Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi
30 Ekim –02 Kasım 2007, KTÜ, Trabzon

TAŞKINLARIN HARİTALANMASINDA HEC-GeoRAS ve HEC-RAS'IN KULLANIMI: HAVRAN ÇAYI ÖRNEĞİ (BALIKESİR)

Hasan ÖZDEMİR*

*İstanbul Üniversitesi, Edeb. Fak., Coğrafya Bölümü, Fiziki Coğrafya Anabilim Dalı, Laleli-İstanbul. ozdemirh@istanbul.edu.tr

ÖZET

Havran Çayı üzerinde geçmiş dönemlerde bir çok kez taşkınlar meydana gelmiştir. Bu taşkınları önleme ve azaltma amacıyla Havran Çayı yatağı üzerinde bazı çalışmalar yapılmış olup, Havran Barajı inşaatı da bunlardan bir tanesidir. Havran ilçe merkezi ve ovası için CBS ve Hidrolik yazılımlarla olası taşkınların hidrolik modellemesi ve taşkın haritalarını üretmek bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Çalışmada veri kaynaklarını 1:25000 ölçekli topografya haritaları, Havran Çayı yatağına ait GPS verileri, yatak içi geometrik veriler, Quickbird uydu görüntüsü, Havran Çayı'na katılan yan kollara ait akım verileri ve Havran Barajı'na ait teknik özellikler oluşturmaktadır. Bu veriler, ArcGIS uzantısı olan HEC-GeoRAS yazılımı ve hidrolik yazılım olan HEC-RAS kullanılmak suretiyle değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, farklı senaryolara bağlı olarak taşkın haritalamaları yapılmıştır. Çalışmada kullanılan verilerin hassasiyeti ve fazlalığı oranında sonuç haritaların doğruluğunu etkilediği ortaya çıkmıştır. Risk yönetimi açısından mekansal planlamalardaki önemi vurgulanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Taşkın haritalaması, HEC-GeoRAS, HEC-RAS, Geometrik Veri, Havran Çayı

ABSTRACT

FLOODPLAIN MAPPING USING HEC-GeoRAS and HEC-RAS: A CASE STUDY OF HAVRAN RIVER (BALIKESIR)

Havran River had so many floods in the past. To prevent and mitigate of the flood effects, some prevention measures, one of them is Havran Dam construction, have been done on the river. Hydraulic modeling and floodplain mapping for Havran settlement and plain using Geographic Information Systems (GIS) and Hydraulic software are the main goal in the studyl. Topographic contours, scaled 1:25000, GPS measurements and geometric data of river channel, Quickbird satellite images, discharge data of main river and tributaries and technical information of Havran Dam have been used in the study. All these types of data have been processed using HEC-GeoRAS (in ArcGIS) and HEC-RAS software. Finally, floodplain mapping has been done using different scenarios. In addition, the result has been mentioned that precision and quantity of data affects to model and also the importance of floodplain mapping in the risk management has been emphasized.

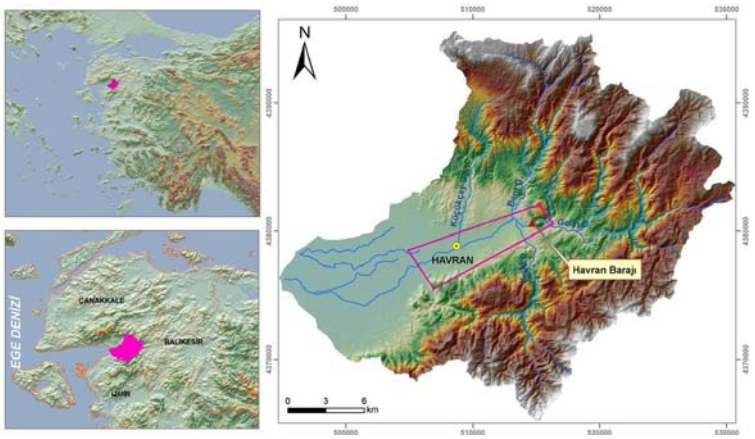
Keywords: Floodplain mapping, HEC-GeoRAS, HEC-RAS, Geometric Data, Havran River.

1. GİRİŞ

Taşkınlar birçok bölge ve ülkede insanların ekonomik ve sosyal hayatını etkileyen önemli doğal afetlerden birisidir. 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 kullanmak üzere mekansal verilerin üretilmesidir (Snead, 2000). Özellikle CBS teknolojilerindeki ilerleme ve sayısal yükseklik modellerindeki kalite arttırımlarıyla birçok hidrolojik, hidrolik, su kaynakları ve çevre ile ilgili araştırmalarda uygulamalar artmıştır (Moore vd., 1991).

CBS ile hidrolojik ve hidrolik modellemelerine ait yazılımların entegrasyonu bir çok amaç için gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birisi olan HEC-GeoRAS, ArcGIS CBS yazılımı içerisinde bir uzantı olup mekansal 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 (USACE, 2002). CBS'nin kullanımıyla akarsu sistemlerine ait hidrolik modellemeler daha kolaylaştırılmıştır. Verilerin hazırlanması, modellerin yorumlanması gibi zaman alan öğeler CBS ile daha basitleştirilmiştir (Maidment ve Djokic, 2000). Böylece CBS ve hidrolik yazılımlarla yapılan taşkın modellemeleriyle, olası taşkınlara ait su yüzeylerinin dağılış alanları, bunlara ait hacim ve derinlik hesaplamaları yapılabilmektedir.

Çalışmada CBS ve hidrolik yazılımların entegrasyonu ile üretilen taşkın haritalaması Havran Çayı'na uygulanmıştır. Havran Çayı, Balıkesir iline bağlı Havran ilçesi sınırları içinde kabaca doğu-batı doğrultusunda akış gösteren, İnboğazı mevkiinden itibaren yaklaşık 22 km uzunluğunda ova düzlüğünü katederek Edremit Körfezine ulaşır (Şekil 1).



Şekil 1: Çalışma alanının lokasyonu

Çalışmada baraj yapımı çalışmalarının olduğu İnboğazı mevkiinden sonraki 9 km uzunluğundaki kısmın taşkın haritalaması yapılmıştır.

