

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ ve DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

AÇIK KANALLARDA FARKLI HİDROLİK KOŞULLAR ALTINDA SU YÜZÜ
PROFİLİNİN BULANIK SMRGT YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

Emrullah ALTAŞ

AĞUSTOS 2017

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

AÇIK KANALLARDA FARKLI HİDROLİK KOŞULLAR ALTINDA SU YÜZÜ
PROFİLİNİN BULANIK SMRGT YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

Hazırlayan

Emrullah ALTAŞ

Danışmanlar

Doç. Dr. Mehmet Cihan AYDIN (1. Danışman)

Doç. Dr. Zeynel Fuat TOPRAK (2. Danışman)

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ

Doç. Dr. M. Cihan AYDIN

Doç. Dr. Z. Fuat TOPRAK

Doç. Dr. Fevzi ÖNEN

Doç. Dr. Salih KESKİN

AĞUSTOS 2017

Emrullah ALTAŞ tarafından hazırlanan “**Açık Kanalarda Farklı Hidrolik Koşullar Altında Su Yüzü Profilinin Bulanık SMRGT Yöntemiyle Belirlenmesi**” adlı tez çalışması 03/08/2017 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. M. Cihan AYDIN

(1. Danışman- Başkan)

Doç. Dr. Z. Fuat TOPRAK

(2. Danışman)

Prof. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ

(Üye)

Doç. Dr. Fevzi ÖNEN

(Üye)

Doç. Salih KESKİN

(Üye)

İmza



Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 19/08/2017 gün ve 36/10 Sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Doç. Dr. Koray KÖKSAL
Enstitü Müdürü

ÖZET

AÇIK KANALLARDA FARKLI HİDROLİK KOŞULLAR ALTINDA SU YÜZÜ PROFİLİNİN BULANIK SMRGT YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

Emrullah ALTAŞ

Yüksek Lisans Tezi

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

1.Danışman: Doç. Dr. Mehmet Cihan AYDIN

2.Danışman: Doç. Dr. Zeynel Fuat TOPRAK

Haziran 2017, 64 sayfa

Su yüzü profillerinin belirlenmesiyle ilgili olarak literatürde çok sayıda ampirik bağıntı veya modelleme teknikleri önerilmektedir. Bu çalışmada açık kanallarda farklı hidrolik koşullar altında su yüzü profilinin belirlenmesi için literatürde henüz yeni bir yöntem olan SMRGT (Simple Membership Functions and Fuzzy Rules Generation Technique) kullanılarak bir model geliştirilmiştir. Daha önceki çalışmalara dayalı olarak, klasik bulanık modelleme tekniklerine göre daha kolay ve gerçekçi sonuçlar vermesi ve su yüzü profillerine ilk kez uygulanacak olması, bu modelleme tekniğinin tercih nedenlerindedir. Model, deneysel çalışmalarla elde edilen verilere uygulanarak test edilmiştir. Veri kümeleri eşik geometrisi, eşik yüksekliği, eşik tepe noktasına olan mesafe olmak üzere üç bağımsız değişkenden oluşmaktadır. Model sonuçları, deneysel olarak elde edilen verilerle karşılaştırılmış olup karşılaştırma sonucunda yöntemin oldukça başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Bu amaçla tezin Giriş bölümünde konunun kapsam ve önemi belirtilmiş, ikinci bölümde ise konu üzerinde bu güne değin yapılmış olan çalışmalar tartışılmıştır. üçüncü bölümünde, çalışmada kullanılan veriler ve bu verilerin elde edildiği deneysel çalışmanın mekanizması sunulmuş ve yöntem geliştirme esaslarından söz edilerek SMRGT yöntemine detaylı bir şekilde yer verilmiştir. Bulanık SMRGT modelinin geliştirilmesi, elde edilen model sonuçları ve bu sonuçların gerçek verilerle karşılaştırılması dördüncü bölümde verilmiştir. Tezin son bölümünde çalışmadan elde edilen önemli sonuçlar ve bazı öneriler paylaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık, SMRGT Yöntemi, Su Yüzü Profili, Açık Kanal Akımları

ABSTRACT

DETERMINATION OF WATER SURFACE PROFILES IN OPEN CHANNELS UNDER DIFFERENT HYDRAULIC CONDITIONS USING FUZZY SMRGT METHOD

Emrullah ALTAS

Master Thesis

Bitlis Eren University Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet Cihan AYDIN

Co-supervisor: Assoc. Prof. Dr. Zeynel Fuat TOPRAK

June 2017, 64 pages

There are many published studies propose several empiric formulations or model techniques in the current literature. In this study, a fuzzy model depends on the SMRGT method (Simple Membership Functions and Fuzzy Rules Generation Technique) which is a new method in the literature has been developed to determine the water surface profile in open canal under different hydraulic conditions. The reasons for choosing this model are giving more realistic results and simpler than the other conventional methods available in the current literature. The model was tested applying to experimentally obtained data sets; include the geometry of the floor sill, the floor sill height, and the distinct from the top of the floor sill, which are the inputs of the model as the independent variables. The model's results were compared with the real data experimentally obtained. The comparison shows that the model has very high performance in estimating the water surface profile in open canals.

For the aim, in the introduction section of the thesis, the goal and the importance of the subject were given, and the literature review has been reported in the second section. In the third section , the data used to test the model and the experimental works were explained, and the methodology has been presented in detail. The development of the model, the model results, and the comparison have been detailed in the fourth section. In the last chapter, the important results and some recommendations were discussed and concluded.

Keywords: Fuzzy Logic, SMRGT Method, Water Surface Profiles, Open Channel Flow

TEŞEKKÜR

Tez alıőmamın hazırlanmasında ve dzenlenmesinde yardımlarını esirgemeyen ve alıőmalarım boyunca değerli fikirlerinden ve tecrbelerinden yararlandığım, her aőamada yakın ilgi ve desteğini esirgemeyen tez danıőmanlarım Doç. Dr. Mehmet Cihan AYDIN ve Doç. Dr. Zeynel Fuat TOPRAK'a; ve ayrıca tezde kullandığım yöntemi test etmek için deneysel verilerini kullandığım Gökmen ÖZTÜRKMEN'e, manevi anlamda her an yanımda olan ailem ve eőime, yüksek lisans yapmamdaki en büyük etken ve istek olan babama teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Konu Kapsam ve Amacı	2
1.2. Çalışmanın Önemi	2
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM	10
3.1. Deneysel Çalışma	10
3.2. Yöntem Seçimi.....	12
3.3. Bulanık Mantık	15
3.4. SMRGT.....	18
3.5. Su Yüzü Profili	22
4. BULGULAR	22
4.1. Eşik Geometrisinin Seçimi.....	24
4.3. Eşik Tepe Noktasına Olan Mesafenin Seçilmesi.....	26
4.4. Akım Derinlik Değerlerinin Program İçerisinde Belirtilmesi	26
4.5. Modelin Bulanık Kural Tabanı	27
4.6. Sonuçların Manuel Olarak Elde Edilmesi	28
4.7. Sonuçların Veri Dönüştürücü Programı Yardımıyla Otomatik Olarak Elde Edilmesi.....	30
4.8. Model Çıktıları	32
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	49
KAYNAKLAR	50
EKLER	60
EK-1: Deneysel Çalışma Verileri ve SMRGT Yöntem Sonuçlarının Karşılaştırılması	60
ÖZGEÇMİŞ	64

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Akım derinliği ölçümünde kullanılan deney düzeneği.....	10
3.2. Farklı geometri ve yükseklikteki eşik tipleri.....	11
3.3. Ultrasonik seviye ölçüm probu ve mekanik seviye ölçer.....	11
3.4. Bulanık SMRGT modelleri için örnek şematik gösterimi.....	21
4.1. Eşik geometrisinin üyelik fonksiyonu.....	24
4.2. Eşik yüksekliğinin üyelik fonksiyonu.....	25
4.3. Eşik tepe noktasına olan mesafenin üyelik fonksiyonu.....	26
4.4. Derinliğin (çıktının) üyelik fonksiyonu.....	27
4.5. Modelin bulanık kural tabanını gösteren arayüz.....	28
4.6. Bulanık kural tabanı ile üyelik fonksiyonlarının, modelin çıktısı üzerindeki etkisiyle birlikte girdi ve çıktı ilişkisini gösteren arayüz	29
4.7. Girdi ve çıktılar arasındaki ilişkinin üç boyutlu grafiği.....	30
4.8. Bulanık modelin bir paket programda çalıştırılması için bir alt program geliştirilmiştir.....	31
4.9. Deneysel verilerle ‘SMRGT’ yöntemi sonuçlarının saçılma diyagramı.....	31
4.10. 20 mm yükseklikli dikdörtgen eşik için ‘SMRGT’ yönteminin gerçek verilerle karşılaştırmalı sonuçları: (a) sayısal sonuçlar, (b) saçılma diyagramı, (c) su yüzeyi profili.....	33
4.11. 40 mm yükseklikli dikdörtgen eşik için ‘SMRGT’ yönteminin gerçek verilerle karşılaştırmalı sonuçları: (a) sayısal sonuçlar, (b) saçılma diyagramı, (c) su yüzeyi profili.....	35
4.12. 60 mm yükseklikli dikdörtgen eşik için ‘SMRGT’ yönteminin gerçek verilerle karşılaştırmalı sonuçları: (a) sayısal sonuçlar, (b) saçılma diyagramı, (c) su yüzeyi profili.....	.. 37
4.13. 20 mm yükseklikli üçgen eşik için ‘SMRGT’ yönteminin gerçek verilerle karşılaştırmalı sonuçları: (a) sayısal sonuçlar, (b) saçılma diyagramı, (c) su yüzeyi profili.....	39
4.14. 40 mm yükseklikli üçgen eşik için ‘SMRGT’ yönteminin gerçek verilerle karşılaştırmalı sonuçları: (a) sayısal sonuçlar, (b) saçılma diyagramı, (c) su yüzeyi profili.....	41

4.15. 60 mm yükseklikli üçgen eşik için ‘SMRGT’ yönteminin gerçek verilerle karşılaştırmalı sonuçları: (a) sayısal sonuçlar, (b) saçılma diyagramı, (c) su yüzeyi profili.....	43
4.16. 20 mm yükseklikli trapez eşik için ‘SMRGT’ yönteminin gerçek verilerle karşılaştırmalı sonuçları: (a) sayısal sonuçlar, (b) saçılma diyagramı, (c) su yüzeyi profili.....	45
4.17. 40 mm yükseklikli trapez eşik için ‘SMRGT’ yönteminin gerçek verilerle karşılaştırmalı sonuçları: (a) sayısal sonuçlar, (b) saçılma diyagramı, (c) su yüzeyi profili.....	47
4.18. 60 mm yükseklikli trapez eşik için ‘SMRGT’ yönteminin gerçek verilerle karşılaştırmalı sonuçları: (a) sayısal sonuçlar, (b) saçılma diyagramı, (c) su yüzeyi profili.....	49

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

3.1. Üyelik fonksiyonlarının ve bulanık kural tabanının SMRGT yöntemi ile elde edilmesine örnek bir tablo.....	21
4.1. Deneysel olarak elde edilmiş veri kümeleri (veri setleri).....	23



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

y	Akım derinliği (mm),
Q	Debi (lt/sn),
b_e	Eşik genişliği (mm),
B	Kanal genişliği (mm),
J_0	Kanal taban eğimi
e	Eşik yüksekliği (mm),
T	Sıcaklık (°C),
h	Eşik tepe noktasına olan mesafe (mm)
SMRGT	Üyelik fonksiyonu ve bulanıklık kural tabanının türetilmesi için basit bir teknik
ÜF	Üyelik fonksiyonu
BK	Bulanık kural
YSA	Yapay sinir ağları
GA	Genetik algoritma
BM	Bulanık mantık
FM-2	Açık kanal kesit alanı
SPH	Düzleştirilmiş parçacık hidrodinamiği
EKK	En küçük kareler metodu
Vd.	Ve diğerleri

1. GİRİŞ

“Açık kanal” diğer bir deyişle “serbest yüzeyli akım” hidroliği inşaat mühendisliğinin en eski ve önemli konularından biridir. Taşkın kontrolü, akarsu düzenlemesi, akarsularda katı madde hareketinin kontrolü, akarsu taşımacılığı ve geçişleri, sulama-kurutma sistemleri, bağlamalar, barajlar ve baraj hazneleri, su alma yapıları, enerji kırıcı yapılar, su kuvveti tesisleri gibi “su kaynaklarının geliştirilmesi” çalışmalarında, suyun kalitesi, optimum kullanımı ve taşkından korunma açısından serbest su yüzeyinin alacağı şeklin önceden (projelendirme aşamasında) tahmini büyük öneme sahiptir. Bununla birlikte sulama ve drenaj kanalları, akarsular, galeriler, dolusavaklar, yan savaklar, enerji kırıcı yapılar ve bağlamalar gibi açık kanal akımlarının söz konusu olduğu yapıların boyutlandırılmasında su yüzeyi profilinin önceden bilinmesi, özellikle taşkınlardan korunmak ve su yapılarını korumak açısından büyük önem arz etmektedir. Akarsular genel olarak geometrik olmayan en kesitlere sahip olmakla birlikte özellikle “geniş akarsu” olarak kabul edilebilecek kimi akarsular dikdörtgen en kesitli olarak değerlendirilebilir. Bunun yanında yapay açık kanallar genellikle yamuk (trapez) veya dikdörtgen kesitlidir. Güncel literatürde konuya ilişkin çok sayıda basılı yayın bulunmakla birlikte, bu tezde ilk kez SMRGT yöntemi açık kanallarda farklı hidrolik koşullar altında meydana gelen su yüzü profillerinin belirlenmesi için kullanılacaktır. Açık kanallardaki serbest su yüzü profillerinin belirlenmesi için daha önce birçok analitik, deneysel ve sayısal yöntem kullanılmış, fakat literatürden farklı olarak bu çalışmada, mevcut çalışmaların olumlu tarafları aynen korunarak eksiklikleri giderecek şekilde “Bulanık SMRGT Yöntemine” dayanan bir model kullanılacaktır. SMRGT yönteminin modellemedeki başarısı nedeniyle bulanık modelin emsallerine göre daha gerçekçi sonuçlar vereceği beklenmektedir.

Bu çalışmada, açık kanallarda yerleştirilen farklı eşik tipleri nedeniyle oluşan farklı hidrolik koşullar altında oluşan su yüzü profillerinin bulanık SMRGT yöntemiyle incelenecektir. Öztürkmen (2008) tarafından, laboratuvar koşullarında açık kanal akımlarında farklı hidrolik koşullar altında su yüzü profilleri farklı şekil ve yükseklikteki eşik tipleri kullanılarak su yüzeyi profili belirlenmiştir. Deneysel çalışmanın detayları daha sonraki bölümlerde verilecektir. Bu çalışmada ise açık kanal akımlarında su yüzeyi profilinin belirlenebilmesine yönelik olarak geliştirilen Bulanık SMRGT Modeli deneysel verilere uygulanmış ve sonuçlar Öztürkmen (2008)'nin deneysel verileri ile karşılaştırılmıştır. SMRGT'nin çok basit, gerçekçi, fizik tabanlı olan ve pahalı paket programları gerektirmeyen bir teknik olması nedeniyle araştırmacılara büyük kolaylıklar sağlayacağı düşünülmektedir.

1.1. Çalışmanın Konu Kapsam ve Amacı

Bu çalışma kapsamında, açık kanallarda farklı hidrolik koşullar altında su yüzü profilinin, Toprak (2009) tarafından geliştirilmiş olan ve yeni bir bulanık modelleme tekniği olan SMRGT yöntemi kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Modelin kalibrasyonu ve testi için Öztürkmen (2008)'in deneysel olarak elde ettiği veriler kullanılmıştır. Deneyler Dicle Üniversitesi Hidrolik Laboratuvarında bulunan açık kanal sistemi (Şekil 3.1) ve ölçüm cihazı (Şekil 3.2) kullanılarak yapılmıştır. Farklı hidrolik koşulları oluşturmak için farklı geometrik şekle ve yüksekliğe sahip olan taban eşikleri kullanılmıştır. Eşikler üzerinde oluşturulan akımda belirli mesafelerde ölçümler yapılarak farklı hidrolik koşullar altında su yüzü profilleri elde edilmiştir. Çalışmada geometrik sınır koşulları olarak, akım derinliği için 4.5 – 82 mm; eşik tipi için dikdörtgen, üçgen ve trapez; eşik yükseklikleri için 20, 40, 60 mm ve eşik tepe noktasına olan mesafe ise -1000, -900, -800, -700, -600, -500, -400, -300, -200, -100, 0, 100 ve 200 mm olarak dikkate alınmıştır. Bu sınırlar aynı zamanda modelin geçerli olduğu akım koşullarıdır. Mamdani yaklaşımı üzerinde kurulu olan Bulanık SMRGT tekniğinde durulaştırma sentroid yöntem ile yapılmıştır. Bu çalışmada elde edilen modelin daha çok açık kanal akımlarında farklı hidrolik koşullar altında su yüzü profilinin belirlenmesi ile ilgili çalışmalara katkıda bulunması beklenmektedir. Bunun yanı sıra bu model, düzgün doğrultulu olmayan (kıvrımlı) ve kaplamasız, modelin geçerli olduğu hidrolik ve geometrik sınır koşullarının içinde kalan, sulama ve drenaj kanalları için de kullanılabileceği düşünülmektedir.

1.2. Çalışmanın Önemi

Bilindiği üzere yeryüzünde yağışların ve buna bağlı olarak su varlığının yıl içindeki zamansal ve konumsal dağılımı homojen değildir (Aytek ve Toprak, 2001). Dünyada, insanoğlunun karşılaştığı hemen hemen tüm problemler, insan nüfusunun artışına bağlı olarak büyümektedir. İnsan ve diğer canlıların sayısının gün geçtikçe artmasına karşılık tatlı su kaynakları sınırlı kalmaktadır. Bu yüzden, günümüzde, tatlı su kaynaklarının daha verimli işletilmesi ve yönetilmesi gerekmektedir. Birçok ülke şu an su kıtlığını yaşamakta, bir kısmının ise yakın gelecekte yaşaması beklenmektedir (Aytek ve Toprak, 2001). Bunun dışında küresel iklim değişikliği sebebiyle yeryüzüne düşecek yağış miktarıyla birlikte, sıcaklık ve nem değerleri dağılımlarının önceki yıllara göre önemli ölçüde değişiklik göstermesi beklenmektedir. Tüm bunlar suyun kontrolünün önemini ne ölçüde gerekli olduğu ve değişen parametrelerle birlikte doğa olaylarında yaşanan farklılıklar kontrol mekanizmasının giderek artmasının gerekliliği ihtiyacı belirgindir ve daha da belirginleşmeye devam edecektir.

Yaşanan bu gelişmeler neticesinde suyun kontrolünün yapılabilmesi için bilinmesi gerekli değişkenlerden biri de, tatlı su kaynaklarında önemli bir yeri olan serbest yüzeyli akımlarda, su yüzeyinin alacağı şeklin (su yüzü profilinin) önceden bilinmesi önem arz etmektedir. Su yüzü profilinin belirlenmesi için literatürde daha önceden yapılmış birçok deneysel ve teorik hesaplama modelleri mevcuttur. Bu çalışmada izlenen metodoloji (SMRGT) ile bu tür sorunların çözümlenmesinde daha önceden kullanılan bazı parametrik ve deneysel çalışmaların dışına çıkılarak yeni bir yaklaşım sunulmuştur. Toprak (2009) tarafından yeni geliştirilen ve bulanık mantık içerisinde modelleme yapılmasına olanak sağlayan bu teknik sayesinde işlem hacminin, deneme-yanılma tekniğinin ve paket programların rolü asgariye inmektedir.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde su yüzü profilinin belirlenmesine yönelik hem doğal açık kanallarda hem de yapay açık kanallarda yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Farklı metodoloji ve matematiksel yöntemler de dahil olmak üzere birçok farklı algoritmalar kullanılarak hazırlanmış olan bu çalışmaların bir kısmı doğal ortamlardaki açık kanallarda, diğer bir kısmı ise laboratuvar da hazırlanmış olan deney düzenekleri kullanılarak yapılan ölçümlerle belirlenmiştir. Bu çalışmada, “Açık kanallarda farklı hidrolik koşullar altında su yüzü profilinin bulanık SMRGT Yöntemiyle belirlenmesi” kapsamında Öztürkmen (2008) tarafından hazırlanmış olan tez çalışmasında laboratuvar koşullarında deneysel düzenek yardımıyla elde etmiş olduğu verilerin ‘MATLAB’ programı içerisinde bulanık SMRGT yöntem metodu kullanılarak elde edilecek olan bulguların deneysel sonuç verileriyle karşılaştırma yapıp yöntemin uygulanabilirliği üzerine bir çalışma yapılması üzerinde durulmuştur. Bu çalışma bu yönüyle önceki çalışmalardan tamamıyla farklılık göstermektedir. Diğer taraftan bu durum, henüz literatürde konunun birebir işlendiği bir kılavuz çalışmaya rastlanmaması nedeniyle çalışmayı güçleştirmektedir. Aşağıda, farklı yönleri ile konuya ilişkin önemli görülen bazı çalışmalar özetlenmiş ve kısaca kritik edilmiştir.

Kra ve Merkley (2004), hesaplamalı hidroliğe dayalı önerdikleri bir matematik modelde, şamandıra yöntemi kullanarak 2, 3 boyutlu hız dağılımı için iki versiyon sunmuşlardır. Ancak bu çalışma, yazarların da ifade ettiği gibi sadece dikdörtgen kesitli açık kanallardaki kararlı akımlar için geçerli olduğunu söylemek mümkündür. Bu tez çalışmasından farklı olarak akım koşulları, günümüzde sıkça kullanılan yapay zekâ teknikleri yerine klasik Chezy denklemi ile belirlenmiştir.

Cheng (2007), açık kanal akımlarında hız profilinin belirlenmesi için geliştirilen ve ayrıca güç kanunu yasasına birinci dereceden yaklaşım olarak tarif edilebilecek bir yöntem geliştirilmeye çalışmıştır. Bu yöntemin Reynolds sayısının bir fonksiyonu olması sebebiyle göreceli pürüzlülük yüksekliğinin hesaplanmasında da kullanılabileceği belirtilmiştir. Ayrıca elde edilen indeksler sonuç olarak daha çok kaba sınırlar üzerinde akışlar için gerekli olan Manning denklemi çözüm yöntemleriyle de örtüşmektedir.

Kozlova ve Kuznetsov (2008), çalışmalarında, su yüzeyi profilleri üzerinde su dalgaları davranışlarının etkisini incelemişlerdir. Çeşitli dalga davranışları için farklı akım durumları göz önüne alınmıştır. Kritik akım ve homojen akım hallerinde sınır haller belirlenerek yapılan incelemeler neticesinde, farklı dalga davranışları altında fonksiyonel çözümlerle eğimi su yüzeyi profillerinin belirlenebildiği belirtilmiştir.

Nycandera vd. (2008), doğrusal olmayan bir açık kanal akımlarında sınır şartlarını inceleyebilmek maksatlı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sınır koşulları, tek boyutlu olmayan çevrintili, iki tabakalı sığ su denklemleri için türetilmiştir. Yazarlar tarafından belirtildiği gibi yapılan gözlemlerin incelenmesiyle birlikte kullanılan yöntemin iyi sonuçlar verdiği söylenebilmektedir. Ayrıca burada kullanılan yöntemin diğer çözüm yöntemlerine çeşitli benzerlikler de gösterdiği görülmektedir.

Öztürkmen (2008), açık kanal akımlarında ani değişim kesitlerinde su yüzü profilinin belirlenmesi problemini ele almıştır. Bu amaçla sabit debi ve sabit taban eğimine sahip bir açık kanalda farklı eşik tipleri için oluşan su yüzü profillerini belirlemek için bir dizi deneysel çalışma yapmış ve konuyla ilgili teorik ve model çalışmaları yürütecek araştırmacılar için kapsamlı bir veri seti sunmuştur.

Toprak (2009a), temel amacı akışları modelleyebilmek olan iki önemli sorunun cevabını araştırmıştır. Bu sorunlar; 1) bir açık kanal akımında kanal en kesitinin veya debisin modellenmesi için en uygun modelleme tekniğinin ne olduğu, 2) Modelleme tekniği olarak bulanık mantık seçildiği takdirde hatayı minimize edebilecek üyelik fonksiyonları ve bulanık kural tabanının nasıl belirlenebileceğidir. Aynı çalışmada yazar, ikinci sorunun cevabı olarak SMRGT yöntemine giriş yapmış, iki uygulamasını vermiş ve elde ettiği yüksek doğruluklu sonuçlara bağlı olarak bu tekniği (SMRGT) önermiştir. Yazar tarafından geliştirilen ve istatistiksel olarak yapılan karşılaştırmalar sonucunda doğruluğu kanıtlanabilen, SMRGT MF (üyelik fonksiyonu) ve FR (bulanık kural) yönteminin açık kanallarda akış için çok iyi sonuçlar verebileceği görülmüştür. Literatürde araştırmacılar tarafından önerilen birçok algoritma olmasına karşın, araştırmacılara farklı bir yöntem kullanımı sağlamak da yazarın hedeflerinden biridir. Bu çalışmada, açık kanal akımlarının modellenmesinde SMRGT tekniği bu nedenle tercih edilmiştir.

