



**HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ**

***HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING***

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

# **Taban Suyu Derinlikleri İçin Grid Tabanlı Yeni Bir Optimizasyon Modeli Geliştirilmesi:Aşağı Seyhan Havzası Örneği**

*Developing a New Grid-Based Optimization Model for Groundwater Depths: An Application to the Lower Seyhan Basin*

**Yazar(lar) (Author(s)):** Ali Demir KESKİNER, Mahmut ÇETİN, Mehmet ŞİMŞEK, Takanori NAGANO, Sabri AKIN

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Keskiner A. D., Çetin M., Şimşek M., Nagano T. ve Akın S., " Taban Suyu Derinlikleri İçin Grid Tabanlı Yeni Bir Optimizasyon Modeli Geliştirilmesi:Aşağı Seyhan Havzası Örneği", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(3): 70-80, (2018).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>

HU Muh. Der. 03 (2018) p.70-80

HU J. of Eng. 03 (2018) p.70-80

6. Uluslararası GAP Mühendislik Kongresi

## Taban Suyu Derinlikleri İçin Grid Tabanlı Yeni Bir Optimizasyon Modeli Geliştirilmesi:Aşağı Seyhan Havzası Örneği

Ali Demir KESKİNER<sup>1</sup>, Mahmut ÇETİN<sup>2</sup>, Mehmet ŞİMŞEK<sup>1</sup>, Takanori NAGANO<sup>3</sup>, Sabri AKIN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Şanlıurfa, [adkeskiner@harran.edu.tr](mailto:adkeskiner@harran.edu.tr)

<sup>2</sup>Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Adana, [mcet64@cu.edu.tr](mailto:mcet64@cu.edu.tr)

<sup>3</sup>Kobe University, Graduate School of Agricultural Science, Kobe, Japan, [naganot@ruby.kobe-u.ac.jp](mailto:naganot@ruby.kobe-u.ac.jp)

Geliş Tarihi: 09.12.2018

Kabul Tarihi: 27.12.2018

### Özet

Bu çalışmada, tarımsal bir alan gridler yardımıyla matrislere dönüştürülerek Taban Suyu Derinliği (TSD) için grid tabanlı yeni bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Amaç fonksiyonu, Ceza Puanı olarak adlandırılan TSD ölçümlerinin bilgi kaybını veren ortalama (M)+standart sapma (STD) istatistiğinin minimize edilmesidir. Araştırma, Aşağı Seyhan Ovasında 9 495 ha alanda yürütülmüştür. Araştırmada, 107 adet drenaj gözlem kuyusunda 3 yıl boyunca 12 kez ölçülen TSD verileri kullanılmıştır. Mevcut 107 kuyu seti ile (KD\_107) havzada 12 dönem gözlemlenen TSD değerleri ve farklı Kombinasyon Kuyu Dağılımlarının (KKD) aynı dönem TSD değerleri Ters Uzaklık Yöntemi (TUY) ile haritalanmıştır. Oluşturulan haritalar (havza matrisleri) arasında KD\_107 havza matrislerinin 12 dönemini temsil eden M ve STD değerleri referans alınarak KKD'lerin bilgi kayıplarını veren CP=M+STD belirlenmiştir. Minimum bilgi kaybını veren 23 farklı KKD (kuyu seti) optimize edilmiştir. Mevcut 107 kuyu ile gözlem yapılan havzada; %3.0 tahmin hatası (PE%) test ölçütüne sahip 67 kuyu ile taban suyu gözlemlerine devam edilmesi önerilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Ceza puanı; Gözlem ağı; Grid tabanlı optimizasyon modeli; Havza matrisi

## Developing a New Grid-Based Optimization Model for Groundwater Depths: An Application to the Lower Seyhan Basin

### Abstract

In this study, a new grid-based optimization model was developed by transforming the research area into matrices with the help of gridding. The objective function of the optimization procedure was to minimize the penalty point or penalty function (PF), i.e.,  $PF = \text{mean}(M) + \text{standard deviation}(STD)$ , which was determined as the loss of information in groundwater (GW) depth measurements. To this end, the study was carried out in an area of 9 495 ha, located in the Lower Seyhan Plain. GW depth measurements in 107 drainage observation wells (NW\_107) were done in three sequential hydrological years with the frequency of four times in a year, and measured GW depth data were utilized in the study. GW depth data from drainage observation network (NW\_107) and depths of different network combinations (NCW) of 107 drainage wells were mapped, in turn, by using Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation technique. Generated maps were dubbed as "basin matrices". The values of PF ( $PP = M + STD$ ) for each combination were calculated by referencing M and STD of 12 data sets. In this regard, a total of 23 NCWs were resulted in minimum PF values, and optimized accordingly. Overall results helped us to recommend that NCW\_67 network with the prediction error (PE%) of 3.0% might be adopted in GW monitoring process, henceforth, rather than existing network consisting of 107 wells.

**Keywords:** Penalty point; Observation network; A grid-based optimization model; Basin matrice

### 1. Giriş

Veri Yönetim Sistemi (VYS) uygulamalarının esasını, "Kayıt altına almazsanız, yönetemezsiniz" kavramı oluşturmaktadır. VYS, iyi planlanmış bilimsel araştırmaların sistematik veri toplama, işleme, yorumlama ve tasarım sürecini daha etkin kılmaktadır. Bu anlamda değerlendirildiğinde, VYS hidrolojik bilgi sisteminin bir parçası olup, veri politikası, ölçüm amaçlarının tanımlanması, gözlem ağı tasarımı, veri toplanması, verilerin işlenmesi,

depolanması ve kullanıcıya sunulması olarak tanımlanır [1-2-3-4-5]. Gözlem ağlarının tasarımı, Veri Yönetim Sisteminin bir parçasıdır. Gözlem ağı ve bu ağın tasarımı, hidrolojik çalışmaların esasını teşkil eden en önemli unsurlardan biridir [6]. Gözlem ağında gözlem yapılabilecek çok sayıda nokta olması, her zaman arzu edilen bir durumdur. Ancak, yeryüzündeki her noktaya bir gözlem istasyonu kurma olanağı bulunmadığı gibi, her noktada gözlem yapma olanağı da yoktur [7].

Hidrolojik veri toplama ağı tasarımının ilk adımı; en az istasyon sayısı ile gözlem ağlarının kurulumu olmasına karşın, su kaynakları yönetimi planlamalarında en az istasyon sayısı ile oluşturulan gözlem ağından elde edilen bilgiler planlama gereksinimini genellikle karşılayamamaktadır. Bu nedenle, ağ yoğunluğunun ihtiyaç dikkate alınarak optimize edilmesi daha rasyonel olmaktadır [8]. Matematiksel olarak optimizasyon, amaç fonksiyonunun maksimum veya minimum yapılmasıdır. Örneğin, kuyu dağılımlarının optimizasyonundaki amaç; makul bir maliyet, güvenilirlik ve hassaslık açısından kendisinden beklenenleri karşılayan optimal ağ dağılımı ve optimal ölçü planına sahip ağların tasarlanması olabilir [9]. Ancak, ülkemizdeki uygulamalara bakıldığında, gözlem ağlarının azaltılarak veri sağlamaya yönelik yapılan rasyonel ağ tasarımında tamamen doğaçlama bir yol izlendiği de dikkati çekmektedir. Bu nedendir ki, Türkiye Ulusal Hidroloji Komisyonu toplantılarında [10], hidrolojik çalışmalarda gözlem ağı optimizasyonunun öncelikli çalışma konularından biri olması gerektiği vurgulanmakta ve önerilmektedir. Zira, gözlem ağlarında optimizasyon yapılmadan uzun yıllar boyunca çok sayıda noktada gözlem yapılmaya devam edilmesi, izleme ve değerlendirme programlarının devam ettirilmesi sürecinde işletme maliyetlerini artırmaktadır. Örneğin; Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığının gözlem ağları izleme maliyeti, yılda 100 milyon \$'a yaklaşmaktadır [11-12].

