

Kinematik Dalga Modelinin DQM ile Çözümü ve Sütçüler Taşkını Örneği

Birol KAYA*
Ash ÜLKE**

ÖZ

Taşkınlar, büyük debi, büyük hızlar ve yüksek su seviyeleri ile karakterize edilmektedir. Akarsular üzerinde inşa edilecek tüm yapılar için bu taşkın karakteristiklerinin bilinmesi gerekir. Bu çalışmada, taşkın akımının modellenmesi amacıyla Muskingum yöntemi ve Kinematik dalga modeli (KDM) kullanılmıştır. KDM'nin sayısal çözümünde ise Diferansiyel Quadrature Metodu (DQM) kullanılmıştır. Kinematik dalga modelinin DQM kullanılarak gerçek bir taşkın problemine uygulanması ilk kez bu çalışmada gerçekleştirilmektedir. Sayısal çözümde 4 Kasım 1995 yılında Aksu Akarsuyu'nun bir kolu olan Sütçüler Değirmendere'de meydana gelen taşkın olayı dikkate alınmıştır. DQM sonuçlarının ölçüm hidrografi ile Muskingum yöntemi sonuçlarına göre daha uyumlu olduğunu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: taşkın ötelenmesi, muskingum metodu, kinematik dalga, diferansiyel quadrature Yöntemi

ABSTRACT

Solution of Kinematic Wave Model using DQM and Sütçüler Flood Example

Floods are characterized by large discharges, high flow velocities and high water levels. These flood characteristics should be known for all structures to be built in river basins. In this study, Muskingum Method and Kinematic wave model (KWM) are used for flood hydrograph prediction. In the numerical solution of the KWM, the Differential Quadrature Method (DQM) is employed. Kinematic wave modeling with DQM was applied to a real flood problem for the first time in this study. For this purpose, the flood which occurred in Sütçüler Değirmendere, a branch of Aksu River, was considered. The DQM simulated the measured hydrograph more suitably than Muskingum Method.

Keywords: flood routing, muskingum method, kinematic wave, differential quadrature method

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 17.03.2010 günü ulaşmıştır.
- 30 Haziran 2012 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - birol.kaya@deu.edu.tr

** Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Samsun - asli.ulke@omu.edu.tr

1. GİRİŞ

Taşkın, akarsu havzalarında, sağanak yağışlara bağlı olarak debinin akarsu yatak kapasitesini aşıp yatak dışına taşması olayıdır ve tarım arazilerinin, yerleşim merkezlerinin sular altında kalmasına, çeşitli yapıların hasara uğramasına ya da yıkılmasına sebep olabilir [1].

Taşkınlar Türkiye için, gerek arazi yapısı gerek çarpık kentleşme ve orman arazilerinin tahribatı neticesiyle depremlerden sonra gelen en önemli doğal afet olmuştur. Son yıllarda katastrofik yağışlar nedeniyle büyük kentlerde meydana gelen taşkınlar çarpık kentleşmenin Türkiye’de ne kadar büyük boyutlarda olduğunu göstermiştir. Son yıllarda bitki örtüsünün yok edilmesi ve taşkın yataklarına inşa edilen yerleşmeler yüzünden yüzeysel akışlar artmıştır. Taşkın altında kalan alanlara yerleşilmesi, çarpık kentleşme, havzadaki erozyon ve akarsuyla beraber taşınan sediment de ortaya çıkan zararları katlamaktadır. Devlet Su İşleri (DSİ) kurumunun 2009 yılında yayınlanmış Türkiye’de 1970–2009 yılları arasında görülen taşkın olaylarının envanterine göre 878 taşkın olayı kaydedilmiştir (Tablo 1). 2009 yılı son yirmi yılda en çok taşkın olayının yaşandığı yıl olarak karşımıza çıkmaktadır. 2009 yılında İstanbul’da yaşanan son taşkın felaketinde 33 kişi yaşamını yitirmiş ve net olmayan rakamlarla birlikte son 25 yılda yaşamını kaybedenlerin sayısı 760’a ulaşmıştır. Taşkınların yol açtığı zararların önlenmesi amacıyla DSİ tarafından bugüne kadar 4 bin 364 taşkın koruma tesisi yapılmış ve 3 bin 500’ün üzerinde yerleşim birimi ile 1 milyon hektar alanın taşkından korunması sağlanmıştır [2, 3].

Akarsuya giren taşkın dalgası akarsudaki su seviyesinin yükselmesine neden olur. Suyun bir kısmı menbada tutulurken diğer kısmı çıkış kesitinden mansaba geçer. Giren ve çıkan taşkın hidrografları karşılaştırıldığında giren taşkın dalgasının yayvanlaşmış olarak çıkış kesitinden geçtiği görülür. Taşkın dalgası bu geçiş esnasında zamana göre bir miktar ötelenmesi için bu harekete “Taşkın Ötelenmesi” denir. Matematiksel olarak taşkın ötelenmesi, taşkın modellenmesi olup, akarsu yatağı veya biriktirme haznelere ilerleyen taşkın dalgasının zamana ve konuma bağlı değişiminin belirlenmesidir. Taşkın ötelenme hesapları, hidrolik ve hidrolojik olarak ikiye ayrılır. Hidrolik metotlar kütle ve momentum korunum prensibiyle Saint Venant denklemlerinin çözümüne dayanırken hidrolojik metotlar sadece kütle korunum prensibine dayanmaktadır.

Literatür incelendiğinde Muskingum yönteminin taşkın ötelenmesi problemlerinde oldukça sık kullanıldığı görülür. Bu çalışmalarda araştırmacılar farklı ötelenme süreleri, mesafe uzunluğu ile farklı ağırlık parametreleri üzerinde durmuşlar, parametre değerlerinin geliştirilmesi için değişik yöntemleri incelemişlerdir. Örneğin, Ponce, çalışmasında ağırlık katsayısı değerini sıfır, K gecikme süresi parametresini de $\Delta t'$ ’ye eşit kabul etmiş, yanal debi olması durumunda Muskingum metodunun nasıl çözüleceğini göstermiştir [5]. Strupczewski ve Kundzewicz ise yayınlarında X ağırlık katsayısı parametresinin, sistemin fiziksel karakteristiklerine bağlı olduğunu belirtmiş ve Muskingum metodunu, dinamik dalga modeli ile birleştirmişlerdir [6]. Perumal, taşkın ötelenme problemlerinde Muskingum metodu için her ölçüm adımında değişen sabit olmayan parametreler kullanmayı önermiş [7], Kshirsagar, Rajogopalan ve Lall de yanal debili Muskingum metodunda optimum parametre belirlenmesi için ardışık, ikinci dereceden bir program algoritması geliştirmişlerdir [8]. Szymkiewicz, çalışmasında Muskingum modelinin de yer aldığı hidrolojik modeller için anlık bir birim hidrograf modeli [9], Birkhead ve James, de çalışmalarında hidrolik kondüktiviteye sahip geçirimli akarsu kıyılarında kanal-kıyı

