



## FARKLI İRİLİKTEKİ TABAN MALZEMELERİ İÇİN BİRİM HİDROGRAF ANALİZİ

Özge ÇABUK<sup>1</sup>, Selahattin Baki SOYSAL<sup>1</sup>, Cihan EKİNCİ<sup>1</sup>, \*Özlem TERZİ<sup>1</sup>,  
Yusuf YAŞIR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta

(Geliş/Received: 25.04.2024, Kabul/Accepted: 24.06.2024, Yayınlanma/Published: 26.06.2024)

### ÖZ

Bu çalışmada, farklı irilikteki taban malzemelerinin birim hidrograf üzerindeki etkisini incelemek için deneysel çalışma yapılmıştır. Sırasıyla iri ve ince daneli taban malzemelerine sahip yapay havza için, oluşturulan yağmurlama düzeneği ile sabit zaman aralıklarında hazne çıkış noktasında oluşacak akış hacimleri ölçülmüş ve daha sonra debiler hesaplanmıştır. Elde edilen birim hidrograflarda ince daneli taban malzemesi durumunda iri daneli duruma göre, pik debide yaklaşık 17% azalma ve 48 sn'lik bir gecikme gözlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Yağış, Birim Hidrograf, İri ve İnce Daneli Taban Malzemesi.

## UNIT HYDROGRAPH ANALYSIS FOR BASE MATERIALS OF DIFFERENT SIZES

### ABSTRACT

In this study, an experimental study was conducted to examine the effect of different sized base materials on the unit hydrograph. For the artificial basin with coarse and fine-grained base materials, the flow volumes that would occur at the reservoir exit point were measured at fixed time intervals with the sprinkler mechanism prepared and then, flow rates were calculated. In the obtained unit hydrographs, an approximately 17% decrease in peak flow rate and a delay of 48 seconds were observed in the case of fine-grained base material compared to the coarse-grained case.

**Keywords:** Precipitation, Unit Hydrograph, Coarse and Fine-Drained Base Material.

## 1. Giriş (Introduction)

Su, yaşamın devam edebilmesi için vazgeçilmez bir unsurdur. Canlılar için önemli olsa da aşırı yağışlar sonucunda kontrol altına alınamayan su, yıkımlara ve felakete sebep olabilir. Suyu farklı alanlarda daha verimli kullanabilmek ve sebep olabileceği felaketlerin önüne geçebilmek için uygun hidrolik yapıların inşa edilmesi gereklidir. Ancak, bazı havzalarda veri eksikliği olması ya da ölçüm olmamasından kaynaklı, su yapılarının yapımının planlandığı alanların hidrografları oluşturulamamaktadır. Bu problemin aşılabilmesi ve hidrolik yapıların inşa edilebilmesi için birim hidrograf hesabının yapılması gerekir. Havzanın birim hidrografi biliniyorsa havzada gerçekleşecek herhangi bir şiddetteki yağışın hidrografi rahatlıkla hesaplanabilir ve bu da mühendislere su yapılarını boyutlandırmalarında büyük avantaj sağlamaktadır [1].

Akarsu havzalarındaki yağış-akış ilişkileri karmaşık olduğundan bazı kabuller ile basitleştirilerek matematiksel modeller kurulabilir. Bunlardan birincisi olan parametrik modellerde, sızma, yeraltı suyu akışı, yüzeysel akış gibi çeşitli hidrolojik çevrim parametreleri arasındaki ilişkiler belirlenerek, havzanın yağışlı akış hâline dönüştürmesi olayı incelenir. İkinci olarak kapalı kutu modellerde sadece yağış ile akış arasındaki ilişki dikkate alınır. Kapalı kutu modellerden en yaygın kullanılanı birim hidrograf modelidir [2].

Bantçına [3] çalışmasında, Nilüfer Barajı Havzası'na ait yağış-akış ilişkisini incelemiştir. Veri yetersizliği nedeniyle, DSİ sentetik, Mockus ve Snyder yöntemlerini kullanarak sentetik birim hidrograflar elde etmiştir. Snyder yönteminde elde edilen  $C_t$  ve  $C_p$  katsayılarının, zemine bağlı; Mockus yönteminde elde edilen  $K$  ve  $H$  katsayılarının havza özelliğine bağlı katsayılar olduğu sonucuna vararak bu katsayıların bulunması için ön çalışmaların yapılmasının gerekli olduğunu belirtmiştir. DSİ yönteminin ise bu katsayılara gerek duyulmadığı için daha kolay bir yöntem olarak tercih edilebileceğini vurgulamıştır.

Aydın [4] çalışmasında, Nakayasu sentetik birim hidrograf (NSBH) yönteminin Türkiye havzalarında kullanılabilirliğini incelemiştir. Bu amaçla yedi adet küçük ölçekli ve beş adet büyük ölçekli alt havzaya ait gözlenmiş ve ortalama birim hidrograf verilerinden faydalanmıştır. Seçtiği bu alt havzalara ait birim hidrograf parametrelerini NSBH yöntemi ile hesaplamıştır. Elde edilen birim hidrograf parametrelerini ortalama birim hidrograf parametreleri ile karşılaştırmıştır. Her iki yöntemden elde edilen parametreler arasında büyük farklar görmüş ve NSBH yönteminin mevcut hali ile Türkiye havzalarında uygulanabilir olmadığı kanaatine varmıştır. Bu nedenle, NSBH yöntemine ait eşitlikleri, Türkiye havzalarında kullanılabilecek şekilde kalibre etmiş ve bölge için kullanılabilir hale getirmiştir.

