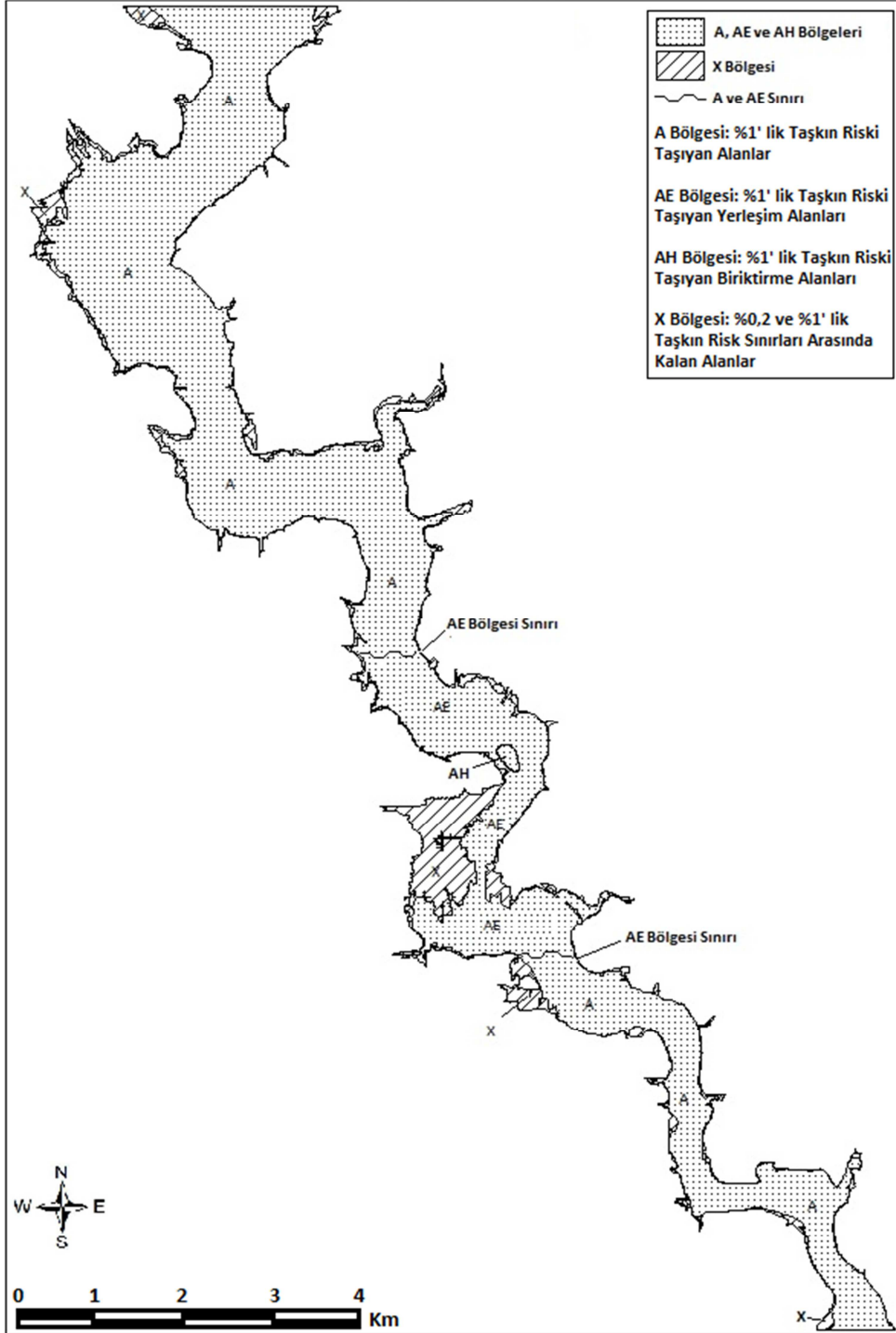
Taşkın zonları, FEMA'nın taşkın risklerine göre belirlemiş olduğu coğrafi alanlardır. Bu zonlar, taşkın sigorta oranı haritası (FIRM) ve taşkın zarar sınırları haritası olarak kullanılmaktadır (Tablo 5.8).

Tablo 5.8. FEMA taşkın risk zonları

Orta ve Düşük Risk Alanları	
Zon	Açıklama
X	100 yıl ve 500 yıl Tekerrürlü Taşkın Riski Taşıyan alanlar arasında yer alan orta ve düşük risk düzeyine sahip alanlardır. Aynı zamanda seddeler ile korunan alanlarda 100 yıl tekerrürlü taşkın riskini taşıyan alanlar olarak sınıflandırılır.
Yüksek Risk Alanları	
Zon	Açıklama
A	% 1 lik taşkın riski taşıyan alanlar.
AE	% 1 lik taşkın riski taşıyan alanlarda yerleşim amaçlı kullanılan alanlar.
AH	% 1 lik taşkın alanları içerisinde yer alan su toplanma alanları, derin birikinti havuzları.
AR	% 1 lik taşkın alanları içerisinde, nehir yatağında yapılan revizyon veya inşaa çalışmaları nedeniyle taşkın riski artan alanlar
A99	% 1 lik taşkın alanları içerisinde, yetkili birimlerce sel kontrolü yapılan alanlar.

Yukarıda belirtilen kriterler haricinde deniz ve okyanus kıyı bölgeleri içinde çeşitli taşkın risk sınıflandırmaları bulunmaktadır.

Yukarıda belirtilen sınıflar göz önüne alınarak çalışma sahası FEMA'nın belirlemiş olduğu standartlara göre zonlara ayrılmıştır. Şekil 5.79' da çalışma sahasına ait Taşkın Risk Alanları haritası verilmiştir.



Şekil 5.79. Taşkın risk zonları haritası

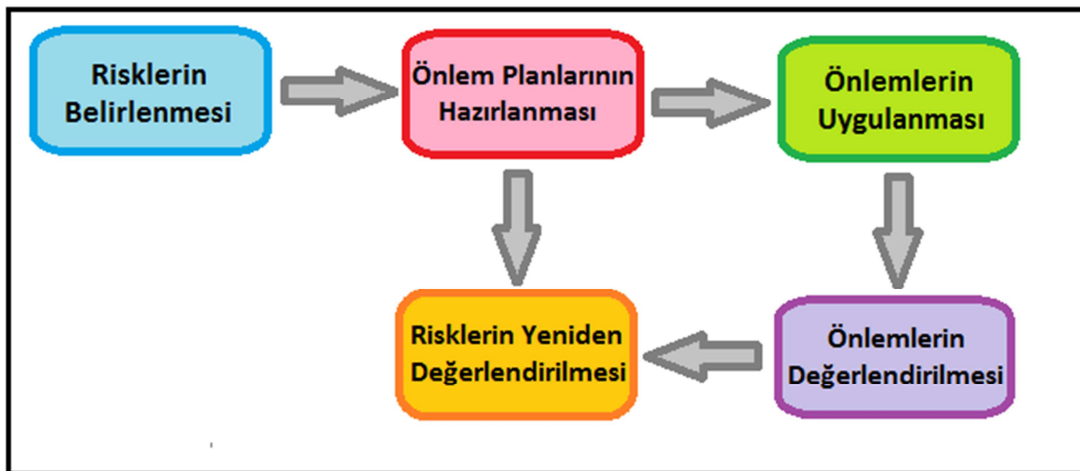
Buna göre çalışma sahasının çok büyük bir kısmı yüksek risk alanı içerisinde kalmaktadır. Bu alanları çoğu tarımsal amaçlı kullanıldığından meydana gelecek hasar risk oranına nazar daha az olacaktır. Şehir merkezinin güney kısımları tamamen risk altında olup zararın yüksek olması beklenmektedir. Şehir merkezinin

kuzey ve batı kısımları ise X zonunda kalıp düşük ve orta risk derecelendirmesi ile sınıflandırılmıştır.