Peck (2009), tarafından geliştirilen standart Step-Blackwater yöntemiyle, su yüzeyi profillerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Hidrolik prensipler ve varsayımlar gözden geçirilerek ve alan veri gereksinimleri tarif edilerek, Step-Blackwater eğrileri ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Veriler neticesinde, belirli bir frekansta sel akışları ile su altında kalabilecek alanları tanımlanabilmiştir. Ayrıca, köprüler, menfez ve yol bentleri gibi çok kanallı akışları üzerinde su yüzeyi profillerinin hesaplanabileceği belirtilmiştir.

Ladopoulos (2010), tekil integral denklemler kullanarak, açık kanal geçişlerindeki potansiyel akışları hesaplanmaya çalışmıştır. Serbest yüzey profilinin belirlenmesi için, verilen bir açık kanal daralması ve sonlu farklar ile karşılık gelen sayısal sonuçlar arasında yapılan karşılaştırmalar neticesinde, bu araştırmada önerilen potansiyel akım modelinin nehir ve sel rejimi akımlarının ikisi için de çok etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Çagatay ve Kocaman (2011), değişken bir açık kanal akımında mansap tabanına yerleştirilmiş bir engel durumunu deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Deneyselerde farklı zamanlardaki su yüzü profilleri hassas bir şekilde belirlenmiştir. Aynı problemin sayısal simülasyonu hesaplamalı akışkanlar dinamiği paket programı Flow 3D ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve birbirlerine uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Vatankhah ve Easa (2011), farklı şekillere sahip açık kanal akımlarında, kritik ve normal derinliklerin hesaplanabilmesi için açık regresyon denklemleri düzenlemişlerdir. Önerilen metottan elde edilen veriler ile mevcut denklemlerdeki bulgular arasında yapılan karşılaştırma sonucunda % 1'den daha az hata tespit edilmiş olup manuel hesaplamalar ve bilgisayar programlama için çok uygun bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Song vd. (2012), dağılım stresleri ile ortalama derinlik sığ su denklemleri için çeşitli sayısal yöntemler arasından (FEM) SU / PG seması ile çözülmesi üzerinde durmuşlardır. Önerilen model orta eğrilikli bir dere üzerinde uygulanmış ve su yüzü profili hesaplanmasında elde edilen veriler ile deneysel veriler uyum göstermiştir.

Aydın (2012), üçgen labirent kanal tiplerinde yan savaklar üzerinde serbest yüzey akışlarının modellenmesi üzerine çalışmıştır. Bu çalışmada, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) kullanılarak elde edilen su yüzü profilleri ve savak debi değerlerinin deneysel verilerle uyum sağladığı görülmüştür. Böylelikle sayısal modellemenin bu konudaki yetenekleri de ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Blade vd (2012), tarafından doğal kanallardaki su akışını hesaplamak amacıyla sayısal modeller kullanılarak bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntem sayesinde aynı zamanda sel ve su baskınları simülasyonları oluşturulabilmektedir. Elde edilen veriler neticesinde yöntemin basitleştirilmiş bir kanal taşkın yatağı sisteminde farklı hız alanlarını üretmede ve taşkın akışlarının sebeplerinin açıklanmasında çok iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Liang vd. (2012), kanal yatağı profillerinin Fraktal Metod kullanılarak belirlenmesiyle ilgili olarak, alüvyonlu akarsularda nehir dinamikleri içerisinde akış boyunca karşılaşabilecekleri problemler ve nehirlerde sediment taşınımı gibi konular ele almışlardır. Sonuç olarak, Fraktal boyut hesaplama tekniğiyle kanal yatağı profilinin (%3 hata ile) diğer yöntemlere nazaran daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Vatankhah (2012), üçgen kanallardaki bir yan savak boyunca su yüzeyi profili oluşturulması için analitik çözümler önermiştir. Bu analitik çözümlerde belirli enerji denklemleri için yan savak boyunca; hız dağılımı katsayısı, savak katsayısı ve yerel değişkenlerle birlikte kısa yan savak elemanları boyunca ilgili ortalama değerleri kullanılarak, farklı varyasyonları

düşünülmüş ve elde edilen veriler deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Sonuçta, bilgisayarda elde edilen veriler ile deneysel veriler arasında çok iyi bir uyum olduğunu görülmüştür.

Hamidi vd. (2013), kuraklık indisinin elde edilmesi amacıyla, üyelik fonksiyonları ve bulanık kuralların belirlenmesi için SMRGT yöntemini kullanmışlardır. SMRGT, bulanık sistemde en iyi sonucu verecek üyelik fonksiyonlarının (UF) ve bulanık kuralların (BK) elde edilmesi ile ilgili üyelik derecelerinin ve bulanık kuralların sayısı, şekli ve mantığı konusunda kolaylık sağlayıp, farklı alanlara uygulanabilen basit bir tekniktir. Teknik neticesinde belirlenen yeni indis değerleriyle, yağış ve kuraklık dağılımına göre Diyarbakır ilinin kuraklık yönünden hafif kuraklık riski taşıdığı sonucuna varılmıştır.

Aydın ve Emiroğlu (2013), hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği kullanarak doğrusal bir açık kanal üzerine yerleştirilmiş labirent yan savaklar üzerindeki akımları üç boyutlu olarak incelemiştir. Sayısal modelin sonuçları deneysel verilerle kalibre edilerek hatalar minimize edilmiştir. Sayısal modelleme ile elde edilen debi katsayıları çeşitli Froude sayısı, boyutsuz nap yüksekliği, boyutsuz savak genişliği gözlemlenen sonuçları ile karşılaştırıldığında her iki yöntem ile elde edilen sonuçların uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Vatankhah ve Easa (2013), farklı şekillerdeki açık kanallarda kademeli olarak değişen akımları hesaplamak için geliştirilen bir yöntem olan 'GVF' (Dereceli Olarak Değişen Akımlar) modelleme yöntemini kullanmışlardır. Önerilen yaklaşım yöntemi kesin ve tahmini değerler arasındaki bağıl hatayı en aza indirmek için optimizasyon tekniği kullanılarak geliştirilmiştir. Sonuç olarak, silindirik kanallar için GVF modelinin analitik ve yarı analitik çalışmalarda diğer çözüm metotlarına istinaden daha iyi sonuçlar verebileceği görülmüştür.

Vatankhah (2013b), trapez ve parabolik kesitli açık kanallarda, kritik ve normal derinlikleri hesaplayabilmek için kademeli olarak farklı çözüm yöntemleri elde edilmeye çalışmıştır. Burada, Newton-Raphson yöntemleri kullanılarak, doğru ve direkt ilişkilendirmeler ile birlikte uygun başlangıç tahminlerinde bulunarak, bazı açık denklemler elde edilmiştir. Bu denklemler neticesinde, doğruluk derecesi yüksek ve hesaplanması kolay olan bir çözüm yolu önerilebilmiştir.

Kamel vd (2014), açık kanallarda türbülanslı akış halinde hız profiline, karmaşık bir geometrik yöntem kullanarak belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Bu yöntem aynı zamanda akışkanlar mekaniği uygulamalarında sıkça karşılaşılan, açık kanallarda nehir akımlarını belirlemeye oldukça yardımcı olabilmektedir. Burada kullanılan sayısal modellemeler sayesinde akışlar tahmini yapılarak, hız dağılımına bağlı olarak taşınabilecek maksimum değerdeki kirletici madde miktarını hesaplanabileceği uygun bir model olduğu sonucunu ortaya çıkmıştır.

Coşkun (2014), yazılım uygulaması ve otomatik SMRGT (Simple Membership Functions and Fuzzy Rules Generation Technique) ile üyelik fonksiyonlarını ve bulanık kurallar üreten bir

bulanık modelleme tekniği ve analizini birlikte vermiştir. SMRGT, burada doğal olayların insan anlayışını yansıtmak için, bulanık küme teorisi benimseyen belirsizliklere bağlı bulanık mantık yaklaşımı olarak ele alınmıştır.

Liu vd. (2014), bu makalede, akışkanlar mekaniğinde toplam akışı hesaplayabilmek için kullanılan mekanik enerji denklemi Navier-Stokes denklemleri kullanılarak türetilmiştir. Dikdörtgen açık kanaldaki laminer akışlar için hız alanının teorik çözümleri elde edilmiştir. Aynı zamanda enerji denklemindeki mekanik enerji kaybı hesaplanmıştır.

Moharana ve Khatua (2014), farklı şekillerdeki dolambaçlı kanallarda pürüzlülük katsayısı ile ilgili deneysel incelemeler yapılmıştır. Uygulamada kullanılan ASBCS modeli, pürüzlülük katsayısı ve etkisi olan boyutsuz faktörler arasında doğrusal olmayan bir ilişkiyi tahmin edebilmek için uygun ve etkili bir yöntem olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Canteroa vd (2015), serbest yüzey profilleri belirlemelerinin düzenli olarak yapılabilmesi için oluşturulmak istenen bu yeni yöntemde, üst düzey enerji ve momentum denklemlerinin elde edilmesiyle birlikte, yeni bir teori sunulup yeni bir araştırmanın önünün açılabilmesi bakımından önem arz etmektedir.

Fiorot vd. (2015), laminer açık kanal akışı üzerindeki rulo dalgaları ölçmek ve veritabanına katkıda bulunmak amacıyla yararlı bir deneysel yöntem tarif edilmek istenmiştir. Literatürde sıklıkla kullanılan deneylere nazaran, oluşturulacak sürekli ve muntazam bir konfigürasyonla viskoz akışkanları için serbest yüzey akışı elde edilmeye çalışılmıştır. Deneysel sonuçlar elde edilen verilerle karşılaştırıldığı simülasyon sistemin iyi bir şekilde çalıştığı sonucunu ortaya koymaktadır.

Tana vd. (2015), açık kanal akışlarını bir giriş düzeneği ile laboratuvar ölçeğinde belirleyebilmek için SPH modeli kullanılmıştır. Önerilen SPH modeli açık kanallarda, laminer ve farklı akış derinlikleri ile hesaplama sonuçları analitik çözümlere karşı teyit edilmiştir. Sonuç olarak, nehir hidrodinamiği modellemelerinde SPH tekniğinin önemli çıkarımlar elde edilebilmesinde kullanılabilceği belirtilmiştir.

Yerdelen ve Özyaman (2015), bu çalışmanın amacı kabul gören 12 farklı tipteki su yüzeyi profilinin gözlemlenmesi, gözlemlenen profillerde debi ve eşik boyutlarının değiştirilerek bu değişimlerin su yüzeyi profillerine ve hidrolik sıçrama mesafelerine olan etkisinin deneysel olarak incelenmesidir.

Azimi ve Shabanlou (2015), üçgen kanallarda, subkritik akış koşulları parametreleri üzerine yan regülatör etkilerinin 3D simüle edilebilmesinde kullanılan bu yöntemle, yan savak boyunca serbest yüzey akışının elde edilebilmesi için RNG k -e modeli ve sıvı (VOF) düzeni hacmi sırasıyla kullanılmıştır. Sayısal ve deneysel sonuçlarla yapılan karşılaştırmalar sonucunda, serbest yüzey ve akış alanının özellikleri ile taklit edilebilir benzerlikler olduğu söylenmiştir.

Wirasaet vd. (2015), açık kanal akımlarında normal akış durumunda katı kavisli duvarlarla sınırlı bölgelerde, akış sorunlarını çözebilmek için iki boyutlu sığ su (SV) çözümlmelerini de kendi içerisinde bulunduran Süreksiz Galerkin (DG) yöntemi geliştirilmiştir. Elde edilen verilerle diğer yöntem sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, bu yöntemin akış problemlerinin çözümünde etkili bir yöntem olduğu sonucu çıkarılabilir.

Aydın (2015), üç boyutlu (3D) hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) kullanarak ana kanal içerisinde farklı yerlere yerleştirilmiş eşiklerin dikdörtgen yan savak üzerindeki akım profillerini ve savaklama performansı üzerine etkilerini incelemiştir. Sayısal simülasyonlar k-ε türbülans modeli ve alışkan hacimleri (VOF; Volume of Fluid) yöntemi kullanılarak yürütülmüştür. Sonuç olarak ise, uygun bir yerde bulunan bir esik ile yan savak debi kapasitesinin önemli ölçüde arttığı görülmüştür.

Aydın vd. (2015), dikdörtgen bir açık kanal üzerine yerleştirilmiş sifon yan savağın hidrodinamiğini üç boyutlu hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemiyle incelemiştir. Elde edilen sonuçların deneysel verilerle uyum içinde olduğu görülmüş ve ayrıca deneylerden elde edilmesi mümkün olmayan bazı verilere ulaşılmıştır. Çalışmada kendinden beslemeli sifon savakların etkin bir şekilde yan savak olarak kullanılabilirliği incelenmiştir.

Yalaz vd. (2015), bulanık olmayan değişkenleri SMRGT tekniği ile bulanık hale getirdikten sonra elde etmiş oldukları değişkenler için bir veri seti hazırlamışlardır. Metot içerisinde bulanık En Küçük Kareler (EKK) modeli ile bulanık doğrusal regresyon denklemlerini kullanılmış ve bu iki yaklaşımın performanslarının çeşitli ölçüm kriterleri kullanılarak karşılaştırılması üzerinde durulmuştur.

Toprak vd. (2013), Toprak vd. (2013), Songur vd. (2013) ve Toprak vd. (2012)'de SMRGT yöntemini kullanan diğer çalışmalardan bazılarıdır.

Yukarıdaki detaylı literatür incelemesinden başka, açık Kanal akımlarında su yüzeyi profilinin belirlenmesine yönelik güncel literatürde mevcut ilgili diğer bazı çalışmalar; Parmar ve Bhardwaj (2013), Niazkari ve Afzali (2014), Parmar ve Bhardwaj (2014), Parmar ve Bhardwaj (2015), Hirpurkar ve Ghare (2014), Coşkun (2014), Hosseini ve Amini (2015), Zadeh (1965), Kissi, Ramdani, Tollabi ve Zakarya (2004), Mondelli vd. (1998), Wu vd. (2001), Inoue ve Kamei (1998), şeklinde yazılabilir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deneysel Çalışma

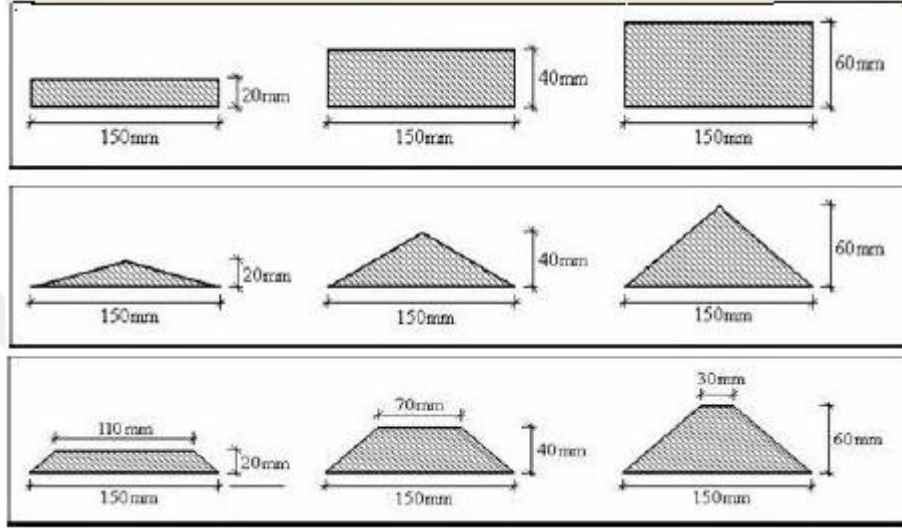
Bu tezde Öztürkmen (2008) tarafından, farklı hidrolik koşullar altında açık kanallarda su yüzü profilinin belirlenmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmadan elde edilmiş datalar kullanılacaktır. Öztürkmen (2008) tarafından yürütülen deneyler yüksek lisans tez çalışması kapsamında Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği laboratuvarında Şekil 2.1’de verilen düzende gerçekleştirilmiştir. Öztürkmen (2008) çalışmasında, açık kanal akımlarında ani değişim kesitlerinde su yüzü profilinin belirlenmesi problemini incelemiştir. Bu amaçla yapılan deneysel çalışmada, sabit debi ve sabit taban eğimine sahip bir açık kanal akımında farklı esik tipleri için esik memba ve mansabında akım doğrultusunda meydana gelen su yüzü değişimleri gözlenmiş ve ölçülmüştür.



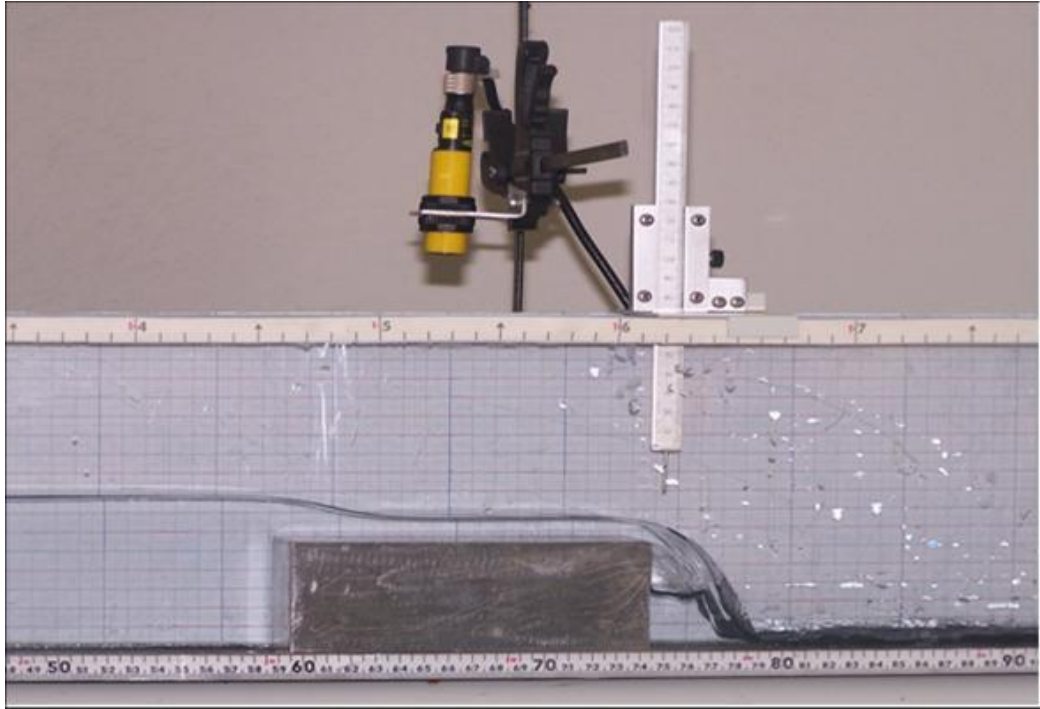
Şekil 3.1. Akım derinliği ölçümünde kullanılan deney düzeneği (Öztürkmen, 2008)

Deneyler, laboratuvar şartlarında, dikdörtgen kesitli bir kanal üzerinde, kararlı akım durumu ve farklı geometrik şekil ve boyutlardaki 12 tane taban eşiği için tekrarlanmıştır. Kanalın, cidar

pürüzlülüğü, taban eğimi ve genişliği ile akımın debisi sabit iken farklı geometri ve boyutlara sahip taban esikleri ile oluşturulan her yerel değişim bölgesi için birer su yüzü profili elde edilmiştir. Deneyler her bir eşğin farklı yüksekliklerine bağlı olarak üç kez olmak üzere toplam 36 kez tekrarlanmıştır. Böylece taban esiklerinin geometrisi ve boyutlarının su yüzü profili üzerindeki etkisi araştırılmıştır.



Şekil 3.2. Farklı geometri ve yükseklikteki eşik tipleri (Öztürkmen, 2008)



Şekil 3.3. Ultrasonik seviye ölçüm probu ve mekanik seviye ölçer (Öztürkmen, 2008)

Su kaynaklarının geliştirilmesi çalışmalarında, suyun kalitesi, optimum kullanımı ve taşkından korunma açısından su yüzeyinin alacağı şeklin önceden (projelendirme aşamasında) tahmini büyük öneme sahiptir. Sulama ve drenaj kanalları, akarsular, galeriler, dolu savaklar, yan savaklar, enerji kırıcı yapılar ve bağlamalar gibi açık kanal akımlarının söz konusu olduğu yapıların boyutlandırılmasında su yüzeyi profilinin önceden bilinmesi özellikle taşkınlardan korunmak ve su yapılarını korumak açısından büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada bir açık kanaldaki serbest yüzeyli akımın su yüzü profilleri değerlendirilmiştir. Akarsular genel olarak geometrik olmayan en kesitlere sahip olmakla birlikte özellikle “geniş akarsu” olarak kabul edilebilecek kimi akarsular dikdörtgen en kesitli olarak değerlendirilebilir. Bunun yanında yapay açık kanallar genellikle yamuk (trapez) veya dikdörtgen en kesitlidir. Bundan hareketle bu çalışmada dikdörtgen kesitli bir açık kanal üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Farklı geometri ve yüksekliklere sahip taban eşikleri kullanılarak farklı hidrolik ve geometrik koşullara sahip açık kanal akımları sağlanmıştır.

3.2. Yöntem Seçimi

Doğa olaylarında her zaman var olan belirsizlikler, belirgin (deterministik) yöntemlerle modellemeyi güçleştirmektedir. Bu yüzden araştırmacılar başka yöntemler geliştirerek problemi yaklaşık olarak modellemeye çalışmıştır. Yaklaşık sonuç elde etmek için, ya eldeki problem idealleştirilmeli, ya da çok sayıda değişken kullanılmalıdır. Problemi idealleştirmek için yapılan kabul veya ihmallere nasıl model veya bağıntının hatasını büyütüyor ise, değişkenlerin sayısını artırmak da hata sayısını artırmaktadır. Birçok araştırmacı dikkate alınacak değişken sayısı ile yapılacak ihmal ve kabullerin sayısını optimize etmeye çalışır. Doğa olaylarını modellerken kullanılan yöntemler çoğu kez, değişken sayısı ile kabul ve ihmal sayısını optimize ederek toplam hatayı minimize etmeye imkân verememektedir. O halde model geliştirilirken, kullanılacak yöntem özenle ve çalışmaya en uygun olacak şekilde seçilmelidir. Diğer taraftan, özellikle mühendislik gibi uygulamalı bilimlerde, güvenli tarafta kalmanın gerekliliğinden söz edilir ve hesaplarda genellikle bir emniyet katsayısı kullanılır. Bu katsayı aslında, tüm hatalara karşı alınan bir önlemdir. Başka bir ifadeyle, hataların toplamının etkisini sayısal olarak bir katsayı ile ifade etmektedir.

Çok karmaşık olan doğa olayları genellikle basit kara kutu kavramı ile sistemin içine girilmeden yaklaşık olarak çözülmektedir. Sistemin içinde ne olup bittiği hakkında hiçbir şey bilinmemektedir. Sistem, girdilere göre çıktı veya çıktılara göre girdi üretir. Bu tür bir yaklaşımda,

sistemin içi bilinmemekle birlikte sistemin davranışı, sistem hakkındaki deneyimlerden bilinebilmekte ve ne zaman aynı girdiler aynı miktarda sistem içerisine alınırsa sistemin içi bilinmeden de aynı çıktılar tahmin edilebilmektedir.

Yapay sinir ağları (YSA) ve genetik algoritma (GA) gibi yöntemler kara kutu sistemler gibi çalışır. Fizik temelinden yoksundur. Dolayısıyla aynı doğa olayına ait eldeki farklı verilere göre model farklı sonuçlar vermektedir. Bu yüzden, modeli sürekli olarak yeni verilere göre yeniden eğitmek gerekmektedir. Bu tür modeller gerçek anlamda doğa olaylarını temsil etmemektedir. Bilgisayarların hızlı işlem yapmasından yararlanılarak, genellikle en küçük kareler yöntemine göre hatanın minimize edilmesi temeline dayanmaktadır. Bu hatalar, ortalama karesel hata, ortalama karekök karesel hata veya her hangi bir hata fonksiyonu kullanılarak hesaplanır.

İstatistik modeller ise yukarıdakilerden farklı olarak, verilerin bazı parametrelerini dikkate almaktadır. Bu tür modellerde, model sonuçlarının ortalama, maksimum, minimum, standart sapma, çarpıklık katsayısı gibi istatistik parametrelerinin, verilerinkine yakın olması hedeflenmektedir.

Sonuç olarak istatistik ve olasılık teorisine dayanan modellerde, model sonuçlarının eldeki verilere istatistiksel parametreler açısından benzemesi hedeflenmektedir. Modelin fizik veya neden-sonuç ilişkisi temeline dayandırma gayreti yoktur.

