

ISSN: 1012 - 0726 (Baskı)
ISSN: 1308 - 2477 (Online)



SAYI: 130
YIL : EKİM 2018

DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

DSİ

TEKNİK

BÜLTENİ

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

Sahibi

DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Adına Genel Müdür
Mevlüt AYDIN

Sorumlu Müdür

Nurettin PELEN

Yayın Kurulu (DSİ)

Murat Ali HATİPOĞLU
Ali GÖKYEL
Dinçer AYDOĞAN
Oğuzhan BEKTAŞ
Şenay ÖZKAN
Harun MEYDAN
Ali Alper ÇETİN
Vehbi ÖZAYDIN
Erkan EMİNOĞLU
Bekir YAPAN
Hasan ÇAKIRYILMAZ
Gökay AKINCI
Tuncer DİNÇERGÖK

Editörler

Figen ÖZYURT KUŞ
Özgür KÜÇÜKALİ

Haberleşme Adresi

DSİ Teknik Araştırma ve
Kalite Kontrol (TAKK)
Dairesi Başkanlığı 06100
Yücetepe - Ankara

Tel (312) 454 38 00
Faks (312) 399 27 95
bulten@dsi.gov.tr

Basıldığı Yer

Destek Hizmetleri Dairesi
Başkanlığı
Basım ve Foto-Film Şube
Müdürlüğü
Etlik - Ankara

SAYI : 130

YIL : EKİM 2018

Yayın Türü

Yaygın süreli yayın
Üç ayda bir yayınlanır
(Ocak, Nisan, Temmuz,
Ekim)

ISSN 1012 - 0726 (Baskı)
1308 - 2477 (Online)

İÇİNDEKİLER

BÖLGESEL TEKTONİĞİN HEYELANLARDA ÖNEMİ VE JEO-MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ: MEMLİK MAHALLESİ, KUZEY ANKARA Koray ULAMIŞ, Korhan ESAT	1
DERME DERESİNİN FİZİKO-KİMYASAL VE HİDROLOJİK KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ Ö. Faruk DURSUN, Yasemin ERMİŞ, Murat ÇELİKER	10
BULANIK DEMATEL YÖNTEMİ İLE HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN İŞLETİLMESİNDEKİ RİSKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ Gökhan KAHRAMAN, Melih YÜCESAN	29

DSİ Teknik Bülteni TÜBİTAK ULAKBİM (Ulusal Akademik Ağ ve Bilgi Merkezi) ve uluslararası veritabanı EBSCO (Elton B. Stephens Company) tarafından taranmaktadır.

DSI TECHNICAL BULLETIN

Publisher

On behalf of GENERAL
DIRECTORATE OF
STATE HYDRAULIC
WORKS
Mevlüt AYDIN
General Director

Director in charge

Nurettin PELEN

Editorial Board (DSI)

Murat Ali HATİPOĞLU
Ali GÖKYEL
Dinçer AYDOĞAN
Oğuzhan BEKTAŞ
Şenay ÖZKAN
Harun MEYDAN
Ali Alper ÇETİN
Vehbi ÖZAYDIN
Erkan EMİNOĞLU
Bekir YAPAN
Hasan ÇAKIRYILMAZ
Gökay AKINCI
Tuncer DİNÇERGÖK

Editors

Figen ÖZYURT KUŞ
Özgür KÜÇÜKALİ

Contact Address

DSİ Teknik Araştırma ve
Kalite Kontrol (TAKK)
Dairesi Başkanlığı 06100
Yücetepe – Ankara /
TURKEY

Tel (312) 454 38 00
Faks (312) 399 27 95
bulten@dsi.gov.tr

Place of Publication

Destek Hizmetleri Dairesi
Başkanlığı
Basım ve Foto-Film Şube
Müdürlüğü
Etilik – Ankara / TURKEY

ISSUE: 130

YEAR : OCTOBER 2018

Publication Type

Widely distributed
periodical
Published quarterly
(January, April, July,
October)

ISSN

1012 - 0726 (Press)
1308 - 2477 (Online)

CONTENTS

SIGNIFICANCE OF REGIONAL TECTONICS ON LANDSLIDES AND THEIR GEO-ENGINEERING PROPERTIES: MEMLIK DISTRICT, NORTHERN ANKARA Koray ULAMIŞ, Korhan ESAT	1
DETERMINATION OF PHYSICO-CHEMICAL AND HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF DERME STREAM Ö. Faruk DURSUN, Yasemin ERMİŞ, Murat ÇELİKER	10
EVALUATION OF RISKS IN THE OPERATION OF HYDROELECTRIC POWER PLANTS WITH FUZZY DEMATEL METHOD Gökhan KAHRAMAN, Melih YÜCESAN	29

DSI Technical Bulletin is indexed by TUBITAK ULAKBİM (Ulusal Akademik Ağ ve Bilgi Merkezi) and international database EBSCO (Elton B. Stephens Company).

DSİ TEKNİK BÜLTENİ'NİN AMACI

DSİ Teknik Bülteni'nde, su ile ilgili konularda, temel ve uygulamalı mühendislik alanlarında gönderilen makaleler yayınlanır. Makaleler, ilk önce konunun uzmanı tarafından incelenir ve değerlendirilir. Daha sonra, Hakem Kurulu uzman görüşünü de esas alarak makalenin yayınlanıp yayınlanmamasına karar verir. Makalelerin tamamı veya büyük bir kısmı diğer yayın organlarında yayınlanmamış olması gereklidir. DSİ Teknik Bülteni TÜBİTAK ULAKBİM (Ulusal Akademik Ağ ve Bilgi Merkezi) ve Eylül 2016 tarihi itibarı ile uluslararası veritabanı kuruluşu EBSCO (Elton B. Stephens Company) tarafından taranmaya başlamıştır.

DSİ TEKNİK BÜLTENİ BİLDİRİ YAZIM KURALLARI

1. Gönderilen yazılar kolay anlaşılır dilde ve Türkçe kurallarına uygun şekilde yazılmış olmalıdır.
2. Yazıların teknik sorumluluğu yazarına aittir (yazılardaki verilerin kullanılması sonucu oluşabilecek maddi ve manevi problemlerde muhatap yazardır).
3. Yayın Kurulu, makaleler üzerinde gerekli gördüğü düzeltme ve kısaltmaları yapar.
4. Makaleler bilgisayarda Microsoft Word olarak bir satır aralıkla yazılmalı ve Arial 10 fontu kullanılmalıdır. Makaleler A4 normundaki kâğıdın her kenarından 25 mm boşluk bırakılarak yazılmalıdır.
5. Sadece ilk sayfada, yazı alanı başlangıcından sola dayalı olarak, italik 10 fontunda Arial kullanılarak ilk satıra "DSİ Teknik Bülteni" yazılmalıdır.
6. Konu başlığı: Yazı alanı ortalanarak, "DSİ Teknik Bülteni" yazısından sonra dört satır boş bırakıldıktan sonra Arial 12 fontu kullanılarak büyük harflerle koyu yazılmalıdır.
7. Yazar ile ilgili bilgiler: Adı (küçük harf), soyadı (büyük harf), yazarın unvanı ile bağlı olduğu kuruluş (alt satıra) ve elektronik posta adresi (alt satıra) başlıktan iki boş satır sonra ilk yazardan başlamak üzere Arial 10 fontu ile yazı alanı ortalanarak yazılmalıdır. Diğer yazarlar da ilk yazar gibi bilgileri bir boşluk bırakıldıktan sonra yazılmalıdır.
8. Türkçe özet, elektronik posta adresinden dört boş satır sonra, özetten bir boş satır sonra ise anahtar kelimeler verilmelidir. Aynı şekilde, Türkçe anahtar kelimelerden iki boş satır sonra İngilizce özet, bir boş satır sonra ise İngilizce anahtar kelimeler verilmelidir.
9. Bölüm başlıkları yazı alanı sol kenarına dayandırılarak Arial 10 fontu kullanılarak koyu ve büyük harfle yazılmalı. Bölüm başlığının üzerinde bir boş satır bulunmalıdır.
10. Ara başlıklar satır başında başlamalı, üstlerinde bir boş satır bulunmalıdır. Birinci derecedeki ara başlıktaki bütün kelimelerin sadece ilk harfi büyük olmalı ve koyu harflerle Arial 10 fontunda yazılmalıdır. İkinci ve daha alt başlıklar normal harflerle Arial 10 fontu ile koyu yazılmalıdır.
11. Yazılar kâğıda iki sütün olarak yazılmalı ve sütün aralarındaki boşluk 10 mm olmalıdır.
12. Paragraf sola dayalı olarak başlamalı ve paragraflar arasında bir boş satır bırakılmalıdır.
13. Eşitlikler bilgisayarda yazılmalı ve numaralandırılmalıdır. Eşitlik numaraları sayfanın sağına oturmalı ve parantez içinde yazılmalıdır. Her eşitlik alttaki ve üstteki yazılardan bir boş satır ile ayrılmalıdır. Eşitliklerde kullanılan bütün semboller eşitlikten hemen sonraki metinde tanımlanmalıdır.
14. Sayısal örnekler verildiği durumlarda SI veya Metrik sistem kullanılmalıdır. Rakamların ondalık kısımları virgül ile ayrılmalıdır.
15. Yararlanılan kaynaklar metinde kaynağın kullanıldığı yerde köşeli parantez içerisinde numaralı veya [Yazarın soyadı, basım yılı] olarak belirtilmelidir. Örneğin: "..... basamaklı dolusavaklar için geometri ve eşitlikler [1]" veya basamaklı dolusavaklar için geometri ve eşitlikler [Aktan, 1999]" gibi.
16. Kaynaklar yazar soyadlarına göre sıralanmalı, listelenirken yazar (veya yazarların) soyadı, adının baş harfi, yayın yılı, kaynağın ismi, yayınlandığı yer ve yararlanan sayfa numaraları belirtilerek, köşeli parantez içerisinde numaralandırılmalı ve yazarken soldan itibaren 0,75 cm asılı paragraf şeklinde yazılmalıdır. Makale başlıkları çift tırnak içine alınmalı, kitap isimlerinin altı çizilmelidir. Bütün kaynaklara metin içinde atıf yapılmalıdır.
17. Çizelgeler, şekiller, grafikler ve resimler yazı içerisine en uygun yere gelecek şekilde yerleştirilmelidir. Fotoğraflar net çekilmiş olmalıdır. Şekil ve grafikler üzerine el yazısı ile ekleme yapılmamalıdır.
18. Makalenin tamamı 20 sayfayı geçmemeli, şekil, çizelge, grafik ve fotoğraflar yazının 1/3'ünden az olmalıdır.
19. Sayfa numaraları, sayfaların karışmaması için sayfa arkalarına kurşun kalem ile hafifçe verilmelidir.
20. Yazım kurallarına uygun olarak yazılmış makalenin tam metni eğer e-posta ortamında gönderilebilecek kadar küçük boyutta ise e-posta adresine, değilse; hem A4 kâğıda baskı şeklinde (2 adet) hem de dijital ortamda (CD veya DVD) yazışma adresine gönderilmelidir.
21. Yayınlanan bütün yazılar için "Kamu Kurum ve kuruluşlarınca ödenecek telif ve işleme ücretleri hakkındaki yönetmelik" hükümleri uygulanır.
22. Makaleyi gönderen yazarlar yukarıda belirtilenleri kabul etmiş sayılırlar.
23. Yazışma adresi aşağıda verilmiştir:

Yasal Uyarı

Bu Teknik Bülten yalnızca genel bilgilendirme amacıyla yayımlanmaktadır ve içeriğinde yer alan malzemelerin, prosedürlerin veya yöntemlerin tek mevcut ve uygun malzeme, prosedür veya yöntem olduğunu ima etmemektedir. Malzemeler, prosedürler veya yöntemler özel koşullara, yerel imar kanunlarına, tasarım şartlarına veya tüzel ve yasal şartlara göre değişebilir. Bu Teknik Bülten'deki bilgilerin doğru ve güvenilir olduğuna inanılmakla beraber, yayımlayıcı olarak Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü bu Teknik Bülten'in içeriğinde bulunan yöntemlerin, malzemelerin, talimatların veya fikirlerin herhangi bir şekilde kullanılması kaynaklı mal veya can kaybından veya oluşabilecek zararlardan sorumlu değildir.