Havran Çayı, kuzey ve güneyden yan derelerle beslenir. Bunlar kuzeyde Küçükçay, Karahayıt, Bent, Pınar, Değirmen ve Ağıl dereleri, güneyde ise Tosun, Kabaklık, Kışla, Değirmen ve Kızıklı dereleridir. Alanda akım ölçen Akarsu Gözlem İstasyonu (AGİ) sadece Havran Çayı'nın yukarı kolu olan Gelin Deresi üzerinde yer almaktadır. Baraj yapımı çalışmalarından dolayı 2003 te kapatılmıştır (Şekil 1).

Havran Çayı üzerinde 1528, 1904, 1958, 1964, 1968, 1980 ve 1981 tarihlerinde taşkınlar meydana gelmiştir (Yetkin, 1957; Akdağ, 1975; DSİ, 1988; Özdemir, 1998). Bu taşkınlardan 1981 taşkını, 25 Aralık tarihinde meydana gelmiş olup sahadaki tahribatı bakımından en fazla etkiye sahip olanıdır. Bu taşkında 1 kişi hayatını kaybetmiş, Havran köprüsü yıkılmış, yüzlerce hayvan ve 6485 hektar tarım alanı taşkından zarar görmüştür. Meydana gelen taşkınlardan Havran yerleşmesi ve ovadaki tarım alanlarını korumak ve aynı zamanda tarım alanlarını sulama amacıyla Havran Barajı inşaatı çalışmalarına 1995 yılında başlanmış olup tamamlanma aşamasına gelinmiştir.

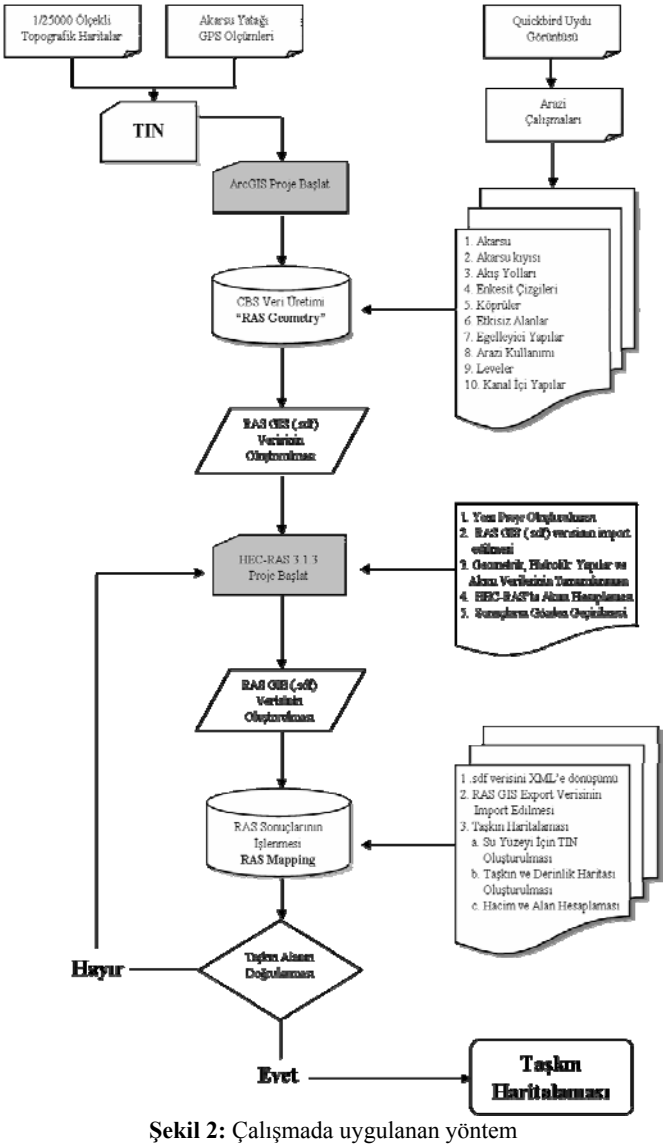
2. VERİ ve YÖNTEM

Çalışmada veri kaynaklarını 1:25000 ölçekli topografik veriler, Havran Çayı yatağına ait GPS ölçümleri, Quickbird uydu görüntüsü ve arazi çalışmaları oluşturmaktadır. Veriler ArcGIS CBS yazılımı uzantısı olan HEC-GeoRAS ve HEC-RAS yazılımları kullanılmak suretiyle değerlendirilmiştir. Çalışmada uygulanan yöntemin akış şeması Şekil 2'de verilmiştir.

Çalışma alanına ait yüksek çözünürlüklü Sayısal Arazi Modelinin (SAM) olmamasından dolayı, çalışma aşamalarını 4 ana başlık altında toplanmıştır. Bunlar; Düzensiz Üçgen Ağı'nın (TIN) üretimi, HEC-GeoRAS programı içinde yapılan işlemler, HEC-RAS taki işlemler ve taşkın haritalarının üretilmesidir.

Taşkın haritalamasında en önemli aşamalardan birisini yüksek çözünürlüklü SAM'ın üretilmesi oluşturmaktadır (Blomgren, 1999; Sugumaran vd., 2000; Maidment ve Djokic, 2000; National Research Council, 2007). Bunun için çalışmada geometrik verilerden çizgisel katmanların en iyi yansıtıldığı TIN modeli kullanılmıştır (USACE, 2005). TIN, mevcut 1:25000 öçekli topografik haritalardaki 5-10 m eşyükselti eğrilerine ait nokta verilerle Havran Çayı yatağında toplamda 1089 adet GPS nokta verilerisinin enterpolasyonu ile üretilmiştir.

HEC-GeoRAS ta taşkın haritalamasında esas olacak geometrik verilerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Bunların oluşturulmasında Quickbird uydu görüntüsü ve arazi çalışmalarından faydalanılmıştır. Geometrik verilere ait veri tamamlaması ve akarsulara ait akım verileri HEC-RAS hidrolik yazılımı içerisinde tamamlanmıştır.



