


VEKTÖR DESTEK REGRESYON İLE DÜŞÜ DERİNLİK ORANI TAHMİNİ: SULAMA KANALLARI İÇİN BİR DEBİ ÖLÇÜM ARACI

Şahnaz TİĞREK 

Batman Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tarsus Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Tarsus-MERSİN
BATMAN
sahnaz.tigrek@batman.edu.tr

Nermin ŞARLAK 

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, KARAMAN
nsarlak@kmu.edu.tr

Deniz ÜSTÜN 

Tarsus Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Tarsus, MERSİN
denizustun@tarsus.edu.tr

(Makalenin geliş tarihi: 07.04.2020, Makalenin kabul tarihi: 17.02.2021)

ÖZ

Toprağın yapısına ve bitki türüne göre yeterli miktarda sulama suyunun iletilmesine ve buna karşılık daha ölçülü bir yaklaşımla ücretlendirme yapılmasını sağlamak için akan suyun debisinin ölçülmesine duyulan ihtiyaç önemlidir. Dikdörtgen ve üçgen şeklindeki savaklar bu amaç için kullanılan en yaygın yöntemlerdendir. Ancak savakların önünde zaman içinde katı madde birikmesi olacağından düzenli olarak temizlenmeleri gerekmektedir. Bununla birlikte, arazinin topoğrafyası gereği iletim kanallarında zorunlu düşü yapılması gerekebilmektedir. Düşü derinliği ile debi arasındaki ilişki kullanılarak debi tahmini için halihazırda literatürde bazı ampirik yaklaşımlar mevcuttur. Bu çalışmada yapay zekâ modeli ile farklı araştırmacılar tarafından dikdörtgen açık kanallarda çeşitli pürüzlülük ve kanal taban eğimlerine karşılık ölçülen düşü derinlik oranları (DDO) ve debi verilerinden öğrenerek oluşturulan üç boyutlu yüzey ile sanal deney düzeneği kurulması sağlanmıştır. Oluşturulan sanal deney düzeneği 10 bin adet sentetik DDO değeri türetilmesinde kullanılmıştır. Türetilen sentetik veriler, literatürde verilen iki lineer denklem sonuçları ile kıyaslanmıştır. Çalışmanın amacı kısıtlı deney verileri ile türetilen lineer denklemlerin başarılarını, yapay zekâ modellemesi ile tahmin edilerek türetilen sentetik veriler üzerinde gösterip, tartışabilmektir.

Anahtar Kelimeler: Düşü derinliği, Serbest düşü, Debi ölçümü, Destek vektör regresyon

THE PREDICTION OF END DEPTH RATIO WITH SUPPORT VECTOR REGRESSION: A FLOW MEASUREMENT TOOL FOR THE IRRIGATION CHANNELS

ABSTRACT

The necessity of metering discharge is important due to estimate correct supply of water according to plant and soil type and consequently estimate rational pricing. The most common way is to use weirs, such as rectangular or triangular. However, those weirs should be cleaned regularly due to accumulation of sediment in front of the weirs. On the other hand, the channels can be constructed with a drop due to topography. There are some empirical approaches in the literature to estimate discharge by utilizing the

relationship between drop depth and discharge. In the present study, it is provided to construct a virtual experimental set up via three-dimensional surface created by artificial intelligence model by learning from the end depth ratio (EDR) and discharge on rectangular open channels with varying surface roughness and bed slopes, collected by different researchers. A virtual experimental set up was utilized to generate 10 000 synthetic data. Those generated data were compared with two linear equations available in the literature. The purpose of the study is to demonstrate and discuss the success of the linear equations which were based on limited laboratory data with artificial intelligence models.

Keywords: End depth, Free overfall, Discharge measurement, Support vector regression

1 GİRİŞ

Açık kanallarda akım ölçümü için sade bir matematiksel bağıntının elde edilmesi, çiftçilerin sulama kanaletlerinden çektikleri debinin ve sulama kanallarının işlevselliğinin belirlenmesinde yararlı olacaktır. Çiftçiler kullandıkları suyun bedelini ödediğinden su kullanımında herhangi bir anlaşmazlığın ortaya çıkmasını engellemek için debiyi doğru bir şekilde ölçen, bakımı ve kullanımı kolay bir ölçüm sisteminin olması oldukça önem arz etmektedir. Aslında açık kanallarda akım ölçümü teorik olarak nispeten kolaydır, çünkü kritik derinlik ile debi arasında doğrudan bir bağıntı vardır. Yaklaşım akımı nehir rejiminde olan bir kanalda akım derinliği mansapta sel rejimine geçiyor ise kritik derinliğe ulaşacaktır ve kritik derinlikten debi belirlenebilecektir. Ancak akım bilinen bir yerde kritik derinliğe ulaşsa dahi olduğu yerin doğru bir şekilde belirlenmesi kolay değildir. Bu sebepten akım ölçümü için alternatif tekniklerin geliştirilme çalışmaları yıllardır devam etmektedir. Söz konusu çalışmalarda kanalın farklı kesimlerindeki akım derinliği ile kritik derinlik (yc) arasında dolaylı bağıntı elde edilmeye çalışılmaktadır. Bunlardan bir tanesi de düşüdeki su derinliği (ye) ile ilgilidir. Düşüler sel rejimindeki akışlarda enerji düşürücü amaçlı olabileceği gibi, topoğrafyadaki keskin değişimleri aşabilmek için de inşa edilmektedirler. Araştırmalar bu mevcut durumdan faydalanma üzerinedir.

