

Sayısal Yükseklik Modelinden Yararlanılarak Bazı Havza Karakteristiklerinin Belirlenmesi: Bursa Karacabey İnkaya Göleti Havzası Örneği

Ş. Tülin AKKAYA ASLAN*

Kemal S. GÜNDOĞDU**

A. Osman DEMİR***

ÖZET

Coğrafi Bilgi Sistemlerindeki(CBS) gelişmelere bağlı olarak Sayısal Yükseklik Modellerinin(SYM) çeşitli alanlar için oluşturulması ve kullanımı daha da kolaylaşmıştır. Sayısal yükseklik modelleri arazi analizler ve diğer 3 boyutlu uygulamalar için genel bir veri kaynağıdır. Havza alanı, alt havza alanları, su akış yönleri, drenaj ağları vb.. havza karakteristikleri SYM'den kolaylıkla elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada, Arc-Info Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı kullanılarak sayısal yükseklik modelinden bazı havza karakteristiklerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanı olarak, Bursa-Karacabey İnkaya Gölet Havzası seçilmiştir.

Anahtar Sözcükler: *Coğrafi bilgi sistemleri (CBS), sayısal yükseklik modelleri (SYM), drenaj ağı, havza sınırı.*

* Araş. Gör. Dr.; Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Bursa.

** Doç. Dr.; Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Bursa.

*** Prof. Dr.; Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Bursa.

ABSTRACT

Determining of Some Basin Characteristics from Digital Elevation Model: A Case Study on the Bursa- Karacabey- Inkaya Small Earth Dam's Basin

Digital Elevation Model (DEM) has been easily created and used for many areas depending upon the development in Geographical Information System (GIS) technology. DEM is main data source for the spatial analysis and 3-D applications. Some basin characteristics such as water-basin area, its sub-basin areas, water flow direction, drainage network and etc. can be determined from DEM.

In this study, it is aimed at to present a method which has been used to extract basin characteristic from DEM through GIS techniques. Bursa-Karacabey- Inkaya Small Earth Dam's basin area is taken as case study.

Key Words: *Geographical Information Systems (GIS), Digital Elevation Model (DEM), Drainage Network, Basin Boundary.*

GİRİŞ

Dünya üzerinde, bir çok bölgenin yükseklik verileri eşyükselti eğrili harita biçiminde bulunmaktadır. Eşyükselti eğrili haritalar ve düzensiz noktalarda bulunan yükseklik değerleri, bilgisayar ortamında sayısal dosyalara aktarılmakta, bu dosyalar düzenli grid noktalarına dönüştürülmektedir. Grid noktaları, tüm harita yüzeyini kapsayan kare biçiminde, buldukları koordinatın yükseklik bilgisini içeren yapılardır. Bu noktaların oluşturduğu harita grid haritası olarak ta adlandırılmaktadır. Sonuçta, sayısal yükseklik modeli olarak adlandırılan ve yüksekliklerin yatay ve düşey yönde eşit aralıklı bir matris noktaları şeklinde elde edilebildiği bir model oluşturulmaktadır (Venkatachalam ve ark. 2001).

Sayısal yükseklik modelleri, su kaynakları ile ilgili çalışmalarda eğim ve yön (bakı) haritalarının, vadi tabanları ve sırtlarının, drenaj ağlarının ve drenaj ağlarının büyüklük, uzunluk, eğim gibi özelliklerinin, havza ve alt havza özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Elde edilen bu bilgilerin doğruluğu sayısal yükseklik modelinin nitelik ve çözünürlüğüne bağlıdır ve hidrolojik modellemeler için sayısal yükseklik modeli seçiminde nitelik ve çözünürlük göz önünde bulundurulmalıdır. Nitelik, yükseklik verilerinin doğruluğunun, çözünürlük ise verilerin hassaslığının bir göstergesidir (Garbrecht ve Martz 1999).

Douglas (1986) gerçekleştirdiği çalışmasında, sayısal yükseklik modelleri üzerinden havzaların, drenaj ağlarının, sırtların ve diğer hidrolojik tanımlamaların geliştirilmesindeki teknik ayrıntıları vermiştir. Bu teknikler, genellikle raster özellikli veri üzerindeki bir hücre ile ilişkili komşu sekiz hücrenin değerlerini esas alan komşuluk işlemlerine dayalıdır. Raster veri dosyası, grafik özellikli bilgisayar dosyalarından grid formatındaki verileri ifade etmektedir.

Coğrafi bilgi sistemi yazılımları kullanılarak, grid formatındaki yükseklik verilerinden drenaj havzaları, drenaj(suyolu) ağları belirlenebilmekte ve drenaj havzası verileri hesaplanabilmektedir. Bu hesaplamalar arasında hidrolojik analizde etkili olan alan, eğim, yön, akış uzunluğu, yüzey akış uzunlukları v.b. gibi bir çok önemli değerler bulunmaktadır. Bununla birlikte, coğrafi bilgi sistemi altında çalışan standart bir hidrolojik model ile tüm bu verileri bir arada toplamak oldukça zordur (Smemoe 1997).