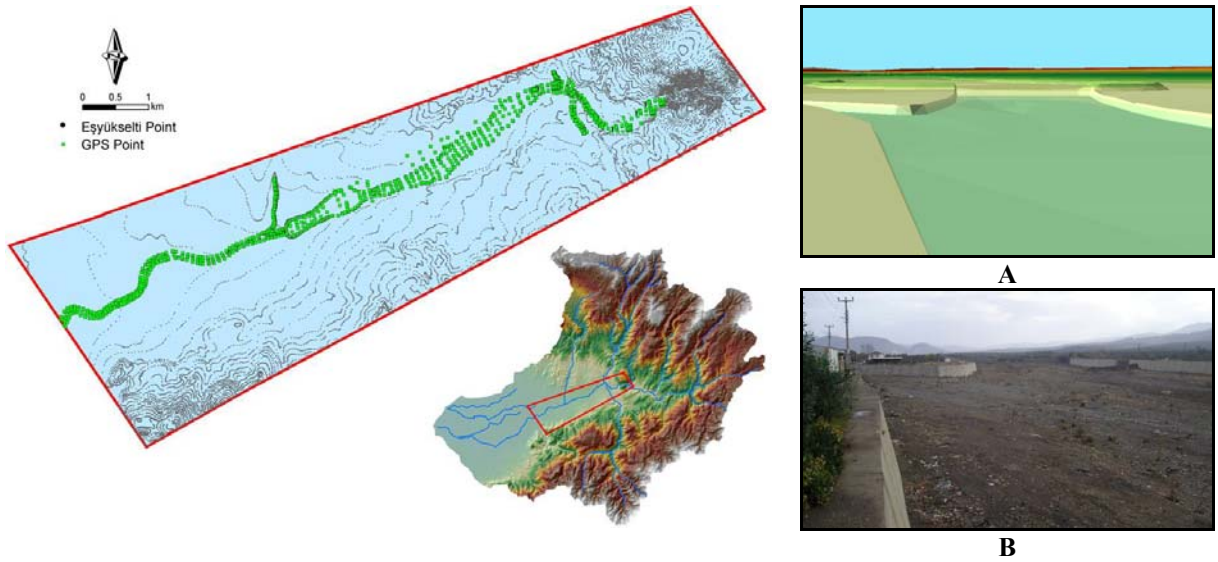
Şekil 2: Çalışmada uygulanan yöntem

Akarsulara ait akım verileri olarak Havran Çayı yukarı kolu üzerinde bulunan Akarsu Gözlem İstasyonu (AGİ) verileri ve bu istasyondan sonra ana kola katılan akarsular için yapılan yağı-akış modelleriyle üretilen akım miktarı kullanılmıştır (Özdemir, 2007). 30 yıllık akım verilerinin kullanıldığı çalışmada, Havran Çayı'nın 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 1000 yıllık taşkın tekrarlama sıklıkları hesaplanmıştır. Bunun için Gumbel (EVI) ve Log Pearson Type 3 dağılımları kullanılmıştır (Özdemir, 2007). Havran Çayı üzerinde baraj yapımı tamamlandıktan sonra, bu koldan gelecek akarsu akım miktarı normal su kotunda dip savak deşarjı olan 13.4 m^3/s olarak değerlendirmeye katılmıştır. Yapılan modellemeler HEC-GeoRAS'a aktarılarak taşkınlara ait haritalalar üretilmiştir.

3. GEOMETRİK VERİLERİN OLUŞTURULMASI

Akarsulara ait hidrolik modellemelerin yapılabilmesi için akarsu yataklarına ait geometrik verilere ihtiyaç vardır. Bu veriler genel olarak akarsu sistemlerinin bağlantısını kurulması, yatak enkesitleri, bağlantı noktalarının tanımlanması, hidrolik yapılara ait veriler (köprü, bent ve kulvert gibi) ve enkesit enterpolasyonlarından meydana gelmektedir. Çalışmada kullanılan geometrik veriler ise akarsular, akarsu kıyısı, akış yolları, enkesitler, köprüler, etkisiz alanlar, akışı engelleyici yapılar, yapay leveler, kanal içi yapılar ve arazi kullanımıdır. Daha öncede belirtildiği gibi, Havran Çayı'na ait bu geometrik veriler sadece 9 km lik kısma ait verilerdir.

Geometrik verilerin oluşturulmasında altlık veri olarak TIN modelinin oluşturulması öncelikle gerçekleştirilmiştir. Yatak içinde ölçülen GPS verileri yatak dışında ise eşyükselti eğrilerine ait noktaların kullanılmasıyla üretilen TIN modeli, yatak içinde daha hassas yatak dışında ise 1:25000 ölçekli haritaların hassasiyetindedir (Şekil 3). Fakat buna rağmen akarsu yatağı içinde özellikle örgülü mecra gösteren Havran yerleşmesine kadarki olan kısımda, yatak içinde gerek doğal gerekse yapay olarak bulunan döküntü ve malzemeler üretilen TIN modeline yansıtalamamıştır.



Şekil 3: TIN modeli üretiminde kullanılan nokta veriler, A) Üretilen TIN modeline ait görüntü B) Aynı lokasyonu gösterir fotoğraf.

TIN üretiminden sonra modellemesi yapılacak alan içindeki geometrik verilerin sayısallaştırılması ve veri giriş işlemleri yapılmıştır (Şekil 4). Bu verilerin sayısallaştırılmasında TIN modeli, Quickbird uydu görüntüsü, arazi ölçüm ve gözlemlerinden faydalanılmıştır. Geometrik verilerin sayısallaştırılmasında ve veri girilmesinde dikkat edilen bazı özellikler şu şekildedir;

- Akarsular, akarsu kıyıları ve akış yolları akarsuyun akış yönüne doğru sayısallaştırılmıştır.
- Akış yollarının tanımlamaları yapılmıştır (sağ, sol ve merkez gibi).
- Yatak enkesit çizgileri akarsu akış yönüne doğru sol kıyıdan sağ kıyıya doğru sayısallaştırılmıştır.
- Enkesit çizgileri akarsuyu ve akış yollarını bir kez kesmiştir ve iki çizgi birbiriyle kesiştirilmemiştir.
- Arazi kullanım katmanı Quickbird ve 2006 arazi çalışmalarıyla oluşturulmuştur. Bu katmanda yer alan türlere hidrolik olarak akıma karşı sergilediği davranışın bir göstergesi olarak kabul edilen Manning's N değeri atanmıştır (Chow, 1959; USDA, 1963; Fleckkenstein, 1998). Çalışmada akarsu yatağı farklı kesimlerinde farklı özellikler gösterdiği için 4 kısımda ele alınmıştır (Tablo 1).
- Kanal içi yapılar olarak Havran Çayı üzerinde İnboğazı mevkiinde inşaatı halen devam eden Havran Barajı alınmıştır (Foto 1).
- Akarsu yatağı içinde yer alan bazı yükseltiler suyun akışını engelleyebilecek yapılar olarak gösterilmiştir (Şekil 4 ve Foto 2). Bu yapılar, Bent ve Kışla Dereleri Havran Çayına katıldığı alanda bulunan eski yapı kalıntısına ait yükselti ile, yatak içerisinde bulunan kum ocağına ait tepeciktir.

