

Snyder-Gama Sentetik Birim Hidrografın Yamula Barajı Havzasına Uygulanması

Neşe AÇANAL HAKTANIR*¹ 

*¹ Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği, KAYSERİ

(Alınış / Received: 05.06.2021, Kabul / Accepted: 03.08.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 31.08.2021)

Anahtar Kelimeler

Sentetik birim hidrograf,
Snyder sentetik birim
hidrografi,
Tasarım hyetografi,
Tasarım taşkın hidrografi

Öz: Birçok ülkede olduğu gibi, ülkemizde de su yapıları tasarımında, taşkın hidrografları yaygınlıkla Birim Hidrograf yöntemiyle hesaplanmaktadır. Bu çalışmada, Snyder-Gama sentetik birim hidrografi Yamula Barajı havzasına uygulanmıştır. Yamula Barajı havzası içinde ve yakın çevresinde 39 yıl ve daha uzun süreli ölçümleri bulunan yağmur rasat istasyonlarında gözlenen standart süreli ekstrem yağmur serileri ile frekans analizi hesapları yapılmıştır. En uygun olasılık dağılımları seçilerek, noktasal 10-Bin yıl ortalama tekerrürlü ekstrem yağmur bulgularından Thiessen yöntemiyle havza ortalaması 24-saat süreli yıllık ekstrem yağmur değeri hesaplanmıştır. Eğri Numarası yöntemiyle havza sızma indisi hesaplanmış, 24-saatlik yıllık ekstrem yağmurun, 2’şer saatlik dilimlerde tasarım hyetografi oluşturulmuştur. Yamula Barajı havzası için 2 saat süreli artık yağmur için Snyder-Gama sentetik birim hidrografi tasarlanmış, bunun tasarım hyetografına uygulanmasıyla Yamula Barajına gelecek 10-Bin yıl ortalama tekerrürlü taşkın hidrografi hesaplanmıştır. Böylece elde edilen tasarım taşkın hidrografi ile Yamula Barajı kati projesinde verilen tasarım taşkın hidrografi karşılaştırılmış, her ikisinin yakın boyutlarda olduğu görülmüştür.

Application of Snyder-Gamma Synthetic Unit Hydrograph to Basin of Yamula Dam

Keywords

Synthetic unit hydrograph,
Snyder synthetic unit
hydrograph,
Design hyetograph,
Design flood hydrograph

Abstract: Similar to most countries in the world, in our country also, the unit hydrograph method is still widely used for flood hydrograph computation. In this study, the Snyder-Gamma synthetic unit hydrograph has been applied to the drainage basin of Yamula Dam. Frequency analyses have been performed on the series of standard-duration annual extreme rainfalls series observed at gauging stations having record lengths of at least 39 years. Using the point values having 10-thousand-year average return periods based on the best-fit probability distribution, the basin average 24-hour-long annual extreme rainfall has been computed by Thiessen method. Next to calculating the infiltration index by the Curve Number method, the design hyetograph of the 24-hour extreme rainfall at 2-hour increments has been developed. The Snyder-Gamma synthetic unit hydrograph of 2-hour effective rainfall has been computed for the drainage area of Yamula Dam, and having applied this to the design hyetograph, the flood hydrograph having an average return period of 10-thousand years has been formed. The flood hydrograph obtained as such as the outcome of this study has been compared with the design flood hydrograph given in the Final Project of Yamula Dam, and close conformity in both hydrographs has been observed.

*İlgili Yazar, email: nhaktan@erciyes.edu.tr

1. Giriş

Birçok ülkede olduğu gibi, ülkemizde de su yapıları tasarım taşkın hidrografları yaygınlıkla Birim Hidrograf yöntemiyle hesaplanmaktadır. Bunlara örnekler olarak, Birleşmiş Milletler Dünya Meteoroloji Kurumu’nun 168 nolu: “Guide to Hydrological Practices, Volume II, Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices.” başlıklı teknik raporunun 6. Bölümü [1], A.B.D. Ordu Mühendisleri Birliği Hidrolojik Mühendislik Merkezi’nin: “Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Applications Guide” başlıklı yayını [2], İngiltere Çevre Ajansı’nın: “Flood Estimation Guidelines – Technical Guidance 197_08” başlıklı raporu [3], Hindistan Su Kaynakları Bakanlığı’nın: “Development of Hydrological Design Aids (Surface Water) under Hydrology Project II - State of The Art Report” başlıklı raporu [4], Avusturalya’nın “Australian Rainfall and Runoff: A Guide to Flood Estimation”

başlıklı raporu [5] gösterilebilir. Ülkemizde birçok barajın tasarım taşkın hidrografları Birim Hidrograf yöntemiyle hesaplanmış ve bunlarda sentetik birim hidrograflar kullanılmıştır [6, 7, 8, 9].

Havzanın yüzlerce, gerektiğinde binlerce küçük alanlara bölünüp her birim alanın toprak türü, en son toprak nemi, bitki türü ve yoğunluğu, dijital topografik haritası, dilim üzerindeki yağmur değeri gibi çok fazla coğrafik, topografik, meteorolojik veriler gibi giriş bilgileri gerektiren fiziksel modeller, hidrografın belirlenmesinde teorik olarak daha gerçekçi sonuçlar verebilmektedir. Güncel uluslararası literatürde “distributed” veya “causal” modeller olarak adlandırılan bu modellere bir örnek olarak CREST akronimi ile bilinen model ve onu icra eden paket program zikredilebilir [10] (<http://hydro.ou.edu/research/crest>). Gerektirdiği giriş verisinin elde edilmesindeki güçlük ve bunun için harcanacak zaman ve işgücü bu tür modellerin baraj tasarım taşkını hesaplarında kullanılmasını güçleştirmektedir. Uygulanacak paket programın öğrenilme zorluğu, programın yüksek maliyeti gibi faktörler, büyük barajlar için dahi ülkemizde Birim Hidrograf yöntemiyle tasarım taşkın hidrografının hesaplanmasına yol açmaktadır [7, 9]. Yanısıra, yüklü miktardaki giriş verilerinde yapılabilecek hatalar, sonuçta bu tür bir fiziksel modelin de hatalı taşkın hidrografı hesaplamasına yol açabilir. Yukarıda sözü edilen gelişmiş ülkelerin tanınmış kuruluşlarının ilgili raporlarında, Birim Hidrograf yönteminin gerektirdiği az sayıda parametrenin sağlıklı tahmin edilmesi ile bu modelin de makul hidrograflar vereceği belirtilmektedir.

1930’larda geliştirilen Birim Hidrograf yöntemi, bir havzaya ait birim hidrografları anahtar hidrograflar olarak kullanıp, kritik bir yağmur fırtınasının oluşturacağı hiyetografa bu birim hidrografların uygulanmasıyla taşkının yüzey akımı hidrografını hesaplar [11]. Önce, süresi havzanın toplanma zamanına eşit ($t_r = t_c$), ortalama tekerrürü periyodu 10-bin-yıl gibi aşılma olasılığı çok küçük olan ekstrem yağmurun toplam derinliği frekans analizi ile veya bir deterministik yöntem ile hesaplanır [1]. Sonra, bu toplam yağmur miktarı (mm), havza için geliştirilmiş genellemeler kullanılarak yağmur süresi boyunca şiddetinin zamana göre değişimini belirleyen tasarım hiyetografı hesaplanır. Ülkemizin bulunduğu kuzey yarım kürede 24 saatten daha uzun süreli kesiksiz yağmur fırtınaları oluşmadığından dolayı Meteoroloji Genel Müdürlüğü daimi süreleri 5 dakikadan 1440 dakikaya (24 saate) kadar değişen 14 farklı standart süreli yağmurları ölçüp gözlenmiş yıllık maksimum yağmur derinliklerini kayıt altına almaktadır.