Dağınık hidrolojik modeller havzaların fiziksel özelliklerinin konumsal değişkenliğini açık bir biçimde ortaya koymakta ve modellenen hidrolojik değişkenlerin konumsal değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Dağınık modellemede Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), çalışmanın tamamlayan bir kısmını oluşturmaktadır. Dağınık hidrolojik modeller havzaların doğal drenaj ağının tanımlanmasını istemektedir. Sayısal yükseklik modeli üzerinden otomatik olarak drenaj ağı bilgisini elde eden birçok algoritma bulunmaktadır (Tribe 1992).

Bu çalışmada, sayısal yükseklik modelleri üzerinden havza ve alt havza sınırlarının belirlenmesi yanında, su akış yönlerinin ve akış toplanma gridlerinin hesaplanması ile drenaj ağlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada öncelikle uygulanan yöntemin esası verilmiş ve bu yöntemdeki aşamalar incelenmiştir. Açıklanan yöntem Bursa Karacabey İnkaya Gölet Havzası alanına uygulanmıştır. Çalışmada, ArcInfo CBS'ne ilişkin ArcEdit, ArcPlot, Grid, ArcPress modülleri ile Arc Macro programlama dili kullanılmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

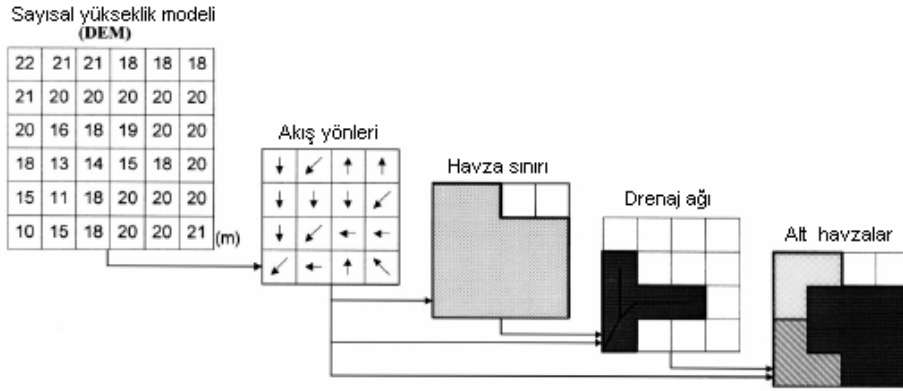
Materyal

Bu çalışmada, Arc/Info ver 7.1.2. Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımından yararlanılmıştır. Örnek proje alanı olarak, Bursa-Karacabey-İnkaya Gölet Havzası seçilmiş ve bu göletin su toplama havzasını içeren 1 / 25 000 ölçekli topografik harita kullanılmıştır. Söz konusu alana ilişkin bilgiler Köy Hizmetleri Bursa İl Müdürlüğünden elde edilmiştir. Havza alanı yaklaşık 10,8 km²'dir (Anonim, 1987).

Yöntem

Hidrolojik veri geliştirmesinin ilk aşaması drenaj havzası sınırlarının belirlenmesidir. Su ayırım çizgisi olarak ta adlandırılan bu sınırlar normalde bir havzanın sırtları boyunca devam eder. Sırtın bir tarafında su bir havzaya akarken diğerk tarafı ayrı bir su toplama havzasına ilişkindir. Dağınık hidrolojik modeller için D8 yaklaşımı (sekiz akış yönü), drenaj havza yapısının modellenmesinde geçerli yaklaşımlardan biridir (Jenson ve Domingue 1988, Turcotte ve ark. 2001). Burada, grid hücre yapısına sahip veriler ve bu verilere bağılı olan drenaj ağıında grid hücrelerinin her biri, komşu hücrelerden sadece birine doğrudan bağlantılı olabilmektedir (Tribe 1992).

Çalışmada havza sınırlarının belirlenmesinde D8 yöntemi kullanılmıştır. D8 yönteminin uygulaması Şekil 1'de de görüldüğü gibi 4 aşamada gerçekleşmektedir. Birinci aşamada sayısal yükseklik modeli üzerinde her bir hücre için su akış yönleri hesaplanmaktadır. İkinci aşamada su akış yönlerinden yola çıkılarak, havza sınırı belirlenmektedir. Üçüncü aşama, akarsu ağıının modellenmesi yapılmakta, son aşamada ise hesaplanan su akış yönleri ve modellenen akarsu ağı parçaları yardımıyla alt havza sınırları belirlenmektedir.

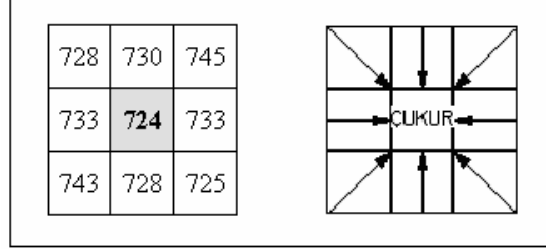


Şekil 1.