etkileşimini de hesaba katacak bir Muskingum modeli geliştirmişlerdir [10]. Öte yandan bazı araştırmacılar da klasik Muskingum modelini yapay zeka modelleri ile entegre etmişlerdir. Mohan, Muskingum metodunun parametre tespitinde Genetik Algoritma metoduna dayanan yeni bir yaklaşım öne sürerken [11], Chu Muskingum metodunu uyarlanmış sinirsel bulanık sistemlerle birleştirerek yeni bir model ileri sürmüştür [12]. Bazı araştırmacılar da Muskingum metodunun hidrolik bir versiyonu olan Muskingum-Cunge metodunu çalışmışlardır; örneğin Ponce ve Yevjevich, Muskingum-Cunge parametrelerinin gerçeğe uygun hale getirmek için zaman ve mesafeye göre değişmesi gerektiğini söylemiş [13], Barry ve Bajracharya ise, taşkın ötelenme problemlerinde en iyi metodun Muskingum-Cunge olduğunu söylemişler ve metotta yer alan zamansal ve mekânsal adım parametrelerinin problemin çözümünde oldukça önemli olduğunu belirtmişlerdir [14].

Tablo 1. Türkiye’de son 40 yılda meydana gelmiş taşkınların istatistiksel kayıtları[2, 3]

Yıl	Taşkın Sayısı	Can Kaybı	Su altında kalan alan (10 ³ ha)	Toplam zarar (10 ⁶ \$)
1971	29	6	7	12
1972	118	35	13	15
1973	20	21	6	5
1974	40	75	10	5
1975	62	8	37	1
1976	29	5	23	8
1977	27	11	3	4
1978	21	0	14	3
1979	21	61	41	17
1980	44	6	83	12
1981	16	2	58	11
1982	10	0	1	155
1983	14	33	2	19
1984	12	0	29	4
1985	7	0	2	1
1986	8	4	1	1
1987	7	0	1	1
1988	24	17	4	8
1989	10	1	10	2
1990	26	57	7	206
1991	23	23	16	14
1992	14	1	1	11
1993	2	-	1	43
1994	9	4	2	1.5

Kinematik Dalga Modelinin DQM ile Çözümü ve Sütçüler Taşkını Örneği

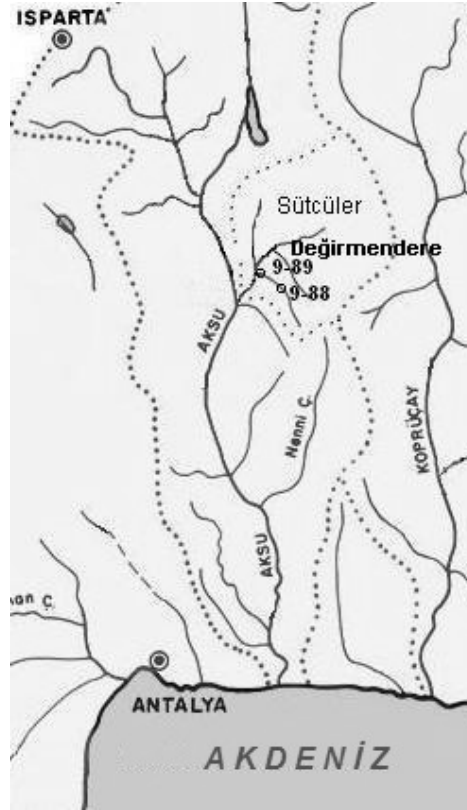
1995	20	164	201	1100
1996	4	1	11	1.5
1997	1	-	1	1
1998	2	57	7.	600
1999	1	3	-	-
2000	4	-	8	-
2001	42	8	43	85
2002	27	27	1	4
2003	21	7	64	-
2004	23	3	26	-
2005	25	14	14	69
2006	24	45	86	1
2007	22	11	1	-
2008	10	2	10	-
2009	59	48	5	-
Toplam	878	760	850	2421

Hidrolik taşkın öteleme yöntemleri ile uğraşan araştırmacılar ise Saint Venant denklemlerini çeşitli varsayımlar altında çözen difüzyon [15, 16, 17, 18, 19], kinematik [20] ve dinamik [21, 22] dalga denklemlerini incelemişler, kimi zamanda bunların Muskingum metodu ile karşılaştırmasını yapmışlardır [6]. Saint Venant denklemlerinin çözümünde sonlu farklar, sonlu elemanlar, sonlu hacimler gibi sayısal çözüm yöntemlerinden yararlanılabilmektedir. Son zamanlarda bu yöntemlere ek olarak yeni yöntemler araştırılmakta ve uygulanmaktadır. Diferential Quadrature Metodu az sayıda hesap noktası kullanılarak analitik çözüme oldukça yakın değerler vermesi nedeniyle taşkın ötelenmesi hesaplarında da diğer sayısal çözüm yöntemlerine alternatif bir yöntem olmaktadır [23, 24]. Kaya vd. (2010) tarafından DQM'un taşkın problemlerine uygulanmış ve çalışmada difüzyon dalga modeli kullanılmıştır [23, 25]. Bu çalışmada ise ilk kez gerçek bir taşkın probleminde kinematik dalga modeli DQM kullanılarak çözülmektedir. Literatürde yer alan çalışmaların büyük bir kısmı varsayımlara dayanan veri ile yapılan çalışmalardır. Gerçek zamanlı taşkın verisi ile havzaya ait gerekli verilerin elde edilip, modellerin bu tip gerçek veriye uygulanması oldukça zor bir iştir. Çalışmada 4 Kasım 1995 yılında Aksu Akarsuyu'nun bir kolu olan Sütçüler Değirmendere'de meydana gelen, can ve mal kaybına yol açan taşkın olayı dikkate alınmıştır. Taşkın piklerinin matematiksel olarak modellenmesinde hidrolojik metotlardan Muskingum, hidrolik metotlardan da Diferansiyel Quadrature Yöntemi (DQM) kullanılarak çözülen kinematik dalga modeli arasında bir kıyaslama yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile DSİ. 18. Bölge Müdürlüğü tarafından ölçülmüş olan taşkın pik değerleri karşılaştırılmış ve sonuçların uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