Sulu tarım yapılan kurak ve yarı kurak bölgelerde tarımsal üretimin sürdürülebilirliği, Taban Suyu Derinliği (TSD) gözlem ağının yeterliliğine ve bu ağdaki TSD izleme ve değerlendirme çalışmalarının etkinliğine bağlıdır [13-14]. Dolayısıyla, taban suyu gözlem kuyularının bir alan üzerindeki optimal sayılarının ne olması gerektiği uygulayıcılar tarafından sürekli olarak irdelenmekte; özellikle maliyet etkinliği ve veri kalitesi hususunda sıkça sorulara maruz kalınmaktadır. Pratikte TSD gözlem ağlarının izleme ve değerlendirilmesi, her biri ortalama 100 ha alana hizmet eden taban suyu gözlem kuyuları aracılığı ile yapılmaktadır [15-16]. Bu bağlamda ülkemizde, TSD izleme çalışmalarında

DSİ tarafından uygulamaya konulan ölçütlerden öteye gidilemediği ve ayrıntılı çalışmaların yapılmadığı görülmektedir. Özellikle sulamaya açılmış olan işletme alanlarında bazen çok sayıda bazen de kısıtlı sayıda taban suyu gözlem kuyusu kullanılarak taban suyunun nicelik ve niteliğine yönelik gözlemler yapılmaya devam edilmekte; elde edilen gözlemler kullanılarak üzerinde çalışılan taban suyu özellikleri haritalanmaktadır. Bu haritalar irdelenerek, bazı sonuçlara varılmaya çalışılmaktadır. Ancak, izlemeye alınan gözlem noktalarının yeterliliği bir yana, optimal sayısı hakkında sürekli bir arayış içinde olduğu [17] dikkati çekmektedir. Bu ise, drenaj gözlem ağındaki kuyu dağılımlarının optimize edilmesinin ne denli önemli olduğunu göstermektedir. Mevcut literatür incelendiğinde, işletmeye açılmış tarımsal havzalardaki taban suyu gözlem ağının optimize edildiği çalışmaların azlığı dikkat çekmektedir. Nitekim topoğrafyanın homojen sayılabileceği oldukça düz olan alanlarda, TSD ölçüm ağı tasarımına yönelik geçerli bir yöntemin geliştirilmediği görülmüştür. Gözlem ağlarının oluşturulmasında genel olarak doğaçlama bir yol izlenmektedir. Ayrıca, konuyla ilgili yeterli kaynağa/bilgiye erişilmesinde de sıkıntılarla karşılaşmaktadır. Bu noktadan hareketle, farklı yaklaşımlar kullanılarak gözlem ağındaki optimum kuyu dağılımlarının tasarımına ihtiyaç duyulduğu açıktır.

Bu araştırma ile:

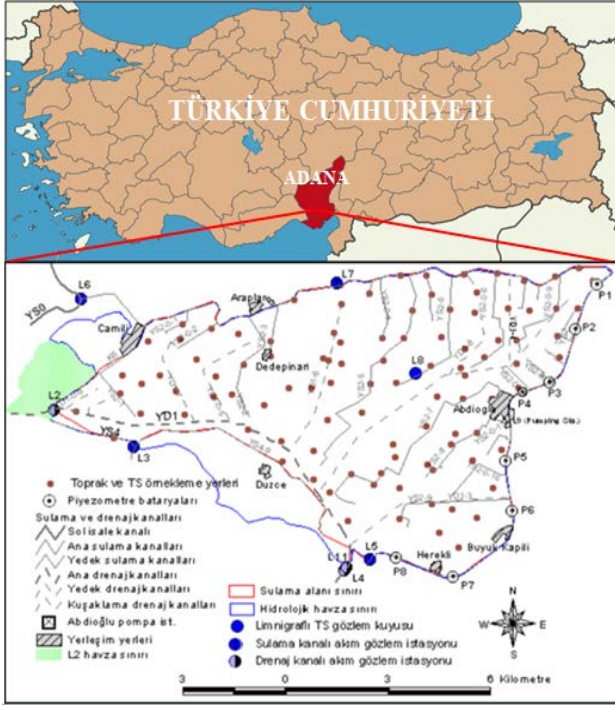
1. Topoğrafyanın düz olduğu alanlarda taban suyu derinlikleri için grid tabanlı yeni bir optimizasyon modeli algoritmasının geliştirilmesi,
2. Geliştirilen model kullanılarak, taban suyu derinliklerinin gözlenmesinde bilgi kaybını en aza indirecek olan optimum taban suyu gözlem kuyu sayısının belirlenmesi amaçlanmıştır.

## **2. Materyal ve Metot**

### **2.1. Materyal**

Araştırma alanı üzerinde rastgele dağılım gösteren drenaj gözlem kuyularında ölçülen *Taban Suyu Derinlik* (TSD) gözlemleri, temel materyal olarak alınmıştır. Şekil 1'de gösterilen Akarsu Sulama

Birliği sulama sahasında bulunan 107 adet TS gözlem kuyusundan 2011, 2012 ve 2013 hidrolojik yıllarında toplam 12 dönemde ölçülen TSD veri setleri ile çalışılmıştır.



Şekil 1. Çalışma Alanının Türkiye'deki Konumu ve Drenaj Gözlem Kuyularının Dağılımı [18].

## 2.2. Metot

Bu çalışmada, grid tabanlı bir optimizasyon modeli geliştirilerek çalışma alanındaki taban suyu gözlem kuyu sayılarının (Şekil 1) önemli bir bilgi kaybına neden olmadan azaltılma olanakları araştırılmıştır. Araştırmanın amaçlarına ulaşabilmek için, C Sharp programlama ve SQL veri tabanı sorgulama dilleri kullanılarak kodlar hazırlanmıştır. Araştırmada izlenen yöntemin esasları izleyen kısımlarda verilmiştir.

### 2.2.1. Kuyu Kombinasyonlarının Oluşturulması

N ve R birer doğal sayı ( $R \leq N$ ) olmak üzere, N elemanlı bir kümenin R elemanlı alt kümelerinin her birine o kümenin R'li kombinasyonu denir. N elemanlı bir kümenin R elemanlı alt kümelerinin sayısı Eşitlik 1 ile deyimlenir [19].

$$C(N, R) = \binom{N}{R} = \frac{N!}{(N-R)!R!}, \quad R=1, N \quad (1)$$

Eşitlik 1 kullanılarak, araştırma alanında yer alan 107 adet kuyu ve bu kuyularda yapılan derinlik ölçümleri birlikte seçilir ve  $\forall R$  için alt kümelerde ye-

alan kuyular belirlenir; bu kuyular hesaplamalara dahil edilmez. Geriye kalan kuyu listesi hesaplamalarda kullanılır; gözlem ağında hesaplamalarda kullanılan kuyuların dağılımına, *Kombinasyon Kuyu Dağılımı (KKD)* adı verilir.