DSİ TEKNİK BÜLTENİ DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Dairesi Başkanlığı Yıldırım Beyazıt Mah. DSİ Küme

Evleri No:5 Pirsaklar / ANKARA

Tel (312) 454 3800

Faks (312) 399 2795

E-posta bulten@dsi.gov.tr

Web <http://www.dsi.gov.tr/yayinlarimiz/dsi-teknik-bultenleri>

BÖLGESEL TEKTONİĞİN HEYELANLARDA ÖNEMİ VE JEO-MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ: MEMLİK MAHALLESİ, KUZEY ANKARA

Koray ULAMIŞ

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü 06830 Gölbaşı ANKARA
ulamis@ankara.edu.tr

Korhan ESAT

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Tektonik Araştırma Grubu
06830 Gölbaşı ANKARA
esat@ankara.edu.tr

(Makalenin geliş tarihi: 19.03.2019, Makalenin kabul tarihi: 16.07.2019)

ÖZ

En yaygın görülen jeolojik afetlerden olan heyelan, mühendislik yapılarını ve çevreyi olumsuz etkilemektedir. Özellikle yapılaşmanın planlanması aşamasında, heyelan oluşum mekanizmalarını belirlemeye yönelik detaylı jeolojik ve jeoteknik incelemenin yapılması ekonomik ve/veya hayati kayıpların önlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada, Ankara ili kuzeybatısında bulunan Memlik mahallesine ulaşımı sağlayan ana yolun doğusundaki Neojen yaşlı zeminlerde gelişen heyelanın mühendislik jeolojisi incelenmiştir. Heyelan aynası ile kabarma bölgesi arasında yapılaşma 1990-2000 yılları arasında başlamış ve günümüze kadar yeni yapılar eklenmiştir. Yapıların bulunduğu alandaki tali yol ile yol dolgusunda çökmeler ve doğuya doğru hareketler gözlenmiştir. Heyelanın yaklaşık boyutları belirlenerek, kayma düzleminde alınan örneklerin sınıflamaları yapılmış, ayrıca doygun şartlarda makaslama dayanımı parametreleri incelenmiştir. Geriye dönük analizler ile limit denge koşulunu sağlayan artık kohezyon ve içsel sürtünme açısı belirlenmiştir. Heyelanın çökme bölgesinde birçok farklı boyutlarda su sızıntıları ve göller oluşmuştur. Heyelanda en yüksek eğim 13° olup, heyelan sonsuz yamaç modeline uygun şekilde yayılmıştır. Kahverenkli yamaç molozu gri-yeşil killer üzerinde yamaca paralel olarak hareket etmiştir. Arazide gri-yeşil killer ve yamaç molozu düzensiz şekilde kaymış olup, dairesel veya karışık türde hareket belirten bir görünüm yoktur. Efektif gerilmenin sıfır olduğu yenilme düzleminin konumu sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ile belirlenmiştir. Ayrıca, yenilme düzleminin konumunun belirlenmesinde hacimsel makaslama deformasyonu ve gerilme faktörü değişiminden yararlanılmıştır. Heyelanın, kontrolsüz yapılaşma ve kazılar yanında tektonik olarak bölgenin aktif yükselmesi nedeniyle gelişen düşey hareketlerle ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Heyelan, Mühendislik Jeolojisi, FEM, Tektonizma, Memlik

SIGNIFICANCE OF REGIONAL TECTONICS ON LANDSLIDES AND THEIR GEO-ENGINEERING PROPERTIES: MEMLIK DISTRICT, NORTHERN ANKARA

ABSTRACT

Landslide is one of the most common natural hazards with significant unfavorable effect on structures and environment. Detailed geological and geotechnical investigations are the back bone of preventing possible economic loss of property and life, especially during residential planning stage. This study covers the engineering geological investigation of the landslide, which took place in Neogene aged soils nearby the main road to Memlik district in Ankara. The south section of main accumulation zone of the slide has been excavated and several structures have been constructed up to date. Shallow slides and recent damage on the road to the resident area indicate the movement is in east direction. The

dimensions of the slide were determined with sampling from the sliding surface. The classification of the samples was conducted with the testing of saturated shear strength parameters. Residual cohesion and internal friction were extracted from back analyses, which satisfied the limit equilibrium. Several ponds and water leaking points were encountered within the depletion zone of the landslide. The maximum slope is 13°, regarding to the infinite slope model. Brownish slope debris material slides on the grey-green colored clays parallel to the slope. The grey-green colored clay and slope debris exhibit an irregular sliding surface with no distinct circular or non-circular shape. The failure surface where effective stress is zero was evaluated by finite element method (FEM). Moreover, the location of the sliding surface was determined by the shear deformation and strength factor variation. One of the main reasons of the landslides might be the tectonically active vertical uplifting in addition to the unrestrained urbanization and excavations.

Keywords: Landslide, Engineering geology, FEM, Tectonics, Memlik

1 INTRODUCTION

Landslides cause significant damage to environment and property which are the most common natural hazards. The basic definition of the landslides is movement of geological material on an inclined plane [1]. Other definitions of the term “landslide (also cited as landslip)” has been extensively discussed [2]. Main triggering agents of landslides are excess rainfall and earthquakes [3] and also the unplanned residential activities [4]. The 21% of the damage in residential areas was landslide related between 1950 and 2008 [5]. The damage in Ankara capital was 18% with a total of 2400 buildings which suffered damage from landslides. This percent is the 3% of total building count within the capital boundaries [5]. The aim of this study was to investigate the engineering geological characteristics of the landslide happened nearby Memlik district of northwestern Ankara. The geological map of the area was prepared with particular concern in the tectonic features. The aerial photo of the area revealed that the landslide has existed before 1980, however the recent buildings were constructed by the early 1990's. Between 1980 and 2018, a road cut has been projected in the accumulation zone of the existing slide. Such constructions have triggered the slide to re-activate based on recent field observations.

2 GEOLOGY AND GEOMORPHOLOGY

The north-northwestern part of Ankara residential area is within an uplift region, bounded by Kazan on the west and Çubuk plain on the east (Figure 1). Several lithological units of Triassic-Quaternary exist within this area [6, 7, 8, 9]. Upper Triassic meta-sandstone, Lower Jurassic conglomerate, Cretaceous ophiolitic mélange, Neogene sandstone, claystone, extremely altered sandstone and Quaternary

undifferentiated alluvium are the main units around the landslide based on recent geological mapping (Figure 2). Quaternary faults are thrust/reverse and normal. The earthquakes with magnitudes between 3.0 and 4.4 indicate the activity of such faults (Figure 1, 2). The study area is located within the uplift area bounded by Kazan Fault [10] on the east and blind thrusts [11] in Çubuk plain on the west; which is an evidence of a NW-SE trending regional compression up to date [12, 13]. This active uplift should be one of the reasons of landslides and normal faults in the study area and northern vicinity. Kazan and Çubuk plains are lower than 1000 m altitude, while Kazan plain is lower than that of Çubuk plain. The study area is located between 1000 m and 1500 m (Figure 1b). Folds and faults which indicate varying tectonic stages between Upper Triassic and Quaternary [7] around the study area, which has been classified as “flat top mountain” in terms of geomorphology [14].

The landslide, as outlined in this study is located on the footwall of the normal fault which bounds the Upper Cretaceous ophiolitic mélange and Neogene aged units. It has occurred in the weakly cemented sedimentary units. Several landslide ponds and irregular topography reveal the existence of such slide.

3 MATERIALS AND METHODS

The dimensions of the landslide were determined by in-situ inspections and satellite imagery. Geotechnical data were compiled from previous boreholes and geotechnical investigations. Sampling was performed for shear box tests and determination of index soil properties. The sliding surface of the landslide was determined based on 2D finite element modelling. Back analyses under static conditions were performed to attain the shear strength parameters.

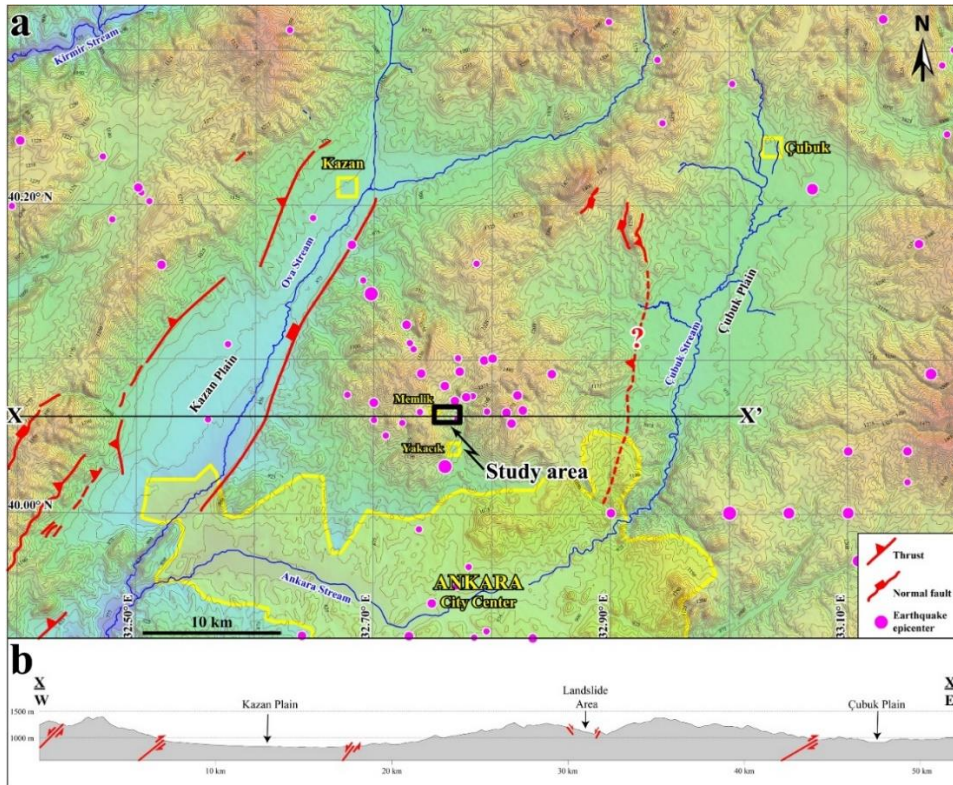


Figure 1 - (a) Main neotectonic structures (red lines) [10, 11, 14]. Epicenters of the earthquakes ($3.0 < M < 4.4$, compiled from Bogazici University KOERI catalogues). (b) Cross section along X-X' (topography is exaggerated 3 times)

