

# ARC HYDRO İLE SU TOPLAMA ALANLARININ BELİRLENMESİ

Ahmet Hamdi SARGIN<sup>1</sup>, Nesibe Gülşah GÜREŞÇİ<sup>2</sup>, Kemal SEYREK<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Hidrojeoloji Yük. Müh. DSİ Genel Müdürlüğü, 06100, Ankara, [ahmets@dsi.gov.tr](mailto:ahmets@dsi.gov.tr)

<sup>2</sup> Harita Yük. Müh. DSİ Genel Müdürlüğü, 06100, Ankara, [gayhan@dsi.gov.tr](mailto:gayhan@dsi.gov.tr)

<sup>3</sup> Şehir ve Bölge Plancısı DSİ Genel Müdürlüğü, 06100, Ankara, [kseyrek@dsi.gov.tr](mailto:kseyrek@dsi.gov.tr)

## ÖZET

*Su kaynaklarının geliştirilmesi, ekonomik kalkınma ve sosyal hayata doğrudan katkı yapmaktadır. Bu çerçevede, ekonomik ve sosyal aktivitelerin sürmesi ve gelişmesi yeterli miktar ve kalitede su kaynağına sahip olmaya bağlıdır. Bunun yanı sıra nüfus artışına paralel olarak içme-kullanma, sulama ve sanayi suyu talebi gittikçe artmaktadır. Bu da su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini gerekli kılmaktadır. Dolayısıyla, günümüzde su kaynakları yönetimi çözümlenmesi gereken en önemli problemlerden birini oluşturmaktadır. Bu bağlamda, mevcut su kaynaklarından daha etkin yararlanılabilmesi ve çevresel problemlerin azaltılabilmesi bakımından “Entegre Havza Yönetimi” önem kazanmaktadır.*

*Entegre Havza Yöntemini gerçekleştirebilmek için havza ve alt-havza alanlarının sistematik olarak tanımlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Havzaların sistematik bir biçimde derecelendirmek için genelde Strahler Metodu veya Streve Methodu kullanılmaktadır.*

*Ülkemizde yapılan çalışmalar neticesinde 25 temel havza tespit edilmiş olup su kaynakları planlaması ve yönetimi söz konusu bu 25 temel havza üzerinden yapılmaktadır. Alt havzalar ise hazırlanan projeler kapsamında ele alınmaktadır.*

*Yağışlardan kaynaklanan yüzeysuyu akımını toplayan saha olarak tanımlanan “su toplama alanı”nın tespit edilmesi özellikle;*

- Baraj ve gölet gibi su yapılarının planlamasında,
- Akarsu üzerinde kurulacak olan herhangi bir akım gözlem istasyonundan geçebilecek su miktarının hesaplanmasında ve istasyon yerinin belirlenmesinde,
- Yapılacak herhangi bir taşkın önleme tesisinin boyutlandırılmasında

*önem arz etmektedir.*

*Son yıllarda, su toplama alanlarının tespit edilmesi çalışmalarında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) işlerin hızlı ve doğru yapılması açısından uygun bir araç olarak yoğun bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. Havza sınırlarının bir model kullanılarak CBS ortamında otomatik olarak belirlenmesi çalışmalarında “Arazi Verilerinin Temin Edilerek Ön İşleme Tabi Tutulması” ve “Su Toplama Alanı Tespit İşlemi” olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmektedir.*

*Yeryüzünün sürekli bir biçimde değişen topoğrafik yüzeyini 3 boyutlu model olarak temsil eden sayısal yükseklik modeli (SYM), su toplama alanının belirlenmesinde temel altlık olarak kullanılmakta olup bu çalışma kapsamında uluslararası bir proje olarak yürütülen “Shuttle Radar Topography Mission-SRTM” projesinden elde edilen ~90 m çözünürlüğündeki SRTM90 SYM kullanılmıştır.*

*Bu çalışma kapsamında, SRTM90 uydu görüntülerinden elde edilen SYM, hidrolojik olarak yeniden düzenlenmiş ve kullanılacak ArcHydro programının ihtiyaç duyduğu ön işlemlerden geçirilerek Porsuk Çayı’na ait su toplama alanı ile Porsuk Çayına ait alt havzalar elde edilmiştir. Yapılan çalışma neticesinde Porsuk Çayı Havzası 10.834,84 km<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.*

**Anahtar sözcükler:** Coğrafi Bilgi Sistemleri, havza, Sayısal Yükseklik Modeli, su kaynakları yönetimi

## ABSTRACT

### WATERSHED DELINEATION in ARCHYDRO

*Development of water resources directly contributes to economic development and social life. In this context, sustaining and development of economic and social activities depend on having sufficient quantity and quality water resource. Besides, in parallel with population growth, demand for domestic, industrial and irrigation water increases day by day. And this phoneme requires sustainable water resource management. So, at present, water resources management is one of the most important problems to be solved. In this regard, to utilize water resources more efficiently and to reduce environmental problems, integrated basin management becomes important.*

*To implement integrated basin management, systematic definition of basin and sub basin areas is needed. Strahler or Streve Methods are usually used for ordering the basins systematically.*

*As a result of the studies made in our country, 25 main basins have been determined and water resources planning and management are carried out on these 25 main basins. Sub basins are studied in the context of the projects.*

*Watershed area, which is described as an area draining surface water from precipitation, is essential for following items;*

- *planning of the water structures such as dams and ponds,*
- *estimating of discharge for flow observation station and determination of station location,*
- *designation of the flood control facility.*