Tanrıverdi [5] çalışmasında, Trabzon Değirmendere akım gözlem istasyonunun saatlik akım verileri ile Trabzon Bölge, Maçka/Altındere Sümela, Düzköy, Zigana Kayak Merkezi ve Tonya/Kalınçam olmak üzere beş adet otomatik meteoroloji gözlem istasyonunun saatlik yağış verilerini kullanmıştır. Thiessen çokgenlerini yöntemi ile her bir meteoroloji gözlem istasyonunun etkilemiş olduğu yağış alanlarını hesaplamıştır. DSİ sentetik, Mockus ve Snyder sentetik birim hidrograf yöntemlerini kullanarak birim hidrograf değerlerini bulmuştur. Çalışma sonucunda, ölçülmüş veriler ve sentetik yöntemlerle hesaplanan birim hidrograf değerlerini karşılaştırmış ve havzadaki en uygun sentetik birim hidrograf yönteminin Snyder olduğunu tespit etmiştir.

Ocak [6], anlık birim hidrograf için doğrusal hazne serisi modeli önermiştir. Beş farklı havza için artık yağıştan dolaysız akışa geçişin simülasyonunu yapmış ve bilgisayar programı oluşturmuştur. Her havzada gözlenen akışlarla hesaplanan değerleri karşılaştırmıştır. Bu program ile yeterli doğrulukta sonuçlar elde ettiğini söylemiştir.

Börü [7] çalışmasında, Snyder sentetik birim hidrograf yöntemi ile parametre değerlerinin ülkemiz havzaları için değişimini incelemiştir. Seçilen 26 adet alt havzaya ait birim hidrograf değerleri, gözlemlenen verilerden elde edilmiştir. Bu değerler, pratikte kabul gören değerlerle kıyaslanmıştır. Ayrıca yaptığı çalışma sonucunda, katsayıların ülkemiz havzaları için uygulanabilirliğini sorgulayarak elde ettiği yeni katsayıların ülkemiz havzaları için dikkate alınması gerektiği kanaatine varmıştır.

Khaleghi [8] çalışmasında, Kuzey İran'da bulunan Kasilian Havzası üzerindeki yağış-akış süreçlerini simüle etmek için Snyder birim hidrograf modelini kullanmıştır. Elde ettiği hidrografları karşılaştırarak, dolaysız akışın pik zamanı ve pik akış değeri gibi parametreler için birim hidrografın yüksek verimlilikle

olduğunu ve akış hidrograflarının simülasyon doğruluğunu arttırmak için uygun bir yöntem olduğunu vurgulamıştır.

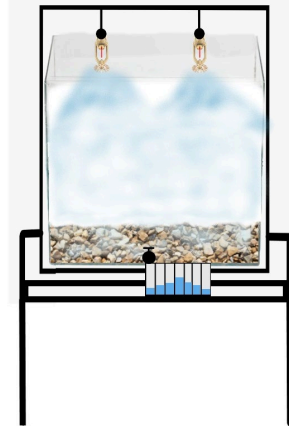
Sule vd. [9] Nijerya'nın Kwara Eyaleti'nde bulunan Awun Nehri havzasında birim hidrograf oluşturmak için sentetik birim hidrograf yöntemini kullanmışlardır. Birim hidrografın oluşturulmasında çoğu temel birim hidrograf özelliklerini ve havza parametrelerini kullanarak Snyder ve SCS yöntemlerinin uygun olduğu kanaatine varmışlardır.

Literatürde, taban malzemesi boyutunun birim hidrograf üzerindeki etkisinin incelendiği kısıtlı sayıda deneysel çalışmalar bulunmaktadır. Bu deneysel çalışmada, yapay bir havza üzerinde iri ve ince daneli taban malzemeleri için birim hidrograflar elde edilerek taban malzemesinin birim hidrograf değerleri üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Oluşturulan yapay havza üzerinde, hazırlanan yağmurlama sistemiyle hazne çıkış noktasında oluşacak akış, altta bulunan bölmelerde sabit zaman aralıklarında toplanarak akış hacimleri elde edilmiş ve hesaplamalar yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

### 2.1. Materyal (Material)

Çalışmada kullanılan yapay havza temsili gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. Oluşturulan düzenekte havza iri ve ince agrega danelerinin bir büyük bir kaba boşaltılması sonucunda oluşturulmuştur. Havza alanı 912 cm<sup>2</sup>, havza çevre uzunluğu 124 cm'dir. Havza çıkış noktası için kabın üzerinde tabana yakın bir noktada bir delik açılarak, deliğin etrafı zımparalanmış ve musluk takılmıştır. Musluk, su sızma riski göz önüne alınarak pullarla sabitlenmiş ve su tutucu bantla etrafı sarılmıştır. Musluğun iç tarafına, agrega tanelerinin geçişini önleyen filtre takılmıştır. Bu sayede agrega danelerinin musluğu tıkaması engellenmiştir. Daha sonra kap içerisindeki basıncın atmosfer basıncına eşit olması için kabın üst tarafından delikler açılmış ve yağmurlama sistemi olarak kullanılacak su püskürtücü yerleştirilmiştir (Şekil 2). Yağmurlama sistemi sayesinde havza üzerinde yağış başlatılmış ve havzanın çıkış noktasında akış takip edilmiştir.