5.11. Taşkın Risk Yönetim Planları

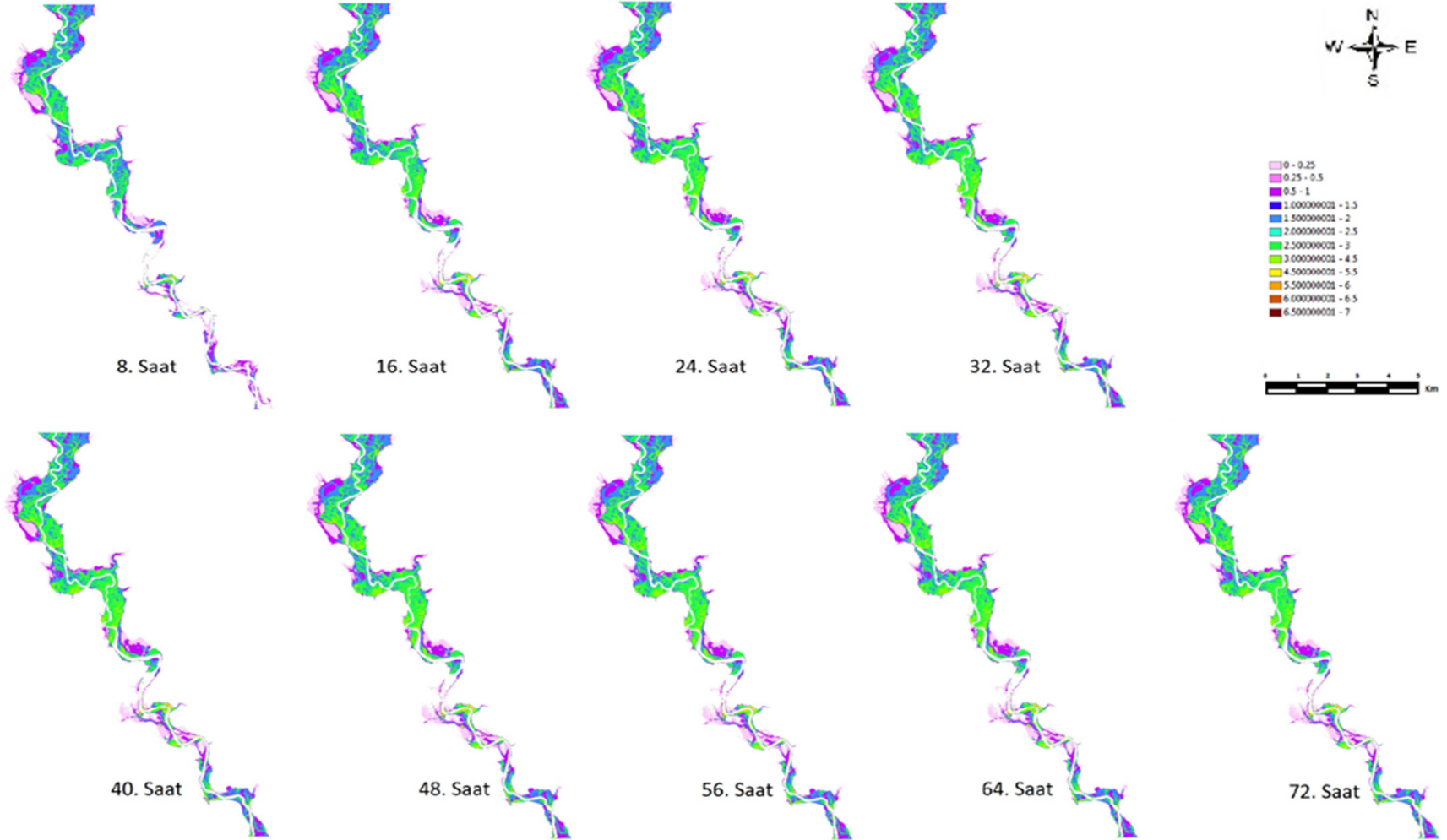
Avrupa Taşkın Direktifinde (EFD) taşkın riski; taşkın meydana gelme olasılığı ile insan sağlığı, çevre ve ekonomik aktivitelere vereceği olumsuz sonuçların kombinasyonu olarak tanımlanmıştır. Son zamanlara kadar dünya genelinde birçok yetkili kurum ve kişi taşkın riskinden korunmanın, yeterince yüksek ve güçlü yapılan taşkın koruma duvarlarıyla mümkün olacağını kabul etmekteydi [77]. Ancak, son otuz kırk yılda artan taşkın olaylarıyla [1] tek başına alınan fiziksel koruma önlemlerinin, taşkın hasarlarından korunmak için yeterli olmadığı anlaşılmıştır. Federal Acil Durum Yönetim Ajansı, Dünya Meteoroloji Örgütü ve Global Su Birliği taşkından bütünüyle kaçınılmasının mümkün olmadığını ve taşkından doğacak zararların en aza indirilmesi için taşkın risk yönetiminin zorunlu olduğunu belirtmiştir [12, 74].

Taşkın risk yönetimi taşkın risklerinin hidrolojik, jeolojik, meteorolojik, topografik, nüfus ve ekonomik kriterlerin tamamı dikkate alınarak taşkından korunma plan ve stratejilerinin en etkili biçimde oluşturulmasını ve uygulanmasını ifade etmektedir [78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85]. WMO/GWP, (2008) taşkın yönetim adımlarını temel olarak aşağıdaki şekillerde tanımlamaktadır (Şekil 5.80).



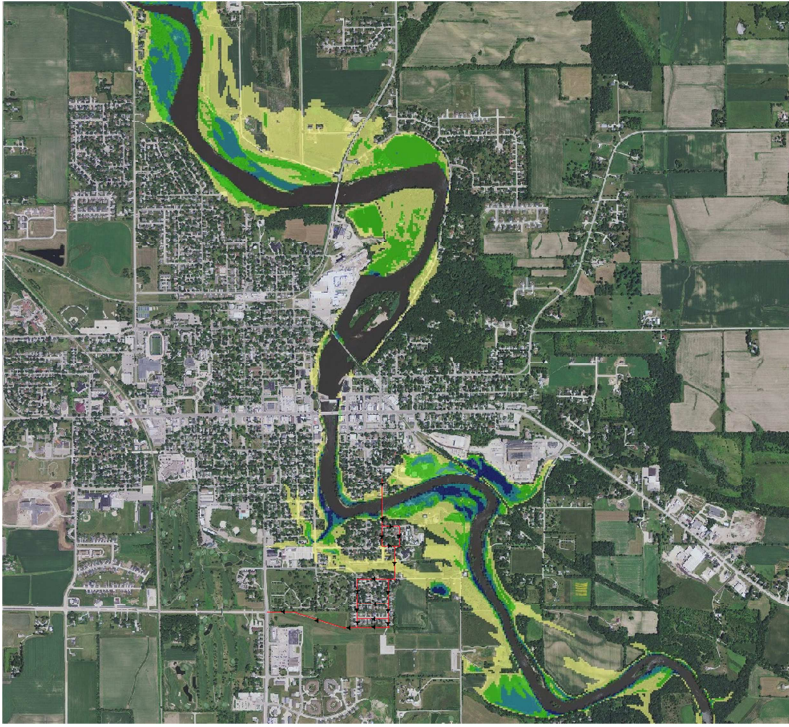
Şekil 5.80. Taşkın yönetim adımlarını

Buna göre; çalışma sahası içerisinde kalan ve FEMA nın belirlediği standartlara göre AE risk alanında bulunan alanlar için taşkın kaçış planları ve önlemleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için 72 saatlik taşkın periyoduna ait 8 er saat aralıklı 9 görüntü alınmış ve taşkın gelişimi izlenmiştir (şekil 5.81).