Sayısal yükseklik modeli yardımıyla drenaj havzasının belirlenmesi

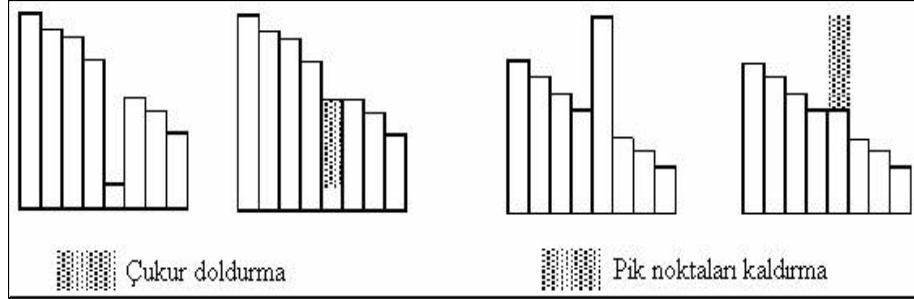
D8 yöntemi diğerk bir çok yaklaşımda olduğı gibi, çukur ve düz alanlar ile akışı engelleyen yapıların bulunması durumlarında drenaj ağıının belirlenmesinde bazı zorluklara sahiptir (Garbrecht ve Martz 1999). Bu sorunlar genellikle, sayısal yükseklik modeli üretilirken oluşan enterpolasyon hataları ve veri karmaşıklığından ortaya çıkmaktadır. Bu çukur ve çöküntü alanlara ilişkin grid hücre değerleri tüm komşu hücre değerlerinden daha

düşüktür ve bu durumda herhangi bir komşu hücreye doğru akış engellenmektedir (Jenson ve Domingue 1988, Venkatachalam ve ark. 2001). Şekil 2’de çevresindeki tüm komşu gridlerden düşük bir değere sahip bir grid hücresi örneği verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi, tüm akışlar ortadaki düşük yükseklik değerine sahip gride doğru olmaktadır. Sayısal yükseklik modeli üzerinde akış yönleri hesaplanmadan önce bu değerlerin düzeltilmesi gerekmektedir. Aksi durumda, havza belirlenirken bir çukur etrafındaki gridler, belirlenen havzaya ilişkin olmayacak, kendi içinde kapalı alanlar oluşturacaktır(Smemoe 1997). En yaygın uygulama ise, drenaj ağları tanımlanmadan önce hatalı çukur ve pik değere sahip hücre değerlerinin düzeltilmesidir.



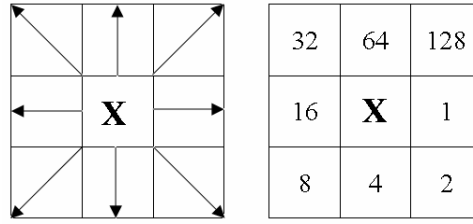
Şekil 2.
Çukura doğru akış yönleri

Sayısal yükseklik modeli üzerinde var olan çukur ve pik noktalarının ortadan kaldırılması Şekil 3’teki örnekle gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, akışı engelleyen çukur noktalar doldurulurken, akışa engel olan ve doğal olmayan yükseltmeler kaldırılmaktadır. Çalışmada, model üzerinde gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra, D8 yöntemi aşama aşama uygulanmıştır.



Şekil 3.
Sayısal yükseklik modeli üzerinde hatalı çukur ve pik(tümsek) noktaların düzeltilmesi

Su akış yönlerinin hesaplanması: Akış yönleri, sayısal yükseklik modeline bağlı olarak hidrolojide su yollarının ve sediment taşınım hareketlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır (Tarboton 1997). Sayısal yükseklik modeli üzerinde her bir grid hücresinin sahip olduğu bir yükseklik değeri bulunmaktadır. Hücrede akış, yükseklik değeri kendi değerinden düşük olan komşu hücrelerden sadece birine doğru olabilmektedir. Her bir hücre için 8 olası yön vardır ve bu yönler aşağı, yukarı, sağa, sola, yukarı sağ, yukarı sol, aşağı sağ ve aşağı sol olmak üzere belirlenmiştir. Şekil 4’de X hücresinden olası akış yönleri ve bu akış yönlerine göre, yeni oluşacak su akış yönü modelinde X hücresinin alacağı değerler verilmiştir. Bu değerler, çalışılan yazılım da akış yönünü ifade eden değerlerdir. Buna göre X hücresinde akış hücrenin sağına doğru ise, X hücresinin akış yönü değeri 1, soluna doğru ise 16 ve aşağı doğru ise 4 olacaktır (Jenson and Domingue 1988, Anonim 1992a, 1992b). Sayısal yükseklik modeli üzerindeki her bir hücreye ilişkin olası su akış yönleri hesaplanarak, su akış yönleri modeli oluşturulmaktadır (Şekil 5b ve 5c).



Şekil 4.