2. HAVZANIN TANITIMI VE AKIM GÖZLEM İSTASYONLARI

2.1 Havza Özellikleri

Batı Toros kuşağı üzerinde yer alan yörenin, doğusunda Dedegöl, güneyinde Kuyuluk dağı yükseltileri yer alır. Her iki yükseltiden boşalan kaynaklarla beslenen Aksu ve Köprü çayları, Toros kuşağı üzerinde derin kanyonlar oluşturarak Akdeniz'e ulaşır (Şekil 1). Dağlık kesimler meşe, köknar, sedir, kızılçam, karaçam ve ardıçtan oluşan sık ormanlarla kaplıdır. Yöre, Akdeniz ikliminin yayla tipi özelliğinde olup, yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlıdır. Sütçüler ilçe merkezindeki yıllık ortalama yağış 916.7 mm' dir. Günlük en çok yağış ise 1990 yılı Eylül ayında ölçülmüş olup 212 mm' dir.



Şekil 1. Aksu deresi ve taşkın alanındaki akım gözlem istasyonları

Sütçüler ilçe merkezi, kuzeyinde yükselen Kale tepenin eteklerinde kurulmuş olup güneyinde, doğudan batıya doğru akan Değirmendere yer alır. Kale tepenin Sütçülere bakan yüzündeki zirve kotu 1270 m, Sütçülerden inen drenaj ağının Değirmendere'ye kavuştuğu kot 730 m, ikisinin arasında kalan ilçe merkezinin yoğun yerleşim kotu ortalaması ise 950 m' dir. İlçe 900 m ile 1000 m arasında dağınık yerleşim sunar. Kale tepe Jura-Kretase yaşlı

karstik kireç taşlarından oluşmuştur. İlçenin üst yerleşim kotu olan 1000 m kotları sınır olmak üzere, Değirmendere' nin aktığı 730 m kotlarına kadar, kireçtaşlarının altında Triyas çökelleri yer alır. Bu çökeller radyolarit, çört, yastık lav, plaket kireçtaşı, kil taşı, bitkili kum taşı ardışıklanmasından oluşmuş, karmaşık bir seri olup, genel stratigrafik konumları itibariyle Kale tepeyi oluşturan, geçirimli, bol kırıklı ve eklemli karstik kireçtaşlarının altında geçirimsiz bir taban oluştururlar. Bu stratigrafik konuma bağlı olarak, ilçe merkezinin üst kotlarında, akifer özelliğindeki kireçtaşlarının boşalımı, pınarlanmalar şeklinde açığa çıkıp, güneydeki Değirmendere' ye ulaşır. Bu pınarlardan en büyüğü, ilçenin içme ve kullanma suyunu temin ettiği, yaz-kış akışı devam eden Sütçüler Pınarıdır. Pınar suları, Sütçülerin doğusunda, drenaj alanı dışındaki, mevsimlik akış gösteren Belen Dere ve devamındaki Başkoz Dere ile Sütçülerin altında birleşip, Azmak Dere adını alarak Değirmendere' ye ulaşır [1, 26].

2.2 Sütçüler Taşkını

2.2.1 Taşkın zararları

Isparta iline 102 km. Mesafede yer alan Sütçüler ilçe merkezi ve civarında 4 Kasım 1995 günü saat 15.⁰⁰'de önce dolu şeklinde başlayıp, daha sonra yağmura dönüşen yağış, aralıksız 4 saat çok şiddetli olarak devam etmiştir. Yağışın dolu şeklinde başlaması akışı geciktirmiş, yağmura dönüşmesi ile birlikte biriken yağış hızla akışa geçmiştir. Aralarında 10 km mesafe bulunan iki istasyonun yer aldığı Değirmendere'nin taşkın sırasında aşırı kabarması sonucu, üzerinde bulunan köprüler su altında kalmış, yatak kenarında yer alan balık üretme çiftliği hasar görmüş ve dört can kaybı meydana gelmiştir [26].

Hızlı akış az da olsa beraberinde getirdiği malzeme ile birlikte, özellikle kerpiç-ahşap evler ile istinat duvarlarının ve elektrik direklerinin yıkılmasına, akış hızının zeminde meydana getirdiği aşındırma ve oyulma da kollar üzerine isabet eden konutların temel şartları ile alt yapı tesislerinin zarar görmesine neden olmuştur. Ayrıca zeminin doygunluk derecesinin artması, drenaj alanı dışında kalan ve taşkın kollarının geçmediği Triyas çökelleri üzerinde yüzeysel akışların da etkisiyle heyelanlar meydana getirmiştir. Oluşan heyelanlar Triyas çökellerinin kiltası, radyolarit istiflenmesinin yaygın olduğu ve üzerine gelen karstik kireçtaşlarının sınırına yakın olan kesimlerde meydana gelmiştir. Yine Sütçüler ilçe merkezi radyolarit, çört, spilitik yastık lav, kil taşı ve kumtaşı ardı ardına sıralanmasından meydana gelen, kuvvetli tektonik ile büyük ölçüde bozulmuş hava ve su şartlarından kolayca etkilenebilen erozif çökeller üzerinde yer aldığından, kuvvetli akış, zeminde oyulmalara ve aşınmalara neden olmuştur. Bu durum özellikle ilçeyi 4 yerden kat eden taşkın kollarının üzerinde yer alan konutların temel şartlarında bozulmalar meydana getirmiştir [26].