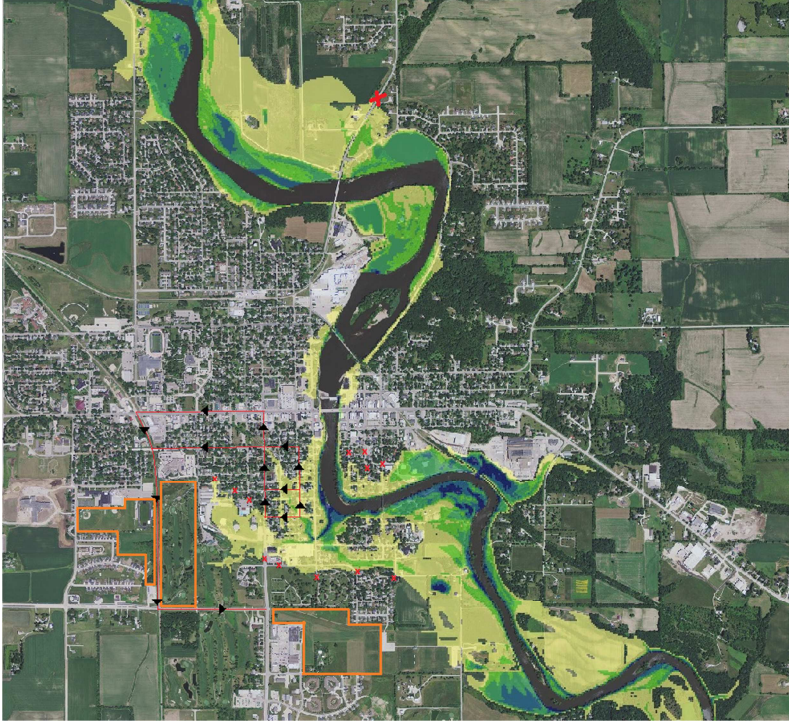


Şekil 5.81. Taşkın gelişimi (8 er saat zaman dilimleri için)

Buna göre; taşkının başladığı ilk 8 saatte şehrin kuzeyindeki tarım arazilerini etkilediği, şehir merkezinde kıyı boyunca uzanan park alanlarına eriştiği tespit edilmiştir. Şehrin güney kısımlarında mendereslenmelerin de tetiklemesiyle bu bölgede bulunan konutların taşkına maruz kaldığı gözlenmiştir (Şekil 5.82). Taşkın yayılımını önlemek üzere kıyı boyunca taşkın yönetim planlarında belirtilen kıyı çizgilerine kum duvar ve çelik bariyer tahkimi yapılmalıdır. Eş zamanlı olarak toplanma alanlarının hazırlanması çalışmaları tamamlanmalıdır. Yapılacak tahliye çalışmalarında şehrin güney kısımları ilk erişilmesi gereken alanlardır. 1. Tahliye bölgesinde yer alan ortaokul ilk tahliye edilecek yer olarak belirlenmiştir. Nehrin karşı kıyısındaki risk altındaki alanlar su seviyesi köprüye ulaşmadan nehrin güney kısmında bulunan ve toplanmaya uygun olan alanlara yönlendirilmelidir. Demiryolu taşkın altında kaldığından bu güzergahta yapılacak tren seferleri taşkın riski geçene kadar iptal edilmelidir.



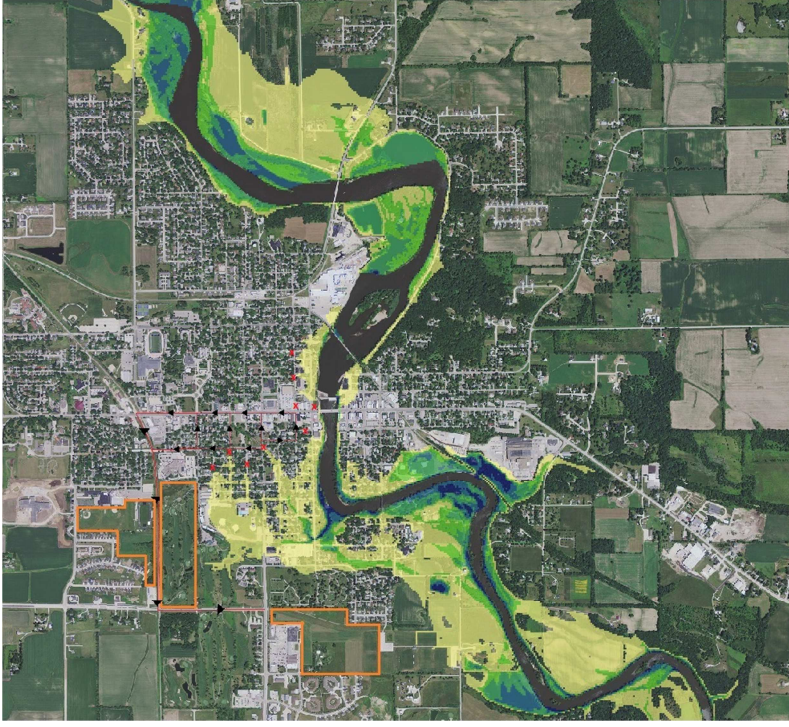
Şekil 5.82. Taşkın risk yönetim planı (8. saat)



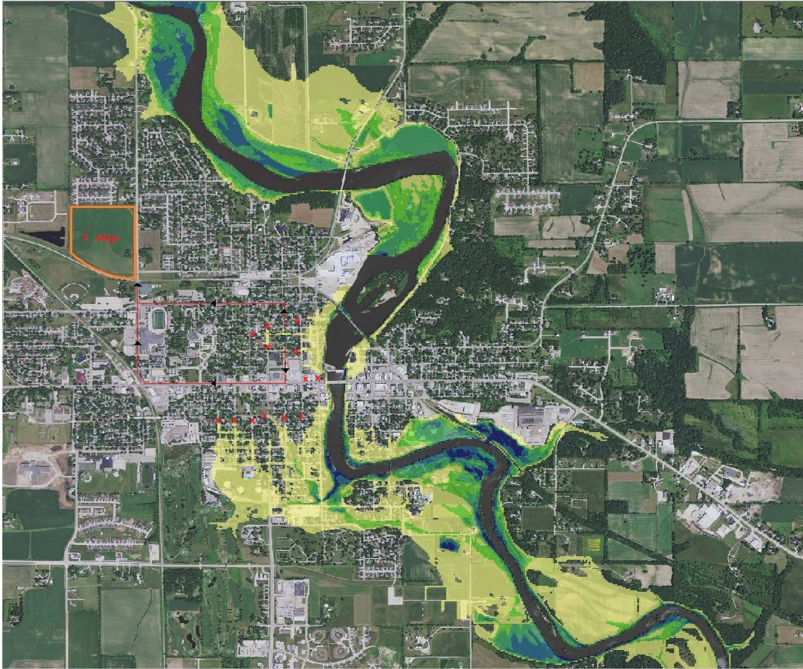
Şekil 5.83. Taşkın risk yönetim planı (16. saat)

Taşkının 16. saatinde şehrin güneyinde yer alan nehrin karşı kıyısıyla ulaşımı sağlayan köprü yaklaşımları su altında kaldığından, köprü girişine bağlanan yollar kapatılmalıdır. Şehrin kuzeyinde yer alan köprüde kuzey doğu yönünden yaklaşımı sular altında kaldığından bu köprüye de giriş kapatılmalıdır. İkincil tahliye alanı olarak belirlenen yerleşim yerleri de bu 8 saatlik zaman diliminde belirtilen rotalar kullanılarak en yakın toplanma alanlarına yönlendirilmelidir. İki kıyı arasındaki trafik sadece 1 köprü tarafından sağlandığı için meydana gelecek trafik yoğunluğu ve dinamik yükleri önlemek amacıyla geçiş kolluk kuvvetleri tarafından düzenlenmelidir (Şekil 5.83).