Birim Hidrograf yönteminin daha duyarlı taşkın hidrografı hesaplamasında kullandığı birim hidrografın havza çıkış kesitinde ölçülmüş en az beş adet taşkın hidrografı ve havza üzerinde ortalaması alınacak bu taşkını oluşturan yağmur fırtınasının birçok meteoroloji istasyonunda gözlenmiş yağmur miktarlarının mevcut olması gerekir. Bu verilere sahip havzalarda gözlenmiş hiyetograf-hidrograf verilerinden elde edilmiş birim hidrografların pik debi, pik debi zamanı gibi bazı önemli büyüklükleri havza özelliklerine iliştilerle sentetik birim hidrograf parametreleri elde edilir [12, 13]. Coğrafik ve meteorolojik benzerlikleri olan ve ölçülmüş verisi eksik havzalarda sentetik birim hidrograf hesaplanması zorunlu hale gelmektedir. Ülkemizde çoğunlukla hâkim durum budur. Yakın zamana kadar yapılmış baraj projeleri incelendiğinde, bunların çoğunda sentetik birim hidrografın kullanıldığı ve sentetik birim hidrografların elde edilmesinde ise çoğunlukla Snyder yönteminin kullanıldığı görülmektedir. Bilindiği üzere Snyder yönteminin yanısıra, Clark, Gray, SCS, Mockus gibi birçok farklı sentetik birim hidrograf üretim yöntemi mevcuttur [11, 12, 13, 14, 15].

Bir sentetik birim hidrografın pik debisi ve pik debi zamanı kendine özgü formüllerle hesaplandıktan sonra birim hidrografın şekli tasarımcı tarafından belirlenmektedir. Birim hidrografın eğrisi altında kalan alanın verdiği yüzey akımı hacminin havza drenaj alanına bölünmesi 1 cm su derinliğine eşit olmak zorundadır. Tecrübesini de kullanarak, bu özelliği sağlayacak biçimde tasarımcı sentetik birim hidrografın şeklini çizer. Bununla birlikte bazı yayınlarda birim hidrograf şeklinin belirlenmesi için bazı olasılık dağılımlarının ölçek ayarı yapılmış olasılık yoğunluk fonksiyonunun sentetik birim hidrograf olarak kullanılması önerilmiştir [16, 17, 18, 19, 20]. Yukarıda anılan saygın kuruluşların da sentetik birim hidrografın belirlenmesinde Snyder’i kullandığı görülmektedir. Bu çalışmalar çoğunlukla 2-parametrelili gama dağılımını önermektedir [16, 17, 18, 19, 20]. Şubat 2021’de yayınlanan bir çalışmada, ilk defa, ölçeği ayarlanmış 2-parametrelili gama dağılımı olasılık yoğunluk fonksiyonunun Snyder sentetik birim hidrografının şeklini tanımlamada kullanılması önerilmiştir [21]. Pik debisi ve pik debi zamanı Snyder yöntemi formülleri ile hesaplandıktan sonra, mod koordinatlarının bunlara eşitlenmesiyle dağılımın parametre değerleri elde edilmektedir. Böylece oluşan birim hidrograf eğrisinin Snyder yöntemine özgü, pik debinin % 50’sine ve % 75’ine karşılık oluşan hidrograf genişliklerinin, “solda 1/3, sağda 2/3” kuralını çok yakından sağladığı görülmüştür [21].

Bu çalışmada, Snyder-Gama Sentetik Birim Hidrografı olarak adlandırılan bu yöntem Kayseri yakınındaki Yamula Barajı havzasına 2-saatlik sentetik birim hidrograf hesabı için kullanılmıştır. Yamula Barajı havzası içinde ve yakın sınırlarında bulunan yedi adet meteoroloji istasyonunda ölçülmüş standart süreli yıllık maksimum yağmur serilerine uygulanan frekans analizleri sonucu oluşturulan havza ortalaması 10-bin yıl ortalama tekerrürlü 24-saat süreli yağmur hiyetografı elde edilmiştir. 2-saatlik Snyder-Gama sentetik birim hidrografı, bu 10-bin-yıl ortalama tekerrürlü hiyetografa uygulanarak tasarım taşkın hidrografı hesaplanmıştır. Bu çalışmada elde edilen

bu taşkın hidrografının, hesap detayları verilmeyen, Yamula Barajı kati projesindeki Katastrofal Taşkın hidrografına yakın olduğu görülmüştür.

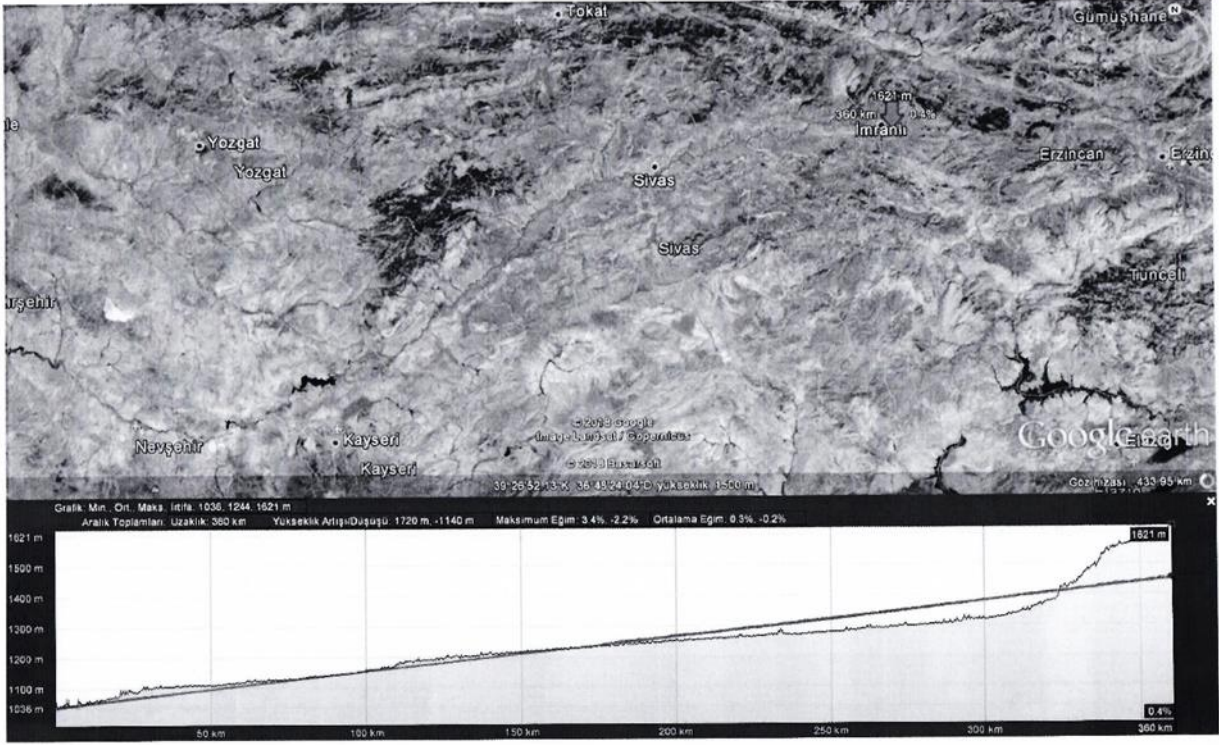
2. Materyal ve Metot

Göl hacmi kapasitesi açısından ülkemizin ilk 10 barajı içinde bulunan Yamula Barajına gelecek tasarım taşkın hidrografının hesabı, henüz yeni sayılan Snyder-Gama Sentetik Birim Hidrografi olarak adlandırılan, birim hidrograf kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada kullanılan veriler, havzanın ve Kızılırmak'ın topografik ve morfolojik özellikleri ve Yamula Barajı havzasında Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nce (MGM) gözlenmiş ekstrem yağmur verileridir. İlk veri grubu, Kızılırmak'ın Yamula Barajı aksının bulunduğu kesite göre drenaj alanı, drenaj alanı üst toprak tabakasının hidrolojik sınıfları, arazi kullanım uygulamaları, Kızılırmak'ın doğduğu noktadan Yamula Barajı aksına kadar olan toplam uzunluğu ve ortalama eğimi, Kızılırmak'ın Yamula barajı ile havza ağırlık merkezi arasında kalan uzunluğu olarak sıralanabilir. MGM tarafından gözlenmiş kaydedilmiş standart-sürelili yıllık maksimum yağmur verileri, ilk defa hesaplanacak olan Snyder-Gama Sentetik Birim Hidrografına uygulanacak olan tasarım yağmur hiyetografının belirlenmesinde kullanılmıştır. Çalışmanın metodu, Yamula Barajı havzası için Snyder-Gama sentetik birim hidrografının hesaplanması, havza ortalaması 10-Bin yıl ortalama tekerrürlü 24 saat süreli ekstrem yağmur miktarının belirlenmesi, tasarım hiyetografının hesaplanması, tasarım taşkın hidrografının hesaplanması ve Yamula Barajı kati projesinde verilen tasarım taşkın hidrografi ile karşılaştırılması olarak özetlenebilir.