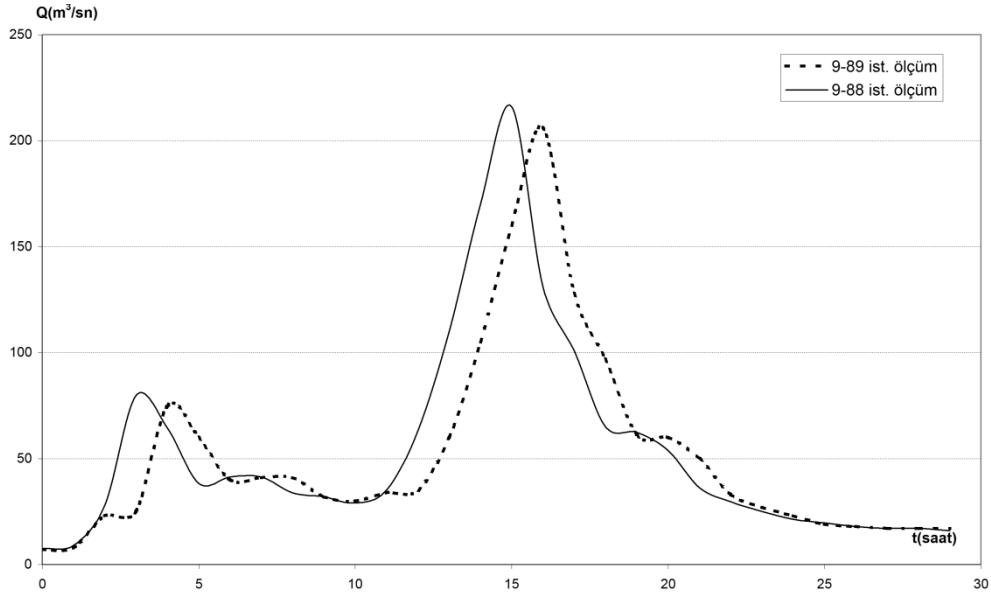
2.2.2 Taşkın Verileri

Yöreye 4 saat boyunca düşen yağış miktarı 111.4 mm olup bu değer 25 yıllık yağış-şiddet-süre tekerrür değerlerine karşılık gelmektedir. Taşkın sırasında akarsudaki su seviyesi 6.00 m.'yi bulmuş, debi ise 206 m³/sn'ye ulaşmıştır. Taşkın ötelenme hesapları Şekil 1'de gösterilen 9-88 ve 9-89 no' lu istasyonlar arasında gerçekleştirilmiştir. Bu istasyonlara ait özellikler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. İstasyonların özellikleri

İstasyon Numarası	Kot	Enlem	Boylam	Yağış Alanı km ²
9-88	750	37° 28' 38.8"	30° 58' 41.40"	131
9-89	320	37° 27' 50.1"	30° 54' 29.90"	314

Sütçüler ilçe merkezi ile taşkın geliştiği drenaj alanının en üst seviyesi arasındaki 320 m'lik kot farkı, 50 m'lik bir mesafede kat edilmektedir. Yaklaşık 1/1.5 gibi bir yamaç eğiminde akış hızına ulaşan taşkın bu hızla ilçe merkezinden geçmiştir. Daha sonra genişleyen topografyaya bağlı olarak taşkın ilçe merkezi ile Değirmendere arasındaki 220 m'lik kot farkını 2 km de geçerek uzun mesafede tüm kolların drene olduğu Azmak Dere de birleşerek, Değirmendere'ye boşalmıştır. 9-88 ve 9-89 nolu istasyonlarda ölçülen debi değerleri Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. 9-88 ve 9-89 istasyonları ölçüm değerleri

3. YÖNTEM

3.1 Muskingum Metodu

1934-1935 yıllarında Ohio'daki Muskingum akarsu havzasındaki taşkınların kontrolü için ilk kez U.S Army Corps of Engineers ve McCarthy tarafından geliştirilen Muskingum Modeli en çok bilinen ve geniş bir kullanım alanına sahip bir katsayılar modelidir. Modelin

temelinde süreklilik denklemi vardır, dinamik denklem ihmal edilir. Muskingum Modeli akarsudaki depolamayı prizma depolama ve kama depolama olmak üzere iki kısma ayırır. Akarsulardaki hidrolojik ötelenme kama depolamaya izin veren bir depolama bağıntısını gerektirir. Bu ise ancak depolamanın hem giriş hem de çıkış debilerinin fonksiyonu olmasına olanak veren taşkın ötelenme metodu Muskingum da başarıya ulaşmaktadır. Muskingum Modeli kama depolamayı hesaplayan hem süreklilik, hem de depolama ve giriş, çıkış akımları arasında lineer bir ilişki varsayımına dayanan hidrolojik bir ötelenme tekniğidir. Depolama denklemindeki gerekli işlemler yapıldıktan sonra Denklem 1’de verilen Muskingum denklemi elde edilir, bu denklemin detayları literatürden bulunabilir.

$$O^{n+1} = C_1 I^{n+1} + C_2 I^n + C_3 O^n \quad (1)$$

Burada, I^n ve $O^n(t)$ zamanındaki giriş ve çıkış akımlarını, I^{n+1} ve O^{n+1} de $(t+\Delta t)$ anındaki giriş ve çıkış akımlarını göstermektedir. C_1, C_2, C_3 ise Muskingum katsayılarıdır ve K : gecikme süresi, Δt : zaman aralığı ile X : ağırlık katsayısı değerlerine bağlı olarak hesaplanabilmektedir [1, 27, 28, 29].

3.2 Kinematik Dalga

Yüzeysel akış problemlerinde genişçe kullanılan, bir boyutlu kararsız akımlardaki süreklilik denklemini, momentum denkleminin kararlı hali ile birlikte kullanan sadeleştirilmiş matematiksel bir modeldir. Hareketleri bu modelle anlatılabilen dalgalara “kinematik dalgalarda” denir. Kinematik dalgalarda debi atalet kuvvetleri dikkate alınmaksızın sadece süreklilik denkleminin derinliğin bir fonksiyonu olarak çıkarılır. Bu çalışmada kinematik dalga denkleminin çözümünde DQM yöntemi kullanılmıştır.

