

ADANA İLİ KARAİSALI İLÇESİ SEYHAN HAVZASI'NDA TAŞKIN ÖTELENMESİ YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE ANALİZİ

Metin Sarıgöl¹, Ömer Yüksek²

¹Erzincan Üzümlü Meslek Yüksekokulu, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan, Türkiye

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye,

Öz

Bu çalışmada, Adana İli Seyhan Havzası'nda meydana gelen taşkına ait saatlik debi verileri kullanılarak taşkın ötelenme çalışması yapılmıştır. Akarsu üzerindeki E18A025 nolu Akım Gözlem İstasyonu'nda (AGİ) ve bu AGİ'nun 5,044 km mansabında yer alan D18A054 nolu AGİ'nde gözlenen birer saat aralıklı hidrograf verileri kullanılmıştır. İstasyonlarda ölçülen değerler ile hidrolik ve hidrolojik modellerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmada hidrolojik modellerden Muskingum ve SCS; hidrolik modeller olarak da Kinematik Dalga, Muskingum-Cunge ve Dinamik yöntemleri uygulanmıştır. Ölçülen ve modellerden hesaplanan değerler arasındaki Hataların Ortalama Karekökü (HOK), Ortalama Mutlak Hata (OMH) ve Belirlilik Katsayısı (R^2) değerleri hesaplanmış ve yöntemlerin performansları irdelenerek hangi yöntemin daha iyi sonuç verdiği değerlendirilmiştir. Çalışma sonunda, Muskingum Yönteminin en iyi tahmini verdiği, Muskingum-Cunge, SCS ve Kinematik Yöntemlerinin tahminlerinin de kabul edilebilecek düzeyde olduğu, Dinamik Yöntemin ise oldukça hatalı tahminler verdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Taşkın Ötelemesi, Hidrolik Yöntemler, Hidrolojik Yöntemler.

COMPARISON OF FLOOD ROUTING METHODS IN SEYHAN BASIN OF KARAİSALI DISTRICT OF ADANA PROVINCE AND ANALYSIS

Extended Abstract

Flood routing is the calculation of the change of current (flow, velocity, etc.) values of the flood wave at any point along a reservoir or channel over time. In terms of flood control, flood offset calculations have many benefits. The most prominent of these is that when the flood sizes of the river are known, the flood hydrographs in a section down the kilometers of this section can be predicted for hours. In this way, the time required to save lives and property and to minimize flood damages is reduced and consequently flood damages are reduced.

In this study, flood routing study was performed by using hourly flow data of flood occurred in in Seyhan Basin of Adana Province. One-hour intermittent hydrograph data were used at the E18A025 Stream Observation Station (SOS) on the river and at the D18A054 SOS at 5,044 km downstream.

While the models were installed, excel program was used in all and calculations and graphics were created in excel program. Measured values were compared with hydrological and hydraulic models. The slope of the stations and the distance between the two stations used in the flood routing methods were utilized from the DSI's online web page. The measured values of these stations and the results of hydrological and hydraulic models were compared. During this study, Muskingum and SCS as hydrological models and Kinematic Wave, Muskingum-Cunge and Dynamic methods as hydraulic models have been applied. While performing this comparison, the values of Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE) and Determination Coefficient (R^2) values were calculated and the performance of the methods were evaluated to determine which method yields the best results.

Since the MAE and RMSE error values of Muskingum Method are small and R^2 value is large, it is seen that this

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author):

Metin SARIGÖL (Dr.); Erzincan Binali Yıldırım University, Uzumlu Vocational School, Uzumlu, Erzincan-Turkey. Tel: +90 (446) 411 34 62 ,
Fax: +90 (446) 411 34 63, E-mail: metinsarigol@hotmail.com

Geliş (Received) : 23.07.2019

Kabul (Accepted) : 12.12.2019

Basım (Published) : 31.12.2019

method is the best method in the investigated basin. Since the error values of Muskingum-Cunge, SCS and Kinematic Methods are acceptable and the coefficients of determination are quite high, it can be said that these methods also give good results. The results of the Dynamic Method were unacceptably unsuccessful due to both high error and low certainty coefficients.

As a result of the study, it has been determined that Muskingum Method gives the best estimation, Muskingum-Cunge, SCS and Kinematic Methods predictions are acceptable, and and Dynamic Method give inaccurate estimates. Only the input and output hydrograph data are sufficient to establish the Muskingum Method. Kinematic, Muskingum Cunge and Dynamic Methods for the establishment of the base slope, roughness coefficient, SOS sections, such as the need for a lot of data, in terms of reaching the correct result, Muskingum method is considered to be preferred in the flood routing studies.

Keywords: Flood Routing, Hydrological Methods, Hydraulic Methods.

1. Giriş

Taşkın, bir yağış sonucunda akışa geçen suyun akarsu yatağı dışına taşması olup, yağmur veya kar erimesinden oluşabilir (Akbari & Firoozi, 2010; Barry & Bajracharya, 1995). Şiddetli yağmur veya kar erimesinden meydana gelen akımlarda genellikle büyük debiler oluşur (Bayazit & Önöz, 2008). Akarsu havzalarında debi, akarsu yatak kapasitesini aşarak dışarı taşar ve ova olan bölgelerde taşkın geniş alanlara yayılır ve zararlılara sebep olur (Bayazit, 1995; Chow vd., 1988). Taşkın çalışmaları, suyun zararlarından korunmak için su kaynaklarının geliştirilmesi ve önlem alınması açısından çok önemli bir konudur (Çimen, 1995). Taşkınlar, tarım arazilerinin ve yerleşim yerlerinin zarar görmesine, köprü, yol ve baraj gibi yapıların yıkılması sebep olabilir (Bayazit, 1995). Bu tür zararların önlenmesi veya en aza indirilmesi için baraj, sel kapanı, sedde gibi yapılar yapılmakta, ayrıca akarsu yatağında da çeşitli düzenlemeler yapılarak gerekli önlemler alınabilmektedir (Gökoğlu, 2000; Jayyousi, 1994; Karahan & Güraslan, 2012). Bu tür çalışmalara yüksek meblağda paralar harcansa da, olası afetlerin meydana getireceği zararlardan çok daha ekonomik olmakta ve kısa sürede yatırım bedeli geri kazanılmaktadır (Knapp vd., 1991; Lee & Huang, 2012; Sarıgöl, 2018).