*GIS is a useful tool for watershed delineation and it is widely used lately. Determination of basin border by using geographical information system (GIS) can be realized in two processes; ArcHydro Terrain Preprocessing and Watershed Processing.*

*Digital elevation model (DEM) reflecting the topographical surface, which changes continuously, as a 3 dimensional model is used as the main data to delineate watershed. Shuttle Radar Topography Mission-SRTM DEM (90m-resolution) was used in the study.*

*Within the study, DEM produced from satellite image was hydrologically restructured and after required preprocessing for ArcHydro, watershed area and sub basin for Porsuk River were determined. Finally, watershed of Porsuk River was calculated as 10.834,84 sq. kilometer.*

**Key words:** *Geographic information systems, basin, digital elevation model, water resources management.*

## 1. GİRİŞ

Bu çalışmada, nehir havzası bazında yönetilen su kaynakları için temel olan havza sınırlarının CBS'nin önemli bileşeni olan ArcHydro aracılığı ile belirlenmesi yer almaktadır. ArcHydro ile SYM kullanılarak yeryüzünde suyun hareketini belirlemek mümkün olmaktadır.

25 temel havzanın tespit edildiği Ülkemizde "Entegre Havza Yöntemini" gerçekleştirebilmek için alt-havza alanlarının da ülke bazında sistematik olarak tanımlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Alt havzalar ise genelde hazırlanan projeler kapsamında ele alınmakta ve proje ihtiyaçları doğrultusunda belirlenmektedir.

Geçmişte havza sınırlarının bulunmasında yoğun olarak kağıt ortamdaki topoğrafik haritalar kullanılmış olup topoğrafik haritalar üzerinden eşyükselti eğrileri ile tepe noktaları takip edilerek su ayırım çizgileri çizilmiş ve havza sınırları ile alt-havza sınırları belirlenmiştir. Hazırlanan havza veya alt-havza sınırlarına ait alanlar ise planimetre ile ölçülmüştür. Son yıllarda ise özellikle Bilgi Teknolojilerinde meydana gelişmelere bağlı olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri söz konusu işlemlerin yapılmasında yoğun olarak kullanılmaya başlanılmıştır.

Su toplama alanlarının tespit edilmesinde, CBS doğrudan basit bir araç olarak mevcut topoğrafik haritalardan ekran üzerinde eşyükselti eğrileri ile tepe noktaları izlenerek su ayırım çizgileri elde edileceği gibi CBS üzerinde çalışan değişik araçlar ile de otomatik olarak da yapılabilmektedir. Su toplama alanlarının CBS ortamında otomatik olarak elde edilmesinde, ArcHydro programı, yaygın kullanılan araçlardan biri olarak gözlemlenmektedir.

Havza sınırlarının bir model kullanılarak CBS ortamında otomatik olarak belirlenmesi çalışmalarında "Arazi Verilerinin Temin Edilerek Ön İşleme Tabi Tutulması" ve "Su Toplama Alanı Tespit İşlemi" olmak üzere temelde iki aşamada gerçekleştirilmekte olup sayısal yükseklik modeli (SYM) su toplama alanının belirlenmesinde temel veri olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, nehir havzası bazında yönetilmesi amaçlanan su kaynakları için temel olan havza sınırlarının, "ArcHydro" aracılığı ile belirlenmesi yer almaktadır.

## 2. ÇALIŞMA ALANININ TANITILMASI

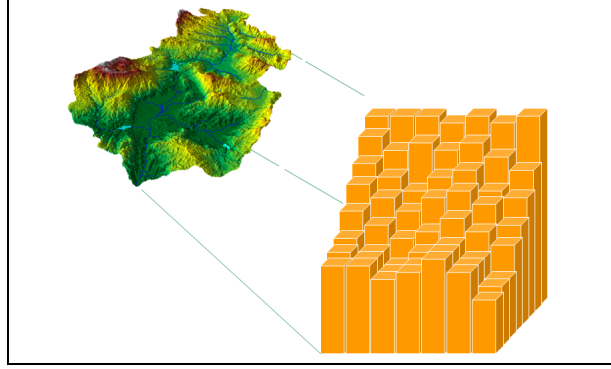
Porsuk Çayı havzası, Sakarya havzasının alt havzasıdır. Porsuk havzası, Kütahya il sınırlarından doğmakta ve Eskişehir ve Kütahya il merkezlerinden geçmektedir. Sazlılar mevkiinde 660 m kotunda, Sakarya nehrine dökülür. Porsuk havzasının uzun süreli yıllık ortalama yağış miktarı 450 mm'dir.

## 3. SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİ

Havza sınırlarının bir model kullanılarak CBS ortamında otomatik olarak belirlenmesi çalışmalarında, ilk önce çalışma sahasına ait verilerin temin edilmesi gerekmekte olup yeryüzünün sürekli bir biçimde değişen arazi yapısını 3 boyutlu olarak hücresel yapıda gösteren SYM su toplama alanının belirlenmesinde temel veri olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda söz konusu SYM, 3 boyutlu olarak yapılacak diğer uygulamalar içinde genel bir veri kaynağı niteliğindedir.