Taşkının 24. saatinde şehrin güney kısmından yayılmaya başlayan taşkın, şehir merkezinden kuzeye doğru ilerlemektedir. Bu istikamette taşkın altında kalan binalar boşaltılarak planda belirtilen toplanma alanlarına belirlenen güzergahtan kolluk kuvvetleri yardımıyla tahliye edilmelidir. Planda belirtilen taşkına maruz kalan yollar kapatılmalıdır. Yine şehir merkezinin orta kesimlerinde nehirden kıyı boyunca içerlere ilerleyen taşkın nedeniyle taşkın altında kalan bu yollarda ulaşım kapatılmadığıdır (Şekil 5.84).



Şekil 5.84. Taşkın risk yönetim planı (24. saat)



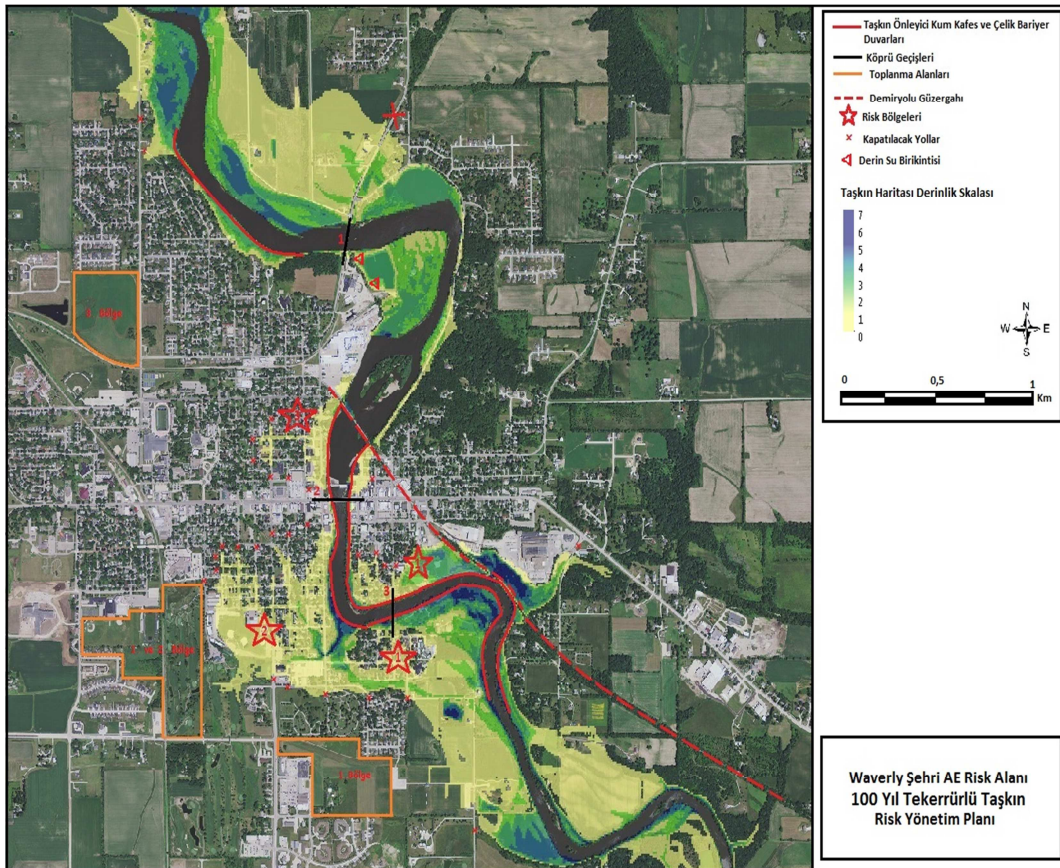
Şekil 5.85. Taşkın risk yönetim planı (48. saat)

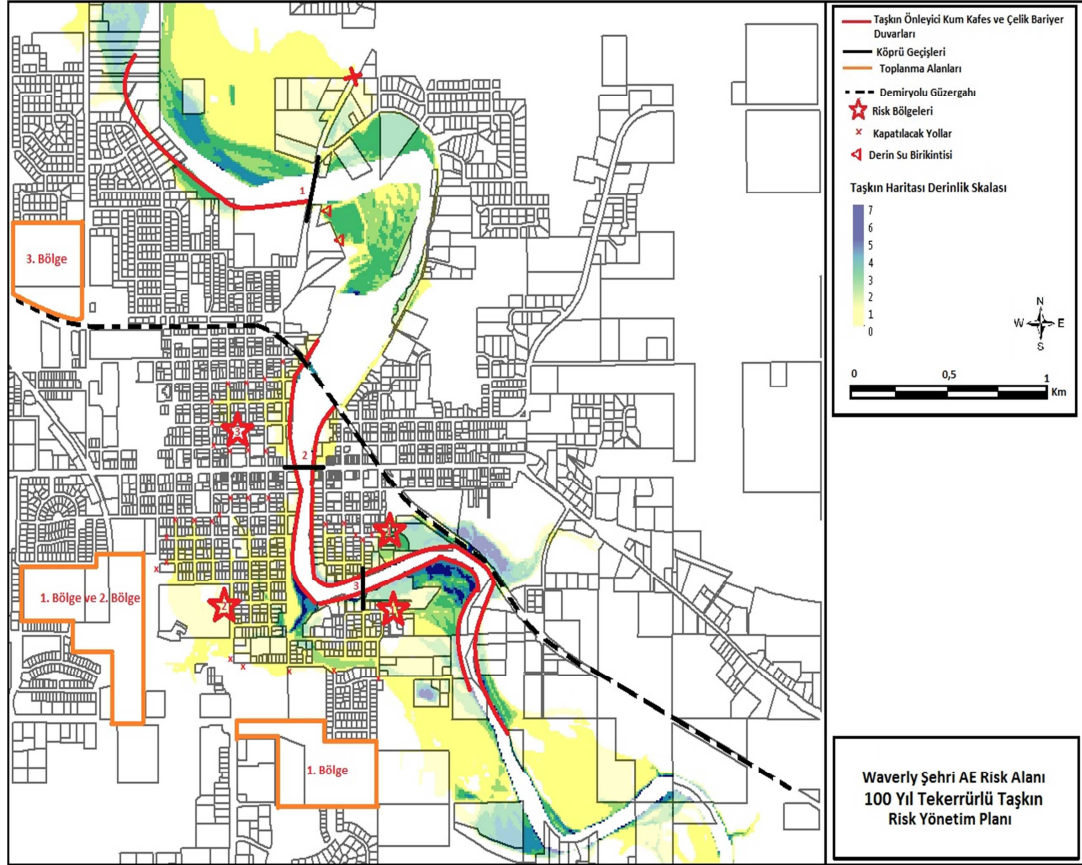
Taşkın 48. Saatinde 3. derecede risk bölgesi olarak belirlenen alanların tahliyesine başlanmalıdır. Bu bölgelerin tahliyesiyle alakalı uygulanacak rota ve toplanma alanı planda gösterildiği şekilde belirlenmiştir. Bu bölgede taşkın ilerlemesi nedeniyle risk teşkil edilen alanlar ulaşıma kapatılmalıdır. Yine şehrin güney kısmını tamamen

kaplanmış alan taşkın nedeniyle kapanan yollar belirlenmiş ve bu yollar ulaşıma kapatılmalıdır (Şekil 5.85).