Arazi Kullanım Türleri	Manning's N
Ağaçlık Alanlar	0.150
Kullanılmayan Boş Alanlar	0.070
Çöp Döküm Sahası	0.025
Fıstık Çamı	0.060
Meyve Bahçesi	0.060
Tarım Alanı (Nadas)	0.030
Tarım Alanı (Ekili-Dikili)	0.040
Park Alanları	0.027
Sanayi Alanları	0.050
Yollar	0.027
Yerleşim Alanları	0.038
Maki Bitki Örtüsü	0.025
Zeytinlik	0.060
Akarsu Yatağı1	0.050
Akarsu Yatağı2	0.017
Akarsu Yatağı3	0.040
Akarsu Yatağı4	0.048

Tablo 1: Model için taşkın yatağı ve akarsu yatakları için kullanılan Manning's N değerleri.



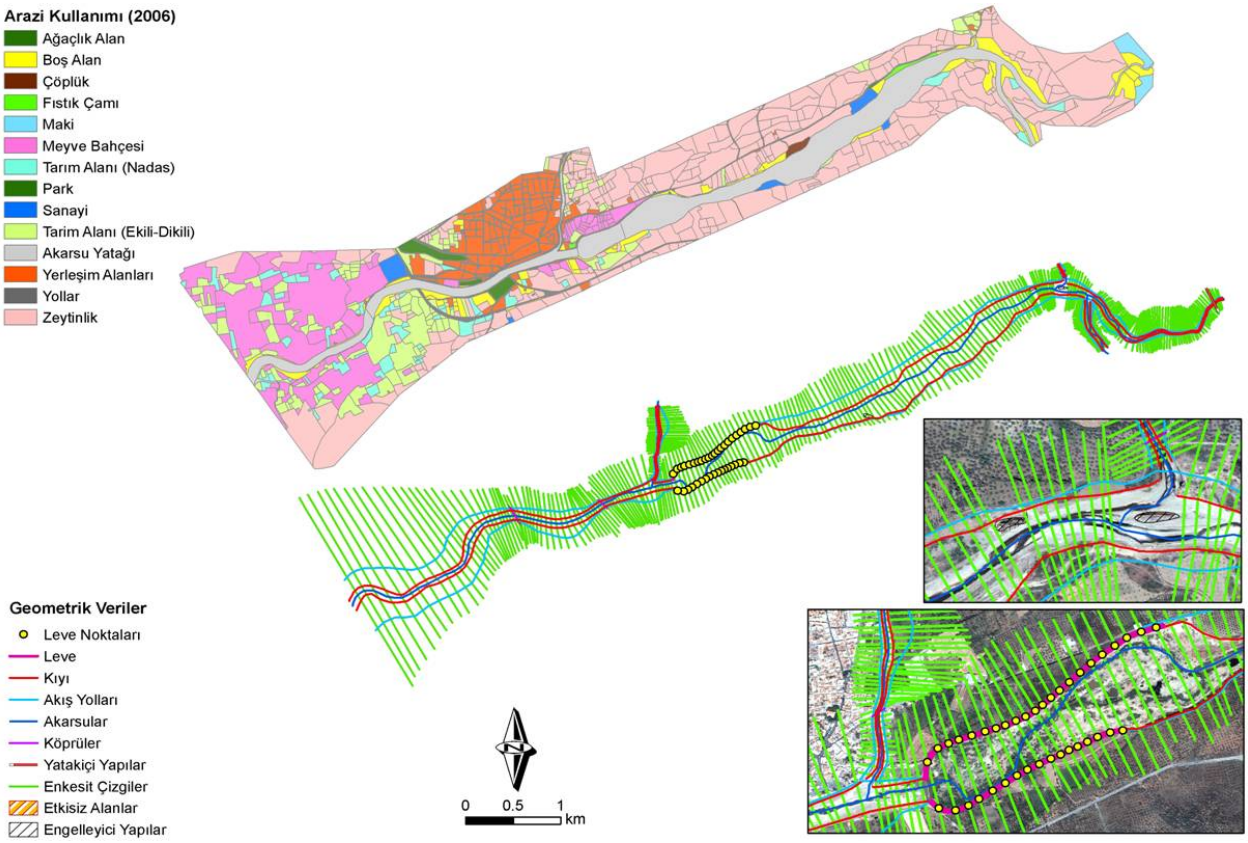
Foto 1: Kanaliçi yapı.





Foto 2: Engelleyici yapılar.

- Eski taşkınların etkisini ve dağılışını engellemek için Havran yerleşmesi doğusunda, akarsu yatağı, sağ ve sol kenarından setler yapılarak sınırlandırılmıştır. Yatak içi ve dış kenar yükseltisinden fazla ve kaya dolgu olan bu yapı yatağa paralel uzanmakta olup, leve olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4). 1981 yılında meydana gelen büyük taşkında, Havran Çayı suları, bu setti aşmış ve kenarında bulunan birçok meyve bahçesine zarar vermiştir.



Şekil 4: Taşkın haritalamasında kullanılan geometrik veriler.

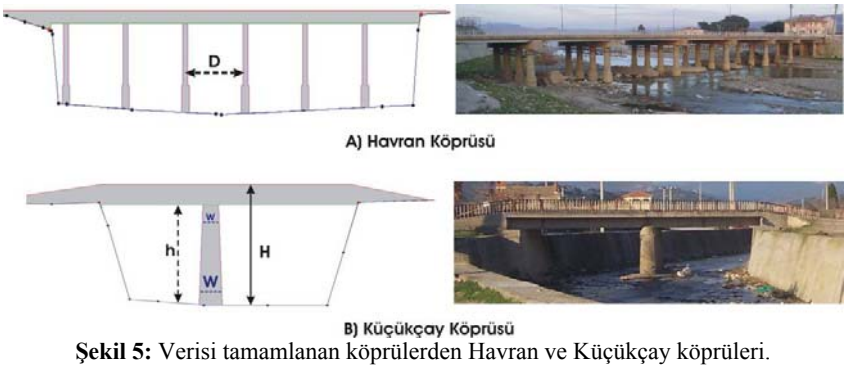
4. HİDROLİK MODELLEME ve TAŞKIN HARİTALAMASI