Bir taşkın dalgası akarsu yatağı veya biriktirme haznesinden geçerek mansaba doğru ilerlerken debisi ve hızı değişime uğramaktadır. Bu değişim, taşkın dalgasının geçtiği bölgenin topoğrafik ve fiziksel özelliklerine (suyu geri tutma) bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle, taşkın dalgasının geçişi sırasında debi zamanla azalmakta ve zamana göre bir miktar geciktiği için bu hareket "Taşkın Ötelenmesi" olarak adlandırılmaktadır. (Sarıgöl, 2018). Farklı bir tanımlama ile taşkın ötelenmesi, taşkın dalgasının bir hazne veya kanal boyunca herhangi bir noktadaki debi değerlerinin zamana bağlı olarak değişiminin hesaplanmasıdır (Atalay, 2008). Taşkın ötelenmesinin hesabı için geliştirilen yöntemler, esas olarak hidrolojik ve hidrolik yöntemler olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Bunlardan hangi yöntemlerin gerçeğe daha yakın değer verdiğinin belirlenmesi için uygulanabilecek en iyi metod, arazide yapılmış ölçümler sonucu elde edilen hidrograflar ile yöntemlerden hesaplanan hidrografların karşılaştırılmasıdır.

Bu çalışmada, Adana İli Seyhan Havzası'nda meydana gelen taşkına ait saatlik debi verileri kullanılarak taşkın ötelenme çalışması yapılmıştır. Akarsu üzerindeki E18A025 nolu Akım Gözlem İstasyonu'nda (AGİ) ve bu AGİ'nin 5,044 km mansabında yer alan D18A054 nolu AGİ'nde gözlenen birer saat aralıklı hidrograf verileri kullanılmıştır. İstasyonlarda ölçülen değerler ile hidrolik ve hidrolojik modellerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmada hidrolojik modellerden Muskingum ve SCS; hidrolik modeller olarak da Kinematik Dalga, Muskingum-Cunge ve Dinamik yöntemleri uygulanmıştır. Ölçülen ve modellerden hesaplanan değerler arasındaki Hataların Ortalama Karekökü (HOK), Ortalama Mutlak Hata (OMH) ve Belirlilik Katsayısı (R^2) değerleri hesaplanmış ve yöntemlerin performansları irdelenerek hangi yöntemin daha iyi sonuç verdiği değerlendirilmiştir.

Taşkın ötelenmesi, taşkın dalgasının bir hazne veya kanal boyunca herhangi bir noktadaki akım (debi, hız vb.) değerlerinin zamana bağlı olarak değişiminin hesaplanmasıdır. Taşkın kontrolü açısından taşkın öteleme hesaplarının birçok faydası vardır. Bunlardan en öne çıkan, akarsuyun belirli bir kesitteki taşkın büyüklükleri bilindiğinde, bu kesitin kilometrelerce mansabındaki bir kesitteki taşkın hidrograflarının saatlerce önceden tahmin edilebilmesidir. Böylece can ve malın kurtarılması, taşkın zararlarının en aza indirilmesi için gerekli zamanın kazanılabilmekte ve sonuçta taşkın zararları azaltılmaktadır.

2. Materyal ve Metot

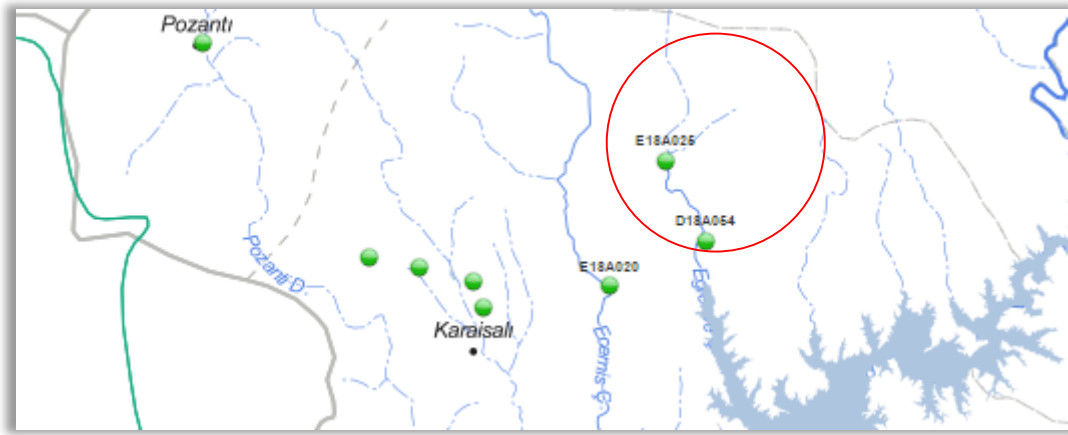
2.1 Materyal

Bu çalışmada, Adana İli Karaisalı İlçesi Seyhan Havzası'nda (Şekil 1), 27.06.2015 tarihinde meydana gelen taşkına ait 544,5 km² alana sahip E18A025 nolu Akım Gözlem İstasyonu'nda (AGİ) ve bu AGİ'nun 5.044 km mansabındaki D18A054 nolu AGİ'nde (Şekil 2) gözlenen birer saat aralıklı hidrograf verileri kullanılmıştır.