### 2.2.2. Ters Uzaklık Enterpolasyon Tekniği (TUY)

Bu yöntem; "Birbirine yakın olan nesnelere, birbirinden uzak olan nesnelere göre birbiriyle daha fazla ilişkilidir" varsayımını [20] esas alır. Tahmin edilecek noktaya yakın olan noktalara daha fazla ağırlık atanmak sureti ile yakın noktaların kestirimdeki etkisi ya da ağırlığı arttırıldığından, yöntemin adı Ters Uzaklık Yöntemi [21] olarak bilinmektedir. Gözlemi olmayan bir noktanın kestirimi, Eşitlik 2 'de verilen denklem takımıyla yapılabilir.

$$\left. \begin{aligned} d_{i0} &= \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2} \\ w_i &= \frac{d_{i0}^{-p}}{\sum_{i=1}^n d_{i0}^{-p}}, \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad a = \sum_{i=1}^n w_i g_i \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Burada:  $n$ , tahminde kullanılan gözlem sayısını ( $n=12$ );  $d_{i0}$ , gözlenen nokta ile tahmin edilen nokta ( $x_0, y_0$ ) arasındaki Öklid uzaklığını (m); ( $x_0, y_0$ ), tahmin edilen noktanın koordinatını (UTM, m); ( $x_i, y_i$ ), gözlem yapılan noktanın koordinatını (m);  $w_i, g_i$  gözlem değerine atanan ağırlık değerini;  $p$ , uzaklığa karşılık gözlem değerine atanacak ağırlık üzerine etkili olan tam sayıyı;  $a$ , gözlem yapılmayan nokta için kestirilen TSD değerini;  $g_i$ , gözlenen TS derinliğini gösterir. TS çalışmalarında genellikle  $p=2$  alınmaktadır [20].

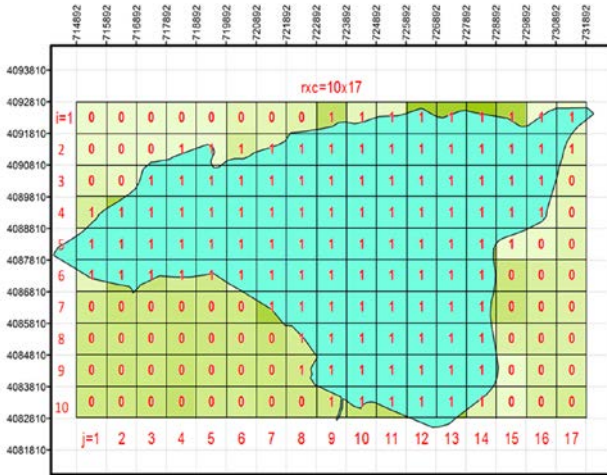
### 2.2.3. Grid Tabanlı Optimizasyon Yöntemi (GTOY)

Bu çalışmada geliştirilen bu optimizasyon yöntemi, amaç fonksiyonunun çözümlenebilmesi için çalışılan alanın grid sistemi yardımıyla matris formuna dönüştürülmesi esasına dayanır. Amaç fonksiyonu; Ceza Puanı olarak adlandırılan TSD ölçümlerinin bilgi kaybını veren ortalama ( $M$ ) ve standart sapma ( $STD$ ) istatistiğini içeren,  $CP=M+STD$  şeklindeki ifadenin minimize edilmesidir. Amaç fonksiyonu, matris formuna dönüştürülmüş olan alandaki gözlemlenen veriler esas alınarak simülasyon ile çözümlenir. Araştırma

alanında (Şekil 1) yürütülen Grid Tabanlı Optimizasyon Yöntemi (GTOY) amaç fonksiyonu çözüm algoritması aşağıda verilmiştir.

### 2.2.3.1. Çalışma Alanının Gridlenmesi

Grid tabanlı optimizasyon yönteminin uygulanabilmesi için çalışma alanının gridler yardımıyla havza matrisi formuna dönüştürülmesi gereklidir (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma Alanının Gridlenmesi ve Bu Gridlerin Matris Formunda Gösterimi.

Grid tabanlı optimizasyon modeli geliştirilmesinde ve araştırma alanına uygulanmasında, hesaplamaları yapabilmek için havza matrisi Şekil 2'de gösterildiği gibi, "1" ve "0" rakamları ile tanımlanarak kodlanmıştır. Havza sınırı içerisindeki gridlere "1" değeri, havza sınırı dışında kalan gridlere ise "0" değeri atanmıştır. Ancak, havza sınırı ile ara kesiti olan ve her grid alanının %10 ve daha fazlası havza içinde kalan gridlere de "1" değeri atanmıştır. Havza matrisi şöyle oluşturulur:  $s \in \{1, 2, 3, \dots, w'\}$ ,  $x = \{x_s \mid s=1, 2, 3, \dots, w'\}$ ,  $y = \{y_s \mid s=1, 2, 3, \dots, w'\}$ ,  $(x_{min}, x_{max}) \in X$  ve  $(y_{min}, y_{max}) \in Y$  olmak üzere çalışma alanının x ve y yönündeki model uzunlukları  $d_x$  ve  $d_y$  ile havzayı tasvir eden  $A_{rc}$  matrisinin boyutları Eşitlik 3 ile hesaplanabilir.

$$\left. \begin{aligned} d_x &= (x_{max} - x_{min}) \text{ ve } d_y = (y_{max} - y_{min}) \\ c &= \frac{d_x}{p'}, r = \frac{d_y}{p'} \end{aligned} \right\} (3)$$

Burada  $s$ ,  $w'$ ,  $c$ ,  $r$  ve  $p'$  pozitif tamsayıları;  $(x_s, y_s)$ ,  $d_x$  ve  $d_y$  ise reel sayı olmak üzere;  $s$ , havzadaki herhangi bir kuyuyu ( $s=1, 2, 3, \dots, w'$ );  $w'$ , havzadaki toplam kuyu sayısını ( $w'=107$ );  $c$ , havza matrisi

sütun numarasını ( $c=1, 2, 3, \dots, 17$ );  $r$ , havza matrisi satır numarasını ( $r=1, 2, 3, \dots, 10$ );  $p'$ , piksel boyutunu ( $p'=1000$  m);  $(x_s, y_s)$ , havzada bulunan  $s$  numaralı kuyunun koordinat değerlerini (m);  $d_x$ , havzada bulunan en küçük ( $x_{min}$ ) ve en büyük boylam ( $x_{max}$ ) arasındaki Öklid uzaklığını (m);  $d_y$ , havzada bulunan en küçük ( $y_{min}$ ) ve en büyük ( $y_{max}$ ) enlem arasındaki Öklid uzaklığını (m) göstermektedir.