Bir sayısal yükseklik modeli (SYM) yeryüzünün sürekli bir biçimde değişen topoğrafik yüzeyini 3 boyutlu gösteren bir yapıdır. Bu model, 3 boyutlu uygulamalar için genel bir veri kaynağıdır. Sayısal yükseklik modeli, raster veri özelliğinde olup bir arazi yüzeyini en iyi temsil eden düzenli/düzensiz aralıklarla yapılmış çok sayıda yükseklik ölçümünden oluşmaktadır. Kısaca, her bir piksel yükseklik (kot) değerine sahip olan sürekli yüzeylere sahiptir.

**Şekil 1**'de SYM'nin hücresel boyutu ile yükseklik değerlerine sahip piksel dağılımı görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi her bir piksel sahip olduğu yükseklik değerine bağlı olarak temsil edilmektedir.



**Şekil 1.** SYM'nin hücresel boyutu

Günümüzde SYM verisi, sayısal ortama aktarılmış münhanilerden, uçak veya uydulara yerleştirilen değişik aktif /pasif sensörler vasıtasıyla amaca uygun olarak farklı çözünürlüklerde elde edilebilmektedir.

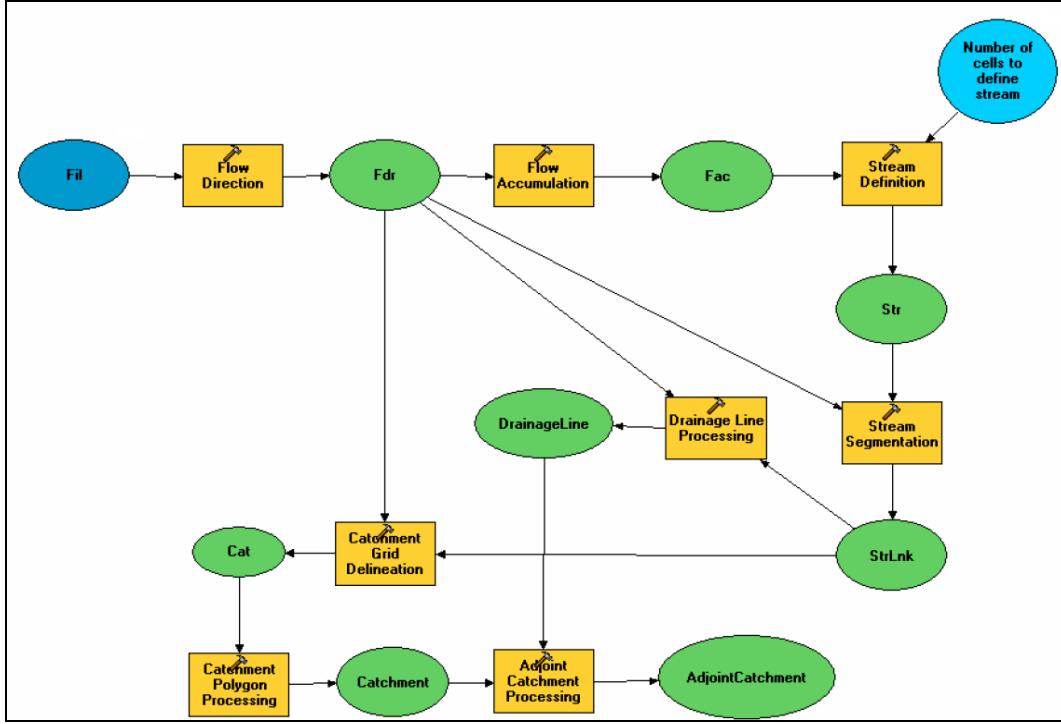
Bu çalışmada kullanılmakta olan Sayısal Yükseklik Modeli, NASA tarafından Şubat 2002 tarihinde tüm dünyanın sayısal arazi modelini çıkarmak üzere uluslararası bir proje olarak yürütülen "Shuttle Radar Topography Mission - SRTM" projesi kapsamında uzaya gönderilen Endeavour Uzay Mekiğinin 11 günlük süren uzay programı çerçevesinde elde edilmiştir. Proje kapsamında, Endeavour Uzay Mekiğine yerleştirilen "Spaceborne Imaging Radar-C/X-band Synthetic Aperture Radar (SIR-C/X-SAR)" radar sensörleri vasıtasıyla hemen hemen tüm yerküre taranarak yaklaşık ~30 m çözünürlüğündeki radar görüntüleri elde edilmiştir. Söz konusu ham radar görüntüleri NASA, Alman Uzay Kurumu ve İtalya Uzay Ajansı tarafından ortaklaşa işlenerek yaklaşık olarak tüm dünyanın SYM elde edilmiş ve ~ 90 m çözünürlüğünde Coğrafik Koordinat Sisteminde (WGS84) SRTM90 olarak yayımlanmıştır.

Çalışma kapsamında elde edilen SRTM90 SYM, Lambert Conformal Conic (ED50) koordinat sistemine dönüştürülerek kullanılmıştır.

#### 4. ARAZİ VERİLERİNİ ÖN İŞLEME

Arazi Verilerini Ön İşleme'de (ArcHydro Terrain Preprocessing) yer alan bütün adımlar **Çizelge 1**'de yer aldığı şekilde sırası ile yapılmalıdır. Bu işlemlerin tamamı Su Toplama Alanı İşlemleri (Watershed Processing) fonksiyonundan önce tamamlanmalıdır. Sarı alanlar işlemi, yeşil alanlar ise işlemlerden elde edilen çıktıları göstermektedir. Çizelgeden de görüleceği gibi bir işlemin çıktısı bir sonraki işlem için girdi olmaktadır.