3.2.1 DQM (Differential Quadrature Method) Yöntemi

DQM Yöntemi ilk defa Bellman vd. (1971) tarafından ortaya konulmuştur [30]. Bir fonksiyonun bir değişkene göre r . türevinin çözüm aralığının herhangi bir noktasındaki değerinin, çözüm aralığının bütün noktalarındaki fonksiyon değerlerinin ağırlıklı toplamı şeklinde ifade edilmekte ve

$$\left. \frac{\partial^r u}{\partial x^r} \right|_{x=x_i} = \sum_{j=1}^N A_{ij}^{(r)} u(x_j) \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

şeklinde yazılmaktadır. Burada x_j değişken bölgesindeki noktaları, $u(x_j)$ bu noktalardaki fonksiyon değerlerini ve $A_{ij}^{(r)}$ r . dereceden türev için ağırlık katsayılarını ifade eder. Ağırlık katsayılarının belirlenmesi konusunda Shu vd. (2004) tarafından önemli çalışmalar yapılmış ve çözümler önerilmiştir [31]. Fizik ve mühendislikte karşılaşılan başlangıç değer ve sınır değer problemleri için sonlu farklar ve sonlu elemanlar yöntemlerine alternatif, farklı bir yaklaşımdır. Ağırlık katsayılarının belirlenmesi, çözüm için en önemli noktalardan birisidir. Ağırlık katsayıları bir fonksiyona bağlı olarak değişmekte, ve seçilen fonksiyona bağlı olarak yöntem Polynomial Differential Quadrature (PDQ), Fourier Expansion Base

Differential Quadrature (FDQ), Harmonic Differential Quadrature (HDQ) gibi isimler almaktadır [32, 33].

Diferansiyel quadrature yönteminde çözümün hassasiyeti bazı problem türlerinde sınır koşullarına bağlı olsa da (sınır değer problemlerinde) genelde bu hassasiyet düğüm noktalarının seçimine ve sayısına bağlıdır. Daha önce yapılan çalışmalar göstermiştir ki; lineer türden denklemler ve homojen sınır koşullarına sahip problemlerde eşit aralıklı seçilen düğüm noktaları çözüm hassasiyeti açısından yeterlidir. Bununla birlikte titreşim problemlerinde daha çok bir diğer tür (Chebyshev-Gauss-Lobatto) düğüm nokta seçiminin daha uygun olduğu gösterilmiştir. Zamana bağlı denklemlerde ve başlangıç değer problemlerinde ise eşit aralıklı olmayan türden düğüm nokta seçimi en uygun çözümleri türetmiştir. Herhangi bir problem için en etkili seçimin bilinmesi analiz süresini kısaltacaktır [34]. Akarsularda zamana bağlı akım problemlerinde Chebyshev-Gauss-Lobatto düğüm noktası dağılımı kullanıldığında uygun sonuçlar elde edilmektedir [23, 35].

Kinematik dalga denklemi

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + C \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \tag{3}$$

sınır koşullarını da içerecek şekilde DQM'ye göre düzenlendiğinde

$$\sum_{r=2}^R A_{r,s} Q_{i,r} + C \sum_{j=2}^N B_{j,i} Q_{j,s} = -A_{1,s} Q_{i,1} - C B_{1,i} Q_{1,s} \tag{4}$$

şeklinde yazılmaktadır. Bu çalışmada da kullanılan Polynomial DQ (Legendre) yönteminde A ve B matrisleri

$$\begin{aligned} L_s &= \prod_{r=1}^R (t_s - t_r) & L_i &= \prod_{k=1}^N (x_i - x_k) \\ A_{s,r} &= \frac{L_s}{L_r (t_s - t_r)} & B_{i,k} &= \frac{L_i}{L_k (x_i - x_k)} \quad \left(\begin{array}{l} s \neq r, \quad i \neq k \\ 1 \leq i \leq N, \quad 1 \leq k \leq N \\ 1 \leq s \leq R, \quad 1 \leq r \leq R \end{array} \right) \\ A_{s,r} &= -\sum_{r=1}^R A_{s,r} & B_{i,k} &= -\sum_{k=1}^N B_{i,k} \end{aligned} \tag{5}$$

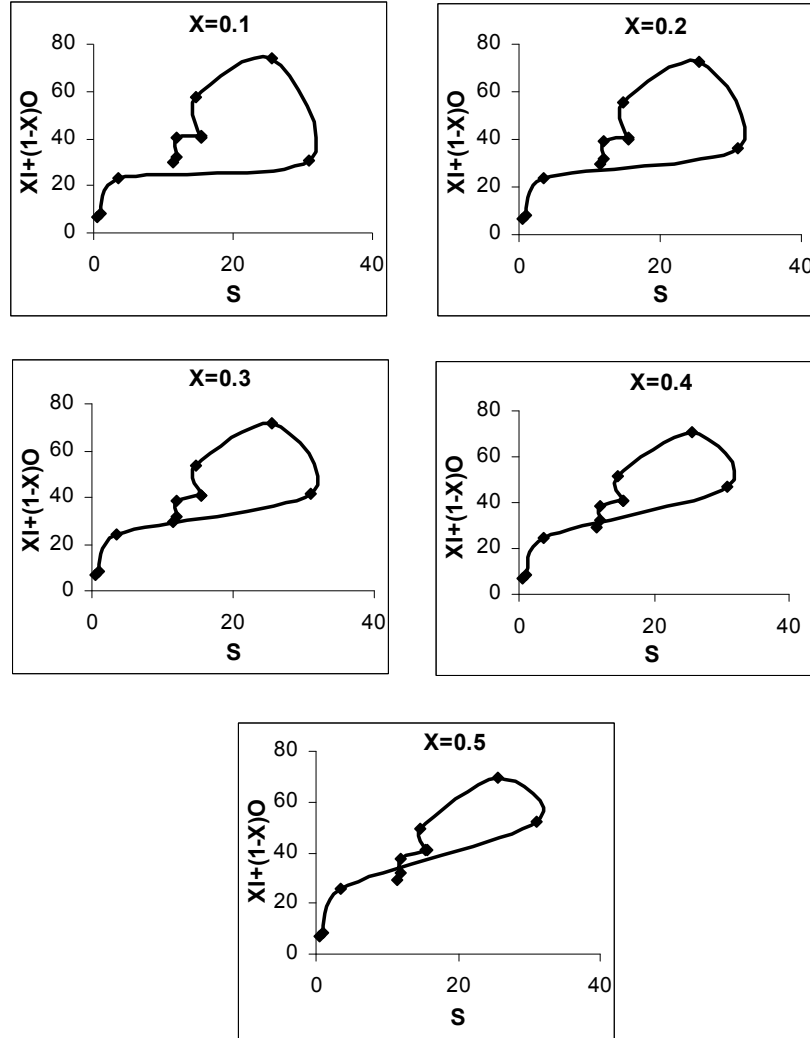
şeklinde hesaplanmaktadır. x ve t doğrultusunda hesap noktaları ise

$$x_i = \frac{1}{2} \left(1 - \cos \frac{i-1}{N-1} \pi \right) \quad \text{ve} \quad t_s = \frac{1}{2} \left(1 - \cos \frac{s-1}{R-1} \pi \right) \tag{6}$$

şeklinde yazılan Chebyshev-Gauss-Lobatto bağıntısı ile belirlenmiştir.