HEC-RAS, bir boyutlu, düzenli ve düzensiz akımların modellendiği bir programdır (USACE, 2005). Modellemenin yapılabilmesi için gerekli olan akarsu yatağındaki geometrik verilerin ve akımla ilgili verilerin girilmiş olması gerekmektedir. Sahamıza ait geometrik veriler, Hec-GeoRAS ta üretilmiş olup ilave veriler bu kısımda tamamlanmıştır. Bu veriler 2006 yaz arazi çalışmasında yapılan ölçüm ve gözlemlerdir. Yapılan çalışmaları kısaca şöyle özetleyebiliriz;

- Veriler, Hec-RAS ortamına aktarılmıştır.
- Akarsu yatağına paralel uzanan levelerin yükseklik bilgileri tamamlanmıştır.
- Modellemenin yapılacağı alanda bulunan 4 tane köprünün (Bent, Küçükçay, Havran ve Çevreyolu köprüleri) geometrik verileri tamamlanmıştır (Tablo 2). Bu veriler, köprülerin yüksek ve alçak platform bilgileri, ayaklarının eni ve boyları, ayaklar arası mesafe, köprü eni, köprü türüne göre modelleme bilgileri gibi veriler olup, değerlerin ölçümü arazi çalışmalarıyla elde edilmiştir (Şekil 5).

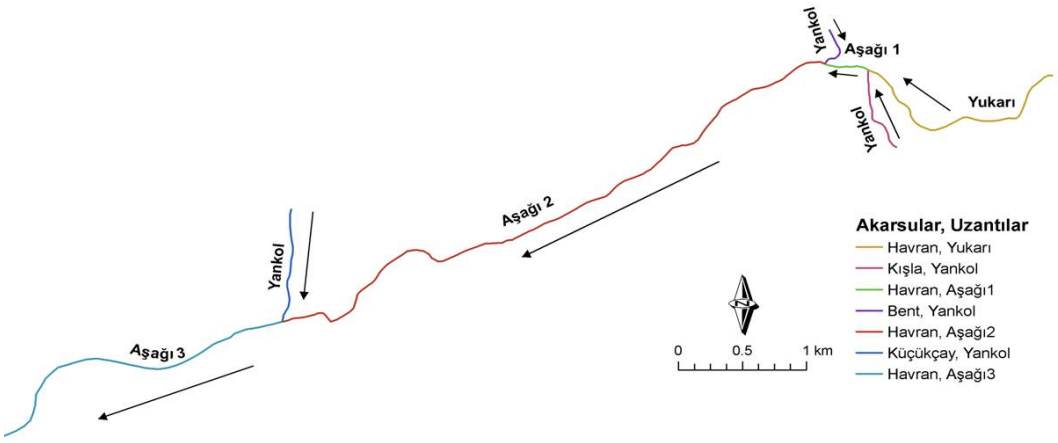
Köprü Adı	Bent	Küçükçay	Havran	Çevreyolu
Köprü Platform Eni	4.60	4.80	10.00	10.00
Platform Alt Seviye (h)	3.00	3.60	6.60	6.40
Platform Üst Seviye (H)	3.30	4.80	7.30	7.10
Ayak eni (w-W)	0.85	1.00	1.00 - 1.30	1.00-1.30
Ayaklar Arası Mesafe (D)	8.10	9.50	12.00	16.50

Tablo 2: Köprülerin geometrik verilerine ait bilgiler (m).



Şekil 5: Verisi tamamlanan köprülerden Havran ve Küçükçay köprüleri.

- Köprülere ait olarak ayrıca, taşkın zamanı köprü ayaklarının su içinde yüzen materyallerin toplanmasına bağlı olarak akışı engelleyeceğinden köprü ayaklarının çevresinde akışı engelleyici olarak etkisiz alanların verileri tamamlanmıştır. Gerçekte bunların ne kadar olacağı havzanın yukarı kesimlerinden ve yatak içindeki malzemelere bağlı olarak değişmesinden tam bir miktar belirlenememektedir. Fakat burada, köprü ayaklarının zeminden köprü platformu alt seviyesine kadar yükseklikte ve köprü ayaklarının iki katı genişliğinde kabul edilmiştir.
- Geometrik verilerin veri girişi tamamlandıktan sonra, modellemenin yapılacağı alanda bulunan akarsu ve uzantılarına ait akım verileri girilmiştir. Bu akım verileri, taşkın sıklık analizleri ile hesaplanan yan kolların 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 1000 yıllık taşkın tekrarlama sıklıklarına ait akım verileridir. Bu verilerden AGİ'ye ait olan değerler Havran Çayı yukarı kolu için girilmiş olup Kışla, Bent ve Küçükçay Dereleri için ise hesaplanan akım verileri girilmiştir. Havran Çayı yukarı uzantısı, Kışla yan koluyla birleştiğinde Aşağı 1, Aşağı 1 uzantısı Bent yan koluyla birleştikten sonra Aşağı 2, Aşağı 2 uzantısı Küçükçay yan koluyla birleştiğinde ise Aşağı 3 olarak adlandırılmıştır (Şekil 6). Havran Çayı üzerinde Aşağı 1, 2 ve 3 uzantılarının üzerinde akım istasyonu olmamasından bu uzantılara ait akım verileri, kendisine dahil olan önceki iki uzantının akımlarının toplamı şeklinde girilmiştir. Buna göre elde edilen akım verileri Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 6: Modellemenin yapıldığı alandaki akarsu ve uzantıları.

- Daha öncede belirtildiği üzere, taşkın modellemeleri 2 farklı senaryoya göre yapılmıştır. Bunlardan birincisi Havran Barajı inşa edilmemiş kabul edilerek oluşturulan senaryodur. Tablo 3'teki akım verileri, bu senaryoda

kullanılan akarsu ve uzantılarına ait akım verileridir. İkinci senaryo olarak Havran Barajı inşaasından sonra baraj yapımında planlanan normal su kotunda dipsavak deşarjı olan 13.4 m^3/s (DSİ, 1988), Havran Çayı yukarı kolundan gelen akım değeri için sabit değer olarak kabul edilmiştir. Buna göre oluşturulan akarsu ve uzantılarına ait akım verileri Tablo 4'te verilmiştir.