Akış yönleri ve bu yönlere göre hücre değerleri

Akış toplanma gridlerinin hesaplanması: Akış yönleri modeli kullanılarak akış toplanma modeli oluşturulur. Akış yönleri modeli üzerinde, hücrelerin akış yönüne göre, her bir hücreye gelen akış miktarı, birikimli olarak toplanmakta ve akış toplanma gridleri elde edilmektedir (Jenson ve Domingue 1988). Şekil 5’de de görüldüğü gibi sayısal yükseklik modelinden; su akış yönleri belirlenmiş ve su akış yönleri modeli oluşturulmuştur. Su akış yönleri modelinde sağ üst köşeden başlanarak, hücre hücre akış toplanma değerleri hesaplanmıştır. Bir hücreye, herhangi bir hücreden akış olmuyorsa alacağı değer sıfır olmaktadır. Şekil 5c ve 5d’nin 1 satır 1 sütunda (1,1) bulunan hücreye dışarıdan bir akış olmadığından aldığı değer 0’dır. Ancak (2,2) hücresine, (1,1) hücresinden akış olduğundan aldığı değer 1’dir. Diğer bir hücre (3,2) ye bakıldığında ise, bu hücreye (2,1), (3,1) ve (4,1) hücrelerinden üç yönden akış olduğu için alacağı değer 3’tür. Alt hücrelere doğru gidildikçe akış değerleri birikimli olarak toplanır. Örneğin (3,3) hücresi, (2,2) hücresinden 2 birim, (3,2) ve (4,2) hücrelerinden ise bu

hücreye sırasıyla toplanan 4 ve 1 birimlik akışları da aldığından toplam 7 birimlik bir akışa sahiptir. Bu şekilde her bir hücre verileri değerlendirilerek akış toplanma modeli oluşturulmaktadır. Şekilde en fazla birikimli akışın toplandığı nokta ise 35 birim ile (6,5) hücresidir.

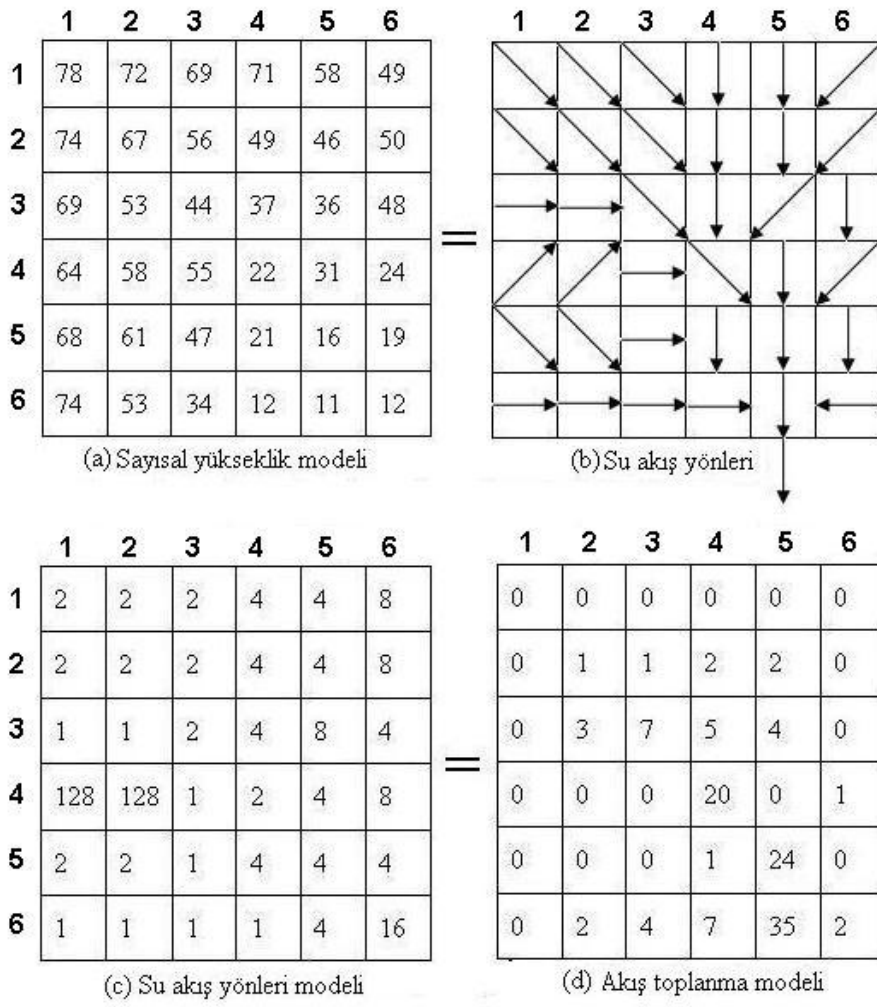
Havza sınırlarının belirlenmesi: Havza sınırlarının belirlenmesinde su akış yönleri modeli ve akış toplanma modeli kullanılır. Akış toplanma modeli üzerindeki en büyük değere sahip grid noktası çalışma alanındaki en büyük havzanın çıkış noktasını tanımlar. Akış yönleri bu çıkış noktasına doğru olan tüm grid hücreleri söz konusu havzaya ilişkin olup, bunların dış sınırları havzanın sınırını belirlemektedir. Ayrıca, çıkış noktası değeri değiştirilerek, yeni noktanın temsil ettiği alt havza alanı bulunulabilir (Jenson and Domingue 1988).

