

Sayı (Number): 2



## Taşkın Tasarım Debisi ve Önemi

Zekâi Şen

Ocak (January) 2017  
Istanbul - Turkey

**TAŞKIN KÜLLİYESİ**  
**TURKISH WATER FOUNDATION**  
**FLOOD FACULTY**

## TAŞKIN BÜLTENİ : SAYI 2

Taşkin Tasarım Debisi ve Önemi

*Zekai ŞEN*

©2017 SU VAKFI

Tüm yayın hakları anlaşmalı olarak Su Vakfı'na aittir.  
Kaynak gösterilerek alıntı yapılabilir, izinsiz çoğaltılamaz, basılamaz.

Basıma Hazırlayan :  
Muhiddin YENİGÜN



SU VAKFI

Libadiye Cad. Doğanay Sokak No:6 Kat:4 Üsküdar İstanbul  
Tel: (216) 412 3383 - Faks: (216) 412 3390  
suvakfi@suvakfi.org.tr - www.suvakfi.org.tr

# Taşkın Tasarım Debisi ve Önemi

Zekâi Şen

Su Vakfı

## 1 Giriş

Bir akarsu üzerinde su yapısının inşa edilmesi öncesinde oranın iklim, hidroloji ve yüzey şekillerini göz önünde bulundurarak, gelecekte ortaya çıkabilecek uç (ekstrem) değerlerin belirli bir risk seviyesinde hesaplanması ve buna göre su yapılarının boyutlandırılması gereklidir. Su miktarının taşkınları da göz önünde tutarak kabul edilen bir risk seviyesine göre belirlenecek büyüklüğüne (debisine) hidrolojik tasarım büyüklüğü adı verilir. Gün geçtikçe daha da artan bilimsel yöntem ve teknolojik gelişmeler sayesinde insanoğlu kendisine gelecekte zararlı olabilecek durumları önceden tespit ederek ona göre tedbirini alabilir. Bu bakımdan herhangi bir su yapısının planlanmasında tasarım büyüklüğü bazı kabullerin ışığı altında hesaplanır. Bu hesaplamaların hemen hepsinde taşkın büyüklükleri esas alınır. Bir su yapısının tasarımında ömrü boyunca tehlikeli olarak bir tane taşkın miktarı esas alınarak boyutlandırma yapılır. Gereğinden ne büyük (ekonomik olmaz) nede küçük (tehlikeli olur) tasarım debisi seçmemelidir. Büyük bir değer seçilmesi durumunda yatırım ve işletme maliyetlerinin artmasının ötesinde, su yapısı ömrü boyunca karşılaşmayacağı böyle bir tasarım debisine karşı fazla fonksiyonel olamaz. Küçük tasarım debisi seçilmesi halinde ise su yapısı ömrü boyunca bir veya birkaç kere aşırı taşkınlarla maruz kalarak hasar görmesi veya su

kuvveti ile yerinden sökülerek tamamen yok edilmesi söz konusu olacağından boşu boşuna masraf yapılmış demektir. Büyüklüklerine bağlı olarak taşkınları aşağıdaki gibi üç ana gruba ayırmak mümkündür.

1. Olağan taşkınlar: Yapılacak projenin ömrü boyunca birkaç kere ortaya çıkarak tasarım debisini aşabilecek taşkınlardır,
2. Standart proje taşkını: Bir akarsu havzasının tümünü göz önünde tutarak belirlenecek olan taşkın büyüklüğüdür. Bu taşkın projeye süresince az da olsa güvenilir seviyeyi bir veya birkaç kere aşması söz konusudur. Standart proje taşkını büyük olmasına rağmen akarsuyun bazı kesitlerinde zaman zaman aşılması mümkündür. Genel olarak, muhtemel en büyük taşkın değerinden daha küçüktür (Bölüm 4). Muhtemel maksimum taşkın ise bir bölge için mümkün olabilecek en kötü meteoroloji ve hidroloji şartları için geçerlidir (Şen, 2004),
3. Ara taşkınlar: Bu sınıfta pek tehlikeli olmayan standart proje taşkını ile muhtemel en büyük taşkın arasında düşen taşkınlar yer alır.

Muhtemel en büyük taşkın değerine göre tasarımların yapılması ekonomik standart proje taşkınının belirlenmesinde elde mevcut ekonomik imkânlar ve müsaade edilebilecek yüzde aşılma ihtimali yani risk seviyesi ve-

rilmelidir. Yukarıda belirtilen taşkın sınıflandırılmasında mühendislik hidrolojisinin konusuna düşen ve hesaplamaları gerektiren standart proje taşkını için böyle bir risk seviyesinin daha hesaplamaların başından itibaren kabul edilmesi gerekir. Risk seviyesi ne kadar artarsa su yapısının boyutlandırılması için yapılacak ekonomik yatırım ve işletme maliyetleri de o kadar fazla olur. Çünkü riskin artması standart proje debisinin artması anlamına gelir. Endüstri ve yerleşim alanlarının taşkın hesaplamaları yapılmadan planlanarak geliştirmek, düşünülmeden yerleştirilmek ne kadar taşkın risk analizi yapılırsa yapılsın, buralar ileriki bir zamanda ortaya çıkabilecek taşkın riskine maruz kalır. Genel olarak bir su yapısından üç özellik beklenir.

1. Güvenilir (emniyetli) olması,
2. Maliyetinin düşük olması,
3. Kendisinden beklenen görevleri ömrü boyunca zararsızca yerine getirmesi.

Su yapılarının boyutlandırılmasında o yapının ömrü boyunca ortaya çıkabilecek en büyük taşkın debisi kullanılır. Baraj dolu savağı ve yerleşim alanlarının koruyucu tesisleri (bentler, tahliye kanalları, vb.) dışındaki diğer yapıların boyutlandırılmasında mutlaka en büyük taşkın debisinin kullanılması gerekemeyebilir. Bu yapıların birkaç kere taşkına maruz kalmasına müsaade edilebilir. Böylece maliyette önemli düşüşler ortaya çıkar. Benzer olarak bir su yapısının maruz kalacağı mutlak risk yerine bunun ekonomiyi de göz önünde tutarak bir ölçüye kadar biraz riske maruz bırakılmasın müsaade edilebilir.

Ülkemizdeki taşkınların kış mevsiminde ortaya çıkanları yağışlardan ilkbahar aylarında olanlar ise daha ziyade yağışlara ilave olarak kar eriyişinden olabilmektedir. Yaz aylarında zaman zaman ortaya çıkanlar ise daha ziyade ani taşkınlar şeklinde sıcaklık farkından (konvektif) dolayı meydana gelir. Ancak bu etkilere taşkınların yer ile zaman-

da kaymalı ve şiddetlerinin geçmişe göre daha fazla çıkmasının sebepleri arasında iklim değişikliğinin tesiri unutulmamalıdır. Bu etki gelecek yıllarda kendisini daha da etkin olarak göstereceğe benzetmektedir. Bundan sonraki yıllarda iklim değişikliği tesirlerini de göz önünde tutarak geçmiş kayıtlara güvenerek gelecek taşkın serilerinin öngörülemediği esas alınmalıdır. Şimdiye kadar yapılan hesaplamalarda hep geleceğin geçmişin bir aynası olacağı kabulü kullanıla gelmiştir. Uzun döngü sürelerine sahip olan taşkınların birbirini takip eden birkaç yılda meydana geldikleri de görülmüştür. Bunun anlamı taşkınlar arasında bağımlılığın olabileceğidir (Bölüm 4.10). Yıllık ve kısmi taşkın serileri ile yapılan hesaplamalar uzun döngü süreleri için birbirlerine yaklaşıp. Farklılıklar daha ziyade kısa ve orta döngü sürelerinde ortaya çıkmaktadır.

## 2 Debi Tanımı

Tüm su kaynaklarının esasları olan yağışlar birim alana birim zamanda düşen yağmur veya daha genel anlamda kar su eşdeğeri derinliği ile ifade edilir. Mesela, aylık 15 mm miktarında bir yağış denildiğinde bu yeryüzünde 1 m<sup>2</sup>de 15 mm derinliğinde su biriktiğini anlatır. Burada dikkat edilmesi gereken noktalar şunlardır.

1. Bulutlardan yeryüzüne düşen ve henüz buharlaşma ve sızma gibi kayıpların olmadığı miktardır. Buna yeryüzüne ulaşan bürüt yağış adı da verilebilir,
2. Bu yağış miktarının üç biriminin (alan-m<sup>2</sup>, derinlik-mm ve zaman-mesela ay) olduğu akıldan çıkarılmamalıdır. Birde bu miktarın sözel bir özelliğinin olması gerekir ki mesela sadece yağış miktarı aylık 15 mm denirse bunun aylık ortalama mı, toplam mı, en büyük (veya en küçük) değer mi, olduğunun da belirtilmesi gerekir.

Yağış için açıklanan bu iki nokta tüm hidro-meteorolojik değişkenleri ve bu arada akış miktarını temsil ve tanımını aşağıda veri-

lecek olan debi içinde geçerlidir. Arık yağış buharlaşma, sızma, bitkiler tarafından tutulma ve diğer kayıpların çıkarılması ile bürüt yağıştan arta kalan yağış miktarıdır.