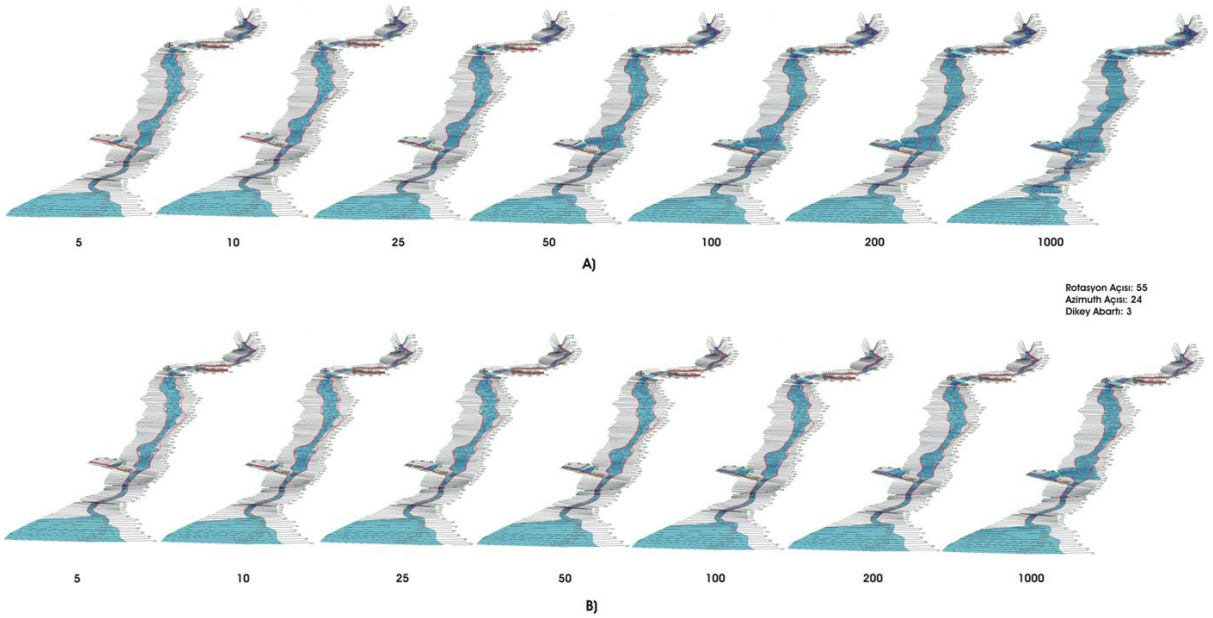
- Taşkın tekrarlama sıklıklarına ait akım verileri düzenli akım (Steady Flow) verisi olarak kabul edilmiştir. Havran Çayı aşağı kesimine ait modelleme yapıldığından dolayı, bu alanda yatak eğim değerleri çok düşüktür (0.001-0.005). Eğimin düşük olması, akım hızını etkileyeceğinden düzenli akım hesaplaması kritikaltı (Subcritic) olarak yapılmıştır. Süperkritik akımlar ise daha çok eğimin fazla olduğu alanlarla ilişkilidir (Methods vd., 2003). Buna göre iki farklı senaryonun düzenli akım modelleri oluşturulmuştur (Şekil 7).

(T)	AGİ	Kışla	Aşağı 1	Bent	Aşağı 2	Küçükçay	Aşağı 3
5	120.64	62.18	182.82	56.88	239.7	45.27	284.97
10	163.35	84.12	247.47	75.66	323.13	59.62	382.75
25	218.98	111.84	330.82	99.39	430.21	77.76	507.97
50	289.47	135.77	425.24	120.00	545.24	95.17	640.41
100	371.88	166.11	537.99	147.32	685.31	119.29	804.60
200	468.17	198.98	667.14	177.77	844.91	147.37	992.28
1000	751.62	286.02	1037.65	261.10	1298.74	231.53	1530.27

Tablo 3: Akarsu ve uzantılarının farklı tekrarlama sıklıklarına ait akım verileri.

(T)	AGİ	Kışla	Aşağı 1	Bent	Aşağı 2	Küçükçay	Aşağı 3
5	13.4	62.18	75.58	56.88	132.46	45.27	177.73
10	13.4	84.12	97.52	75.66	173.18	59.62	232.80
25	13.4	111.84	125.24	99.39	224.63	77.76	302.39
50	13.4	135.77	149.17	120.00	269.17	95.17	364.34
100	13.4	166.11	179.51	147.32	326.83	119.29	446.12
200	13.4	198.98	212.38	177.77	390.15	147.37	537.51
1000	13.4	286.02	299.42	261.10	560.52	231.53	792.04

Tablo 4: Baraj yapımından sonra oluşacak akım tablosu.



Şekil 7: Farklı taşkın tekrarlama sıklıklarına ait modeller A) Baraj dikkate alınmamıştır B) Baraj dikkate alınmıştır.

Gerek barajın dikkate alındığı gerekse barajın dikkate alınmadığı senaryoda, Havran Çayı'nın kanal içine alındığı kesimin bittiği yerden sonraki alanda su kütlesinin büyük bir alana dağılışı görülmektedir. Bunda TIN'nin çözünürlüğü etkili olduğu kadar, akarsu yatak özelliklerinin de etkisi fazladır. Aynı durum Küçükçay Deresi yankolu için de geçerlidir. Levelerin olduğu alanda, baraj dikkate alınmadan yapılan senaryoda 25 yıllık sıklıktan sonra leveleri aşmaya başlamaktadır. 1000 yıllığa gelindiğinde ise maksimum düzeye ulaşmaktadır. Fakat bu durum, barajın dikkate alındığı senaryoda, ancak 200 yıllık sıklıktan sonra leveleri aşmaya başlamaktadır. İki senaryoda da Havran Çayı yukarı kısmı, Bent ve Kışla Deresi alt kollarının birleştiği alanda taşkının etkileri gözükmektedir (Şekil 7).

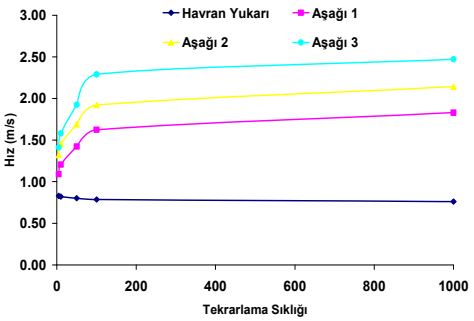
- HEC-RAS'ta üretilen 2 değişik senaryoya ait akım modellerinin dağılış alanları, derinlik ve hacimlerini ortaya koymak için CBS ortamındaki HEC-GeoRAS'a aktarılmıştır. Bunun için veri dönüşümleri yapılmıştır (Şekil 2). Yukarıda değinildiği üzere, taşkın haritalamaları 2 farklı senaryo için yapılmıştır. Barajı dikkate alan ve almayan senaryolarda, farklı tekrarlama sıklıklarında ortaya çıkan akım miktarlarına bağlı olarak 7 farklı model ortaya konmuştur. RAS Mapping araç kutusunun kullanıldığı bu kısımda, öncelikle HEC-RAS'ta oluşturulan herbir modelin su yüzeyine ait yükselti seviyeleri oluşturulmuş ve TIN modelleri meydana getirilmiştir. Daha sonra ise çalışmada kullanılan TIN modeliyle son oluşturulan su yüzeyine ait TIN modeli arasında fark, suyun dağılış alanı olarak kabul edilerek farklı modellere ait taşkın grid haritaları üretilmiştir (Şekil 8).