Literatürde sıkça rastlanan metotların başında regresyon analizi gelmektedir. Regresyon analizinin amacı iki ya da daha fazla rastgele değişken arasındaki istatistik ilişkinin biçimini (matematik ifadesini) belirlemek, değişkenlerden birinin (bağımlı değişkenin) değişiminin diğer değişkenlerin (bağımsız değişkenler) değişiminden kaynaklanan yüzdesini hesaplamak ve bağımlı değişkenin değerini, bağımsız değişken(ler)in bilinen değerlerine bağlı olarak tahmin etmektir. Basit doğrusal regresyon analizi iki değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi göstermektedir (Bayazıt, 1996).

Şen (2001) korelasyon katsayısının normal dağılımlı değişkenler için tanımlanabileceğini ve regresyon denkleminin parametre tahmininde altı tane sınırlayıcı kabulün yapıldığını belirtmiştir. Bunlar:

1. Doğrusallık (Linearity) Kabulü: Regresyon tekniği, verilerin saçılma diyagramının doğrusal bir trende sahip olduğu durumlarda geçerlidir. Eğer saçılma diyagramında, uydurulan eğrinin doğrusal bir trendi yoksa, regresyon analizinin yanıltıcı olacağı açıktır.

2. Normal Dağılım Kabulü: Doğrusal regresyonun kullanılabilmesi için değişkenlerin normal dağılmış olması gerektiği yaygın olarak kabul edilir. En azından hatalar normal dağılıma uymalıdır.

3. Eşit Varyanslılık (Homosedastiklik) Kabulü: Bu şartlı dağılımlarda eşit varyanslılık anlamına gelir ve önemli bir kabuldür. Verilerin homosedastik olup olmadığını test etmek için verileri en az üç veya daha fazla gruba ayırmalı ve bu grupların varyansları hesaplanmalıdır. Eğer bu varyanslar arasında belirgin bir farklılık yoksa verilerin homosedastic olduğu kabul edilebilir.

4. Otokorelasyon Kabulü: Eğer birden fazla bağımsız değişken varsa ve bağımlı değişken bunların tümünün etkisinde ise bu durumda bağımsız değişkenler de kendi aralarında bağımsız olması gerekir. Aksi halde Y, X bağımsız değişkenlerine bağlı olarak tam anlamı ile tahmin edilemez.

5. Verilerde Hata Yokluğu Kabulü: Gözlem ve ölçüm sonucu elde edilmiş verilerde, ölçüm ve gözlem yöntemlerinden, kullanılan cihazlardan ya da cihazların yanlış kullanımından kaynaklanan hataların olmadığı kabuldür.

6. Şartlı Dağılım: Ölçülen veriler ile tahmini değerler arasındaki farkların ortalamasının sıfır olması gerekir. Eğer değil ise, regresyon denkleminin katsayıları (a ve b) önyargılı tahmin edilmektedir.

Görüldüğü gibi ölçüm ve gözlem sonucu elde edilen verilerin regresyon analizi ile modellenmesinde çoğu kez dikkate alınmayan bazı sınırlayıcı kabuller vardır. Bu kabuller regresyon analizinin birer tuzağı olarak değerlendirilebilir. Bir kısım araştırmacı, yukarıda belirtilen sınırlayıcı koşullardan bazısını, hatta bazen tümünü dikkate almadan regresyon analizi ile model geliştirmektedir. Özellikle birden fazla bağımsız değişkenin aynı anda söz konusu olduğu durumlarda, regresyon analizi ile model geliştirmek oldukça güçtür. Bayazit (1996) bu durumlarda çok değişkenli doğrusal regresyonun kullanıldığını ve çok değişkenli doğrusal regresyonda en iyi modeli belirlemek için bir değişken ekleyip diğer bir değişkeni çıkararak yapılan adım adım regresyonun uygulanması gerektiğini belirtmiştir. Regresyon analizine genellikle gereğinden fazla güven duyulmaktadır. Bu yüzden çoğu kez ciddi hatalar yapılmaktadır. Bir modelin sonuçlarının eldeki verilerle karşılaştırmasında sadece korelasyon katsayısına bakılması da yeterli değildir. Böyle bir karşılaştırmanın bir anlamı var ama hiçbir zaman tek başına modelin başarısını göstermez. Diğer taraftan korelasyon katsayısının düşük çıktığı durumlarda model sonuçları ile eldeki verilerin dönüşümleri alınabilir ve bu şekilde çapraz korelasyon katsayısına bakılabilir. Böyle bir dönüşümden sonra elde edilen çapraz korelasyon katsayısı iki tarafın logaritmik değerleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Oysa aranması gereken ilişki model sonuçları ile eldeki veriler arasındaki ilişkidir. Diğer taraftan, böyle bir dönüşümden önce (gerçekte) çok yüksek olan bazı değerlerin, dönüşümden sonra küçüleceği için hatalar ve model sonuçları ile eldeki verilere ait istatistik parametreler arasındaki farklar da küçülecektir.

Dolayısıyla bu şekilde hesaplanan hatalar ve istatistik parametreler yanıltıcı olabilir. Bu nedenle, bu tür bir dönüşümün modele yansıtılması gerekir.

Diğer taraftan çoğu kez eldeki veriler ile model sonuçlarının saçılma diyagramlarına çeşitli eğriler uydurulmaktadır. Bazen bu eğriler birer polinomdur. Daha sonra korelasyon katsayısına bakılmakta ve eğer yüksek ise modelin uygunluğuna karar verilmektedir. Oysa bu şekilde hesaplanan korelasyon katsayısı, model sonuçları ile veriler arasındaki korelasyon katsayısı değil, uydurulan eğrinin denklemi ile veriler arasındaki korelasyon katsayısıdır. Burada yapılması gereken, saçılma diyagramında sıfır noktasından geçen ve eksen takımı ile 45 °'lik açı yapan bir doğrunun çizilmesidir. Böyle bir doğru çizildikten sonra noktaların doğruya göre konumlarına bakılarak modelin taraflı olup olmadığı kolayca anlaşılabilir.

Sonuç olarak regresyon analizinde yapılan kabuller ve korelasyon katsayısına yüklenen yanlış anlam gizli birer tuzaktır. Modelin geliştirilmesinde herhangi bir hata olmasa da, yapılan bu kabuller nedeniyle modellerin taraflı olabileceği açıktır. Bu ve benzeri tuzakları olması nedeniyle, modellemede regresyon tekniğinin uygulanması büyük bir dikkat ve ciddi bir veri analizini gerektirir. Korelasyon katsayısı ise modelin başarısı hakkında her zaman yeterli bilgi veremeyebilir. Dolayısıyla sonuçların karşılaştırılmasında sadece korelasyon katsayısı ile yetinilmemelidir. Korelasyon katsayısı ile beraber mümkün olduğunca daha fazla kriter göz önünde bulundurulmalıdır.

3.3. Bulanık Mantık

Mantık, insan ile birlikte var olan bir olgudur. Mantığın, bir bilim olarak temellerinin Aristo tarafından atıldığı bilinmektedir. Bir bilim olarak ilk kullanım alanı da felsefe olmuştur. Aristo aklın, dolayısıyla mantığın şu üç prensibinden söz eder: Özdeşlik İlkesi : “Bir şey kendisidir” yani A, A' dır. Çelişmezlik İlkesi: Özdeşlik ilkesi tek başına bir nesneyi tanımlamaya yetmez. İlk prensibe göre bir nesnenin kendisi olduğu kesindir, fakat başka bir şey olmadığı kesin değildir. Bunun önüne geçmek için Aristo, “Aynı niteliğin, aynı zamanda ve aynı bakımdan aynı özneye hem ait olması hem de ait olmaması imkânsızdır” demekte ve çelişmezlik ilkesini kabul etmektedir. A, A ise aynı zamanda A olmayan değildir. Çelişmezlik ilkesi, nesnelere birbirinden ayırıt edilmesini sağlar. Üçüncü Halin Olanaksızlığı İlkesi: Bir şey ya doğrudur ya da değildir. Aristo mantığına göre eğer bir şey doğru ise, o şeye aynı zamanda “doğru değildir” denemez. Benzer şekilde, bir şey ya var, ya da yoktur. Bir eleman, bir kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Örnekler çoğaltılabilir. Bu ilke, “bir şey ya A'dır, ya da A değildir” şartını getirmektedir. Yani üçüncü bir alternatif söz konusu değildir. Bu üç ilke ile bir nesnenin kesin olarak sınırı belirlenmiş

ve tanımı yapılmış olmaktadır. Şöyle ki, birinci ilkeye göre, bir nesne kendisidir. İkinci ilke, o nesnenin kendisinden başka bir şey olamayacağını, üçüncü ilke ise o nesne için üçüncü bir alternatifin olamayacağını göstermektedir. Sonuçta bir şey ya A'dır ya da A değildir.

Bu mantık ilkeleri, yüzyıllar boyu taraftar buldu. Herhangi bir doğa olayını açıklayabilmek için yapılabilecek diğer açıklamaların kesinlikle ret edilebilirliğine ihtiyaç vardı. Çünkü, 19. yüzyılın ortalarına kadar bilim adamlarının arasındaki yaygın kanaate göre bilim kesinlik istiyordu. Daha sonra doğa olaylarının bütün çabalara rağmen her zaman belirsizliğini koruyabileceği yönünde düşünceler gelişti. Bu bakış açısının değişmesinin ilk aşaması 19. yüzyılın son çeyreğinde fizikçilerin çalışmalarıyla başladı. Bundan sonra bir şeyin ya doğru ya da yanlış olabileceğinin yanında bazı yanlışlıklarla beraber bazı doğruları da içerebileceği düşüncesi doğmaya ve gelişmeye başladı. Buna ışığın "tanecik" ve "dalga" teorileri örnek olarak verilebilir. Yapılan çalışmalar ışığın yerine göre dalga, yerine göre tanecik şeklinde yayıldığını göstermektedir. Oysa Aristo felsefesine göre, eğer ışık bu teorilerden birine göre yayılıyor ise diğerine göre yayılmamalıdır. Işığın dalga ve parçacık olarak hareketinden yola çıkılarak diğer bir teori Erwin Schrödinger tarafından 1935'te ortaya atılmış olan "Schrödinger'in kedisi" diye tanımlanan bir paradokstur. Bu paradoksa göre kapalı bir kutu içerisine bırakılmış bir kediyle birlikte bırakılmış küçük bir zehir şişesine bağlı bir mekanizma ve bu mekanizmayı harekete geçirebilecek bir ışık detektörü düşünülmüş. Eğer ışık parçacık olarak hareket ederse detektör çalışacak zehir şişesi kırılacak ve kedi ölecektir. Işık dalga olarak hareket ederse detektör devreye girmeyecek ve kedi yaşayacaktır. Kutu içerisini göremediğimizden ve ışığın hem parçacık hem de dalga hareketi yaptığını düşündüğümüzde mantık olarak kedi de hem ölü hem de diri kabul edilebilir. Bu üst üste çakışan mantık kuantum teorisinin de ana fikrini oluşturmuştur.

Bulanık Mantık (BM) yaklaşımı bulanık küme teorisine dayanmaktadır. Bulanık küme teorisi ilk kez Zadeh (1965) tarafından ortaya atılmıştır. Bu nedenle Zadeh (1965) modern anlamda belirsizlik kavramının değerlendirilmesinde önemli bir nokta olarak kabul edilir. Bu çalışma kesin olmayan sınırlara sahip nesnelere oluşturduğu bulanık küme teorisini ortaya koydu. Bu çalışmanın yankı bulması sadece olasılık teorisine bir alternatif oluşundan değil, ayrıca o güne değin hemen hemen tüm bilimlere temel olan Aristo mantığına karşı bir alternatif olabileceğinden de kaynaklanmaktaydı. Bu çalışmadan sonra BM'nin Uzak Doğu ve Avrupa'da kısa sürede teknolojik uygulamaları ortaya çıkmaya başlamıştır. Günümüzde ise başta elektronikte, kontrol sistemlerinde olmak üzere hemen hemen tüm disiplinlerde yerini almış ve konu ile ilgili çok sayıda bilimsel çalışma yayınlanmıştır.

Doğada değişen ve gelişen olaylar birbirini etkilemektedir. Dolayısıyla çoğu kez bir olayı etkileyen parametrelerin sayısı zamana ve konuma göre değiştiği gibi bunların olay üzerindeki

etkisinin niteliği ve niceliği de her zaman ve her yerde aynı değildir. Bunun yanında, laboratuarlarda deney koşullarını gerçek doğa koşullarına benzetebilmek ve gözlemleri doğada aynı koşullarda tekrarlamak da güçtür. Bunlara ölçüm ve gözlemlerde yapılan hatalar da eklenince belirsizlikler daha da artmaktadır. Bazı durumlarda, doğa olayı çok iyi kavrandığı ve yorumlandığı halde bu kavram ve yorumların modele yansıtılması problem olur. O halde doğa olaylarının her zaman insanoğlu açısından belirsizlikleri olacaktır. Bu belirsizlikler nedeniyle doğa olaylarını önceden tam olarak tahmin etmek veya modellemek oldukça güçtür. Bu gerçeklerden hareketle denilebilir ki, doğa olaylarının tahmini için hatasız olarak geliştirildiği iddia edilen modellerde nedeni kesin olarak bilinmese de hatalar vardır. Bu hatalar genel olarak yapılan kabul ve ihmallere, kısaca idealleştirmelere, deney veya gözlemlerde göz önünde tutulan yanlış veya eksik parametrelere, parametrelerin hesaba katılan nitelik ve niceliğine, deney veya gözlem koşullarının farklılığına ve ölçüm ve kayıtlarda yapılan hatalara bağlıdır. Bilgisayarlar bu türlü belirsizlikleri gideremedikleri gibi, yorumlamaktan da acizdir. Ancak sayısal olarak girilen verileri daha hızlı bir şekilde işlemeye yardımcı olurlar. Bilgisayarlardan farklı olarak insanın düşünme yeteneğine bağlı olarak yetersiz, eksik ve belirsizlik içeren veri ve bilgi ile işlem ve tanımlama yapabilme ve bu işlem ve tanımlamaları ifade edebilme yeteneği vardır. İnsanın düşünme, tanımlama ve tasvirlerinin büyük bir kısmı hatta hemen hemen hepsi belirsizlik (yaklaşıklık) içerir. Yani insan bulanık düşünür, bulanık tanımlar ve bulanık tasvir eder. Başka bir ifade ile insanoğlu çoğu kez sayısal değil sözel düşünür ve ifade eder. Bu belirsizlik kimi zaman yapılan idealleştirmeler, ölçüm ve gözlem hataları, kimi zaman doğa olayları hakkındaki eksik ve yanlış bilgiler nedeniyle bilimde de varlığını sürdürmüştür. Şen (1999), değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgi kaynaklarına “bulanık (fuzzy) kaynaklar” adı verildiğini, Zadeh (1971) ise gerçek dünya sorunları ne kadar yakından incelenmeye alınırsa, çözümün daha da bulanık hale geleceğini ifade etmiştir. O halde zaten karmaşıklığın ve belirsizliğin var olduğu bir bilim dünyasında “bulanık mantık” felsefesi bir bakıma bu durumun gerçek adını koyarak ve olayları idealleştirmek yerine olduğu gibi kabul ederek çözme anlayışını getiren bir felsefe olarak kabul edilebilir. Bununla birlikte BM yönteminde fizik kanunları uzman görüşü olarak modele yansıtılmaktadır. Uzman görüşü yanında, eldeki verilerin kullanılması ise daha iyi bir sonucun elde edilmesine imkân sağlamaktadır. Bunun yanında, BM’de uzman görüşü olarak fizik kanunlarını işin içine katmanın beraberinde bazı idealleştirmeleri getirebileceği şeklinde düşünülebilir. Fizik kanunlarının hesaba katılmasına bağlı olarak bazı idealleştirmeler söz konusu olabilir. Ancak, bu idealleştirmeler, diğer yöntemlerde yapılanların yanında çok küçük kalmaktadır. Bu nedenlerden dolayı BM metodu tercih edilmiştir. Literatürde böyle bir çalışmaya rastlanmamasının da bu tercihte etkisi olmuştur.

3.4. SMRGT (Simple Membership Functions and Fuzzy Rules Generation Technique)

Bulanık modellemede, üyelik fonksiyonları (UF) ve bulanık kuralların (BK) uygun bir şekilde belirlenmesi, modelin başarısı açısından birinci dereceden önemlidir. Eğer modelleme veri tabanlı ise bunun önemi daha da artmaktadır. Gerek ÜF'lerinin belirlenmesine gerek BK'ların atanmasına ilişkin literatürde, Genetik algoritma [Ermolin (2000), Dubos (1998), Abdeen (2006), Bhattacharjya (2006), Koopaei vd. (2000), Das (2000), Bhattacharjya ve Satish (2007), Das(a) (2007), Das(b) (2007)] ; yapay sinir ağları [Jain vd. (2004), Flynn ve Marino (1987), Froehlich (1994), Guo ve Hughes (1984), Loganathan (1991)]; olasılık ölçütleri [Mironenko vd. (1984), Monadjemi (1994), Depeweg ve Urquieta (2004), Chahar (2005), Swamee vd. (2002), Swamee vd. (2009)]; Kalman filtresi [Swamee vd. (2000)] gibi yöntemlere sıkça rastlanmaktadır. Ayrıca yeni ve henüz literatür de uygulamaları sınırlı olan çok sayıda yöntemi de görmek mümkündür. Bu çalışmaların bir kısmı sadece üyelik fonksiyonlarının [Bhattacharjya (2006), Das (2000), Das(a) (2007), Das(b) (2007), Flynn ve Marino (1987), Mironenko vd. (1984), Monadjemi (1994), Depeweg ve Urquieta (2004), Chahar (2005), Swamee vd. (2002), Swamee vd. (2009), Siam (2002)]; bir kısmı, ise sadece bulanık kuralların [Dubos (1998), Abdeen (2006), Koopaei vd. (2000), Bhattacharjya ve Satish (2007), Jain vd. (2004) Froehlich (1994), Guo ve Hughes (1984), Loganathan (1991) belirlenmesine yöneliktir. Ayrıca hem üyelik fonksiyonu hem de bulanık kuralların bir arada belirlenmesine yönelik çalışmalar da vardır [Ermolin (2000), Dubos (1998), Abdeen (2006), Bhattacharjya (2006), Koopaei vd. (2000), Das (2000), Bhattacharjya ve Satish (2007), Das(a) (2007), Das(b) (2007)]. Ne yazık ki ÜF ve BK'ların belirlenmesine yönelik geliştirilen bu yöntemler, farklı paket programları veya deneme-yanılma yöntemine göre daha çok zaman ve işlem hacmini gerektirmektedir. Bu nedenle anılan bunca çalışmaya rağmen hala deneme-yanılma yöntemi çoğu kez tercih edilmektedir. Oysa ÜF ve BK'ların belirlenmesine yönelik yöntemlerin, deneme-yanılmaya tercih edilebilecek kadar basit ve az işlem hacmine sahip olmalıdır. Bu çalışmada sunulan yöntemin, mevcut yöntemlere göre daha az işlem hacmini gerektirdiği, daha hızlı ve geliştirilmeye müsait olduğu söylenebilir.

SMRGT yönteminin diğer yöntemlere göre önemli farklılıkları: 1) Modelin kalibrasyonu için veriye ihtiyaç yoktur 2) SMRGT yöntemi fizik tabanlı olduğu için (sadece veri esaslı olmadığı için herhangi bir hidrolojik olayın modellenmesi için kullanılabilir, başka bir ifade ile model genelleştirilebilir). 3) Modelin geliştirilmesi için pahalı paket programlara ihtiyaç yoktur 4) SMRGT ile modelleme çok kolay ve sadece bir sayfalık karalama kağıdını gerektirmektedir 5)

Sonuçlar çok gerçekçidir 6) SMRGT yöntemi literatürde mevcut diğer yöntemlere kıyasla daha yenidir (Toprak, 2017).

Yukarıda 6 madde ile avantajları verilen bu yöntem farklı verilere karşı farklı davranmayacaktır yani, farklı verilere uygulanan model farklı hata yüzdelerini vermeyecektir. Bu nedenle yöntem, sonuçları itibariyle robüst (dayanıklı) kabul edilebilir.

Toprak (2009)'un dışında SMRGT yöntemi the method was used for modeling in Toprak et al. (2013a), Toprak et al. (2013b), Yalaz et al. (2015), Hamidi et al. (2013), Coşkun (2014), Toprak et al. (2012), Altaş (2017), Altaş et al. (2017) ve Çakır Aydın (2017) tarafından da kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Dolayısıyla üyelik fonksiyonları ve bulanık kuralları belirlemek için bu yöntem güvenle kullanılabilceği söylenebilir.

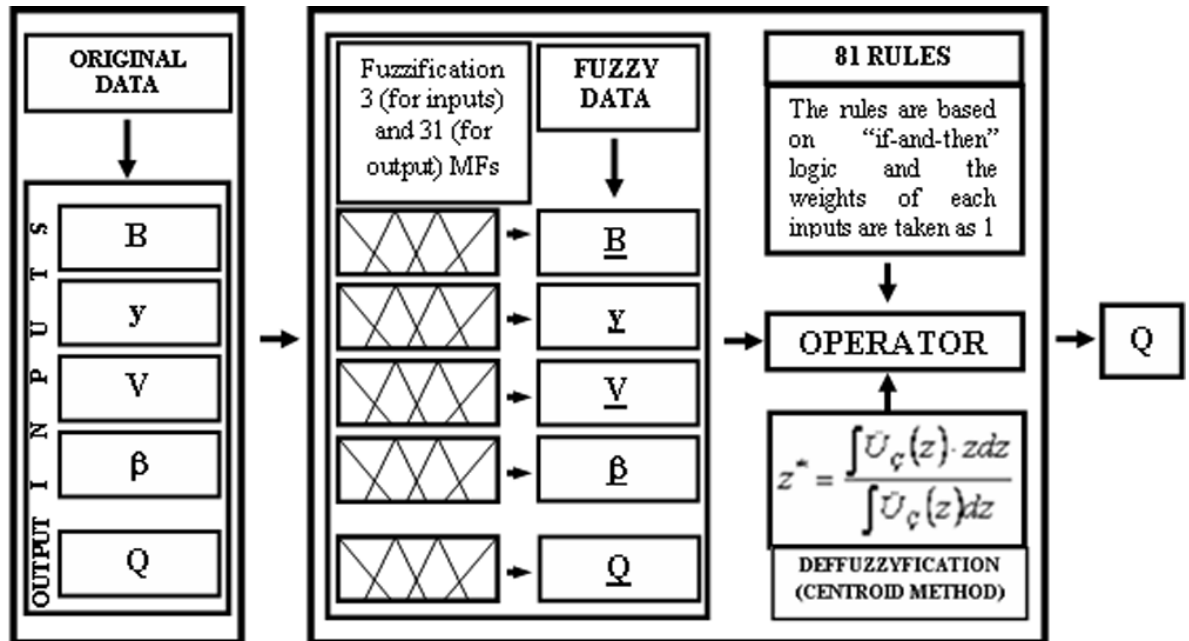
Yöntem, adım adım aşağıdaki şekilde uygulanmaktadır:

1. Her bir bağımsız değişkenin dağıldığı değer aralığı belirlenir.
2. Her bir bağımsız değişken için en az üç bulanık küme (üçgen veya yamuk) atanır (daha fazla da olabilir).
3. En baştaki ve en sondaki bulanık küme dik üçgen ya da dik yamuk seçilir.
4. Bağımsız değişkenlerin her biri için, her biri ilgili üyelik fonksiyonun ağırlık merkezine denk gelecek olan üyelik fonksiyonu sayısınca anahtar değer belirlenir.
5. Anahtar değerler aynı zamanda bulanık modelin girdileridir.
6. ÜF Şekil 3.4' deki gibi dik üçgen parçalarının ağırlık merkezine kadar iç içe girecek şekilde kurulur.
7. Bu yöntem ile geliştirilecek bir bulanık model, bağımsız değişkenlerin anahtar değerlerinin en küçük ve en büyük değerleri arasında geçerli olacaktır.
8. Bu yüzden 1. maddede sözü edilen aralıkların, işin başında biraz geniş tutulmasında yarar vardır.
9. Örnek olarak Tablo 3.1'de gösterilen bir tablo hazırlanır. Bu tablo bulanık kuralları ve çıktının anahtar değerlerini vermektedir.