Akarsulardaki akış miktarına gelince bunun birim alan olarak ölçülmesi mühendislik çalışmaları açısından pek kullanışlı değildir. Akarsu akışı birbirini takip eden sonsuz tane mecra en kesitinden geçmektedir ve miktarının da birim zamanda bir en kesitten geçen su hacmi olarak tarif edilmesinde yarar vardır. Çünkü akarsu mecralarında toplanan yüzeysel akışların alanla değişimleri değil de zamanla olan değişimleri önem kazanmaya başlar. Mesela, baraj gibi biriktirme hazneleri akarsuyun uygun olan bir en kesitinde yapılır. Ayrıca, pratikte su kullanımı hep birim zamandaki hacim cinsinden ifade edilir. Böylece birim zamanda akan su hacmi debi, Q, olarak tanımlanır. Hacim V ve zamanda t olmak üzere,

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir. Hacim alan, A, ile suyun kat ettiği yol, L, çarpımına eşit olduğundan gerekli değişkenlerin Denklem (1)'de yerine konulması ile

$$Q = \frac{AL}{t} \quad (2)$$

olur. Burada fizik bakımından L/t hızı, (v) belirttiği için debinin yeni formülü

$$Q = Av \quad (3)$$

şeklinde karşımıza çıkar. Böylece, debinin ölçülmesinde veya hesaplanmasında suyun hızını ve aktığı kesitin alanını bilmenin yeterli olduğu ortaya çıkar. Suyun kesit alanının her noktasında değişik hızları olacağı düşünülürse pratik mühendislik hesaplamaları için suyun en kesit boyunca olabilecek ortalama hızının,  $\bar{v}$ , bilinmesi gerekecektir. Gerek en kesit alanı, gerekse suyun ortalama hızının ölçülmesi için ayrıntılı olarak yapılan arazi ölçümleri ve ofis çalışmaları hidro-metri bilim dalına girmektedir (Şen, 2003).

### 3 Tasarım Taşkın Tahmini

Bugüne kadar keşfedilmiş gelecekte bir su yapısı ömrü boyunca ortaya çıkabilecek yağışların şiddetini kesinlikle tahmin eden güvenilir bir yöntem bulunmamaktadır. Elimizde çokça veri bulursa dahi yaklaşık sonuç veren bazı yöntemler bulunmaktadır. Beklenen taşkınların büyüklükleri ve verebilecekleri zararlar hakkında yaklaşık hesaplamalar yapılabilir. Bir su yapısının tasarımında mühendislik hidrolojisinin değişik yaklaşımlarını iyi bilen mühendislerin kendi görüşlerinin de (uzman görüş) ağırlığı bulunmalıdır.

Taşkınların tahmini için değişik yöntemler kullanılır. Bazıları sadece su toplama havzasının özelliklerine bağlıdır. En yaygın olanı su toplama havzasının alanı ile taşkın debisi büyüklüğünün doğru orantılı olduğu düşüncesidir. Bazı yaklaşımlar eldeki geçmiş ölçümlerden yararlanarak ve teorik ihtimal yöntemlerini de kullanarak standart tasarım taşkının tahminine çalışır. Yağış akış bağıntılarından yararlanarak taşkın öngörüsünde bulunma yöntemleri de vardır. Pratikte, bu yöntemlerin birkaçı bir arada kullanılarak karara varılabilir. Genel olarak, su yapısının maliyeti ile ondan elde edilebilecek kazançlar da göz önünde tutularak bir eniyileme yöntemi ile tahmin yapılabilir. Bazen mühendisler çok emin olabilmek için su yapısı ömrünü 100 veya 200 yıl olarak planlanmasına rağmen, 500 yılda bir ortaya çıkabilecek taşkına göre boyutlandırma yapılması yoluna da giderler. Taşkın hesaplamaları için birbirini tamamlayabilecek aşağıdaki farklı yöntemden söz edilebilir.

1. Taşkın debisinin tecrübeye dayalı (ampirik) bir takım formüller yardımı ile tahmin edilmesi,
2. Zarf eğrileri ile taşkın tahminlerinin yapılması,
3. Akılcı yöntemlerin uygulanması,

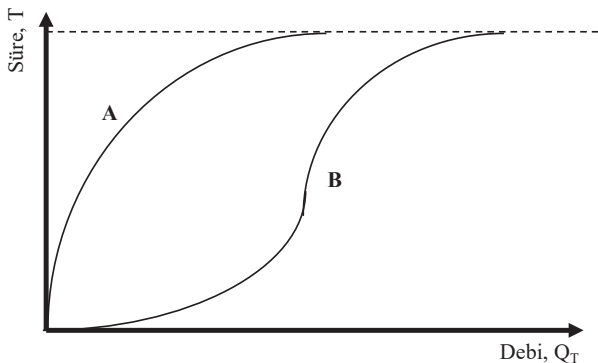
4. İhtimal ve istatistik yöntemleri esas alınarak taşkın tahminlerinin yapılması (Bölüm 4),
5. Birim hidrograflar vasıtasıyla taşkın debilerinin belirlenmesi.

#### 4 Taşkın Tasarım Debisi Hesaplanması

Taşkınlar değişik sürelerde ortaya çıkan doğal olaylar olması sebebi ile tasarımlarında mutlaka bir süresinin göz önünde tutulması gereklidir. Taşkına maruz kalması söz konusu olan yerlerin önemine, konumuna ve işlevine göre tasarım süresinin seçilmesinde yarar vardır. Mesela, şehir içi taşkın basmaları için kanalizasyon alt yapısının durumuna göre 5 veya en fazla 25 yıl, yol inşaatı için 25 veya 50 yıl, tarım alanları için 50 veya 100 yıl, dolu savak hesaplamalarında 100 veya 250 yıl ve aşırı taşkın durumlarında 500 yıla varan süreler düşünülebilir. Tasarım süresi,  $T$ , taşkın tasarım debisi  $Q_T$  ile doğru orantılıdır ama aralarındaki ilişki doğrusal (lineer) değildir. Matematik kapalı bir ifade ile

$$Q_T = f(T) \quad (4)$$

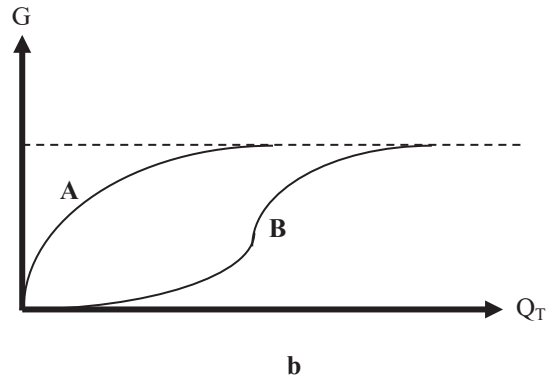
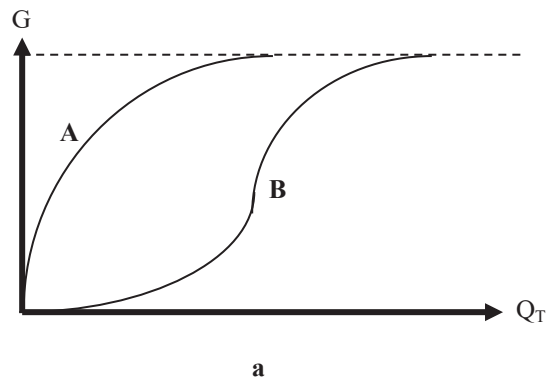
şeklinde belirlenir. Akılcı bir düşünce tasarım süresi arttıkça taşkın debisinin artışında azalmanın olacağı çıkarımına götürdüğünden yukarıdaki kapalı matematik ifade yatay ekseninde debi, düşey ekseninde de süre olmak üzere Şekil 1’de gösterilen eğrilerden bir tanesinin çıkması gerekliliğini söyler.



Şekil 1 Süre-debi ilişkisi

Diğer bir soru acaba taşkına karşı güven,  $G$ , ile tasarım debisi arasında nasıl bir ilişki vardır? Yine akılcı düşünce olarak güven arttırılırsa bunun karşı koyabileceği debi

miktarı da artması gerekir. Mesela, taşkından korunmak için bir baraj yapılması söz konusu olursa barajın hacmi yani arkasında depolayabileceği su miktarı artıkça gelecekte daha büyük debilerin depoda biriktirilerek taşkının aşağılara verebileceği zarar azalmaz mı? Yani barajın güveni daha fazla olmaz mı? Akıl  $G$  ile  $Q_T$  arasında yine bir doğru orantının çıkacağını söyler ancak bunun doğrusal olmadığı da anlaşılır. Şekil 2’deki iki durumu kıyaslayabilirsiniz



Şekil 2 Güven-debi ilişkisi

Şekli 2a’daki biriktirme haznesinin boyutu daha büyük olduğundan güveni Şekil 2b’dekine göre daha fazladır ama her ikisinde de güven arttıkça tasarım debisi de artmaktadır.