Modeller kurulurken tümünde excel programı kullanılmış, hesaplar ve grafikler yine excel programında oluşturulmuştur. Ölçülen değerler ile hidrolojik ve hidrolik modellerde yapılan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Taşkın ötelenme yöntemlerinde kullanılan istasyonlara ait eğim ve iki istasyon arasındaki uzaklık için Devlet Su İşleri (DSİ)'nin online internet sayfasından faydalanılmış, istasyonların bulunduğu yerdeki kotlardan eğim, koordinatlarından ise mesafeler hesaplanmıştır ve Tablo 1'de gösterilmiştir. AGİ'na ait pürüzlülük katsayıları, n'e (pürüzlülük katsayısı) değer verilerek taşkın sırasındaki seviyelere karşı gelen debi ve Manning formülü kullanılarak hesaplanan debi arasındaki farkı minimum yapan n (pürüzlülük katsayısı) olarak alınmıştır. Hesaplama kullanılan Manning Pürüzlülük Katsayısı (n)= 0.087 ve taban eğimi de (S₀)= 0.014 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 1. Akım Gözlem İstasyonları ve Özellikleri

| İstasyon Kodu | İstasyon Adı | Havza Adı | Akarsu Adı | İstasyon Açılış Tarihi | Alanı (km ²) | Taşkın Tarihi | Pürüzlülük (n) | Eğim (S ₀) | Mesafe (m) |
|---------------|--------------|-----------|------------|------------------------|--------------------------|---------------|----------------|------------------------|------------|
| E18A025 | Eğribük | 18.Seyhan | Eğlence | 1986 | 544,5 | 27.06.2015 | 0.087 | 0.014 | 5,044 |
| D18A054 | Armutlu | 18.Seyha | Eğlenc | 2009 | 635,4 | | | | |



Şekil 1. Adana Karaisalı E18A025 ve D18A054 kodlu AGİ'nin konumu



Şekil 2. Adana Karaisalı E18A025 ve D18A054 kodlu AGİ

2.2. Metot

Literatürde taşkın ötelenmesi ile ilgili kullanılan sayısal yöntemler genel olarak hidrolojik yöntemler ve hidrolik yöntemler olarak ikiye ayrılır (Choi, 2013; Chow vd., 1988).

2.2.1. Hidrolojik Yöntemler

Hidrolojik taşkın ötelenmesinin geniş bir kullanım alanı vardır ve mühendislik uygulamalarında da sık sık kullanılır. Esas amaç hidrolik yapıların tasarımı ve taşkın önlemlerinin alınmasında taşkın ötelenmesi yaparak taşkın hızının ve büyüklüğünün belirlenmesidir (Tewold, 2005). Hidrolojik yöntemler kurulurken sadece süreklilik denklemi kullanılır (Ülke, 2001). Debi ve akım derinliği iki bilinmeyenli parametre olup, çözümü için bir denkleme daha ihtiyaç vardır. Bu denklem de akarsu parçasındaki biriktirme hacmi ve giren-çıkan debiler arasında bir bağıntı kurularak elde edilir. Bu yöntemde, akarsu eşit uzunlukta parçalara ayrılarak ötelenme işlemi yapılır (Cheng, 2011; Choi, 2013). En üst parçadan en alta doğru, her bir parça için bilinen giriş hidrografi kullanılarak çıkış hidrografi adım adım hesaplanır. Çıkış hidrografi bir sonraki parçanın giriş hidrografi olarak kabul edilerek hesaplar yapılır. Bu şekilde belirli zaman aralıklarında akarsuyun belirli kesitlerindeki debi bulunur. Hidrolik yöntemlere göre gerek çabuk hesap yapılması ve gerekse havzayla ilgili az bilgiye ihtiyaç duyulmasından dolayı tercih edilir. Hidrolojik yöntemler olarak Straddle-Stagger, Tatum, Muskingum ve SCS yöntemleri kullanılmaktadır (Sarigöl, 2018). Ancak, literatürde yaygın olarak kullanılanından dolayı, bu çalışmada Muskingum ve SCS yöntemleri kullanılmış ve aşağıda açıklanmıştır.

Muskingum Yöntemi: Bu yöntem 1930'lu yıllardan itibaren nehir mühendisliği uygulamalarında geniş bir şekilde kullanılmıştır (Kundzewicz & Strupczewski, 1982; Ülke, 2003). İlk olarak 1938 yılında U.S Army Corps of Engineers ve McCarty tarafından Muskingum nehrindeki taşkınların ötelenme çalışmalarında kullanılırken geliştirilen yöntem geniş bir kullanım alanına sahip olup, akarsuda ötelenme işlemlerinde çok sık kullanılır. Yöntem kurulurken süreklilik denklemi baz alınır ve dinamik etkiler ihmal edilir. Bu yöntemin temeli akarsu parçasındaki hem süreklilik, hem de depolama ve giriş, çıkış akımları arasında lineer bir ilişki olduğu kabulüne dayanır. (Chaudhry, 2008; Wang vd., 2006; Bayazıt vd., 1997) Akarsu parçasında biriken hacim, giren ve çıkan debilere bağlı olup, Muskingum Yöntemi için lineer ilişki;