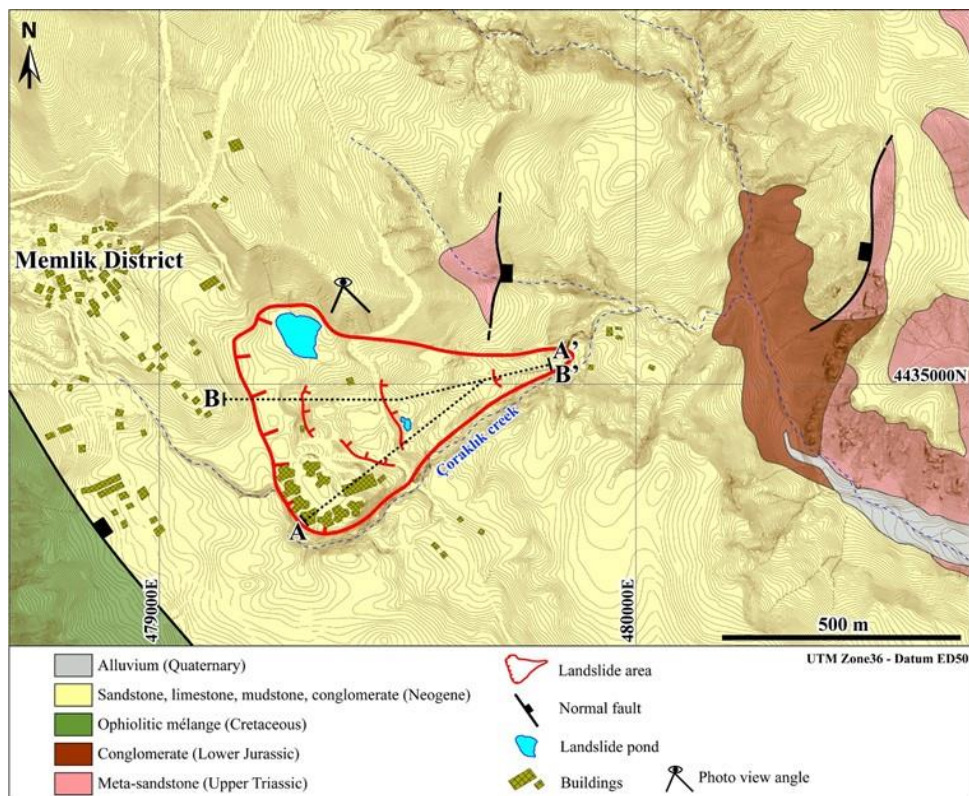


Figure 2 - Geological map of the study area and the location of the landslide

The natural water content, particle size distribution and Atterberg limits of the disturbed greenish grey colored clayey soils were determined (Table 1) using the relevant standards [15]. The unit weight and saturation degree of the undisturbed samples were also determined.

Table 1 - Index properties and classification of green clay

	ω_n %	Sieve		Atterberg Limits			USCS
		+4, %	200, %	LL, %	PL, %	PI, %	
E1	46.00	2.10	80.20	101.04	18.91	82.13	CH
E2	51.50	0.37	96.44	108.81	21.23	87.59	CH
E3	53.70	1.13	94.80	100.46	24.95	80.50	CH
E4	35.05	0.26	76.92	74.50	20.03	54.49	CH

The grey clays, forming the sliding surface are "highly plastic" and "normal" [16]. Natural unit weight Degree of saturation ranged between 78% and 86%.

The normally consolidated grey clayey soils are the residual sections of the tuff. Based on the plasticity index and fine percent, grey clays have "very high expansion" and experience swelling. Due, the consolidated and undrained (CU) shear box tests were performed on undisturbed samples. Peak and residual cohesion and internal friction angle values (Table 2) represent the post-failure conditions. Consolidation of the samples were recorded in order to calculate the shearing rate as outlined by [17]. The time to reach the 50% consolidation (t_{50}) was determined under normal applied stress. This time interval should be multiplied by 50 ($t_r=50 \times t_{50}$) to obtain the total time to failure in minutes. The shearing rate is the ratio of the estimated total shear deformation to t_r . Based on this standard procedure, shearing rate was applied as 0.025 mm/min. Such results were determined to compare to the results which were determined from back analyses.

Table 2 - Shear strength parameters of green-grey clays

	Peak		Residual	
	c_p (kPa)	ϕ_p (°)	c_r (kPa)	ϕ_r (°)
E1	37.2	7.4	16.9	3.8
E2	24.5	11.0	10.9	5.4
E3	10	10.2	9.6	5.7

4 ENGINEERING GEOLOGY

The term "landslide" has been denoted as the movement of a mass of rock, debris or earth down a slope [18]. Several other definition and terminology about the landslides exist. Moreover, types and relevant terminology about the slides in rock and soils were extensively reported [19, 20, 21]. The slope stability of London clays were performed the by state of the art studies [23, 24]. The limit equilibrium method and ordinary method of slices [25] was developed through new case studies [26, 27, 28, 29, 30, 31, 32]. The infinite slope stability analyses of saturated and partially saturated soils with respect to geotechnical parameters, ground water level and infiltration was also reported [33, 34, 35, 36].

This study aimed to investigate the dimensions and mechanism of the landslide, occurred in the weakly cemented sedimentary units deposited during the Neogene. The brownish debris, including gravelly sand has slid over highly plastic grey-green colored clays. The landslide is bounded by a fault controlled steep hill on the north and Çoraklık creek on the south. Length of the landslide is 600 m, while the width is 300 m. The sliding surface of the landslide does not represent a circular or planar failure. Several ponds and leakage points were determined in the depletion zone. The accumulation zone of the landslide is completely deformed with some secondary slides and cracks in varying directions. The slope of the landslide ranged between 6°-13°. The main geological and natural causes of the landslide are the regional tectonics, carving of the toe by Çoraklık creek and the shallow groundwater level. The aerial photo of the area indicates that the landslide exists back in 1983. The temporal change of the area is investigated by comparing the aerial photo and the recent satellite imagery served by the Google Earth (Figure 3). It is observed that, residential development began after early 1990's. In addition to the geological causes, new constructions on the top of the slope and additional loading of excavated and uncompact soils are main triggering factors for the reactivation of the landslide (Figure 4). Several tension cracks were also observed during the field studies which are 10 to 17 m in length with 60 to 70 cm depth. The crown of the slope at northern section of the slide could be determined with a depth of nearly 2 m.

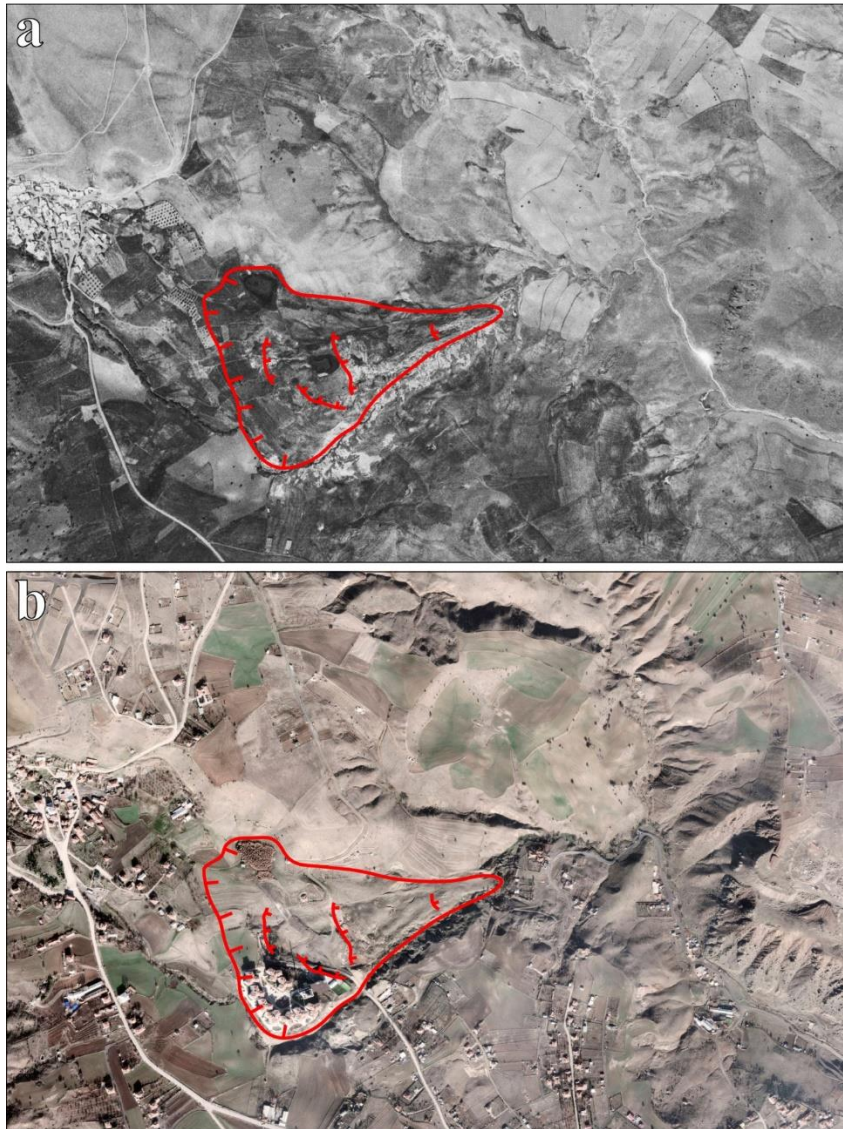


Figure 3 - (a) The aerial photo on 1983 and (b) recent Google Earth image. Red lines represent the landslide area



Figure 4 - A view of the landslide (Please refer to Figure 2 for photo direction).

5 SLOPE STABILITY

The main crown is located in nearly NW-SE direction, bounded by the Çoraklık creek to the south. After 1990's the sliding has been triggered and secondary crown is located on the road which links the buildings to the main road (Figure 5). A concrete wall has been constructed on the secondary slide crown. However, the landslide has caused relative movement of the wall and a minor tilt in downslope direction. The road also experiences displacements. Such local deformations on the man-made structures are the indicators of residual shear parameters which dominate the secondary slides [36, 37]. Back analyses was performed in order to

determine the drained peak and residual cohesion and internal friction angle, which provided limit equilibrium. The relation between the shear strength parameters are represented (Figure 6). Residual effective cohesion was 12.2 kPa and residual internal friction angle was 1°. Moreover, the shear strain distribution and strength factor distribution along the slope were determined by FEM, taking the mean groundwater level into account (Figure 7a, b). Maximum volumetric strain deformation and strength factor in tension indicate the locations where deformations in concrete wall deformation and sanitary fill exist. It was not possible to detect the possible deformations in the buildings or the residential area.