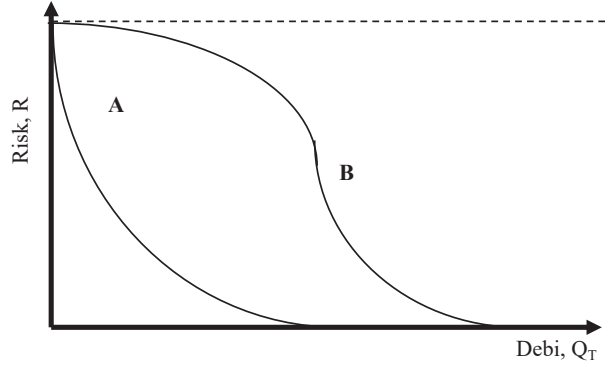
Taşkınların mühendislik, sosyal ve ekonomik olaylar açısından en fazla sözü edilen büyüklüğü taşkın riskidir. Taşkın riski,  $R$ , ile  $G$  arasında birbirini tamamlayan bir bağlantının olduğu yine akıl ile bilinen bir gerçektir. Güven ne kadar fazla ise risk o kadar azdır. Verilen bir su yapısı veya taşkın olayı için bunların toplamı daima sabit,  $s$ , kalır. Bunu

$$G+R = s \quad (5)$$

gibi bir ifade ile belirtebiliriz. Burada sabit değer tüm güvenli ve riskli durumların toplamıdır. Buradan güven ve risk oranlarını (yüzdelerini, sırası ile r ve g olarak) bulmak için Denklem (5)'in her iki tarafının s'ye bölünmesi ile

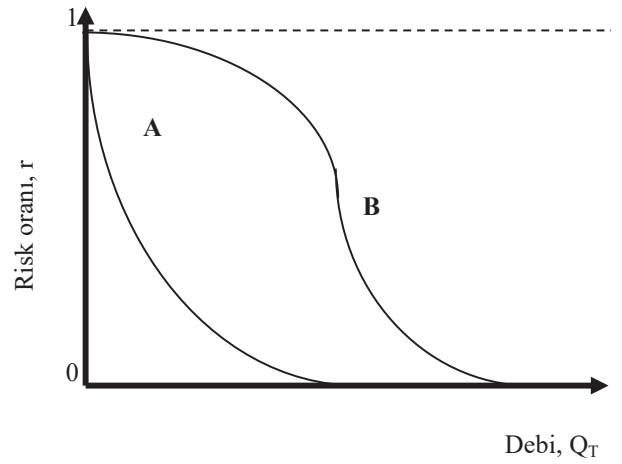
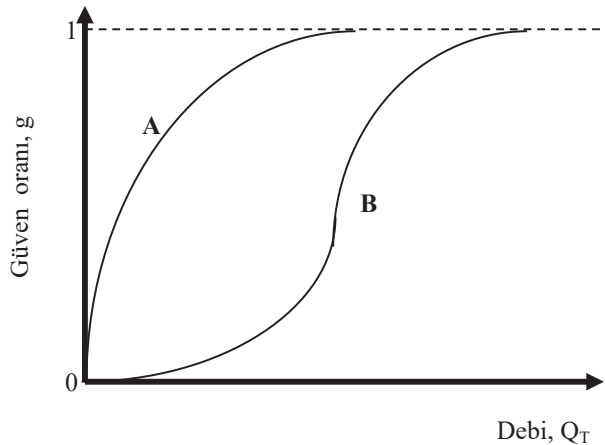
$$g+r = 1 \quad (6)$$

ifadesi elde edilir. Mühendislik tasarımlarının tümünde hidrolojik risk olarak buradaki yüzdeyi göz önünde tutmak gerekir. Denklem (5)'in Şekil 1 ile beraber göz önünde tutulması ile taşkın debisi ve risk arasındaki ilişkinin ters orantılı ve eğrisel olduğunu görürüz (bak Şekil 3).



Şekil 3 Risk-debi ilişkisi

Şekil 1 ve 3'deki güven- ve risk-tasarım debisi ilişkilerinin düşey eksenlerinin 1'e (veya %100'e) eşit olacak biçimde ayarlanması ile her bir ilişki daha standart bir hale getirilir (bak Şekil 4).



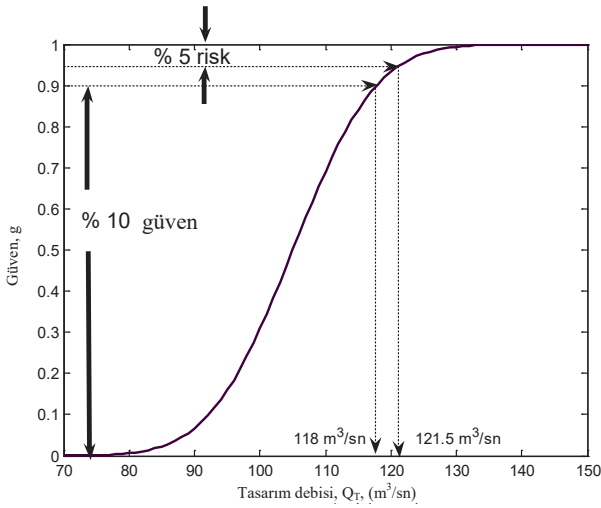
Şekil 4 Tasarım debisi-güven ve -risk standart eğrileri

Bu şekildeki eğrilerde güven (risk) oranı 0 ile 1 arasında değişir ve güvenin (riskin) 0 olduğu yerde risk (emniyet) 1 değerini alır. Düşey eksenlerdeki güven ve risk değerlerini 100 ile çarparak güven ve risk yüzdelerini elde edebiliriz. Pratikte alsa %100 güvenli veya riskli durumlar ortaya çıkmaz. Hiçbir teknoloji veya yöntem taşkın riskinin sıfır veya güvenin bir olmasını temin edemez. Bu ancak teorik düşüncelerde vardır. Şimdiye kadar akılcı çıkarımları şöylece özetleyebiliriz

1. Taşkın tasarım süresi ile buna bağlı tasarım debisi arasında doğru orantılı ancak eğrisel bir ilişki vardır (Şekil 1),
2. Güven-tasarım debisi ilişkisi doğru orantılı ve eğriseldir (Şekil 2),
3. Risk-tasarım debisi ters orantılı ve eğriseldir (Şekil 3),
4. Güven ve risk oranlarının toplamı 1'e eşittir (Şekil 4),
5. Pratikte risk asla 0'a güven de 1'e eşit olamaz,
6. Güven-tasarım debisi eğrisinin 1'den çıkarılması ile risk-tasarım debisi eğrisi elde edilir.

**Misal 1:** Bir yörenin güven-tasarım debisi eğrisinin Şekil 5'deki gibi olduğu varsayılırsa aşağıdaki soruları cevaplandırınız.

1. %90 güvenli tasarım debisi ne kadardır?
2. %5'lik riske sahip olan tasarım debisi nedir?



Şekil 5 Güven oranı-tasarım debisi eğrisi

**Cevap 1:** Bu eğri verildiğine göre o yörenin taşkın tahminlerinin yapılması imkân dâhiline gelmektedir.

1. Burada %90 güvene karşı gelen tasarım debisinin yatay eksenden başlayarak yukarıya doğru %90 güven seviyesine ulaşılması ile ona karşı gelen tasarım debisi yatay eksenden 118 m<sup>3</sup>/sn olarak okunur,
2. Yüzde 5'lik risk oranı %95 güven oranına karşı geldiğinden Denklem 6'ya yatay eksenden önceki adımdakine benzer şekilde %95'lik düşey ilerlemeye karşı gelen veya risk anlamı olarak üst yatay eksenden aşağıya doğru %5'lik bir iniş yapılarak ortaya çıkan yatay seviyenin eğriyi kestiği noktanın yatay eksendeki iz düşümünden 121,5 m<sup>3</sup>/sn'lik bir tasarım debisi elde edilir.

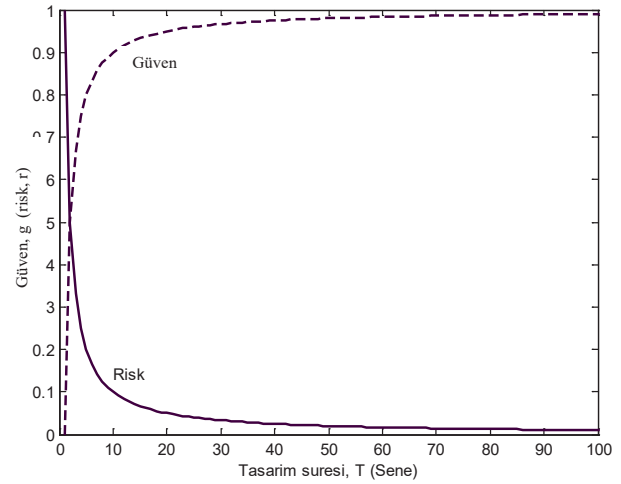
Tasarım debisinin tayinine tasarım süresinden başladığımızı göre acaba bu sürenin güven veya risk oranı ile nasıl bir ilişkisi vardır? Bu sorunun cevabını tasarım taşkınının tanımında bulabiliriz. Taşkın tasarım süresi boyunca ancak bir kere ortaya çıkması kabul edildiğine göre T sürelik bir zaman diliminde ortaya çıkma oranı (yüzdesi) risk veya aşılma ihtimali için bu tanımdan,

$$r = \frac{1}{T} \quad (7)$$

ifadesini yazabiliriz. Buna göre Denklem (6)'dan güven oranı veya ihtimalinin

$$g = 1 - \frac{1}{T} \quad (8)$$

olacağı anlaşılır. Burada çok önemli bir noktayı hatırlamakta yarar vardır. Risk ve güven oranları sadece T yıl boyunca herhangi bir yılda ortaya çıkabilecek taşkın risk veya güvenidir. Böylece risk (güven) ile tasarım süresi arasında daha önce sözü edilen ters orantılı (orantılı) ve eğrisel bir ilişkinin olduğu da anlaşılabilir. Şekil 6 risk ve güven oranlarının tasarım süresi ile olan ilişkilerini verir.