Havza matrisinde, herhangi bir grid merkezinin koordinatları  $(X_{ij}, Y_{ij})$ , satırlar ( $i=1, 2, 3, \dots, r$ ) ve sütunlar ( $j=1, 2, 3, \dots, c$ ) olmak üzere şöyle deyimlenir (Eşitlik 4).

$$\left. \begin{aligned} X_{ij} &= X_{min} + (2j-1) * p' / 2 \\ Y_{ij} &= Y_{min} + [2(r-i)+1] * p' / 2 \end{aligned} \right\} (4)$$

### 2.2.3.2. Havza Matrisi Gridlerine Taban Suyu Derinlik Değerlerinin Atanması

Şekil 2'de verilen grid sisteminde  $i \in \{1, 2, 3, \dots, r\}$  ve  $j \in \{1, 2, 3, \dots, c\}$  ise,  $A$  matrisi Eşitlik 5 ile tanımlanabilir.

$$A = [a_{ij}]_{rc} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1c} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2c} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ a_{r1} & a_{r2} & \dots & a_{rc} \end{bmatrix} (5)$$

Burada:  $a$  reel sayı olmak üzere  $a_{ij}$  elemanları, temsil ettiği grid için Ters Uzaklık Yöntemi (TUY) ile tahmin edilen (Eşitlik 2) TSD ( $m$ ) değerini ifade etmektedir. Şekil 2'de verilen grid sistemi ve bu sisteme ait havza matrisi  $A$  (Eşitlik 5), zamandan bağımsızdır. Materyal bölümünde açıklandığı üzere, havza üzerinde dağılan drenaj gözlem kuyularından dönemsel TSD gözlemleri ( $n=1, 2, 3, \dots, t$ ;  $t=12$ ) yapılmıştır. Matris tanımlamasına uygun olacak şekilde TUY ile hesaplanan TSD değerleri havza matrisi  $A$ , gözlemlerin yapıldığı zamanı da içine alacak şekilde şöyle gösterilebilir (Eşitlik 6):

$$A_n = [a_{ijn}] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1c} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2c} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ a_{r1} & a_{r2} & \dots & a_{rc} \end{bmatrix}_n (6)$$

### 2.2.3.3. Mevsim Etkisi Giderilmiş Kontrol Ortalama Havza Matrisinin Oluşturulması

Çalışma alanındaki mevcut gözlem kuyularında ( $w'=107$  adet) gözlenen  $TSD$  kullanılarak her dönem için ( $n=1, 2, 3, \dots, t; t=12$ ) Şekil 2'deki grid sisteminde  $TUY$  ile (Eşitlik 2) tahmin edilir ve  $A_n$  matrisleri oluşturulur. Elde edilen  $A_n$  matrisleri kullanılarak her pikselin ortalama  $TSD$  değeri hesaplanır. Hesaplanan değerler, Eşitlik 7'de olduğu gibi bir matrise atanarak "kontrol (referans) matrisi" olarak tanımlanan "ortalama havza matrisi" ( $Kontrol\_M$ ) elde edilir.

$$Kontrol\_M = [m_{ij}] = \left[ \frac{1}{t} \sum_{n=1}^t a_{ijn} \right] \quad (7)$$

#### 2.2.3.4. Mevsim Etkisi Giderilmiş Kontrol "Standart Sapma" Havza Matrisinin Oluşturulması

Ortalamalardan oluşan  $Kontrol\_M$  matrisi tektir ve bu matris yardımı ile her bir gridin standart sapması hesaplanır. Hesaplanan değer, o gride atanarak kontrol olarak ifade edilen "standart sapma" havza matrisi ( $Kontrol\_STD$ ) Eşitlik 8'deki gibi, gridlerin ( $m_{ij}$ ) ortalama değerleri kullanılarak oluşturulur.

$$Kontrol\_STD = [std_{ij}] = \left\{ \sqrt{\frac{1}{t-1} \sum_{n=1}^t (m_{ij} - a_{ijn})^2} \right\} \quad (8)$$

#### 2.2.3.5 Mevsim Etkisi Giderilmiş Kombinasyon Kuyu Dağılımı Havza Matrislerinin Oluşturulması

$C(w', R)$  kombinasyonları;  $R=1, 2, 5, 10, 15, 20, \dots, 95, 100, 106$  olacak şekilde seçilerek her bir  $R$  değeri için alt kümeler oluşturulur.  $R \geq 2$  için kombinasyon alt kümelerinden rastgele 1000 adedi seçilir. Seçilen bu 1000 adet kümedeki kuyular  $w'=107$  adet kuyu setinden çıkarılır. Böylece 1000 adet farklı kuyu seti elde edilmiş olur. Elde edilen 1000 adet kuyu seti, *Kombinasyon Kuyu Dağılımı* ( $KKD_k$ ,  $k'=1, 2, 3, \dots, k; k=1000$ ) olarak tanımlanır.

Her bir  $KKD_k$  kuyu setinin gözlemleri kullanılarak Şekil 2'deki gridlerin  $TSD$  değerleri  $TUY$  ile her mevsim için elde edilir. Böylece,  $k \times n$  (12000 adet)  $KKD$  havza matrisi ( $KKD_{nk} = [kkd_{ijnk}']$ ,  $n=1, 2, 3, \dots, 12$ ;  $k'=1, 2, 3, \dots, 1000$ ) oluşturulur. Her bir  $KKD_k$  için mevsim etkisi giderilerek "ortalama" (Eşitlik 9) ve "standart sapma" (Eşitlik 10) matrisi şöyle hesaplanır:

$$KKD\_M_{k'} = \left[ \frac{1}{t} \sum_{n=1}^t kkd_{ijnk'} \right] = [m_{ijk'}] \quad (9)$$

$$KKD\_STD_{k'} = \sqrt{\frac{1}{t-1} \sum_{n=1}^t (kkd_{ijnk'} - m_{ijk'})^2} = [std_{ijk'}] \quad (10)$$

#### 2.2.3.6. Ortalamalar Arasındaki Mutlak Farkı Veren "Ortalama Hata Matrisi"nin Oluşturulması

$Kontrol\_M$  (Eşitlik 7) ve  $KKD\_M_{k'}$  (Eşitlik 9) matrisleri arasındaki mutlak fark alınarak, her bir pikseldeki "hata"  $k'=1, 2, 3, \dots, 1000$  için elde edilir. Böylece ortalamalar arasındaki mutlak farkı veren "ortalama hata matrisi"  $Fark\_M_{k'}$  (Eşitlik 11) bulunur.

$$Fark\_M_{k'} = \left. \begin{aligned} & [fm_{ijk'}] \\ & = [Kontrol\_M] - [KKD\_M_{k'}] \\ & = [m_{ij} - m_{ijk'}] \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

#### 2.2.3.7. Standart Sapmalar Arasındaki Mutlak Farkı Veren "Standart Sapma Hata Matrisi"nin Oluşturulması

"Kontrol standart sapma" matrisi (Eşitlik 8) ile "simülasyon standart sapma" matrisleri (Eşitlik 10) arasındaki mutlak farkı gösteren "standart sapma hata matrisi"  $Fark\_STD_{k'}$  (Eşitlik 12) elde edilir.

$$Fark\_STD_{k'} = \left. \begin{aligned} & [fst_{ijk'}] \\ & = [Kontrol\_STD] - [KKD\_STD_{k'}] \\ & = [std_{ij} - std_{ijk'}] \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

#### 2.2.3.8. Simülasyonların "Toplam Ortalama Hata" ve "Toplam Standart Sapma Hata" Matrislerinin Elde Edilmesi

Simülasyonların her birinin toplam hatasının havza bazında ortaya konulabilmesi için, ortalama hata matrisi piksel bazında toplanarak tek bir değere dönüştürülür ve "toplam ortalama hata matrisi" ( $M_{k'}$ ) elde edilir (Eşitlik 13). Aynı işlem, standart sapma hata matrisi için de yapılarak, havzaya özgü tek bir "toplam standart sapma hata matrisi" ( $STD_{k'}$ ) bulunur (Eşitlik 14).