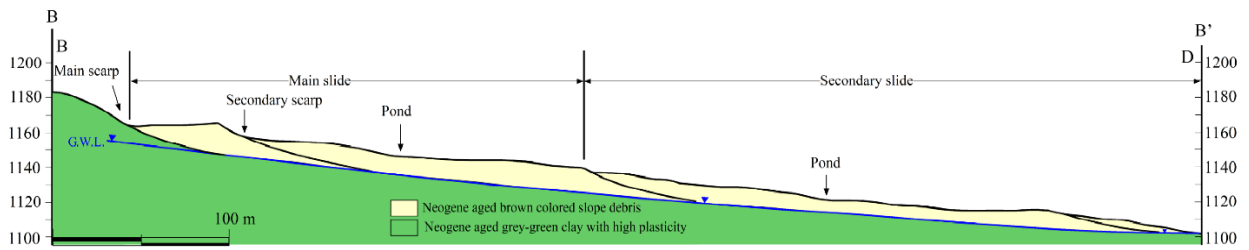


Figure 5 - Engineering geological cross-section of the landslide

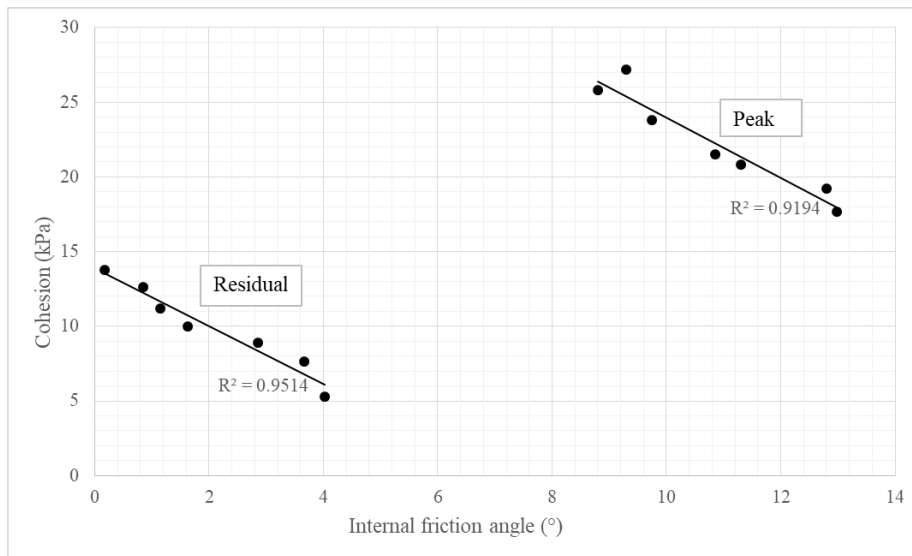


Figure 6 - Results of back analyses

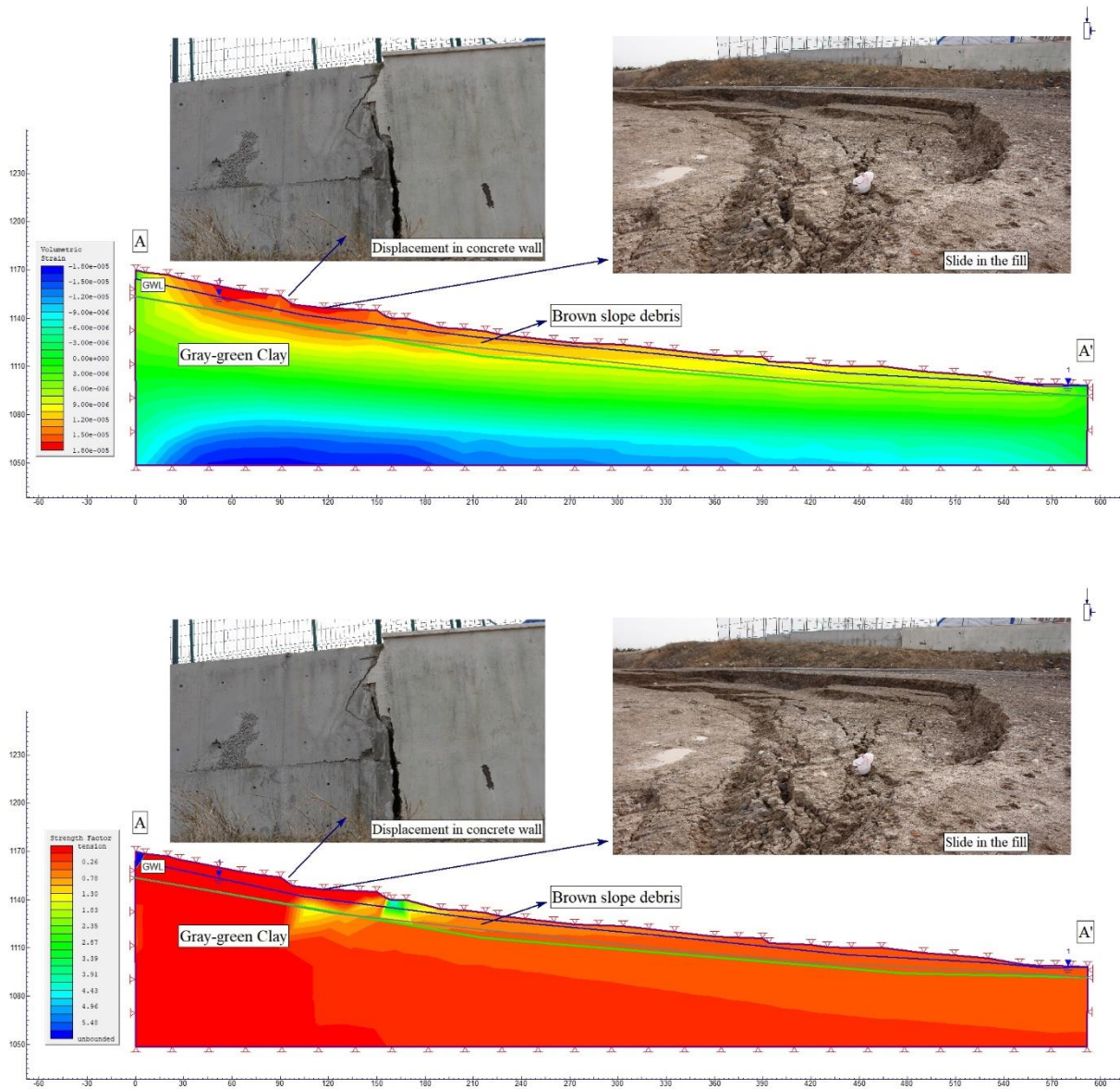


Figure 7 - (a) Volumetric strain and (b) strength factor in tension along the sliding area. Please refer to Figure 2 for cross section location

6 RESULTS AND DISCUSSION

The study area and proximity are located in a tectonically uplifted region. Neogene units have a normal fault boundary with the ophiolitic mélange rocks. The landslide is considered to have taken place nearby this contact.

Brown colored slope debris slides over the green-grey colored clay which are the main alteration products of volcanic sedimentary bedrock. Several buildings exist on the main scarp of the slide. A distinct displacement of 15 cm was detected on the concrete wall parallel to the sliding. Moreover, the uncompact fill material and the asphalt road are still repaired due to the cracks caused by the sliding. Another road

construction has been cancelled nearby the separation zone of the slide.

Back analyses were performed in order to determine the effective peak and residual shear strength parameters of the green-grey colored clay under static conditions. A detailed site specific deterministic seismic hazard analyses should be done, since there were some earthquakes recorded nearby the study area. Several pond and water leakage points were determined. The variation of groundwater level was investigated by statistical analyses. The shallowest level is parallel to the surface with a depth between 0.5-0.8 m. The deepest level should be the contact between the gray colored

clay and slope debris. The mean groundwater level was determined in order to run the detailed analyses by FEM.

Based on the FEM analyses, the variation of volumetric strain and strength factor (tension) along the sliding area were determined. The maximum volumetric strain and maximum tension are in accordance with the locations where deformations have taken place.

The main causes of the slide are, carving of the toe by Çoraklık creek and recent buildings located on the main scarp. The waste water from the buildings are not drained by a drainage system. Due, a detailed geotechnical investigation should be planned immediately, including boreholes and inclinometer readings.

This study covered a single landslide, which occurred in Neogene clastics in close proximity of a normal fault between ophiolitic mélangé and Neogene. The whole area is prone to several types of mass movements in other geological units. The contact between Neogene and ophiolitic mélangé is a section of the NW trending normal fault. This fault is a predominant structure within the close vicinity of Memlik village. However, details of such fault is not included in this study since the landslides have occurred in varying geological units with some different mechanisms.

There are radial and transverse cracks in the depletion and accumulation zone with varying directions and dimensions. Moreover, the toe of the slide is completely deformed. The sliding area should be monitored with drones periodically in order to detect the sliding vectors and the movements. The buildings should be carefully monitored with drones to outline the possible movements.

A detailed remediation project should be planned and performed, including environmental aspects. The residential buildings are still in use and also there is a primary school. After monitoring the slide area at least two rainy seasons, relevant project should be applied immediately in order to prevent loss of life and property.

7 REFERENCES

- [1] WP/WLI (Working Party on world landslide inventory), "A suggested method for describing the activity of a landslide", Bull Int Assoc Eng Geol 47: 53-57, 1993
- [2] Cruden, D.M., "A simple definition of a landslide", Bull Int Assoc Eng Geol 43: 27-30, 1991
- [3] Cruden, D. M. ve Fell, R. "Workshop on Landslide Assessment". Proc. Int. Workshop on Landslide Risk Assessment, Hawaii, USA: p. 371, 1997.
- [4] Schuster, R.L., "Socio-economic significance of landslides", Landslides: Investigation and Mitigation. TRB National Research Council Special report 247: 129-177, 1996
- [5] Demir, A., "Türkiye'de yerleşim birimlerindeki heyelanların mekansal ve istatistiksel dağılımları", National Landslide Symposium-Abstracts, Turkey, 45-62, 2016
- [6] Gökten, E., Kazancı, N., "Deformational stages of the Upper Cretaceous-Tertiary rocks in the area around Orhaniye and Memlik villages-Northwest Ankara". Comm Univ Ank Fac Sci Pub, C4: 129-138, 1986
- [7] Gökten, E., Kazancı, N., Acar, Ş., "Ankara kuzeybatısında (Bağlum-Kazan arası) Geç Kretase-Pliyosen serilerinin stratigrafisi ve tektoniği", MTA Dergisi 108: 69-81, 1988
- [8] Seyitoğlu, G., Ecevitöğlu, B., Işık, V., Esat, K., Akkaya, İ., Sağol, Ö., "Yuvaköy (Ankara) kuzeyinde Üst Kretase ofiyolitik melanj ile Neojen birimler arasındaki tektonik sınırın niteliği hakkında jeolojik ve jeofizik veriler", Yerbilimleri 27(3): 163-171, 2006
- [9] Devciler, A., "Description of larger benthic foraminifera species from the Bartonian of Yakacık-Memlik region (N Ankara, central Turkey)", Yerbilimleri 35(2): 137-150, 2014
- [10] Toori M. Neogene stratigraphy and tectonics of Orhaniye and surrounding regions (NNW Ankara-Turkey). MSc, Hacettepe University, Ankara, Turkey, 2005
- [11] Seyitoğlu, G., Ecevitöğlu, B., Esat, K., Kaypak, B., Aktuğ, B., Işık, V., Aldaş, G.U., "Geological and geophysical investigation of the active faults around Ankara", National Union of Geodesy and Geophysics of Turkey (TUJJB), National Earthquake Programme (UDP) report (Project TUJJB-UDP-01-10), 2013
- [12] Esat, K., "Neotectonics and seismicity of the central Anatolia around Ankara", PhD, Ankara University, Ankara, Turkey, 2011 (in Turkish)
- [13] Esat, K., Kaypak, B., Aktuğ, B., Ecevitöğlu, B., Seyitoğlu, G., "KB Orta Anadolu Daralma Bölgesi'nin Sismotektoniği", 4th International Earthquake Engineering and Seismology Conference, Eskişehir, Turkey, 2017
- [14] Erol, O., "1:2000000 scaled Geomorphological Map of Turkey", General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA), Ankara, 1982 (in Turkish)