Çizelge 1. Arazi verileri ön işleme işlem sırası



Havza sınırlarının bir model kullanılarak CBS ortamında otomatik olarak belirlenmesi çalışmalarında diğer önemli bir nokta ise elde edilen sayısal yükseklik modelinin değişik ön işlemlerden tutularak gerçek araziye yansıtacak şekilde düzenlenmesi ve yapılacak hidrolojik modele uygun olarak mevcut verinin düzeltilmesidir.

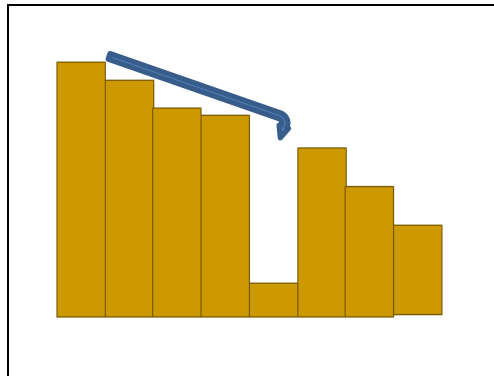
### SYM yenileme

Bu fonksiyon SYM verilerini yeniden düzenlemektedir. SYM yenileme, raster veri olan yükseklik değerlerinin vektör veri olan nehir ağı ile daha uyumlu olmasını sağlar. Bu da nehir ağı verilerinin, SYM verilerinden daha güvenilir ve doğru olması gerçeğini açığa çıkarır.

Bir SYM verisine bu fonksiyonu uygulamanın temel amacı, doğruluğu yüksek nehir ağı verilerini dikkate alarak daha yüksek doğruluğa sahip bir SYM elde etmektir. Yapılacak çalışmalarda, kullanılacak olan raster verinin (SYM) doğruluğu ne kadar yüksek olursa sonuç ürünü olan su toplama havzaları da o derecede sağlıklı olacaktır.

### Boşlukları doldurma

Bu fonksiyon SYM'de yer alan boşluk hatalarının giderilmesi için kullanılır. Bir hücre daha fazla yükseklik değerine sahip olan hücreler ile çevrildiği takdirde su, yükseklik değeri az olan bu hücreye doğru akacaktır (**Şekil 2**).

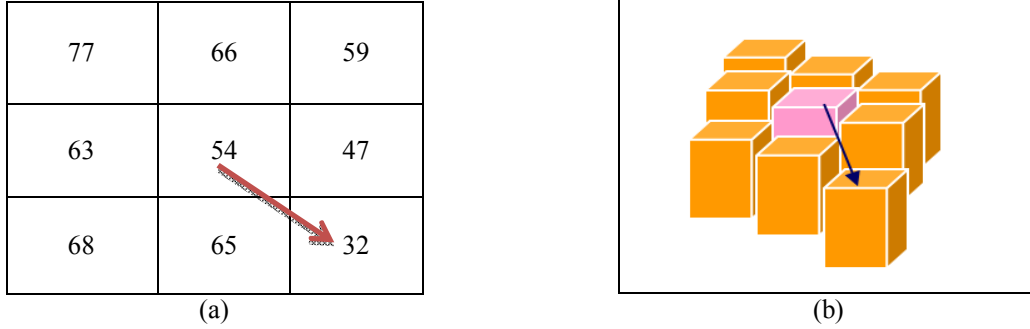


Şekil 2. SYM'de oluşabilen boşluk

SYM’de yer alan bu boşluklar doldurulmadığı takdirde yüzey akışı oluşmaz. Bu nedenle boşlukların doldurulması gereklidir. Fonksiyon bu problemi ortadan kaldırmak için yükseklik değerlerini yeniden düzenler.

### Akım yönü belirleme

Bu fonksiyon verilen grid sistemi için akım yönünü hesaplamaktadır. Hücrede yer alan değer, bu hücreye komşu 8 hücreden yükseklik değeri en az olana doğru su akım yönünü göstermektedir. **Şekil 3a**’da görüldüğü gibi her bir gride yükseklik değeri yer almaktadır. Su akışı en düşük yükseklik değerine sahip gride doğru olacaktır (**Şekil 3b**).



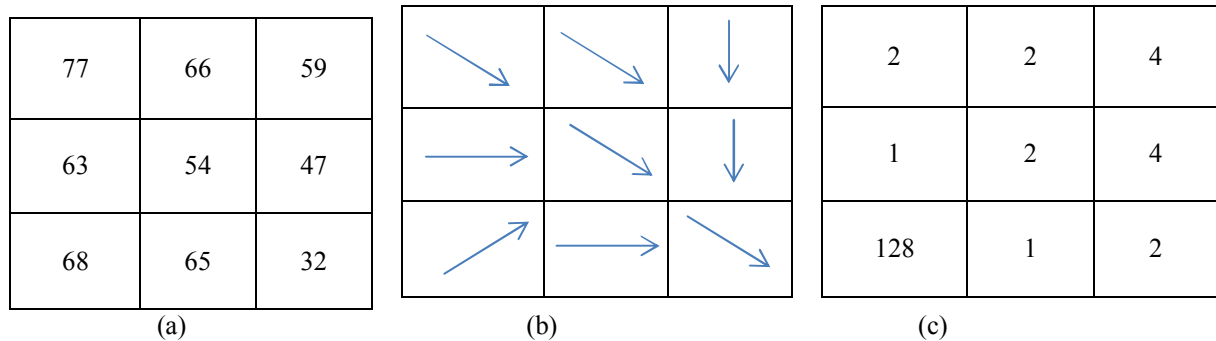
**Şekil 3.** Su akış yönü

Akış yönünü bilgisayar ortamında ifade etmek için “8 yönlü akım modeli” kullanılmaktadır. Gridin akım yönünü göstermek için **Şekil 4**’de yönlere bağlı olarak gösterilen rakamsal değerler kullanılmaktadır. Örneğin bir hücreden akımın doğu yönünde olduğunu belirtmek için 1, kuzeybatı yönünde olduğunu belirtmek için 32, güneydoğu yönünde olduğunu belirtmek için 2 kullanılır.