Oluşturulan bu iki senaryoda taşkınlara ait alan ve hacim hesaplamaları 3D Analyst modülü kullanılarak yapılmıştır (Tablo 5). Buna göre, barajın dikkate alınmadığı senaryoda suyun derinliği 6.3 m den 7.81 m'ye kadar değişiklik göstermektedir. 5 yıllıktan 1000 yıllığa kadar, taşkınların etkisinde alansal ve hacimsel olarak bir artış söz konusudur. Baraj dikkate alınarak yapılan senaryoda ise taşkınların etkisi biraz azalmaktadır. Suyun derinliği 5.9-6.9 m arasında değişiklik göstermektedir. Modelden anlaşıldığı üzere, baraj yapımı Havran yerleşmesi için koruyucu etkiye sahip olsada tarım alanları ve Havran yerleşmesi doğusundaki alanlar için taşkın sularının etkisini tam olarak ortadan kaldırmamaktadır. Ayrıca bu çalışmada oluşturulan TIN modelinde yatak içindeki doğal ve yapay depoların dikkate alınmadığı göz önünde bulundurulursa, baraj yapılsa da taşkınların sahayı etkileyeceğini söyleyebiliriz. Bunun için Küçükçay, Bent ve Kışla gibi barajdan sonra anakola katılan yan derelerin büyük bir öneme sahip oldukları aşikardır.

Bütün modellerde yapay kanal sonrası alanda taşkın suları büyük bir yayılış göstermektedir. Burada TIN modelinin çözünürlüğü yanında, yapay kanal içine alınan sularda hız artmasının gerçekleşmesi ve yapay kanaldan sonra hızla çevreye yayılması şeklinde de yorumlayabiliriz. Nitekim, akarsu ve uzantıları içinde suyun en hızlı olduğu kol, yapay kanalın (Aşağı 3) olduğu koldur (Grafik 1).

Senaryo	Derinlik (m)	Alan (m^2)	Hacim (m^3)
1- Baraj dikkate alınmamış			
5	6.3	3011608	2441822.36
10	6.5	3137708	2883155.96
25	6.8	3249332	3391690.08
50	7.01	3544232	4176508.18
100	7.08	3698280	4825979.35
200	7.15	3846308	5432565.32
1000	7.81	4461160	7272413.40
2- Baraj dikkate alınmış			
5	5.9	2811564	1781172.20
10	6.1	2919596	2060140.96
25	6.3	3010228	2374145.47
50	6.4	3078528	2627348.48
100	6.5	3163072	2935237.32
200	6.7	3239644	3255382.96
1000	6.9	3588324	4393888.84

Tablo 5: Farklı senaryolara göre oluşturulmuş taşkınlara ait sayısal veriler.



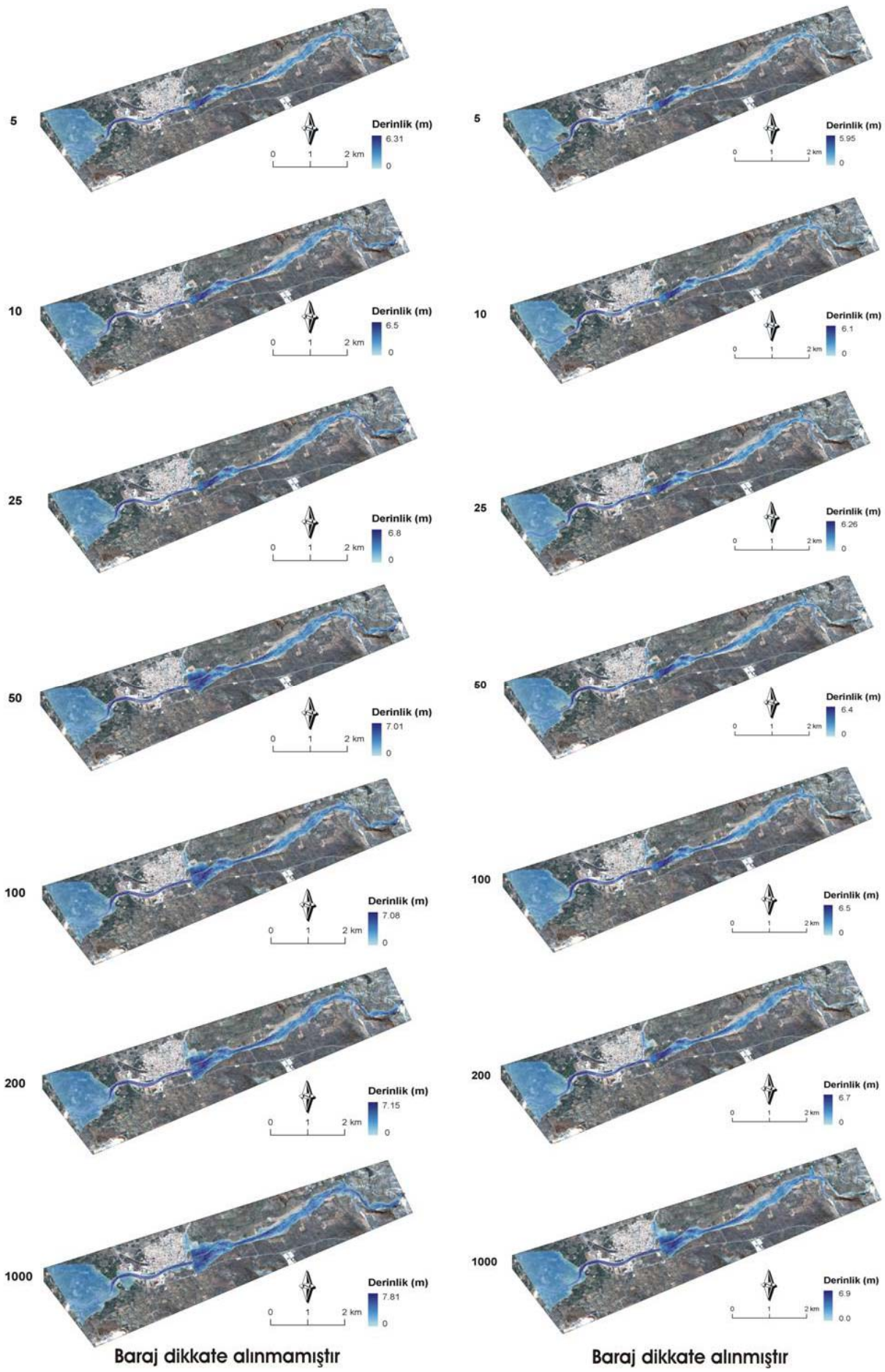
Grafik 1: Ana akarsuya ait su hızları.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışmada, HEC-GeoRAS ve HEC-RAS kullanılmak suretiyle, Havran Çayı'na ait taşkın haritalamaları iki farklı senaryo baz alınarak ve farklı taşkın tekrarlama sıklıklarına bağlı olarak yapılmıştır. Kullanılan veri tabanı dahilinde Havran Çayı üzerinde taşkınlardan korunmak amacıyla yapılan çalışmalar, Havran yerleşmesini korusa bile, buradaki halkın önemli bir geçim kaynağı olan tarım alanlarının korunması mümkün olmamaktadır. Bunda Havran Barajı'ndan sonra Havran Çayı'na katılan Küçükçay, Bent ve Kışla yan derelerinin büyük önemi bulunmaktadır. Ayrıca Havran yerleşmesi kenarında akış gösteren ve ana kola kuzeyden katılan Küçükçay derenin kanal içine alınmayan kısmı, Havran yerleşmesi doğusundaki tersip bentleri, Havran Çayı'nın kanal içine alınan kısımları taşkınlarda önemli rol oynamaktadır.