Şekil 1. Temsili yapay havza (Representative artificial basin)



**Şekil 2.** Birim hidrograf deney aleti (Unit hydrograph experiment apparatus)

Kayar hazne için ölçüleri belirlenip kestirilen cam parçaları için bir sunta kalıp oluşturulmuştur. Oluşturulan sunta kalıp, kayar haznenin eşit hacimlere bölünmesini sağlamıştır. Sunta kalıp üzerinde belirlenen noktalara yerleştirilen cam parçaları silikon yardımıyla yapıştırılarak etrafı bant ile sabitlenmiştir. İşlem sonrasında kayar hazne kurumaya bırakılmıştır. Ertesi gün kuruyan kayar haznenin üst parçası da silikonlanarak kurutma işlemi tekrarlanmıştır. Kayar haznenin sunta kalıba bağlı kısmı dikkatli bir şekilde sökülerek kayar hazneden ayrılmıştır. Böylece eşit hacimlere sahip kayar hazne deney için hazır hale getirilmiştir (Şekil 3).



**Şekil 3.** Kayar hazne yapım aşamaları (Construction stages of the sliding reservoir)

Havza içerisinde kullanılacak iri ve ince agrega daneleri için elek analizi yapılmıştır. Eleme sırasında, ince agrega daneleri için 2 mm çaplı eleğin altında kalan, iri daneli agrega için 6,3 mm çaplı eleğin altında kalan kum daneleri kullanılmıştır. Eleklerden sırasıyla elenen agregalar, agrega daneleri arasındaki ince malzemelerden ayrıştırılmak amacıyla yıkanarak etüve konulmuştur. 24 saat 105°C’de

kurutulan agrega daneleri havza içerisinde kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir. Böylece, birim hidrograf deney ekipmanları tamamlanmıştır (Şekil 4).

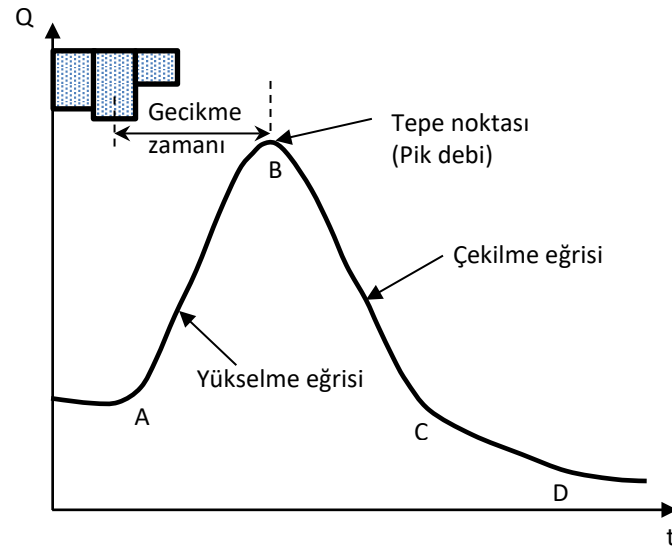
Her 15 saniyede bir kayar hazne kaydırılarak akış miktarı hesaplanmıştır. Yağış belirli bir süre sonra kesilerek akışın yükselen ve alçalan eğrileri tespit edilmiştir. Ayrıca yağış sürelerinin takibi, toplam yağış süresi ve pik debinin bulunduğu zaman aralığının bulunmasına yardımcı olmuştur.



Şekil 4. Oluşturulan birim hidrograf deney aleti (Constructed unit hydrograph experiment apparatus)

## 2.2. Yöntem (Method)

Taşkın çalışmalarında akımın zaman içerisindeki değişimini gösteren hidrografi bilmek gerekir (Şekil 5). Hidrograf ile hidrografi meydana getiren yağışın hiyetografi arasındaki ilişkinin belirlenmesi için akarsu havzasına yağışı akışa çeviren bir sistem olarak bakmak gerekmektedir. Akarsu havzasının sistem olarak incelenmesinde en çok kullanılan birim hidrograf metodu bu çalışmada tercih edilmiştir.



Şekil 5. Hidrograf örneği [2] (Example of a hydrograph [2])

Gerek havzanın gerekse yağışın özelliklerine bağlı olarak elde edilen hidrograf üzerinde yükselme eğrisi, tepe noktası (pik) ve çekilme eğrisi bulunmaktadır.

Yükselme eğrisi (AB) boyunca debi zamanla artmaktadır. Bu eğri oldukça dik olup şekli yağışın özelliklerine (zaman ve yer içinde dağılımına, süresine), yağış öncesi şartlara (zemin nemi, bitki örtüsü)

ve havza özelliklerine göre değişir. Yağışın başlangıcından itibaren zaman geçtikçe havzanın yukarı kısımlarından gelen suların akış katsayısının artışı dolayısıyla bu eğri yukarıya doğru konkavdır. Genellikle çıkış noktasından uzaklaştıkça iki ardışık izokron arasında kalan alan gittikçe büyüdüğünden yükselme eğrisinin eğimi de büyür.