Taşkının 72. saatinde ise taşkın pik noktasına ulaşmıştır. Bu andan sonra taşkın çekilme eğilimi gösterecektir. Çekilmenin başlamasıyla taşkın riski kalkan alanlar ulaşıma açılmalıdır. Durdurulan tren seferlerine izin verilmelidir. Çekilme tamamlandıktan sonra taşkın altında kalan alanlardan tüm alanların hasar tespit ve iyileştirme çalışmalarına bağlanmalıdır. Kıyı boyunca yapılan tahkimler kaldırılmalıdır. Gelecekte yapılacak olan çalışmalarda kullanılmak üzere köprüler ve şehir içerisindeki binalardan taşkın pik su seviye izleri okunmalıdır.

Yapılan planlar doğrultusunda 72. saatte elde edilen taşkın yayılımı ve alınması düşünülen önlemlerin yer aldığı 100 Tekerrürlü Taşkın Risk Yönetim Planları Şekil 5. 86 da verilmiştir. Aynı planlar şehir parsel planlarına da işlenmiştir (Şekil 5.87).





Şekil 5.87. 100 tekerrürlü taşkın risk yönetim planları (Parselasyonlu)

Taşkın esnasında yapılması gerekenler için yol haritası olacak bu planlar sayesinde olası taşkın gelişimi, hangi alanların ne derecede risk altında olduğu belirlenmiştir. Olası taşkın meydana getireceği can ve mal kayıplarını önlemede veya en aza indirmede bu planların faydalı olabileceği düşünülmektedir. Taşkın anında meydana gelecek olan panik ve karmaşa oluşabilecek gelecek can kaybı ve hasar miktarını arttıracaktır. Doğal afetlerde panik ve plansızlık can kaybını arttıran en büyük etken olarak bilinmektedir. Bu nedenle taşkın risk yönetim planlarının risk altındaki alanlarda yaşan halk başta olmak üzere, şehir genelinde yazılı ve görsel iletişim ağları ile paylaşarak halk bilgilendirmelidir. Taşkın esnasında görev alacak kolluk kuvvetlerini ve gönüllülerin bu planlar doğrultusunda eğitim verilerek taşkına hazırlıklı olmaları sağlanmalıdır.

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

2008 yılında büyük bir taşkına maruz kalan Amerika Birleşik Devletlerinin orta batı kuşağı boyunca uzanan Cedar Nehri'nin Waverly şehrinin içerisinde geçtiği 25 km'lik kısmı çalışma sahası olarak seçilmiştir. Çalışma sahasını kapsayan Lidar datası ve nehir boyunca ölçülmüş batimetri datası birleştirilerek yüksek kaliteye sahip bir sayısal yükseklik modeli elde edilmiştir. Bir tanesi çalışma sahası içerisinde bir tanesi ise çalışma sahasının 19.5 km mansabında bulunan iki adet akım gözlem istasyonuna ait uzun yılları ihtiva eden pik akım kayıtları temin edilmiş ve bu veriler ile hidrolojik analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucu 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 yıl tekerrürlü taşkın debileri hesaplanmıştır. 10m'lik hassasiyete sahip sayısal yükseklik modeli kullanılarak çalışma sahası, hesaplanan dönüş periyotları için 1 boyutlu ve 1 boyut ile 2 boyutun birlikte çalıştırıldığı (coupled) model ile taşkın analizleri yapılarak taşkın yayılım haritaları elde edilmiştir.

Kalibre edilmiş 1 boyutlu model ve coupled model 2008 yılı taşkını ile analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, taşkın esnasında havadan çekilmiş fotoğraflarla kıyaslanmıştır. Coupled modelin gerçeğe çok yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Buna göre 2008 yılı taşkını sırasında çalışma sahası içerisinde 16,41 km² alan taşkına maruz kalmıştır. Waverly şehir merkezinin büyük bir kısmı taşkından etkilenmiştir.

1 boyutlu modelde çalışma sahası, başlangıç ve bitiş noktaları arasında belirli aralıklarla oluşturulmuş kesitler ile hem nehir yatağı hem de taşkın yatağı temsil edilmektedir. İki kesit arasına ait topografik ve batimetrik özellikler ise enterpolasyon yapılarak belirlenmektedir. Bu nedenle çalışma sahası sadece girilmiş olan kesitler ve aralarında oluşturulan enterpolasyon ile tanımlanmaktadır. Bu ise iki kesit arasında bulunaabilecek değişim ve ayrıntıların modele yansıtılmasını engellenecektir. Özellikle topografyanın hızlı değiştiği yerler ve şehir merkezlerinde bu modeli kullanmak bazı handikaplara neden olacaktır.

Coupled model de ise nehir yatağı kesitler ile belirlenirken suyun yayıldığı taşkın yatağı 2 boyutta sayısal yükseklik modelinden üretilmiş hücresele ağ yapısı (mesh) ile temsil edilmektedir. Her hücre için yapılan taşkın ve kuruluk hesabı ile taşkın hücre hücre yayılımı gerçeğe yakın doğrulukla hesaplanabilmektedir. Topografyanın karmaşık olduğu alanlar ile yükseklik farkının çok sık değiştiği, ayrıntıların fazla olduğu şehir merkezi ve yerleşim alanlarında taşkın analizleri yapılırken coupled modellerin tercih edilmesi daha gerçekçi sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. 1 boyutlu model ve coupled model sonuçları kıyaslandığında da tarımsal arazilerde sonuçlar farklılık göstermezken yerleşim yerlerinde ayrıntının fazla olması nedeniyle taşkın yayılım alanında büyük farklılıklar meydana gelmektedir. Bu nedenle taşkın analizleri yapılmadan önce çalışma sahası ayrıntılı bir şekilde incelenerek uygulanacak model hakkında karar verilmesi çalışma doğruluğu açısından büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada ise coupled model ile yapılan analizler sonucunda şehirde 10 yıl ve üzeri dönüş aralıkları için taşkın hadisesinin meydana geldiği ve 500 yıl dönüş aralığına sahip bir taşkında 17,20 km²’ lik bir alanın taşkın altında kaldığı tespit edilmiştir. Toplamda 63 işyeri 475 konut 52 kamu binası, 422 umumi, 35 tarımsal olmak üzere toplam 1047 adet binanın taşkın riski altında olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmanın ikinci amacı ise farklı çözünürlüklere sahip sayısal yükseklik modellerinin taşkın analizi ve taşkın yayılım alanlarına etkisinin araştırılmasıdır. Coupled modellerde taşkın yatağını temsil eden hücresele ağ yapılarına (mesh) ait her bir hücrenin x ve y doğrultusundaki açıklıkları, o yükseklik modelinin çözünürlüğünü ifade etmektedir. Bu açıklıkların küçülmesi çözünürlüğün artmasına ve daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.