Çalışmada Havran Çayı'na ait olan geometrik veriler, GPS ve 5-10 m eşyükselti eğrilerine ait noktalarla üretilen TIN modeli temelli oluşturulmuştur. Bu TIN modeli akarsuyun örgülü mecra özelliği gösteren yatak içindeki doğal ve yapay depoların gösterilmesinde yetersiz kalmıştır. Yatak formu gerçeğe daha yakın olarak gösterilebilirse sonuçların daha olumsuz çıkmasına neden olacaktır. Bunun haricinde HEC-GeoRAS ve HEC-RAS taşkın haritalaması konusunda güçlü altyapıya sahip programlardır.

Risk yönetimi açısından taşkınlara ait haritaların değerlendirilebilmesi için taşkın sularına ait derinlik, alan ve hacim değerleri yanında, hız ve taşıdıkları sediment miktarlarının da önemi büyüktür. Bu özelliklerin bilinmesiyle, olası taşkınlarda zarar görebilme ihtimali olan alanlar kolay bir şekilde tespit edilebilir.



Şekil 8: Farklı senaryolara göre üretilmiş taşkın haritaları.

CBS içinde yer alan HEC-GeoRAS programı ile, üretilen taşkın modellerine ait derinlik hesaplaması ve mekansal dağılımı haritalanabiliyorken taşkın sularına ait hız ve sediment miktarlarının mekansal haritalaması için yetersizdir. Bu özelliklerin de değerlendirilmesiyle taşkınlara ait risk yönetimi çalışmalarında daha gerçekçi sonuçlara ulaşmak mümkün olacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimince desteklenmiştir. Proje No: T-583/17032005

KAYNAKLAR

Akdağ, M., 1975. *Türk Halkının Dirlik ve Düzenlik Kavgası (Celali İsyanları),* Ankara.

Blomgren, S., 1999. *A digital elevation model for estimating flooding scenarios at the Falsterbo Peninsula*. Environmental Modelling and Software 14(6): 579-587.

Chow, V. T., 1959. *Open-Channel Hydraulics*, McGraw-Hill, Inc. New York, NY.

DSİ., 1988, *Edremit-Havran Projesi Planlama Raporu*, DSİ XXV. Bölge Müdürlüğü, Balıkesir.

Fleckkenstein, J., 1998. *Using GIS to derive Velocity Fields and Travel Times to Route Excess Rainfall in a Small-Scale Watershed*, Univ. of California Davis. URL: http://scs.ucdavis.edu.

Maidment, D., Djokic, D., 2000. *Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with GIS*, ESRI Press, USA.

Methods, H., Dyhouse, G., Hatchett, J., ve Benn, J., 2003. *Floodplain Modeling Using HEC-RAS*, Heasted Methods, Inc. 37 Brookside Rd. USA.

Moore, I., D., Grayson, R.B., ve Ladson, A.R., 1991. *Digital Terrain Modelling: A Review of Hydrological, Geomorphological and Biological Applications*, Hydrological Processes 5 (1): 3-30.

National Research Council, 2007. *Base Map Inputs for Flood Mapping*, The National Academic Press, Washington D.C.

Özdemir, H., 2007. *Havran Çayı Havzasının (Balıkesir) CBS ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Taşkın ve Heyelan Risk Analizi*, Doktora Tezi, İ.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, İstanbul.

Özdemir, Z., 1998. *Körfezdeki Zümrüt Havran*, Meltem Ofset, İzmir.

Snead, D.B., 2000. *Development and Application of Unsteady Flow Models Using Geographic Information Systems*, Departmental Report, Master of Science in Engineering, The University of Texas at Austin, USA

Sugumaran, R. C., Davis, H., Meyer, J. and Prato, T., 2000. *High resolution digital elevation model and a Web-based client-server application for improved flood plain management*. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2000. Proceedings. IGARSS 2000. IEEE 2000 International, Proceeding of Twentieth anniversary of the IEEE International Geo-science and Remote Sensing Symposium, Hawaii, USA. Vol. 1, 334-335.

USACE (US Army Corps Engineers), 2002. *HEC-RAS River Analysis System*, User's Manual, Davis, USA.

USACE (US Army Corps Engineers), 2005. *HEC-GeoRAS GIS Tools for Support of HEC-RAS Using ArcGIS*, User's Manuel, Davis, USA.

USDA, 1963. *Guide for Selecting Roughness Coefficient "n" Values for Channel*, United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Lincoln Nebraska.

Yetkin, G., 1957. *Kuruluşundan Bugüne Kadar Edremit'te Olup Bitenler*, Balıkesir.