Şekil 6 Güven-risk-tasarım süresi ilişkileri

Yukarıda açıklanan akılcı çıkarımlarla ortaya konulan eğrilerin pratikte nasıl uygulanacağı da anlaşılmaktadır. Burada en önemli sorun bu eğrilerin bir yöre için nasıl elde edileceğidir. Çünkü bu tür güven (risk) eğrileri yörenin iklimine, yüzey şekillerine ve hidro-meteorolojisine göre değişiklik gösterir.

Artık akılcı değil de deneyci (Şen, 2002) bir yaklaşım kullanılarak burada sözü edilen risk (güven) eğrilerinin çıkarımını göstermenin zamanı gelmiştir. Bunun için elimizde geçmiş zamanlara ait o yörede yapılmış taşkın verilerinin bulunması gereklidir. Bu tür ölçümler Türkiye'de Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından yapılmaktadır. Çizelge 1'deki ilk iki sütunda taşkın seneleri ve debi miktarları verilmiştir.

Çizelge 1 Taşkın ölçümleri

Doğal sıralı		Yapay sıralı		
Sene	Taşkın debisi (m <sup>3</sup> /sn)	Mertebeli taşkın (m <sup>3</sup> /sn)	Mertebe, m	Güven, g, (%)
1980	2520	690	1	0,033
1981	1850	750	2	0,067
1982	750	820	3	0,100
1983	1100	820	4	0,133
1984	1380	965	5	0,167
1985	1910	1100	6	0,200
1986	3170	1126	7	0,233
1987	1200	1200	8	0,267
1988	820	1212	9	0,300
1989	690	1240	10	0,333
1990	1240	1367	11	0,367
1991	1730	1380	12	0,400
1992	1950	1385	13	0,433
1993	2160	1410	14	0,467
1994	3320	1480	15	0,500
1995	1480	1695	16	0,533
1996	1812	1730	17	0,567
1997	1695	1812	18	0,600
1998	1926	1850	19	0,633
1999	820	1876	20	0,667
2000	965	1910	21	0,700
2001	1212	1926	22	0,733
2002	1385	1950	23	0,767
2003	1976	1976	24	0,800
2004	2225	2160	25	0,833
2005	1876	2225	26	0,867
2006	1126	2520	27	0,900
2007	1367	3170	28	0,933
2008	1410	3320	29	0,967

Bu çizelgenin ilk iki sütununda doğal olarak sıralı taşkınlar üçüncü sütunda küçükten büyüğe doğru sıralanarak yapay sıralı hale dönüştürülmüştür. Dördüncü sütunda yapay sıralı taşkınların mertebeleri, m, gösterilmiştir. Bu yapay sıralamadan yine Şekil 1'deki debi-süre ilişkisinin göz önünde tutulması ile bir hesaplama ilkesinin geli-

tirilmesi gereklidir. Şimdi en küçük taşkın değerinden başlayarak teker teker değerleri göz önünde bulunduralım. Burada n=29 yıllık bir süre boyunca ortaya çıkan en büyük 3320 m<sup>3</sup>/sn'lik debiyi tasarım debisi olarak alır ve buna göre bir taşkın koruma yapısı tasarlasak, gelecek 29 yıl boyunca en büyük debinin tekrarlanacağını varsayarsak bunun ortaya çıkması ihtimali yani güven oranı 1'e eşittir (29/29=1). Böyle bir oranın sözel tanımını süre boyunca ortaya çıkan taşkın olay sayısının (en büyük mertebenin), m<sub>eb</sub> (n=m<sub>eb</sub>) süre boyunca alt zaman dilimi sayısına (burada yıl), n'ye bölümüdür. Yani

$$g_{eb} = \frac{m_{eb}}{n} \quad (9)$$

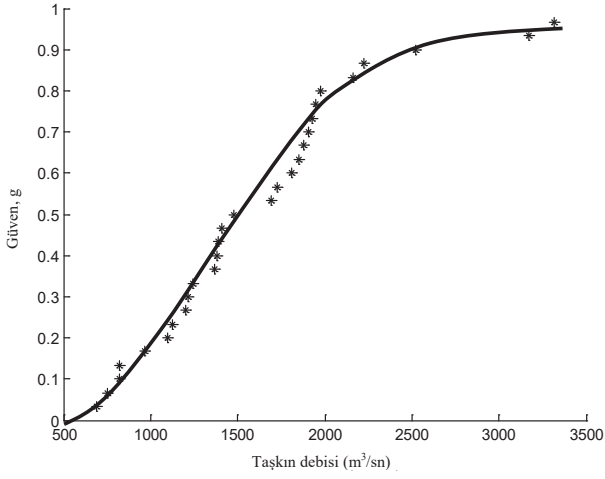
olarak simgeleştirilebilir. Böyle bir durum asla gerçekçi değildir çünkü doğada taşkınlar sürekli rekor kırar ve bu sebeple de en büyük taşkın güveninin 1 değil ona oldukça yakın bir güvene sahip olması gereklidir. Bu düşünce tarzı ile bazı yazarlar en büyük taşkın debisinin güven oranının Denklem (9) yerine,

$$g_{eb} = \frac{m_{eb}}{n+1} = \frac{n}{n+1} \quad (10)$$

olmasını uygun görmüştür. Bu son ifade en büyük debinin hiçbir zaman 1 güven oranına sahip olamayacağını ifadesidir. Böylece gelecekte geçmiş en büyük taşkınlardan daha büyüklerinin ortaya çıkmasına müsaade edilmiştir. Dünyanın geri kalan ömrünün 5 milyar sene (pratikte matematik olarak sonsuz denilebilecek kadar büyük) olduğu düşünülürse Denklem (10) ancak bu sürede çok yaklaşık olarak 1'e gider (n → ∞ için g → 1). Denklem (10)'un her bir mertebe için en genel hali

$$g = \frac{m}{n+1} \quad (11)$$

şeklinde yazılabilir. Çizelge 1'in en son sütunundaki emniyet oranları bu denkleme göre hesaplanmış ve taşkın verileri ile olan ilişkisi Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 7 Taşkın debisi-güven ilişkisi

Bu şekilde bulunan saçılma noktalarına, ki asla azalmayan bir gidiş (trend) gösterirler,

en uygun bir eğrinin uydurulması ile taşkın debisi-güven oranı ilişkisi elde edilir.

Yukarıdaki açıklamaların ışığı altında Su Vakfı tarafından önerilen bir başka yaklaşım eldeki verilerin sürelerinin belirli bir yüzde hata, h, ile artırılması ile yine geçmiş taşkınlarından daha büyük taşkınların rekor kırması olayı göz önünde bulundurulmaktadır. Bu yaklaşımda güven oranı,

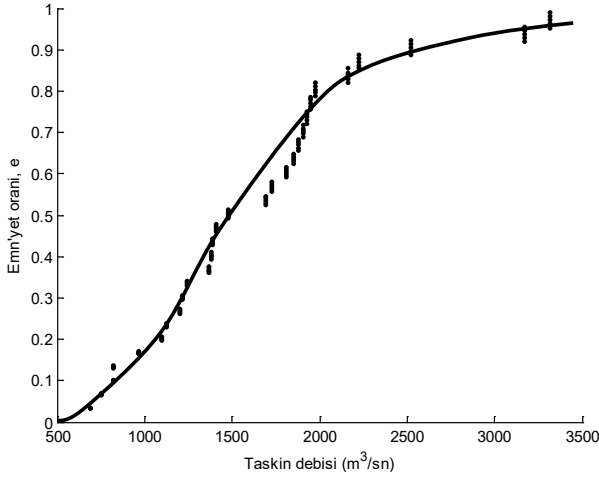
$$g = \frac{m}{n(1+h)} \quad (12)$$

olarak verilir. Denklem (12)'ye göre yapılan taşkın hesaplamaları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2 Su Vakfı taşkın hesaplaması

Doğal sıralı		Yapay sıralı		Hata katkılı güven				
Sene	Taşkın debisi (m³/sn)	Mertebeleştilmiş taşkın (m³/sn)	Mertebe	h=0,01	h=0,02	h=0,03	h=0,04	h=0,05
1980	2520	690	1	0,034	0,034	0,033	0,033	0,033
1981	1850	750	2	0,068	0,068	0,067	0,066	0,066
1982	750	820	3	0,102	0,101	0,100	0,099	0,099
1983	1100	820	4	0,137	0,135	0,134	0,133	0,131
1984	1380	965	5	0,171	0,169	0,167	0,166	0,164
1985	1910	1100	6	0,205	0,203	0,201	0,199	0,197
1986	3170	1126	7	0,239	0,237	0,234	0,232	0,230
1987	1200	1200	8	0,273	0,270	0,268	0,265	0,263
1988	820	1212	9	0,307	0,304	0,301	0,298	0,296
1989	690	1240	10	0,341	0,338	0,335	0,332	0,328
1990	1240	1367	11	0,376	0,372	0,368	0,365	0,361
1991	1730	1380	12	0,410	0,406	0,402	0,398	0,394
1992	1950	1385	13	0,444	0,439	0,435	0,431	0,427
1993	2160	1410	14	0,478	0,473	0,469	0,464	0,460
1994	3320	1480	15	0,512	0,507	0,502	0,497	0,493
1995	1480	1695	16	0,546	0,541	0,536	0,531	0,525
1996	1812	1730	17	0,580	0,575	0,569	0,564	0,558
1997	1695	1812	18	0,615	0,609	0,603	0,597	0,591
1998	1926	1850	19	0,649	0,642	0,636	0,630	0,624
1999	820	1876	20	0,683	0,676	0,670	0,663	0,657
2000	965	1910	21	0,717	0,710	0,703	0,696	0,690
2001	1212	1926	22	0,751	0,744	0,737	0,729	0,722
2002	1385	1950	23	0,785	0,778	0,770	0,763	0,755
2003	1976	1976	24	0,819	0,811	0,803	0,796	0,788
2004	2225	2160	25	0,854	0,845	0,837	0,829	0,821
2005	1876	2225	26	0,888	0,879	0,870	0,862	0,854
2006	1126	2520	27	0,922	0,913	0,904	0,895	0,887
2007	1367	3170	28	0,956	0,947	0,937	0,928	0,920
2008	1410	3320	29	0,990	0,980	0,971	0,962	0,952

Buradaki değerlerin taşkın-emniyet oranları ilişkisi de Şekil 8’de her bir h değeri için ayrı ayrı gösterilmiştir.