Düşü, yatay veya eğimli, dikdörtgen veya farklı şekillerdeki kanal yatağının mansabının ani düşü ile sonuçlanmasından oluşan yapı olarak tanımlanmaktadır. Akımın ayrışmasına sebep olur; kuyruk suyu suya batmış değilse serbest düşü olarak tanımlanmaktadır. Serbest düşünün debi ölçüm aracı olarak kullanılması, seksen yıldan daha fazla süredir araştırılan bir konudur. Düşü yüksekliği özelliğini debi hesabında ilk kullanan kişi Van Leer'dir. Çalışması literatüre Kaliforniya boru yöntemi olarak 1922 yılında girmiştir [35]. Düşü oluşturacak şekilde bir ucu atmosfere açık kısmı dolu bir boru sistemi tasarlanmıştır. Boru üst yüzeyinden düşüden akan su yüzeyine olan düşey mesafe ve boru

çapı bağımsız değişken alınarak geliştirilen ampirik formül debinin belirlenmesi üzerinedir. Üzeri tamamen açık kanallarda bu konuyu çalışan ilk araştırmacı Rouse [25]'dir. Nehir rejimi yaklaşımli yatay dikdörtgen kanalda sınırlı serbest düşüler için ye 'nin yc 'nin sabit yüzdesi ile bulunabileceğinin farkına varmış ve düşü derinlik oranını ($DDO = ye/yc$) 0,715 olarak ifade eden ilk kişi olmuştur. Kanalın sonundaki düşüde su derinliği kolayca ölçülebileceğinden ve kalibrasyona gerek duyulmayacağından, debi kolayca belirlenebilmektedir. Bu nedenle, konu o günden itibaren pek çok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Yapılan çalışmaları teorik, deneysel, sayısal ve yapay zekâ yöntemleri olmak üzere dört grupta toplayabiliriz. Teorik yöntemlerin çoğunda Boussinesq, Enerji ve Momentum yaklaşımlarından biri kullanılmıştır.

Literatür incelendiğinde bu konu kapsamında, küçük eğimli veya yatay kanallar için çok fazla çalışma yapıldığı ancak, dik eğimli kanallarda yapılan çalışmaların sınırlı kaldığı tespit edilmiştir. Nehir rejimi yaklaşımli kanallarda yapılan çalışmalardan elde edilen DDO değerleri sabit ve 0,667-0,781 aralığındadır. Kritik akımın olduğu farklı en kesitler için yapılan çalışmalar sonucunda, farklı DDO değerlerinin elde edilmiş olmasının sebebi kanal genişliği (B), yüzey pürüzlülüğü (n) gibi değişkenlerdeki farklılıklardır [9, 18, 20, 32, 33]. Rouse [26], sel rejimi yaklaşımli kanallar için ye/yn (yn uniform akım derinliği) oranını Froude (Fr) sayısı ile ilişkilendiren bir bağıntı elde etmiştir. Delleur vd. [10], kanal taban eğiminin (So) DDO üzerinde etkin olduğunu ilk gösteren araştırmacılar. DDO'nun yalnızca So/Sc 'ye (Sc : kritik eğim) bağlı olduğunu ve n 'nin etkisinin önemsiz derecede küçük olduğunu öne sürerek bir denklem türetmişlerdir. Sc/So oranını kullanarak DDO için denklem türeten bir başka araştırmacı Anderson [4]'dir. Rajaratnam vd. [24], Delleur'ın n 'nin etkisinin önemsiz olduğu savını farklı n değerleri için deneyler yaparak incelemişlerdir. Nikuradse eş değer (equivalent) kum pürüzlülüğünün 0,1'den az olduğu durumlar için Delleur vd. [10], tarafından çıkarılan yorumun

doğru olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bhallamudi [6], Anderson yöntemi ile momentum denklemini birleştirerek dikdörtgen, üçgen ve trapez en kesitli kanallar için Fr ve şekil parametresinin dahil edildiği ye/yn oranını elde etmeye çalışan genel bir denklem türetmiştir. Davis vd. [9], So ve n etkisini değerlendirmek için deneyler gerçekleştirmişler ve DDO'nun hem eğimden hem de pürüzlülükten etkilendiği göstermişlerdir. Kanal taban eğimleri 0,033; 0,02; 0,01 ve 0,0033 olarak seçilmiştir ve 30 akış verisi (13 tanesi düzgün yüzeyli (pürüzsüz) kanalda, 17 tanesi pürüzlü yüzeyli kanalda ölçülmüştür) için deney yapmışlardır. So arttıkça pürüzlülüğün etkili olduğu sonucuna ulaşmışlar ve iki ampirik denklem önermişlerdir. Ampirik denklemlerden ilki yalnızca So verisi gerektiriyorken, ikinci denklem hem n ve hem de So verisine bağlı olarak türetilmiştir. Çalışma DDO'nun So/n'nin fonksiyonu olduğunu ifade eden ilk araştırma olması bakımından önemlidir. Türettikleri denklemde So'nun sıfır olması durumunda DDO 0,846 değerini vermektedir ki bu değer literatürde sunulan değerlerden oldukça yüksektir. Ferro [12] olayı keskin tepeli savağa benzer ama tepe yüksekliği sıfır olan dikdörtgen kanal düşüsü olarak incelemiş ve ye/yn'i tahmin etmek için Fr sayısına bağlı bir denklem türetmiştir. Fr sayısının bir olması durumunda türetilen denklem DDO'yu 0,715 olarak elde edebilmektedir. Guo vd. [15], pürüzlü dikdörtgen kanalda serbest düşü çalışmasını, türbülans sayısal model ve deney seti üzerinde yapmışlardır. Serbest su yüzeyi profilinin pürüzlü yataklarda pürüzsüz yataklara göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. So'nun artması ile de DDO'nun azaldığını grafik vererek göstermişlerdir. Tiğrek vd. [32], yaptıkları deneysel çalışmada nehir, kritik ve sel rejimi koşullarında DDO için formüller türetmişlerdir. Yaptıkları toplam 130 deneyin 82'si pürüzsüz kanalda (19 deney nehir rejimi yaklaşımı) ve 48'i pürüzlü kanalda (25'i nehir rejimi yaklaşımı) gerçekleştirilmiştir. Sel rejimli yaklaşım kanallar için DDO hesabına So ve n parametrelerini dahil etmişlerdir. Bağımsız değişken olmadığından, Sc'nin değişkenler listesine alınmamasının daha doğru olacağı sonucuna varmışlardır. Nabavi ve Beirami [19], nehir ve sel rejimi yaklaşım dikdörtgen kanallarda serbest düşünün düşü basınç katsayısını ve düşü derinliğinde basınç dağılımını teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerini küçük, dik ve ters eğimli kanallar için gerçekleştirerek debiyi tahmin etmek için grafikler sunmuşlardır. DDO'nun So/Sc ve Fr ile değişiminin grafiklerini vermişler ve So/Sc oransal eğim ve memba Fr arttığında DDO değerinin azalacağı sonucuna