10. Çıktının ilk üyelik fonksiyonu, ağırlık merkezi en küçük anahtar değer olmak üzere dik bir üçgen (veya yamuk) olarak çizilir. İkincisi ise, başlangıcı birinci ÜF'nun ağırlık merkezi, ortası ikinci büyük anahtar değer olmak üzere ikizkenar bir üçgen (veya simetri bir yamuk) olarak çizilir. Diğer ara üyelik fonksiyonları da bu şekilde belirlendikten sonra üyelik fonksiyonu da ilki gibi belirlenir.
11. Zorunlu olmamakla birlikte çıktının, üyelik fonksiyonu sayısının kural sayısına eşit seçilmesinde yarar vardır.
12. Tablo 3.1, Şekil 3.4'te verildiği gibi bir grafik ile de özetlenebilir. Her bir eğri bize beş kuralı vermektedir (girdilerin beşer ÜF olduğu için). İki den fazla girdi olduğu zaman grafiği hazırlama tekniği değişmez. Bağımsız değişkenlerde en sağdaki x ekseninde, çıktı ise y ekseninde gösterilecek şekilde Tablo 3.1' deki bilgiler grafiğe aktarılır.
13. Sıralanan 12 madde sonunda hem girdilerin hem de çıktının üyelik fonksiyonları ve bulanık modelin kural tabanı belirlenmiş olur.
14. Üyelik fonksiyonları ve bulanık kural tabanı belirlendikten sonra bulanık model kurulabilir.
15. Modelin yukarıda anılan kurulması aşamalarında, çok az sayıda veri kümesinin kullanıldığı, yapılan işlem hacminin çok az olduğu ve bu işlemlerin, ilave paket programlara ihtiyaç olmaksızın el ile bir karalama kâğıdına bile kolayca yapılabileceği unutulmamalıdır. Test aşaması için ne kadar çok veri kümesi kullanılırsa o kadar model iyi test edilmiş olur.
16. Bu yöntem ile hazırlanan modelin, çoğu kez deneme-yanılma sürecine ihtiyacı olmayacaktır. Ancak çıktının üyelik fonksiyonlarının gereğinden fazla iç içe geçmesi durumunda ilgili programlar uyarı yapmaktadır. Olası böyle bir durumda yapılacak tek iş, iç içe geçmiş üyelik fonksiyonlarının sayısını uygun bir şekilde azaltmaktır.
17. Bu yöntemde, uzman deneyimi ile olayı temsil eden bir matematik fonksiyonu yardımıyla veya deneysel yollarla elde edilmiş verilerle çalışılması, üçgen veya trapez üyelik fonksiyonlarının ve durulaştırmada sentroid yönteminin kullanılması oldukça önemlidir. Sentroid yöntem çıktı üyelik fonksiyonun ağırlık merkezine denk gelen değer alınarak kullanılan bir durulaştırma yöntemidir. SMRGT tekniğinin detayları Toprak (2009)'da verilmiştir.

Çizelge 3.1. Üyelik fonksiyonlarının ve bulanık kural tabanının SMRGT yöntemi ile elde edilmesine örnek bir tablo (Toprak, 2009)

Fuzzy Rules Number	INPUT 1 (v, m/s)		INPUT 2 (A, m ²)		OUTPUT (Q, m ³ /s)	
	Numerical	Linguistic	Numerical	Linguistic	Numerical	Linguistic
1	0.45	Very Low	9.1	Very Low	4.1	1
2	0.45	Very Low	34.9	Low	15.7	2
3	0.45	Very Low	69.4	Medium	31.2	3
4	0.45	Very Low	103.8	High	46.7	4
5	0.45	Very Low	129.6	Very High	58.3	5
6	0.90	Low	9.1	Very Low	8.2	6
7	0.90	Low	34.9	Low	31.4	7
8	0.90	Low	69.4	Medium	62.4	8
9	0.90	Low	103.8	High	93.4	9
10	0.90	Low	129.6	Very High	116.6	10
11	1.50	Medium	9.1	Very Low	13.7	11
12	1.50	Medium	34.9	Low	52.4	12
13	1.50	Medium	69.4	Medium	104.0	13
14	1.50	Medium	103.8	High	155.7	14
15	1.50	Medium	129.6	Very High	194.4	15
16	2.10	High	9.1	Very Low	19.1	16
17	2.10	High	34.9	Low	73.3	17
18	2.10	High	69.4	Medium	145.6	18
19	2.10	High	103.8	High	217.9	19
20	2.10	High	129.6	Very High	272.1	20
21	2.55	Very High	9.1	Very Low	23.2	21
22	2.55	Very High	34.9	Low	89.1	22
23	2.55	Very High	69.4	Medium	176.8	23
24	2.55	Very High	103.8	High	264.6	24
25	2.55	Very High	129.6	Very High	330.5	25



Şekil 3.4. Bulanık SMRGT modelleri için örnek şematik gösterimi (Toprak, 2009)

Geliştirilen modelde Öztürkmen (2008) tarafından deneysel çalışılan modele uygun olarak, Üç farklı eşik geometrisi (dikdörtgen, üçgen ve trapez), 3 farklı eşik yüksekliği (20, 40 ve 60 mm)

ve mambadan eşik tepe noktasına olmak kaydıyla farklı aralıklarla (-1100, -1000, -900, -800, -700, -600, -500, -400, -300, -200, -100, 0, 100 ve 200mm) alınarak ölçüm sonucu bulunmuş olan akım derinlik değerleri program tablosuna şeklin ağırlık merkezindeki karşılığına eşit gelecek şekilde üçgensel olarak girilmiştir. Burada belirlenen 117 değer menüden açılan yeni eklentide eşik şekli ve yüksekliğine göre sıra numarası ve akım değerlerinin büyüklüğüne göre sıralama işlemi yapılmıştır. Oluşturulan bulanık kural yardımıyla ekran çıktısı olarak yapılmış olan sıralamaya uygun olarak yeni akım derinlikleri ve yine yüzey profil değerleri grafiksel olarak bulunmuştur. Elde edilen yeni akım derinlikleri 'MATLAB' programı içerisinde, Toprak (2009) tarafından geliştirilen veri dönüştürücü ile kullanılmasıyla birlikte otomatik olarak tüm değerler için belirlenmiştir. Yine buradan elde edilen çözüm kümesinin grafiksel dökümü ile elde edilen veriler bir bütün içerisinde izlenebilmiştir. Elde edilen verilerle Öztürkmen (2008)'in elde etmiş olduğu verilerin kıyaslanması sonucu % 2'lik bir farkın olduğu gözlemlenmiştir.

3.5. Su Yüzü Profili

Su yüzü profili kısaca, bir açık kanal akımında akım yolu boyunca elde edilecek akım derinliklerinin grafiği olarak tanımlanabilir. Su yüzünün akım yolu boyunca kanal tabanından yüksekliğini gösteren bu eğri kanal boyunca akım en kesitinin belirlenmesini sağladığı gibi, sıvı ağırlığı, kayma kuvveti ve atalet etkileri arasındaki dinamik dengeyi de yansıtır (Çengel ve Cimbala, 2008). Bir akımın analizi için su yüzü eğimi ve akım derinliği arasındaki ilişkinin belirlenmesi gerekir ki, bu da ancak su yüzü profillerinin geniş kapsamlı bir şekilde etüt edilmesiyle mümkündür (Wilson, 1969).

4. BULGULAR

Bağımsız değişkenler belirlenmesi işlemine geçilmeden önce Öztürkmen (2008) tarafından elde edilmiş olan deney sonuçları, her bir eşik şekli ve yüksekliği için ayrı ayrı olarak aşağıdaki Çizelge 4.1’de verilmiştir. Genişletilmiş şekilde elde edilen tablo yardımıyla oluşturulan farklı noktalardaki farklı akım derinlikleri arasında MATLAB uygulamasında kullanılmak üzere gerekli sıralama işlemleri yapılmıştır.

Burada; ‘e’ eşik yüksekliğini, ‘J’ kanal eğimini, ‘Q’ suyun debisini, ‘B’ kanal genişliğini, ‘Le’ kanal yüksekliğini, ‘T’ ise ortam sıcaklığını ifade etmektedir. Akım sel rejimindedir. Her bir eşik geometrisi ve farklı yüksekliği için hazırlanmış olan aşağıdaki tabloda sadece dikdörtgen şekilli ve 20 mm yüksekliğinde eşik için farklı noktalarda Öztürkmen (2008) tarafından ölçülmüş olan akım derinlikleri verilmiştir.

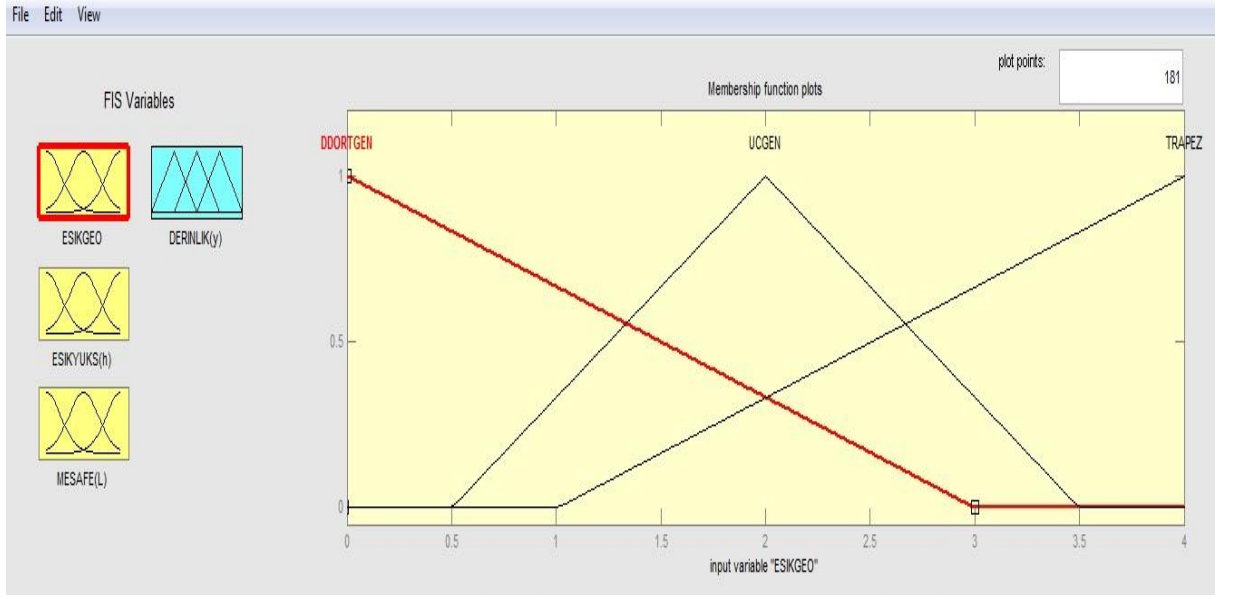


Çizelge 4.1. Deneysel olarak elde edilmiş veri kümeleri (veri setleri) (Öztürkmen, 2008)

No	Eşik Şekli	e	j°	Q	B	Le	T	Gelen Akım		Mevcut Akım		Eşik Ort Nok Mes. x(mm)	Akım Derinliği y(mm)	Eşik Öncesi Akım Ysel(mm)
								Sel	Nehir	Yeterli	Yetersiz			
1		20	0,00232	0,41177	75	150	30	X			X	-1000	33.5	11
2		20	0,00232	0,41177	75	150	30	X			X	-900	34.5	11
3		20	0,00232	0,41177	75	150	30	X			X	-800	35	11
4		20	0,00232	0,41177	75	150	30	X			X	-700	35.5	11
5		20	0,00232	0,41177	75	150	30	X			X	-600	36.5	11
6		20	0,00232	0,41177	75	150	30	X			X	-500	37.5	11
7		20	0,00232	0,41177	75	150	30	X			X	-400	38	11
8		20	0,00232	0,41177	75	150	30	X			X	-300	39	11
9		20	0,00232	0,41177	75	150	30	X			X	-200	39.5	11
10		20	0,00232	0,41177	75	150	30	X			X	-100	40	11
11		20	0,00232	0,41177	75	150	30	X			X	0	31	11
12		20	0,00232	0,41177	75	150	30	X			X	100	15	11
13		20	0,00232	0,41177	75	150	30	X			X	200	6.5	11

4.1. Eşik Geometrisinin Seçimi

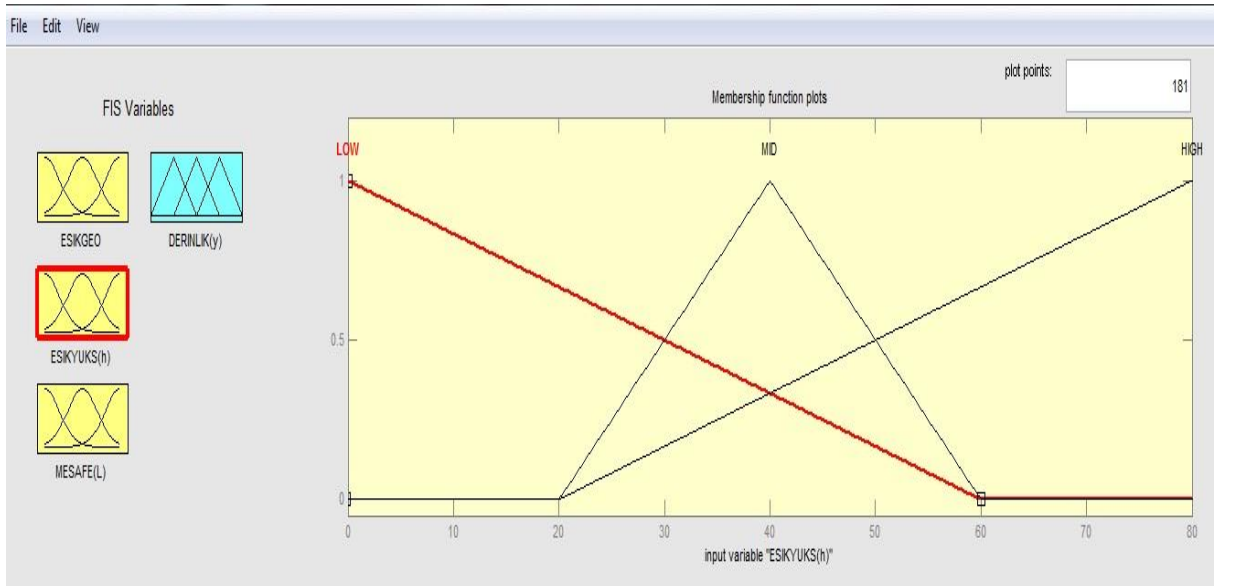
Şekil 4.1’de verilen bulanık üyelik fonksiyonu eşik geometrisini temsil etmektedir. Eşik geometrisi sistem girdilerinden biri olup paket programda ‘ESKGEO’ ismi verilmiştir. Fonksiyon üç tane alt bulanık kümeye ayrılmıştır. Bu alt bulanık kümeler dikdörtgen, üçgen ve trapez olup paket programda ‘DDORTGEN’, ‘UCGEN’ ve ‘TRAPEZ’ olarak isimlendirilmiştir. Bulanık kümelerin tamamı üçgen olarak seçilmiştir. Bu en basit bulanık küme formudur. En baştaki ve sonuncusu dik üçgen ortadakiler ise simetrik normal üçgen olarak seçilmiştir.



Şekil 4.1. Eşik geometrisinin üyelik fonksiyonu

4.2. Eşik Yüksekliği Seçimi

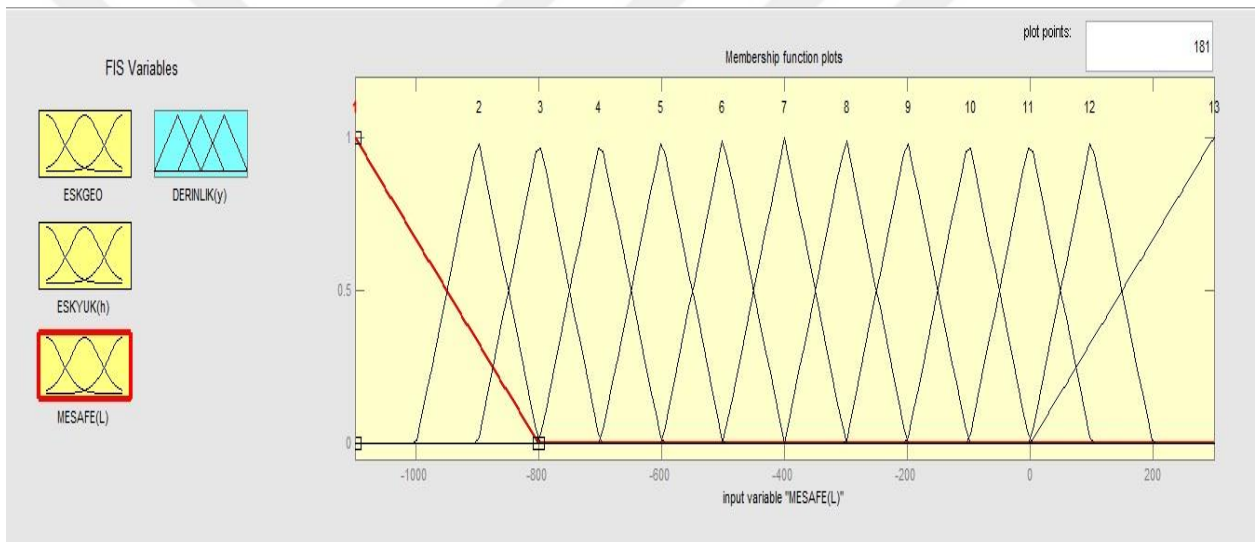
Şekil 4.2’de verilen bulanık üyelik fonksiyonu eşik yüksekliğini göstermektedir. Eşik yüksekliği sistemin girdilerinden biri olup ‘ESKYUK(h)’ olarak paket program içerisinde verildi. Seçili dik üçgenlerin ağırlık merkezlerine karşılık gelen değerler, eşik yükseklik değerleri olacak şekilde 20, 40 ve 60 mm olarak girilmiştir. Anahtar değerler üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinden sonra, bu değerlere karşılık getirilip paket program içerisinde girdi olarak belirtilecektir.



Şekil 4.2. Eşik yüksekliğinin üyelik fonksiyonu

4.3. Eşik Tepe Noktasına Olan Mesafenin Seçilmesi

Şekil 4.3'te verilen bulanık üyelik fonksiyonu eşik tepe noktasına olan mesafeyi göstermektedir. Eşik tepe noktasına olan mesafe sistemin girdilerinden biri olup paket program içerisinde MESAFE(L) olarak verilmiştir. Akım derinliklerinin büyüklük değerlerine göre sistem içerisinde kolaylıkla ayırt edilebilmesi için 'HIGH, 'MIDDLE' ve 'LOW' terimlerinin kısaltması olarak 'HGH', 'MD' ve 'LOW' olarak alındı. Eşik tepe noktası için belirlenen mesafe (-1000, -900, -800, -700, -600, -500, -400, -300, -200, -100, 0, 100, 200 mm) değerlere karşılık gelecek şekilde ara değerlerle birlikte (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13) olacak şekilde program üzerinde kaydedildi.

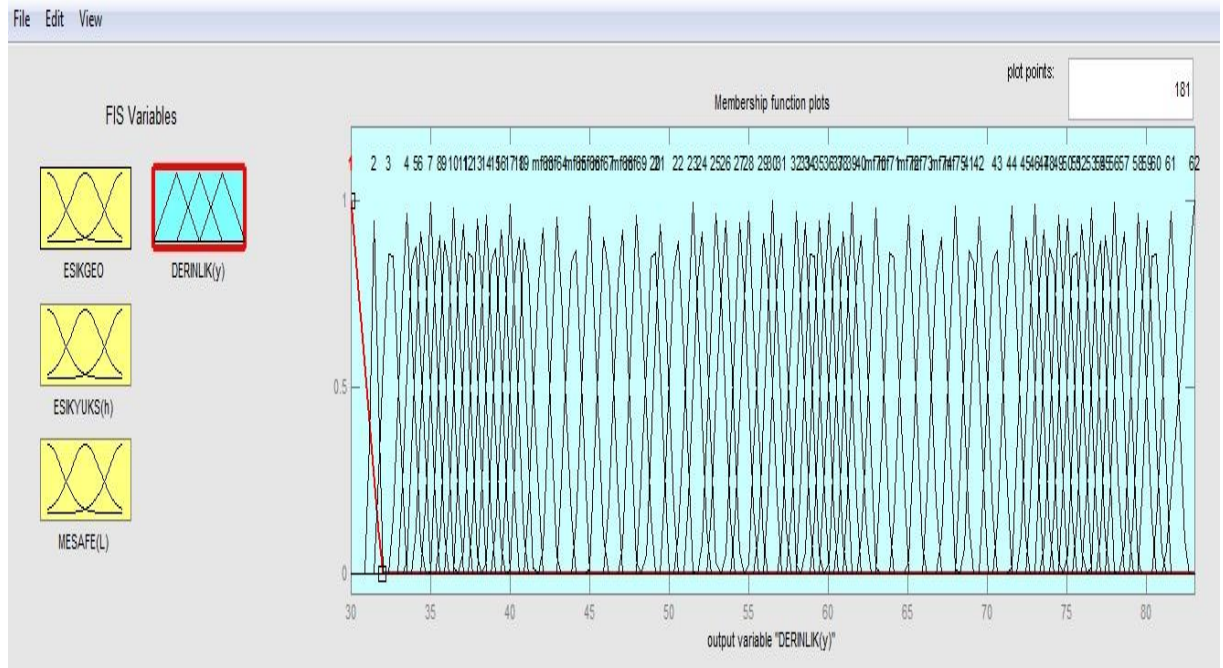


Şekil 4.3. Eşik tepe noktasına olan mesafenin üyelik fonksiyonu

4.4. Akım Derinlik Değerlerinin Program İçerisinde Belirtilmesi

Bağımsız değişkenlerin her biri için, her biri ilgili üyelik fonksiyonun ağırlık merkezine denk gelecek olan üyelik fonksiyonu sayısınca anahtar değer belirlemek amacıyla çeşitli geometrik şekiller (üçgen ve yamuk gibi) seçildi. Programın SMRGT yöntemine uygun olarak çalıştırılabilmesi için ilk ve son akım derinlik değerleri karşılığı belirlenen şeklin ağırlık merkezine gelecek şekilde dik üçgen olarak belirlendi. Ara akım derinlikleri ise tam bir üçgen olacak ve yine ağırlık merkezine gelecek şekilde uygun aralık tahminleri yapılarak gerekli çözüm kümeleri aralıklarının oluşabilmesi için şekillerin birbirlerine geçmeli olarak dağılmasına özen gösterildi.

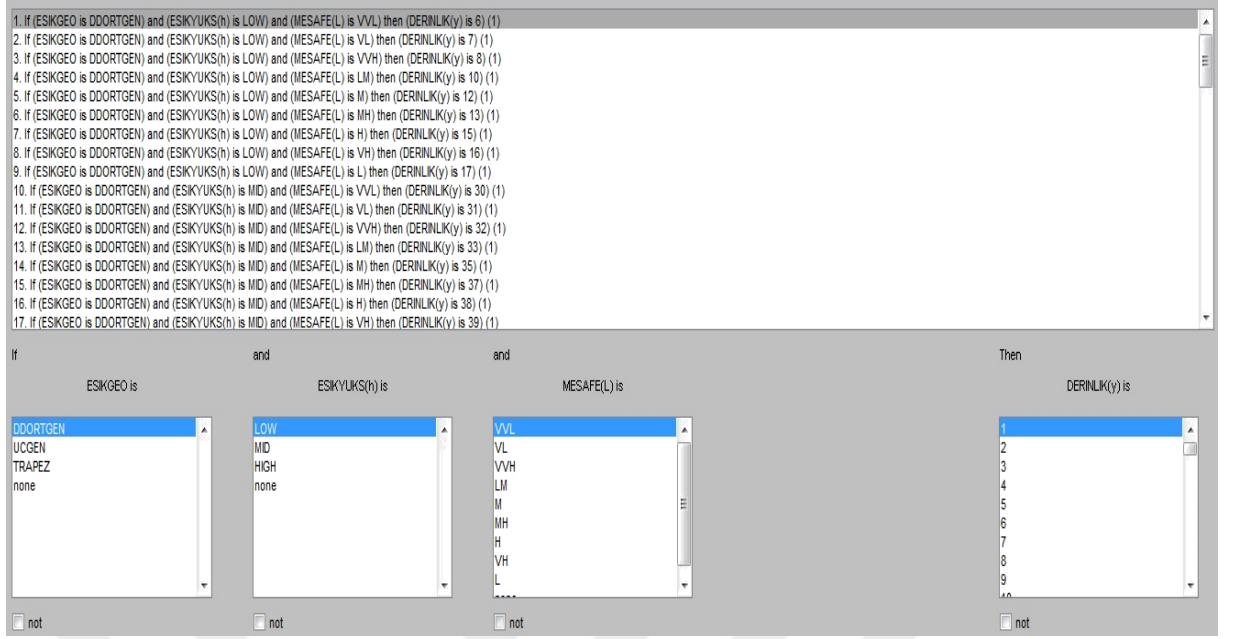
117 farklı nokta için ölçümü yapılmış olan akım derinliklerinin her biri grafik üzerinde şekillerin ağırlık merkezi olacak şekilde girildi.