Şekil 8 Su Vakfı taşkın debisi-emniyet oranı ilişkisi

Bu şekil, Şekil 7’ye benzemekte ancak ondan farklı olarak verilen taşkın debisi için güven değerleri bir aralıkta değişmektedir.

### 5 Taşkın Verilerinin İhtimal Dağılım Eğrileri

Önceki kısımda tanımlanan güven ve risk oranlarının ihtimaller hesabındaki tanımlarına gelince bunları verilen bir taşkın debisinin,  $Q_T$ , aşması ve aşmaması oranları olarak ta tanımlanması yapılabilir.

$$g = P(Q \leq Q_T) = \frac{n_k}{n} \quad (13)$$

ve

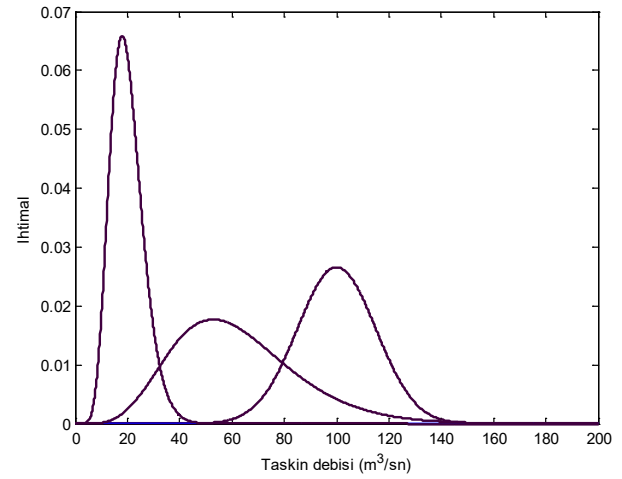
$$r = P(Q > Q_T) = \frac{n_b}{n} \quad (14)$$

Burada  $P(Q \leq Q_T)$  ve  $P(Q > Q_T)$  sırası ile taşkın tasarım debisinin aşılmama ve aşılma ihtimallerini (probabilite);  $n_k$  ve  $n_b$  ise tasarım taşkın debisinin verilen geçmiş taşkın debileri arasında sırası ile aşılmama (küçük olma) ve aşılma (büyük olma) sayılarını gösterir. Buradan Denklem (6)’ya benzer olarak güven ve risk değerleri toplamı ihtimaller cinsinden

$$P(Q \leq Q_T) + P(Q > Q_T) = 1 \quad (15)$$

şeklinde verilir. O halde Şekil 4’deki tasarım debisi-güven eğrisi aslında tasarım debisi ile debinin bu değerden küçük olma ihtimalini

gösterir ve bu sürekli artan biçimde tanımlandığı için ihtimaller hesabı konusuna göre bu eğri ardışık yığılımlı (kümülatif) ihtimal yoğunluk fonksiyonu (YİYF)’dur. Yine ihtimaller teorisine göre böyle bir eğrinin türevi ihtimal yoğunluk fonksiyonunu (İYF) verir ki bu da tasarım taşkınının taşkın göreceli (relatif) sıklığı (frekansı) ile değişiminin bir ifadesidir. İşte tasarım debisi-güven oranı eğrisi bu durumda tasarım debisi-göreceli sıklık eğrisi yani ihtimal yoğunluğu eğrisi haline gelir. Bu da Şekil 4’ün türevi yani her noktasındaki eğimin taşkın debisi ile değişimi olacağından akılcı bunun eğrisi Şekil 9’da gösterilen tek zirveli eğrilerden bir tanesi olur.



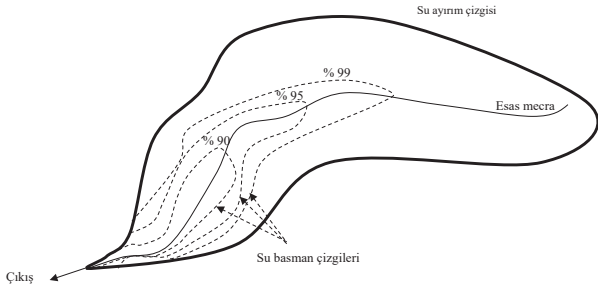
Şekil 9 İhtimal yoğunluk fonksiyonu

Böylece İYF’nun taşkın hesaplamalarındaki önemi ortaya konulmuş olmaktadır. O halde, geçmiş taşkın verilerinden öncelikle taşkınların İYF’lerinin elde edilmesi de önemlidir.

### 6 Anahtar Eğrisi

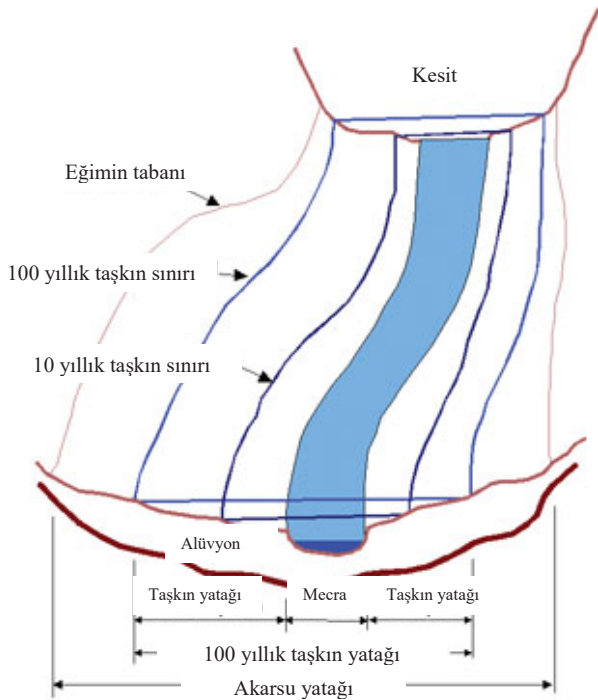
Genel olarak, bir akarsu havzasındaki taşkın alanlarını Şekil 10’daki gibi gösterebiliriz. Burada değişik risk seviyelerine göre su basman alanları gösterilmiştir. Risk seviyesi arttıkça su basman seviyesi ve kapasitesi artmaktadır. Bu tür eş risk çizgilerinin havza içinde belirlenmesi ile artık halk ve yerel yöneticiler için gelecekteki planlamalar için bilinçlendirilmiş olur. Me-

sela, bir yerde %90 riskli su basman alanının belirlenmesi ile artık burada olabilecek her türlü yapılaşma veya faaliyetin halkın kendi riski olarak algılanacağı ve buralarda faaliyetlerde bulunulmaması genelgesi yayınlanabilir. Böylece yerel yönetimler ve devlet belirtilen risk alanlarında ortaya çıkabilecek herhangi bir taşkın hasarından sorumlu olmaktan kurtulur.



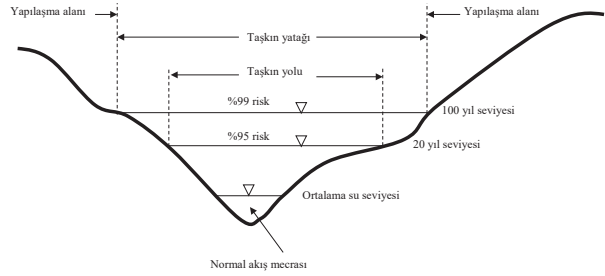
Şekil 10 Çeşitli risk seviyelerinde havza içi su sınırları

Benzer olarak bir akarsuyun kuş bakışı olarak bir kısmındaki taşkın seviyeleri ve tanımlamalar Şekil 11’de gösterilmiştir. Burada ortaya çıkabilecek taşkın su basmanları tekerrür süreleri belirtilerek gösterilmiştir. Mesela, 100-yıllık taşkın sınırı ile akarsu arasındaki alan mutlak koruma alanı olarak ilan edilirse buralarda yapılaşmalara mani olunabilir.



Şekil 11 Kuş bakışı taşkın sınırları

Şekil 12’de akarsuyun en kesitinde değişik risk seviyelerini temsil eden su basman sınırları gösterilmiştir. İşte bir akarsu kesitinde olabilecek taşkın riskli genişliklerin belirlenmesinde risk hesaplamaları yapılmalıdır.