Bu amaçla çalışmada 5m, 10m ve 30 m çözünürlüklere sahip sayısal yükseklik modelleri kullanılarak taşkın yatağını temsil eden üç farklı hücresele ağ yapısı oluşturulmuştur. Bu üç farklı model aynı koşullar için taşkın analizlerine tabii tutulmuş ve sonuçlar kıyaslanmıştır. 30 m çözünürlüğe sahip modelde taşkın alanı diğer çözünürlüklere kıyasla daha büyük çıkmıştır. Bu fark sayısal yükseklik modelinin 30 m lik açıklıklara sahip hücrelerde yükseklik ortalamasının düşmesi

neticesi taşkın sularının ulaşamayacağı alanlara ulaşması sonucunda meydana gelmiştir. Taşkın sularının daha geniş alanlara ulaşması nedeniyle taşkın su derinliği olması gerekende daha düşük seviyede tespit edilmiştir. Tespit edilen bu sorunlar kullanılan altlıkların çözünürlük kalitesiyle ilgilidir. Türkiye’de taşkın risk haritalarının elde edilmesi amacıyla kullanılan en temel altlıklardan olan topografik haritalar için ülke genelini kapsayan en büyük ölçek 1/25000 dir. Bu ölçekte sağlanan ayrıntı düzeyi ve doğruluk birçok faaliyet açısından yeterli değildir. Bu haritaların tamamı sayısal olmakla birlikte çoğu alan için güncelliğini yitirmiştir. Temel girdi olan havza sınırları ve akarsu ağının bu altlıklar üzerinden elde edildiği düşünüldüğünde yapılacak analizlerin güncellik ve doğruluk sorunu nedeniyle sonuçlar etkilenmektedir. Doğruluk ve güncellik sorunu, arazi örtüsü ve arazi kullanımı, kadastral durum gibi taşkın analizlerini etkileyici alanlarda da geçerlidir. Bu sorun ve eksiklikler nehir ve taşkın yatağı ile havza karakteristiğinin doğruluğunu, taşkın simülasyon modelinin seçimini, doğru senaryolar geliştirilmesini ve neticede de üretilecek taşkın risk haritalarının güvenilirliğini etkilemektedir. Taşkın risk yönetimi ve taşkın risk haritalama çalışmaları için verilere anlık erişim, güncel ve doğru veriye erişiliyorsa sağlıklı sonuç verecektir. Dolayısıyla veri paylaşımının yanında verinin elde edilmesinin de hızlı, ekonomik ve güvenilir bir yöntem ile gerçekleştirilmesi gerekmektedir. LİDAR, hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri elde edilen verilerin doğruluğunun gün geçtikçe arttığı göz önünde bulundurulursa taşkın risk yönetimi için gerekli sayısal yükseklik modellerinin önemli bir bölümünün bu teknolojiler kullanılarak elde edilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla ülkemizde de gerek kurumsal, gerekse akademik ve teknik düzeyde yapılacak olan taşkın risk yönetim ve haritalama çalışmalarında konunun bu boyutunun mutlaka dikkate alınması ve olanakların ve sağlanabilecek katkıların belirlenmesi ve vurgulanması gerekmektedir.

Taşkın riskinin belirlenmesi, yönetimi ve meydana getireceği zararın giderilmesi çok kapsamlı ve zor bir süreç olmakla birlikte, mevcut şartlar kullanılarak asgari doğruluk düzeyinde olsa da tüm risk bölgeleri için taşkın risk haritaları üretilmelidir. Yağış ve akış gözlem sistemleri ile taşkın tahmin sistemleri kurularak gerekli ölçüm, hesaplama, analiz, uyarı ve izleme çalışmaları yapılmalıdır.

Taşkını tetikleyen gelişimini etkileyen ve etkisini artıran unsurlar ve parametreler belirlenmelidir. Bu faktörler göz önüne alınarak belirlenen senaryolara göre yapılacak önleme, müdahale ve kurtarma planları hazırlanmalıdır.

Tüm bölgeler için taşkın önleme kurtarma çalışmalarının yanı sıra taşkın risk sigortalama işlemlerinde de kullanılacak taşkın risk zonlarının belirlenmesi ve bu doğrultuda taşkın risk yönetim ve acil durum planlarının hazırlanması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] JEB, D. N. ve AGGARWAL P., Flood Inundation Hazard Modelling of the River Kaduna Using Remote Sensing and Geographic Information Systems, Journal of Applied Sciences Research, 4, 12, 1822-1833, 2008.
- [2] SHAMAOMA, H., Extraction of Flood Risk-related Base-Data from Multi-Source Remote Sensing Imagery, Yüksek Lisans Tezi, Internatinnal Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Hollanda, 2005.
- [3] UNDP, United Nations Development Program, Reducing Disaster Risk, A Challenge for Development, New York, USA, 2004.
- [4] BERZ, G., Flood Disasters: Lessons from the Past – Worries for The Future. Geosciences Research Group, Munich Reinsurance Company, D-80791, Almany, 1999.
- [5] KATAYAMA, T., International Decade for Natural Disaster Reduction: Working Against Time, UNU University Lectures (Tokyo: The United Nations University), 1994.
- [6] URL-1, www.worldnewsco.com, Erişim Tarihi : 30 Mayıs 2012.
- [7] GUHA-SAPIR, D., HARGITT, D. ve HOYOIS, P., Thirty Years of Natural Disasters 1974-2003: The Numbers, Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), Presses Universitaires De Louvain, Belgium, 2004.
- [8] TSCHOEGL, L., BELOW, D. ve GUHA-SAPIR, D., An Analytical Review of Selected Data Sets on Natural Disasters and Impacts, UNDP/CRED Workshop on Improving Compilation of Reliable Data on Disaster Occurrence and Impact, April 2-4, Bangkok-Tailand, 2006.
- [9] WMO, Reducing Vulnerability to Weather and Climate Extremes, No 936, Geneva, Switzerland, 2002.
- [10] EEA, Sustainable Water Use in Europe. Part 3: Extreme Hydrological Events: Floods and Droughts, European Environment Agency, Environmental Issue Report No.21, Copenhagen, 2001.

- [11] ANON, Türkiye Ulusal Meteorolojik ve Hidrolojik Afetler Programı (TUMEHAP), Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği, Ankara, 2003.
- [12] WMO/GWP, Associated Program on Flood Management, Urban Flood Risk Management-A Tool for Integrated Flood Management, APFM Technical Document No. 11, Flood Management Tool Series, 2008.
- [13] DOSWELL, III C. A., BROOKS H. E. VE MADDOX R. A., Flash Flood Forecasting: An Ingredients-Based Methodology, Weather and Forecasting, 11, 560-581, 1996.
- [14] HANKİN, B., WALLER, S., ASTLE, G. VE KELLAGHER, R., Mapping Space For Water: Screening For Urban Flash Flooding, J. Flood Risk Manage., 1, 13–22, 2008.
- [15] MOORE, J.T., S.M. NOLAN, F.H. GLASS, FERRY D.L. VE ROCHETTE S.M., Flash Flood-Producing High-Precipitation Supercells in Missouri. Preprints, 14th Conf. Wea. Analysis and Forecasting Amer. Meteor. Soc., (J4)7-12, 1995.
- [16] URL-2, <http://library.thinkquest.org/03oct/02054/floodtype>, Erişim Tarihi : 29 Mayıs 2012.
- [17] EREN, Y., Su Taşkınları, Ders Notları, Selçuk Üniversitesi, 2007.
- [18] ARENAL, I. M., PARRADO R. P., GARCÍA I. S., CONCEPCIÓN O. G., PÉREZ M. B., ALLEN Y. J., PADRÓN P. B., HERNÁNDEZ A. L. P. VE OTERO C. R., The Coastal Floods In The Cuban Territory, The Most Sensitive Areas And The Possible Impact Of The Climate Change, Institute of Meteorology, Küba, 1998.
- [19] URL-4, <http://www.biriyilik.com/sanat/resim-sanat/japonya-tsunami-resimleri-mart-2011-43589.html/attachment/japonya-tsunami-2011-12>, Erişim Tarihi : 30 Mayıs.2011.
- [20] KOURGIALAS, N.N. ve KARATZAS G. P., Flood Management and A GIS Modelling Method to Assess Flood-Hazard Areas—A Case Study, Hydrological Sciences Journal, 56, 2, 2010.
- [21] URL-3, www.floodsite.net/juniorfloodsite/html/en/student/thingstoknow/hydrology/flashfloods.html, Erişim Tarihi : 29 Mayıs 2012
- [22] EXCIMAP, Handbook On Good Practices For Flood Mapping In Europe, Endorsed by Water Directors, November, Hollanda, 2007.
- [23] SNEAD, D.B., Development and Application of Unsteady Flow Models Using Geographic Information Systems, Departmental Report, Master of Science in Engineering, The University, 2000.