2.1. Materyal

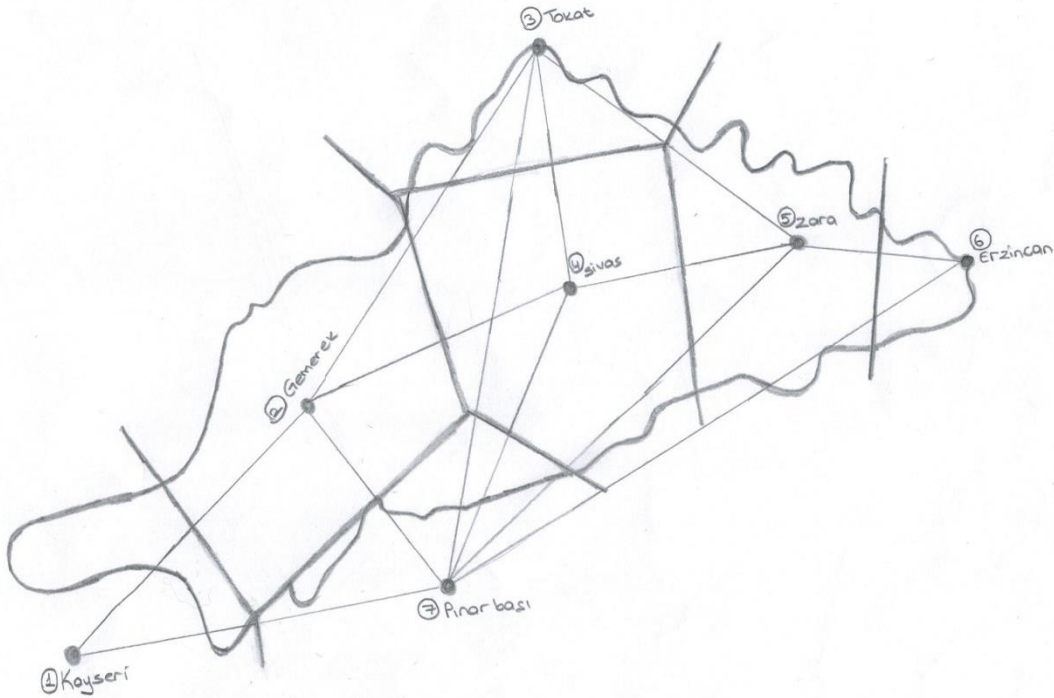
Çalışmada kullanılan veriler, Yamula Barajı havzasının topografik haritası, Google-earth'den alınan Yamula Barajı aksına kadar Kızılırmak Nehrinin talveg profili, Yamula Barajı havzası içinde ve yakın civarında bulunan yedi adet meteoroloji istasyonunda MGM tarafından gözlenmiş 39 ile 54 yıl arası uzunluklarında standart-sürelili ekstrem yağmur verileri olarak özetlenebilir.

Şekil 1'de Google-earth'den indirilen Yamula Barajı havzası haritası ve Yamula Barajı aksına kadar Kızılırmak Nehrinin talveg profili verilmiştir. Bu haritanın amacı, Yamula Barajı havzasının toplanma zamanını hesaplamak için gerekli, ana kol uzunluğu ve ortalama ana kol eğimi değerlerini elde etmektir. Çalışmada, Snyder-Gama sentetik birim hidrografını temel araç olarak kullanılıp Yamula Barajı 10-bin-yıl ortalama tekerrürlü taşkın hidrografının hesabı yapılmıştır. Bunun için başlangıç noktası olan ekstrem yağmurun süresinin belirlenmesi gerekir. Bu amaçla, havzanın tamamının çıkış kesitine yüzey akımı gönderdiği kritik süre olan 'toplanma zamanı (tc)' hesaplanmıştır. Türkiye'nin bulunduğu kuzey yarım kürede atmosfer kesiksiz olarak 24 saatten daha uzun süreli yağmur fırtınası üretmemektedir. Dolayısıyla, havzalarının toplanma zamanı 24 saatten büyük olan barajların tasarım taşkın hidrografları 24 saat süreli ekstrem yağmur ile hesaplanmaktadır [6, 7, 8, 9]. Çalışmanın ilk adımı olarak, Yamula Barajı havzasının toplanma zamanını hesaplayabilmek amacıyla doğduğu yerden Yamula Barajı aksına kadar Kızılırmak havzasının Google-earth görüntüsü ve nehrin talveg profili elde edilmiştir. Şekil 1'de bu görüntü verilmiştir.



Şekil 1. Google-earth'den indirilen Yamula Barajı havzası haritası, doğumundan baraj aksına kadar Kızılırmak nehrinin talveg profili, altında ve üstünde kalan alanları eşitleyecek biçimde çizilen ana kanal ortalama eğimi doğrusu.

Şekil 2'de Yamula Barajı havzası içinde ve yakın civarında bulunan yedi adet meteoroloji istasyonlarının konumları ve bunlara göre çizilmiş Thiessen poligonları gösterilmektedir.



Şekil 2. Yamula Barajı havzası içinde ve yakın çevresinde bulunan, 39 yıl ile 54 yıl arası gözlem süreleri olan yağış istasyonları ve onların Thiessen poligonları.

Çizelge 1'de MGM tarafından 1967–2010 sürecinde Gemerek meteoroloji istasyonunda ölçülmüş standart-sürelili ekstrem yağmur verileri ve bunlar üzerinde uygulanan frekans analizi bulguları verilmiştir. Hesaplamalarda kullanmakla birlikte sayfa limiti nedeniyle diğer altı istasyonun verileri ve bulguları burada verilmemiştir. Verilerin formatını göstermek amacıyla bir istasyonun verilerinin paylaşılması yeterli görülmüştür.

Çizelge 1. Gemerek meteoroloji istasyonunda Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından 1967–2010 sürecinde ölçülmüş standart-sürelili yıllık ekstrem yağmur verileri ve frekans analizi bulguları.