Tepe noktasında (B noktası), debi bir maksimum değerden (akış piki) geçer. Yağış şiddetinin en az geçiş süresine eşit bir zaman boyunca değişmemesi halinde debi belli bir süre sonra sabit bir değerde kalır. Fakat, havza biçiminin ve yağış dağılımının düzensizliği, bu durumda bile debinin maksimum değerinde sabit kalmasını önler. Sabit değerlere ancak kar erimelerinde ve çok uzun süreli yağışlardan sonra rastlanabilir.

Çekilme eğrisi (BD) boyunca debi zamanla azalmaktadır. Yükselme eğrisine göre çok daha yatık olan bu eğrinin şekli, özellikle havzanın karakteristiğine bağlıdır. Eğrinin üst kısmı yüzey kanallarında toplanan suyun boşalmasını ve yüzey altı akışını gösterir. Eğrinin taban akışını gösteren alt kısmı (CD) yağıştan yağışa çok az değişir. Çekilme eğrisi boyunca havza yüzeyinde, akarsu ağında ve yüzey altında birikmiş su boşalmaktadır.

Yağıştan tutma, yüzey birikintilerinde depolanma ve özellikle sızma gibi kayıpları çıkararak elde edilen artık yağış (etkin yağış) ile toplam akıştan taban akışını çıkararak elde edilen dolaysız akış göz önüne alınırsa, artık yağışı dolaysız akışa çeviren sistemin lineer olduğu kabul edilebilir. Su toplama havzasındaki artık yağışı, dolaysız akışa dönüştüren lineer bir sistem olarak kabul eden havza modeline birim hidrograf modeli denir [10].

Bu çalışma kapsamında, birim hidrograf değerlendirmeleri, iri ve ince taneli taban malzemeleri için gerçekleştirilmiştir. Birim hidrograf parametrelerinin elde edilmesi sürecinde, deneylerin uygulanabilirliği açısından Tablo 1'deki varsayımlar dikkate alınmıştır.

**Tablo 1.** Birim hidrograf teorisindeki kabuller (Assumptions in unit hydrograph theory)

1	Yağış sabit şiddete sahiptir.
2	Yağış bütün havzaya düzgün olarak dağılmıştır.
3	Yüzey akımının taban süresi belli süreli yağışlar için sabittir.
4	Belli süreli bir sağanağın meydana getirdiği yüzey akım hidrografının ordinatları toplam yüzey akım miktarı veya sağanağın etkili kısmının derinliği ile doğru orantılıdır.
5	Birim hidrograf bir havza için tektir.

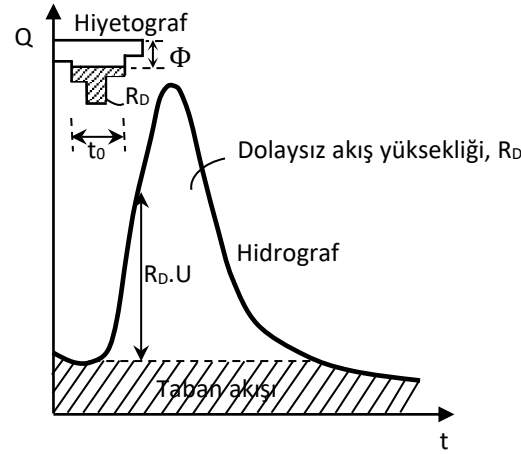
### 2.2.1. Birim hidrografın elde edilmesi

Birim hidrograf elde etmek için aşağıdaki aşamalar takip edilmektedir:

- Kayar hazne üzerinde su hacimleri elde edilir.
- Elde edilen toplam hacim yardımıyla yağış şiddeti hesaplanır.
- Debi-Zaman (Hidrograf) grafiği elde edilerek taban akışı değerleri çıkarılır. Hidrografın ordinatlarından taban akışı değerleri çıkarılarak dolaysız akış hidrografı elde edilir. Şekil 6'da dolaysız akış yüksekliği ile taban akışını ayıran kesikli çizgi görülebilmektedir.
- Denklem 1 yardımıyla birim hidrograf değerleri elde edilir.

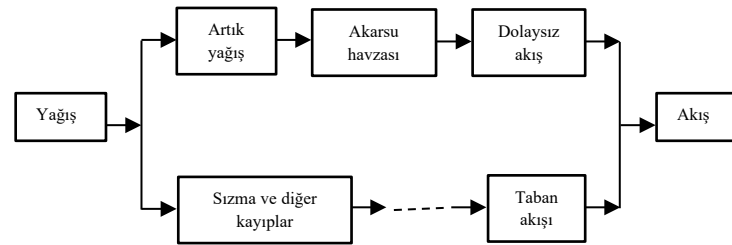
$$\frac{Q-Tb}{i} \quad (1)$$

Burada,  $Q$  debi,  $T_b$  taban akışı ve  $i$  ise yağış şiddetidir.



Şekil 6. Dolaysız akış hidrografının elde edilmesi [11] (Derivation of the direct runoff hydrograph [11])

Birim hidrograf oluşturulurken yağıştan akışa kadar sistematik bir şekilde ilerlenilmeli ve tüm parametrelere dikkat edilmelidir (Şekil 7).