ulaşmışlardır. Swetapadma vd. [31], farklı eğimlerde pürüzsüz dikdörtgen kanallarda deney yapmışlar ve DDO'yu So ile tahmin edebilmek için ikinci derece denklem türetmişlerdir. Elde edilen denklemde eğim değeri sıfır olarak alındığında, DDO'nun 0,759 değerine ulaştığı görülmektedir. Tiğrek vd. [33], farklı geometri ve akış değişkenlerinin düşüye yaklaşırken su profilini nasıl etkilediğini incelemişlerdir. Çalışmada düşüye yaklaşırken kritik derinliğin yeri saptanmaya çalışılmış ve nehir rejiminde Fr, So ve n'nin etken değişkenler olduğu rapor edilmiştir. Shubing ve Sheng [29], Boussinesq tipi enerji denklemini kullanarak geliştirdikleri yaklaşımda So ve n'nin önemini vurgulamışlardır.

Yapay zekâ modellerinden Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemini bu probleme ilk uygulayan kişiler Raikar vd. [23] olmuştur. Yarı-dairesel pürüzsüz açık kanal akımında nehir ve sel rejimleri için yaptıkları deneylerden elde ettikleri veriler için YSA modeli kurmuşlardır. Modelden türetilen denklem debinin boyutsuz olarak ye ve So değişkenleri ile belirlenebilmesine imkân vermektedir. Kritik akım olması durumunda DDO değeri 0,705 olarak elde edilmiştir. Pal ve Goel [22], trapez- pürüzsüz- pozitif ve negatif eğimli kanallarda debi ve DDO tahmini için Destek Vektör Makinesi (DVM) yönteminin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Modele girdi değişkenleri olarak kanal yan ve taban eğimleri, B, yc ve Sc alınmış, birim debi (q) ve DDO değerleri tahmin edilmiştir. Kapalı kutu modelinden tahmin ettikleri DDO ve q değerleri ile ölçülmüş değerler kıyaslandığında önerilen yöntemden iyi sonuçlar elde edildiği ve yöntemin ampirik çalışmalara ve YSA modeline alternatif olabileceği ileri sürülmüştür. Sharifi vd. [28], problemi Genetik Algoritma yöntemi ile farklı en kesitler için çözmeye çalışmışlardır. Yöntem dairesel, trapez ve dikdörtgen kanallarda DDO için sadece So'a bağlı çeşitli ifadelerin bulunmasına imkân vermiştir. DDO için en iyi ifadenin $(DDO = (1/A) e^{-B/\text{kare-kök}(So)})$; A ve B katsayı) olduğu, ifadenin farklı geometri ve akım rejimine uygun olduğu, boyutsal olarak doğru olduğu ve diğer ampirik bağıntılardan daha iyi olduğu ileri sürülmüştür. Sterling vd. [30], dikdörtgen kanallarda araştırmacıların ölçüm verilerini kullanarak ye, ye/B, So, Sc, $\sqrt{S_o}$, $\sqrt{S_c}$, So/Sc ve $\sqrt{(S_o)}/S_c$ değişkenlerinin yc üzerindeki etkisini Temel Bileşenler Analizi ile irdelemişlerdir. yc'nin B, ye ve $\sqrt{S_o}$ 'ın fonksiyonu olduğunu ve bu sonucun Sharifi vd. [28] çalışması ile tutarlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Bu çalışmada, farklı araştırmacılar tarafından literatüre sunulan serbest düşümlü dikdörtgen şekilli kanal yapıları üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen ölçüm verileri üzerinde destek vektör regresyon (DVR) yöntemi uygulanmıştır. DVR yöntemi araştırmacıların sunduğu B, So, n ve DDO değerlerini öğrenerek üç boyutlu yüzey oluşturulmasına imkân tanımış ve sanal deney düzeneği kurulmasını sağlamıştır. Oluşturulan sanal deney düzeneği daha sonra araştırmacı deneylerinde ölçülmeyen farklı n ve So değerleri için 10 bin adet sentetik DDO değeri türetilmesinde kullanılmıştır. Türetilen sentetik veriler deney ölçüm verileri, Davis vd. [9] ve Tiğrek vd. [32] tarafından türetilen lineer denklem sonuçları ile kıyaslanmıştır. Çalışmanın amacı kısıtlı deney verileri ile türetilen lineer denklemlerin başarılarını, yapay zekâ modellemesi ile tahmin edilerek artırılan sentetik veriler üzerinde gösterip, tartışabilmektir.

Literatürde yapay zekâ modelleri ile yapılan pek çok çalışma ampirik yaklaşımlar göz ardı edilerek yapılmıştır, ancak ampirik yaklaşımlar doğrudan arazide kullanılabilme avantajına sahiptir.