Gözlem Yılı	DAKİKA				SAAT									
	5	10	15	30	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
2010	3.6	6.4	7.5	11.8	13.2	18.0	18.1	20.8	25.2	25.3	25.3	26.7	35.9	38.2
2009	2.2	3.3	4.5	8.3	12.0	14.6	17.8	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.3	30.7
2008	5.5	9.2	12.9	15.9	20.2	22.0	26.6	26.9	26.9	26.9	27.7	29.2	29.2	29.2
2007	8.3	13.5	19.3	29.5	45.4	48.1	48.2	48.2	48.2	49.6	50.3	50.4	51.9	52.8
2006	9.7	9.9	10.1	15.2	18.4	18.9	21.3	21.3	21.4	21.4	21.4	21.5	21.6	21.6
2005	3.5	5.3	5.3	5.3	5.4	6.3	9.1	11.3	11.5	11.6	14.1	14.2	14.5	22.2
2004														*
2003	2.7	5.2	6.6	9.4	14.5	15.9	15.9	16.0	16.0	16.0	16.1	16.2	16.2	24.0
2002	7.7	11.8	14.0	20.1	23.0	23.6	23.6	26.8	29.1	31.4	32.1	32.2	32.2	32.2
2001														*
2000	6.8	11.5	15.5	19.6	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.8	20.8	20.9	20.9	21.5
1999	4.7	7.4	8.6	10.5	14.1	15.4	15.5	18.5	19.2	19.2	19.3	19.3	19.3	19.3
1998														*
1997	1.6	3.0	3.7	4.5	6.6	7.7	10.0	12.1	13.0	13.7	18.7	25.8	26.0	31.4
1996														*
1995	3.8	7.5	9.3	10.2	10.3	10.3	13.3	14.8	17.7	19.0	19.0	19.3	21.3	38.3
1994	1.7	2.2	2.3	4.1	7.4	9.9	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	15.7	21.2
1993	3.6	4.1	4.3	4.8	5.9	8.1	10.2	10.5	16.3	18.5	20.5	20.5	20.5	20.5
1992	4.0	5.0	5.7	5.9	7.5	11.3	14.9	17.0	17.5	17.6	19.2	19.3	19.8	22.6
1991	5.5	7.0	7.3	8.2	12.0	15.0	16.4	16.4	16.6	17.3	20.8	25.9	35.4	35.4
1990	3.0	5.5	5.7	5.8	7.0	7.0	8.7	11.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	17.2
1989	8.9	16.9	20.7	23.2	23.7	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	50.6
1988	5.1	8.3	9.3	9.7	12.1	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.9	17.4	18.5	18.5
1987														*
1986	2.0	2.8	3.8	5.4	5.4	7.9	9.6	10.8	11.9	13.0	13.7	14.1	14.6	17.3
1985	5.5	9.0	10.2	17.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	21.6
1984	7.2	10.8	12.9	15.0	15.8	16.2	16.2	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	28.1
1983	9.3	12.0	12.3	12.4	12.4	12.4	12.4	15.7	20.5	20.6	21.9	21.9	22.4	27.5
1982	5.5	8.0	10.1	14.1	17.8	19.0	25.5	29.6	29.9	29.9	31.0	33.6	33.6	33.6
1981	2.7	4.5	5.2	7.4	11.2	16.2	18.4	18.9	18.9	19.4	21.4	22.2	24.9	35.2
1980	2.0	3.0	4.8	8.0	14.0	15.5	21.0	22.5	24.0	24.1	24.1	25.3	30.4	34.8
1979	2.8	9.7	5.5	7.8	7.8	14.0	14.9	16.4	17.2	17.9	17.9	18.0	19.2	22.1
1978	3.3	4.0	4.5	5.0	8.2	9.3	9.3	12.1	12.7	16.7	22.0	24.0	27.6	27.9
1977	2.0	4.4	5.0	6.2	8.5	15.3	16.4	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	20.4	26.2
1976	4.0	5.0	7.2	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	11.8	17.9	24.7
1975	5.0	8.3	11.2	14.2	14.4	16.1	17.4	17.9	25.9	26.2	26.7	27.9	27.9	33.7
1974	6.2	9.6	13.0	16.7	18.0	20.5	21.7	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	25.4	30.4
1973	4.1	6.2	9.3	16.3	16.3	17.7	17.7	17.7	17.7	17.7	17.7	17.7	17.7	24.7
1972	5.4	9.6	10.4	11.2	11.2	11.2	13.1	15.9	16.9	16.9	17.0	20.5	26.7	28.1
1971	5.6	8.9	10.6	11.8	12.3	13.9	14.8	14.8	14.8	14.9	14.9	14.9	16.8	24.6
1970	2.7	4.7	5.7	6.8	8.3	13.3	13.3	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.1
1969	9.9	17.4	19.7	24.1	24.1	24.2	24.2	24.7	28.2	28.5	28.5	28.8	29.5	33.6
1968	7.6	11.4	12.8	12.8	14.4	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	16.4	17.1	25.1	26.6
1967	5.0	5.9	9.4	10.8	10.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	17.3
Serilerin ist.leri	DAKİKA				SAAT									
	5	10	15	30	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
N	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
Ort.	4.9	7.6	9.1	11.7	13.8	15.7	17.0	18.2	19.2	19.6	20.4	21.3	23.1	27.7
Enbüy	9.9	17.4	20.7	29.5	45.4	48.1	48.2	48.2	48.2	49.6	50.3	50.4	51.9	52.8
St.S.	2.4	3.7	4.6	6.0	7.3	7.2	7.2	7.0	7.1	7.2	7.2	7.4	7.8	8.4
Var.K.	.48	.48	.50	.51	.53	.46	.42	.39	.37	.37	.35	.35	.34	.30
Çar.K.	.61	.78	.87	1.03	2.21	2.41	2.26	2.20	1.90	2.02	1.99	1.71	1.43	1.12

* Ölçüm yapılmamış yıl

Çizelge 2. Gemerek meteoroloji istasyonunda gözlenmiş seriler üzerinde Ki-Kare, Kolmogorov-Smirnov, ve Olasılık Pozisyonu Korelasyon Katsayısı (PPCC) uygunluk testleri değerlendirmesine göre uygun bulunan GED-OAM dağılımı ile ardışık standart süreli yıllık yağışların yinelenme değerleri.

Tekerrür Peryodu	DAKİKA				SAAT									
	5	10	15	30	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
2	6.8	8.0	8.7	10.2	11.9	14.0	15.3	16.4	17.2	18.0	19.2	21.1	23.2	24.8
5	10.8	12.3	13.3	15.1	17.3	19.7	21.4	22.6	23.6	24.5	26.0	28.2	30.6	32.5
10	13.6	15.3	16.4	18.6	21.1	23.9	25.8	27.2	28.4	29.4	31.1	33.6	36.3	38.4
25	17.1	19.2	20.6	23.3	26.3	29.7	32.0	33.7	35.1	36.2	38.2	41.2	44.4	46.9
50	19.8	22.3	23.9	26.9	30.4	34.4	36.9	38.9	40.5	41.9	44.1	47.5	51.2	54.0
100	22.5	25.4	27.2	30.7	34.7	39.3	42.3	44.5	46.4	48.0	50.5	54.4	58.7	61.9
200	25.3	28.6	30.7	34.7	39.3	44.6	48.0	50.6	52.8	54.6	57.5	62.0	66.9	70.6
500	29.1	32.9	35.5	40.3	45.8	52.2	56.3	59.4	62.0	64.2	67.8	73.3	79.2	83.7
1000	32.0	36.4	39.2	44.7	51.1	58.3	63.1	66.7	69.7	72.2	76.4	82.7	89.6	94.9
2000	34.9	39.9	43.2	49.4	56.6	65.0	70.4	74.6	78.0	80.9	85.8	93.1	101.1	107.3
5000	38.9	44.8	48.6	55.9	64.5	74.4	81.0	86.0	90.2	93.7	99.6	108.5	118.3	125.8
10000	42.1	48.6	52.8	61.1	70.8	82.2	89.7	95.5	100.3	104.4	111.1	121.5	132.9	141.7

2.2 Metot

2.2.1 Yamula Barajı Havzası Toplanma Zamanı Hesabı

Havzaların toplanma zamanının tahmini için çıkarılmış formüllerin çoğu ana kolun toplam uzunluğu (L) ve ortalama eğimini (S) gerektirmektedir. Şekil 1 üzerinde yapılan hesaplardan, Kızılırmak Nehrinin doğduğu noktadan Yamula Barajı aksına kadar olan toplam boyunun, L = 374 km, ortalama eğiminin ise, S = 0.0011 olarak belirlenmiştir. Yamula Barajı havzasının toplanma zamanı, ilgili yayınlarda [11, 22] orta ve büyük havzalarda duyarlı sonuç verdiği belirtilen aşağıdaki Kirpich Formülü [11] ile hesaplanmıştır.

$$t_c = (0.0663) \times L^{0.77} \times S^{-0.385} \quad (1)$$

Burada, L, km cinsinden ana kanalın uzunluğu; S, ana kolun ortalama eğimi; t_c , saat olarak toplanma zamanıdır. Yamula Barajı havzası için toplanma zamanı,

$$t_c = (0.0663) \times (374)^{0.77} \times (0.0011)^{-0.385} = (0.0663) \times (95.7439) \times (13.7741) = 87.4 \approx 87 \text{ saat bulunur.}$$

87 saat 24 saatten büyük olduğu için, çalışmada Yamula Barajı tasarım taşkınını oluşturan yağmur fırtınasının süresi 24 saat alınmıştır.