Şekil 7. Birim hidrograf modelinde göz önüne alınan sistem [11] (System considered in the unit hydrograph model [11])

Birim hidrograf, kar erimesinden kaynaklı akışta veya net yağış süresinin birim hidrograf taban genişliğini aştığı havzalarda uygulanamamaktadır ve ayrıca havza sahasının büyük olduğu durumlarda ise küçük kısımlara ayrılarak alt havzaların birim hidrografları hesaplanmaktadır [11].

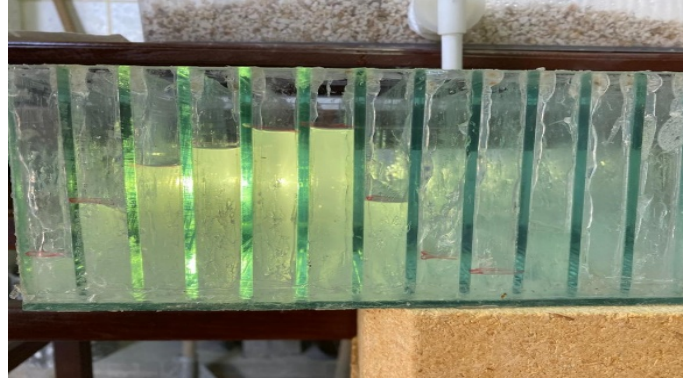
### 3. Araştırma Bulguları (Research Findings)

Deneyler, iri ve ince daneli olmak üzere iki farklı taban malzemesi için gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde aşağıdaki malzemeler kullanılmıştır:

- Yapay Havza
- Yağmurlama Sistemi
- Kayar Hazne
- İri ve ince daneli agrega
- Kronometre
- Cetvel

#### 3.1. İri Daneli Taban Malzemesi Durumu

İlk olarak iri daneli taban malzemesi durumu için birim hidrograf analizi yapılmıştır. Yapay havza doygunluğa ulaştıktan sonra musluktan akış başlamıştır. Musluktan akışın başlaması, yağışın akışa geçtiğinin bir göstergesidir. Sonrasında, kayar hazne sistematik bir şekilde her 15 sn'de bir hareket ettirilmiştir. Bu sayede birim hidrografi elde etmek için gerekli su hacimleri ve yağış süresi ölçülmüştür. Şekil 8'de iri daneli taban malzemesi durumunda kayar hazneden elde edilen su hacimleri görülebilmektedir.



**Şekil 8.** İri daneli taban malzemesi durumunda elde edilen su hacimleri (Water volumes obtained in the case of coarse-grained bed material)

Aşağıda, iri daneli taban malzemesi durumu için gerçekleştirilen deneye ait süre ve alan bilgileri sunulmaktadır:

- Havza alanı, 912 cm<sup>2</sup> (38\*24)
- Kayar hazne alanı, 19,5 cm<sup>2</sup> (1,3x15)
- Kayar haznenin her bir sütununda akış süresi, 15 sn
- Yağış süresi, 168 sn
- Toplam yağış ve akış süresi, 213 sn

Deney sonucunda, Şekil 8’de elde edilen su hacimleri yardımıyla Tablo 2’de sunulan her bir sütuna ait su derinlikleri hesaplanmış ve sonucunda hacim ile debi değerleri elde edilmiştir.

**Tablo 2.** Kayar hazne üzerindeki su hacimlerinden elde edilen sonuçlar (Results obtained from water volumes on the sliding reservoir)

Hazne No	Zaman (sn)	Su Derinlikleri (cm)	Hacim (cm <sup>3</sup> )	Q (cm <sup>3</sup> /sn)
1	93	2,3	44,85	2,99
2	108	4,7	91,65	6,11
3	123	6,2	120,90	8,06
4	138	7,0	136,50	9,10
5	153	7,8	152,10	10,14
6	168	8,0	156,00	10,40
7	183	5,1	99,45	6,63
8	198	2,3	44,85	2,99
9	213	1,2	23,40	1,56

Dolaysız akış hidrografının altında kalan alan dolaysız akış hacmini verir. Bu hacmin toplam yağış hacmine eşit olduğu varsayılır. Kayar hazne üzerindeki toplam su hacmi, Denklem 2’deki şekilde bulunur:

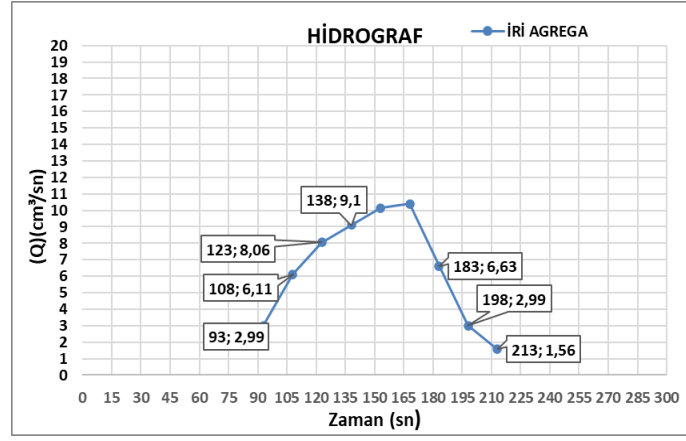
$$V = (2,3 + 4,7 + 6,2 + 7 + 7,8 + 8 + 5,1 + 2,3 + 1,2) \times (1,3 \times 15) = 869,7 \text{ cm}^3 \quad (2)$$

Denklem 2’de elde edilen hacim yardımıyla yağış şiddeti elde edilir:

$$i = \frac{869,7}{912 \times 168} \times 3600 = 20,43 \text{ cm/sa} \quad (3)$$

Şekil 9’da iri daneli taban malzemesi durumunda elde edilen hidrograf (debi-zaman) grafiği görülmektedir. Bu grafik, birim hidrograf grafiğinin elde edilebilmesi için kullanılacaktır.