**Şekil 4.** Akım yönleri

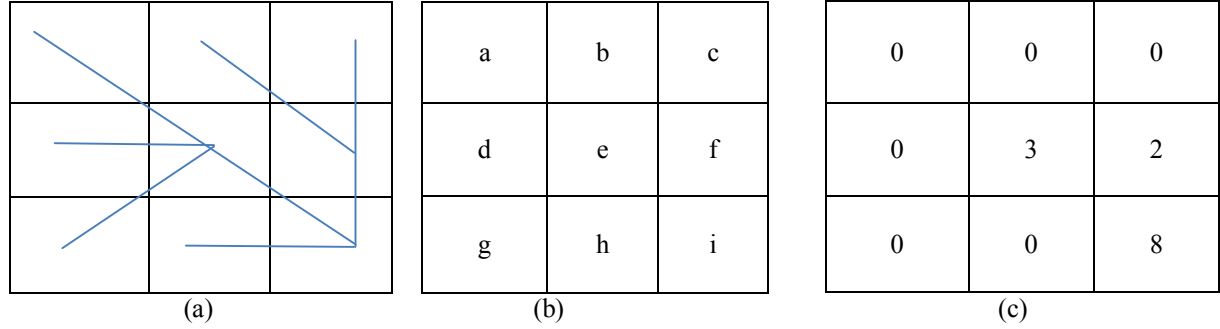
Aşağıdaki **Şekil 5a**’da hücelere ait yükseklik değerleri, **Şekil 5b**’de akım yönleri ve **Şekil 5c**’de ise bu yönlerin ArcHydro programında kullanılacak olan veri tablosu görülmektedir.



**Şekil 5.** Akım yönünün matematiksel ifadesi

### Kümülatif akım hesaplama

Bir hücrenin su toplama alanında yer alan hücre sayısını hesaplar. Böylece su toplama alanı ve nehir kolları belirlenmeye başlar.



Şekil 6. Kümülatif akım yönü

Şekil 6a'da akım yönüne bağlı olarak hücreler arası akım ilişkileri görülmektedir. a,b,c,d,g ve h hücrelerine (Şekil 6b) doğru akım oluşmayacağından bu hücrelere 0 girilir. e hücresine 3 hücreden, f hücresine ise 2 hücreden akış olmaktadır. i hücresine ise en düşük yükseklik değerine sahip olduğundan 8 hücreden akış gerçekleşmektedir. Böylece her bir hücrenin su toplama alanında kalan hücre sayısı belirlenir (Şekil 6c).

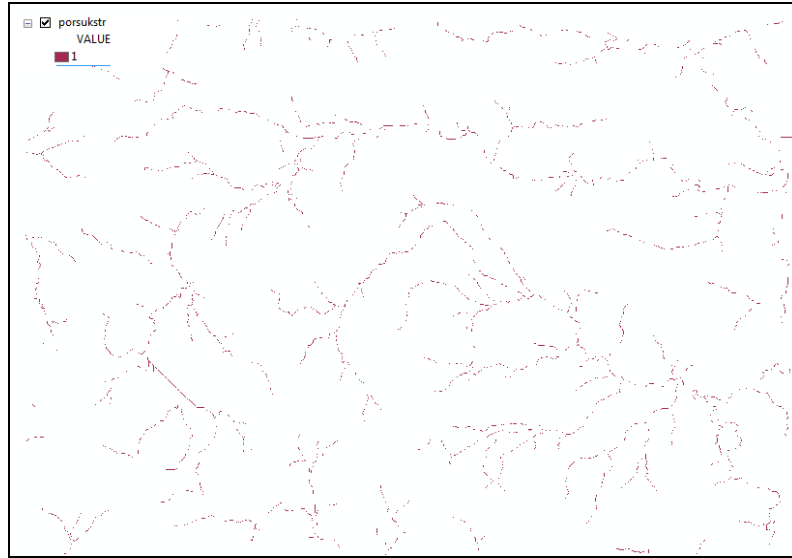
### Nehir tanımlama

Su toplama alanı çalışmalarındaki en kritik nokta bir derenin tanımlanmasını yapabilmek için o dereyi oluşturabilecek eşik bir su toplama alanının tespit edilmesidir. Aynı büyüklükteki bir derenin su toplama alanı, iklime, yağış miktarına, toprak yapısına, mevcut arazi kullanımı ve bitki örtüsüne, arazinin akış katsayısına bağlı olarak değişmektedir. Tanımlanacak eşik su toplama alanına bağlı olarak ArcHydro programı her hâlükârda bir drenaj ağı üretmektedir. Ancak, olması gerekenden daha küçük bir eşik değer tanımlanmasına bağlı olarak olması gerekenden daha yoğun drenaj ağı ve daha fazla sayıda su toplama alanı elde edilecektir. Ya da, tanımlanacak daha büyük bir eşik değer, daha düşük yoğunlukta bir drenaj ağının elde edilmesine veya birden fazla alt-havzayı içeren su toplama alanlarının elde edilmesine neden olacaktır. Dolayısıyla, söz konusu bu eşik su toplama alanının tanımlanması hidroloji konusunda belli bir bilgi birikimine ve deneyimine ihtiyaç duymaktadır.