$$S = K[a.x + (1 - a)y] \quad (1)$$

denklemi olarak kabul edilir (Chow, 1959). Bu denklemde yer alan K: Akarsu parçasından geçiş süresi sabiti, a: ağırlık faktörü olarak adlandırılır. Muskingum Yönteminin hesap adımlarında, ilk olarak iki nokta arasındaki giriş ve çıkış hidrograflardan K ve a parametreleri tahmin edilir. Böylece giriş, çıkış ve depolama arasındaki lineer ilişki tespit edilmiş olur ve ötelenme işlemi yapılarak sonuca gidilir. K ve a katsayılarını hesap ederken en temel yollardan biri, a' ya $0 \leq a \leq 0.5$ olarak değerler verip, bu değerler sonucunda hesap edilen $(ax + (1 - a)y)$ ifadesi ve S arasındaki ilişkiyi grafik olarak çizmektir. Çeşitli a katsayısına göre çizilen grafiklerden doğruya en yakın olan grafik aranılan a katsayısını, bu grafikten elde edilen doğrunun eğimi ise K değerini vermektedir.

Muskingum Yöntemi az eğimden dik eğime doğru artan eğimlerde iyi sonuçlar vermekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır (Maidment, 1993; Afzali, 2016). Muskingum Yönteminin taban eğiminin yüksek olduğu akarsularda ve hidrografın yükselme süresinin büyük olması durumunda iyi sonuç verdiği belirlenmiştir (Ülke, 2001). Bu yöntem basitliği sebebiyle en sık kullanılan ötelenme yöntemlerinden birisidir (Tung, 1985; Sarigöl, 2018). Muskingum Yönteminin mevcut model parametreleri popülasyon tabanlı sezgisel bir optimizasyon algoritması olan, diferansiyel gelişim algoritması (DGA) kullanılarak kalibre edilmiştir. DGA yöntemi başlangıç çözümüne bağımlı olmaksızın hızlı bir şekilde uygun çözüme ulaştığı için çalışma kapsamında tercih edilmiştir. Değerlendirmeye göre, hazırlanan modelin çeşitli performans ölçütlerince kinematik dalga modeli ile benzer performans gösterdiği ve bu nedenle oldukça pratik olduğu tespit edilmiştir (Okkan & Gedik, 2017)

SCS Yöntemi: Δx uzunluğundaki akarsu parçası için Δt zaman aralığı uygun şekilde seçilerek ötelenme işlemi yapıldığında, zaman aralığı bitimindeki y_2 çıkış debisi, zaman aralığının başlangıcındaki x_1 ve y_1 debileri arasında kalmakta, buna göre ele alınan hidrografın yükselme bölgesinde $x_1 > y_2 > y_1$, alçalma bölgesinde ise $x_1 < y_2 < y_1$ şeklinde olmaktadır (Bayazıt & Önöz, 2008)

2.2.2. Hidrolik Yöntemler

Hidrolik yöntemlerde akım zamanının ve yerin bir fonksiyonu olarak hesaplanır. Süreklilik denklemi ve hareket (momentum) denklemi kullanılır. Başlıca hidrolik ötelenme yöntemleri Kinematik Dalga Yöntemi, Difüzyon Dalga Yöntemi, (Cheng, 2011; Karahan, 2012; Ogunlela & Kasali, 2014; Kaya vd., 2012.), Muskingum-Cunge

Yöntemi (Wang vd., 2006; Afzali, 2016; Elbashir, 2011) ve Dinamik Dalga Yöntemi şeklindedir. Kinematik Dalga, Muskingum-Cunge ve Dinamik Yöntem (Haktanır & Özmen, 1997; Keskin & Ağralıoğlu, 1997; Soentoro, 1991) ile yapılan çalışmalar literatürde yaygın olarak kullanıldığından dolayı, bu çalışmada tercih edilmiş ve aşağıda açıklanmıştır.

Kinematik Dalga Yöntemi: Taşkın dalgası hareketini tanımlamak için basitleştirilmiş bir yaklaşımdır. Bu yöntemin temel varsayımı, akımdaki kontrol hacmine etki eden sürtünme kuvvetinin akım yönündeki kuvvet ile dengelenmesidir. Kinematik yöntemin temel avantajı, dinamik denklemin çözümünden kolay olması ve hesapların sadeleştirilmesidir. Kinematik yöntemin dezavantajı ise, fiziksel geçerlilik ile yöntem çözümler arasında olan belirsizlik olup bu da denklemlerdeki sadeleştirilmenin artmasıyla artmaktadır (Atalay, 2008; Akbari & Firoozi, 2010). Kinematik dalga için süreklilik ve momentum denklemi debiye bağlı olarak, (2)'de kısmi diferansiyel denklemi olarak gösterilmiştir.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \alpha \beta Q^{\beta-1} \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right) = q \quad (2)$$

Bu kısmi diferansiyel denklem analitik olarak çözülemediğinden sonlu farklar metodu yardımı ile çözülür. Bunun için, zaman-konum koordinatları yardımıyla başlangıç ve sınır şartları da belirlenerek her noktada bu denklem çözülür. Q'nun zaman ve konum türevleri zaman-konum koordinatları üzerinde bir ağ üzerine yerleştirilir. Burada Q_{i+1}^{j+1} bilinmeyen değerdir ve öncelikle j zamandaki Q'nun değeri, sonra j+1 zamandaki Q'nun değeri olarak belirlenir. Sonlu farklar denklemindeki geriye doğru fark metodu kullanılarak Q_{i+1}^{j+1} bilinmeyen değeri bulunur. (Chow vd, 1988)

Kinematik Yöntemle yapılan taşkın ötelenme hesaplarında sonuç hidrografları mesafeden etkilenmektedir (Soleymani & Delphi, 2012; Cheng, 2011). Kinematik dalga yöntemi kabarma etkilerinin olduğu akarsularda kötü sonuçlar vermesine rağmen, Saint-Venant denklemleri ile çözümü yapılan diğer yöntemlere göre en geniş kullanımı olan yöntemlerdendir (Xia, 1992). Ülke & Kaya (2012), taşkın akımının modellenmesi amacıyla Muskingum Metodu ve Kinematik Dalga Metodunu (KDM) kullanmışlardır. KDM'nin sayısal çözümünde ise Diferansiyel Quadrature Metodunu (DQM) kullanmışlar, DQM sonuçlarının ölçüm hidrografi ile uyumlu olduğunu ve Muskingum yöntemi sonuçlarına göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit etmişlerdir.