Şekil 4.4. Derinliğin (çığtının) üyelik fonksiyonu

4.5. Modelin Bulanık Kural Tabanı

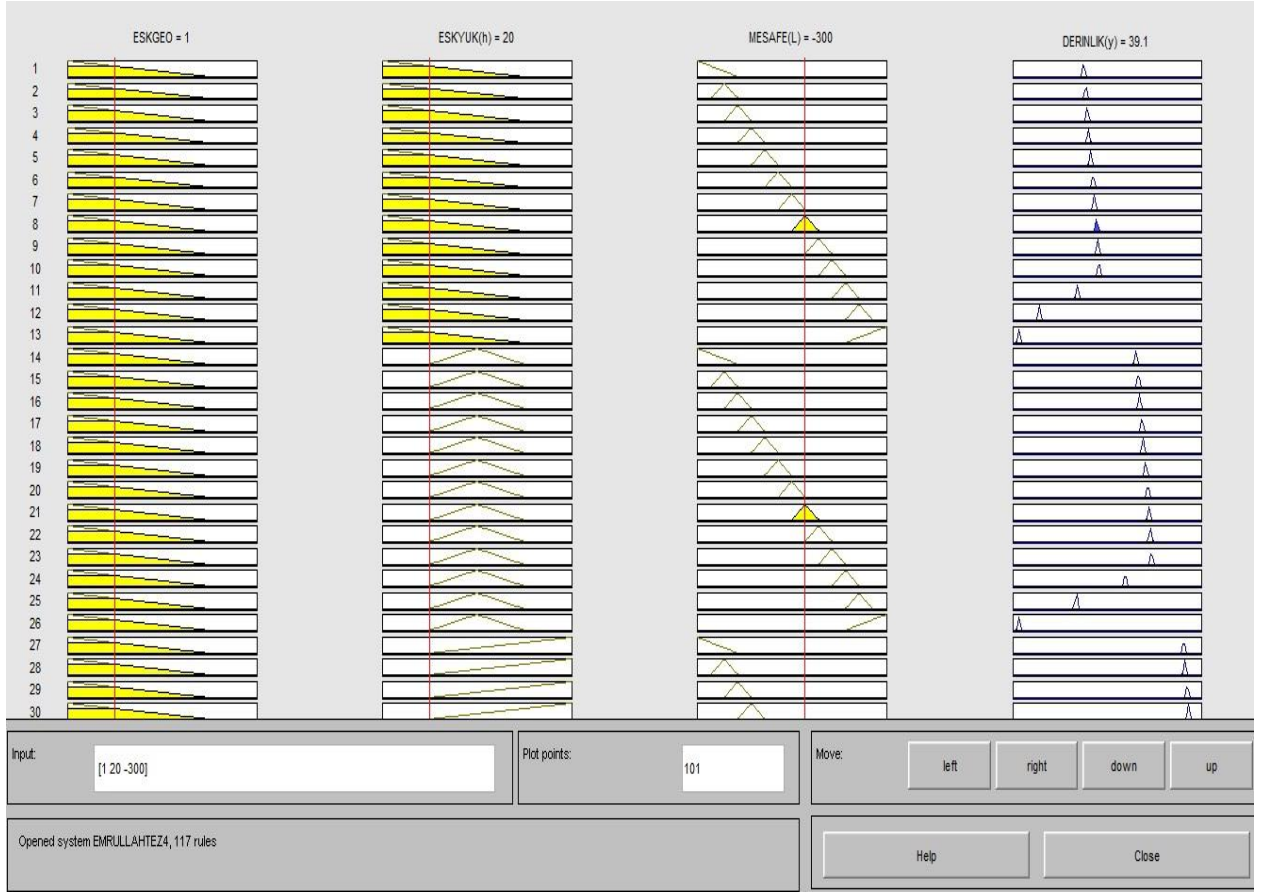
Şekil 4.5'te modelin bulanık kural tabanını gösteren arayüz verilmiştir. Bulanık kurallar yukarıdaki gibi belirlendikten sonra artık bulanık modellemenin kurulum aşamasına geçilmiştir. SMRGT yönteminin adımlarında anlatıldığı gibi anahtar değerler üyelik değerler karşılık gelecek şekilde paket program içinde girilmiştir. Yöntem metodolojisi paket programlara ihtiyaç duymamakla birlikte, bu çalışmada paket program kullanılmasındaki amaç deneysel verilerle SMRGT sonuçlarının tümünün bir arada gösterilmesinin istenmesidir. Şekil 4.5'te farklı eşik tipi ve yüksekliğine göre istenilen mesafede deneysel çalışmada ölçülmüş olan akım deinlikleri sistematik olarak eşleştirilmiştir.



Şekil 4.5. Modelin bulanık kural tabanını gösteren arayüz

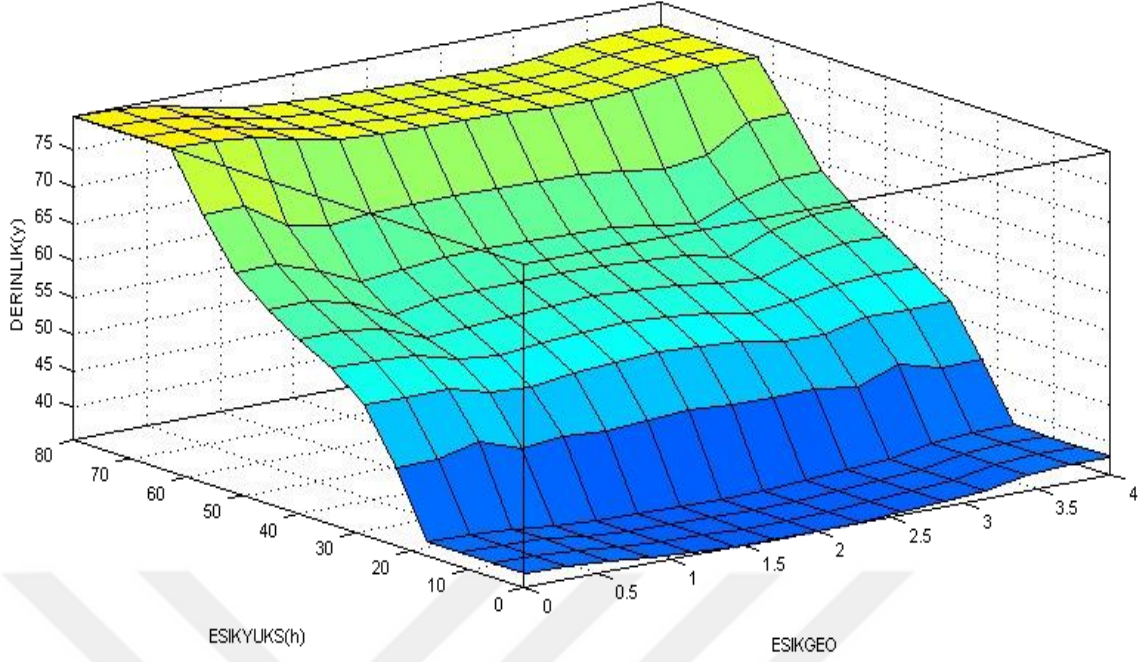
4.6. Sonuçların Manuel Olarak Elde Edilmesi

Şekil 4.6’da bulanık kural tabanı ile üyelik fonksiyonlarının, modelin çıktısı üzerindeki etkisiyle birlikte girdi ve çıktı ilişkisini gösteren arayüz verilmiştir. Burada ilk üç sütunda gösterilen değerler paket program içerisinde bulanık üyelik fonksiyonları için önceden verilmiş değerlere uygun olarak istenilen şekilde seçilebilmektedir. Örnek olarak, Şekil 4.6’da seçilen değerler gösterilmiştir. Burada; 1. sütunda eşik geometrisi için ‘ESKGEO’ = 1, 2. sütunda eşik yüksekliği için ‘ESKYUK(h)’ = 20 mm, 3. sütunda ise eşik tepe noktasına mesafe ‘MESAFE(L)’ = -300 mm olarak seçilmiştir. 4. sütunda SMRGT yönteminin paket program içerisinde uygulanmasıyla elde edilen sonuç verilmiştir. Burada ölçülen akım derinlik değeri 39.10 mm olarak hesaplanmıştır. Öztürkmen (2008) çalışmasında deneysel verilerle elde etmiş olduğu sonuç ise 39.00 mm olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi SMRGT yönteminin kullanılmasıyla elde edilen sonuç deneysel veri değeriyle neredeyse birebir örtüşmektedir.



Şekil 4.6. Bulanık kural tabanı ile üyelik fonksiyonlarının, modelin çıktısı üzerindeki etkisiyle birlikte girdi ve çıktı ilişkisini gösteren arayüz

Şekil 4.7’de sistemin girdi ve çıktıları arasındaki ilişkinin üç boyutlu grafiği verilmiştir. Şekil 4.6’da her bir değer ayrı ayrı olarak bulunmasının mümkün olduğu yukarıda belirtildi. Şekil 4.7 ise SMRGT yöntemi tarafından bulunan tüm sonuçların tek bir grafikte 3 boyutlu olarak gösterimidir.



Şekil 4.7. Girdi ve çıktılar arasındaki ilişkinin üç boyutlu grafiği

4.7. Sonuçların Veri Dönüştürücü Programı Yardımıyla Otomatik Olarak Elde Edilmesi

Şekil 4.8’de bulanık modelin paket program içerisinde çalıştırılabilmesi için geliştirilen alt program verilmiştir. Bu alt program sayesinde SMRGT yönteminin kullanılmasıyla elde edilen tüm sonuçlar paket program içerisinde sıralı olarak alt alta görülmektedir. Bu değerler kullanılarak saçılma diyagramları ve su yüzeyi profilleri istenilen farklı eşik tipleri, yükseklikleri için ayrı ayrı veya hepsinin bir arada olduğu grafikler elde edilebilmektedir.

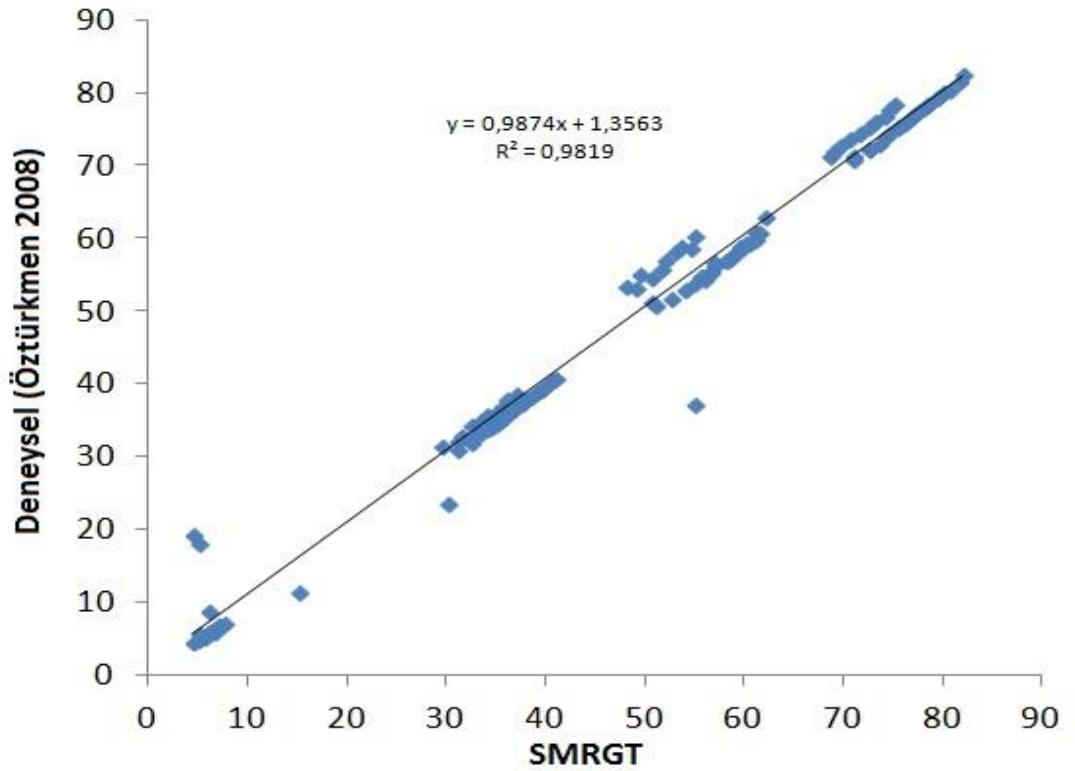
Şekil 4.9’da deneysel verilerle ‘SMRGT’ yöntemi sonuçlarının saçılma diyagramı verilmiştir. Determinasyon katsayısının yüksek olması ($R^2 = 0.9819$) model sonuçları ile deneysel veriler arasındaki istatistiksel ilişkinin matematiksel olarak ifade edilebileceğini göstermektedir. Başka bir ifade ile modelin, verilerin gidişini (trendini) yakaladığı söylenebilir.

```

1 - clear
2 - clc
3 - load EMRTEZI.dat;
4 - load EMRTEZO.dat;
5 - EMRTEZ2=readfis('EMRTEZ');
6 - outmodel=evalfis(EMRTEZI, EMRTEZ2, 101);
7 - RTR = corrccoef(outmodel,EMRTEZO)
8 - RETR = (sum((abs(outmodel-EMRTEZO)./(EMRTEZO))*100))/size(EMRTEZO,1)
9 - save EMRTEZ2
10 - figure(1)
11 - plot(outmodel,EMRTEZO,'*', 'markersize',2)
12 - fid1 = fopen('R.m','w+');
13 - fprintf(fid1, '%10.6f\n\n',RETR);
14 - fclose(fid1); % fid1 nolu dosyayi kapatir
15 - fid2 = fopen('R.m','w+'); % okuma ve üzerine yazma amaçlı verilen isimde bir dosya açar
16 - fprintf(fid2, '%10.6f\n\n',RTR(1,2));
17 - fclose(fid2); % fid1 nolu dosyayi kapatir
18

```

Şekil 4.8. Bulanık modelin bir paket programda çalıştırılması için bir alt program geliştirilmiştir



Şekil 4.9. Deneysel verilerle 'SMRGT' yöntemi sonuçlarının saçılma diyagramı

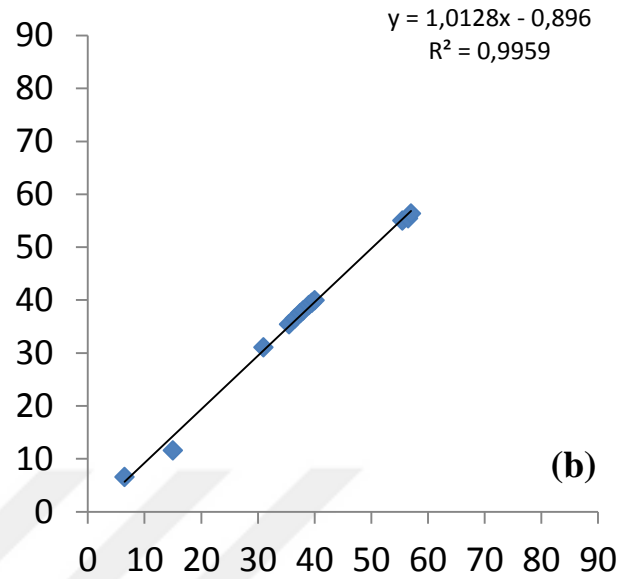
4.8. Model Çıktıları

Şekil 4.10-4.18 arasındaki şekillerde elde edilen tüm sonuçlar karşılaştırmalı bir tablo ve iki adet grafikte verilmiştir. Şekil 4.10'da dikdörtgen kesitli ve yüksekliği $e = 20$ mm olan eşik için model sonuçları hem sayısal değerler olarak tablo şeklinde hem de görsel olarak iki farklı grafikte verilmiştir. Şekil 4.10(a), 1. kolon Öztürkmen (2008)'in deneysel verileri, ikinci kolonda SMRGT modelinin sonuçları ve son kolonda ise ortalama mutlak rölatif hata verilmiştir. Tablonun ilk iki kolonda akım derinliklerine bakıldığında model sonuçlarının deneysel verilerle oldukça benzerlik gösterdiğini görmek mümkündür. Bununla birlikte Şekil 4.10(b)'de verilen saçılma diyagramına bakıldığında regresyon doğrusunun yatayla yaklaşık 45° lik bir açı yaptığı görülmektedir. Bu durum modelin taraflı davranmadığı anlamına gelmektedir. Başka bir ifade ile modelin, gerçek verilere göre sistematik olarak daha büyük veya daha küçük tahminlerde bulunmadığı anlamına gelmektedir. Determinasyon katsayısının yüksek olması ($R^2 = 0.9959$) model sonuçları ile deneysel veriler arasındaki istatistiksel ilişkinin matematiksel olarak ifade edilebileceğini göstermektedir. Başka bir ifade ile modelin, verilerin gidişini (trendini) yakaladığı söylenebilir. Diğer taraftan hemen hemen tüm noktaların regresyon doğrusu üzerine düştüğü söylenebilir. Bu da model sonuçları ile gerçek verilerin sayısal olarak birbirine oldukça yakın olduğu anlamına gelmektedir. Şekil 4.10(c)'de deneysel olarak elde edilen su yüzeyi profili ile bulanık SMRGT modeli ile elde edilmiş su yüzeyi profilleri verilmiştir. Şekilden açık bir şekilde anlaşıldığı üzere neredeyse her iki profil üst üste çakışmaktadır. Bu grafiğin de saçılma diyagramını ve tabloyu desteklediği söylenebilir. Buna göre bulanık SMRGT yönteminin 20 mm yüksekliğindeki dikdörtgen kesitli eşikler üzerinde gerçekleştirilen sel rejimindeki akımlar için doğru tahminlerde bulunduğu söylenebilir.

Menba Akım Derinlikleri (mm)		
Öztürkmen (2008)	Bu Tezde (SMRGT)	OMRH (%)
33.5	33,6	0,15
34.5	34,2	0,76
35	35,1	0,21
35.5	35,5	0,11
36.5	36,5	0,12
37.5	37,5	0,07
38	38,0	0,03
39	39,1	0,17
39.5	39,5	0,05
40	40,0	0,04
31	31,1	0,18
15	11,6	19,50
6.5	6,6	0,78
33	32,2	Ortalama
9,4	10,6	Standart Sapma
0,3	0,3	Değişim Katsayısı
-1,9	-2,0	Çarpıklık Katsayısı
1,00		Korelasyon Katsayısı
1,70		Ortalama Bağlı Hata(%)

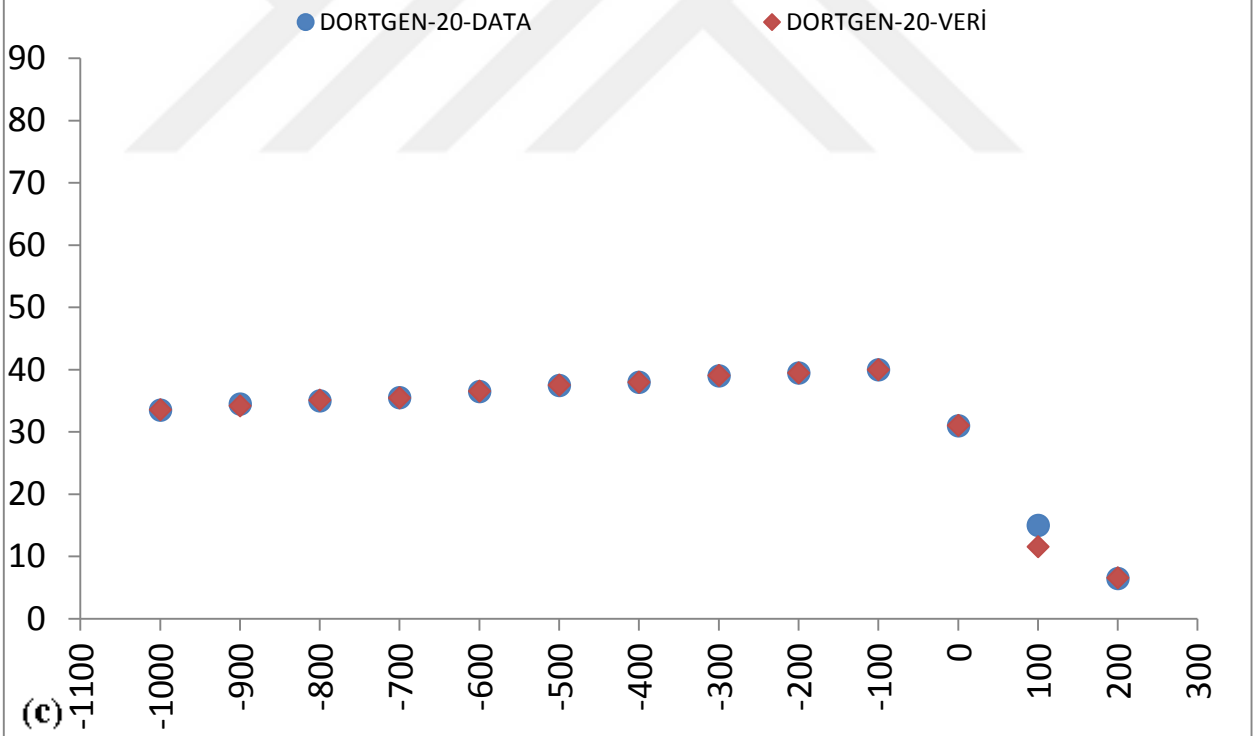
(a)

DIKDORTGEN-20- SACILMA DIYAGRAMI



(b)

DIKDORTGEN-20-SU YÜZEYİ PROFİLİ



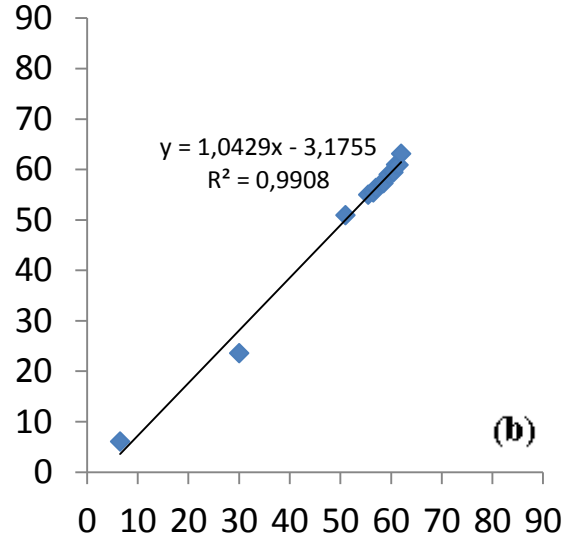
Şekil 4.10. 20 mm yükseklikli dikdörtgen eşik için ‘SMRGT’ yönteminin gerçek verilerle karşılaştırmalı sonuçları: (a) sayısal sonuçlar, (b) saçılma diyagramı, (c) su yüzeyi profili

Şekil 4.11’de dikdörtgen kesitli ve yüksekliği $e = 40$ mm olan eşik için model sonuçları sayısal değerler olarak aşağıda grafikte verilmiştir. İlk iki kolona bakıldığı zaman sonuçların model tarafından ne kadar doğru orantıda bulunduğu görülmektedir. Şekil 4.11(b)’de verilen saçılma diyagramına bakıldığında regresyon doğrusunun yatayla yaklaşık 45° ’lik bir açı yaptığı görülmektedir. Determinasyon katsayısının yüksek olması ($R^2 = 0.9908$) model sonuçları ile deneysel veriler arasındaki istatistiksel ilişkinin matematiksel olarak ifade edilebileceğini göstermektedir. Bütün noktaların neredeyse regresyon doğrusu üzerinde olduğu ve modelin vermiş olduğu sonuçların gerçek sonuçlara ne ölçekte doğrulayıcı olduğu rahatlıkla söylenebilmektedir. Şekil 4.11(c)’de deneysel olarak elde edilen su yüzeyi profili ile bulanık SMRGT modeli ile elde edilmiş su yüzeyi profilleri verilmiş ve birebir çakışmalar gözlemlenmiştir.