4. UYGULAMA

4 Kasım 1995 tarihinde Değirmendere akarsuyunda meydana gelen taşkın değerlerinin tahmininde ilk olarak Denklem 1'de matematiksel bağıntısı verilen Muskingum Modeli kullanılmıştır. Ponce ve Yevjevich (1978)'deki çalışmalarında x ağırlık parametresinin 0 ile 0.5 arasında seçilebileceğini belirtmişlerdir [13]. Çalışmada x parametresine 0'dan başlayan çeşitli değerler verilerek, yatay ekseninde toplam depolamayı gösteren S , düşey ekseninde ise $XI + (1 - X)O$ değerlerini hesaplayan grafikler çizdirilmiş (Şekil 3), bunların içinden doğruya en yakın olan $X=0.4$ değerine karşılık gelen eğri seçilmiştir. K gecikme süresi parametresi ise Ponce (1979)'da belirtildiği gibi Δt 'ye eşit 0.5 olarak seçilmiştir [5]. C_1 , C_2 , C_3 katsayıları bu değerlere bağlı olarak hesaplanmıştır [1].



Şekil 3. K ve x parametrelerinin bulunuşu

DQM metodunun uygulanmasında trapez kesitli bir kanalda C değeri

$$C = \left[1 + \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{2\sqrt{1+z^2} y_0}{b + 2\sqrt{1+z^2} y_0} \frac{b + zy_0}{b + 2zy_0} \right) \right] u_0 \quad (7)$$

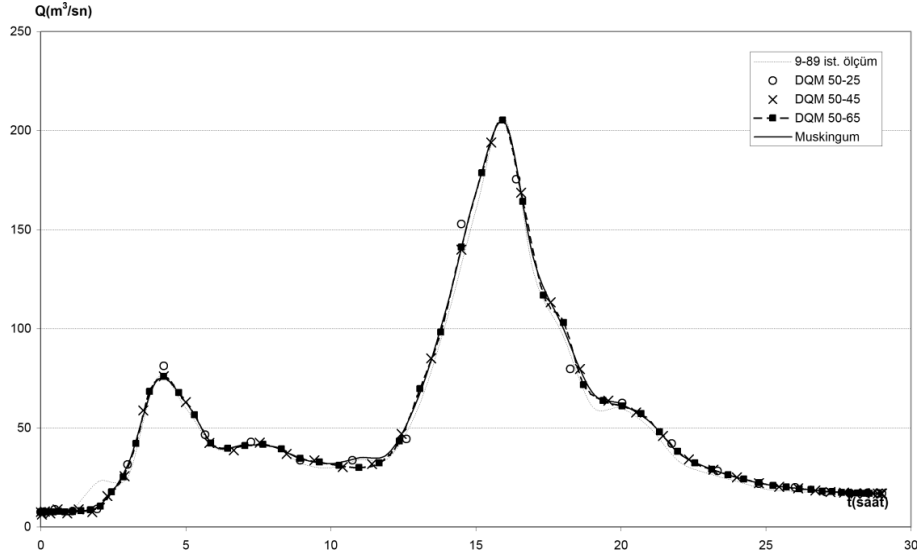
şeklinde hesaplanabilmekte, burada, Chezy bağıntısı için $\alpha=1$, Manning bağıntısı için $\alpha=4/3$, b taban genişliği ve z şev eğimi olmaktadır [23]. Değirmendere akarsuyunda ortalama kesit özelliklerine bağlı olarak bu değer 2.78 olarak belirlenmiştir. Denklem 7'nin zaman ve mesafe doğrultusunda farklı hesap aralıkları kullanılarak çözülmesi sonucunda Şekil 4 ve 5'de verilen sonuçlar elde edilmiştir. DQM yönteminin diğer sayısal çözüm yöntemlerine göre en önemli üstünlüğü az sayıda hesap noktası kullanılarak daha doğru çözümler elde edilebilmesidir. Analitik çözümü bilinen problemler üzerinde yapılan çalışmalar DQM'nin analitik çözüme hızlı bir şekilde yakınsadığı ve çok yakın sonuçlar verdiğini göstermektedir [23, 35].

9-89 istasyonunda ölçülen akım değerlerine göre yöntemlerin RMS (Ortalama karesel hatanın karekökü) hata değerleri hesaplandığında Tablo 3'deki değerler elde edilmiştir. Tablodaki değerlerden görüldüğü gibi DQM'da zaman adımında hesap aralıklarının artırılmasıyla hızlı bir şekilde yakınsama görülmektedir. RMS hata değerlerinin 3.6 civarında sabitlenmekte dolayısıyla zaman adımında hesap noktasının daha fazla artırılmasına gerek olmamaktadır. Mesafe adımında hesap noktası sayısını arttırmanın çözümü iyileştirici bir katkısı olmadığı görülmektedir. Dolayısıyla az sayıda hesap noktası ile hızlı bir şekilde sonuçları hesaplamak mümkün olmaktadır.

Muskingum metodu kullanılarak taşkın ötelemesi modelinin kurulabilmesi, çıkış hidrografının da bilinmesiyle mümkün iken, DQM metodunda giriş hidrografının bilinmesiyle çıkış hidrografi hesaplanabilmektedir.

Kinematik dalga modeli kullanılarak yapılan taşkın ötelemesi hesaplarında Saint Venant denklemlerinde bazı terimlerin ihmal edilmesi ve bazı kabullerin yapılması nedeniyle gerçek değerlerden sapmalar ortaya çıkmaktadır. DQM diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan bir sayısal çözüm yöntemidir. DQM'de sayısal çözüm yönteminden kaynaklanan hatalar, sonlu fark yöntemlerine göre daha az olmakta, DQM kullanılarak elde edilen sonuçların, analitik çözümü bilinen problemlerde, analitik sonuçlarla oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Ancak ölçüm hataları da gözönünde bulundurulduğunda, kinematik dalga modelinin çözümü sonucunda ölçüm değerlerinin tam olarak elde edilmesi beklenemez. Ancak difüzyon ve dinamik dalga modellerinin kullanılmasıyla Saint Venant denklemlerinin çözümünde daha fazla terimin dikkate alınmış olması ve kabullerin azaltılması nedeniyle ölçüm değerlerine daha yakın değerlerin elde edilmesi söz konusudur. Difüzyon ve dinamik dalga yaklaşımları da benzer şekilde DQM ile çözülebilmektedir [23, 25, 35].