Muskingum-Cunge Yöntemi: Hareket eden taşkın dalgasının sönümlenmesine sebep olan kanalın fiziksel şartları ve akım özellikleri akımın bir fonksiyonu olarak değiştiğinden, bu yöntem doğrusal katsayılı olmayan bir yöntemdir. Muskingum-Cunge Yönteminde kanalın fiziksel özellikleri ve giriş hidrografına bağlı olarak ötelenme yapıldığından dolayı yöntem, hidrolik bir yöntem olarak görülmektedir (Barry & Bajracharya, 1995). Muskingum-Cunge Yöntemi Saint Venant denklemlerindeki basınç, ağırlık ve sürtünme kuvvetlerini göz önüne alıp, atalet terimlerinin ihmal edildiği difüzyon formuna dayanır (Sarigöl, 2018) Cunge, Muskingum Yöntemini birinci dereceden difüzyon denkleminin çözümünde olduğu gibi sonlu fark yaklaşımını kullanarak geliştirmiş ve bu da Muskingum-Cunge Yöntemi olarak adlandırılmıştır. Muskingum-Cunge yöntemi taşkın ötelenme problemlerini çözmek için sıklıkla uygulanan etkili bir tekniktir. Bu yöntemde iki serbest parametre olup bunlar zamansal ve mekânsal olarak adlandırılır. Yöntemin doğruluğu da bu parametrelerin seçilen aralıklarına bağlıdır (Barry & Bajracharya, 1995). Muskingum-Cunge Yönteminin sonuçlarıyla teorik olarak hesaplanan pik debi ve ötelenme süresinin karşılaştırılması sonucunda, analitik ve sayısal sonuçlar arasındaki yakınlık, Muskingum-Cunge Yönteminin taşkın ötelenmede rutin uygulamalar için uygulanabilir ve doğru bir yöntem olduğunu göstermektedir (Ponce vd., 1996). Eğer bir akarsuda giren ve çıkan akım hidrografları daha önceden gözlenerek elde edilmemişse K (Akarsu parçasından geçiş süresi sabiti) ve a (ağırlık faktörü) parametreleri belirlenemez. Bu durumda Muskingum denklemi x ve t (yer ve zaman) sonlu farklar ağına yazılarak her kesitte hesaplanacak şekilde Muskingum-Cunge Yöntemi kullanılır (Özmen, 1999). Muskingum-Cunge Yönteminin hesaplamaları diğer hidrolik yöntemlere göre daha kolay olup, arazi verileri bakımından daha az bilgiye ihtiyaç duymaktadır (Shultz, 1992). Genel olarak, Muskingum-Cunge Yöntemi taşkın ötelenmede akarsuda yanak akım olmadığı zaman Kinematik Dalga Yönteminden daha üstün ve daha fazla tercih edilen bir yöntemdir (HEC-1, 1990).

Dinamik Yöntem: Bu yöntem başlangıç ve sınır koşullarının oluşturulması açısından uygulanması en zor yöntemlerden birisidir (Chatila, 1992). Zamanla değişen üniform olmayan akımların incelenmesi zor bir iştir. Üniform akımdaki gibi seviye ile debi arasında tek bir ilişki olmayıp, seviye hem debiye hem de enerji çizgisinin eğimine bağlıdır. Taşkın sırasında akımın ana yataktan taşkın yatağına yayılması ve yan kollar, baraj hazneleri, köprüler ve kesit değişmesi sonucu su yüzeyinde kabarma etkilerinin oluşması problemi daha zor hale getirmektedir. Bu tür olaylar Saint-Venant denklemlerinin tüm terimlerinin göz önünde tutulması sonucu incelenebilmektedir. Ancak bu denklemlerin analitik çözümleri elde edilemediğinden, sayısal yöntemlerden olan sonlu fark metodu kullanılarak çözüme gidilmektedir.

Dinamik dalga taşkın ötelenme yönteminde, kararsız akımların Saint-Venant denklemlerindeki tüm terimler göz önüne alınır. Bu denklemler;

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

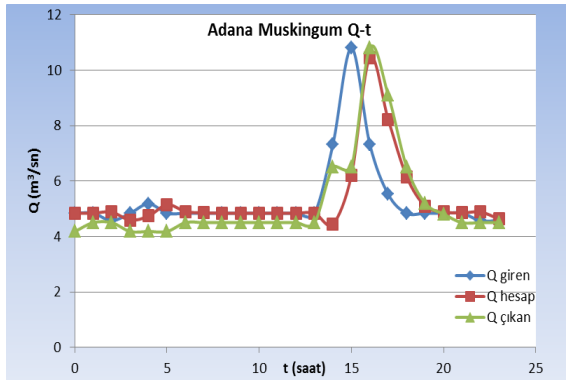
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} - S_0 \right) + gAS_f = 0 \quad (4)$$

şeklinde olup, A: enkesit alanı, Q; debi, S_f : sürtünme eğimi, S_0 : yatak eğimi, g: yerçekimi ivmesi, h: akım yüksekliği, t: zaman ve x ise mesafeyi gösterir. Dinamik dalga denklemi, momentum denklemindeki çeşitli sadeleştirmelerle ve süreklilik denkleminin birleştirilmesiyle elde edilmektedir. Sonuçta elde edilen diferansiyel denklemlerin sayısal çözümleri için açık sonlu fark metodu kullanılmıştır. Ele alınan herhangi bir $f(x,t)$ bağımlı değişkeni ve onun kısmi türevi, mesafede geriye doğru, zamanda ise ileri doğru açık sonlu fark metodu ile çözülür (Keskin & Ağralioğlu, 1997).