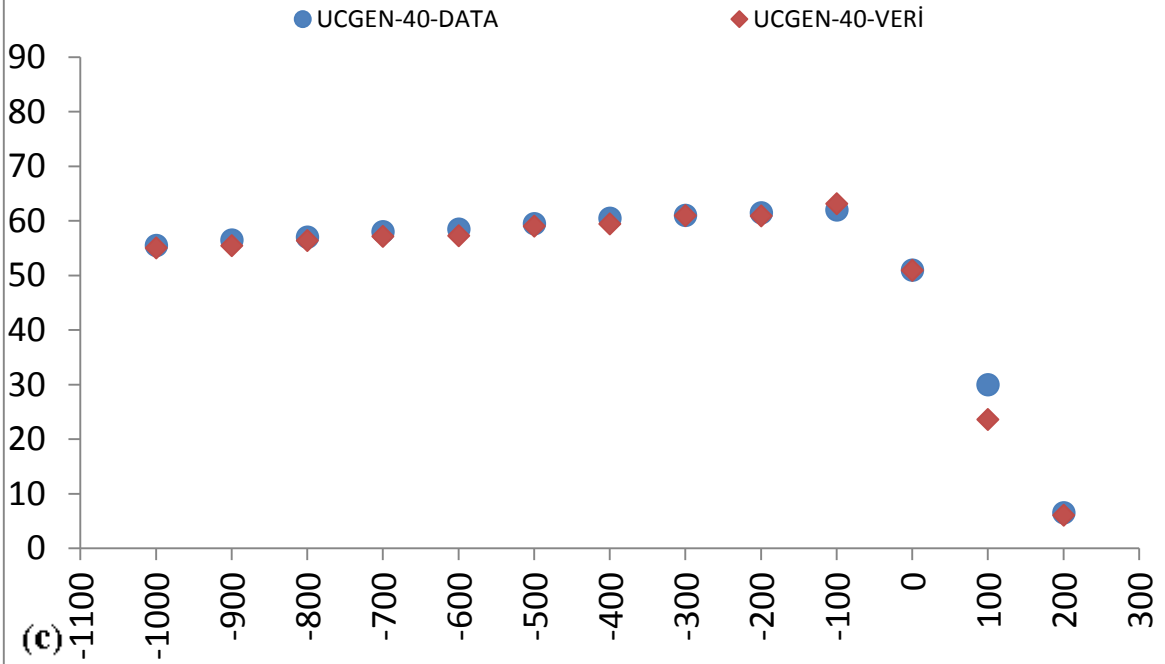


Menba Akım Derinlikleri (mm)		
Öztürkmen (2008)	Bu Tezde (SMRGT)	OMRH (%)
55,5	55,0	0,8
56,5	55,4	1,6
57,0	56,4	1,0
58,0	57,2	1,2
58,5	57,3	1,8
59,5	59,0	0,7
60,5	59,4	1,5
61,0	61,0	0,0
61,5	60,9	0,8
62,0	63,1	1,6
51,0	50,9	0,1
30,0	23,6	18,3
6,5	6,1	5,8
53,2	51,2	Ortalama
12,0	16,8	Standart Sapma
0,2	0,3	Değişim Katsayısı
-1,9	-2,2	Çarpıklık Katsayısı
	1,0	Korelasyon Katsayısı
	2,7	Ortalama Bağlı Hata(%)

DIKDORTGEN-40- SACILMA DİYAGRAMI



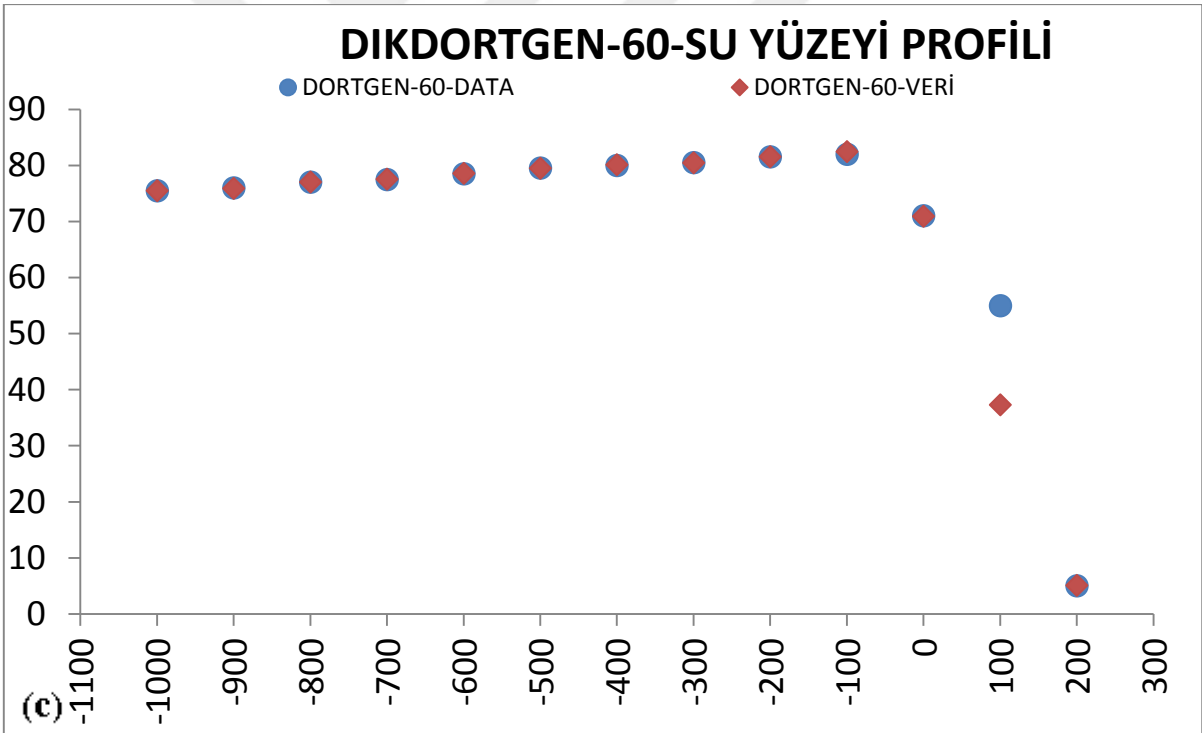
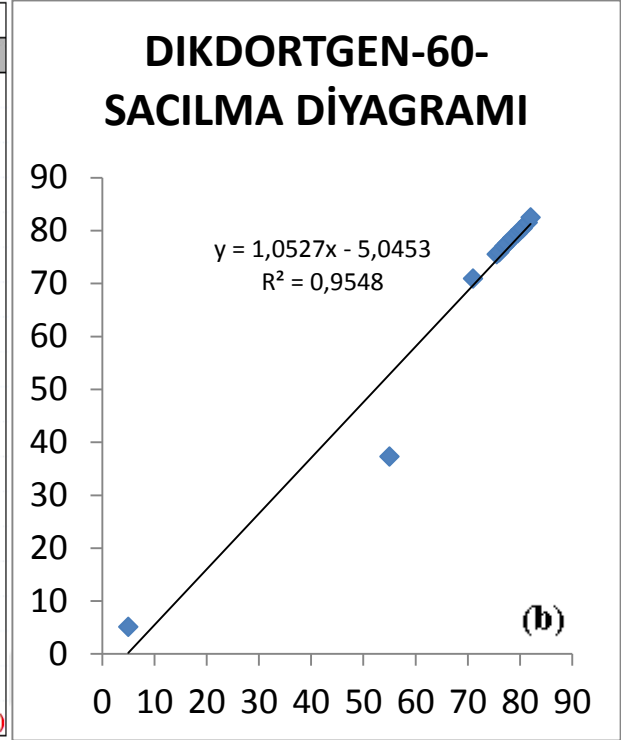
DIKDORTGEN-40-SU YÜZEYİ PROFİLİ



Şekil 4.11. 40 mm yükseklikli dikdörtgen eşik için ‘SMRGT’ yönteminin gerçek verilerle karşılaştırmalı sonuçları: (a) Sayısal sonuçlar, (b) Saçılma diyagramı, (c) Su yüzeyi profili

Şekil 4.12’de dikdörtgen kesitli ve yüksekliği $e = 60$ mm olan eşik için model sonuçları hem sayısal değerler olarak tablo şeklinde hem de görsel olarak iki farklı grafikte verilmiştir. Şekil 4.12(a)’da ilk iki kolonda görüldüğü gibi deneysel veriler ile model sonuçları neredeyse birebir aynıdır. Üçüncü kolonda ortalama mutlak rölatif hata sonuçlarından da bu benzerlik görülmektedir. Yine bu kolonda verilen korelasyon katsayısı, çarpıklık katsayısı gibi istatistiki sonuçlar modelin bu tür problemlerin çözümünde kullanılabilirliğini gösterir nicel verilerdir. Şekil 4.12(b)’de verilen saçılma diyagramına bakıldığında regresyon doğrusunun yatayla yaklaşık 45° ’lik bir açı yaptığı görülmektedir. Bu durumda yine modelin ne oranda doğru sonuçlar verdiğini göstermektedir. Determinasyon katsayısının yüksek olması ($R^2 = 0.9959$) model sonuçları ile deneysel veriler arasındaki istatistiksel ilişkinin matematiksel olarak ifade edilebileceğini göstermektedir. Şekil 4.12(c)’de deneysel olarak elde edilen su yüzeyi profili ile bulanık SMRGT modeli ile elde edilmiş su yüzeyi profilleri verilmiştir.

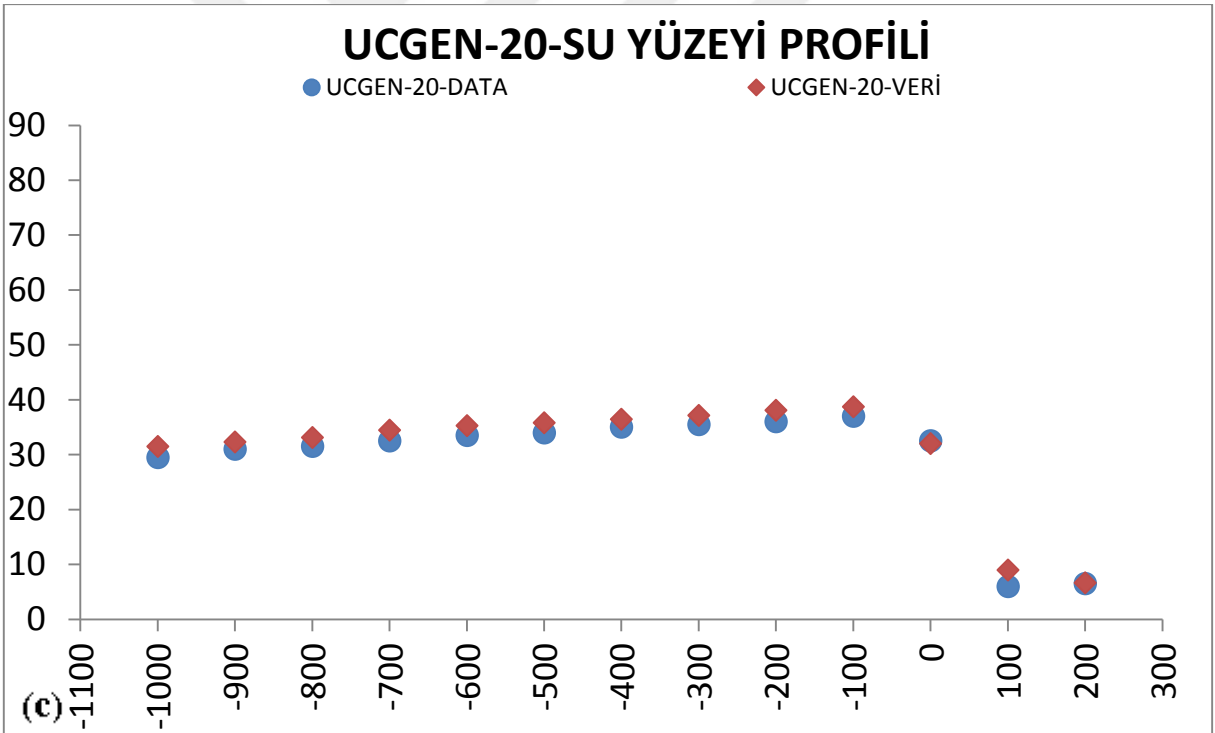
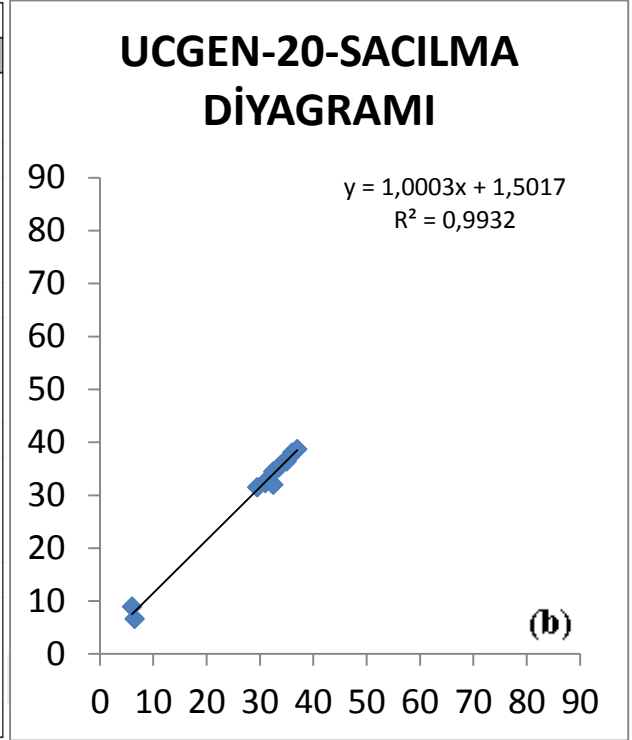
Menba Akım Derinlikleri (mm)		
Öztürkmen (2008)	Bu Tezde (SMRGT)	OMRH (%)
75.5	75,5	0,0
76,0	75,9	0,1
77,0	77,0	0,0
77.5	77,5	0,0
78.5	78,6	0,1
79.5	79,5	0,0
80,0	80,1	0,1
80.5	80,4	0,1
81.5	81,5	0,0
82,0	82,5	0,5
71,0	70,9	0,1
55,0	37,3	27,5
5,0	5,1	1,6
63,7	69,4	Ortalama
27,4	22,6	Standart Sapma
0,4	0,3	Değişim Katsayısı
-2,1	-2,5	Çarpıklık Katsayısı
(a)	1,0	Korelasyon Katsayısı
	2,3	Ortalama Bağlı Hata(%)



Şekil 4.12. 60 mm yükseklikli dikdörtgen eşik için ‘SMRGT’ yönteminin gerçek verilerle karşılaştırmalı sonuçları: (a) Sayısal sonuçlar, (b) Saçılma diyagramı, (c) Su yüzeyi profili

Şekil 4.13'de Üçgen kesitli ve yüksekliği $e = 20$ mm olan eşik için model sonuçları verilmiştir. Şekil 4.13(a)'da verilen iki ayrı sütun (Öztürkmen, 2008 ve SMRGT) üzerinde okunan değerler birbirine çok yakın olmakla birlikte karşılaştırmalı olarak ele alındığı zaman, dikdörtgen kesitli eşik tipi bulgularına oranla ortalama mutlak rölatif hata değerinin daha büyük olduğu görülmektedir. Öztürkmen (2008), çalışmasında belirttiği gibi kritik derinlik hesaplamasında (formülize edilmiş hali ile) bulunan sonuç ile ultrasonik seviye ölçüm probu ile bulunan sonuç arasında fark olduğu tespit edilmiştir. Ortalama 2.5 mm olarak hesaplanan bu ölçüm farkı ölçüm cihazının hassasiyetine bağlanmıştır. Buradaki farkın gerçek değeriyle (eşik orta noktasından hemen sonrası için) yazıldığı zaman ortaya çıkacak ortalama mutlak rölatif hata değeri sonuçlarını önemli ölçüde düşürecektir. Böylelikle bulunan değerler gerçek sonuçlara biraz daha yaklaşacaktır. Buna rağmen Şekil 4.13(b)'de verilen saçılma diyagramına bakıldığında regresyon doğrusunun yatayla yapmış olduğu açı değeri modelin ne oranda tutarlı sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır. Determinasyon katsayısının yüksek olması ($R^2 = 0.9932$) model sonuçları ile deneysel veriler arasındaki istatistiksel ilişkinin matematiksel olarak ifade edilebileceğini göstermektedir. Şekil 4.13(c)'de deneysel olarak elde edilen su yüzeyi profili ile bulanık SMRGT modeli ile elde edilmiş su yüzeyi profilleri verilmiştir. Yine burada da ve saçılma diyagramında da görüldüğü gibi iki ayrı su yüzü profili grafiği birbirine oldukça yakın değerlerdedir. Buna göre bulanık SMRGT yönteminin 20 mm yüksekliğindeki üçgen kesitli eşikler üzerinde gerçekleştirilen sel rejimindeki akımlar için doğru tahminlerde bulunduğu söylenebilir.

Menba Akım Derinlikleri (mm)		
Öztürkmen (2008)	Bu Tezde (SMRGT)	OMRH (%)
29,5	31,5	5,7
31,0	32,3	3,5
31,5	33,1	4,3
32,5	34,4	5,0
33,5	35,3	4,5
34,0	35,8	4,4
35,0	36,4	3,4
35,5	37,2	4,0
36,0	38,0	4,9
37,0	38,7	3,9
32,5	32,0	1,3
6,0	8,9	42,0
6,5	6,6	1,6
29,8	30,8	Ortalama
11,9	10,5	Standart Sapma
0,4	0,3	Değişim Katsayısı
-2,3	-2,0	Çarpıklık Katsayısı
(a)	1,0	Korelasyon Katsayısı
	6,8	Ortalama Bağlı Hata(%)



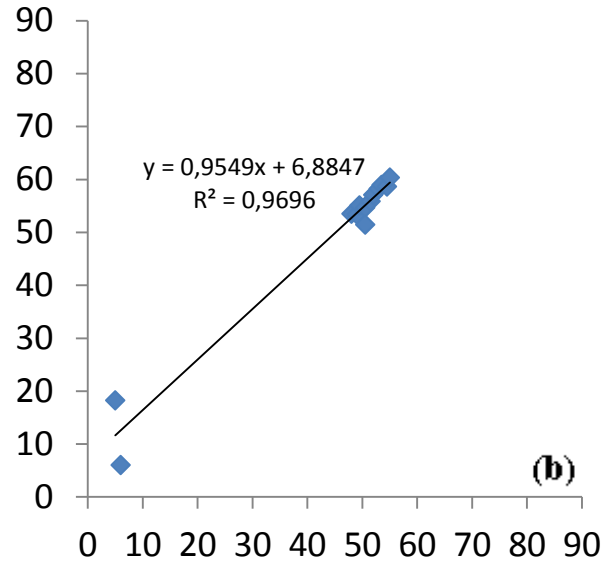
Şekil 4.13. 20 mm yükseklikli üçgen eşik için ‘SMRGT’ yönteminin gerçek verilerle karşılaştırmalı sonuçları: (a) Sayısal sonuçlar, (b) Saçılma diyagramı, (c) Su yüzeyi profili

Şekil 4.14'te üçgen kesitli ve yüksekliği $e = 40$ mm olan eşik için model sonuçları verilmiştir. Şekil 4.14(a)'da verilen iki ayrı kolon (Öztürkmen 2008 ve SMRGT) üzerinde okunan değerler karşılaştırmalı olarak ele alındığı zaman, dikdörtgen kesitli tüm eşik tipleri ve üçgen kesitli 20 mm yükseklikteki eşik tipi bulgularına oranla ortalama mutlak rölatif hata değerinin daha büyük olduğu görülmektedir. Şekil 4.14(c)'de deneysel olarak elde edilen su yüzeyi profili ile bulanık SMRGT modeli ile elde edilmiş su yüzeyi profilinde de görüldüğü gibi diğer sonuçlara göre noktasal çakışma birbirine yine de çok yakın olmakla birlikte küçükte olsa ayrışma söz konusudur. Bunun kaynağının ölçüm probu hatası ile birlikte eşik tepe noktası yüzey alanının çok küçük uzunlukta olduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü, eşik giriş kesitindeki maksimum kabarma derinliği ve eşik orta noktasında meydana gelmesi beklenen kritik derinlik noktalarının neredeyse çakıştığı ve düşmeye başlaması gereken noktanın kabarma yaparak (sıçrama) olması gereken noktadan bir miktar ileri bir noktada düşmeye başlamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 4.14(b)'de verilen saçılma diyagramına bakıldığında regresyon doğrusunun yatayla yapmış olduğu açı değeri modelin ne oranda tutarlı sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır. Determinasyon katsayısının yüksek olması ($R^2 = 0.9696$) model sonuçları ile deneysel veriler arasındaki istatistiksel ilişkinin matematiksel olarak ifade edilebileceğini göstermektedir.

Menba Akım Derinlikleri (mm)		
Öztürkmen (2008)	Bu Tezde (SMRGT)	OMRH (%)
48,0	53,5	9,8
49,0	53,4	7,6
49,5	55,1	9,7
50,5	54,7	7,0
51,5	55,9	7,2
52,0	57,0	8,3
53,0	58,2	8,4
53,5	59,0	8,7
54,5	58,6	6,5
55,0	60,3	8,3
50,5	51,5	1,6
5,0	18,2	226,0
6,0	6,0	0,5
38,3	49,3	Ortalama
22,5	16,9	Standart Sapma
0,6	0,3	Değişim Katsayısı
-1,2	-2,2	Çarpıklık Katsayısı
	1,0	Korelasyon Katsayısı
	23,8	Ortalama Bağıl Hata(%)

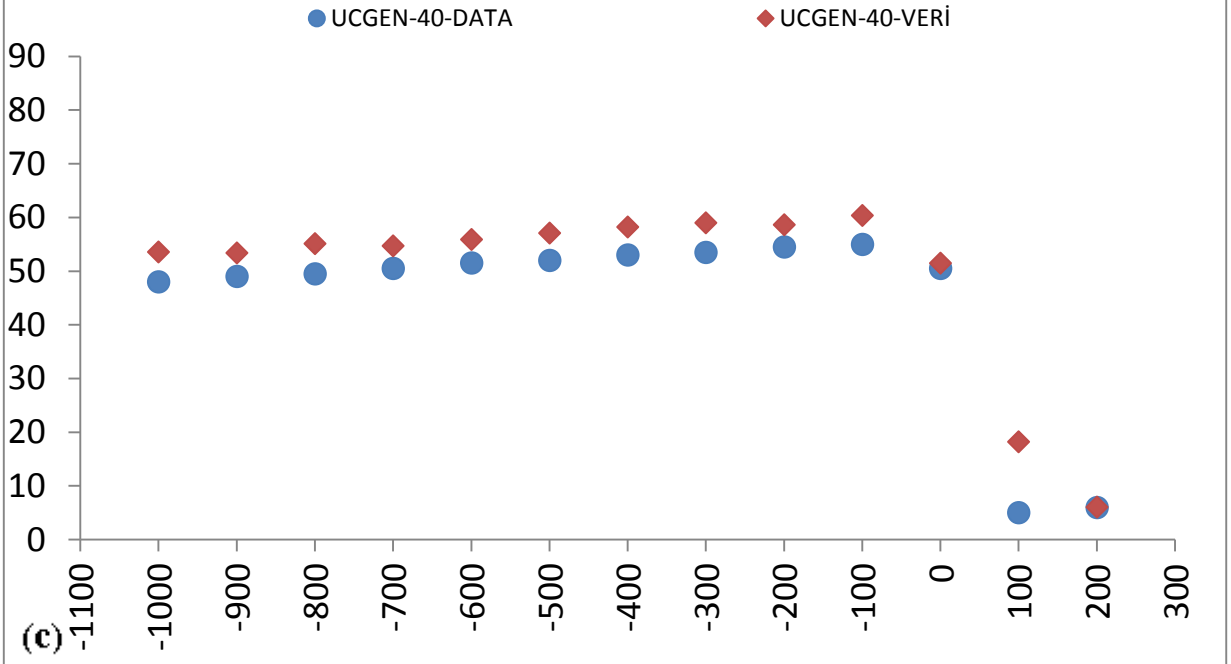
(a)

UCGEN-40-SACILMA DİYAGRAMI



(b)