- [15] Annual Book of ASTM Standards, "Construction, concrete and aggregates. Section 4, Volume 04.02", ISBN: 0803187416, pp. 1707, 2012
- [16] Burmister, D.M., "Concepts in Soil Mechanics", 2nd ed. NY, USA: Columbia Department of Civil Engineering, Columbia University Press, 1949
- [17] ASTM D3080/D3080M-11, "Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011
- [18] Varnes, D.J., "Slope movement types and Processes", In: Schuster RL, Krizek RJ, editors. Landslides: Analysis and Control. TRB Special Report, 11-33, 1978
- [19] IAEG Commission on Landslides, "Suggested nomenclature for landslides", Bulletin International Association of Engineering Geology, 41: 13-16, 1990.
- [20] Cruden, D.M., Couture, R., "More comprehensive characterization of landslides : Review & additions" 11th IAEG Congress, Auckland, New Zealand: 1033-1042, 2010
- [21] TRB, "Landslides: Investigation and Mitigation. Transportation Research Board Special Report" ISSN: 0360-859X: 673 p, 1996
- [22] Hungr, O., Leroueli, S., Picarelli, L., "The Varnes classification of landslide types, an update", Landslides, 11:167-194, 2014
- [23] Skempton, A.W., "The rate of softening in stiff fissured clays, with special reference to London clay", 2nd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London: 50-53, 1953
- [24] Skempton, A.W., Delory, F.A., "Stability of Natural Slopes in London Clay", 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London: 378-381, 1957
- [25] Fellenius, W., "Erdstatische Berechnungen mit Reibung und Kohäsion (Adhäsion) und unter Annahme kreiszylindrischer Gleitflächen" Ernst & Sohn, Berlin, 1927
- [26] U.S. Army Corps of Engineers, "Engineering and design-stability of earth and rockfill dams", Engineer Manual EM1110-2-1902. Department of the Army, Corps of Engineers, Office of the Chief of Engineers, Washington D.C., 1970
- [27] Bishop, A.W., "The use of slip circles in stability analysis of slopes", Geotechnique 5(1): 7-17, 1955
- [28] Lowe, J., Karafiath, L., "Stability of earth dams upon drawdown", 1st Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, 2: 537-552, 1960
- [29] Morgenstern, N.R., Price, V.E., "The analysis of the stability of general slip surfaces", Geotechnique 15(1): 77-93, 1965
- [30] Spencer, E.A., "Method of analysis of the stability of embankments, assuming parallel interslice forces", Geotechnique 17: 11-26, 1967
- [31] Janbu, N., "Slope stability computations", Soil Mechanics and Foundation Engineering, Technical University of Norway, 1968
- [32] Sarma, S. K., "Stability analysis of embankment and slopes", Geotechnique 23(3): 423-433, 1973
- [33] Cannon, S.H., Ellen, S.D., "Rainfall conditions for abundant debris avalanches, San Francisco Bay region, California", Calif Geol, 38: 267-272, 1985
- [34] Borga, M., Dalla Fontana G., Gregoretto C., Marchi, L., "Assessment of shallow landsliding by using a physically based model of hillslope stability", Hydrological Processes 16: 2833-2851, 2002
- [35] Aleotti, P. "A warning system for rainfall-induced shallow failures", Engineering Geology 73: 247-268, 2004
- [36] Uchaipichat, A., "Infinite slope stability analysis for unsaturated granular soils", Electronicv Journal of Geotechnical Engineering 17(Bundle C): 361-368, 2012
- [37] Skempton, A.W., "The effective stresses in saturated clays strained at constant volume", 7th International Congress on Applied Mechanics 1: 378-392, 1948

DERME DERESİNİN FİZİKO-KİMYASAL VE HİDROLOJİK KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Ö. FARUK DURSUN

İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, 44280, Türkiye
faruk.dursun@inonu.edu.tr

YASEMİN ERMİŞ

DSİ 92. Şube Müdürlüğü, Malatya, 44100, Türkiye
yaseminyari@hotmail.com

MURAT ÇELİKER

DSİ 9. Bölge Müdürlüğü, Elazığ, 23069, Türkiye
mceliker23@gmail.com

(Makalenin geliş tarihi: 30.05.2019, Makalenin kabul tarihi: 17.07.2019)

ÖZ

Bu çalışmada; Malatya il sınırları içerisinde yer alan Derme Deresi'nin fiziksel, kimyasal ve hidrolojik özellikleri araştırılmıştır. Derme Deresi sistemine sulama mevsiminde ve sulama mevsimi dışında su giriş ve çıkışları bulunmaktadır. Bu girdi ve çıktıların Derme Deresine olan etkileri fiziksel ve kimyasal analizler yapılarak incelenmiştir. Bu analizlerin sonuçlarına göre sulama suyu kalite sınıflandırması yapılmıştır. Çalışma kapsamında, Derme Deresi ve mansabında bulunan sulama kanalı boyunca belirlenen 11 farklı örnekleme noktasından farklı zamanlarda su numuneleri alınmıştır. Derme deresinde sıcaklık değeri 11,4 ile 17,9 °C arasında; pH değeri 8,27 - 9,07 arasında; elektriksel iletkenlik (EC) değeri 200 - 344 µS/cm arasında ve çözülmüş oksijen (DO) değeri 8,2 - 11,25 mg / l arasında değişmektedir. Derme Deresi'ndeki Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) değerleri 0 ile 482 mg/l; Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ) 0 - 160 mg/l arasında değişmektedir. Amonyak (NH₄⁺), nitrit (NO₂⁻), nitrat (NO₃⁻) ve fosfat (PO₄⁻³) parametreleri olarak Derme deresi Türkiye Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne (2008) göre I., II., III. ve IV. sınıftır. BOİ ve KOİ kirlilik parametreleri bakımından su sınıfı da I. ve II. kategoridir. Derme deresi yüzey suyunda yapılan analiz sonuçları, dere suyunun, tarımsal aktivite, atık su deşarjı ve taşkın olayı gibi çevresel faktörler nedeniyle örnekleme dönemlerinde kirlendiğini göstermektedir. Sulama suyu kalitesi bakımından Derme deresi, elektrik iletkenliği ve SAR temelinde C₁S₁ ve C₂S₁ olarak sınıflandırılmıştır. Derme Deresi'nde analiz edilen tüm parametreler, tarımsal amaç için gerekli sınırlar içindedir ve bu nedenle sulama amaçlı uygunluğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Derme Deresi, CBS, Su kalitesi, Fiziksel ve Kimyasal özellikler, Hidrolojik karakteristikler

DETERMINATION OF PHYSICO-CHEMICAL AND HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF DERME STREAM

ABSTRACT

Analyses in this study focus on the physical, chemical and hydrological properties of Derme Stream located in the province of Malatya. Water inlets and outlets from the stream exist both at the irrigation season and at the outside of the irrigation season in Derme Stream system. The effect of this inlet and

outlet are investigated by means of physical and chemical analyses. Irrigation water quality classification is made according to these results of the analyses. In the study, water samples were taken from eleven different locations along the Derme Stream and the irrigation canal, that located at downstream at different time periods. Temperature ($^{\circ}\text{C}$) value in Derme stream is between 11.4 and 17.9 $^{\circ}\text{C}$; the pH value is between 8.27 – 9.07; the electrical conductivity (EC) value is between 200 – 344 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and the dissolved oxygen (DO) value is between 8.2 – 11.25 mg/l. Chemical Oxygen Demand (COD) values at Derme stream ranged from 0 to 482 mg/l; Biological Oxygen Demand (BOD) vary between 0 - 160 mg/l. Water of Derme stream classified as ammonia (NH_4^+), nitrite (NO_2^-), nitrate (NO_3^-) and (PO_4) $^{-3}$ is in I. II., III. and IV category according to “Turkish Water Pollution Control Regulation (2008)”. In terms of BOİ and KOİ pollution parameters, also water class is in I. and II. category. Analysis results made on the surface water of Derme stream indicate that stream water has been contaminated in sampling periods due to environmental factors such as agricultural activity, wastewater discharge and flood event. Derme stream in terms of irrigation water quality has been classified as C1S1 and C2S1 on the basis of the electric conductivity and SAR. All the parameters analyzed of Derme stream are within the limits needed for agricultural purpose and thus demonstrated its suitability for irrigation purposes.

Keywords: Derme Stream, GIS, Water quality, Physical and chemical properties of water, Hydrological characteristics

1 GİRİŞ

Dünya üzerindeki su kaynaklarının %2,7'si tatlı su kaynaklarından oluşmaktadır. Tatlı suların ise sadece % 1'i nehir ve göllerde bulunmaktadır. Tatlı sular, başta insan hayatı olmak üzere tüm canlı yaşamının devamı için ihtiyaç duyulan en temel unsurlarındandır. Bu nedenle tatlı su kaynaklarının kirletilmemesi ve israf edilmemesi çok önemlidir. Sucul ekosistemler kendi kendini yenileyebilmekte ancak kentleşme, sanayileşme, iklim değişikliği ve bilinçsiz tarımsal faaliyetler ile su kaynakları olumsuz yönde etkilenmektedir [1,2]. Kaliteli su temini hayat kalitesinin artırılması ve hastalıkların önüne geçilmesi bakımından vazgeçilmezdir [3]. Doğal su, suyun kaynağına göre nicelik ve nitelik bakımından farklı tür kirlilikler içerir [4]. Sucul ortamda su kalitesi özelliği birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkileşim ile ortaya çıkar [5]. Nehir sularının fiziko-kimyasal bileşimleri havza, deniz seviyesinden yükseklik, tektono-iklimsel yapı, kayaç jeolojisi, insan yaşamı etkisinde bulunan toprak ve bitki örtüsü gibi birçok faktöre göre belirlenir. [6-12].

Şener ve diğ. (2017), Aksu Nehri'nde 21 farklı örnekleme noktasında 24 su kalite parametresini mevsimsel olarak gözlemlemiştir. Çözünmüş oksijen ve bulanıklık değerlerinin 3 örnekleme noktasında, tüm örnekleme noktalarında ise KOİ değerinin Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından önerilen sınır değerinin üzerinde olduğunu kaydetmiştir [13]. Özel ve diğ. (2016), Bartın Irmağı'nın sıcaklık, pH, iletkenlik ve çözünmüş oksijen parametrelerinde meydana gelen değişiklikleri tespit etmek amacıyla 12 ay süreyle izlenmiştir

[14]. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ni esas alarak Bartın Irmağı'nın II. ve III. sınıf su kalite sınıfına girdiği belirtmiştir. Endüstriyel atıksular, bilinçsiz gübre ve zirai mücadele için ilaç kullanımı, evsel atıksular ve katı atıkların gelişigüzel akarsu yataklarına atılması Bartın Irmağı için kirletici unsurlar olduğu vurgulanmıştır. Trabzon'da bulunan Değirmendere Akarsuyunun Karadeniz'e taşıdığı kirleticilerin belirlenmesine yönelik yapılan bir çalışmada, akarsuyun 0.092 mg/l amonyum, 1.014 mg/l nitrat, 8.15 mg/l KOİ konsantrasyonu içerdiği bu parametrelere göre I. sınıf su, 0.008 mg/l nitrit ve 0.045 mg/l fosfat konsantrasyonu içerdiği bu parametrelere göre de II. sınıf su kalitesine sahip olduğu belirlenmiştir [15]. Hatay ili Dörtöyl ilçesinde İskenderun körfezine dökülen Hasan Çayı'nın bazı su kalitesi özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılan başka bir çalışmada, pH, çözünmüş oksijen, sıcaklık, tuzluluk, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), toplam alkalinite ve sertlik, amonyak, nitrit, nitrat, fosfat, sülfat, klor, potasyum, sodyum, silisyum ve askıda katı madde değerleri 12 ay boyunca aylık olarak incelenmiştir. Gözlemlenen su kalitesinin alabalık gibi soğuk su türlerinin yetiştiriciliği için uygun olduğu raporlanmıştır [16]. Koç (2010) Büyük Menderes Nehrinde 12 örnekleme noktasında iki farklı dönemde su kalite izleme çalışmaları yapmış ve akarsuyu Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne 3. sınıf sular kapsamında değerlendirmiştir. Tarımsal aktivitelerin, evsel ve jeotermal atık suların başlıca kirliliğe neden olan faktörler olduğunu ileri sürmüştür [17].