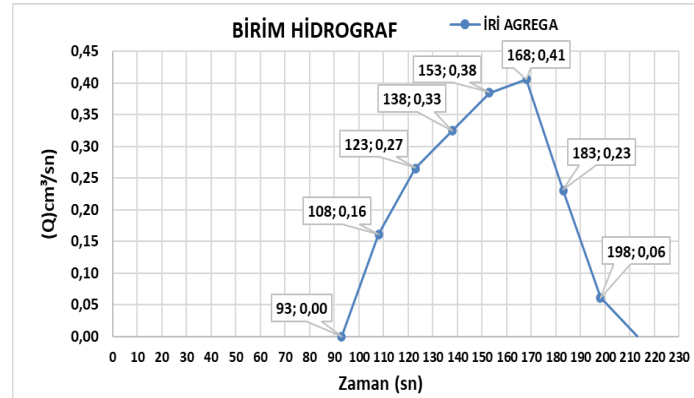
Şekil 9. İri agregalı deneye ait hidrograf grafiği (Hydrograph plot for the coarse-aggregate experiment)

Şekil 9’da oluşturulan hidrograf üzerinden taban akışı değerleri Tablo 3’teki şekilde bulunur.

Tablo 3. Taban akışı değerleri (Baseflow values)

Zaman (sn)	Q (cm <sup>3</sup> /sn)
93	2,99
108	2,81
123	2,63
138	2,45
153	2,27
168	2,10
183	1,92
198	1,74
213	1,56

Elde edilen verilerden yararlanılarak  $\frac{Q-Tb}{i}$  formülü ile birim hidrografın değerleri elde edilmiş ve grafiği Şekil 10’da sunulmuştur. Şekilde görülebileceği üzere maksimum debi 168. sn’de meydana gelmiş ve 0,41 cm<sup>3</sup>/sn değerini almaktadır.



Şekil 10. İri agregalı deneye ait birim hidrograf (Unit hydrograph for the coarse-aggregate experiment)

İri daneli taban malzemesi ile yapılan birim hidrograf deneyi sonucunda elde edilen sonuçlar:

- Yağışın süresi 168 sn
- Toplam geçen süre 213 sn
- Pik debinin gerçekleştiği zaman 168. sn
- Pik akım değeri 0,41 cm<sup>3</sup>/sn

### 3.2. İnce Daneli Taban Malzemesi Durumu

İri daneli taban malzemesi durumundaki deney aşamaları, ince daneli taban malzemesi için de devam etti. Şekil 11’de ince daneli taban malzemesi durumunda kayar hazneden elde edilen su hacimleri görülebilmektedir.



Şekil 11. İnce daneli taban malzemesi durumunda elde edilen su hacimleri (Water volumes obtained in the case of fine-grained bed material)

Aşağıda, ince daneli taban malzemesi durumu için gerçekleştirilen deneye ait süre ve alan bilgileri sunulmaktadır:

- Havza alanı, 912 cm<sup>2</sup> (38\*24)
- Kayar hazne alanı, 19,5 cm<sup>2</sup> (1,3x15)
- Kayar haznenin her bir sütununda beklenen akış süresi, 15 sn
- Yağış süresi, 216 sn
- Toplam yağış ve akış süresi, 291 sn

Deney sonucunda, Şekil 11’de elde edilen su hacimleri yardımıyla Tablo 4’te sunulan su derinlikleri hesaplanmış ve sonucunda hacim ile debi değerleri elde edilmiştir.

Tablo 4. Kayar hazne üzerindeki su hacimlerinden elde edilen sonuçlar (Results obtained from water volumes on the sliding reservoir)

Hazne No	Zaman (sn)	Su Derinlikleri (cm)	Hacim (cm <sup>3</sup> )	Q (cm <sup>3</sup> /sn)
1	111	1,8	35,1	2,34
2	126	3,2	62,4	4,16
3	141	3,8	74,1	4,94
4	156	4,2	8,9	5,46
5	171	5,5	107,25	7,15
6	186	6,0	117	7,80
7	201	6,4	124,8	8,32
8	216	7,0	136,5	9,1
9	231	5,7	111,15	7,41
10	246	4,2	81,9	5,46
11	261	3,5	68,25	4,55
12	276	2,5	48,75	3,25
13	291	1,7	33,15	2,21