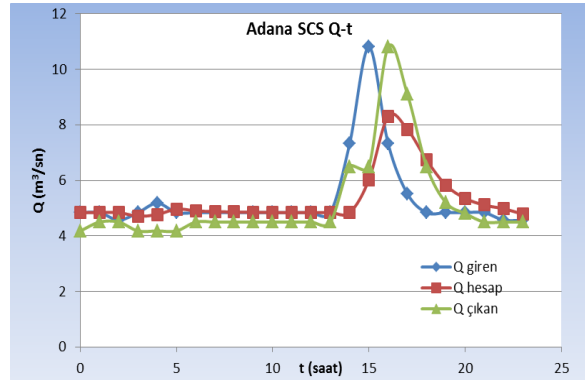
Akarsu taban eğimi ve sürtünme katsayısının farklı kombinasyonları şeklinde yapılan hesaplamalarda ise Dinamik Yöntem diğer yöntemlere göre daha esnek, hızlı ve doğru sonucu bulmada etkili bir yöntemdir (Soentoro, 1991).

3. Bulgular

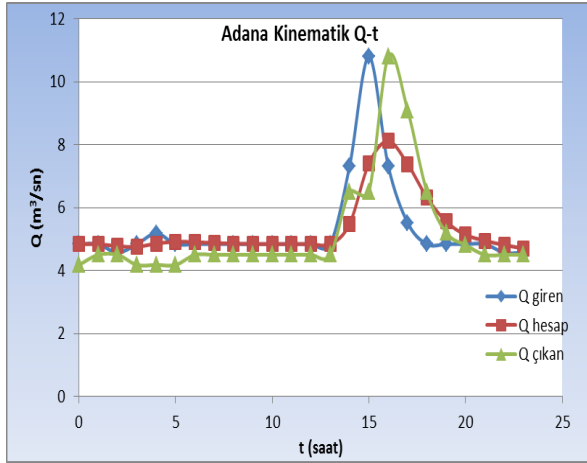
Araştırma yapılan bölgedeki, gözlenen ve öteleme yöntemlere göre hesaplanan taşkın hidrografları Şekil 3-8'de, yapılan taşkın ötelenme hesapları sonucunda hesaplanan değerlerle gerçek değerler arasındaki Hataların Ortalama Karekökü (HOK), Ortalama Mutlak Hata (OMH) ve Belirlilik Katsayısı (R^2) değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir.



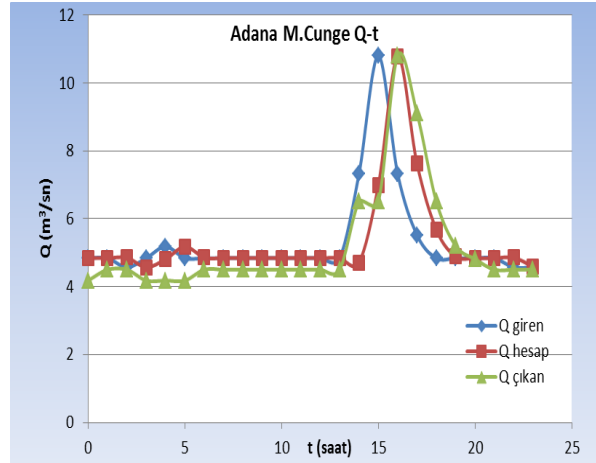
Şekil 3. Muskingum Yöntemine göre hesaplanmış ve ölçülmüş değerler



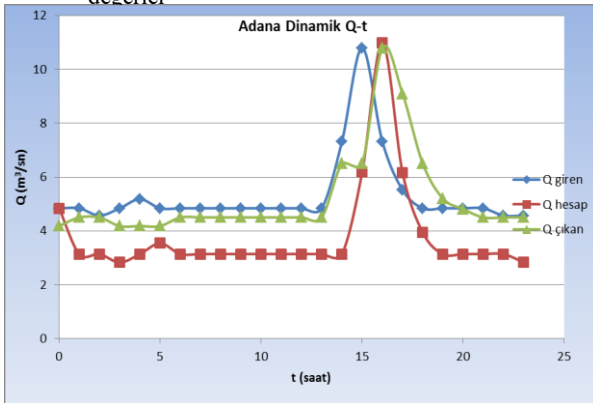
Şekil 4. SCS Yöntemine göre hesaplanmış ve ölçülmüş değerler



Şekil 5. Kinematik Yöntemine göre hesaplanmış ve ölçülmüş değerler



Şekil 6. M.Cunge Yöntemine göre hesaplanmış ve ölçülmüş değerler



Şekil 7. Dinamik Yöntemine göre hesaplanmış ve ölçülmüş değerler

Tablo 2. Adana İli Karaisalı Taşkın Ötelenme Yöntemleri Sonuç Hata Analizi

| Adana (Karaisalı) | Muskingum Yöntemi | SCS Yöntemi | Kinematik Yöntem | Muskingum- Cunge Yöntemi | Dinamik Yöntem |
|-------------------|-------------------|-------------|------------------|--------------------------|----------------|
| HOK | 0,60 | 0,80 | 0,81 | 0,64 | 1,61 |
| OMH | 0,46 | 0,62 | 0,59 | 0,49 | 1,45 |
| R ² | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,86 | 0,77 |