2.2.2 Yamula Barajı Havzası için Tasarım Yağmur Fırtınası Toplam Yağış Hesabı

Çalışmada tasarım yağmur fırtınasının ortalama tekerrür periyodu: T = 10-Bin yıl alınmıştır. Şekil 2'de görüldüğü gibi, Yamula Barajı havzası içinde ve civarında Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından işletilen, yeterli uzunlukta gözlem süresi olan, Kayseri, Gemerek, Tokat, Sivas, Erzincan, Pınarbaşı istasyonları bulunmaktadır. Bu istasyonlarda ölçülmüş standart-süreli yıllık maksimum yağmur serilerine uygulanan frekans analizleri sonucu tekerrür periyodu 10-Bin yıl olan 24 saat süreli yağmur derinlikleri hesaplanmıştır. Devamında, Yamula Barajı Havzası ortalama yağmur miktarı Thiessen Poligonları yöntemiyle yapılmıştır. Şekil 2'de gösterilen Thiessen poligonları planimetre ile ikişer kez ölçülüp ortalamaları alınmıştır. Bunlar, $a_1 = 5.6 \text{ cm}^2$, $a_2 = 20.5 \text{ cm}^2$, $a_3 = 5.3 \text{ cm}^2$, $a_4 = 19.9 \text{ cm}^2$, $a_5 = 12.7 \text{ cm}^2$, $a_6 = 2.4 \text{ cm}^2$, $a_7 = 3.6 \text{ cm}^2$ olup toplam alan: $A_t = 70 \text{ cm}^2$ 'dir. Sonra, poligon alanlarına bağlı olarak havza ortalaması 24 saat süreli 10 Bin yıl tekerrürlü ekstrem yağmur derinliği aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$P_t = \sum_{j=1}^7 P_j \times \left(\frac{a_j}{A_t}\right) \quad (2)$$

Burada, a_j , planimetre ile ölçülen j'ninci poligon alanı (cm^2); P_j , j'ninci istasyonda 24 saat süreli 10-Bin yıl tekerrürlü ekstrem yağmur derinliği (mm); A_t , toplam havza alanıdır (7 adet poligonun toplam alanı) (cm^2). Ölçülen a_j 'ler ve noktasal frekans analizleri sonucu hesaplanan P_j 'ler yerlerine konulduğunda, $P_t = (104.6 \times 0.08) + (141.7 \times 0.2928) + (78.5 \times 0.0757) + (88.7 \times 0.2843) + (198.5 \times 0.1814) + (116.1 \times 0.0343) + (100.2 \times 0.0514) = 126.158 \text{ mm}$ olarak hesaplanmıştır. Burada havza ortalaması 24 saat süreli 10-Bin yıl tekerrürlü ekstrem yağmur derinliği $P_t = 126 \text{ mm}$ olarak alınmıştır.

2.2.3 SCS Eğri Numarası Yöntemiyle Yamula Barajı Havzası için Tasarım Yağmur Fırtınasının Efektif Yağış ve Ortalama Sızma İndisi Hesabı

Yamula Barajı havzasının haritadan incelenmesinde, yüksek kotlu arazilerin ekili tarım yapılmayan çayır, mera, çıplak arazi; aşağı kotlardaki arazilerin ise meyve bahçeleri, tahıllar ve diğer bitkilerin tarım arazileri, meralar ve çıplak araziler ile kaplı olduğu görülmektedir. Arazi türü ve kullanımını temsil eden SCS eğri numaraları güncel literatürde tablolar halinde verilmektedir [11]. Yamula Barajı drenaj alanı üst tabaka toprak türünün anılan tablodaki B ve C grubu topraklardan oluştuğu, % 3 kadar çok az bir kısmının yerleşim alanları ile kaplı olduğu anlaşılmaktadır. SCS Eğri Numaraları tablosuna göre Yamula Barajı Havzası toprak yüzeyi kısımları eğri numaralarının 55 ile 88 arasında değerler aldığı belirlenmiş, havzanın ortalama eğri numarası yaklaşık CN = 70 olarak hesaplanmıştır.

Bu duruma göre SCS Eğri Numarası yönteminin ilgili formülleriyle yapılan efektif (artık) yağmur hesapları aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$S = 1000 / CN - 10 = 1000 / 70 - 10 = 14.2857 - 10 = 4.2857 \text{ inch} = 109 \text{ mm}$$

$$Pe = (Pt - 0.2 \times S)^2 / (Pt + 0.8 \times S) = (126 - 0.2 \times 109)^2 / (126 + 0.8 \times 109) = 50.93 = 51 \text{ mm}$$

Buna göre, havza ortalama sızma indisi aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\phi = (Pt - Pe) / tr = (126 - 51) / 24 = 75 / 24 = 3.13 \text{ mm/saat.}$$

2.2.4 DSİ Yöntemiyle Yamula Barajı Havzası için Tasarım Yağmur Hiyetografinin Hesabı

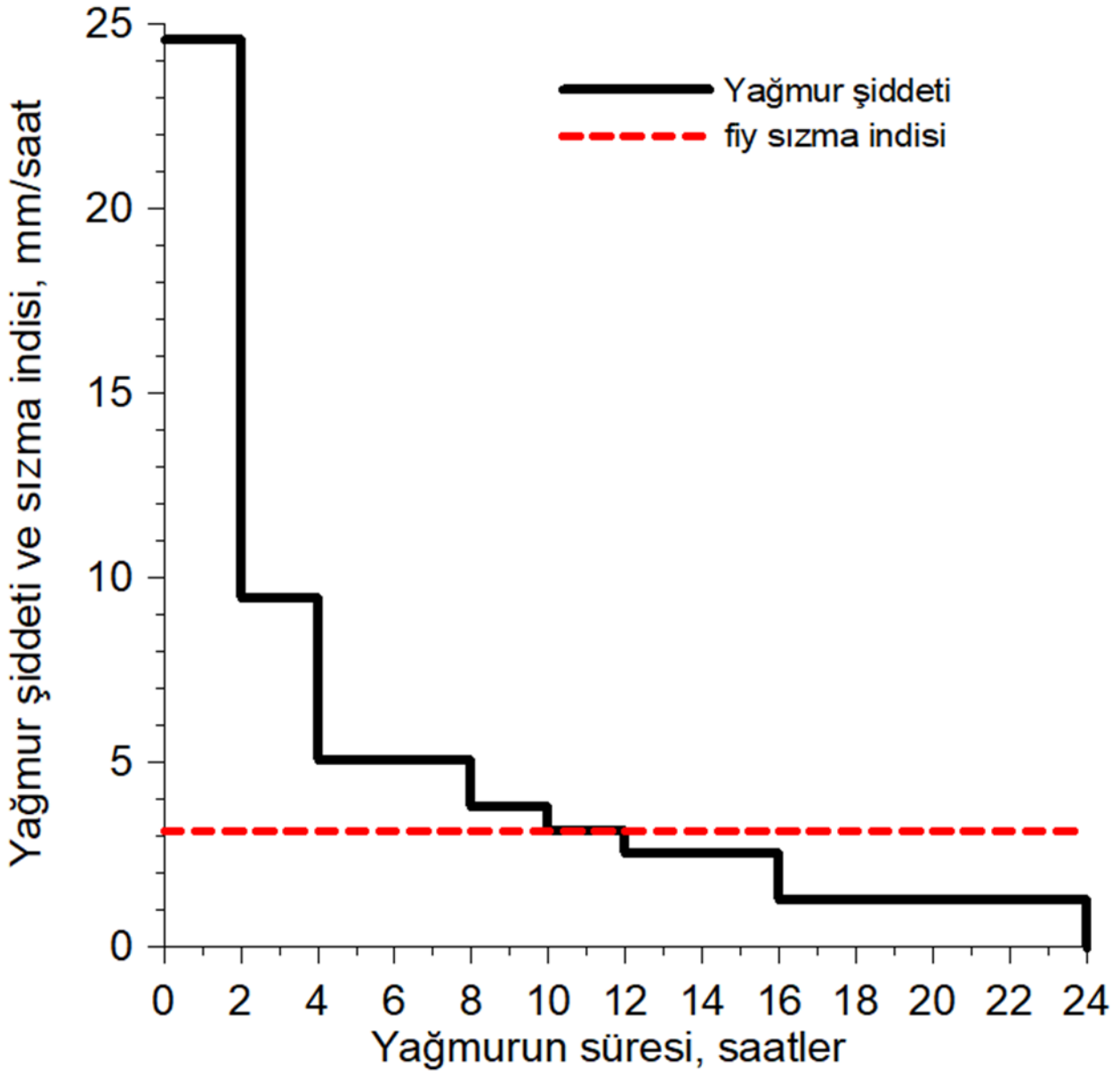
DSİ yaklaşımına göre Yamula Barajı havzasının büyük bir kısmı A bölgesindedir [15]. Toplam 24 saatlik yağmur süresi ikişer saatlik 12 adet dilime bölünmüştür. Böylece 2 saat süreli 1 cm derinliğindeki artık yağışın oluşturduğu Birim Hidrograf hesaplanmış ve tasarım yağmurundan oluşan tasarım hidrografı da elde edilen Birim Hidrograf'a bağlı olarak belirlenmiştir.