Drenaj ağlarının belirlenmesi: Drenaj ağları, akış toplanma modeli üzerinden oluşturulur. Bu model üzerinde yapılan çalışmanın hassaslığı ve büyüklüğü göz önüne alınarak ve akış toplanma modelinde elde edilen en büyük hücre değerine göre, bir alt sınır değeri belirlenir. Bu sınır değeri üzerindeki tüm hücreler drenaj ağının bir parçası olarak tanımlanır. Şekil 5d'deki akış toplanma modelinde elde edilen en büyük hücre değeri 35 iken en küçük hücre değeri 0'dır. Genellikle yapılan çalışmalarda alt sınır değeri 0 alınır. Drenaj ağları belirlenirken 0 değerine sahip hücreler dışındaki tüm hücreler drenaj ağının bir parçasını temsil eder. Oluşturulan drenaj ağı, vektör özelliklidir. Drenaj ağında, su akış yönleri ve akış toplanma modeli göz önüne alınarak ana su yolu ve yan kolları oluşturulmaktadır. Akış toplanma modeli üzerinde su akış yönü küçük değerli hücreden büyük değerli hücreye doğrudur (Venkatachalam ve ark. 2001).

Alt havza sınırlarının belirlenmesi: Birçok hidrolojik çalışmada, havzaların önemli akarsular ile tanımlı alt havzalara bölünmesi gerekebilir. Alt havzalar da birer havzadır ancak büyük havzaların parçalarını oluştururlar. Alt havzalar belirlenirken, havza sınırlarından farklı olarak akış yönleri modelinin yanında, modellenen drenaj ağı da kullanılır. Drenaj ağını oluşturan her bir kol kesişim noktalarından parçalara ayrılmakta ve her bir kolun akış alanları bulunmaktadır. Bu alanların her biri, alt havzaları oluşturmaktadır (Turcotte ve ark 2001).

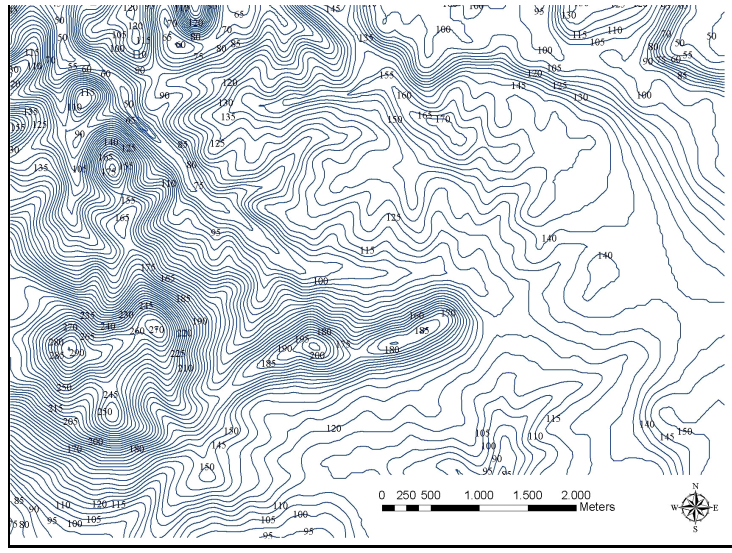
ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Sayısal yükseklik modeli kullanılarak havza ve alt havza sınırlarının belirlenmesi için, yöntem bölümünde anlatılan işlemler, seçilen çalışma alanında uygulanmıştır. İşlem aşamaları ve elde edilen sonuçlar bu bölümde verilmiştir.



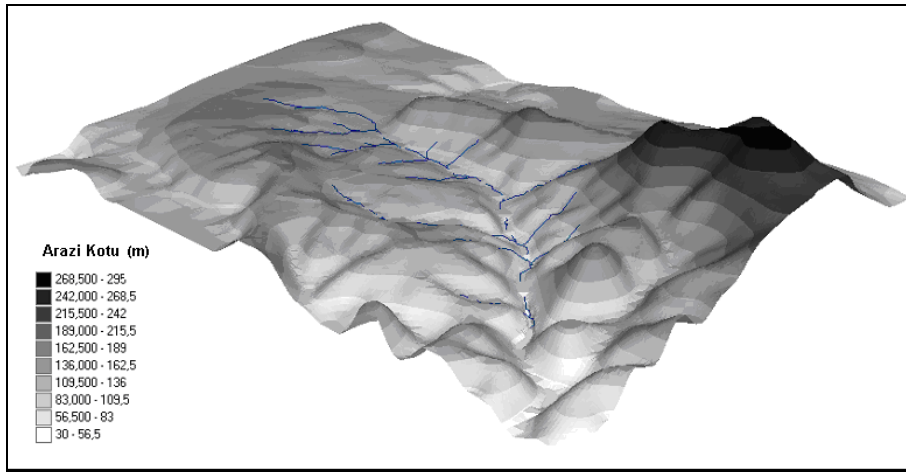
Şekil 5.
Akış toplanma modelinin oluşturulma aşamaları