4. Sonuç ve Öneriler

Ülkemizde meydana gelen taşkınlar hem mal can hem de kaybına sebep olmakta, ülkemiz ekonomisi ise olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu çalışmanın amacı, bir taşkın afeti esnasında taşkın meydana geldiği yerdeki taşkın hidrografi kullanılarak, bu bölgenin kilometrelerce mansabındaki bir yerde, taşkın hidrografının saatlerce hatta günlerce önce tahmin edilmesidir.

Muskingum Yönteminin HOK ve OMH hata değerleri küçük, R² değeri de büyük olduğundan, incelenen havzada en iyi yöntemin bu yöntem olduğu görülmüştür. Muskingum-Cunge, SCS ve Kinematik Yöntemlerinin hata değerleri kabul edilebilir düzeyde olup, belirlilik katsayıları da oldukça yüksek olduğundan, bu yöntemlerin de iyi sonuç verdiği söylenebilir. Dinamik Yöntemin sonuçları ise, hem yüksek hata hem de düşük belirlilik katsayıları sebebiyle, kabul edilemeyecek kadar başarısız çıkmıştır.

Akarsu yatak eğiminin, yöntemlerin performansına etkisi irdelendiğinde (Sarıgöl, 2018), taban eğiminin artmasının Muskingum Yönteminin performansını önemli ölçüde artırdığını, Dinamik Yönteminin performansını ise azalttığı belirlenmiştir. Jayyousi (1994), dik eğimli akarsularda ve 0.01 eğimden büyük yerlerde, Knap vd. (1991), dik eğimlerde ve yavaş yükselen hidrograflarda Kinematik Dalga Yöntemi'nin iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Shultz (1992), çalışmasında Muskingum-Cunge Ötelenme Yöntemi'nin 0.0004'e eşit ve daha büyük

olan eğimlerde kullanılmasının uygun olduğunu, ayrıca çok farklı eğimlerde kullanılabileceğini, Elbashir (2011), Fread & Hsu (1993), Muskingum-Cunge Yöntemi'nin az eğimli yerlerde doğru sonuçlar vermediği, eğim azaldıkça hatanın arttığı ifade etmiştir. Barati vd. (2013), orta derece eğimli ve pürüzlü akarsularda Muskingum-Cunge Yöntemi'nin ötelenme hesaplarında iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Dik bir eğime sahip olan ($S_0 = 0,014$) inceleme bölgesindeki Muskingum, Kinematik Dalga ve Muskingum Cunge Yöntemlerinin iyi, Dinamik Yönteminin de kötü sonuç vermesi yukarıdaki çalışmanın bulgularıyla uyum içerisinde olduğunu göstermektedir.

Sonuçta, sadece giriş ve çıkış hidrograf verileri Muskingum Yönteminin kurulabilmesi için yeterli olmaktadır. Kinematik, Muskingum Cunge ve Dinamik Yöntemlerin kurulabilmesi için taban eğimi, pürüzlülük katsayısı, AGİ kesitleri gibi birçok veriye ihtiyaç duyulması, hesaplama zamanı ve doğru sonuca ulaşılma açısından, bu yöntemin bu bölge için yapılan taşkın öteleme çalışmalarında tercih edilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

1. **Afzali S. H. (2016)**. Variable-Parameter Muskingum Model, *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, Vol.40 (1), pp. 59-68.
2. **Akbari G. & Firoozi B. (2010)**. Implicit and Explicit Numerical Solution of Saint-Venant Equations for Simulating Flood Wave in Natural Rivers, *5th National Congress on Civil Engineering*, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
3. **Atalay O. (2008)**. Taşkın Hidrografının Elde Edilmesiyle İlgili Yöntemlerin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, KÜ Fen Bilimler Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.
4. **Barati R., Akbari G. H. & Rahimi S. (2013)**. Flood Routing of an Unmanaged River Basin Using Muskingum-Cunge Model; Field Application and Numerical Experiments, *Caspian Journal of Applied Sciences Research*, Vol.2(6), pp. 08-20.
5. **Barry D. A. & Bajracharya, K. (1995)**. On The Muskingum-Cunge Flood Routing Method, *Environment International*, Vol. 21(5), pp. 485-490.
6. **Bayazit M. (1995)**. *Hidroloji*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası.
7. **Bayazit M., Avcı İ. & Şen Z. (1997)**. *Hidroloji Uygulamaları*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası.
8. **Bayazit M. & Önöz B. (2008)**. *Taşkın ve Kuraklık Hidrolojisi*, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
9. **Chatila J. G. (1992)**. Application and Comparison of Dynamic Routing Models For Unsteady Flow in Simple and Compound Channels, Master Thesis, University of Ottawa, Canada.
10. **Chaudhry H. M. (2008)**. *Open-Channel Flow Second Edition*, Springer Science Business Media, LLC, 324.S, USA.
11. **Cheng J. Y. (2011)**. *Modification of Kinematic Wave Cascading Model for Low Impact Watershed Development*, Doctor of Philosophy Dissertation, University of Colorado, Denver.
12. **Choi C. C. (2013)**. Coupled Hydrologic And Hydraulic Models And Applications, Master Theses, The University of Iowa, Iowa.
13. **Chow V. T. (1959)**. *Open Channel Hydraulics*, McGraw-Hill International Book Company, Inc, New York.
14. **Chow V. T., Maidment D. R. & Mays L. W. (1988)**. *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, Inc, USA.
15. **Çimen M. (1995)**. Difüzyon Yöntemi ile Akarsu Yatağındaki Taşkınların Ötelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
16. **Elbashir S. T. (2011)**. Flood Routing in Natural Channels Using Muskingum Methods, Master Theses, Dublin Institute of Technology.
17. **Fread D. L. & Hsu K. S. (1993)**. *ASCE National Hydraulic Engineering Conference*, San Francisco, CA.
18. **Gökoğlu F. (2000)**. Akarsularda Taşkın Dalgalarının Sayısal Analizi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimler Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
19. **Haktanir T. & Özmen H. (1997)**. *Comparison of Hydraulic and Hydrologic Routing on Three Long Reservoirs*, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol.123 (2), pp.153-156.
20. **Hec-1 (1990)**. *Flood Hydrograf Package, User's Manual*, Hydrologic Engineering Center, U. S. Army Corps of Engineers.
21. **Jayyousi F. E. (1994)**. *Evaluation of Flood Routing Techniques for Incremental Damage Assessment*, Doctor of Philosophy Dissertation, Utah State University, Utah.
22. **Karahan H. & Gürarlan G. (2012)**. Kinematik Dalga Yaklaşımı Kullanılarak Taşkın Öteleme Problemlerinin Modellenmesi: Sütçüler Örneği, *VII. Ulusal Hidroloji Kongresi*.
23. **Kaya B. & Ülke A. (2012)**. Kinematik Dalga Modelinin DQM ile Çözümü ve Sütçüler Taşkını Örneği, *Teknik Dergi*, Yazı 374: 5869- 5884.