126 mm olarak hesaplanan 10 Bin yıl ortalama tekerrürlü 24 saat süreli ekstrem yağmur miktarının zamana göre dağılımı aşağıdaki Çizelge 3'te sunulmuştur. Havzada ara yağışların toplam yağışa olan oranları ve ikişer saatlik ara dilimlerdeki toplam ve artık yağışlar A Bölgesi için Çizelge 3'te verildiği şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 3. Yamula Barajı havzası için hesaplanan 126 mm'lik toplam yağmurun DSİ Yöntemine göre A Bölgesi için tasarım hiyetografı.

Zamanın toplam zamana oranı	Yağışın toplam yağışa oranı	Ara artım oranlar	Toplam yağış(mm)	Efektif yağış(mm)
2/24=0.0833	0.39	0.39	49.1	42.9
4/24=0.1667	0.56	0.15	18.9	12.6
6/24=0.25	0.64	0.08	10.1	3.8
8/24=0.3333	0.72	0.08	10.1	3.8
10/24=0.4167	0.78	0.06	7.6	1.3
12/24=0.50	0.83	0.05	6.3	0.0
14/24=0.5833	0.87	0.04	5.0	0.0
16/24=0.6666	0.91	0.04	5.0	0.0
18/24=0.75	0.94	0.03	3.8	0.0
20/24=0.8333	0.96	0.02	2.5	0.0
22/24=0.9167	0.98	0.02	2.5	0.0
24/24=1.0	1.00	0.02	2.5	0.0

Şekil 3'te yukarıdaki çizelgede hesaplanan tasarım hiyetografinin şekli verilmektedir.



Şekil 3. Yamula Barajı havzası için 10-Bin yıl ortalama tekerrürlü 24 saat süreli toplam yağışın tasarım hiyetografı ve havzanın ortalama sızma indisi.

2.2.5 Snyder-Gama Sentetik Birim Hidrograf Hakkında Özet

2-parametrelı gama dağılımı olasılık yoğunluk fonksiyonunun ölçeklendirilmiş biçiminin sentetik birim hidrograf olarak kullanılması Nash tarafından teklif edilmiştir [16]. Sonradan, bazı araştırmacılar bunu sentetik birim hidrograf olarak uygulamıştır [17, 19, 20]. Sentetik birim hidrografın pik debisinin, Q_p , ve pik debi zamanının, t_p , Snyder yöntemi formülleriyle hesaplanmasından sonra bu sentetik birim hidrografın şeklinin tamamı için ölçeklendirilmiş 2-parametrelı gama dağılımı olasılık yoğunluk fonksiyonunun adapte edilmesi ise yakın geçmişte ülkemizde ve dünyada birçok sentetik birim hidrograf için uygun olduğu gösterilmiştir [21]. Q_p ve t_p Snyder formülleriyle hesaplandıktan sonra 2-parametrelı gama dağılımı olasılık yoğunluk fonksiyonundan oluşan aşağıdaki denklemin kökü Snyder-Gama sentetik birim hidrografın analitik ifadesinin şekil parametresini (n) vermektedir [21].

$$\ln(n-1) + (n-1) \times [\ln(n-1) - 1] - \ln[\Gamma(n)] + \ln(A/0.36) - \ln(t_p) - \ln(Q_p) = 0 \quad (3)$$

Burada, $\Gamma(n)$: gama fonksiyonun n argümanı için verdiği nümerik değer, A : havzanın drenaj alanı (km^2), t_p : Snyder yöntemi ile hesaplanmış pik debi zamanı (saat), Q_p : Snyder yöntemi ile hesaplanmış pik debidir (m^3/s). Sonra, ölçek parametresi, K , gama dağılımı modunun analitik özelliğini yansıtan aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$K = t_p / (n-1) \quad (4)$$

Şekil ve ölçek parametreleri elde edildikten sonra, Snyder-Gama sentetik birim hidrografın herhangi bir t saatteki debisi aşağıdaki ifade ile hesaplanmaktadır.

$$Q = (A/0.36) \times (1/K) \times (t/K)^{n-1} \times \exp(-t/K) / \Gamma(n) \quad (5)$$

Burada, Q, artık yağmurun başından itibaren t saatteki debidir (m³/s).

3. Bulgular

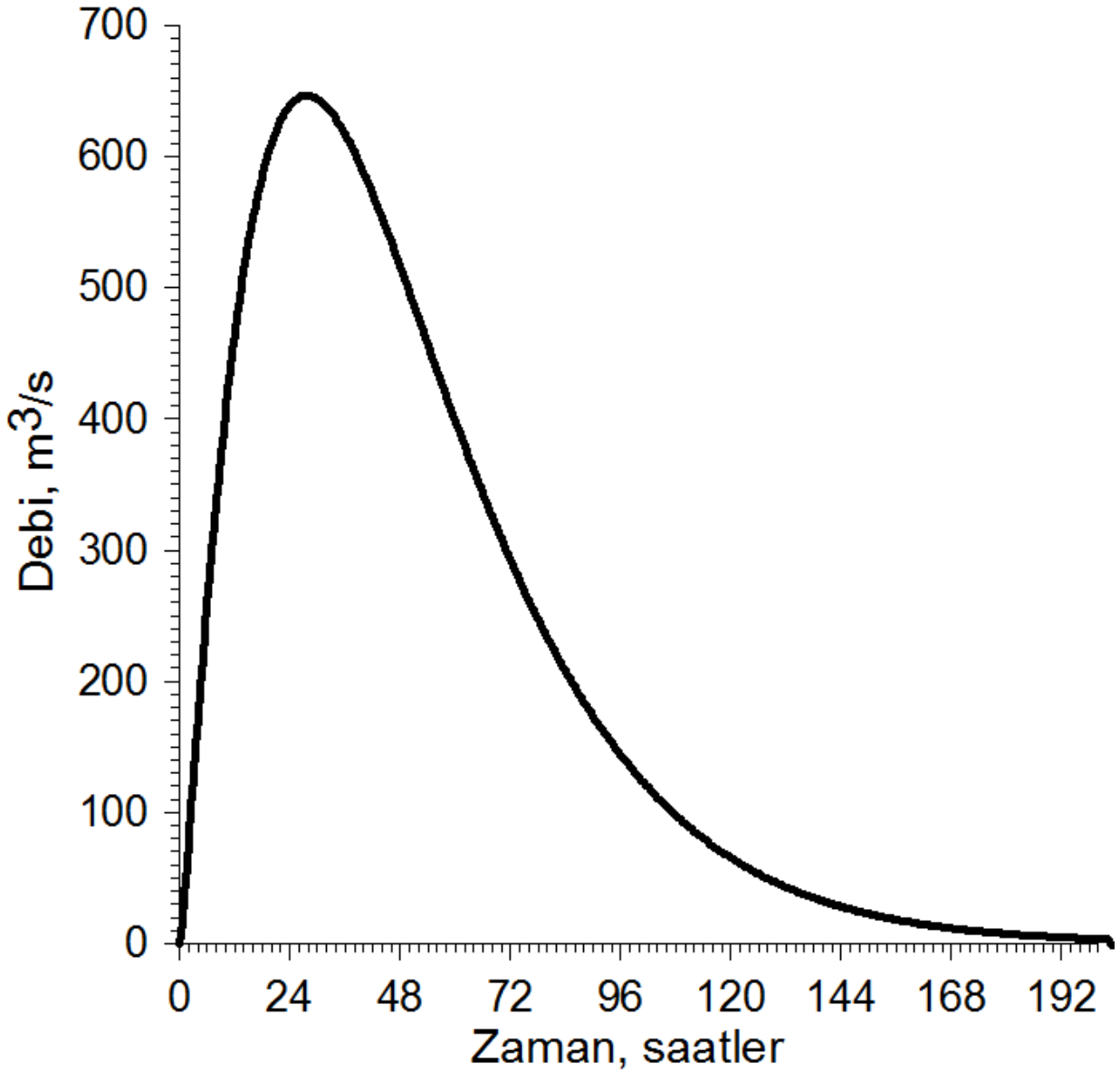
3.1 Yamula Barajı Havzası için 2-saatlik Snyder-Gama Sentetik Birim Hidrograf Hesabı

Tasarım hiyetografi 2-şer saatlik dilimlerde hesaplanmıştır. Bunun oluşturacağı yüzey akımı hidrografının hesabı için Yamula Barajı havzasının 2-saatlik birim hidrografi gerekmektedir. Yamula Barajı aksına çok yakın bulunan 1501-Yamula Akım Rasat İstasyonunda gözlenmiş taşkın hidrografları elde edilemediği için bu çalışmada yakın geçmişte sunulmuş olan [21] Snyder-Gama sentetik birim hidrografi yöntemiyle 2-saatlik birim hidrograf hesabı yapılmıştır.