$$M_{k'} = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^r fm_{ijk'} \quad (13)$$



$$STD_{k'} = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^r fstd_{ijk} \quad (14)$$

### 2.2.3.9. Simülasyon Ceza Puanı ( $CP_{k'}$ ) Hesabı

Her bir simülasyon ( $k'$ ) için, simülasyonun “toplam ortalama” ve “toplam standart sapma” değerleri kullanılarak simülasyonun ceza puanı ( $CP_{k'}$ ) ya da toplam simülasyon hatası hesaplanır (Eşitlik 15) ve amaç fonksiyonu çözümlenir.

$$CP_{k'} = M_{k'} + STD_{k'}, \quad k'=1, 2, 3, \dots, 1000 \quad (15)$$

$Min\{CP_{k'} | k'=1, 2, 3, \dots, k=1000\}$  koşulunu sağlayan  $k'$  simülasyonundaki kuyu seti, seçilen  $R$  değeri için optimize edilen ve havzada en az bilgi kaybını veren ya da havzayı en iyi temsil eden  $KKD'$ dir. Bu;  $KKD'$ e; 12 döneme ait gözlemlenen veriler ile hesaplanan  $Kontrol\_M$  ve  $Kontrol\_STD$  havza matrisine benzeyen (optimize edilen)  $KKD$  olarak da ifade edilebilir.

### 2.2.4. TSD Hipsometrik Eğrilerinin Grafikselleştirilmesi

Hipsometrik eğriler, yükseklik/alan dağılımını tanımlamaktadır [22]. Bu eğriler, taban suyu tuzluluğu ve derinliğine de uyarlanabilmektedir [13]. Her farklı kombinasyon alt kümesi için optimize edilen  $KKD'$ lerin taban suyu derinliği  $KKD\_M$  hipsometrik eğrileri çizilir. Bu eğriler, 107 kuyudan oluşan ve kontrol olarak kabul edilen 12 dönem için 1000x1000 m çözünürlükte hesaplanan taban suyu derinliği  $Kontrol\_M$  hipsometrik eğrisi ile grafikselleştirilir.

### 2.2.5. Bilgi Kaybının Belirlenmesi

$Kontrol\_M$  havza matrisinin her bir gridini temsil eden  $TSD$  değerleri esas alınarak, optimize edilen  $KKD'$ lerin  $KKD\_M$  havza matrisleri  $TSD$  değerleri tahmin hatalarının belirlenmesinde Eşitlik 16 ( $PE\%$ ,  $Yüzde Tahmin Hatası$ ) kullanılmıştır [23].

$$PE_{\%} = b^{-1} \sum_{i=1}^b \left| \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{\hat{Y}_i} \right| 100 \quad (16)$$

Burada  $\hat{Y}_i$ ,  $Kontrol\_M\_107$  havza matrisinin havza sınırı içerisindeki her bir gridi için tahmin edilen  $TSD$  değerini;  $Y_i$ ,  $KKD\_M$  havza matrisinin havza sınırı içerisindeki her bir gridi için tahmin edilen  $TSD$  değerini;  $b$ , havza sınırı içerisindeki toplam veri sayısını göstermektedir.

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. Gözlem Noktaları Kombinasyon Sonuçları

Analizler, her bir kombinasyon için seçilen bin adet kuyu kombinasyon setinde yapılmıştır. Analizlerin ilerleyen aşamasında, C(107,2), C(107,5), C(107,10), C(107,15), C(107,20), C(107,25) ve C(107,30)'lu kombinasyonlarının eleman sayıları <1000 bulunmuştur. Bu nedenle, bu kombinasyonlar için 1000 adet alt kümeye ihtiyaç duyulmadığı görülmüştür. Amaç fonksiyonunun çözümlenebilmesi için; optimize edilen C(107,1)'li  $KKD'$ nin (*Simülasyonun Ceza Puanı* ( $CP_{k'}$ ) istatistikleri hesaplanmış ve bu istatistikler küçükten büyüğe doğru artan sırada dizilmiştir. İlk değer en küçük hatayı veren kuyuyu, son değer ise en büyük hatayı veren kuyuyu göstermiştir (Tablo 1). Bu sıralamaya göre kuyular arasında 1'li (48 numaralı kuyu), 2'li (48 ve 1 numaralı kuyular), 5'li (48, 1, 76, 14 ve 27 numaralı kuyular), ..., 100 ve 106'lı kombinasyon alt kümeleri oluşturulmuştur. Oluşturulan alt küme elemanlarının olmadığı kombinasyon kuyu dağılımları ( $KKD$ ) arasında minimum hatayı veren  $KKD$ ;  $CP_{k'}=0.0927 m$  olan, 48 numaralı TS gözlem kuyusunun gözlem ağından çıkarıldığı  $KKD\_106$  olduğu bulunmuştur. Bu kuyunun gözlem ağı içerisinde konum itibarıyla en önemsiz kuyu olduğuna karar verilmiştir. Diğer bir ifadeyle; 48 numaralı kuyunun  $KKD$  içerisinde TS derinliğini saptamaya yönelik yapılacak hesaplamalara dahil edilmesinin pek anlam ifade etmeyeceği saptanmıştır. Tablo 1 incelendiğinde ise; konum itibarıyla en önemli kuyunun;  $CP_{k'}=1.8621 m$  olan 30 numaralı TS gözlem kuyusu olduğu görülmektedir. Bu kuyu Akarsu Sulama Birliği sulama sahasında bulunan 107 adet TS gözlem kuyusu içerisinde konum itibarıyla en önemli kuyudur. Bu kuyunun olmadığı  $KKD$  gözlem ağı kümesinde yapılacak olan TS derinliği hesaplamalarında tahmin hatalarının büyüyeceği belirlenmiştir. Bu nedenle 30 numaralı gözlem kuyusunun TS derinliği tahminlerinde optimize edilen bütün  $KKD$  gözlem ağı kümesinde olması gerektiği saptanmıştır.