Şen ve Gölbaşı (2008) Hazar Gölü'ne dökülen başlıca akarsulardan Kürk Çayı'nın bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini araştırmıştır [18]. Kürk Çayı'nı klorür değerleri bakımından II. Sınıf ve analiz edilen diğer parametreler açısından ise I. sınıf su özelliğinde olduğunu bildirmiştir.

Dursun ve diğ. (2016) Derme deresinde çıkan Pınarbaşı karstik kaynağının fizikse-kimyasal ve izotop kimyasını araştırmış ve kaynak suyunun içme ve sulama suyu olarak ulusal ve uluslararası standartlara uygun olduğunu tespit etmişlerdir [19].

Sürdürülebilir bir çevre yönetiminde su kalite izleme çalışmaları önemli bir bölümdür. Su kalite belirleme ve izleme çalışmalarında son dönemlerde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yoğun şekilde kullanılan bir araç haline gelmiştir. Pek çok tanımı bulunan CBS kısaca, "yeryüzündeki mekânsal bazlı bilgilerin toplanması, saklanması, kontrolü, işlenmesi, analizi ve görüntülenmesi için kullanılan, bilgisayar donanım, yazılım ve kullanıcılarından meydana gelen sistemler" şeklinde tarif edilebilir [20]. CBS verileri, coğrafi (mekânsal, grafik) özellik ve öznitelik (coğrafi olmayan, grafik olmayan) olarak iki özelliğe sahiptirler. CBS teknolojileri günümüzde, hemen her dalda kullanılmaktadır. Bununla beraber, hemen hemen bütün verileri mekânsal olan yer bilimleri dalları CBS'nin en önemli uygulama alanlarıdır. Bunların başında gelen hidroloji dalında ise çalışmalar diğer uygulama alanlarına kıyasla biraz daha zor olmaktadır. Zira hidrolojide değişkenler yalnız mekânsal olarak değil zamanla da değişmektedirler. Dolayısıyla hidrolojideki CBS uygulamalarında doğrudan işlemler yanında CBS teknikleri ile başka matematiksel modellerin entegrasyonu gerekmektedir.

Bu çalışmada, Derme (Malatya) deresinin (I) havza karakteristiklerinin çıkarılması, (II) su kalite değişiminin ve sınıfının belirlenmesi, (III) eğer kirletici unsurlar varsa bunların vurgulanması ve (IV) tarımsal amaçlı kullanılabilirliği araştırılmıştır.

2.MATERYAL VE METOD

2.1 Çalışma Alanı

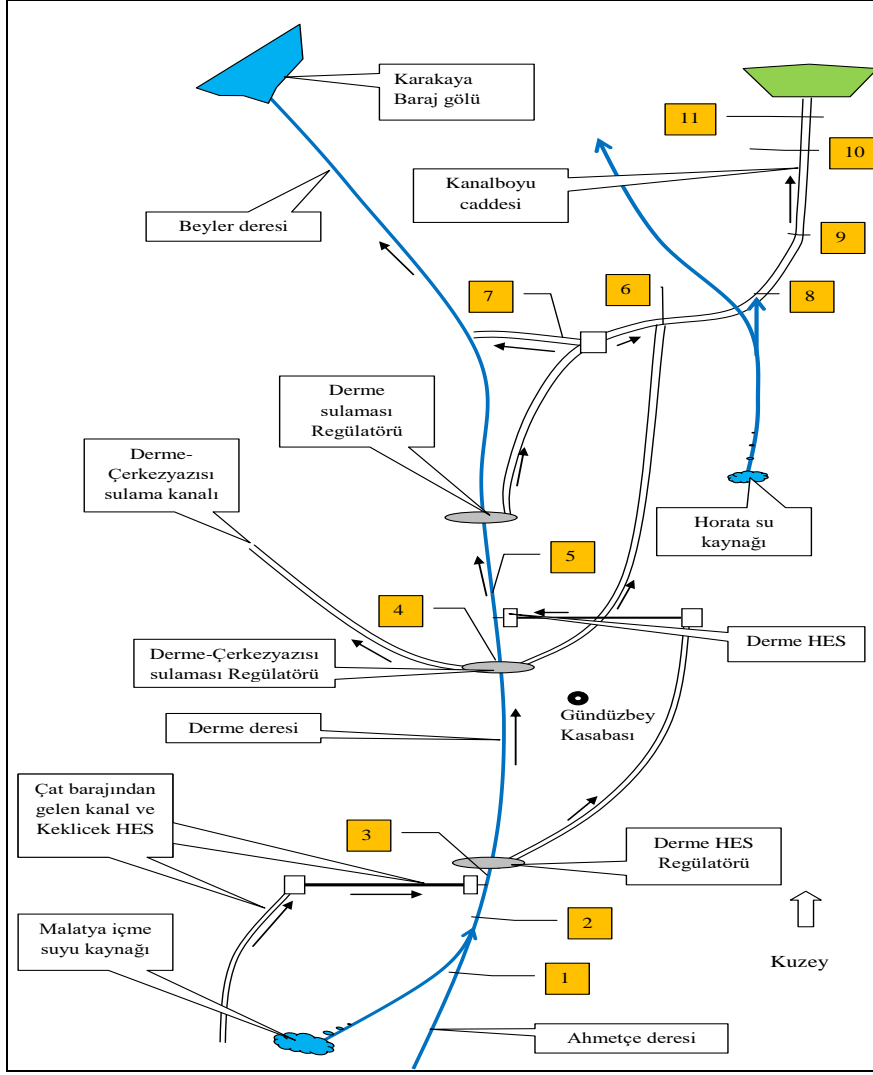
Çalışma alanı, Yeşilyurt ilçesi, Gündüzbey beldesi ve Malatya ili merkezinden geçen

Derme deresi ile Derme sulama kanaludur. Malatya ili içme suyu ihtiyacını karşılayan Pınarbaşı karstik kaynaklarının ana su kaynağını oluşturduğu Derme deresi, yukarı havzadan gelen Ahmetçe deresi ile birleşerek Karakaya Baraj Gölüne boşalım yapan Beyler deresinin önemli bir yan kolunu oluşturur. Derme deresi havzasında bulunan yüzeysel su kaynakları için DSİ tarafından sulama ve hidroelektrik amaçlı bir takım projeler geliştirilmiştir. Bu projeler kapsamında havzalar arası su aktarımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 1) [21].

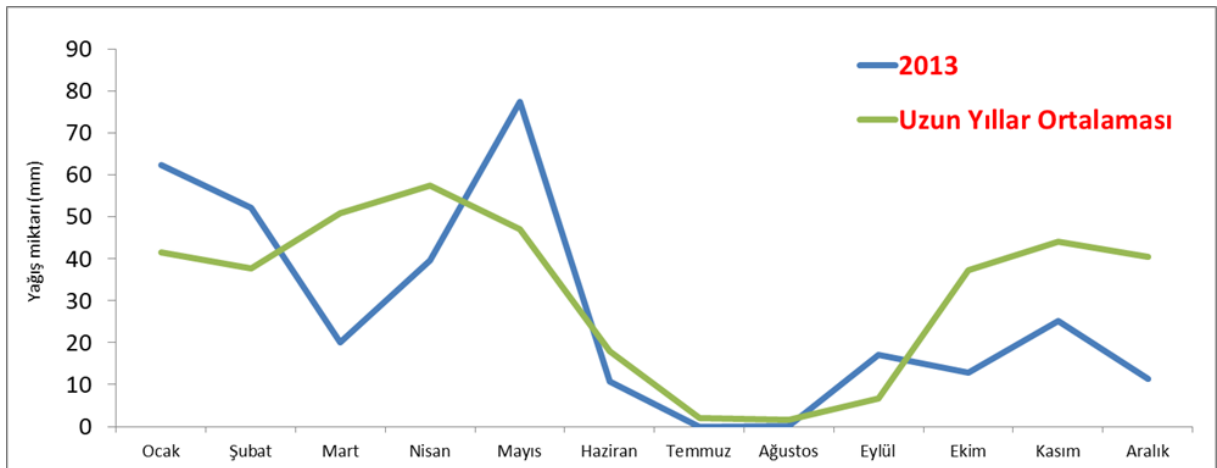
Derme deresi ve sulama kanalının geçtiği alanlarda yoğun tarımsal faaliyetler mevcuttur. Bunun yanısıra kanalizasyon sistemine bağlı olmayan özellikle üst havzada yer alan müstakil yerleşimlerinin atık suları zaman zaman bu dereye verilebilmektedir. Ayrıca Derme deresi yüksek taşkın riski taşıyan jeomorfolojiye sahiptir. Malatya ili karasal bir iklime sahip olmak birlikte özellikle Keban ve Karakaya Barajının faaliyete geçtiği dönemlerden sonra iklimde bariz değişimler gözlemlenmiştir. Uzun yıllar (1960– 2013) ortalama sıcaklık ve yağış değerleri sırasıyla 13.7°C ve 384.5 mm/yıl olarak hesaplanmıştır (DMİ, 2014). Uzun yıllar aylık ortalama yağış değeri ile 2013 yılı aylık ortalama yağış değerleri genelde benzer yağış eğilimleri göstermesine rağmen mart ve ekim aylarında 2013 yağışlarında dikkat çeken bir azalma görülmüştür (Şekil 2).

Pınarbaşı karstik kaynağı, Derme deresinin en büyük su kaynağını oluşturmaktadır. Bu kaynağın DSİ tarafından ölçülen baz akım değerleri ile 2013 yılı yağış değerlerinin birlikte değerlendirildiği Şekil 3'deki grafiğe göre yağışın, kaynağı doğrudan etkilemediği görülmüştür. Dursun ve diğ. (2016) Pınarbaşı (Derme) kaynağında yapmış oldukları çalışmada, kaynağın farklı karstik sistemlerin etkisinde olduğunu vurgulamışlardır [19].

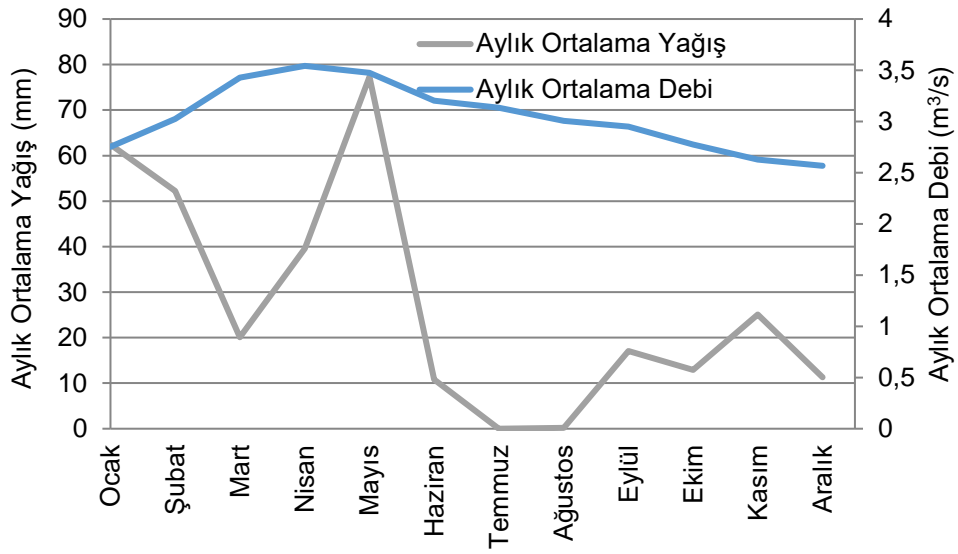
Jeolojik olarak çalışma alanı Permo-karbonifer yaşlı Malatya metamorfileri, Tersiyer ve Üst Kratese yaşlı kireçtaşları ve Kuaterner birimleri ile kaplıdır. Bölgede bir çok fay ve kırık sistemi gelişmiş ve bu fay ve kırık zonlarından bir çok farklı debide kaynak çıkmaktadır (Şekil 4) [19].