ArcHydro programı, nehir tanımlaması yapımı için varsayılan değer olarak, çalışmada girdi olarak kullanılmakta olan SYM verisinin %1'ini varsayılan değer olarak tanımlamaktadır. Eşik su toplama alanı, SYM'deki toplam hücre sayısının %1'lik miktarı ile bir hücre alanının çarpımına eşittir. Dolayısıyla, çalışmada kullanılmakta olan SYM verisinin çözünürlüğüne bağlı olarak ArcHydro programı tarafından varsayılan bir eşik değer hesaplanmakta ve uygulamada kullanılmaktadır. Aynı çalışma sahası içinde kullanılacak farklı çözünürlükteki SYM'ye bağlı olarak farklı yoğunlukta drenaj ağı ve farklı sayıda su toplama alanı elde edilecektir. Örneğin 90 m'lik çözünürlüğe sahip SYM ile 30 m çözünürlüğe sahip SYM kullanılması durumunda elde edilecek dere miktarı ile su toplama alanlarının sayısı değişiklik gösterecektir.

Özetle, ArcHydro programı kullanılırken her hâlükârda bir drenaj ağı ve su toplama alanlarının elde edilmesi mümkündür ancak sağlıklı ve doğru bir havza ve alt-havza çalışması yapabilmek için eşik su toplama alanının doğru belirlenmesi gerekmekte olup bunun içinde bilgi ve deneyim gerekmektedir. Aksi takdirde elde edilecek sonuç yanılgıya sebep olabilecektir.

Bu çalışmada, minimum eşik su toplama alanı büyüklüğü akarsu ağının yoğunluğuna bağlı olarak 50 km<sup>2</sup> seçilmiştir.



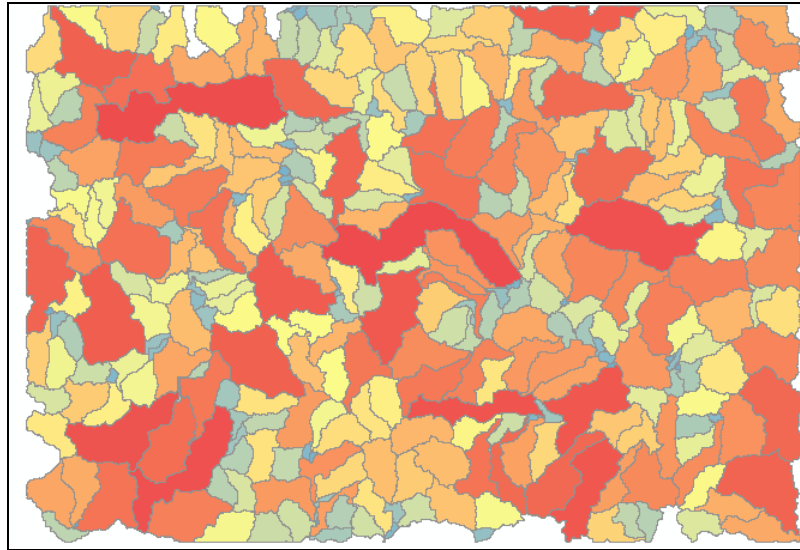
Şekil 7. Nehir tanımlama

### Nehir bölümleme

Kendine özgü tanımlama numarasına sahip nehir bölümlerinin grid sistemini oluşturur.

### Su toplama alanı oluşturma

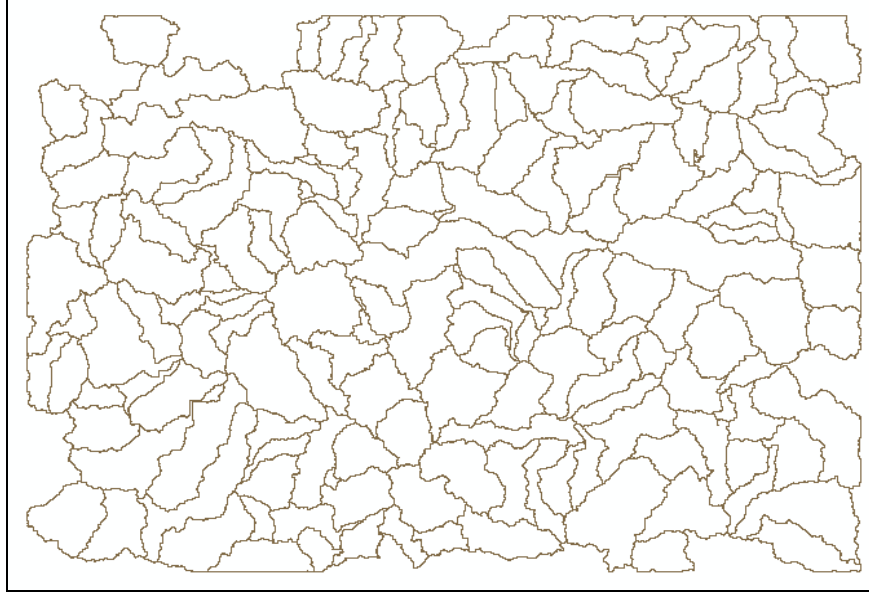
Bu fonksiyon, her bir hücre için hücrenin ait olduğu alt su toplama alanını gösteren değere (grid kodu) sahip bir grid sistemi meydana getirir. Porsuk çayına ait belirlenen eşik değere bağlı olarak 341 adet su toplama alanı belirlenmiştir.