2 MATERYAL VE MODEL

Çalışmada serbest düşümlü dikdörtgen kanallarda altı farklı araştırmacı tarafından yapılan deney sonuçları kullanılmıştır. Bu çalışmalar, Rajaratnam vd. [24]; Davis vd. [9]; Ferro [12]; Turan [34]; Fırat [13]; ve Kutlu [17] tarafından gerçekleştirilmiştir ve sırasıyla 1'den 6'ya kadar numaralandırılmışlardır. Ferro [12] yatay kanalda çalışmasını gerçekleştirmiştir. Debi kanal geometrik özelliklerinin fonksiyonu olduğundan, araştırmacıların farklı ye, So, n, ve B için gerçekleştirdikleri deneylerden ölçtükleri q değerlerinden oluşan 353 verinin aralıkları Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1 - Araştırmacı ölçüm aralıkları

Grup	n		B (m)		So		ye (m)		q (m ³ /s/m)	
	Min	Mak	Min	Mak	Min	Mak	Min	Mak	Min	Mak
1R	0,0199	0,0213	0,460		0	0,0136	0,0183	0,1250	0,028	0,2350
2D	0,0099	0,0147	0,305		0,0033	0,0330	0,005	0,0365	0,002	0,0460
3F	0,0147		0,05	0,3	0		0,0167	0,0784	0,011	0,1020
4T	0,0091		1		0,0017	0,0400	0,0101	0,0581	0,012	0,0708
5F	0,0091	0,0147	1		0,0003	0,0394	0,0101	0,0581	0,002	0,0708
6K	0,0147		1		0,00063	0,0387	0,0046	0,0503	0,002	0,0610

2.1 Destek Vektör Regresyon

Vapnik tarafından 1963 yılında önerilen DVM, geçtiğimiz son on yıl içerisinde, genelleme, yakınsama özellikleri ve zor problemlerin çözümlerine ulaşılmasında gösterdiği yüksek performans açısından makine öğrenimi konusunda en önemli konulardan biri haline gelmiştir [7, 11, 21, 36]. DVM'ler, her ne kadar sınıflandırma amacıyla kullanılsalar da herhangi bir sisteme ya da bir fonksiyona ait çıktı değerlerinin yaklaşık olarak tahminlerini (regresyon) elde etmek için de kullanılabilirler [16, 21, 27].

DVM' de temel amaç, eğitim verisi içerisinde birbirine en yakın noktalar arasındaki uzaklığı maksimum değer yapan bir ayırıcı düzlemi elde edebilmektir. Elde edilen bu ayırıcı düzleme en iyi ayırıcı düzlem; bu düzleme komşu durumunda bulunan, sınır genişliğini belirleyen noktalara ise destek vektörleri (□) adı verilir. Karar vektörü fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$f(x) = \text{sign}((w \cdot x_i) + b) \quad (1)$$

Karar vektörü fonksiyonunda w ayırıcı düzlemin ağırlık vektörünü, b ise yanlılık (bias) değerini ifade etmektedir. En iyi ayırıcı düzlemi elde etmek için w ve b değerlerinin hesaplanması gerekir. Bu işlem ise en iyi ayırıcı düzlemin belirlenmesi aşamasında, düzlemin sınıra olan uzaklığının mümkün olan maksimum alabileceği değere çıkarılması ile sağlanabilmektedir. Başka bir ifade ile eğitim verisinin $\{(x_1, y_1), \dots, (x_l, y_l)\} \subset X \times R$, olduğunu varsayarsak; burada, X giriş ve Y hedef çıktı şekillerinin uzayını temsil etmektedir. ϵ -DV regresyonda amaç, bütün eğitim verileri için elde edilen hedef çıktı değerlerinden en fazla ϵ sapmaya ve mümkün olabilen maksimum düzlüğe sahip bir f(x) fonksiyonu elde edebilmektir. İkinci dereceden optimizasyon probleminin çözümü aşağıdaki fonksiyon kullanılarak bulunabilir:

$$\min_{w, b, \epsilon} = \frac{1}{2} w^T w + C \sum_{i=1}^m \epsilon_i \quad (2)$$

$$y_i(w \cdot x_i - b) \geq 1 - \epsilon_i \text{ ve } \epsilon_i \geq 0$$

burada, ϵ_i gevşek değişkenler olarak adlandırılır ve (x_i, y_i) noktada meydana gelen hatayı ölçmek için kullanılır. C sınır boyutunun değişim oranını ve eğitim aşamasındaki hata miktarını gösteren deterministik bir parametredir. DVM'de en iyi ayırma düzlemini elde etmek için kareli optimizasyon probleminin çözümü gerçekleştirilir ve bu çözüm sürecinde Lagrange çarpanları yönteminden yararlanılmaktadır. Lagrange çarpanları en küçükleme tipindeki problemi ikili probleme dönüştürerek problemin daha kolay çözümlenmesine imkân verir [14]. Lagrange işlevi, (J), aşağıda verilmiştir [5]:

$$J(w, b, \alpha) = \frac{1}{2} w \cdot w - \sum_{i=1}^m \alpha_i \{y_i(w \cdot x_i - b) - 1 + \epsilon_i\} \quad (3)$$

Lagrange işlevi w ve b değişkenlerine göre en küçükleme, α_i değişkenlerine göre ise en büyükleme yapmak üzere kullanılır ve problem aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\underbrace{\operatorname{argmax}}_{\alpha} \underbrace{\min}_{w, b} \{J(w, b, \alpha)\} \quad (4)$$