**Tablo 1. C(107,1) Alt Kümelerinin Ceza Puanına (CP<sub>k</sub>) Göre Sıralanması.**

Sıra No	Kuyu No	CP <sub>k</sub> (m)	Sıra No	Kuyu No	CP <sub>k</sub> (m)	Sıra No	Kuyu No	CP <sub>k</sub> (m)
<b><u>1</u></b>	<b><u>48</u></b>	<b><u>0.0927</u></b>	37	93	0.3378	73	10	0.4999
2	1	0.1121	38	97	0.3385	74	100	0.5375
3	76	0.1221	39	35	0.3393	75	65	0.5426
4	14	0.1346	40	87	0.3405	76	39	0.5497
5	27	0.1460	41	15	0.3415	77	4	0.5540
6	107	0.1626	42	94	0.3476	78	61	0.5607
7	41	0.1643	43	54	0.3494	79	49	0.5710
8	6	0.1772	44	42	0.3566	80	12	0.5719
9	45	0.1791	45	98	0.3570	81	67	0.5766
10	32	0.1804	46	99	0.3575	82	81	0.5932
11	26	0.1811	47	82	0.3617	83	3	0.6140
12	11	0.1829	48	55	0.3638	84	59	0.6211
13	92	0.1843	49	36	0.3673	85	91	0.6422
14	29	0.1894	50	34	0.3722	86	104	0.6431
15	86	0.1980	51	56	0.3756	87	33	0.6451
16	66	0.2043	52	46	0.3846	88	77	0.6536
17	37	0.2075	53	102	0.3882	89	21	0.6582
18	83	0.2161	54	7	0.4179	90	31	0.6888
19	16	0.2255	55	57	0.4235	91	38	0.7356
20	43	0.2322	56	106	0.4307	92	84	0.7643
21	62	0.2330	57	105	0.4308	93	44	0.7671
22	23	0.2421	58	24	0.4314	94	96	0.7676
23	53	0.2661	59	28	0.4384	95	70	0.7773
24	72	0.2735	60	17	0.4417	96	19	0.8342
25	22	0.2792	61	88	0.4428	97	90	0.8499
26	71	0.2865	62	52	0.4442	98	47	0.9089
27	89	0.2884	63	101	0.4499	99	5	0.9469
28	74	0.3032	64	25	0.4580	100	40	0.9581
29	79	0.3109	65	95	0.4597	101	78	1.0532
30	73	0.3111	66	58	0.4598	102	103	1.0816
31	63	0.3162	67	20	0.4609	103	75	1.1651
32	51	0.3192	68	69	0.4619	104	2	1.1998
33	8	0.3232	69	13	0.4680	105	60	1.3315
34	18	0.3234	70	80	0.4748	106	64	1.6919
35	68	0.3256	71	9	0.4797	<b><u>107</u></b>	<b><u>30</u></b>	<b><u>1.8621</u></b>
36	85	0.3276	72	50	0.4856			

### 3.2. Ters Uzaklık Enterpolasyon Tekniği Sonuçları

Her grid merkezine en yakın 12 kuyu kullanılarak grid merkez koordinatlarının bulunduğu piksel için taban suyu derinliği (TSD) ters uzaklık yöntemi (TUY) ile tahmin edilmiştir. Tahminde kullanılan kuyuların azalmasına paralel olarak kuyuların aralarındaki uzaklığın artması; bilgi kaybı olarak tanımlanan ( $CP_k - \text{Toplam Hata} = M_k + STD_k$ ) Ceza

Puanının büyümesine neden olmuştur (Tablo 2). TUY ile yapılan TSD hesaplamalarında optimal kuyu mesafesinin ne olacağı konusunda bir bilgi elde etme olanağı yoktur. Ancak, ceza puanlarındaki artış üzerine kuyu aralıklarının da etkili olduğu söylenebilir. Bu sonuç, ters uzaklık yönteminin temel prensibi ile de paralellik arz etmektedir.



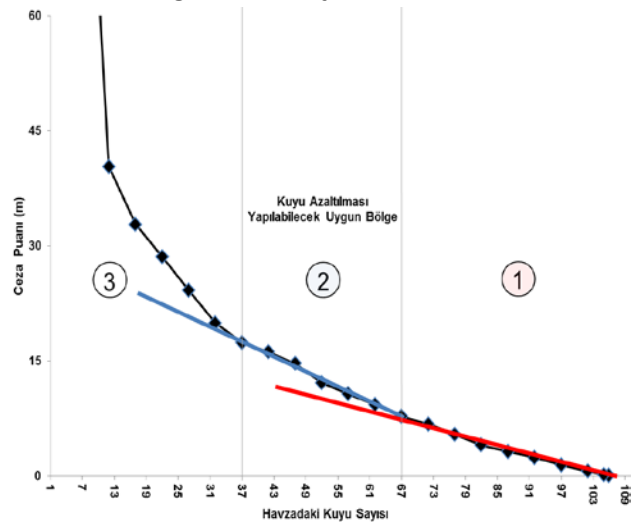
**Tablo 2.** Havzadaki Kuyu Sayısına Bağlı Ceza Puanı ( $CP_k$ ) Değişimi.

Sıra No	Kuyu Sayısı	$CP_k$ (m)	Sıra No	Kuyu Sayısı	$CP_k$ (m)
1	106	0.0927	13	52	12.1694
2	105	0.2048	14	47	14.6653
3	102	0.6216	15	42	16.1856
4	97	1.4665	16	37	17.4203
5	92	2.4177	17	32	19.9482
6	87	3.1940	18	27	24.2593
7	82	4.0269	19	22	28.6211
8	77	5.4234	20	17	32.8155
9	72	6.7929	21	12	40.3821
<b>10</b>	<b>67</b>	<b>7.7900</b>	22	7	100.5160
11	62	9.3291	23	1	181.7696
12	57	10.6966			

### 3.3. Grid Tabanlı Optimizasyon Yöntemi Sonuçları

C(107,2), C(107,5), C(107,10), C(107,15), C(107,20), C(107,25) ve C(107,30)'lu kombinasyonlarının 1000' er alt kümeleri simüle edilmiştir. Analizler sonucunda kombinasyonlar için 1000 adet alt kümeye ihtiyaç duyulmadığı tespit edilmiştir. Yeni bir çözümlene yapılarak; optimize edilen C(107,1)'li  $KKD$ 'nin simülasyon ceza puanı veya  $M_k+STD_k$  istatistikleri küçükten büyüğe doğru artan sırada dizilmiştir (Tablo 1). Bu dizilime uygun olacak şekilde kuyular arasında 1'li (48 numaralı kuyu), 2'li (48 ve 1 numaralı kuyular), 5'li (48, 1, 76, 14 ve 27 numaralı kuyular), 10'lu, ..., 100 ve 106'lı kombinasyon alt kümeleri oluşturulmuştur. Bu alt kümelerin olmadığı  $KKD$ 'ler bir kez simüle edilmiştir. Bu alt kümelerin mevcut 107 kuyudan