Şekil 8. Su toplama alanları (raster veri)

### Su toplama alanını poligonlama

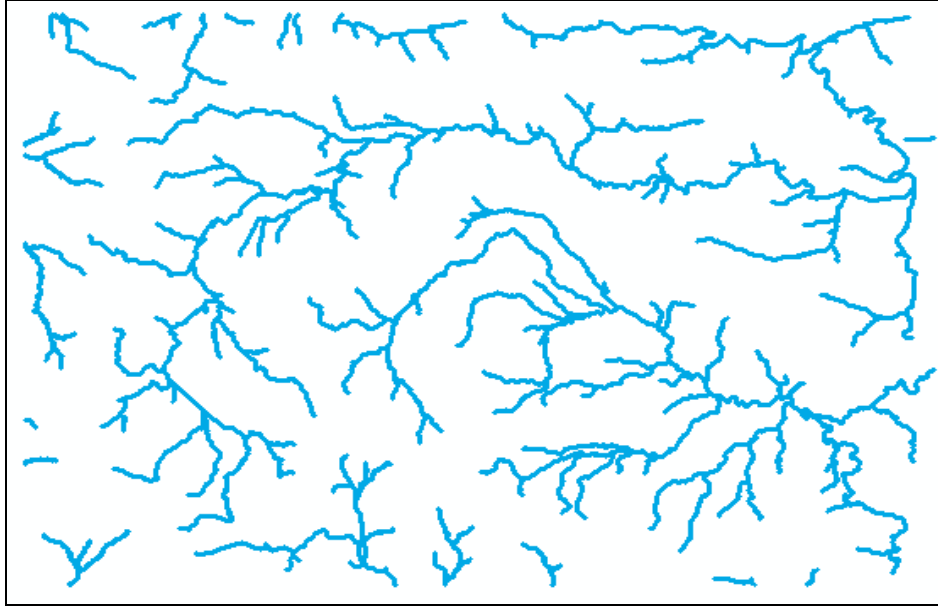
Bu aşamadan itibaren gerçekleştirilecek 3 fonksiyon Catchment Polygon Processing, Drainage Line Processing ve Adjoint Catchment Processing raster verileri vektör veri formatına dönüştürmektedir.



Şekil 9. Su toplama alanları (vektör veri)

### Drenaj çizgilerini belirleme

Nehir tanımlama gridini drenaj çizgilerine dönüştürür. Burada yer alan yer alan her bir çizgi, bu çizgiye ait su toplama alanının tanımlayıcısını içermektedir



Şekil 10. Drenaj çizgileri

### Bitişik su toplama alanı belirleme

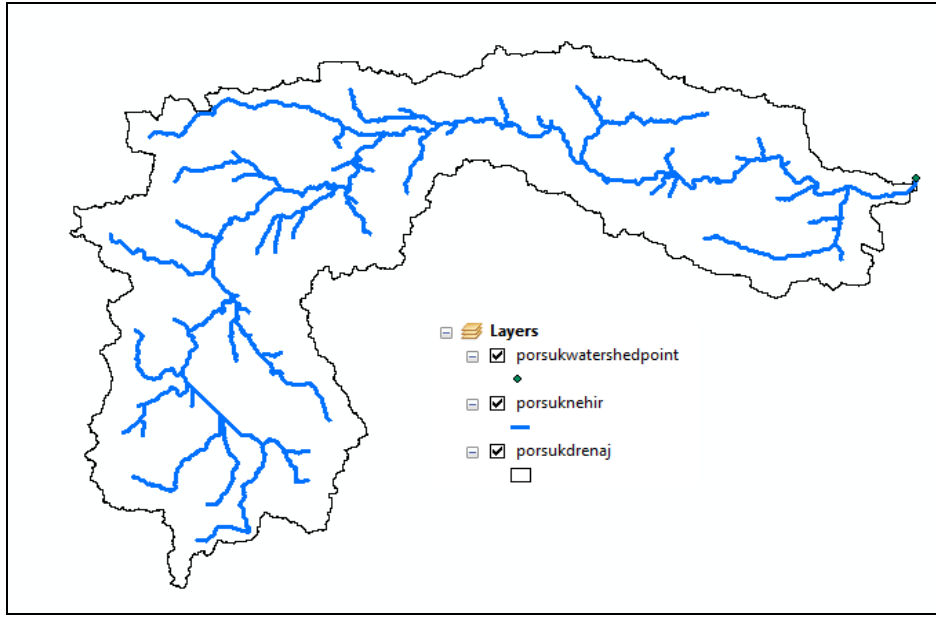
Bu fonksiyon akım yönünde birbirleri ile ilişkili olan su toplama alanlarını bir araya getirir. Ana su toplama alanı olmayan her bir su toplama alanı için menba alanını ana su toplama alanının girdi noktasına drene eden bir poligon inşa edilir ve depolanır.