- [24] MOORE, I., D., GRAYSON, R.B., LADSON, A.R., Digital Terrain Modeling: A Review of Hydrological, Geomorphological and Biological Applications, *Hydrological Processes* 5 (1): 3-30, 1991.
- [25] USACE (US Army Corps Engineers), HEC-RAS River Analysis System, User's Manual, Davis, USA, 2002.
- [26] MAIDMENT, D., DJOKIC, D., *Hydrologic and Hydraulic Modelling Support with GIS*, ESRI Press, USA, 2000.
- [27] JOHNSON, R.R., An Investigation of Curve Number Applicability to Watersheds in Excess of 25000 Hectares (250 km²), *Journal of Environmental Hydrology*, Vol.6, 1998.
- [28] MCLIN, S.G., SPRINGER, E.P., LANE, L.J., Predicting Floodplain Boundary Changes Following the Cerro Grande Wildfire, *Hydrological Processes*, 15: 2967–2980, 2001.
- [29] TATE E.C., MAIDMENT D.R., OLIVERA F., ANDERSON D.J., Creating a Terrain Model for Floodplain Mapping, *Journal of Hydrologic Engineering*, 7: 100-108, 2002.
- [30] AGGETT, G.R., WILSON, J.P., Creating and Coupling a High-Resolution DTM with a 1-D Hydraulic Model in a GIS for Scenario-Based Assessment of Avulsion Hazard in a Gravel-Bed River, *Geomorphology*, 113: 21-34 2009.
- [31] VILLARINI, G., SMITH, J. A., BAECK, M. L., KRAJEWSKI W. F., Radar analyses of extreme rainfall and flooding in urban drainage basins, *Journal of Hydrology*, 381, 266-286, 2009.
- [32] VILLARINI, G., SMITH, J. A., SERINALDI, F., BALES, J., BATES, P. D., KRAJEWSKI, W.F., Flood Frequency Analysis For Nonstationary Annual Peak Records In An Urban Drainage Basin , 2009.
- [33] KRAJEWSKI, W.F., SMITH, J.A., Radar hydrology: rainfall estimation, *Advances in Water Resources*, 25, 1387-1394, 2002.
- [34] COOK A., MERWADE, V., Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping, *Journal of Hydrology*, 377,131-142, 2009.
- [35] GÜMRÜKÇÜOĞLU, M., GOODİN, D.G. ve MARTİN, C.: Landuse Change in Upper Kansas River Floodplain: Following the 1993 Flood, *Natural Hazards*, DOI 10.1007/s11069-010-9540-7, 2010.

- [36] YAZICILAR, F., ÖNDER, H., Taşkın Yatakları Planlamasında HEC-RAS Bilgisayar Programı ile Su Yüzü Profili Hesaplanması-Bartın Nehrinde Bir Uygulama, Su Mühendisliği Problemleri Semineri (V), Fethiye, Muğla, 1998.
- [37] BAGA, İ., USUL, N., SORMAN, Ü., Application of MIKE 11 Model on Çayboğazı Basin in Turkey, DHI Third User Conference, Denmark, 1999.
- [38] ONUŞLUEL, G., Floodplain Management Based On The HEC-RAS Modeling System, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2005.
- [39] USUL, N. ve TURAN, B., Flood Forecasting and Analysis within the Ulus Basin, Turkey, Using Geographic Information Systems, Natural Hazards, 39, 213-229, 2006.
- [40] ÖZDEMİR, H., Taşkınların Haritalanmasında Hec-Georas ve Hec-ras'ın Kullanımı: Havran çayı örneği (Balıkesir), TMMOB Harita Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 30 Ekim-02 Kasım 2007, KTÜ, Trabzon, 2007.
- [41] DEMİRKESEN, A. C., Multi-risk interpretation of natural hazards for settlements of the Hatay province in the East Mediterranean region, Turkey using SRTM DEM, Environmental Earth Sciences, 65, 1895-1907, 2012.
- [42] SAF, B., Regional flood frequency analysis using L moments for the Buyuk and Kucuk Menderes River basins of Turkey, Journal of Hydrologic Engineering, 14, 783-794, 2009.
- [43] TOPALOĞLU, F., YÜCEL, A., TÜLÜCÜ, K. ve ÇETİN, M., Anlık Maksimum Akım Miktarlarının Taşkın Frekans Analizinde Kullanılması, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23(1), 187-192, 1999.
- [44] TEMİZ, N., AKSOY, H., ERCANOĞLU, M., Batı Karadeniz Bölgesi'nde Potansiyel Taşkın Alanlarının Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma, Türkiye Jeoloji Bülteni, Cilt 47, Sayı 2, 2004.
- [45] ÖZDEMİR, H., Havran Çayı'nın (Balıkesir) Taşkın Sıklık Analizinde Gumbel ve Log Pearson Tip III Dağılımlarının Karşılaştırılması, Coğrafi Bilimler Dergisi, 6(1), 41-52, 2008.
- [46] DEMİRKESEN, A.C., EVRENDİLEK, F., BERBEROĞLU, S. ve KILIÇ, S., Coastal Flood Risk Analysis Using Landsat-7 ETM+ Imagery and SRTM DEM: A Case Study of Izmir, Turkey, Environmental Monitoring and Assessment, 131, 293-300, 2007.

- [47] GÜL, G.O., HARMANCIOĞLU, N., VE GÜL, A., A Combined Hydrologic and Hydraulic Modeling Approach for Testing Efficiency of Structural Flood Control Measures, *Natural Hazards*, DOI 10.1007/s11069-009-9464-2, 2009.
- [48] KALEYCI, H., Değirmendere Havzası'nda Taşkın Frekans Analizi ve Taşkın Sularının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 38, 39, 2004.
- [49] AKAR, I., MAKTAV, D., KALKAN, K., OZDEMİR, Y., "Determination of Land Use Effects on Flood Risk by Using Integration of GIS and Remote Sensing", *RAST 2009: Proceedings of the 4th International Conference on Recent Advances In Space Technologies*, 23-26, 2009.
- [50] GERASSIMOV, S., BOJLOVA, E., River basin management, Bulgarian case study, *Physics and Chemistry of the Earth*, 33, 395-402, 2008.
- [51] ARTINYAN, E., HABETS, FL., Operational hydrological forecasting system for the management of reservoir cascade on the Arda River in Bulgaria, *Third International Conference on Water Observation and Information System*, 2008.
- [52] ANGELIDIS, P., KOTSIKAS, M., KOTSOVINOS, N., Management of Upstream Dams and Flood Protection of the Transboundary River Evros/Maritza, *Water Resources Management*, 24, 2467-2484, 2010.
- [53] VOJINOVIC Z., TUTULIC D., On the use of 1D and coupled 1D-2D modelling approaches for assessment of flood damage in urban areas, *Urban Water Journal*, 6, 183-199, 2009.
- [54] HUNG, N. N., DELGADO, J. M., TRÍ, V. K., HUNG, L. M., MERZ, B., B'ARDOSSY, A. AND APEL, H., Floodplain hydrology of the Mekong Delta, Vietnam, *Hydrological Processes*, 6, 674-686, 2012.
- [55] KARMAKAR, S., SIMONOVIC, S. P., PECK, A., BLACK, J.: An information system for risk-vulnerability assessment to flood, *Journal of Geographic Information System*, 2, 129-146, 2010.
- [56] BIRKHEAD, A.L., JAMES, C.S. ve KLEYNHANS, M.T., Hydrological and Hydraulic Modelling of the Nyl River Floodplain Part 2: Modelling Hydraulic Behaviour, *Water SA*, 33(1), 9-20, 2007.
- [57] AMINI, J., A Method for Generating Floodplain Maps Using IKONOS Images and DEMs, *International Journal of Remote Sensing*, 31(9), 2441-2456, 2010.