En iyileme problemlerini ikincil biçimlere dönüştürülebilme için Lagrange denkleminin değişkenlerine göre kısmi türevlerinin alınıp, çözülmesi ve sonuçlarının Lagrange denkleminde yerlerine konularak elenmesi gerekmektedir. Sonuç, sadece Lagrange çarpanlarında en büyüklenecek bir bağıntıdır. Eş. 3'te verilen Lagrange işlevinin w ve b ye göre kısmi türevleri alınır aşağıdaki Karush Kuhn-Tucker tamamlayıcı koşulları elde edilir [16]:

$$\begin{aligned} \frac{dJ}{dw} = 0 &\Rightarrow w - \sum_{i=1}^m \alpha_i y_i x_i = w = \sum_{i=1}^m \alpha_i y_i x_i \quad (5) \\ \frac{dJ}{db} = 0 &\Rightarrow \sum_{i=1}^m \alpha_i y_i \quad (6) \end{aligned}$$

Sonuç olarak elde edilen değerler Lagrange işlevinde yerine yazılır ise Eş. 7'de verilen ve yukarıdaki bahsedilen en büyükleme denklemi elde edilmiş olur:

$$J_d = \sum_i \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \alpha_i \alpha_j y_i y_j x_i x_j \quad (7)$$

En iyi ayırıcı düzlemi belirlemek için, Eş. 7'de verilen model çözümlenerek, ikili Lagrange J_d 'yi maksimum yapan α_i değerleri optimizasyon ile hesaplanır. α_i Lagrange çarpanlarından sıfırdan

büyük değer alan eğitim verileri "destek vektörleri" olarak adlandırılır. En iyi ayırma düzlemi, sıfırdan büyük değere sahip olan bu Lagrange çarpanları ile belirlenmektedir. Elde edilen α_i 'nin sonuçları ile en iyi ayırma düzlemi Eş. 8 ve 9'da verilen ağırlık vektörü w^* ve b^* bias parametreleri ile belirlenir.

$$w^* = \sum_{i=1}^m \alpha_i y_i x_i \quad (8)$$

$$b^* = y_i - \sum_{i=1}^m \alpha_i y_i x_i \quad (9)$$

İlgili değerler yerine yazılarak Eş. 10'da verilen karar fonksiyonu elde edilir:

$$f(x) = \operatorname{sign} \left(\sum_{i=1}^m w^* \cdot x + b^* \right) \quad (10)$$

Eş. 10'da verilen nokta çarpım ifadesi bir çekirdek işlevi ile değiştirildiğinde, bu nokta çarpım işlemi ilgili çekirdek fonksiyonu ile de hesaplanabilmektedir. Bu durumda, doğrusal olmayan karar sınırları doğrusal regresyon için kabul edilen yöntemler kullanılarak üretilmektedir [27].

3 BULGULAR ve TARTIŞMA

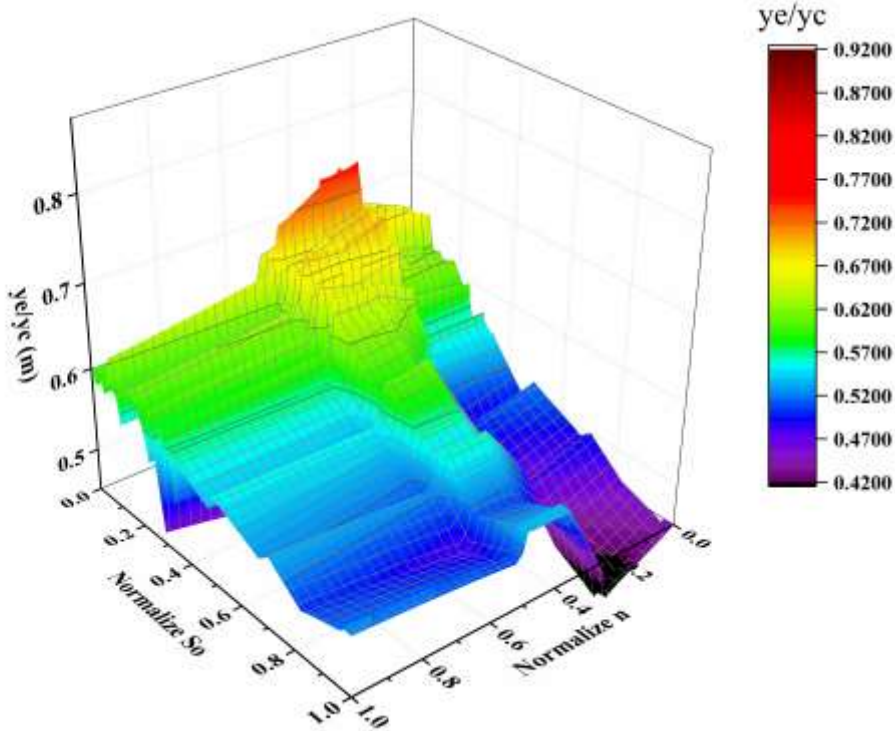
DVR yöntemindeki regresyon işlemi, Intel® Xeon E5-1620 3.5 GHz işlemci ve 64 GByte hafızaya sahip bir iş istasyonunda gerçekleştirilmiştir. Tamamı literatürden elde edilen toplam 353 adet laboratuvar ölçüm verisi kullanılarak gerçekleştirilen regresyon işleminde on kat çapraz doğrulama setleri ile oluşturulan regresyon yüzey cevabı test edilmiştir. Verilerin %89'u modeli eğitmek, geri kalan yüzde test etmek için kullanılmıştır. On kat çapraz doğrulama setleri üzerinde çalışmanın gerçekleştirilme sebebi, aşırı uyarılma veya düşük uyarılmadan kaçınan ve rastgele oluşturulan yeni veriler üzerinde mümkün olabilen en iyi tahminleri elde edebilen modeli kurabilmektir. Elde edilen en düşük hatalı doğrulama setine göre üç boyutlu yüzey cevabı oluşturulmuştur. DVR'de çekirdek fonksiyon olarak Kalın Kuyruklu Radyal Taban, $K(x_i, x_j) = \exp(-\|x_i^a - x_j^a\|^g)$ kullanılmıştır. Burada, Kalın Kuyruklu Radyal Taban fonksiyonuna ait olan a ve g parametreleri sırasıyla 0,75 ve 0,95 olarak alınmıştır. ϵ değeri 1 000 olarak tanımlanmıştır. DVR yönteminin eğitim ve test süreçlerinde ortalama mutlak hata göz önüne alınmıştır. DVR'nin eğitim ve test süreçleri için on kat çapraz doğrulama setlerine ait elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 2 - DVR'nin eğitim ve test süreçlerine ait on kat çapraz doğrulama setlerinin sonuçları