Öncelikle, havzanın 1/25000'lik topografik haritası sayısallaştırılarak, bilgisayar ortamına aktarılmıştır (Şekil 6). Coğrafi bilgi sistemi ortamında her bir tesviye eğrisinin yükseklik bilgileri tanımlanmıştır. Arc/Info *Topogrid* komutu ile proje alanında, alanının büyüklüğü ve bilgisayar hızı düşünülerek 30 x 30 m boyutlarında hücrelerden (piksel) oluşan, sayısal yükseklik modeli oluşturulmuştur (Anonim, 1992a; Anonim, 1992b). Oluşturulan bu modelde, her bir hücre arazi kot değerlerini içermekte ve istenirse arazi bu değerler kullanılarak 3 boyutlu olarak gösterilebilmektedir (Şekil 7).



Şekil 6.

Bursa-Karacabey-İnkaya Gölü havzası topografik haritası

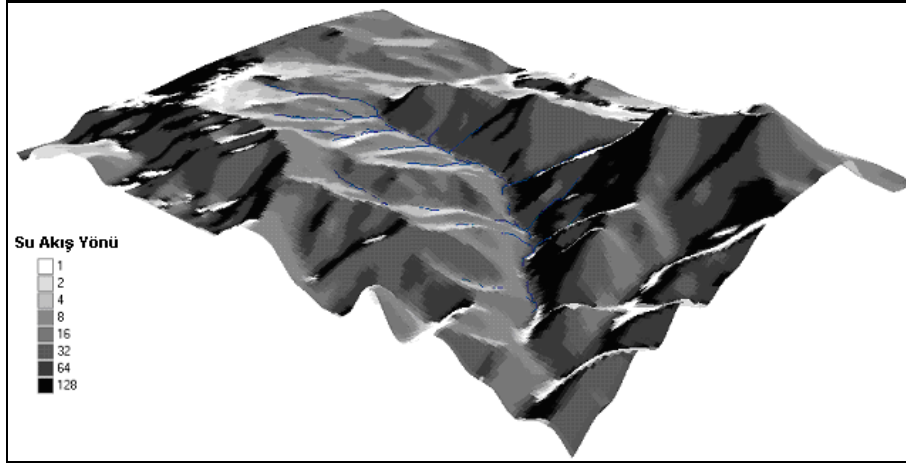


Şekil 7.

Sayısal yükseklik modelinin 3 boyutlu gösterimi

Sayısallaştırma işlemi sonucu bazı istenmeyen hatalar ortaya çıkabilmektedir. Sayısal yükseklik modeli üzerinde, sayısallaştırmadan dolayı oluşan çukur ve pik noktalarında gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra, bu model esas alınarak su akış yönleri modeli oluşturulmuş ve Şekil 8'de 3

boyutlu olarak verilmiştir. Burada verilen her bir renk kodu farklı yöne olan akışı göstermektedir.



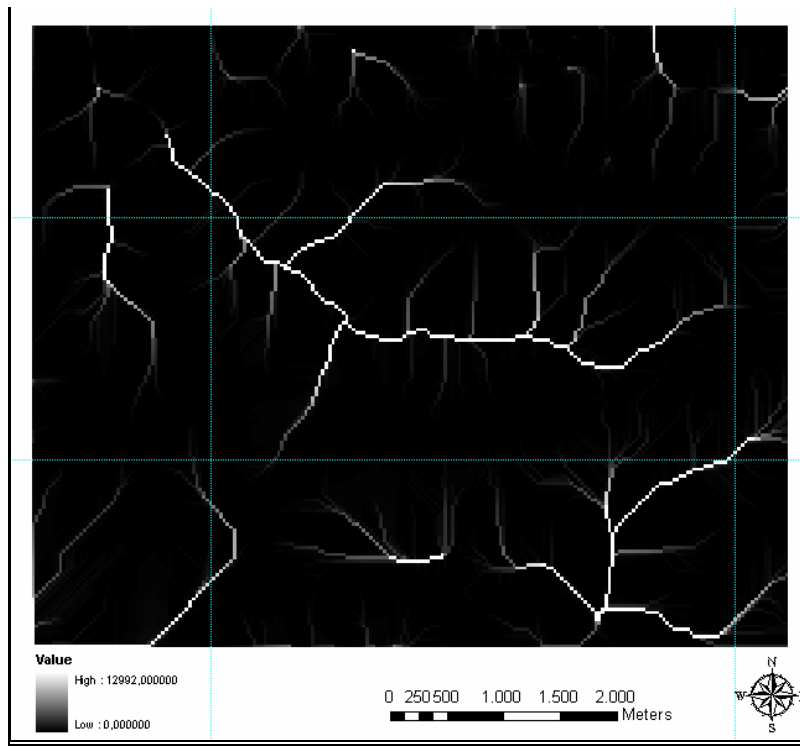
Şekil 8.