UCGEN-40-SU YÜZEYİ PROFİLİ

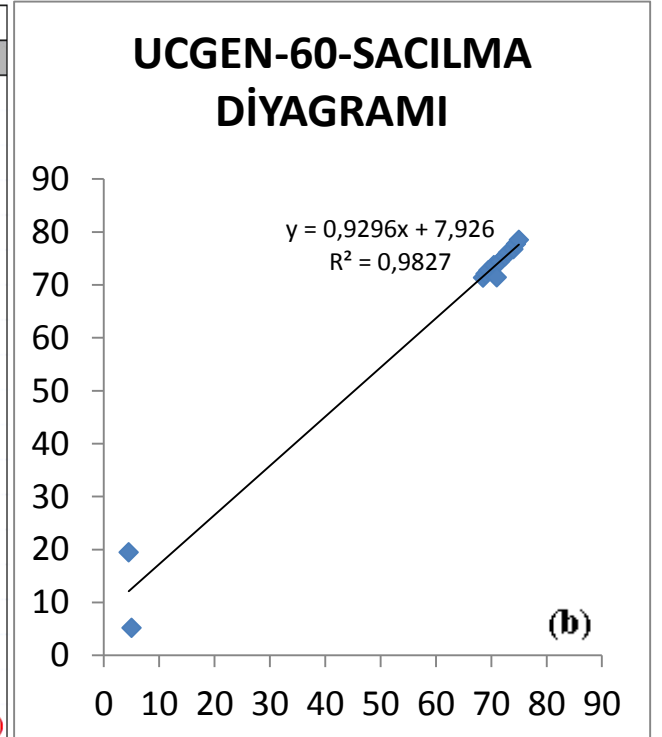


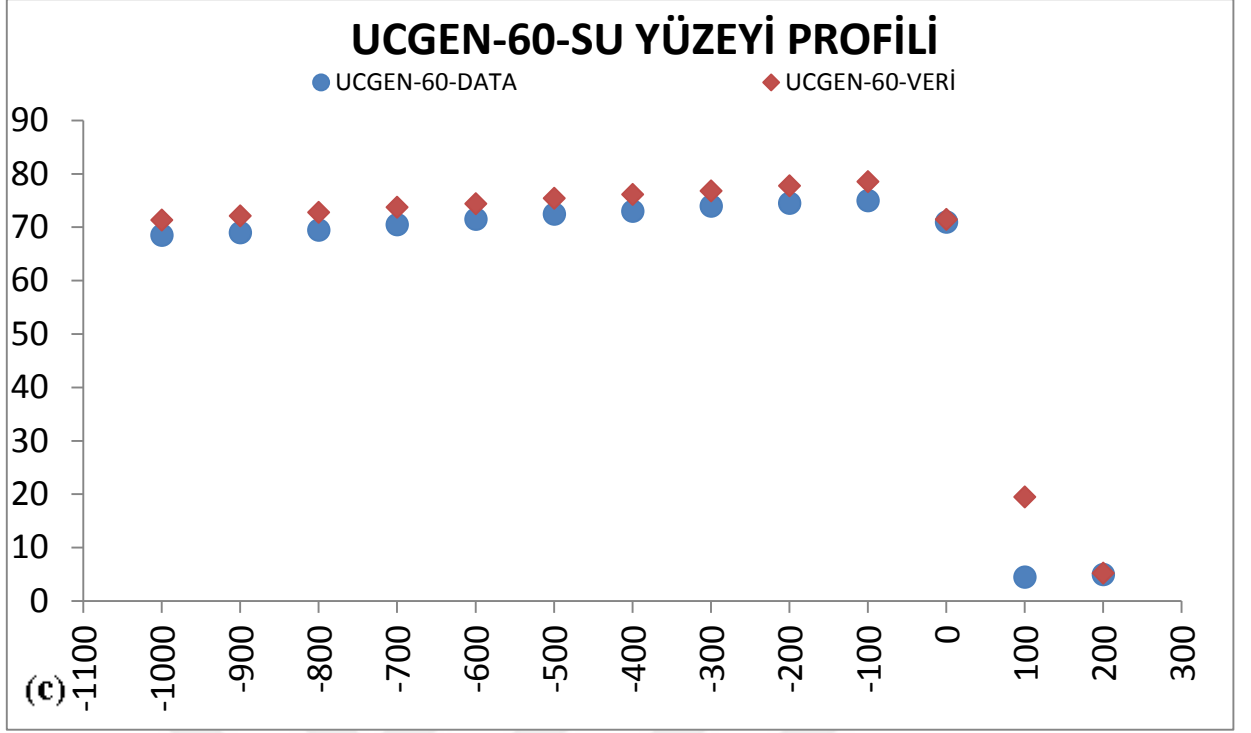
(c)

Şekil 4.14. 40 mm yükseklikli ucgen eşik için ‘SMRGT’ yönteminin gerçek verilerle karşılaştırmalı sonuçları: (a) Sayısal sonuçlar, (b) Saçılma diyagramı, (c) Su yüzeyi profili

Şekil 4.15'te üçgen kesitli ve yüksekliği $e = 60$ mm olan eşik için model sonuçları verilmiştir. Şekil 4.15(a)'da verilen iki ayrı kolon (Öztürkmen 2008 ve SMRGT) üzerinde okunan değerler karşılaştırmalı olarak ele alındığı zaman, üçgen kesitli ve 40 mm yükseklikteki eşik tipi sonuçları dışındaki yukarıda verilen diğer tüm sonuçlara yaklaşık olarak benzerlik göstermektedir. Şekil 4.15(b)'de verilen saçılma diyagramına bakıldığında regresyon doğrusunun yatayla yapmış olduğu açı değeri modelin ne oranda tutarlı sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır. Determinasyon katsayısının yüksek olması ($R^2 = 0.9696$) modelin doğru çalıştığının farklı bir göstergesidir. Şekil 4.15(c)'de deneysel olarak elde edilen su yüzeyi profili ile bulanık SMRGT modeli ile elde edilmiş su yüzeyi profilleri verilmiştir. Şekilden açık bir şekilde anlaşıldığı üzere neredeyse her iki profil üst üste çakışmaktadır. Bu grafiğin de saçılma diyagramını ve tabloyu desteklediği söylenebilir. Buna göre bulanık SMRGT yönteminin 60 mm yüksekliğindeki üçgen kesitli eşikler üzerinde gerçekleştirilen sel rejimindeki akımlar için doğru tahminlerde bulunduğu söylenebilir.

Menba Akım Derinlikleri (mm)		
Öztürkmen (2008)	Bu Tezde (SMRGT)	Hata (%)
68,5	71,4	3,6
69,0	72,1	3,9
69,5	72,8	4,0
70,5	73,8	3,9
71,5	74,4	3,5
72,5	75,4	3,4
73,0	76,1	3,7
74,0	76,8	3,2
74,5	77,8	3,8
75,0	78,5	4,0
71,0	71,4	0,5
4,5	19,5	284,8
5,0	5,2	4,0
61,2	65,0	Ortalama
27,6	23,7	Standart Sapma
0,5	0,4	Değişim Katsayısı
-2,4	-2,2	Çarpıklık Katsayısı
(a)	1,0	Korelasyon Katsayısı
	25,1	Ortalama Bağlı Hata(%)

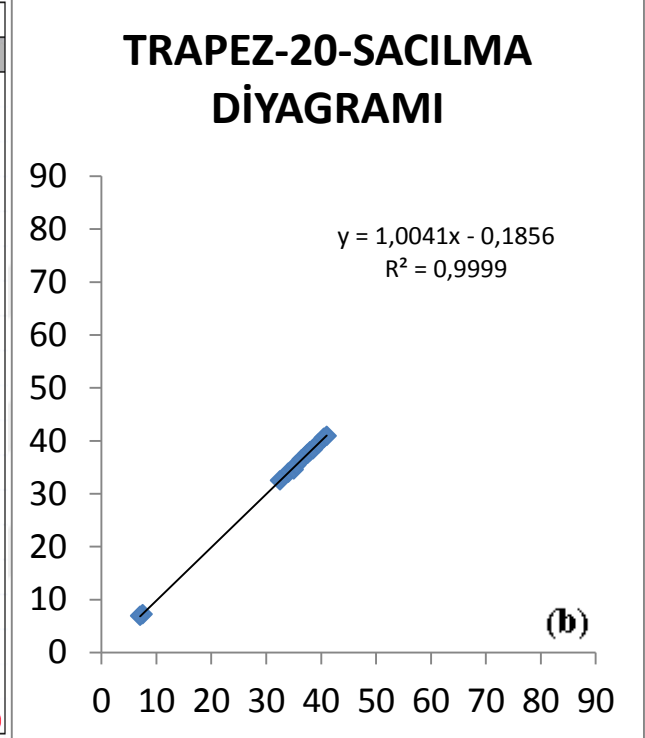


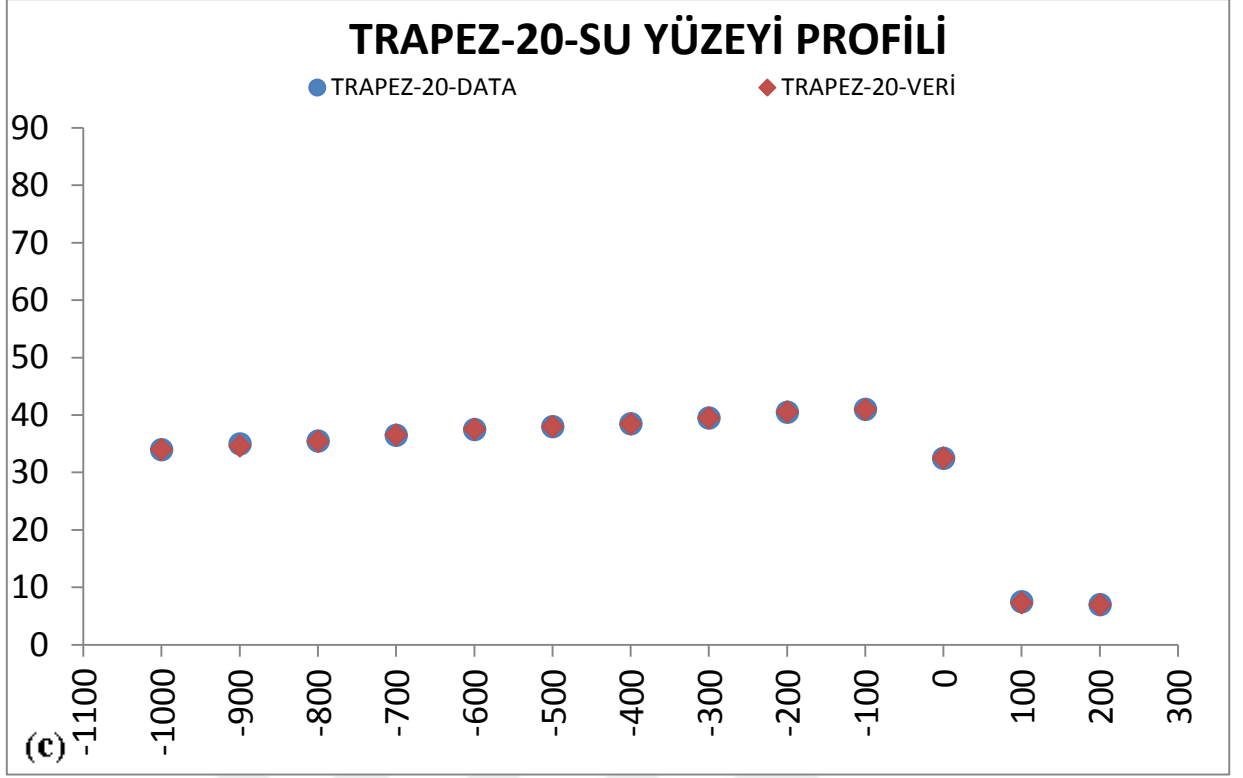


Şekil 4.15. 60 mm yükseklikli ucgen eşik için ‘SMRGT’ yönteminin gerçek verilerle karşılaştırmalı sonuçları: (a) Sayısal sonuçlar, (b) Saçılma diyagramı, (c) Su yüzeyi profili

Şekil 4.16’da trapez kesitli ve yüksekliği $e = 20$ mm olan eşik için model sonuçları verilen iki ayrı kolon Şekil 4.16(a) (Öztürkmen 2008 ve SMRGT) üzerinde okunan değerler yukarıda verilen tüm farklı eşik tipi ve yüksekliği için elde edilen sonuçlara göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Bununla birlikte Şekil 4.16(b)’de verilen saçılma diyagramına bakıldığında regresyon doğrusunun yatayla hemen hemen 45° ’lik bir açı yaptığı görülmektedir. Determinasyon katsayısının yüksek olması ($R^2 = 0.9999$) model sonuçları ile deneysel veriler arasındaki istatistiksel ilişkinin matematiksel olarak mükemmel bir şekilde ifade edilebileceğini göstermektedir. Şekil 4.16(c)’de deneysel olarak elde edilen su yüzeyi profili ile bulanık SMRGT modeli ile elde edilmiş su yüzeyi profillerinde de görüldüğü gibi her iki profil neredeyse birebir olarak çakışmıştır. Bu grafiğin de saçılma diyagramını ve tabloyu desteklediği söylenebilir. Buna göre bulanık SMRGT yönteminin 20 mm yüksekliğindeki trapez kesitli eşikler üzerinde gerçekleştirilen sel rejimindeki akımlar için doğru tahminlerde bulunduğu söylenebilir.

Menba Akım Derinlikleri (mm)		
Öztürkmen (2008)	Bu Tezde (SMRGT)	Hata (%)
34,0	34,0	0,0
35,0	34,6	0,9
35,5	35,5	0,1
36,5	36,5	0,1
37,5	37,5	0,1
38,0	38,0	0,0
38,5	38,4	0,1
39,5	39,5	0,0
40,5	40,6	0,2
41,0	40,9	0,1
32,5	32,5	0,1
7,5	7,3	2,6
7,0	6,9	0,9
31,0	32,5	Ortalama
13,7	11,5	Standart Sapma
0,4	0,4	Değişim Katsayısı
-2,0	-2,0	Çarpıklık Katsayısı
(a)	1,0	Korelasyon Katsayısı
	0,4	Ortalama Bağlı Hata(%)

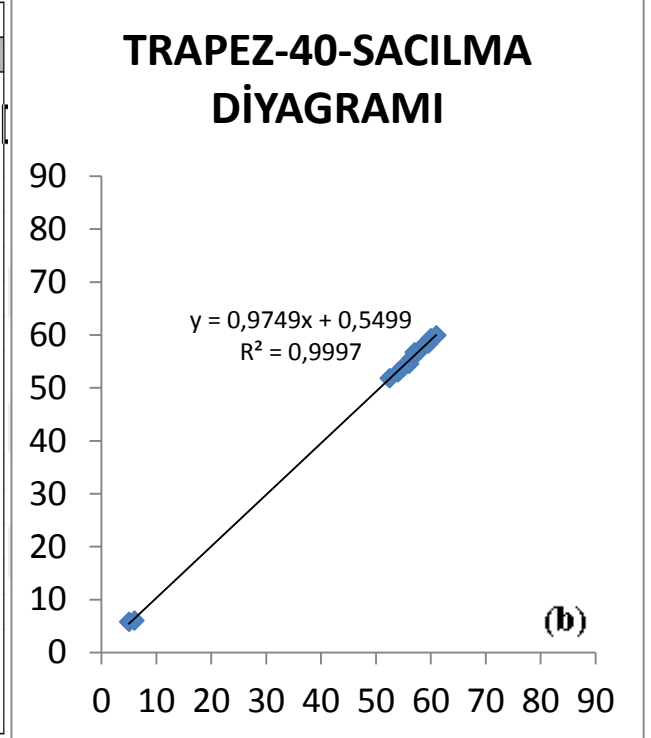


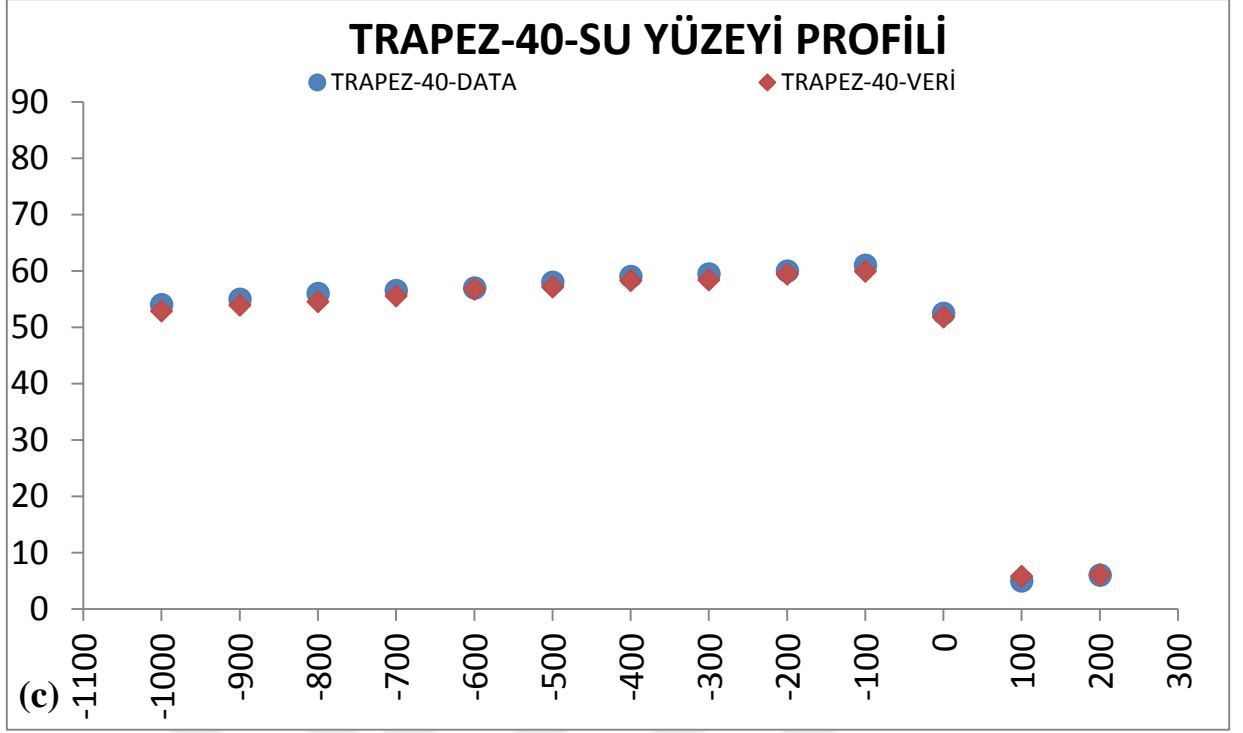


Şekil 4.16. 20 mm yükseklikli trapez eşik için ‘SMRGT’ yönteminin gerçek verilerle karşılaştırmalı sonuçları: (a) Sayısal sonuçlar, (b) Saçılma diyagramı, (c) Su yüzeyi profili

Şekil 4.17’de trapez kesitli ve yüksekliği $e = 20$ mm olan eşik için model sonuçları verilen iki ayrı kolon Şekil 4.17(a) (Öztürkmen 2008 ve SMRGT) üzerinde okunan değerler yukarıda verilen tüm farklı eşik tipi ve yüksekliği için elde edilen sonuçlara göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Bununla birlikte Şekil 4.17(b)’de verilen saçılma diyagramına bakıldığında regresyon doğrusunun yatayla hemen hemen 45° ’lik bir açı yaptığı görülmektedir. Determinasyon katsayısının yüksek olması ($R^2 = 0.9997$) model sonuçları ile deneysel veriler arasındaki istatistiksel ilişkinin matematiksel olarak mükemmel bir şekilde ifade edilebileceğini göstermektedir. Şekil 4.17(c)’de deneysel olarak elde edilen su yüzeyi profili ile bulanık SMRGT modeli ile elde edilmiş su yüzeyi profillerinde de görüldüğü gibi her iki profil neredeyse birebir olarak çakışmıştır. Bu grafiğin de saçılma diyagramını ve tabloyu desteklediği söylenebilir. Buna göre bulanık SMRGT yönteminin 40 mm yüksekliğindeki trapez kesitli eşikler üzerinde gerçekleştirilen sel rejimindeki akımlar için doğru tahminlerde bulunduğu söylenebilir.

Menba Akım Derinlikleri (mm)		
Öztürkmen (2008)	Bu Tezde (SMRGT)	Hata (%)
54,0	52,9	1,7
55,0	53,9	1,7
56,0	54,5	2,2
56,5	55,6	1,4
57,0	56,8	0,4
58,0	57,2	1,2
59,0	58,3	1,0
59,5	58,4	1,6
60,0	59,4	0,8
61,0	59,9	1,5
52,5	51,8	1,1
5,0	5,8	13,6
6,0	6,1	0,9
47,1	48,5	Ortalama
22,0	19,1	Standart Sapma
0,5	0,4	Değişim Katsayısı
-1,7	-2,1	Çarpıklık Katsayısı
(a)	1,0	Korelasyon Katsayısı
	2,2	Ortalama Bağıl Hata(%)

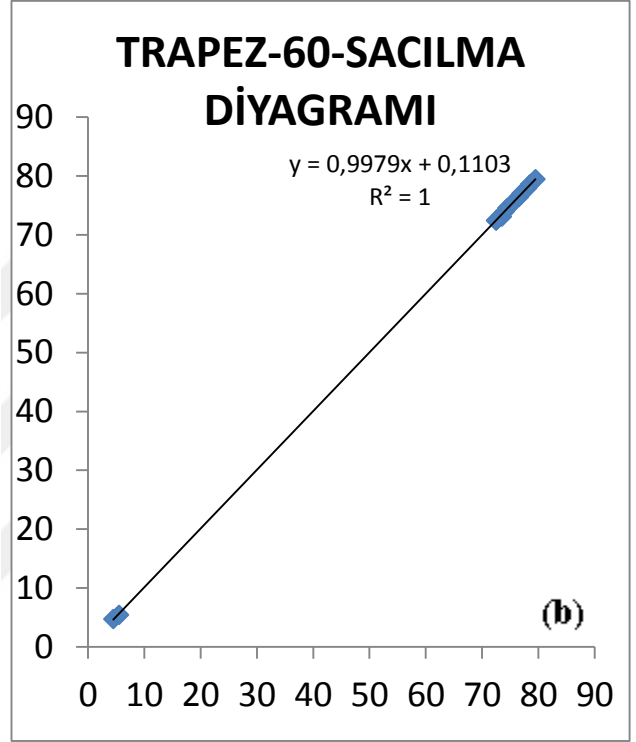


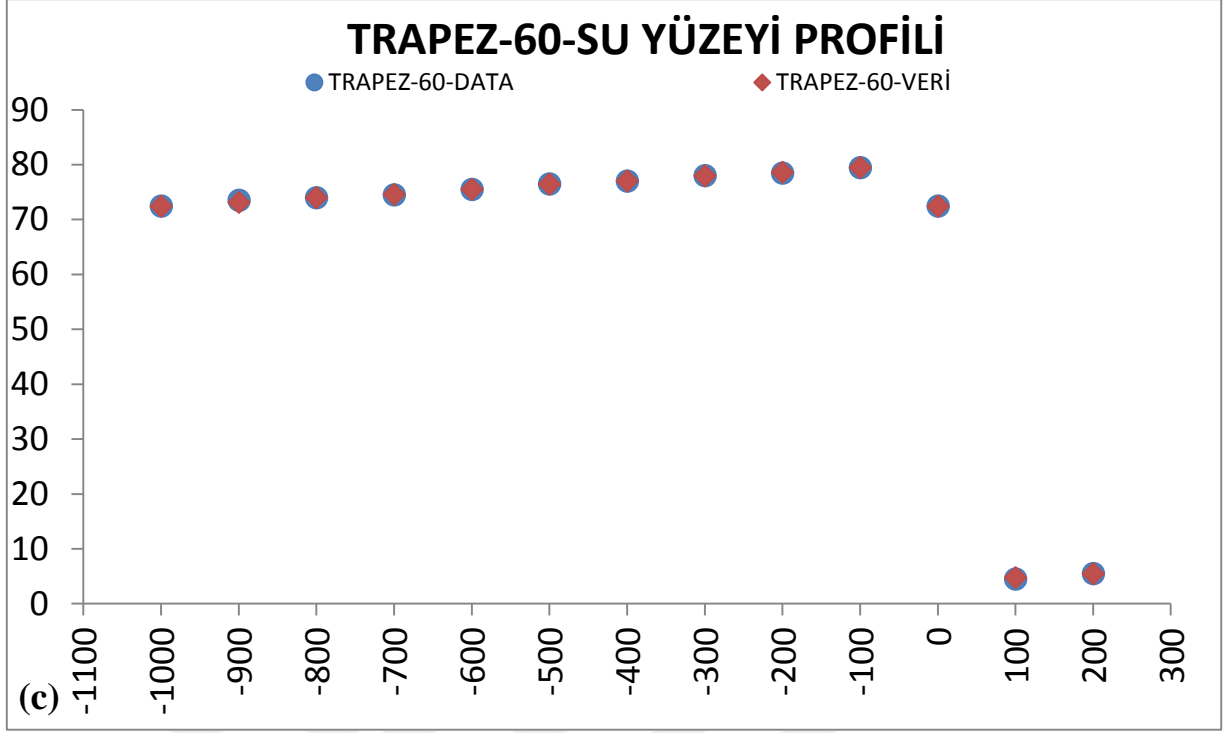


Şekil 4.17. 40 mm yükseklikli trapez eşik için ‘SMRGT’ yönteminin gerçek verilerle karşılaştırmalı sonuçları: (a) Sayısal sonuçlar, (b) Saçılma diyagramı, (c) Su yüzeyi profili

Şekil 4.18’de trapez kesitli ve yüksekliği $e = 20$ mm olan eşik için model sonuçları verilen iki ayrı kolon Şekil 4.18(a) (Öztürkmen 2008 ve SMRGT) üzerinde okunan değerler yukarıda verilen tüm farklı eşik tipi ve yüksekliği için elde edilen sonuçlara göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Bununla birlikte Şekil 4.18(b)’de verilen saçılma diyagramına bakıldığında regresyon doğrusunun yatayla hemen hemen 45° ’lik bir açı yaptığı görülmektedir. Determinasyon katsayısının yüksek olması ($R^2 = 1.00$) model sonuçları ile deneysel veriler arasındaki istatistiksel ilişkinin matematiksel olarak mükemmel bir şekilde ifade edilebileceğini göstermektedir. Şekil 4.18(c)’de deneysel olarak elde edilen su yüzeyi profili ile bulanık SMRGT modeli ile elde edilmiş su yüzeyi profillerinde de görüldüğü gibi her iki profil neredeyse birebir olarak çakışmıştır. Bu grafiğin de saçılma diyagramını ve tabloyu desteklediği söylenebilir. Buna göre bulanık SMRGT yönteminin 60 mm yüksekliğindeki trapez kesitli eşikler üzerinde gerçekleştirilen sel rejimindeki akımlar için doğru tahminlerde bulunduğu söylenebilir.