Şekil 12 Akış en kesiti ve su basman seviyeleri

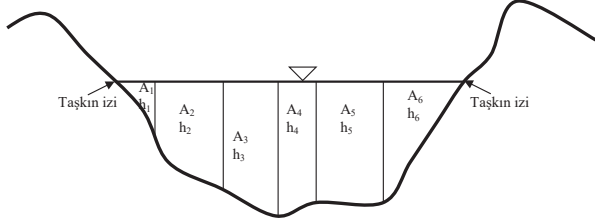
Bir mecranın en kesitinde yüzeysel akış debisinin seviye ile değişimini gösteren eğriye anahtar eğrisi denir. Taşkın su basman haritalarının hazırlanmasında bu eğriler çok faydalıdır. Sulak alanlarda bu eğri hidro-metrik akım ölçümleri sonunda ve ofis hesaplamaları ile bulunur (Şen, 2003). Kurak ve yarı-kurak bölgelerde tecrübeye dayalı (ampirik) yaklaşımlarla elde edilen aynı türden eğrilere yapay anahtar eğrisi adı verilir (Khiyami vd., 2008).

Genel olarak, hidrometrik çalışmalarda bir kesitteki debinin derinlik veya seviye ile değişimini ortaya çıkarmak için hız ölçümlerinin yapılması gereklidir. Böyle bir eğrinin elde edilmesinde bir en kesitin (Şekil 12’de) D derinliğinde su ile dolu olması durumunda ıslak alan, A, ve o kesitteki ortalama hız,  $\bar{v}$ , ölçülmelidir. Basit olarak o kesitteki debi

$$Q = A\bar{v} \quad (16)$$

şeklinde yazılır. Sulak alanlarda içinde akış bulunan kesit alanı hesaplanması için gelişmiş güzel olan geometrisi düzgün üçgen ve yamuklara bölünür (Şekil 13) ve her bir üçgen ve yamuğun alanlarının hesaplanmasından sonra bunların toplamı o kesitin alanını verir. Her bir derinlik değişiminde (su seviyesi salınımları) bu hesaplamalar tekrarlanır. Kesitteki ortalama debiyi bulabilmek için her bir üçgen ve yamuk alt alandaki hızlar akı-

mölçer (muline) vasıtası ile ölçülerek böylece Denklem (16)'ya göre her bir alt alanın debisi ( $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6$ ) hesaplanır. İşte bu debilerin toplanması ile göz önünde tutulan derinliğe karşı gelen kesit debi miktarı bulunmuş olur.



Şekil 13 Temsili kesit alanı ve alt alanları

Anahtar eğrisinin elde olması durumunda gelecekte artık sadece o kesitteki derinliğin ölçülmesi yeterlidir çünkü artık anahtar eğrisi kullanılarak o derinliğe karşı gelen debi kolayca okunabilir. Her bir en kesitin kendisine has bir anahtar eğrisi vardır. Bu eğrilerin en büyük faydaları arasında taşkın sonrası akarsu yatağı kenarlarında kalan iz seviyesinin arazide okunması ile taşkın debisinin anahtar eğrisinden tahmin edilebilmesidir.

Kurak bölgelerde ve yarı-kurak bölgelerin hemen hepsinde yüzey akışları pek olmadığından yukarıda sözü edilen ölçümler sonrasında anahtar eğrisinin çıkarılması mümkün olmaz. Bunun için farklı olarak aşağıdaki işlemlerin yapılması gereklidir.

1. Akış mecrası boyunca uygun veya ilgi odağı olan bir en kesit seçilir. Bu seçimde en kesitin zamanla değişmeyecek bir malzemeyle sahip olmasına dikkat edilmelidir. Taşkın hasarları daha ziyade bir havzanın aşağı kısımlarında ortaya çıktığı için bir dizi en kesit konumunu özellikle taşkın riskinin bulunduğu kısımlarda seçmek uygun olur. Seçilen her bir kesit için yukarıda açıklananların ışığı altında birer yapay anahtar eğrisi çıkarılabilir. Seçilen bu kesitlerde aşağıdaki noktaların dikkate alınması gereklidir,

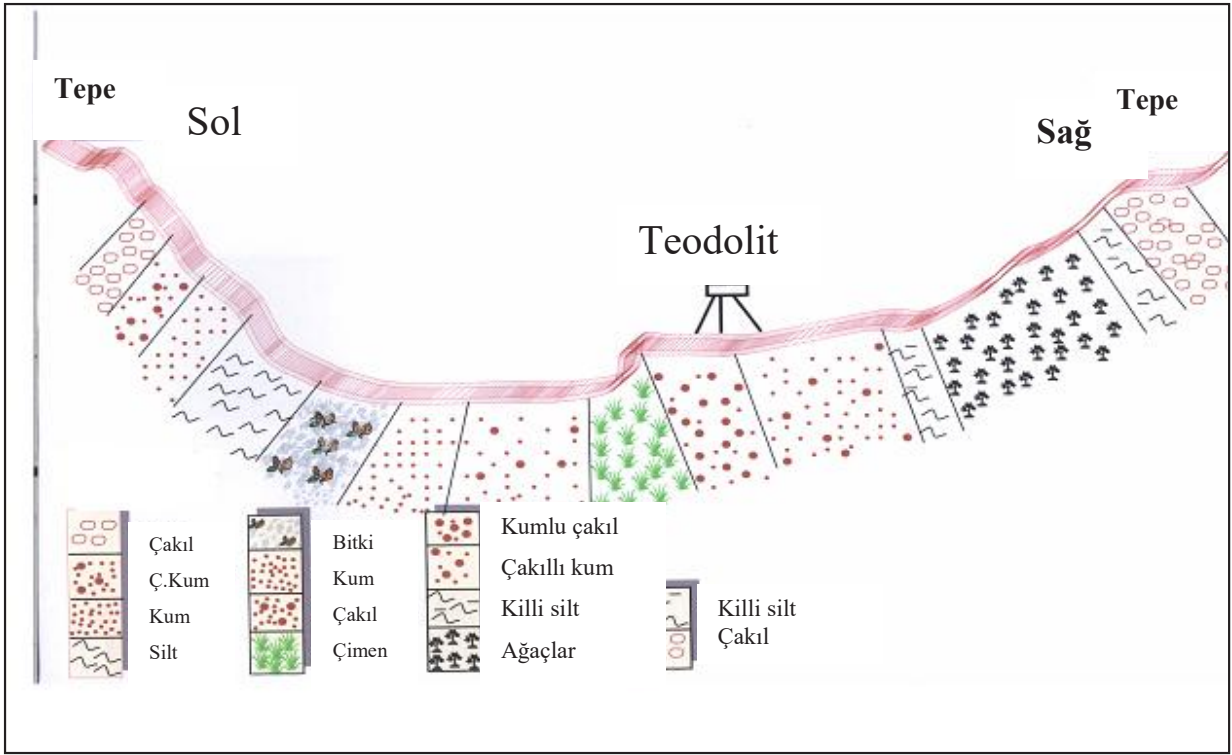
1.1. Bir havzanın her bir alt havzasındaki akarsu mecrası üzerinde en azın-

dan uygun yerlerinde 3 en tane kesit seçilmelidir. Zaman ve mali imkân sorunlarından ötürü daha az sayıda kesit seçilmesi gerekirse bunların taşkınların sıklıkla ortaya çıktığı alt havzanın tarafına kaydırılmasında yarar vardır,

1.2. Her türlü imkânların bulunması durumunda bile en kesitlerin seçilmesine daha yoğunluklu olarak havza aşağı kısımlarında yer verilmelidir. Seçimden önce taşkın çözümlemesi yapılacak alanda mümkün ise bir veya birkaç arazi gezintisinin yapılması faydalı olur. Böylece taşkın hesaplamaları için en uygun kesitler sadece uzmanların görüşleri ile değil orada yaşayan halkın görüşlerinin de (uzman görüş) katılması sureti ile en uygun kesitin seçilmesi mümkündür,

1.3. Kesitler akarsu mecrasının kolayca şeklini değiştiremeyeceği yerlerde mesela som kayaların bulunduğu konumlarda seçilmelidir. Böylece kesit şeklinin uzun yıllar aynı kalarak yapılacak hesaplamaların daha ekonomik ve geçerli olması sağlanır. Kesitlerin seçiminde faydalı olabilecek konumlar arasında biriktirme hazneleri yakınları, köprüler ve özel önemi olan noktalar gelmektedir.