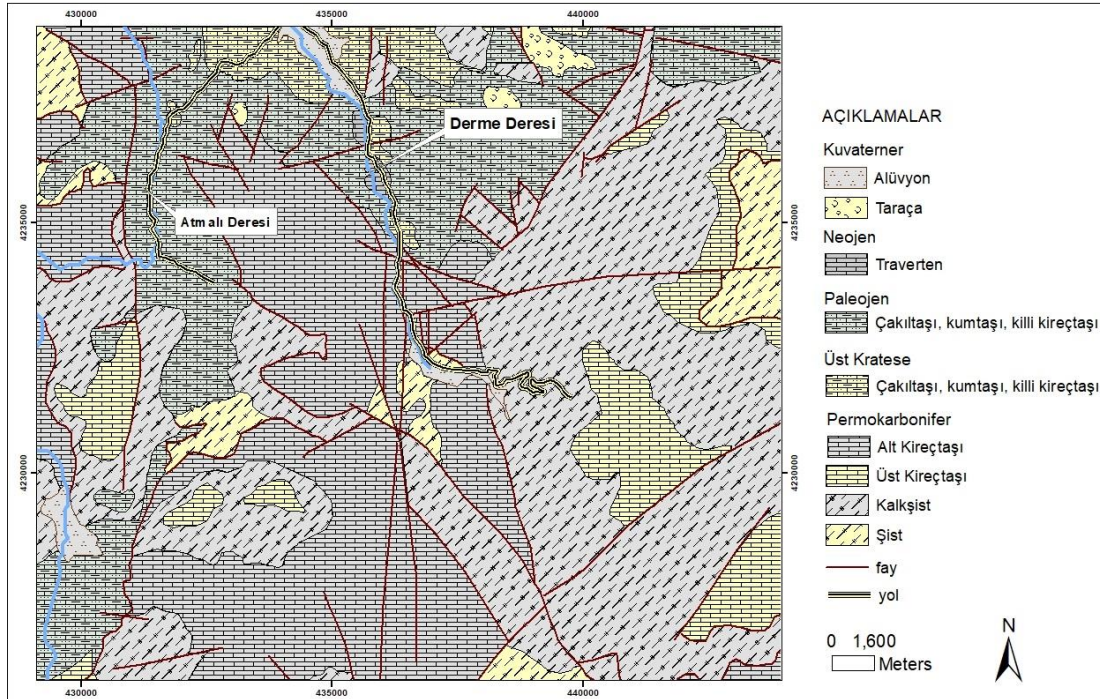
Şekil 1 - Çalışma alanının şematik gösterimi [21]



Şekil 2 - Uzun yıllar aylık ortalama yağış ve 2013 yılı aylık ortalama yağış değeri



Şekil 3 - 2013 yılı Derme kaynağı baz akım - yağış grafiği



Şekil 4 - Çalışma alanı jeoloji haritası (DSİ, 1991 den değiştirilerek).

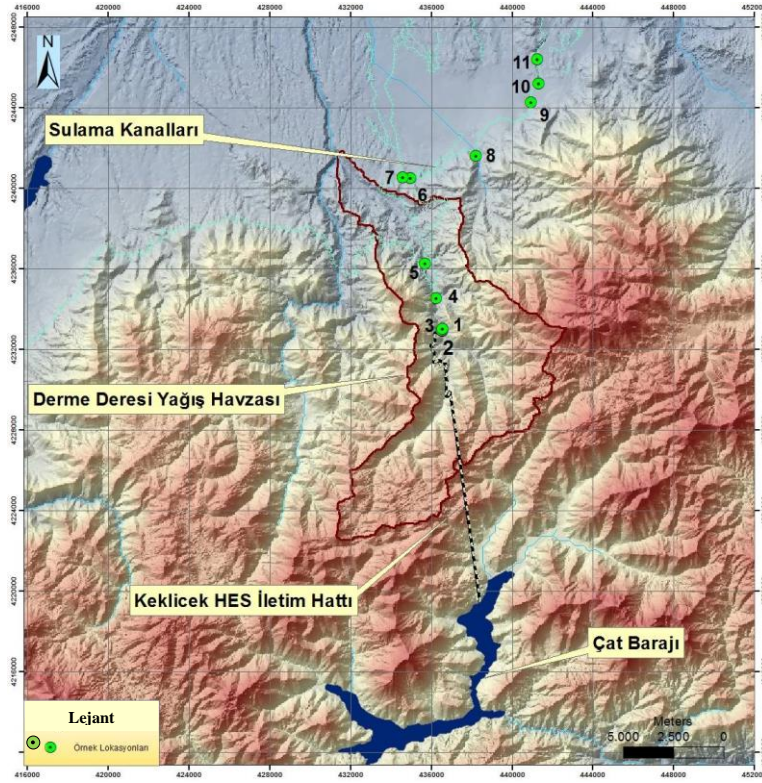
2.2 Örneklem noktaları

Bu çalışma kapsamında, on bir (11) örneklem noktası seçilmiştir. Bu örneklem noktaları membadan mansaba doğru

numaralandırılmıştır. Belirlenen ilk beş nokta Derme deresi güzergâhında incelenmiş olup diğer altı nokta sulama kanalı üzerinde seçilerek incelemeye alınmıştır. Derme deresi

güzergâhında suya etkisi olabilecek değişim noktalarında belirlenen ve GPS kullanılarak koordinatları alınan örnekleme noktaları, 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar

sayısallaştırılarak ArcGIS 10.1 programında haritalara veriler noktasal olarak işlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5 - Derme Deresi havzası ve örnekleme noktaları [2]

2.3 CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) Çalışmaları

Çalışma alanına ait bazı hidrolojik karakteristikler Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımlarından (CBS) faydalanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla, ESRI firmasının üretmiş olduğu ve CBS yazılımının İnönü Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde lisanslı versiyonu olan ArcGIS 10.1 kullanılmıştır. Öncelikle sayısallaştırılmış eşyüksekti eğrilerinden Digital Yükseklik Modeli (DEM) oluşturulmuştur. CBS yazılım programının ArcHYDRO aracı kullanılarak çalışma alanının havzası ve drenaj sistemi belirlenmiştir. Elde edilen bu veriler ile havzanın maksimum, minimum ve ortalama yüksekliği, ortalama eğimi, ana su yolu eğimi ve uzunluğu, havza ağırlık merkezinin proje kesimine olan uzaklığı, havza genişliği ve uzunluğu, havza en uzun çapı, havza şekil indisleri, baki haritası, drenaj frekansı, drenaj yoğunluğu gibi parametreler hesaplanmıştır.

2.4 Fiziksel-Kimyasal Analizler

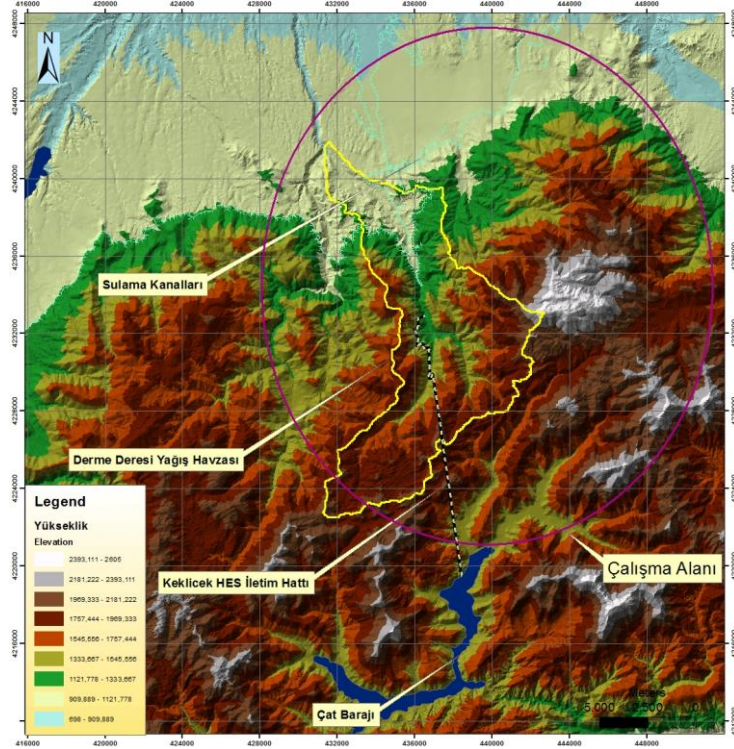
Derme deresinin su kalitesi parametrelerini belirlemek için su örnekleri sulama dönemi öncesi, sulama dönemi ve sulama dönemi sonrası olmak üzere üç ayrı dönemde (2015 yılı, Mayıs, Haziran ve Eylül) alınmış ve örnekleme ile eş zamanlı olarak su örnekleri Malatya İl Özel İdaresi Laboratuvarına getirilerek analizleri gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), elektriksel iletkenlik (Eİ), pH ve çözülmüş oksijen parametreleri ölçümleri portatif WTW Cond 720 cihazı ile yerinde ölçülmüştür. Kimyasal analizler APHA (2005) tarafından önerilen Standart Metotlara göre yapılmıştır [22]. Katyon analizleri (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+} , B) ICP-OES (İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bikarbonat (HCO_3^{-}) asidimetrik titrasyon yöntemi, klor (Cl^{-}) ise argent metrik titrasyon yöntemi ile belirlenmiştir. Spektrofotometre, sülfat (SO_4^{2-}) tayini için kullanılmıştır. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ),

EFLAB cihazı ve biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), WTW Oxitop Is 6 cihazı ile belirlenmiştir. Analiz edilen parametreler ülkemizde yüzeysel suların kalite açısından sınıflandırıldığı Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde belirtilen parametrelerin sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır [23].

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Hidrolojik Özellikler

Çalışma alanına ait veriler kullanılabilir hale getirilerek ArcGIS yazılım programı kullanılarak, Derme deresinin havza alanı 94.69 km² ve çevre uzunluğu 80.1 km olarak bulunmuştur. Havzanın minimum yüksekliği 900 m, maksimum yüksekliği 2493 m'dir (Şekil 6).