## 5. SU TOPLAMA ALANI İŞLEMLERİ

### Herhangi bir noktanın su toplama alanını belirleme

Su toplama alanının boşalım kesimi belirlenerek tek bir hücre tespit edilir. Burada amaç su toplama alanındaki suyu drene eden noktayı tayin etmektir. Çalışmada Porsuk Çayı'nın Sakarya nehri ile birleşme noktası seçilerek bu noktada su toplama alanının büyüklüğü 10.834,84 km<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır (Şekil 11).





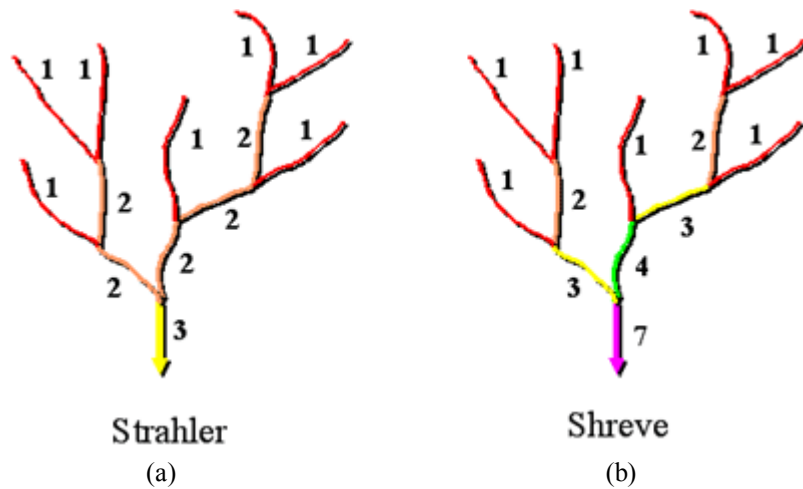
Şekil 11. Porsuk Çayı su toplama alanı

## 6. AKARSU DERECELENDİRME

Havza çalışmalarında kullanılan ana verilerden bir akarsu ağıdır. Akarsu ağını (drenaj ağı) kısaca bir nehrin sabit ve geçici bütün kollarının meydana getirdiği şebeke olarak tanımlayabiliriz. Akarsu şebekelerinin incelemede kullanılan yöntemlerden biri akarsu kollarının derecelendirilmesidir. Akarsu derecelendirme için değişik yöntemler kullanılmakla birlikte en çok Strahler ile Shreve Metodları kullanılmaktadır.

Strahler (1952) Metodu, menbadan başlamak üzere eğer akarsu ağındaki bir akarsu hiçbir kol almayıp sadece toprak yüzeyinden gelen suları alıyorsa bu kola 1.derece kol denir. İki tane 1.derece kol birleşince 2.derece kolu, 2 tane 2.derece birleşince 3.derece kolu meydana getirirler ve derecelendirme böylece devam eder. Herhangi dereceden bir kol daha düşük dereceden kolları alabilir. 3.dereceden bir kol pek çok 1. ve 2.dereceden kolu alabilir ve hala aynı 3.derece koldur. Ancak kendisiyle aynı dereceden bir kolla birleşince bir üst dereceye geçer (Şekil 12a).

Shreve (1967) Metodunda 1. derece kol tanımı Strahler sistemindeki ile aynıdır. Yani, akarsu ağındaki bir akarsu hiçbir kol almayıp sadece toprak yüzeyinden gelen suları alıyorsa bu kola 1.derece kol denir. Ancak, Strahler Metodundan farklı olarak, bundan sonra her kolun derecesi birleşerek kendini meydana getiren kolların derecelerinin toplamına eşit olur. Shreve Metodunda akarsuyun derecelendirilmesi koldan tahmini geçecek toplam akışın gösterilmesine daha duyarlıdır (Şekil 12b).



Şekil 12. Akarsu derecelendirmesi

## 7. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, SRTM90 uydu görüntülerinden elde edilen SYM, hidrolojik olarak yeniden düzenlenmiş ve kullanılacak ArcHydro programının ihtiyaç duyduğu ön işlemlerden geçirilerek Porsuk Çayı'na ait su toplama alanı ile Porsuk Çayına ait alt havzalar elde edilmiştir. Yapılan çalışma neticesinde Porsuk Çayı Havzası 10.834,84 km<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.

Porsuk Çayı havzası, Prof. Dr. Yılmaz Büyükerşen ve Dr. S. Saim Efelerli tarafından TMMOB 'nın düzenlediği Su Politikaları Kongresi kitabında "Porsuk Havzası Su Yönetimi ve Eskişehir Örneği" adlı makalede 11.188 km<sup>2</sup>, Recep Bakış vd. tarafından hazırlanan Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi'nde (2011, Cilt 12) yayınlanan Porsuk Havzası Yüzeysel ve Yeraltısu Kirlilik Düzeyinin Araştırılması adlı makalede ise 11.325 km<sup>2</sup> olarak yer almaktadır.

## KAYNAKLAR

ESRI, Maidment D. (Ed.), 2002, *Arc Hydro GIS for Water Resources*.

**Hellweger F.**, 1997, AGREE - DEM Surface Reconditioning System.

**Merwade V.**, 2010, *Watershed and Stream Network Delineation*, School of Civil Engineering, Purdue University.

**Tarboton D.** (Utah State University), **Maidment D.** (University of Texas at Austin), ve **Robayo O.** (University of Texas at Austin), 2003, *GIS in Water Resources - Watershed Delineation from Digital Elevation Models*.

**Bakış R.** vd., 2008, Porsuk Havzası Su Potansiyelinin Hidroelektrik Enerji Üretimi Yönünden İncelenmesi.