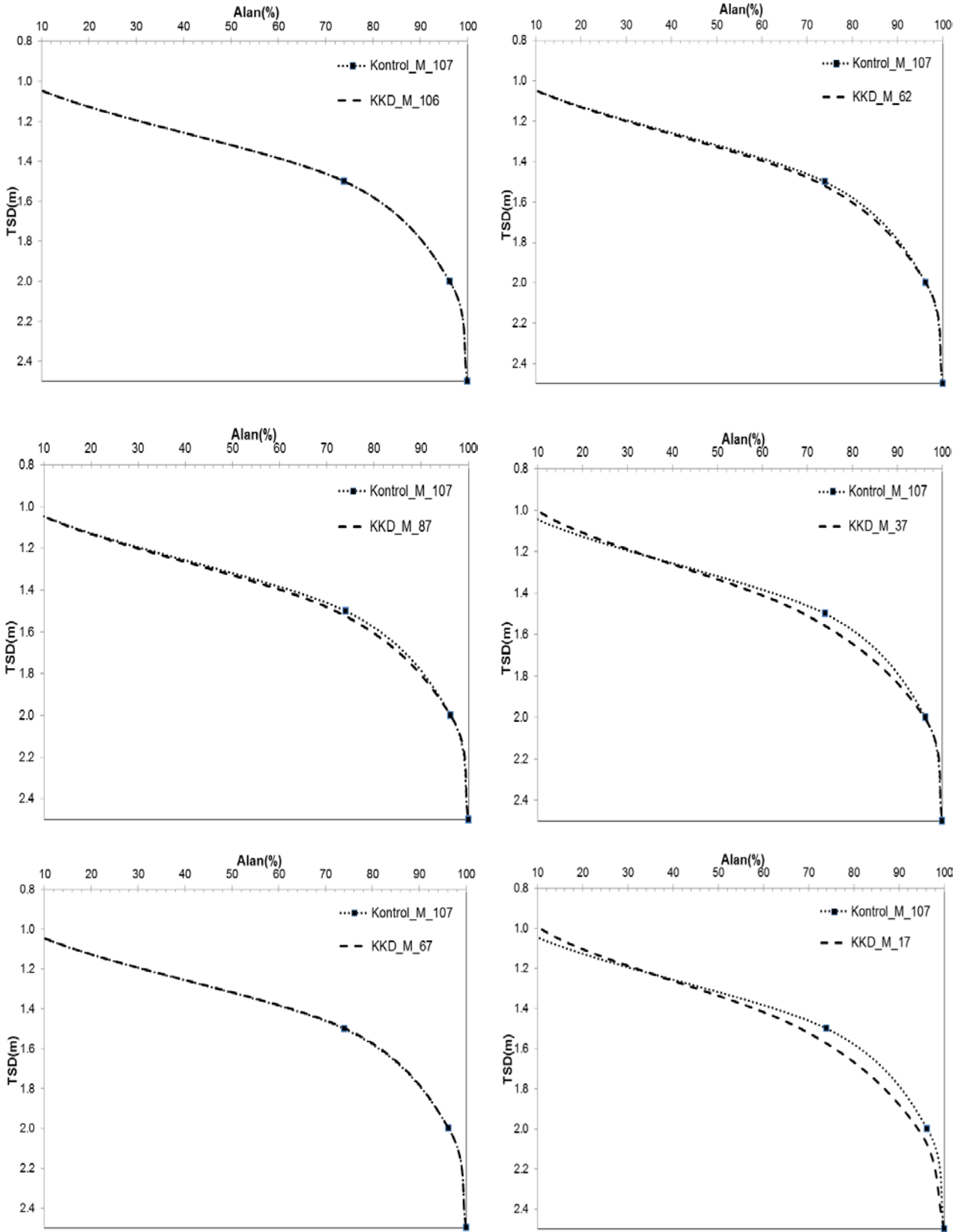
çıkarılması ile elde edilen 23 farklı  $KKD$  optimize edilmiştir (Tablo 2). Tablo 2'de verilen her farklı  $KKD$ 'ye karşılık gelen bilgi kaybını veren *Ceza Puanı* ( $CP_k$ ) değeri ile havzadaki kuyu sayısı Şekil 3'te karşılıklı olarak grafiklenmiştir. Şekil 3 incelendiğinde; havzadaki gözlem kuyu sayısının azalmasına bağlı olarak ceza puanının doğrusal olarak artış gösterdiği (1 nolu bölge); bu artışın kuyu sayısının 37-67 arasında olduğu kesimlerde (2 nolu bölge) kuyu sayısındaki azalmaya paralel olarak hız kazandığı; havzada kalan kuyu sayısının 37 kuyudan daha az olduğu koşullarda ise eğrisel bir tavır izlediği belirlenmiştir.



**Şekil 3.** Havza Matrisindeki Kuyu Sayısına Bağlı Bilgi Kaybı.

### 3.4. Taban Suyu Derinliği Hipsometrik Eğrilerinin Grafikselsel Analiz Sonuçları

Optimal  $KKD$ 'lerin  $KKD_M$  havza matrisleri  $TSD$  hipsometrik eğrilerinin  $Kontrol_M$  havza matrisi hipsometrik eğrisinden kuyu sayısındaki azalmaya paralel olarak sürekli bir şekilde uzaklaşmaya başlaması,  $KKD_M_{62}$  havza matrisi hipsometrik eğrisinden sonra olmuştur (Şekil 4). Bu kuyu setinin ( $KKD_{62}$ ) Şekil 3'te işaretlenen  $GTOY$  ile belirlenen optimal 37-67 kuyu aralığındaki 2. bölge içerisine düşmesi dikkat çekicidir. Ancak, güvende kalabilmek için 67 elemanlı  $KKD_{67}$  kümesi, optimize edilen  $KKD$  olarak seçilmiştir.



**Şekil 4.** KKD\_M Havza Matrisleri TSD Hipsometrik Eğrilerinin Kontrol\_M\_107 Havza Matrisine Göre Değişimi.

**3.5. Kuyu Sayısındaki Azalmaya Bağlı Bilgi Kaybı**  
Değinildiği üzere geliştirilen optimizasyon yönteminin esası; havzadaki mevcut 107 kuyuda ölçülen TSD değerlerinin 12 dönem ortalaması olan

ve mevsimsel etkinin ortalamasını ifade eden Kontrol\_M\_107'den, diğer KKD\_M'lerin farkının en aza indirilmesidir. Hesaplama; 12 döneme ait KD\_107 havza matrisi verileri kullanılarak

hesaplanan *Kontrol\_M\_107* havza matrisi pikselleri *TSD* değerleri referans alınmıştır. Optimize edilen her bir *KKD\_M* havza matrisinin piksellerdeki *TSD* değerleri ile *Kontrol\_M\_107* değerleri kullanılarak işlemler gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar sonucunda; optimize edilen 23 farklı *KKD*'nin, *PE*% istatistikleri Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3.** *KKD\_M* Havza Matrisleri *PE*% Kriterine Göre Bilgi Kayıpları.

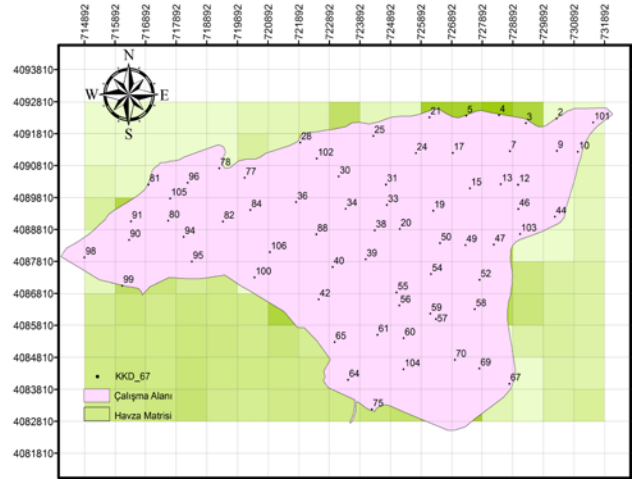
Sıra No	Havzayı Temsil Eden Kuyu Sayısı	<i>PE</i> %	Sıra No	Havzayı Temsil Eden Kuyu Sayısı	<i>PE</i> %
1	106	0.0	13	52	5.0
2	105	0.1	14	47	6.2
3	102	0.2	15	42	6.8
4	97	0.5	16	37	7.3
5	92	1.0	17	32	8.7
6	87	1.2	18	27	10.9
7	82	1.5	19	22	13.8
8	77	2.0	20	17	15.2
9	72	2.7	21	12	18.8
<b>10</b>	<b>67</b>	<b>3.0</b>	22	7	56.7
11	62	3.7	23	1	83.5
12	57	4.3			

#### 4. Sonuç

Optimize edilen 23 adet *KKD*'nin optimal alt sınırının belirlenmesi için yapılan bütün analizlerin değerlendirilmesi sonucu; optimize edilen 23 *KKD* arasında 67 gözlem kuyusundan oluşan *KKD\_67*'nin optimal kuyu dağılımı olduğu saptanmıştır (Tablo 4-Şekil 5).