Çapraz Kat Sayısı	Ortalama Mutlak Hata Eğitim	Ortalama Mutlak Hata Test
1	3,74e-05	2,44e-05
2	3,81e-05	2,33e-05
3	3,93e-05	1,38e-05
4	2,21e-05	1,20e-05
5	3,81e-05	1,17e-05
6	4,03e-05	1,62e-05
7	3,60e-05	3,92e-05
8	3,76e-05	1,23e-05
9	3,75e-05	2,77e-05
10	3,70e-05	1,90e-05

Çizelge 2'den açıkça görülebileceği üzere istenen ve tahmin sonuçları arasında ortalama mutlak hata oranları oldukça düşüktür. DVR'nin eğitim ve test süreçlerinde elde ettiği sonuçlar, yöntemin S_0 ve n parametre değerlerine bağlı olarak DDO değerlerinin tahmininde yüksek bir hassasiyete sahip olduğunu göstermektedir. DVR yönteminin göstermiş olduğu bu yüksek

performans sayesinde, araştırmacı deneylerinde olmayan girdi parametre değerlerine göre DDO çıktı değerleri üç boyutlu yüzey kullanılarak yüksek doğrulukla tahmin edilebilecektir. DVR yöntemi ile elde edilen S_0 ve n girdi değerlerine göre değişen DDO yüzey cevabı grafiği Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1- DVR ile elde edilen S_0 ve n ile değişen DDO yüzey cevabı grafiği, (Sayılardaki nokta ondalık ayırıcıdır)

DVR ile oluşturulan üç boyutlu yüzey cevabını kullanılarak rastgele 10 bin adet üretilen n ve S_0 (deneylerdeki minimum ve maksimum değerleri arasında) değerlerine karşılık tahmin edilen

DDO değerleri ile Tiğrek vd. [32] ve Davis vd. [9] tarafından türetilen lineer denklemlerden (sırasıyla $DDO=0,773-0,018(\sqrt{S_0}/n)$ ve

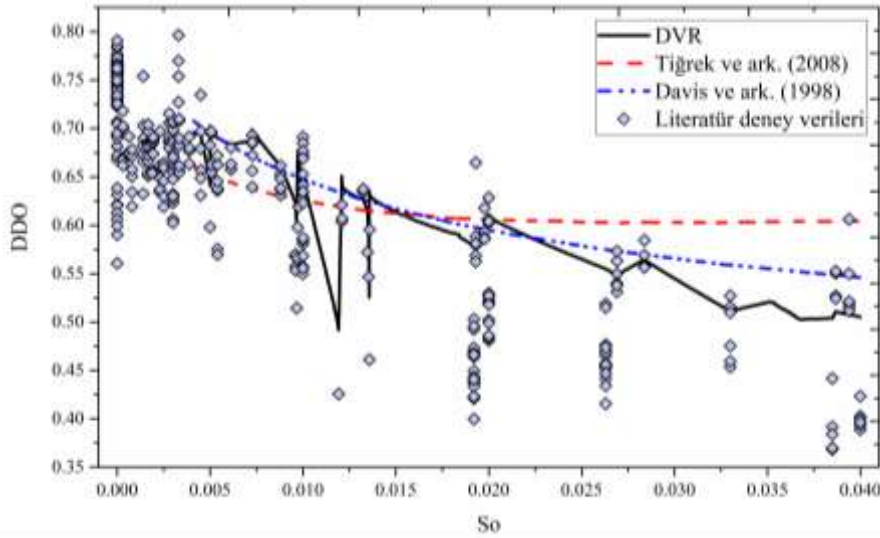
$DDO=0,846-0,219 \sqrt{S_o/n}$) elde edilen DDO değerleri Şekil 2'de S_o 'a karşılık çizilmiştir.

Şekil 2'den 353 deney verisini temsil etmede DVR sonuçlarının daha başarılı olduğu görülmektedir. Ancak matematiksel ifade türetilmesi tercih edilmediğinden ve son kullanıcı açısından literatürdeki basit lineer denklemlerin varlığı önemini koruduğundan, çalışmamızda kısıtlı deney verilerinden türetilen lineer denklemler birbirleri ile kıyaslanmıştır. Önceki çalışmalarda da vurgulandığı gibi S_o arttıkça DDO değerleri azalmaktadır. Bu azalma Davis vd. [9] tarafından önerilen denklem ile daha iyi elde edilmiş ve deney verilerini temsil etmede daha başarılı olunmuştur.

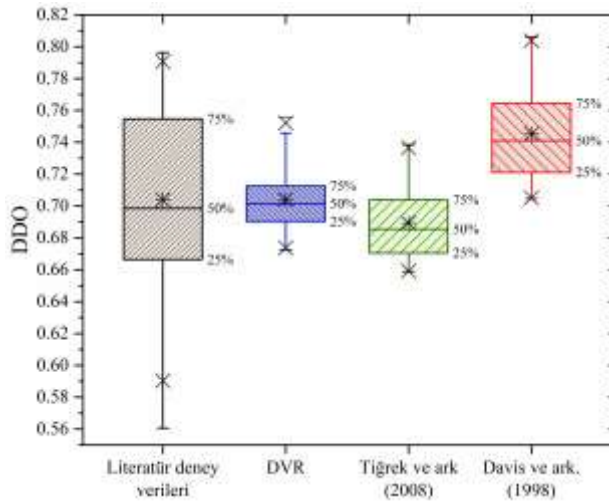
Ancak bu başarının küçük eğimli kanallarda da geçerli olduğunu söylemek biraz zor