Proje alanında su akış yönlerinin 3 boyutlu gösterimi

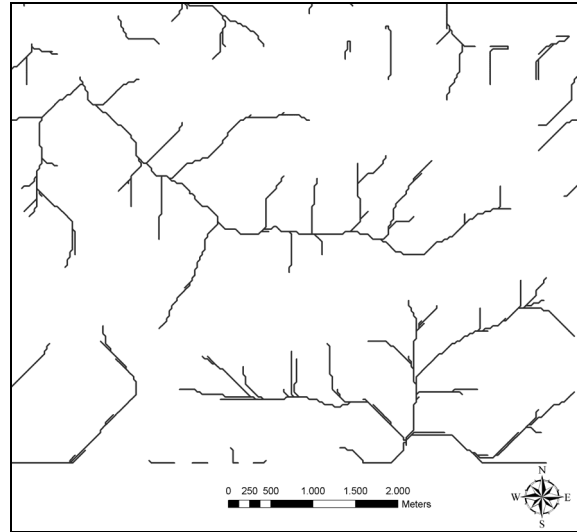
Oluşturulan su akış yönleri modeline göre akış toplanma modeli oluşturulmuştur (Şekil 9). Şekil 9'de de görüldüğü gibi birikimli olarak hesaplanan grid değerlerine göre her bir grid hücresi 0'dan başlayıp 12992'ye kadar çıkan değerler arasında bir değer almıştır. Siyah ile gösterilen alanlardaki grid değeri sıfır iken, grid değeri büyüdükçe hücreler daha açık renkle gösterilmiştir. En yüksek gridin sahip olduğu değer ise 12992 olup bu noktada en fazla akışın toplandığı noktadır.

Elde edilen bu akış toplanma modeli üzerinde alt sınır değeri, programın aktif değeri olan sıfır üzeri alınarak, proje alanına yönelik drenaj ağı haritası elde edilmiştir (Şekil 10). Elde edilen bu harita mevcut akarsu yollarını ve olası drenaj ağı yollarını göstermektedir.

Bursa Karacabey İnkaya gölet havzası olarak seçilen alanda, akış yönleri modeli ve akış toplanma modeli kullanılarak bu alan içindeki en büyük havza alanı en yüksek grid değerine (çıkış noktasına) göre bulunmuştur. Grid değerinin daha önce belirtildiği gibi 12992 olduğu bu nokta, oluşturulan model içinde en çok suyun toplandığı ve çıkış yaptığı noktadır. Şekil 11'de maksimum akış toplanma noktasını besleyen drenaj ağı ve alanı gösterilmiştir. Bu alan havza alanı olarak adlandırılmaktadır. Akış toplanma modeli üzerinde, istenilen herhangi bir noktanın temsil ettiği havza alanı da bulunabilir. Bunun için, akış toplanma gridi üzerinde noktayı tanımlamak gereklidir. Tanımlanan bu noktaya göre havza sınırı belirlenmektedir.