24. **Kaya B., Ulke A. & Kazezyılmaz-Alhan, C. (2012)**. Differential Quadrature Method in Open Channel Flows: Aksu River. *J. Hydrol. Eng.*, 17: 715 - 723.
25. **Keskin M. E. & Ağralıoğlu N. (1997)**. A Simplified Dynamic Model for Flood Routing in Rectangular Channels, *Journal of Hydrology*, Vol. 202, pp. 302–314.
26. **Knapp H. V., Durgunoglu A. & Ortel T. W. (1991)**. *A Review of Rainfall-Runoff Modeling for Stormwater Management*, U.S. Geological Survey, Hydrology Division, Illinois.
27. **Kundzewicz Z. W. & Strupczewski W. G. (1982)**. Approximate Translation in the Muskingum Model, *Hydrological Sciences Journal*, Vol.27 (1), pp. 19-17.
28. **Lee K. T. & Huang P. C. (2012)**. Evaluating the Adequateness of Kinematic-Wave Routing for Flood Forecasting in Midstream Channel Reaches of Taiwan, *Journal of Hydroinformatics*, 14.4, pp: 1075-1088.
29. **Maidment D. R., (1993)**. *Handbook of Hydrology*, McGraw-Hill, Inc. P10.1.
30. **Ogunlela A. O. & Kasali M. Y. (2014)**. Kinematic Flood Routing of Asa River, *International Journal of Engineering and Technical Research*, Vol. 2 (3), pp.13– 17.
31. **Okkan U. & Gedik N. (2017)**. Doğrusal Olmayan Bir Taşkın Öteleme Modelinin Diferansiyel Gelişim Algoritması ile Kalibrasyonu, *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(1),114-121
32. **Özmen H. (1999)**. Baraj Gölünden Taşkın Öteleme Modelleri, Doktora Tezi, ÇÜ Fen Bilimler Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
33. **Ponce V. M., Lohani, A. K. & Scheyhing C. (1996)**. Analytical Verification of Muskingum-Cunge Routing, *Journal of Hydrology*, Vol. 174(3-4), pp. 235-241.
34. **Sarıgöl M. (2018)**. Taşkın Ötelenmesinde Kullanılan Bazı Hidrolojik ve Hidrolik Yöntemlerinin Performanslarının Karşılaştırılması, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Trabzon.
35. **Shultz M. J. (1992)**. Comparison of Flood Routing Methods for Rapidly Rising Hydrograph Routed Through a very Wide Channel, Master Thesis, The University of Texas, Arlington.
36. **Soentoro E. A. (1991)**. Comparison of Flood Routing Methods. Master Theses, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
37. **Soleymani M. & Delphi M. (2012)**. Comparison of Flood Routing Models (Case Study: Maroon River, Iran), *World Applied Sciences Journal* Vol. 16 (5), pp: 769-775.
38. **Tewold M. H. (2005)**. Flood Routing in Ungauged Catchments Using Muskingum Model, Master Theses, University of Kwa-Zulu-Nata, Pietermaritzburg.
39. **Tung Y. K. (1985)**. River Flood Routing By Nonlinear Muskingum Method, *Journal of Hydraulic Engineering*, 111 (12), 1447-1460.
40. **Ülke A. (2001)**. *Taşkın Öteleme Metodları*, Seminer I Notları, Isparta.
41. **Ülke A. (2003)**. Muskingum Metodu Kullanılarak Taşkın Ötelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, SDÜ Fen Bilimler Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
42. **Wang G. T., Yao C., Okoren C. & Chen S. (2006)**. 4-Point FDF of Muskingum Method Based on The Complete St Venant Equations, *Journal of Hydrology*, Vol.324 (1), pp.339-349.
43. **Xia R. (1992)**. Sensitivity of Flood Routing Models to Variations of Momentum Equation Coefficients and Terms, Doctor of Philosophy Dissertation, University of Illinois, Urbana.