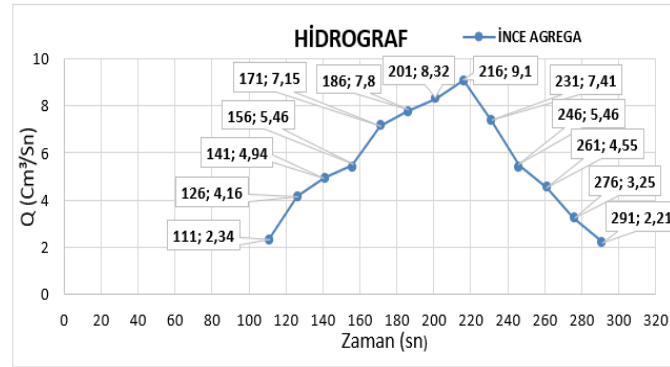
Aynı şekilde, kayar hazne üzerindeki toplam su hacmini bulmak için Denklem 4’teki hesap yapılır:

$$V = (1,8 + 3,2 + 3,8 + 4,2 + 5,5 + 6,0 + 6,4 + 7,0 + 5,7 + 4,2 + 3,5 + 2,5 + 1,7) \times (1,3 \times 15) = 1082,25 \text{ cm}^3 \quad (4)$$

Denklem 4’de elde edilen hacim yardımıyla yağış şiddeti elde edilir:

$$i = \frac{1082,25}{912 \times 216} \times 3600 = 19,78 \text{ cm/sa} \quad (5)$$

Şekil 12’de ince daneli taban malzemesi durumunda elde edilen hidrograf (debi-zaman) grafiği görülmektedir. Bu grafik, birim hidrograf grafiğinin elde edilebilmesi için kullanılacaktır.



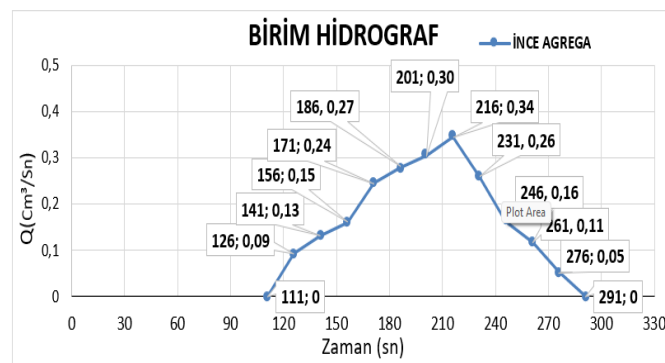
Şekil 12. İnce daneli deneye ait hidrograf grafiği (Hydrograph plot for the fine-grained experiment)

Şekil 12’de oluşturulan hidrograf üzerinden taban akışı değerleri Tablo 3’teki şekilde bulunur.

Tablo 5. Taban akışı değerleri (Table 5. Baseflow values)

Zaman (sn)	Q (cm³/sn)
111	2,34
126	2,32
141	2,31
156	2,30
171	2,29
186	2,28
201	2,27
216	2,26
231	2,25
246	2,24
261	2,23
276	2,22
291	2,21

Elde edilen verilerden yararlanılarak  $\frac{Q-Tb}{i}$  formülü ile birim hidrografın değerleri elde edilmiş ve grafiği Şekil 13’te sunulmuştur. Şekilde görülebileceği üzere maksimum debi 216. sn’de meydana gelmiş ve 0,34 cm³/sn değerini almaktadır.

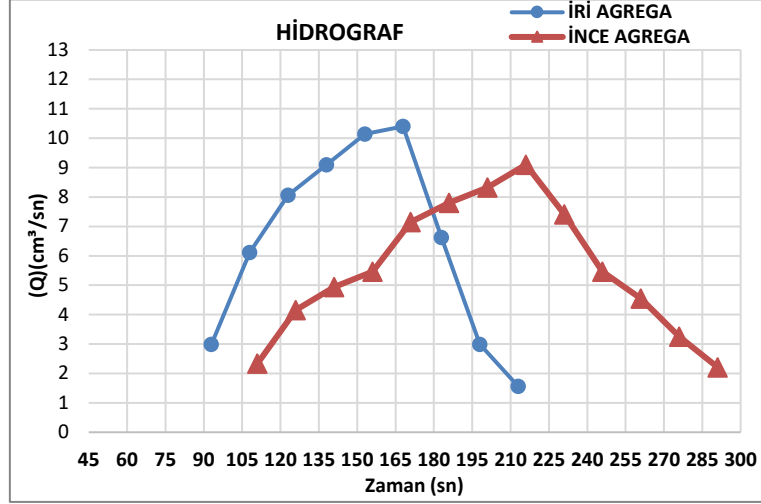


Şekil 13. İnce daneli deneye ait birim hidrograf (Unit hydrograph for the fine-grained experiment)

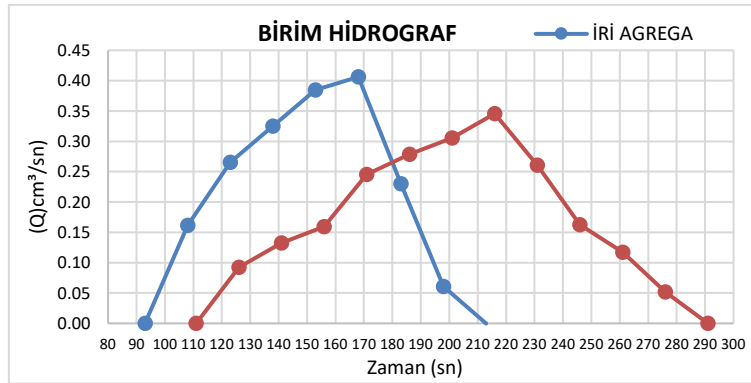
İnce daneli taban malzemesi ile yapılan birim hidrograf deneyi sonucunda elde edilen sonuçlar:

- Yağışın süresi 216 sn
- Toplam geçen süre 291 sn
- Pik debinin gerçekleştiği zaman 216. sn
- Pik akım değeri  $0,34 \text{ cm}^3/\text{sn}$

DeneySEL çalışma sonucunda elde edilen hidrograf ve birim hidrograf grafikleri Şekil 14 ve 15'te sunulmuştur.