'Giriş' bölümünde birkaç örnekle özetlendiği gibi Türkiye'miz akarsuları için Snyder Sentetik Birim Hidrograf yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Snyder yöntemi için o havzanın drenaj özelliklerini yansıtan Ct ve Cp olarak sembolize edilen iki adet katsayıya ihtiyaç bulunmaktadır. Hidrograf hesaplarında, yağmurdan sonraki en önemli parametrelerinden birisi olan ve çoğunlukla A ile sembolize edilen drenaj alanı da gerekmektedir. Ayrıca, ana akarsu kolunun toplam uzunluğu (L, km) ve ana kolun havza ağırlık merkezine en yakın kesiti ile havza çıkış kesiti arasındaki uzunluğu da (Lc, km) gerekmektedir. Google-earth sitesinden indirilen haritadan, L = 374 km, Lc = 178 km olarak belirlenmiştir. Yamula Barajı havzasının alanı (A) ise 15582 km² olarak belirlenmiştir.

Geçmiş yıllarda gözlenmiş hiyetograf-hidrograf verileri kullanılarak yapılan bir çalışmada, Kızılırmak Havzasına güneyden komşu olan Seyhan Havzasındaki Göksu Irmağı üstünde bulunan 1801-Himmetli akım gözlem istasyonu havzasında, Ct ve Cp sırasıyla, 1.3 ve 0.2 olarak hesaplanmıştır. Aynı çalışmada, Seyhan Nehrinin batısındaki bitişik 17 nolu havzada 1714-Kayraktepe akım gözlem istasyonu havzasında, Ct ve Cp sırasıyla 1.5 ve 0.4, Seyhan Nehrinin doğusundaki bitişik 20 nolu havzada 2010-Kürtleravşarı akım gözlem istasyonu havzasında ise bu değerler sırasıyla 1.4 ve 0.2 olarak hesaplanmıştır [17]. Bu nümerik değerler göz önünde bulundurularak pik debi zamanının çok erken olmaması ve pik debi değerinin çok küçük olmaması amaçlanarak, Yamula Barajı havzası için Snyder katsayılarının (Ct ve Cp) sırasıyla 1.3 ve 0.4 olarak alınmasına karar verilmiştir.

Yamula Barajı havzası için A = 15582 km², L = 374 km, Lc = 178 km, Ct = 1.3, Cp = 0.4 değerleri ile 2-saatlik Snyder-Gama Sentetik Birim Hidrograf hesaplanmıştır. Bu sentetik birim hidrograf Şekil 4'te verilmiştir.

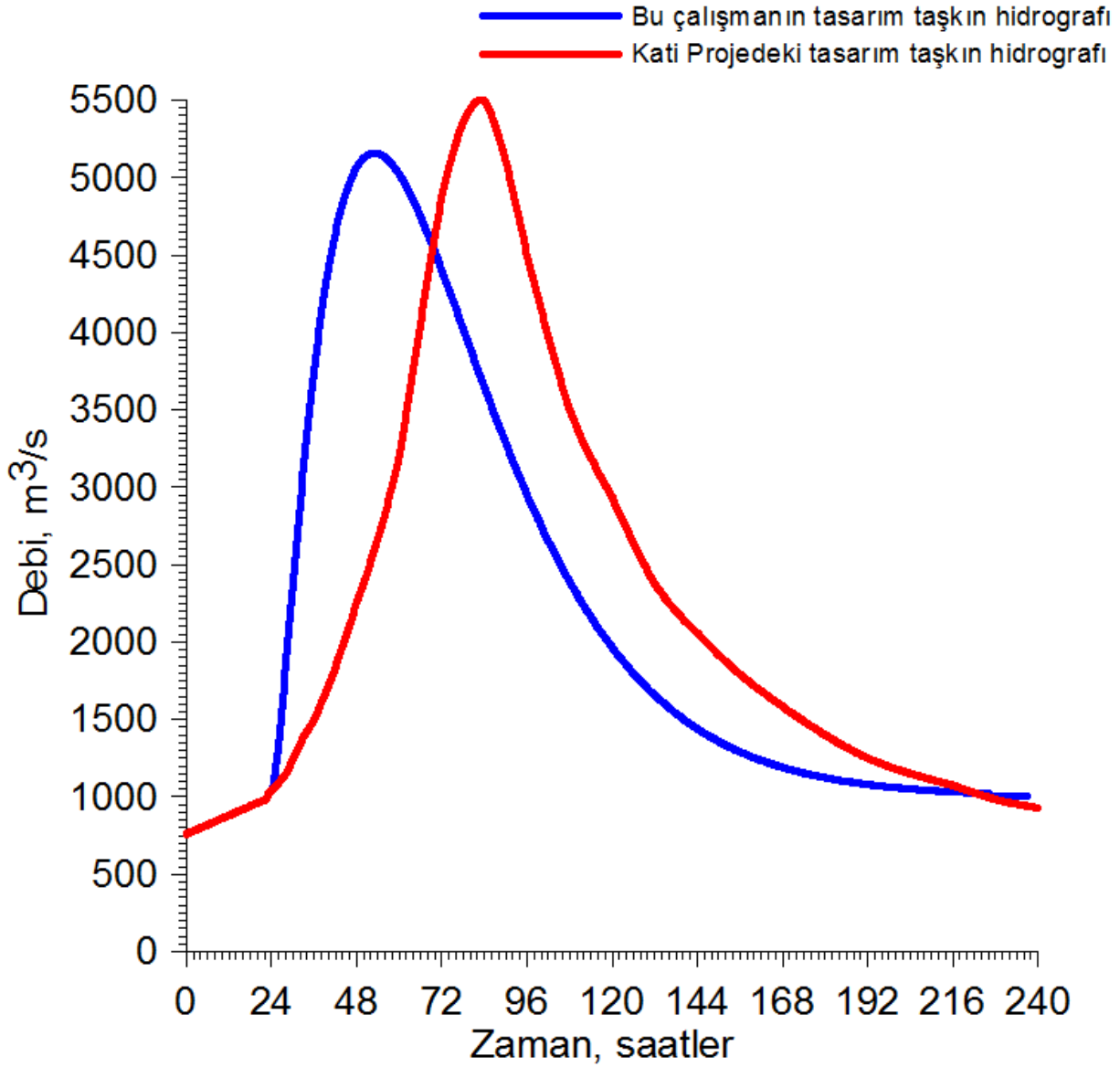


Şekil 4. Yamula Barajı havzasında 2-saatlik Snyder-Gama sentetik birim hidrograf.

3.2 Yamula Barajı Havzası Tasarım Taşkın Hidrografı Hesabı

Çalışmada, 2-saatlik Snyder-Gama sentetik birim hidrograf, yukarıda ilgili alt bölümde özetlendiği biçimde hesapladığımız tasarım hiyetografına uygulanarak Yamula Barajına gelmesi olası yüzey akımının oluşturduğu tasarım taşkın hidrografı hesaplanmıştır. Yamula Barajı Kati Projesinde, yüzey akımı hidrografına ilaveten, baştan 760 m³/s'lik bir debi ile başlayan ve 24 saat içinde 1000 m³/s'ye artan bir kar erimesi artı yeraltı suyu katkısı hidrografı verilmektedir. Bu çalışmada hesaplanan yüzey akımı hidrografı, Yamula Barajı kati projesinde verilen kar erimesi + yeraltı suyu katkısı hidrografı ile toplanarak, toplam tasarım taşkın hidrografı oluşturulmuştur. Böylece hesaplanan tasarım taşkın hidrografı, Yamula Barajı Kati Projesinde verilen tasarım taşkın hidrografı ile karşılaştırılmıştır. [23] nolu kaynakta verilen Yamula Barajı Kati Projesindeki tasarım taşkın hidrografının nümerik değerleri aynen alınarak bu çalışmada hesaplanan tasarım taşkın hidrografı ile birlikte Şekil 5'te verilmektedir. Yamula Barajının Kati Projesindeki tasarım hidrografının pik debisi 5500 m³/s'dir [23]. Bu çalışmadaki tasarım taşkın hidrografının pik debisi 5160 m³/s'dir. Hidrografların en önemli özelliği olan pik debilerde sadece % 6 kadar bağıl fark vardır. Şekil 5'te görüldüğü gibi Kati Projedeki hidrografın pik debi zamanı bu çalışmada hesaplanandan bir gün kadar daha sonra oluşmaktadır. Duyarlı sonuç alma amacıyla bu çalışmada, Yamula Barajı havzası için 2'şer saat dilimlerine bölünmüş 24 saatlik tasarım yağmur hiyetografı Türkiye'de konuyla ilgili DSİ'nin 'Uygulamalı Taşkın Hidrolojisi' kitabında [15] verilen yöntemle hesaplanmıştır. Şekil 3'te görüldüğü gibi, bu yöntem ile yağmurun büyük bir kısmı ilk 2 saatlik dilimde düşmektedir. Çalışmamız hidrografı pik debi zamanının Kati Projedekinden önce olmasının nedeni bu olabilir. Kati Projede Yamula Barajı tasarım taşkın hidrografının nasıl hesaplandığına dair bilgi bulunmamaktadır. Kati Proje 1995 tarihlidir. Bu çalışmada öncelikle, Yamula Barajı Havzası içinde ve yakın civarında yedi adet yağmur gözlem istasyonunda 2010 yılı dahil Meteoroloji Genel Müdürlüğünce ölçülmüş ekstrem yağmur verileri ile frekans analizleri sonucu 10 Bin yıl