görülmektedir. Küçük eğimli kanallarda Tiğrek vd. [32] tarafından önerilen denklemin daha başarılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Küçük eğimli kanallarda yine literatürde vurgulanmış olan DDO 'nun S_o 'dan etkilenmediği ve sabit bir değer ile ifade edilebileceği durumu Şekil 2'de dikkate değer bir şekilde tespit edilebilmektedir. S_o 'nun 0-0,004 aralığı için ayrı bir pencere açmak amacı ile yaklaşık 1 000 adet veri kutu grafiği şeklinde gösterilerek kıyaslama yapma yolu tercih edilmiş ve Şekil 3'te gösterilmiştir. Deney verileri kutu grafiği ile kıyaslandığında Tiğrek vd. [32] tarafından önerilen denklemin başarısı daha net ortaya çıkmıştır. Davis vd. [9] denkleminde deney verilerinden daha büyük sonuçlar elde edilmektedir.



Şekil 2- Kanal eğimine karşılık DDO değerleri



Şekil 3. Küçük eğimli kanallar için DDO değerleri

Göz önüne alınan 1 000 adet verinin ortalama değerleri (kutu grafiğinde yıldız ile ifade edilmiştir) dikkate alındığında DDO değerleri 0,705; 0,75 ve 0,69 sırası ile laboratuvar deneylerinden, Davis vd. [9] ve Tiğrek vd. [32] tarafından elde edilmiştir. Bu değerlerin her biri literatürde sunulan değer aralıkları için de kalmaktadır.

DVR modelinden üretilen DDO değerini en iyi temsil eden lineer denklem de bu çalışmada araştırılmıştır. Davis vd. [9] tarafından bağımsız değişken olarak tarif edilen $\sqrt{(S_{oh})}$ bağıntısı kullanıldığında elde edilen denklemin (DDO=0,882-0,267 $\sqrt{(S_{oh})}$) korelasyon değeri 0,92 olarak bulunmuştur. Türetilen denklem Davis vd. [9] tarafından önerilen denkleme çok benzer çıkmış ve eğimin sıfır olması durumundaki sorun çözülememiştir. Ancak eğimin sıfır olmadığı küçük kanal taban eğimi değerleri için DVR ile deney verilerine yakın sonuçlar elde edebildiği vurgulanması gereken bir noktadır (bkz. Şekil 3).

4 SONUÇLAR

Kanal pürüzlülüğü ve kanal taban eğiminin bir fonksiyonu olarak elde edilen DDO, söz konusu kanaldan geçen debi hesabını mümkün hale getirmiştir. Literatürde konu ile ilgili pek çok araştırmacının yapıldığı ortaya konulmuş ve n ile So bağımsız değişken olarak alındığı iki lineer denklemin kullanılabilirliği yapay zekâ modellemesinden biri olan DVR ile tartışılmıştır. Araştırmacıların sunduğu deney ölçüm verilerini öğrenerek oluşturulan üç boyutlu yüzeyden türetilen 10 bin adet DDO değerleri, laboratuvar ölçüm değerleri, Davis vd. [9] ve Tiğrek vd. [32] tarafından önerilen denklemlerden elde edilen DDO değerleri ile kıyaslanmıştır. Konu kapsamında yapay zekâ modelleri ile çalışan araştırmacıların aksine bu çalışmada korelasyon değeri yüksek karmaşık denklem önerilme yoluna gidilmemiştir. Yapay zekâ öğrenmesi, kısıtlı veriler ile türetilmiş iki lineer denklemin başarısını ortaya çıkarmak için kullanılmıştır. Sonuçlar küçük eğimli kanallarda Tiğrek vd. [32] tarafından önerilen denklemin bu çalışmada kullanılan 353 deney ölçüm verisine daha yakın sonuçlar elde ettiğini göstermiştir. Davis vd. [9] tarafından önerilen denklem ise büyük eğimli kanallarda deney verilerini temsil etmede daha başarılı olmuştur. 353 deney ölçüm verisini DVR ile öğrenerek türetilen 10 bin adet veriyi en iyi temsil eden lineer denklem Davis vd. [9] tarafından otuz ölçüm verisi kullanılarak önerilen denkleme oldukça yakın elde edilmiştir. Sonuç olarak, literatürde n ve So kullanılarak türetilen iki lineer denklemin birbirlerine göre üstünlükleri olsa dahi, elde edilen sonuçlar

sayısal olarak kıyaslandığında fark oldukça düşüktür. Konu kapsamında farklı kesitlerde gerek laboratuvar gerekse teorik çalışmaların halen yapılmakta olduğu dikkate alınır [1, 2, 3, 8], bu çalışmada ortaya konulduğu gibi kısıtlı deney verileri ile türetilen ampirik denklemlerin başarılarının yadsınamaz olduğu açıktır. Araziye ölçülecek debi değerleri ile de sağlama yapılabilmesi durumunda, bu basit ve maliyeti düşük ölçüm sisteminin yaygın olarak kullanımının yolu açılacaktır.