Şekil 9.
Proje alanında akış toplanma modeli



Şekil 10.
Bursa Karacabey İnkaya Gölet Havzası drenaj ağı haritası

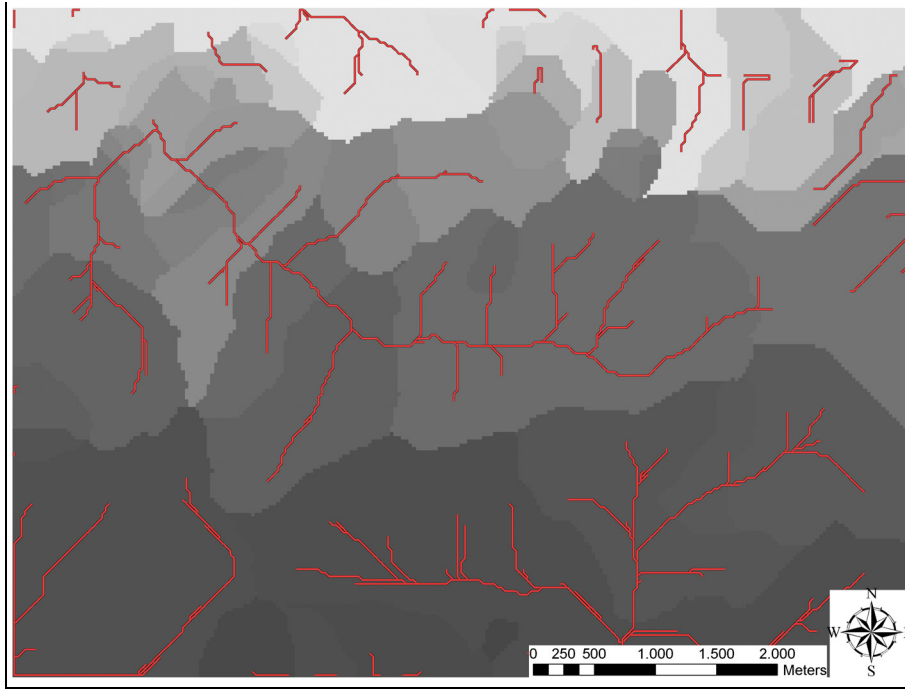


Şekil 11.
Bursa Karacabey İnkaya Gölet Havzası

Havza sınırı istenilen noktaya göre belirlenebildiği gibi, tüm proje alanındaki drenaj ağlarını besleyen her bir kola ilişkin alt havzalar da belirlenebilmektedir. Şekil 12’de görüldüğü gibi akış yönleri modeli ve drenaj ağı haritası kullanılarak alt havza sınırları belirlenmiştir. Burada alt havzaların her biri farklı tonlarda verilmiştir. Bu harita, çalışma yapmak istediğimiz alt havza alanını belirlemede yardımcı olacaktır.

Günümüzde kullanım alanı hızla yaygınlaşarak genişleyen CBS, hidrolojik modellemelerde de yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle, haritaların sayısal ortama aktarılması ve bunların yoğun olarak kullanılması ile bu çalışmalar daha da hızlanacaktır.

Bu çalışma ile sayısal yükseklik modeli üzerinden bir havzanın gösteriminde, önemli rolü olan su akış yönleri ve bu yönlere göre drenaj ağlarının gösterilmesi konusu irdelenmiş, ve örnek havza alanı üzerinde gösterilmiştir. Yapılan çalışmada, sağlıklı ve hassas sayısal yükseklik modellerine sahip olduğunda, bir havza alanına yönelik akış yönleri ve drenaj ağı gösterimlerinin de hızlı ve sağlıklı olduğu görülmüştür. Havza düzeyinde yapılacak her türlü çalışmada, CBS ve SYM kullanımı, verilerin her zaman kolay ulaşılabilir formda olmasını sağlayacaktır. Böylece, aynı havzada çalışma yürütecek, diğer araştırmacılara bir altlık oluşturulmuş olacaktır. Ülkemizdeki tüm havzaların, CBS ortamında SYM’nin oluşturulması ve araştırmacıların kullanımına sunulması, havza çalışmalarındaki veriye ulaşım zorluğunu ortadan kaldıracaktır.



Şekil 12.

Bursa Karacabey İnkaya Gölet havzası için alt havza gösterimi

KAYNAKLAR

- ANONİM, 1987. Bursa-Karacabey-İnkaya Göleti Mühendislik Hidrolojisi (Proje) Planlama Raporu, T.C. Tarım Orman ve Köyşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- ANONİM, 1992a. Grid Commands Refernces, Arc/Info User's Guide, Environmental Systems Research Institute (ESRI), Inc., USA.
- ANONİM, 1992b. Cell-based Modelling with Grid, Arc/Info User's Guide, Environmental Systems Research Institute (ESRI), Inc., USA.
- DOUGLAS, D. H., 1986. Experiments to locate ridges and channels to create a new type of digital elevation model: *Cartographica*, Vol. 23, No. 4, pp.29-61.
- GARBRECHT, J. AND MARTZ, L.W., 1999. Digital Elavetion Model Issues In Water Resources Modelling. 19th ESRI International User Conference, Environmental Systems Research Institute, San Diego, California, July 26-30, 1999.
- JENSON, S.K., DOMINGUE, J.O., 1988. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographical information system analysis. *Photogrametric Engng Remote Sensing* 54, 1593-1600.

- SMEMOE, C. M., 1997. Linking Gis Data To Hydrologic Models. [Http://emrl.byu.edu/chris/documents/watergis.pdf](http://emrl.byu.edu/chris/documents/watergis.pdf)
- TARBOTON, D.G. 1997. A New Method For The Determination of Flow Directions And Upslope Areas In Grid Digital Elevation Models Water Resources Research, 33(2): 309-319.
- TRIBE, A., 1992. Automated recognition of valley lines and drainage networks from grid digital elevation models: a review and a new method. J. Hydrol. 139, 263-293.
- TURCOTTE, R., FOTIN, J.P., ROUSSEAU, A.N., MASSICOTTE, M., VILLENUEVE, J.P. 2001. Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model and a digital river and lake network. Journal of Hydrology 240 (2001) 225-242.
- VENKATACHALAM, P., MOHAN, B.K., KOTWAL, A., MISHRA, V., MUTHURAMAKRISHNAN, V., PANDYA M., 2001. Automatic Delineation of Watersheds for Hydrological Applications Proc. ACRS 2001 - 22nd Asian Conference on Remote Sensing, 5-9 November 2001, Singapore. Vol. 2, pp. 1096-1101.