Kinematik Dalga Modelinin DQM ile Çözümü ve Sütçüler Taşkını Örneği



Şekil 4. Muskingum metodu ve $N=50$, $R=25,45$ ve 65 için DQM ile çözüm sonuçları

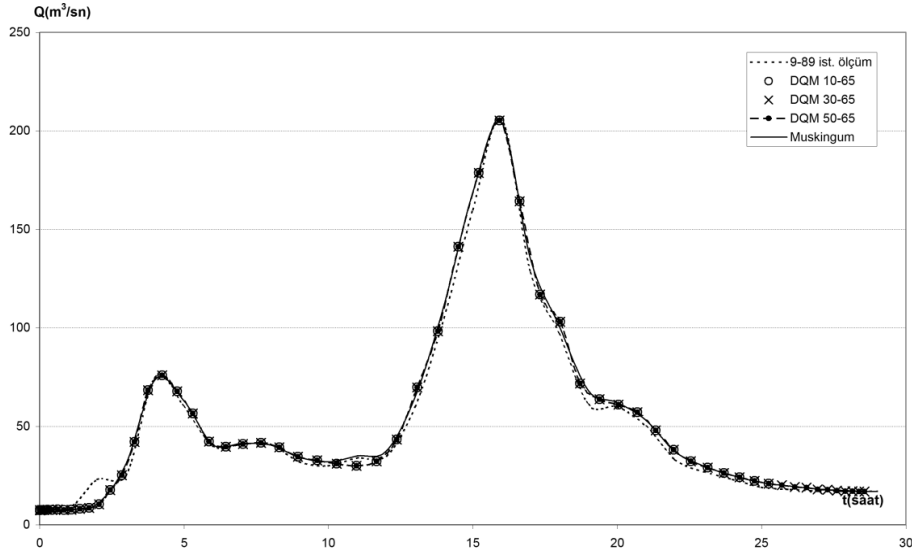
Tablo 3. RMS hata değerleri

		R						
		15	25	35	45	55	65	
DQM	N	10	17.146	5.965	4.555	3.734	3.668	3.659
		20	17.146	5.965	4.555	3.734	3.668	3.659
		30	17.146	5.965	4.555	3.734	3.668	3.659
		40	17.146	5.965	4.555	3.734	3.668	3.659
		50	17.146	5.965	4.555	3.734	3.668	3.659
Muskingum		4.209						

5. SONUÇLAR

Taşkınların modellenmesinde kullanılan hidrolojik yöntemlerden Muskingum ile hidrolik yöntemlerden kinematik dalga yaklaşımının DQM ile çözümünün karşılaştırıldığı bu çalışmada 4 Kasım 1995 yılında Aksu Akarsuyu'nun bir kolu olan Sütçüler Değirmendere'de meydana gelen, can ve mal kaybına yol açan taşkın olayı dikkate alınmıştır. Bu çalışmada Polinomiyel DQM kullanılmış, hesap noktalarının dağılımı,

akarsularda zamana bağılı akım problemlerinde sonlu fark yaklaşımlarına göre daha iyi sonuçlar verdiği bilinen, Chebyshev-Gauss-Lobatto dağılımına göre yapılmıştır.



Şekil 5. Muskingum metodu ve $N=10, 30$ ve $50, R=65$ için DQM ile çözüm sonuçları

Muskingum yönteminde $\Delta t=0.5$ saat olarak alınmış ve $RMSE=4.209$ değeri elde edilmiştir. DQM'da hesap zaman aralığının ortalama $28\text{saat}/45=0.62$ saat alınması durumunda Muskingum yönteminden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir ($RMSE=3.734$). Δt 'nin küçültülmesiyle sonuçların ölçüm sonuçlarına yakınsadığı görülmektedir. Tablo 2'de görüldüğü gibi Δx 'in azaltılmasının anlamlı mertebede çözüme katkısı olmamaktadır. Muskingum yöntemi kinematik dalga yaklaşımından hareketle ortaya konan bir yöntem olduğu için kinematik dalga modelinin DQM ile çözülmesi durumunda elde edilen sonuçlar ile Muskingum yöntemi sonuçlarının birbirlerine yakın olması beklenen bir sonuçtur. Ancak DQM ölçüm değerlerine daha yakın sonuçlar vermektedir. DQM'un önemli bir başka avantajı da az sayıda hesap noktası kullanılarak bu sonuçların elde edilmiş olmasıdır. $N=10$ hesap noktası alınması durumunda Muskingum yöntemi sonuçlarına göre daha az hataya sahip sonuçlar elde edilebilmektedir.

Sayısal çözüm için en önemli konulardan birisi olan yatak özelliklerinin (b, z, n, S_0) doğru tanımlanması ile, başlangıç hidrografi verilen bir taşkın için çıkış hidrografının DQM ile hesaplanması durumunda gerçek değerlere daha yakın sonuçlar elde edilebilmektedir. Elde edilen sonuçlar ışığında, DQM'un taşkın dalgalarının ötelenmesinde diğer çözüm yöntemlerine karşı iyi bir alternatif olduğu görülmektedir.

Kinematik Dalga Modelinin DQM ile Çözümü ve Sütçüler Taşkını Örneği

Semboller

A, B	; Katsayılar matrisi
b	; taban genişliği
C	; kinematik dalga hızı
C_1, C_2, C_3	; Muskingum model katsayıları
Δt	; zaman aralığı, ölçüm adımı
I^n	; t anındaki giriş akımı
I^{n+1}	; t+ Δt anındaki giriş akımı
K	; gecikme süresi
N	; hesap noktası sayısı
O^n	; t anındaki çıkış akımı
O^{n+1}	; t+ Δt anındaki çıkış akımı
R	; zaman adımı sayısı
RMS	; ortalama karesel hatanın karekökü
t	; hesap zamanı
y_0	; uniform akım derinliği
Z	; şev eğimi
X	; ağırlık parametresi
x	; hesap noktası
Q	; akım debisi

Kaynaklar

- [1] Ülke, A., Muskingum Metodu Kullanılarak Taşkın Ötelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.
- [2] <http://www.tumgazeteler.com> 11.09.2009, son ziyaret Şubat 2010.
- [3] Beyazıt, M., Türkiye’de Taşkınlar ve Taşkın Kontrol Yönetimi, Türkiye Mühendislik Haberleri, 418, 27-29, 2002.
- [4] Hydrologic Engineering Center, River Routing With HEC-1 and HEC-2. Training Document No: 30, 146p. U.S. Army Corps Of Engineers, Davis, California, USA, 1990.
- [5] Ponce, V. M., Simplified Muskingum Routing Equation. Journal of Hydraulics Division, Vol. 105, No: HY1, 85-91, 1979.