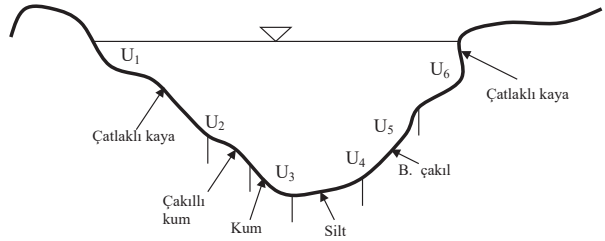
2. En kesitin geometrisi teodolit gibi topografya aletleri vasıtası ile ölçülerek çıkartılır. Bunun DEM verileri ile bilgisayar ortamında yapılması mümkündür. Kesit geometrisi için ölçümlerin alınması topografya aletleri (mesela teodolit) vasıtası ile olur. Bunun için topografya aleti kesit alınacak yere en uygun ve oldukça kesit ortasında bulunacak biçimde yerleştirilir ve buradan mecra akışının aşağısına doğru bakarken sağ ve sol taraflarda özellikle zemin türünde ve yükseltilerde olan değişikliklerin sınırlarında yükselti ölçümleri alınır. Alınan bu ölçümlerin daha sonra ofiste bir kâğıt üzerine dökülmesi ile Şekil 14'de gösterilen durum ortaya çıkar,



Şekil 14 Temsili bir kesit (Saudi Geological Survey, SGS, 2007)

3. Kesit konumundaki esas mecra eğimi, S, biri kesitin aşağısında diğeri de yukarısında 100'er m uzaklıktaki iki noktanın yükseltileri arasındaki farkın 200 m'ye bölünmesi ile bulunur. Burada 100'er m uzaklıkların akarsu en düşük akım çizgisi (talveg) boyunca olmasına dikkat edilmelidir,

4. Uygun yatay ve düşey ölçeklere göre kesit geometrisi çizildikten sonra kesit boyunca olan değişik zemin türler (kaya, kum, silt, siltli kum, bitki, vb.) işaretlenmelidir. Kesitin su ile temasa geçecek olan çevresinde değişik malzemenin belirtilmesi daha sonra su ile bu malzemeler arasındaki sürtünme kayıplarının ve oradan da Manning katsayılarının belirlenmesine yarar. Malzeme ne kadar haşın ve kaba olursa kayıplar oldukça çok ve hızda da o kadar azalmalar olur. Şekil 15'de kesit ıslak çevresini teşkil eden değişik malzemeler ve bunların uzunlukları  $U_1, U_2, \dots, U_6$  ile işaretlenmiştir,



Şekil 15 En kesit ıslak çevresi ile malzeme ve uzunlukları

5. Bu zemin türlerinin her biri için uygun bir Manning katsayısı,  $n$ , gerekli standart çizelgelerden bulunur (Şen, 2008). Kesit için Manning katsayısı ya değişik zeminler için bulunan katsayıların aritmetik ortalaması veya ıslak çevredeki zemin türlerinin kapsadığı çevre uzunluğuna bağlı olarak ağırlıklı ortalama şeklinde hesaplanır,

6. Bir dizi sanal derinliklerin,  $D$ , kesitin en düşük noktasından itibaren seçilmesi ile bunlara karşı gelen kesit alanı,  $A$ , (suyun aktığı alan yani ıslak alan) hesaplanır. Anahtar eğrilerinin çıkarılmasında önemli olan ikinci nokta kesitin ıslak çevresinin hesabıdır. ıslak çevre ve malzeme özellikleri su ile bu çevre arasındaki sürtünme kayıplarının hesabı için önemlidir. Bu sebeple sadece ıslak çevrenin uzunluğu değil bu uzunluk üzerinde değişik

malzemelerin etkin oldukları alt uzunluklarında belirlenmesi gereklidir. Böylece her bir malzemenin Manning katsayısının ne olduğu bir çizelgeden alındıktan sonra tüm ıslak çevre için geçerli olan ve Manning hız formülünde kullanılacak katsayı ağırlıklı ortalama olarak hesap edilmelidir.

Islak çevre, P, en kesitin bir dikdörtgene yakın olması durumunda genişlik, W, ve derinlik, D, cinsinden basitçe şöyle ifade edilir.

$$P = W + 2D$$

Yüzey akışlarının geniş taşkın yatağına yayılması durumunda bu bağıntıyı daha da basit hale getirmek mümkündür. Önceki denklem matematik olarak,

$$P = W \left(1 + \frac{2D}{W}\right)$$

şeklinde de yazılabilir. Buradan  $W \gg D$  olması durumunda pratik olarak  $P \approx W$  olur. Bu durum özellikle çok yayılmış taşkınlar için geçerlidir,

7. Her bir derinlik için önce ıslak çevre, P, ve daha sonra da hidrolik yarıçap, R, A'nın P'ye oranı şeklinde hesaplanır. Bir en kesitin hidrolik yarıçapını, R, tanım olarak o en kesitin ıslak alanının ıslak çevresine oranı olduğundan

$$R = \frac{A}{W}$$

şeklinde yazılabilir. Tanım olarak  $A = WD$  olduğundan bu son ifade çok basit bir hale gelir

$$R = D \quad (17)$$

8. Manning formülü ile yukarıdaki adımlarda hesap edilen değerlerin yerine konulması sonucunda akışın ortalama hızı,  $\bar{v}$ , hesap edilir. Hız, v, akan suyun yatakta bulunmaması durumunda tecrübeden kaynaklanan (ampirik) değişik formüllerle bulunması mümkündür. Bunlar arasında en yaygın olarak kullanılan Manning yaklaşımı burada da seçilmiştir. Bu yaklaşıma göre en kesit ortalama hızı,

$$\bar{v} = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (18)$$

olarak verilir. Genişliği derinliğine göre çok fazla olan yerlerde bu formül Denklem (17)'den aşağıdaki halini alır.

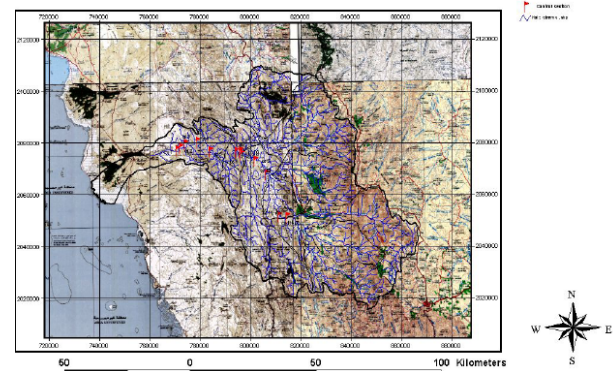
$$\bar{v} = \frac{1}{n} D^{2/3} S^{1/2} \quad (19)$$

9. Yukarıda bahsedilen tüm adımlardan sonra şimdi en kesit debisinin hesaplanması için her şey hazırdır. Gerekli büyüklüklerin Denklem (16)'da yerine konulması sonunda en kesit taşkın debisi,

$$Q = A \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (20)$$

elde edilir. Bir bölgede su basman haritalarının hazırlanması için sadece bir en kesitteki anahtar eğrisinin bilinmesi yeterli olmaz ve yeterli olacak sayıda en kesitin anahtar eğrilerinin hesaplanması gereklidir. Bu en kesitlerin sayısı havzanın yüzey şekillerine göre değişmesine karşılık pratik çalışmalarda 8-10 en kesitin alınması yeterli olabilir.

Şekil 16'da Suudi Arabistan'ın Vadi Hali havzasında seçilmiş olan en kesitlerin konumları gösterilmiştir (Zahrani vd., 2006). Buradaki en kesitler yapılması muhtemel olan baraj yerlerinde, değişik kolların birleşme yerlerinde veya özel önemi olan (gelecekte yerleşme, tarım veya sanayi alanı olabilecek) yerlerde seçilmiştir.



Şekil 16 Vadi Hali en kesit konumları

Denklem (19)'da verilen Manning ifadesi verilen bir derinlik, D, için ortalama hızın hesabına yarar. Buradan da yukarıdaki adımlar arasında açıkladığı üzere derinliğin mü-

saade ettiği debi bulunur. Çizelge 3’de 4 ayrı en kesitte (EK-1, EK-2, EK-3 ve EK-4) yapılan ölçüm ve hesaplamalar gösterilmiştir.

Çizelge 3 Debi hesaplaması için gerekli ölçümler

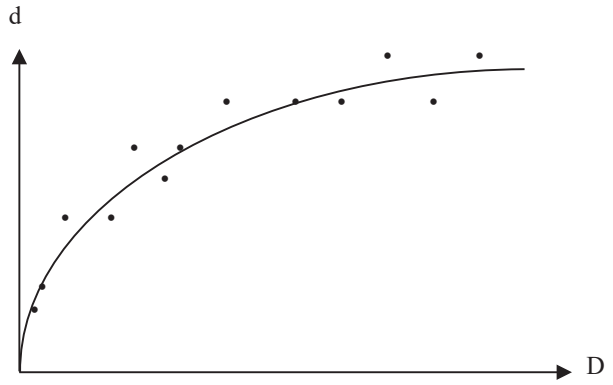
Derinlik, D, (m)	Debi Q, (m <sup>3</sup> /sn)
Kesit 1 (EK-1)	
1	113,74
4	406,16
11	859,09
17	1037,05
Kesit 2 (EK-2)	
1	214,19
3	361,23
6	427,05
14	718,57
Kesit 3 (EK-3)	
1	76,97
3	175,98
9	396,66
13	541,02
Kesit 4 (EK-4)	
1	75,47
3	177,39
6	244,08
13	468,72

Her ne kadar sık olan derinlikler seçilebilirse de pratikte kesit alanının değişiklik gösterdiği az sayıda derinliğin alınması zaman ve hesaplamalar bakımından kolaylık sağlar.