Şekil 14. Karşılaştırmalı hidrograf grafiği (Comparative hydrograph plot)



Şekil 15. Karşılaştırmalı birim hidrograf grafiği (Comparative unit hydrograph plot)

#### 4. Tartışma ve Sonuç (Results and Discussion)

Bu deneysel çalışma kapsamında, birim hidrograf deney aleti tasarlanarak farklı irilikte (iri ve ince) taban malzemelerinin birim hidrograf parametreleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, gerekli deney materyalleri toplanarak, işlemlerden geçmiş ve yapay havza alanı, kayar hazne ve yağmurlama sistemi parçaları birleştirilmiştir. Deneysel çalışma sırasında, havzanın çıkış noktasında ve kayar hazne içerisinde sızma riskiyle karşı karşıya gelinmiştir. Önlem olarak havza çıkış noktasındaki musluğun etrafı su tutucu bantla kaplanmıştır. Ek olarak, havza tabanı ve kayar haznenin bazı kısımları tekrar silikonlanarak su sızma riski önlenmiştir.

Deney süreçleri için kullanılan agrega numuneleri sarsma tablasında elenmiş ve yaş olmamasına dikkat edilmiştir. Kullanılan tüm agrega numuneleri sarsma tablası sonrasında da tekrar elekten geçirilmiş ve etüvde kurutulduktan sonra kullanılmıştır. Yağmurlama sisteminde suyun kontrollü bir şekilde havzaya düşmesine ve her deneyde yağışın sabit olmasına dikkat edilmiş, gerçek yağış olaylarına benzetilmeye çalışılmıştır.

Deney sonuçları karşılaştırıldığında, iri daneli taban malzemesi ile yapılan deneyde ilk akışın daha erken gerçekleştiği ve yağış tamamlandıktan sonra suyun havzadan tahliyesinin ince daneli duruma göre daha kısa sürede olduğu gözlemlenmiştir. İnce daneli taban malzemesi ile yapılan deneyde, toplam geçen sürenin daha uzun olduğu ve zeminin su tutma kapasitesinin iri daneli duruma göre daha yüksek olduğu da gözlemlenmiştir. Ayrıca iri daneli durumda, pik akıma daha erken ulaşıldığı ve pik akım değerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, ince daneli taban malzemesi durumunda, birim hidrografın pik debisinde yaklaşık 17% azalma ve 48 sn'lik bir gecikme meydana gelmiştir. Dolayısıyla, iri daneli taban malzemesinde geçirimsizlik, ince daneli duruma göre daha fazla olduğu için pik debi daha önce ve daha yüksek mertebelerde görülmüştür.

## Kaynaklar (References)

- [1] L. Bahşi, Birim Hidrografın Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu Olarak Değerlendirilmesi, İTÜ FBE YL Tezi, 151s., İstanbul, (2015).
- [2] Ö. Terzi, E.D., Taylan, T., Baykal, Hidroloji. Nobel Yayınevi, Ankara, (2023).
- [3] B. Bantçına, Nilüfer Baraj Havzası İçin Sentetik Birim Hidrograf ve Havza Parametrelerinin Belirlenmesi, Bursa Uludağ Üniversitesi FBE YL Tezi, 73s., Bursa, (2018).
- [4] M. Aydın, Türkiye Havzaları İçin Nakayasu Sentetik Birim Hidrograf Metodunun Geliştirilmesi, Dicle Üniversitesi FBE Doktora Tezi, 169 s., Diyarbakır, (2016).
- [5] O. Tanrıverdi Sentetik Birim Hidrograf Metodlarının Karşılaştırılması ve Trabzon Değirmendere Havzası Örneği, Karabük Üniversitesi FBE YL Tezi, 71s., Karabük, (2021).
- [6] A. Ocak, Birim Hidrograf İçin Doğrusal Hazne Serisi Modeli, İTÜ FBE YL Tezi, 86s., İstanbul, (2002).
- [7] H. Börü, Türkiye Havzaları için Snyder Sentetik Birim Hidrograf Metodu Parametre Değerlerinin İncelenmesi, Dicle Üniversitesi, 77s., Diyarbakır, (2019).
- [8] B. Khaleghi, Efficiency of the Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph Method in Flood Hydrograph Simulation, Catena, 87 (2) (2011) 163-171.
- [9] B.F. Sule, S.A. Alabi, Application of Synthetic Unit Hydrograph Methods to Construct Storm Hydrographs, International Journal of Water Resources and Environmental Engineering, 5 (11) (2012) 639-647.
- [10] L. Sherman, Stream Flow from Rainfall by the Unit Graph Method, Engineering News Record, 108 (1932) 501-505.
- [11] M. Bayazıt, Hidroloji. Birsen Yayınevi, 219s. İstanbul, (2003).