- [6] Strupczewski, W., Kundzewicz, Z., Muskingum Method Revisited. *Journal of Hydrology*, 48, 327-342, 1980.
- [7] Perumal, M., Multilinear Muskingum Flood Routing Method. *Journal of Hydrology* 133, 259-272, 1992.
- [8] Kshirsagar, M. M., Rajagopalan, B., Lall, U., Optimal Parameter Estimation for Muskingum Routing with Ungaged Lateral Inflow, *Journal of Hydrology* 169, 25-35, 1995.
- [9] Szymkiewicz, R., An Alternative IUH for the Hydrological Lumped Models. *Journal of Hydrology*, 259, 246-253, 2002.
- [10] Birkhead, A. L., James, C. S., Muskingum River Routing with Dynamic Bank Storage. *Journal of Hydrology* 264, 113-132, 2002.
- [11] Mohan, S., Parameter Estimation of Nonlinear Muskingum Models Using Genetic Algorithm. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 123, No: 2, 137-142, 1997.
- [12] Chu, H.J., The Muskingum Flood Routing Model Using a Neuro-fuzzy Approach. *KSCCE Journal of Civil Engineering*, Vol.13, No:5, 371-376, 2009.
- [13] Ponce, V. M., Yevjevich, V., Muskingum- Cunge Method with Variable Parameters. *Journal of Hydraulics Division*, Vol. 104, No: HY12, 1663-1667, 1978.
- [14] Barry, D. A., Bajracharya, K., On the Muskingum-Cunge Flood Routing Method. *Environment International*, Vol. 21, No: 5, 485-490, 1995.
- [15] Tingsanchali, T., Manandhar, S. K., Analytical Diffusion Model for Flood Routing. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 111, No: 3, 435-453, 1985.
- [16] Ponce, V. M., Huston, P. T., New Perspective on the Convection-Diffusion-Dispersion Equation. *Water Resources Research*, Vol. 30, No: 5, 1619-1620, 1994.
- [17] Moussa, R., Bocquillon, C., Algorithms for Solving the Diffusive Wave Flood Routing Equation. *Hydrological Processes*, Vol. 10, 105-123, 1996.
- [18] Bajracharya, K., Barry, D. A., Accuracy Criteria for Linearised Diffusion Wave Flood Routing. *Journal of Hydrology*, 195, 200-217, 1997.
- [19] Moussa, R., Bocquillon, C., Fractional-Step Method Solution of Diffusive Wave Equation. *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 6, No: 1, 11-19, 2001.
- [20] Ponce, V. M., The Kinematic Wave Controversy. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 117, No: 4, 511-525, 1991.
- [21] Nguyen, Q. K., Kawano, H., Simultaneous Solution for Flood Routing in Channel Networks. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 121, No: 10, 744-750, 1994.
- [22] Keskin, M. E., Ağralıoğlu, N., A Simplified Dynamic Model for Flood Routing in Rectangular Channels. *Journal of Hydrology* 202, 302-314, 1997.
- [23] Kaya, B., Arısoy, Y., Ulke, A., Differential Quadrature Method (DQM) for Numerical Solution of the Diffusion Wave Model, *Journal of Flood Engineering*, 1(2), 133-147, 2010.

- [24] Hashemi, M.R., Abedini, M.J., Malekzadeh, P., A Differential Quadrature Analysis of Unsteady Open Channel Flow, Applied Mathematical Modelling, No.31, 1594-1608, 2007.
- [25] Kaya, B., Arısoy, Y., Differential Quadrature Method for Linear Long Wave Propagation in Open Channels, "Wave Propagation in Materials for Modern Applications", Ed.:Andrey Petrin, ISBN 978-953-7619-65-7, Published by Intech, Vukovar, Croatia, 253-266, 2010.
- [26] Sütçüler Taşkın Raporu, Devlet Su İşleri XVIII. Bölge Müdürlüğü, 1995.
- [27] Chow, V. T., Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill Book Company, New York, USA, 680 sayfa, 1959.
- [28] Ünsal, İ., Değişken Akımların Hidroliği. Matbaa Teknisyenleri Basımevi. 286 sayfa, İstanbul, 1978.
- [29] Shultz M. J., Comparison of Flood Routing Methods for a Rapidly Rising Hydrograph Routed Through a Very Wide Channel. MSc Thesis, Texas Arlington Üniversitesi, USA, 146 sayfa, 1992.
- [30] Bellman, R., Kashef, B.G., Casti, J., Differential Quadrature: A Technique for the Rapid Solution of Nonlinear Partial Differential Equation. Journal Of Comp. Physics, 10, 40-52, 1972.
- [31] Shu, C., Wang, L., Chew, Y.T., Zhao, N., Numerical Study of Eccentric Couette–Taylor Flows and Effect of Eccentricity on Flow Patterns, Theoret. Comput. Fluid Dynamics 18, 43–59, 2004.
- [32] Shu, C., Differential Quadrature and Its Application in Engineering, Springer, 2000.
- [33] Civalek, Ö., Application of Differential Quadrature (DQ) and Harmonic Differential Quadrature (HDQ) for Buckling Analysis of Thin Isotropic Plates and Elastic Columns, . Engineering Structures, 26, 176-191, 2004.
- [34] Civalek, Ö., Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerin Harmonik Diferansiyel Quadrature (HDQ) Metodu ile Lineer ve Lineer Olmayan Dinamik Analizi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.
- [35] Kaya, B., Solution of the Advection-Diffusion Equation Using the Differential Quadrature Method, KSCE Journal of Civil Engineering, Vol.14, No.1, 69-75, 2010.