- [58] LUDLOW, C.D., Flood Modeling in a Data-Poor Region: A Satellite Data-Supported Flood Model for Accra, Gana, The Faculty of The Columbian College of Arts and Sciences Of the George Washington University in partial satisfaction Of the requirement for the degree of Master of the Arts, University of Sussex, 2009.
- [59] CHUAN, T. ve JING, Z., Torrent Risk Zonation in The Upstream Red River Basin Based on GIS, Journal of Geographical Sciences, 16(4), 479-486, 2006.
- [60] GUTRY-KORYCKA, M., MAGNUSZEWSKI, A., SUCHOZBRSKI, J., JAWORSKI, W., MARCINKOWSKI, M., SZYDLOWSKI, M., Numerical Estimation of Flood Zones in the Vistula River Valley, Warsaw, Poland, Climate Variability and Change - Hydrological Impacts, IAHS Publication, 308: 191-195, 2006.
- [61] BALABANOVA, S., KOSHINCHANOV, G., DIMITROV, D., GIS Tools and Hydraulic Modeling Usage in Flood Simulation Via DHI Mike 11 Platform (On the Example of Novi Iskar Area), Edirne Taşkın Konferansı, 143-152 2008.
- [62] SOLAIMANI, K., Flood Forecasting Based on Geographical Information System, African Journal of Agricultural Research, 4 (10): 950-956, 2009.
- [63] BATES, P.D., DE ROO. A.P.J, A Simple Raster-Based Model For Flood Inundation Simulation. Journal of Hydrology,54-77, 2000.
- [64] CUNGE, J. A., HOLLY F. M., VERWEY A., Practical Aspects of Computational River Hydraulics. London: Pitman Publishing Limited, 1980.
- [65] HEC., HEC-RAS 4.0 Hydraulic Reference Manual., Hydrologic Engineering Center Website. Erişim Tarihi : 30 Mayıs 2012
- [66] DHI. MIKE 11 Reference Manual. MIKE by DHI, 2009.
- [67] HUNTER, N. M., BATES, P.D., HORRITT, M.S., WILSON, M.D., Simple spatially-distributed models for predicting flood inundation: A review, Geomorphology, 208-225, 2007.
- [68] LAI, YONG G. Two-Dimensional Depth-Averaged Flow Modeling with an Unstructured Hybrid Mesh. Denver: Bureau of Reclamation Sedimentation and River Hydraulics Group, 2009.
- [69] SYME, W.J., PINNELL M.G., WICKS, J.M., Modelling Flood Inundation of Urban Area in the UK Using 2D / 1D Hydraulic Models, Proceedings of the 8th National Conference on Hydraulics in Water Engineering, The Institution of Engineers, Australia, 2004.

- [70] HORRITT, M.S., BATES P.D., Effects of Spatial Resolution on A Raster Based Model of Flood Flow, *Journal of Hydrology*: 239-249, 2001.
- [71] FRANK, E.A., OSTAN, A., COCCATO, M., STELLING, G.S., Use Of An Integrated One-Dimensional/ Two-Dimensional Hydraulic Modeling Approach For Flood Hazard and Risk Mapping. In *River Basin Management*, by R.A. Falconer and W.R. Blain, 99-108. Southhampton, UK: WIT Press, 2001.
- [72] SYME, W.J., M.G. PINNELL, AND J.M. WICKS., Modelling Flood Inundation of Urban Area in the UK Using 2D / 1D Hydraulic Models. *Proceedings of the 8th National Conference on Hydraulics in Water Engineering*, The Institution of Engineers, Australia, 2004.
- [73] EXCIMAP, Handbook On Good Practices For Flood Mapping In Europe, Endorsed by Water Directors, November, Hollanda, 2007.
- [74] BALABANOVA, S. ve VASSİLEV V., Creation of Flood Hazard Maps, BALWOIS, Makedonya, 2010.
- [75] FEMA, Risk Mapping, Assessment, and Planning (Risk MAP) Multi-Year Plan: Fiscal Years 2010-2014, Fiscal Year 2009 Report to Congress, 2009.
- [76] GÜNDÜZ, İ., “Türkiye”de Afet Yönetimi Uygulaması ve Yeni Bir Model Önerisi”, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 2008.
- [77] VANNEUVILLE ,W., DE ROUCK K., MAEGHE K., DESCHAMPS M., DE MAEYER PH. ve MOSTAERT F., Spatial Calculation of Flood Damage and Risk Ranking, In: *Conference Proceedings of Agile2005, 8th Conference on Geographic Information Science*, 549–556, 2005.
- [78] FABER, R., Flood Risk Analysis: Residual Risks And Uncertainties In An Austrian Context, *University of Natural Resources and Applied Life Sciences*, Viyana, 2006.
- [79] SANE, M. VE HUOKUNA M., Procedure For Identifying Automatically Possible Flood Risk Areas, *Thematic Workshop on Flood Mapping*, Eylül, Dublin, 2008.
- [80] STRUBBE, J. MOSTAERT K. VE MAEGHE K., Flood Management In Flanders with Special Focus on Navigable Waterways, *Third International Symposium on Floods Defense*, Mayıs, Hollanda, 2005.
- [81] SEPA, Flood Risk Assessment Strategy, SEPA Policy No 22, Version 1, 1998.
- [82] FUCHS, S., SPACHINGER K., DORNER W., ROCHMAN J. ve SERRHINI K., Evaluating Cartographic Design in Flood Risk Mapping, *Environmental Hazards*, 8 ,52–70, 2009.

- [83] ŐEN, Z., Taşkın Afet ve Modern Hesaplama Yöntemleri, 2009.
- [84] ÖNÖZ, B., BEYAZIT, M., Taşkın ve Kuraklık Hidrolojisi, 2008.
- [85] AYDIN, A., Büyük Menderes Nehri Sağ Sahil Derelerindeki Sel Kontrol Çalışmalarının İrdelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

Osman SÖNMEZ, 26.05.1985 de Ankara' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ankara'da tamamladı. 2003 yılında Cumhuriyet Anadolu Lisesinden mezun oldu. 2003 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünü 2007 yılında bitirdi. 2007 yılında Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünde Y.Lisansa başladı ve 2010 yılında mezun oldu. 2007-2009 yılları arasında Adapazarı Belediyesinde mühendis olarak çalıştı. 2009 yılı içerisinde Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünde Arş.Gör. olarak göreve başladı. 2010 yılında aynı bölümde doktora çalışmasına başladı. 2012-2013 yılları arasında (13 ay), University of Iowa bünyesindeki Iowa Flood Center'da doktora tez araştırmasını tamamladı. Osman SÖNMEZ evli olup, İngilizce bilmektedir.