Menba Akım Derinlikleri (mm)		
Öztürkmen (2008)	Bu Tezde (SMRGT)	Hata (%)
72,5	72,4	0,1
73,5	73,1	0,5
74,0	74,0	0,0
74,5	74,6	0,1
75,5	75,5	0,0
76,5	76,4	0,1
77,0	77,0	0,0
78,0	77,9	0,1
78,5	78,6	0,1
79,5	79,5	0,0
72,5	72,4	0,1
4,5	4,8	4,8
5,5	5,5	0,6
76,3	64,7	Ortalama
2,1	26,6	Standart Sapma
0,0	0,4	Değişim Katsayısı
-1,3	-2,1	Çarpıklık Katsayısı
(a)	1,0	Korelasyon Katsayısı
	0,5	Ortalama Bağıl Hata(%)





Şekil 4.18. 60 mm yükseklikli trapez eşik için ‘SMRGT’ yönteminin gerçek verilerle karşılaştırmalı sonuçları: (a) sayısal sonuçlar, (b) saçılma diyagramı, (c) su yüzeyi profili

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Su kaynakları çalışmalarında (dere ıslahı, akarsu düzenleme çalışmaları gibi) açık kanal akımlarında, su yüzeyi profilinin önceden belirlenmesinin büyük bir önemi vardır. Su yüzü profillerinin belirlenmesi amacıyla literatürde çok sayıda ampirik bağıntı veya modelleme teknikleri önerilmektedir. Bu çalışmada açık kanal akımlarında farklı hidrolik koşullar altında su yüzeyi profilinin tahmin edilmesine yönelik bir model geliştirilmiştir. Modelleme için ilk kez Toprak (2009) tarafından geliştirilen ‘SMRGT’ yöntemi kullanılmıştır. Model sonuçları deneysel olarak elde edilmiş olan gerçek verilerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada 6 tane istatistik büyüklük ve ortalama mutlak rölatif hata esas alınmıştır. Model sonuçları ile gerçek verilerin istatistik büyüklüklerinin oldukça birbirine yakın, ikisinin arasındaki korelasyon katsayısının yüksek ve ortalama mutlak rölatif hatanın %7 diliminde olduğu görülmüştür. Karşılaştırma esnasında hidrolik sıçramanın yaşandığı noktada deneysel sonuçlarla model sonuçları arasındaki farklılık akımın kararsızlığından kaynaklanmaktadır. Aksi durumda mutlak rölatif hatanın %1

seviyelerine düşeceği tahmin edilmektedir. Bu durum modelin açık kanal akımlarında farklı hidrolik koşullar altında su yüzeyi profilinin tahmin edilmesinde oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra gerçek veriler ile model sonuçlarının saçılma diyagramı elde edilmiştir. Saçılma diyagramında ortalama doğrusunun yatayla yaklaşık 45 derece açı yaptığı görülmektedir. Bu durum modelin tarafsızlığını göstermektedir. Neredeyse noktaların tamamının ortalama doğrusu üzerinde veya ona yakın dağılmış olması ise modelin doğru tahminde bulunduğu anlamına gelmektedir. Ayrıca deneysel olarak elde edilen su yüzeyi profili ile modelin simülasyonunun üst üste çakıştığı görülmüştür. Bu da modelin su yüzeyi profilinin simülasyonunda başarılı olduğu anlamına gelmektedir. Sonuç olarak Bulanık SMRGT yönteminin açık kanal akımlarında farklı hidrolik koşullar altında su yüzeyi profilinin tahmin edilmesinde güvenle kullanılabileceği söylenebilir. Bulanık SMRGT tekniğinin çok basit, gerçekçi, fizik tabanlı ve pahalı paket programları gerektirmeyen bir teknik olması nedeniyle modellemede araştırmacılara büyük kolaylıklar sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdeen MAM, 2006. Development of Artificial Neural Network Model for Simulating the Flow Behavior in Open Channel Infested by Submerged Aquatic Weeds, *Journal of Mechanical Science and Technology* 20 (10): 1576 – 1589.
- Altaş E, 2017. Açık Kanallarda Farklı Hidrolik Koşullar Altında Su Yüzü Profilinin Bulanık SMRGT Yöntemiyle Belirlenmesi (Determination of Water Surface Profiles in Open Channels Under Different Hydraulic Conditions Using Fuzzy SMRGT Method, MSc Thesis, Bitlis Eren University, Institute of Science and Technology.
- Altaş E, Aydın MC, Toprak ZF, 2017. Determination of Water Surface profile in Open Canal Using a New Fuzzy Modeling Technique (SMRGT), *International Conference on Water Resource and Environmental (WRE 2107)*, July 26 – 29, 2017, Qingdao – China.

- Aydin MC, 2012. CFD Simulation of Free-Surface Flow over Triangular Labyrinth Side Weir. *Advances in Engineering Software*, 45(1): 159-166.
- Aydin MC, Emiroglu ME, 2013. Determination of Capacity of Labyrinth Side Weir By CFD. *Flow Measurement and Instrumentation*, 29: 1–8.
- Aydin MC, 2015. Investigation of a Sill Effect on Rectangular Side-Weir Flow by Using CFD. *Journal of Irrigation Drainage Engineering* 142(2): 1943-4774.
- Aydin MC, Ozturk M, Yucel A, 2015. Experimental And Numerical Investigation of Self-Priming Siphon Side Weir On A Straight Open Channel. *Flow Measurement and Instrumentation*, 45: 140-150.
- Aytek A, Toprak ZF, 2001. Fresh Water-Saltwater Distribution and Freshwater Potential of Turkey, in *Proc. International Symposium on Water Resources and Environmental Impact Assessment*, pp: 233-238.
- Azimi H, Shabanlou S, 2015. The Flow Pattern in Triangular Channels Along The Side Weir For Subcritical Flow Regime. *Flow Measurement and Instrumentation*, 46(A): 170–178.
- Bayazit M, 1996. *İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Bhattacharjya RK, 2006. Optimal Design of Open Channel Section Incorporating Critical Flow Conditions, *Journal of Irrigation Drainage Engineering* 132 (5): 513 – 518.
- Bhattacharjya RK, Satish MG, 2007. Optimal Design of a Stable Trapezoidal Channel Section Using Hybrid Optimization Techniques, *Journal of Irrigation Drainage Engineering* 133 (4): 323 – 329.
- Blade E, Valentin MG, Dolz J, Hernández JL, Corestein G, Juny MS, 2012. Integration Of 1D And 2D Finite Volume Schemes For Computations Of Water Flow in Natural Channels. *Advances in Water Resources*, 42: 17–29.

- Canteroa F, Orgazb OC, Marina AG, Ayuso JL, Deyc S, 2015. Free Surface Profiles in River Flows: Can Standard Energy-Based Gradually-Varied Flow Computations Be Pursued. *Journal of Hydrology*, 529(3): 1644–1656.
- Castro PAD, Camargo HA, 2004. Learning And Optimization Of Fuzzy Rule Base By Means Of Self-Adaptive Genetic Algorithm Fuzzy Systems, 2004. *Proceedings. 2004 IEEE International Conference on (2)*: 1037-1042.
- Cheng NS, 2007. Power Law Index For Velocity Profiles in Open Channel Flows. *Advances in Water Resources*, 30(8): 1775–1784.
- Coskun C, 2014. Automated Fuzzy Model Generation and an Analysis of the Proposed Method. *International Journal of Open Problems in Computer Science and Mathematics* 7(2): 1998-6262.
- Çengel YA, Cimbala JM, 2008. Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları, Güven Bilimsel, İzmir.
- Chahar BR, 2005. Optimal Design of Parabolic Canal Section, *Journal of Irrigation Drainage Engineering* 131 (6): 546 – 554.
- Çakır A, 2017. İşitsel peyzajda ses çevresi memnuniyet düzeyinin bulanık mantık ile tahmin edilmesi: Diyarbakır Suriçi uygulaması, Doktora Tezi, ITÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017 (Prediction of sound environment pleasantness level by fuzzy logic in the soundscape: Diyarbakir Suriçi Application, PhD Thesis, ITU, Institute of Science and Technology, 2017.
- Çağatay HO, Kocaman S, 2011. Değişken Açık Kanal Akımında Mansap Tabanında Engel Bulunması Etkisinin İncelenmesi, İİ. Su Yapıları Sempozyumu - 16-18 Eylül 2011, Dicle Üniversitesi-Diyarbakır, s: 193-202.
- Das A, 2000. Optimal Channel Cross Section with Composite Roughness, *Journal of Irrigation Drainage Engineering* 126 (1): 68 – 72.

- Das(a) A, 2007. Optimal Design of Channel Having Horizontal Bottom and Parabolic Sides, *Journal of Irrigation Drainage Engineering* 133 (2): 192 – 197.
- Das(b) A, 2007. Flooding Probability Constrained Optimal Design of Trapezoidal Channels, *Journal of Irrigation Drainage Engineering* 133 (1): 53 – 60.
- Depeweg H, Urquieta ER, 2004. GIS Tools and the Design of Irrigation Canals, *Irrigat Drain* 53 (3): 301 – 314.
- Dubos B, 1988. Application of the Manning and Strickler Formula to Land Improvement Projects in Cote-D'Ivoire, *Oleagineux* 43 (2): 51–53.
- Ermolin Y, 2000. Errors in Measuring the Flow Discharge in a Trapezoidal Open Canal, *Rural Environ Eng* 39: 74 – 81.
- Fiorot GH, Maciel GF, Cunha EF, Kitano C, 2015. Expermental Setup For Measuring Roll Waves on Laminar Open Channel Flows. *Flow Measurement and Instrumentation*, 41: 149-157.
- Flynn LE, Marino MA, 1987. Canal Design: Optimal Cross-Sections, *Journal of Irrigation Drainage Engineering* 113 (3): 335 – 355.
- Froehlich DC, 1994. Width and Depth-Constrained Best Trapezoidal Section, *Journal of Irrigation Drainage Engineering* 120 (4): 828 – 835.
- Guo CY, Hughes WC, 1984. Optimal Channel Cross-Section With Freeboard, *Journal of Irrigation Drainage Engineering* 110 (3): 304 – 314.
- Hamidi, N, Toprak ZF, Gülsever H, Sungur M, 2013. Kuraklık İndisinin SMRGT Yöntemi İle Modellenmesi, III. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi (TIKDEK 2013), 3-5 Haziran 2013, İstanbul.
- Hirpurkar P, Ghare AD, 2014. Parameter Estimation for the Nonlinear Forms of the Muskingum Model. *Journal of Hydrologic Engineering* 20 (8): 04014085.

- Hosseini R, Amini A, 2015. Scour Depth Estimation Methods Around Pile Groups KSCE Journal of Civil Engineering 19 (7): 2144-2156.
- Inoue H, Kamei K, 1998. Rule Paring Method for Crossover in GA for Automatic Generation of Fuzzy Control Rules 1998 IEEE World Congress on Computational Intelligence, Anchorage, USA, pp:1223-1228.
- Jain A, Bhattacharjya RK, Sanaga S, 2004. Optimal Design of Composite Channels Using Genetic Algorithm, Journal of Irrigation Drainage Engineering 130 (4): 286 – 295.
- Kamel B, Ilhem K, Ali F, Abdelbaki D, 2014. 3D Simulation of Velocity Profile of Turbulent Flow in Open Channel with Complex Geometry. Physics Procedia 8th International Conference on Material Sciences, 55: 119-128.
- Kissi M, Ramdani M, Tollabi M, Zakarya D, 2004. Determination of Fuzzy Logic Membership Functions Using Genetic Algorithms: Application to Structure–Odor Modeling. Journal of Molecular Modeling 10 (5-6): 335-341.
- Kraa EY, Merkleyb GP, 2004. Mathematical Modeling of Open-Channel Velocity Profiles for Float Method Calibration. Agricultural Water Management, 70(3): 229–244.
- Koopaei KB, Valentine EM, Swailes DC, 2000. Optimal Design of Parabolic-bottomed Triangle Canals, Journal of Irrigation Drainage Engineering 126 (6): 408 – 411.
- Kozlova V, Kuznetsov N, 2008. On Behaviour Of Free-Surface Profiles For Bounded Steady Water Waves. Journal de Mathematiques Pures et Appliquées, 90(1): 1–14.
- Ladopoulos EG, 2010. Singular Integral Equations in Potential Flows of Open Channel Transitions. Computers & Fluids, 39(9): 1451–1455.
- Liang Z, Fengb Z, Guangxianga X, 2012. Comparison of Fractal Dimension Calculation Methods for Channel Bed Profiles International Conference on Modern Hydraulic Engineering China, 28: 252-257.

- Liu S, Vitae A, Fan M, Xue J, 2014. The Mechanical Energy Equation For Total Flow in Open Channels. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*, 26(3): 416–423.
- Loganathan GV, 1991. Optimal-design of Parabolic Canals, *Journal of Irrigation Drainage Engineering* 117 (5): 716 – 735.
- Mironenko AP, Willardson LS, Jenab SA, 1984. Parabolic Canal Design and Analysis, *Journal of Irrigation Drainage Engineering* 110 (2): 241 – 246.
- Moharana S, Khatua KK, 2014. Prediction of Roughness Coefficient of a Meandering Open Channel Flow Using Neuro Fuzzy Inference System. *Measurement*, 51: 112-113.
- Monadjemi P, 1994. General Formulation of Best Hydraulic Channel Section, *Journal of Irrigation Drainage Engineering* 120 (1): 27 – 35.
- Mondelli G, Gastellano G, Attolico G, Distanto C, 1998. Parallel Genetic Evolution Of Membership Functions And Rules For A Fuzzy Controller. *High-Performance Computing and Networking, International Conference and Exhibition (Conference proceedings)*, 1998 Amsterdam (The Netherlands), 21.-23. April 1998. Springer Verlag, Berlin.
- Nycandera J, Hoogb A, Frankcombeb LM, 2008. Open Boundary Conditions For Non-Linear Channel Flow. *Ocean Modelling*, 24(3-4): 108-121.
- Niazkar M, Afzali SH, 2014. Assessment Of Modified Honey Bee Mating Optimization For Parameter Estimation Of Nonlinear Muskingum Models. *Journal of Hydrologic Engineering* 20 (4): 04014055.
- Öztürkmen G, 2008. Açık Kanallarda Su Yüzü Profilinin Farklı Hidrolik Koşullar Altında Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Parmar KS, Bhardwaj R, 2013. Wavelet And Statistical Analysis Of River Water Quality Parameters. *Applied Mathematics and Computation*. 219 (20): 10172-10182.

- Parmar KS, Bhardwaj R, 2014. River Water Prediction Modeling Using Neural Networks, Fuzzy and Wavelet Coupled Model. Water Resource Management.
- Parmar KS, Bhardwaj R, 2015. River Water Prediction Modeling Using Neural Networks, Fuzzy And Wavelet Coupled Model. Water Resources Management 29 (1): 17-33.
- Peck DP, 2009. Computation Of Water Surface Profiles in Open Channels. Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey Applications of Hydraulics Chapter A15.
- Siam J, 2002. On the Modeling and Stabilization of Flows in Networks of Open Canals, Control Optim. 41 (1): 164 – 180.
- Song CG, Seum İW, Do King Y, (2012). Analysis of Secondary Current Effect in The Modeling Of Shallow Flow in Open Channels. Advances in Water Resources, 41: 29-48.
- Songur M, Toprak ZF, Hamidi N, Dabanlı A, 2013. A Case Study on Infrastructure Leakage Index as a Regulatory Tool in the Water Distribution Networks, 3rd International Water Congress and Exhibition (3. Uluslararası Su Kongresi ve Segisi), 21-24 March, Bursa.
- Swamee PK, Mishra GC, Chahar BR, 2000. Comprehensive Design of Minimum Cost Irrigation Canal Sections, Journal of Irrigation Drainage Engineering 126 (5): 322 – 327.
- Swamee PK, Mishra GC, Chahar BR, 2002. Design of Minimum Waterloss Canal Sections, Journal of Hydraulic Research 40 (2): 215 – 220.
- Şen Z, 1999. Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Modelleme İlkeleri, Ders Notları, İTÜ, İnşaat Fak, İnşaat Müh. Böl. Hidrolik ABD, İstanbul.
- Şen Z, 2001. Angstrom Equation Parameterestimation by Unrestricted Method, Solar Energy, 71: 95-107.

- Tana SK, Chengb NS, Xiea Y, Shaoc S, 2015. Incompressible SPH Simulation of Open Channel Flow Over Smooth Bed. *Journal of Hydro-Environment Research*, 9(2): 340-353.
- Toprak S, Atay A, Toprak ZF, 2013a. SMRGT Yöntemi İle Bulanıklaştırılmış Zamana Bağlı Veriler İçin Bulanık Doğrusal Regresyon, XXVI. Ulusal Matematik Sempozyumu, Dicle Üniversitesi Kongre Merkezi, Diyarbakır.
- Toprak S, Atay A, Toprak ZF, 2013b. SMRGT Yöntemi İle Bulanıklaştırılmış Veriler İçin Bulanık Doğrusal Regresyon, XXVI. Ulusal Matematik Sempozyumu, Dicle Üniversitesi Kongre Merkezi, Diyarbakır
- Toprak ZF, 2009. Flow Discharge Modeling in Open Canals Using a New Fuzzy Modeling Technique (SMRGT). *CLEAN – Soil, Air, Water*, September, 2009.10.1002 / clen. 200900146.
- Toprak ZF, Songur M, Hamidi N, Gulsever H, 2012. Determination of Losses in Water-Networks Using a New Fuzzy Technique (SMRGT), *AWER Procedia Information Technology & Computer Science*, Vol 03 (2013): 833-840.
- Toprak ZF, Songur M, Hamidi N, Gulsever H, 2012. Determination of Losses in Water-Networks Using a New Fuzzy Technique (SMRGT), *3rd World Conference on Information Technology (WCIT 2012)*, 14-16 November 2012, Barcelona-Spain.
- Toprak ZF 2017. The advantages of SMRGT Method in Modeling Hydrological Event, *International Conference on Water Resource and Environmental (WRE 2107)*, July 26 – 29, 2017, Qingdao – China
- Vatankhah AR, Easa SM, 2011. Explicit Solutions For Critical And Normal Depths in Channels With Different Shapes. *Flow Measurement and Instrumentation*, 22(1): 43-49.
- Vatankhah AR, 2012. Analytical Solution for Water Surface Profile a Side Weir in a Triangular Channel. *Flow Measurement And Instrumentation*, 23(1): 76-79.

- Vatankhah AR, Easa SM, 2013a. Accurate Gradully Varied Flow Model for Water Surface Profile in Circular Channels. *Ain Shams Engineering Journal*, 4(4): 625-632.
- Vatankhah AR, 2013b. Explicit Solutions For Critical And Normal Depths in Trapezoidal and Parabolic Open Channels. *Ain Shams Engineering Journal*, 4(1): 17–23.
- Wilson EH, 1969. Surface Profiles in Non-Prismatic Rectangular Channels, *Water Power*, 21(11): 438-43.
- Wirasaet D, Brus SR, Michoski CE, Kubatko EJ, Westerink JJ, Dawson C, 2015. Artificial Boundary Layers İn Discontinuous Galerkin Solutions To Shallow Water Equations in Channels. *Journal of Computational Physics* 299: 597-612.
- Wu S, Er MJ, Gao Y, 2001. A Fast Approach for Automatic Generation of Fuzzy Rules By Generalized Dynamic Fuzzy Neural Networks *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* 9 (4): 578-594.
- Yalaz S, Atay A, Toprak ZF, 2015. SMRGT Yöntemi İle Bulanıklaştırılmış Veriler İçin Bulanık Doğrusal Regresyon. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 31(3): 152-158. ISSN: 1012-2354
- Yerdelen C, Özyaman C, 2015. Açık Kanallarda Debi ve Eşik Yüksekliği Değişiminin Su Yüzeyi Profillerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. III. Ulusal Sulama Sistemleri Sempozyumu 15-16 Ekim 2015 Ankara.
- Zadeh LA, 1965. Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8: 338–353.
- Zadeh LA, 1971. Towards a Theory of Fuzzy Systems in Aspects of Network and Systems Theory, eds. R.E. Kalman and N. DeClaris.

EKLER

EK-1: Deneysel Çalışma Verileri ve SMRGT Yöntem Sonuçlarının Karşılaştırılması

Menba Akım Derinlikleri (mm)		
Öztürkmen (2008)	Bu Tezde (SMRGT)	Hata (%)
33,5	33,6	0,2
34,5	34,2	0,8
35,0	35,1	0,2
35,5	35,5	0,1
36,5	36,5	0,1
37,5	37,5	0,1
38,0	38,0	0,0
39,0	39,1	0,2
39,5	39,5	0,0
40,0	40,0	0,0
31,0	31,1	0,2
15,0	11,6	19,5
6,5	6,6	0,8
55,5	55,0	0,8
56,5	55,4	1,6
57,0	56,4	1,0
58,0	57,2	1,2

58,5	57,3	1,8
59,5	59,0	0,7
60,5	59,4	1,5
61,0	61,0	0,0
61,5	60,9	0,8
62,0	63,1	1,6
51,0	50,9	0,1
30,0	23,6	18,3
6,5	6,1	5,8
75,5	75,5	0,0
76,0	75,9	0,1
77,0	77,0	0,0
77,5	77,5	0,0
78,5	78,6	0,1
79,5	79,5	0,0
80,0	80,1	0,1
80,5	80,4	0,1
81,5	81,5	0,0
82,0	82,5	0,5
71,0	70,9	0,1
55,0	37,3	27,5
Menba Akım Derinlikleri (mm) (Devamı)		
Öztürkmen (2008)	Bu Tezde (SMRGT)	Hata (%)
5,0	5,1	1,6
29,5	31,5	5,7
31,0	32,3	3,5
31,5	33,1	4,3
32,5	34,4	5,0
33,5	35,3	4,5
34,0	35,8	4,4
35,0	36,4	3,4
35,5	37,2	4,0
36,0	38,0	4,9
37,0	38,7	3,9
32,5	32,0	1,3
6,0	8,9	42,0
6,5	6,6	1,6
48,0	53,5	9,8
49,0	53,4	7,6
49,5	55,1	9,7
50,5	54,7	7,0
51,5	55,9	7,2
52,0	57,0	8,3
53,0	58,2	8,4

53,5	59,0	8,7
54,5	58,6	6,5
55,0	60,3	8,3
50,5	51,5	1,6
5,0	18,2	226,0
6,0	6,0	0,5
68,5	71,4	3,6
69,0	72,1	3,9
69,5	72,8	4,0
70,5	73,8	3,9
71,5	74,4	3,5
72,5	75,4	3,4
73,0	76,1	3,7
74,0	76,8	3,2
74,5	77,8	3,8
75,0	78,5	4,0
71,0	71,4	0,5

Menba Akım Derinlikleri (mm) (Devamı)		
Öztürkmen (2008)	Bu Tezde (SMRGT)	Hata (%)
4,5	19,5	284,8
5,0	5,2	4,0
34,0	34,0	0,0
35,0	34,6	0,9
35,5	35,5	0,1
36,5	36,5	0,1
37,5	37,5	0,1
38,0	38,0	0,0
38,5	38,4	0,1
39,5	39,5	0,0
40,5	40,6	0,2
41,0	40,9	0,1
32,5	32,5	0,1
7,5	7,3	2,6
7,0	6,9	0,9
54,0	52,9	1,7
55,0	53,9	1,7
56,0	54,5	2,2
56,5	55,6	1,4

57,0	56,8	0,4
58,0	57,2	1,2
59,0	58,3	1,0
59,5	58,4	1,6
60,0	59,4	0,8
61,0	59,9	1,5
52,5	51,8	1,1
5,0	5,8	13,6
6,0	6,1	0,9
72,5	72,4	0,1
73,5	73,1	0,5
74,0	74,0	0,0
74,5	74,6	0,1
75,5	75,5	0,0
76,5	76,4	0,1
77,0	77,0	0,0
78,0	77,9	0,1
78,5	78,6	0,1
79,5	79,5	0,0

Menba Akım Derinlikleri (mm) (Devamı)		
Öztürkmen (2008)	Bu Tezde (SMRGT)	Hata (%)
72,5	72,4	0,1
4,5	4,8	4,8
5,5	5,5	0,6
82,0	82,5	Maksimum Değer
48,5	49,3	Ortalama
22,9	22,8	Standart Sapma
0,5	0,5	Değişim Katsayısı
-0,5	-0,4	Çarpıklık Katsayısı
	1,0	Korelasyon Katsayısı
	7,3	Ortalama Bağlı Hata(%)

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Diyarbakır ilinin Sur ilçesinde doğdu. İlköğretimi Vali Ünal Erkan İlköğretim Okulu'nda, liseyi Süleyman Demirel Lisesi'nde tamamladı. 2004 yılında kazandığım Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2008 yılında mezun oldu. 2008 yılında başladığım şantiyecilik hayatımı farklı illerde ve farklı projelerde devam ettirmiştir. Şuan özel bir firmada Şantiye Şefliği yapmakta. 2015'de Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı. Yabancı dili İngilizcedir

Emrullah ALTAŞ