10. Hesaplanan debiler yatay eksende derinliklerde düşey eksende olmak üzere işaretlenmesi sonucunda bir saçılma diyagramı elde edilir (Şekil 17). Bu noktaların arasından yumuşak olarak geçirilen eğriye yapay anahtar eğrisi adı verilir. Bunun matematik ifadesi ise,

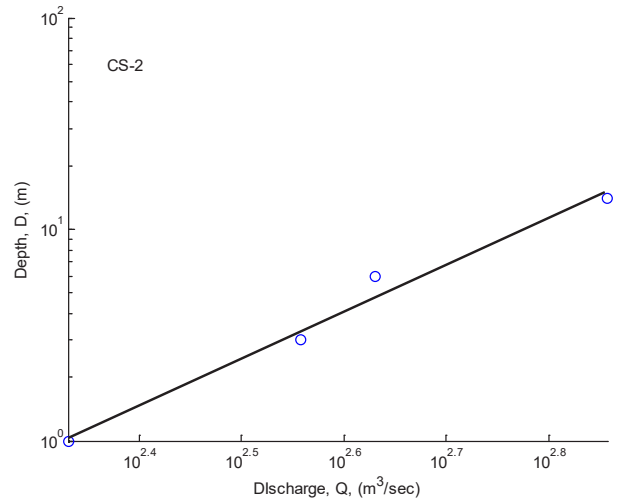
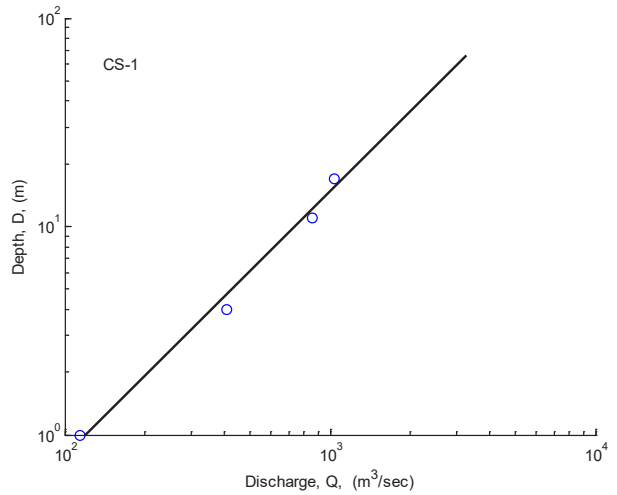
$$D = ad^b \quad (21)$$

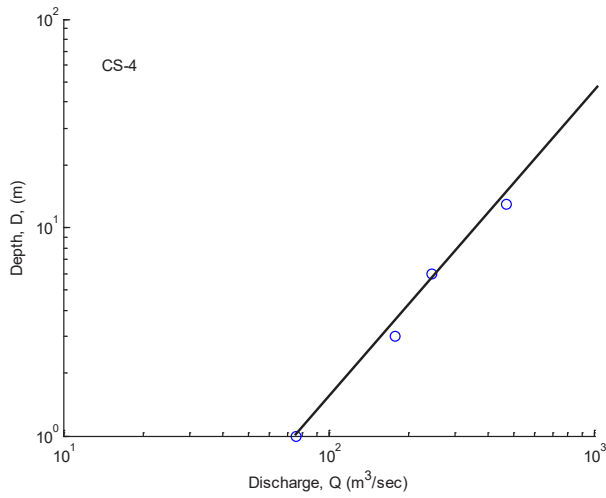
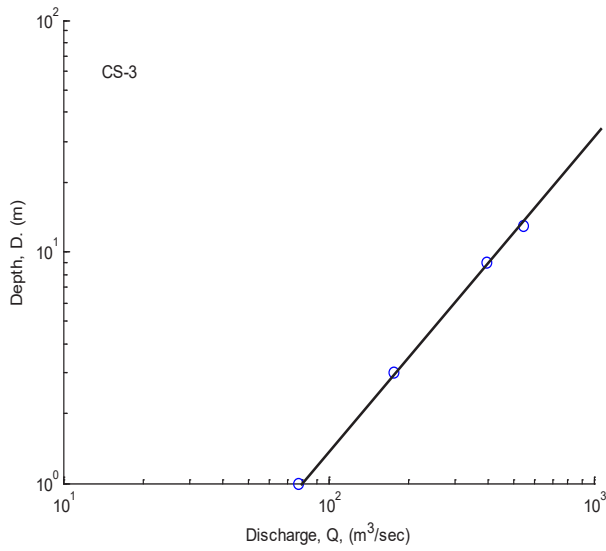
şeklinde ifade edilebilir ki burada a ve b birer katsayıdır. Bu katsayılar istatistik regresyon yöntemi ile saçılma diyagramına en uygun eğrinin geçirilmesi sonucunda hesaplanabilir (Şen, 2002).



Şekil 17 Sanal anahtar eğrisi

Doğal veya yapay anahtar eğrisi taşkın su basmanlarını belirten haritaların hazırlanmasında (Şekil 11) kullanılır. Yapılan hesaplamalar sonucunda Çizelge 3’de belirtilen 4 kesit için sanal anahtar eğrileri Şekil 18’de verilmiştir. Buradaki eksen takımının ikisinin de logaritmik ölçekte olduğuna dikkat ediniz.





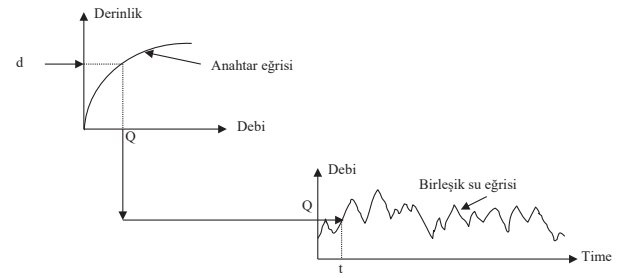
Şekil 2.18 Temsili sanal anahtar eğrileri

Denklem (21)'de genel ifadesi verilen anahtar eğrisinin 4 kesit için parametre değerleri Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4 Sanal anahtar eğrisi parametreleri

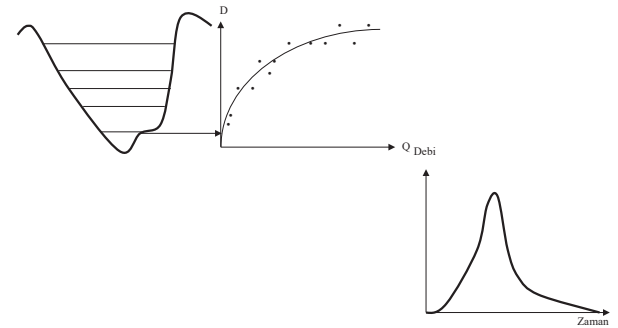
Kesit numarası	Sanal anahtar eğrisi parametreleri	
	a	b
EK-1	113.83	0.843
EK-2	214.19	0.385
EK-3	76.97	0.746
EK-4	75.47	0.655

Bir anahtar eğrisi o kesitte ölçülen yüzey akışı veya taşkın derinliğinin ölçülmesi sonucunda debinin tahmin edilmesine yarar. Böylece debilerin zamanla değişimini gösteren eğriler elde edilebilir (bak Şekil 19).



Şekil 19 Anahtar eğrisinden birleşik su eğrisine geçiş

Şekil 20'de ise aynı kesitte bir fırtınalı yağış sonrasında önce su derinliğinin artması (su eğrisinin yükselen kısmı) daha sonra bir tepe noktasından geçtikten sonra derinliğin azalmasına (su eğrisinin azalan kısmı) karşı gelen su eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 2.20 Tekil su eğrisi

## Kaynaklar

**Bu bülten yazısında geçen bütün kaynaklar ayrıntılı olarak aşağıdaki kitapta verilmiştir.**

**Şen, Z., (2009). İklim Değişikliği İçerikli Taşkın Afet ve Modern Hesaplama Yöntemleri, Su Vakfı Yayınları, 250 sayfa.**

Khiyami, H. A., Şen, Z, Al-Harthy, S. C., Al-Ammawi, F.A., Al-Balkhi, A.B., Al-Zahrani, M. I., and Al-Hawsawy, H.M. 2005. Flood hazard evaluation in wadi Hali and wadi Yibah. Saudi Geological Survey, Technical Report, 138 pp.

Saudi Geological Survey, SGS, 2007. Flood Analysis Report.

Şen, Z., 2002. İstatistik Veri İşleme Yöntemleri (Hidroloji ve Meteoroloji). Su Vakfı Yayınları, 243 sayfa

Şen, Z., 2003. Su Bilimi ve Yöntemleri. Su Vakfı yayınları, 354 sayfa

Şen, Z., 2004. Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık ile Modelleme Prensipleri. Su Vakfı Yayınları, 195 sayfa.

Şen, Z., 2008. Wadi *Hydrology*. CRC Lewis Publishers, Baco Raton, USA, 347 pages.

**SU VAKFI TAŞKIN KÜLLİYESİNDE  
DAHA ÖNCE YAYINLANAN BÜLTENLER**

SAYI 1	Flood and Risk Calculation Taşkın ve Risk Hesaplaması <i>Zekâi ŞEN</i>
2016 Aralık (December)	
İNGİLİZCE	

*Tüm Su Vakfı bültenlerini <http://bulten.suvakfi.org.tr> adresinden bilgisayarınıza indirebilirsiniz.*



SU VAKFI

Libadiye Cad. Doğanay Sokak No:6 Kat:4 Üsküdar İstanbul  
Tel: (216) 412 3383 - Faks: (216) 412 3390  
suvakfi@suvakfi.org.tr - www.suvakfi.org.tr