ortalama tekerrürlü havza ortalaması yağmur değeri hesaplanmıştır. Yukarıda ilgili Bölümlerde özetlendiği üzere, Snyder katsayıları için ve havza ortalaması sızma indisi için ilgili kaynaklardan yararlanarak makul değerler alınmıştır. Burada kullanılan Snyder-Gama Sentetik Birim Hidrografının daha önce yayınlanan bir çalışmada ülkemizde çok sayıda havzaya uygulanarak başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür [21].



Şekil 5. Yamula Barajı için çalışmada hesaplanan 10Bin yıl ortalama tekerrürlü 24 saat süreli ekstrem yağışın oluşturduğu tasarım taşkın hidrografı ve Yamula Barajı Kati Projesinde [23] verilen tasarım taşkın hidrografı.

Tartışma ve Sonuç

Henüz yeni olan Snyder-Gama sentetik birim hidrografı yöntemi ile Yamula Barajı havzası için 2-saat süreli 1 cm'lik artık yağışın oluşturacağı birim hidrograf hesaplanmıştır. Bu birim hidrograf, 24-saat süreli 10-Bin yıl ortalama tekerrürlü ekstrem yağmurun tasarım hiyetografına uygulanarak Yamula Barajı için olası maksimum taşkın hidrografı hesaplanmıştır. Bu tasarım taşkın hidrografının, Yamula Barajı kati projesinde verilen tasarım taşkın hidrografına çok yakın olduğu görülmüştür. Kati projede hidrolojik hesapların açıklaması bulunmamaktadır. Burada özetlenen biçimde Snyder-Gama sentetik birim hidrografı kullanarak hesaplanan tasarım taşkın hidrografının barajın kati projesindeki yakını çıkması yakın Snyder-Gama Sentetik Birim Hidrografı yönteminin makul birim hidrograf verdiğine bir doğrulama olarak değerlendirilebilir.

Teşekkür

Kızılırmak havzası içinde ve civarındaki meteoroloji istasyonlarında gözlenmiş olan standart süreli ekstrem yağmur verileri serilerini sağladığı için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

Kaynakça

- [1] WMO. 2009. Guide to Hydrological Practices, Volume II, Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices. WMO-No. 168 (Chapter 6 – Modeling of Hydrologic Systems). Sixth edition, World Meteorological Organization, P.O. Box 2300, CH-1211, Geneva 2, Switzerland.
- [2] HEC. 2008. Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Applications Guide. Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers, 441 G St., NW Washington, DC 20314-1000, USA.
- [3] Environment Agency. 2020. Flood Estimation Guidelines – Technical Guidance 197_08. National Flood Hydrology Team, Environment Agency, Government of UK.
- [4] Central Water Commission. 2010. Development of Hydrological Design Aids (Surface Water) under Hydrology Project II - State of The Art Report. Central Water Commission, Ministry of Water Resources, Government of India.
- [5] Ball, J., Babister, M., Nathan R., Weeks, W., Weinmann, E., Retallick, M., Testoni, I., (Editors). 2019. Australian Rainfall and Runoff: A Guide to Flood Estimation, © Commonwealth of Australia (Geoscience Australia).
- [6] DSİ. 1987. Çatalan Barajı ve HES Kati Projesi, Kadastral Taşkın, Pafta no.43. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Etüt ve Plan Dairesi Başkanlığı, Yücepe, Ankara.
- [7] DSİ. 2008. Ilisu Barajı ve Hidroelektrik Santrali, Taşkın Hidrolojisi ve Sediment Taşınımı, REP.0542/002-t-Rev.1. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Barajlar ve Hidroelektrik Santraller Dairesi Başkanlığı, Yücepe, Ankara.
- [8] Temelsu. 2007. Bayramhacılı Barajı ve HES Kesin Projesi (İnşaat). Temelsu Uluslararası Mühendislik Hizmetleri A.Ş., Çankaya, Ankara.
- [9] Sanko. 2007. Yedigöze Barajı ve HES Kesin Fizibilite (Cilt: 1/2 Rapor). Sanko Mühendislik ve Danışmanlık A.Ş. Çetin Emeç Bulvarı, 6.ncı Cadde, No: 61/7, 06520, Balgat/Ankara.
- [10] Wang, J., Hong, Y., Li, L., Gourley, J. J., Khan, S. I., Yilmaz, K. K., Adler, R. F., Policelli, S. F., Habib, S., Irwin, D., Limaye, A. S., Korme, T., Okello, R. 2011. The coupled routing and excess storage (CREST) distributed hydrological model. Hydrological Sciences Journal, 56(1), 84–98, doi: 10.1080/02626667.2010.543087
- [11] Chow, V.T., Maidment, D. R., Lays, L. W. 1988. Applied Hydrology. McGraw-Hill, New York.
- [12] Singh, P. K., Mishra, S. K., Jain, M. K. 2014. A review of the synthetic unit hydrograph: from the empirical UH to advanced geomorphological methods, Hydrological Sciences Journal, 59(2), 239-261, DOI: 10.1080/02626667.2013.870664
- [13] Usul, N. and Birhan, T. 1995 Determining synthetic unit hydrographs and parameters for four Turkish basins. Journal of Soil and Water Conservation, 50(2), 170–173.
- [14] Snyder, F. F. (1938) Synthetic Unit-Graphs, Transactions, American Geophysical Union, 19(1), 447–454.
- [15] Özdemir, H. 1978. Uygulamalı Taşkın Hidrolojisi. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Yücepe, Ankara.
- [16] Nash, J. E. 1959. Systematic determination of unit hydrograph parameters. Journal of Geophysical Research, 64(1), 111–115.
- [17] Haktanır, T. and Sezen, N. 1990. Suitability of two-parameter gamma and three-parameter beta distributions as synthetic unit hydrographs in Anatolia. Hydrological Sciences Journal, 35(2), 167–184.
- [18] Nadarajah, S. 2007. Probability models for unit hydrograph derivation. Journal of Hydrology, 344, 185–189.
- [19] Patil, P. R., Mishra, S. K., Sharma, N., Swar, A. K. 2012 Two-Parameter Gamma-Based SUH Derivation. International Journal of Environmental Science and Development, 3(5), 427–432.
- [20] Naghibi, S. E., Vafakhah, M., Nia, A. M., Eslamian, S. 2018. Evaluation of some distribution functions for derivation of unit hydrograph in the Bar Watershed, Iran. International Journal of Hydrology Science and Technology, 8(2), 134–147.
- [21] Açıkanal, N. 2021. Snyder-Gamma synthetic unit hydrograph. Arabian Journal of Geosciences, 14: 271. doi: 10.1007/s12517021065317

- [22] Fang, X., Thompson, D. B., Cleveland, T. G., Pradhan, P., Malla, R. 2008. Time of Concentration Estimated Using Watershed Parameters Determined by Automated and Manual Methods. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 134(2), doi: 10.1061/ASCE073394372008134:2202
- [23] Kayseri Elektrik Üretim Sanayi ve Ticaret A.Ş. ve Aydınlar İnşaat 1995 Yamula Hydroelectric Project, Volume 4. Kayseri.