5 KAYNAKLAR

- [1] Abrari, E., Ergil, M., Beirami, M.K., "Solving trapezoidal free overfall by inserting a brink pressure effect into sharp-crested weir theory", J. Irrig. Drain. Eng., 144 (7), 04018013, 2018
- [2] Abrari E., Ergil M., Beirami M.K., "Flow measurement using free over-fall in generalized trapezoidal channels based on one velocity point method", Flow Meas. Instrum., 69, 101615, 2019
- [3] Afrin T., Kaye N.B., Khan A.A., Testik F.Y., "Numerical investigation of free overfall from a circular pipe flowing full upstream", J. Hydraul Eng., 143 (6), 04017004, 2017
- [4] Anderson M.V., "Non-uniform flow in front of a free overfall", Acta Polytechnic Scandinavia, 42, 1-24, 1967
- [5] Bertsekas D.P., Nonlinear Programming. Athena Scientific, Belmont, MA, 1995
- [6] Bhallamudi M.S., "End depth in trapezoidal and exponential channels", Journal of Hydraulic Research, 32(2), 219-232, 1994
- [7] Cristianini N., Shawe-Taylor J., An Introduction to Support Vector Machines: and other Kernel-Based Learning Methods, Cambridge University Press, New York, USA, 2000
- [8] Dai S., Ma Y., Jin S., "Application of fawer theory to end depth in trapezoidal sloping channel", J. Irrig. Drain. Eng., 145 (12), 2019
- [9] Davis A.C., Ellett B.G.S., Jacob R.P., "Flow measurements in sloping channels with rectangular free overfall", J. Hydraul Eng., 124 (7), 760-763, 1998
- [10] Delleur J.W., Dooge J.C., Gent K.W., "Influence of the slope and roughness on the free overfall", Journal of Hydraulic Division, 82(4), 30-35, 1956

- [11] Dumais S., Platt J., Heckerman D., Sahami M., Inductive Learning Algorithms and Representations for Text Categorization, 7th International Conference on Information and Knowledge Management, Bethesda-Maryland, 1998
- [12] Ferro V., "Theoretical end-depth-discharge relationship for free overfall", *J. Irrig. Drain. Eng.*, 125 (1), 40-44, 1999
- [13] Fırat C.E., Effect of roughness on flow measurements in sloping rectangular free overfall, Master Thesis, Middle East Technical University, Natural and Applied Sciences, Ankara, 2004
- [14] Gunn S. R., Support vector machines for classification and regression, Technical Report, Faculty of Engineering, Science and Mathematics, School of Electronics and Computer Science, University of Southampton, Southampton, UK., 1998
- [15] Guo Y., Zhang L., Shen Y., Zhang J., "Modeling study of free overfall in a rectangular channel with strip roughness", *J. Hydraul Eng.*, 134 (5), 664-667, 2008
- [16] Kirinčić V., Čeperić E., Vlahinić S., Lerga J., "Support vector machine state estimation", *Appl. Artif. Intell.*, 33 (6), 517–530, 2019
- [17] Kutlu İ., Scrutinizing rectangular free overfall, Master Thesis, Middle East Technical University, Natural and Applied Sciences, Ankara, 2005
- [18] Muhammed M.Y., Muhammed A.Y., İmam A.K., "Flow measurements in rough free overfall", *Turkish Journal of Hydraulic*, 2 (1), 8-12, 2019
- [19] Nabavi S.V., Beirami M.K., Flow Measurement at the Brink of Rectangular Channels, Proceedings of 9th Hydraulic Conference, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 2010
- [20] Nabavi S.V., "Flow measurement in rectangular channels", *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 4 (1), 457-467, 2015
- [21] Nourali H., Osanloo M., "Mining capital cost estimation using support vector regression (SVR)", *Resources Policy*, 62, 527-540, 2019
- [22] Pal M., Goel A., "Estimation of discharge and end depth in trapezoidal channel by support vector machines", *Water Resour. Manage.*, 21, 1763-1780, 2007
- [23] Raikar R.V., Kumar D. N., Dey S., "End depth computation in inverted semicircular channels using ANNs", *Flow Meas. Instrum.*, 15, 285–293, 2004
- [24] Rajaratnam N., Muralidhar D., Beltaos S., "Roughness effects on rectangular free overfall", *Journal of Hydraulic Division*, 102 (5), 599-614, 1976
- [25] Rouse H., "Discharge characteristics of the free overfall", *Civil Engineering*, 6 (4), 257-260, 1936
- [26] Rouse H., "Discussion on "Energy loss at the base of free overfall by Moore W.L."", *Transactions of ASCE*, 108 (2204), 1383-1387, 1943
- [27] Rustam Z., Kintandani P., "Application of support vector regression in Indonesian stock price prediction with feature selection using particle swarm optimization", *Modelling and Simulation in Engineering*, 8962717, 2019
- [28] Sharifi S., Sterling M., Knight D.W., "Prediction of end-depth ratio in open channels using genetic programming", *J. Hydroinf.*, 13 (1), 36-48, 2010
- [29] Shubing D., Sheng J., "Hydraulics of free overfall in steeply sloping rough rectangular channel: A general computational approach", *Flow Meas. Instrum.*, 69, 101625, 2019
- [30] Sterling M., Sharifi S., Knight D.W., "The end depth ratio and principal component analysis", *Water Management*, 163 (8), 425-430, 2010
- [31] Swetapadma S., Mittal S.K., Choudhary M.K., "Brink depth at free overfall- A review", *International Journal of Engineering Research*, 3 (10), 594-601, 2014
- [32] Tiğrek Ş., Fırat C.E., Ger A.M., "Use of brink depth in discharge measurement", *J. Irrig. Drain. Eng.*, 134 (1), 89-95, 2008
- [33] Tiğrek Ş., Kumcu Y., Ger A.M., "Scrutinization of flow in the immediate vicinity of a brink in a tilting flume", *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 4(2), 213-220, 2017
- [34] Turan Ç., Experimental studies on free overfall, Master Thesis, Middle East Technical University, Natural and Applied Sciences, Ankara, 2002

[35]United States Department of the Interior Bureau of Reclamation. Water Measurement Manual. <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/manuals/wmm/index.htm>. Yayın tarihi 2001. Erişim Tarihi Mayıs 2019

[36]Vapnik V. N., The Nature of Statistical Learning Theory. Heidelberg, DE. Springer Verlag,1995