**Tablo 4.** Optimize Edilen *KKD\_67* *TSD* Kümesinin Öznitelik Bilgileri.

Kombinasyon	<i>C(107,40)</i>
Hesaplamalarda Havza Matrisinden Çıkarılan Kuyuların kuyu numaraları	48,1,76,14,27,107,41,6,45,32,26,11,92,29,86,66,37,83,16,43,62,23,53,72,22,71,89,74,79,73,63,51,8,18,68,85,93,97,35,87
Hesaplamalarda Havza Matrisinde Bulunan Optimize Edilen <i>KKD_67</i> <i>TSD</i> Kümesinin Kuyu numaraları	2,3,4,5,7,9,10,12,13,15,17,19,20,21,24,25,28,30,31,33,34,36,38,39,40,42,44,46,47,49,50,52,54,55,56,57,58,59,60,61,64,65,67,69,70,75,77,78,80,81,82,84,88,90,91,94,95,96,98,99,100,101,102,103,104,105,106
$CP_k(m)=M+STD(m)$	7.7900



**Şekil 5.** *GTOY* ile Optimize Edilen *KKD\_67* *TSD* Kümesinin Havzadaki Dağılımı.

Mevcut 107 adet taban suyu gözlem kuyusundan, taban suyu derinliği gözlemi yapılarak elde edilecek bilgi ile optimizasyon sonucu belirlenen 67 adet kuyuda gözlem yapılarak elde edilecek bilginin birbirine oldukça yakın olacağı sonucuna varılmıştır. Bir başka ifade ile, gözlem kuyu sayısında %40 oranında azaltma yapılarak taban suyu gözlemi yapıldığında bir bilgi kaybı olmayacağı belirlenmiştir. Mevcut 107 drenaj gözlem kuyusu ile gözlem yapılan havzada, kuyu sayısı 67'ye düşürüldüğünde tahmin hatası (*PE*%) %3.0 bulunmuştur. Sonuçta, %3.0 tahmin hatası ile 67 kuyu kullanarak taban suyu gözlemlerine devam edilmesi önerilmiştir.

#### Kaynaklar

- [1] Çetinkaya, C.P., Barbaros, F. ve Harmancıoğlu, N.B., "Hidrometrik Veri Yönetimi", Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı: 420-421-422 / 2002/4-5-6, 2002.
- [2] Harmancıoğlu, N.B. ve Özkul, S., Hidrolojide; Veri İşlem, Yorumlama ve Tasarım, Seminer Notları, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2002.
- [3] Ataseven, B., "Nitel Bilimsel Araştırmalarda Veri Kalitesinin Önemi", Marmara Üniversitesi İ.İ.B. Dergisi, 33(2):543-564, 2012.
- [4] Lutz, R., Ameri, P., Latzko, T. ve Meyer, J., "Management of Meteorological Mass Data With MongoDB", Proceedings of the 28th EnviroInfo 2014 Conference, Oldenburg, Germany, September, 10-12, 2014.
- [5] WMO, World Meteorological Organization Climate Data Management System Specifications, Version. 1, No. 1131, Switzerland, 2014.

- [6] Made Van Der, J. M., Design Aspects of Hydrological Networks, The Netherlands Organization for Applied Scientific Research TNO, Proceedings and Information N:35, 1986.
- [7] Çetin, M., Jeostatistiksel Yöntem İle Nokta ve Alansal Yağışların Saptanması ve Stokastik Olarak Modellenmesi: Örnek Havza Uygulamaları, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1996.
- [8] WMO, World Meteorological Organization Guide to Hydrological Practices, Version. 1, No. 168, Switzerland, 2008.
- [9] Yetkin, M., GPS Ağlarının Optimal Tasarımı ve Robust İstatistik Yöntemlerin Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2008.
- [10] DSİ, Devlet Su İşleri Türkiye Ulusal Hidroloji Komisyonu (TUHK) Toplantısı, DSİ Etüt, Plan ve Tahsisler Dairesi Bşk., Ankara, 2013.
- [11] USEPA, Groundwater Monitoring Network Optimization Frontier Hard Chrome (FHC) Superfund Site, Vancouver, Washington. U.S Environmental Protection Agency, 2007.
- [12] Li, Y. ve Hilton, A. B. C., "Optimal Groundwater Monitoring Design Using an Ant Colony Optimization Paradigm", Environmental Modelling and Software, 22:110-116, 2007.
- [13] Çetin, M. ve Kırdı, C., "Spatial and Temporal Changes of Soil Salinity in a Cotton Field Irrigated with Low-Quality Water", Journal of Hydrology, 272:238-249, 2003.
- [14] Topçu, S., Çetin, M., Kırdı, C., Karaca, Ö.F., Efe, H. ve Sesveren, S., "Sulamadan Dönen Suların Tarımda Kullanımının Sürdürülebilirliği", 5. Dünya Su Forumu Bölgesel Hazırlık Süreci DSİ Yurtiçi Bölgesel Su Toplantıları Sulama-Drenaj Konferansı, Nisan 10-11, Adana, 2008.
- [15] DSİ, "Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Bülteni", DSİ Basım ve Foto-Film İşletme Müdürlüğü Matbası, 71:11-17, 1990.
- [16] Kanber, R. ve Ünlü, M., "5. Dünya Su Forumu Bölgesel Hazırlık Süreci", Devlet Su İşleri Yurtiçi Bölgesel Su Toplantıları Sulama-Drenaj Konferansı, Bildiri Kitabı, 11 Nisan, Adana, 2008.
- [17] Storck, P., Eheart, J.W. ve Valocchi, A.J., "A Method for The Optimal Location of Monitoring Wells for Detection of Groundwater Contamination in Threedimensional Heterogenous Aquifers", Water Resources Research, 33(9):2081-2088, 1997.
- [18] Çetin, M., İbrikçi, H., Berberoğlu, S., Gültekin, U., Karnez, E. ve Selek, B., Yarı Kurak İklimli Akdeniz Bölgesi Tarım Alanlarında Tuzluluk Etkisini Azaltmak İçin Sulama Randımanlarının Analiz ve Optimizasyonu (MEDSALIN), Proje Sonuç Raporu, Adana, 2012.
- [19] Jothi, A.L., Financial Mathematics, Himalaya Publishing House, Mumbai-India, 512p, 2015.
- [20] Çetin, M. ve Diker, K., "Assessing Drainage Problem Areas by GIS: A Case Study in The Eastern Mediterranean Region of Turkey", Irrigation and Drainage, 52:343-353, 2003.
- [21] Tunçay, T., Kapalı Drenaj Etkinliğinde Rol Oynayan Toprak Özelliklerinin Konumsal Değişiminin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010.
- [22] Chow, V. T., Maidment, D. R. ve Wags, L. W., Applied Hydrology, McGraw-Hill, Inc., Civil Engineering Series, New York, 572p, 1988.
- [23] Mimikou, M. ve Gordios, J., "Predicting The Mean Annual Flood and Flood Guantiles for Ungaged Catchments in Greece", Hydrological Sciences Journal, 34 (2) :169-184, 1989.