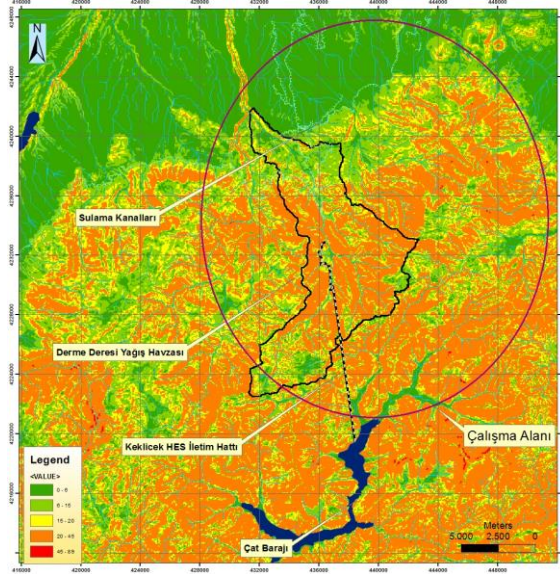
Şekil 6 - Derme Deresi Yükseklik Haritası [21]

Havzada menba kısmında eğim genelde 20 – 45^o arasında değişirken mansaba doğru 0 - 15^o arasına kadar düşmektedir (Şekil 7). Bu eğim haritasına göre, Derme deresi menba kısmında akış hızının yüksek olacağı sonucu çıkarılabilir. Ana su yolu uzunluğu 18.396 km olarak tespit edilmiştir. 1510 m ve 900 m kotları arasında kanal ana suyunun eğimi, bu kot farkının ana su yolu uzunluğuna bölümüyle 0.03 olarak hesaplanmıştır. Derme deresi on eşit uzunlukta parçaya bölünmüş ve herbir parçanın eğimleri belirlenmiştir. Denklem (1) kullanılarak Derme deresinin harmonik eğimi hesaplanmıştır.

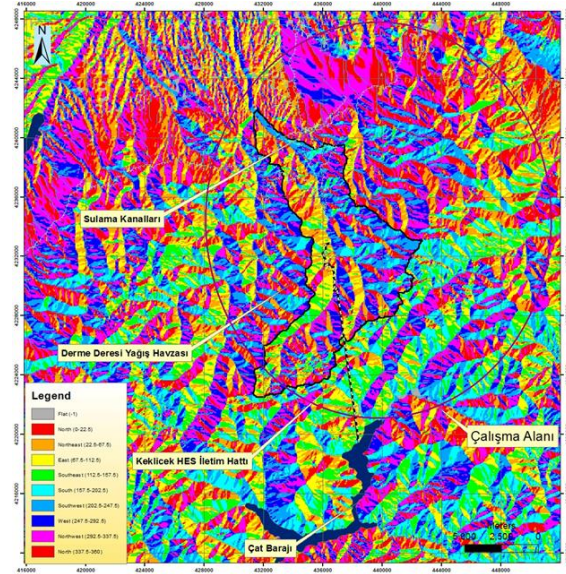
$$S = \left(\frac{10}{\sum \sqrt{S_i}} \right)^2 = (10/60.2124)^2 = 0.0276 \quad (1)$$

Havza uzunluğu 18.98 km, en uzun çap ise 18.99 km olarak havza haritası üzerinden ölçülmüştür. Havza genişliği 4.99 km, drenaj frekansı 0.877 olarak hesaplanmıştır. Havzanın şekil indisleri; S₁=3.8, S₂=0.185, K_c=2.31 olarak belirlenmiştir. Bu indis değerleri havza şeklinin daire veya kare şeklinde değil dikdörtgen şeklinde olduğunu göstermiştir.

Baki haritasından havza yöneliminin daha çok güney ve doğu yönüne doğru olduğu söylenebilir (Şekil 8). Bu baki haritası, havzada kar yağışlarının kısa sürede eriyerek akışa geçmesinde yamaç yönelimlerinin önemli bir faktör olduğunu düşünülebilir.



Şekil 7 - Derme deresi havzası eğim haritası [21]
[21]



Şekil 8 - Derme deresi havzası bakı haritası [21]

3.2 Fiziksel - Kimyasal Analiz Sonuçları

Derme deresinden 2015 yılı Mayıs, Haziran ve Eylül aylarında 11 farklı örnekleme noktasından alınan su örneklerinin analiz sonuçları ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY, 2008) su kalite sınıflaması Çizelge 1'de verilmiştir.

Sıcaklık (°C), pH ve çözünmüş oksijen ve elektriksel iletkenlik (Eİ) değerleri örnekleme dönemleri için sırasıyla 11.4 – 17.9 °C, 8.27 – 9.07, 8.2 – 11.25 mg/l ve 200 – 344 µS/cm arasında değişmektedir (Tablo 1). Bu parametrelerin örnekleme dönemlerine ait örnek lokasyonlarına göre değişimleri Şekil 6 – 9'da verilmiştir. Dönemsel olarak Derme deresinde ölçülen su sıcaklıklarında, mevsimsel değişime bağlı olarak bariz değişimler izlenmiştir. En düşük su sıcaklığı 11.4°C olarak 8 nolu örnekleme noktasında Mayıs ayında, en yüksek su sıcaklığı ise 17.9 °C olarak 5 nolu örnekleme noktasında Eylül ayında ölçülmüştür (Şekil 9 - 11). Sıcaklıkta özellikle 7 ve 8 nolu örnekleme noktalarında değişimler saptanmıştır. 7 nolu örnekleme noktasında artışın bu noktanın yerleşim merkezinde olması, 8 nolu örnekleme noktasındaki ani düşüşün ise Horata deresi katılımı nedeni ile olduğu düşünülmektedir. Sinokrot ve Gulliver (2000), su sıcaklığı ile su akımı arasında bir ilişki olduğunu belirterek, düşük debili su akışlarının yüksek su sıcaklıklarına sahip olduğunu söylemişlerdir [24]. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre Derme deresi sıcaklık parametresi bakımından I. Sınıf sular kapsamında değerlendirilmiştir (Tablo 1). HDC (Hauraki Bölge Konseyi) (2003)'de ise akarsu havzasının toprak yapısı ve jeolojisi bağlı

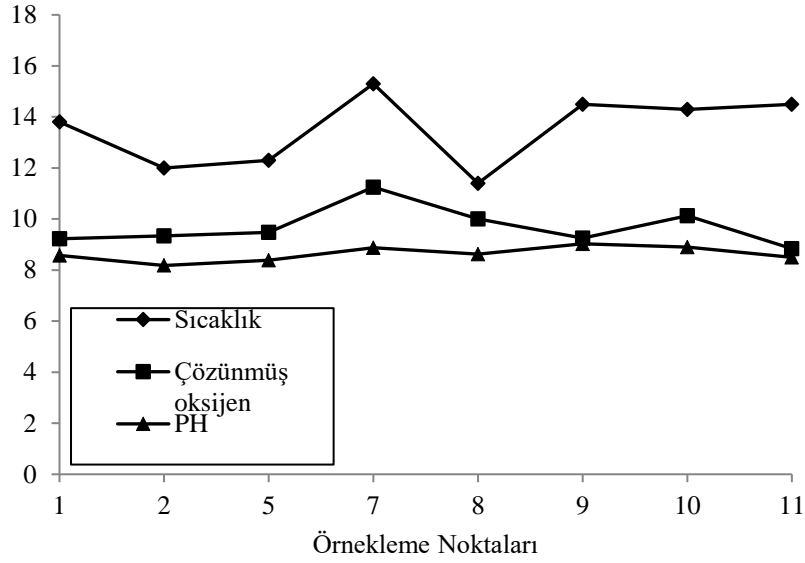
olarak pH'nın aralığını biraz daha genişleterek 6.0-9.0 arasında değiştiği kaydedilmiştir [25]. Çalışma dönemi boyunca ölçülen değişken pH (8.27 – 9.07) değerler aralığı Derme deresinin hafif alkali su özelliğine sahip olduğunu göstermektedir. Bu sonuçların, çalışma havzasının litolojisi ile ilgili olduğu, hâkim temel kayacın kireçtaşı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, pH değerlerinde ölçülen farklılıklara, sıcaklık, yağış ve diğer tarımsal aktivitelerinde etkisindedir.. Örnekleme noktası ve dönemine göre değişkenlik gösteren pH parametresi dikkate alındığında Derme deresi, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre daha çok III. Sınıf suların özelliklerini yansıtmaktadır.. Analiz dönemleri arasında en düşük çözünmüş oksijen değeri Eylül ayında 8.2 mg/l olarak 11 nolu örnekleme noktasında ve en yüksek çözünmüş oksijen değeri Mayıs ayında 11.25 mg/l olarak 7 nolu örnekleme noktasında ölçülmüştür. Sıcaklığa bağlı olarak oksijenin belli noktalar hariç genel olarak, sıcaklık arttıkça oksijen seviyesinin düştüğü ve değişimlerin küçük miktarlarda olduğu söylenebilir. Çözünmüş oksijen miktarının değişimleri üzerine ayrıca, organik kirlilik yükünün örnekleme noktalarına göre etkisinde olduğu görülmüştür. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre kalite kriterleri dikkate alındığında, Derme deresinin çözünmüş oksijen değerleri bakımından I. sınıf su özelliğine sahip olduğu görülmüştür. Derme deresinde en yüksek elektriksel iletkenlik değeri (Eİ) 344 µS/cm olarak Eylül ayında 1 nolu örnekleme noktasında ve en düşük elektriksel iletkenlik değeri 200 µS/cm olarak yine Eylül

ayında 4 nolu örnekleme lokasyonunda ölçülmüştür (Tablo 1). Elektriksel iletkenliğin örnekleme dönemlerine göre değişimini grafiksel olarak incelediğimizde (Şekil 12) 3, 4 ve 5 nolu örnekleme noktalarında Eylül ve Haziran aylarında düşüş ve bununla birlikte sabit bir seyir izlendiği görülmektedir. Bu iki ay arasındaki benzerliğin, Derme Deresine, kaynak suyuna

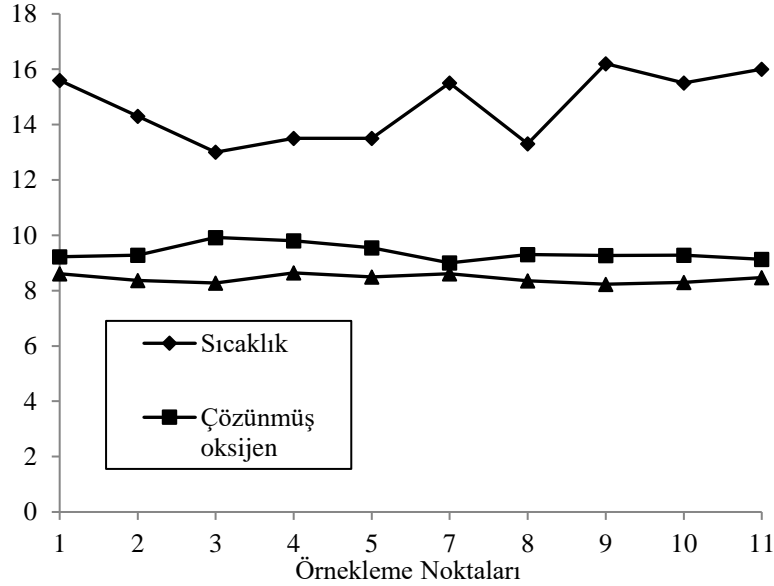
göre daha düşük Eİ değerlerine sahip Çat Barajının yüzeysel suların katılması ile Derme Deresi'nin Eİ değerlerini azalttığı şeklinde yorumlanmıştır. Ayrıca Şekil 1'de verilen planda da görüleceği üzere Derme deresi üzerinde DSİ tarafından geliştirilen projelere bağlı olarak değişken akım değerleri ile Eİ değerleri arasında yakın bir ilişki olduğu düşünülmüştür.

Çizelge 1 - Analiz sonuçları ve SKKY (2008) Su Kalite Sınıflaması [21,23]

Parametreler	Örnekleme Dönemi			SKKY (2008)			
	Mayıs	Haziran	Eylül	I.	II.	III.	IV.
Sıcaklık °C	11.4 - 14.5	13 - 16.2	14.3 - 17.9	25	25	30	> 30
pH	8.5 - 9.03	8.27 - 8.64	8.7 - 9.07	6.5-8.5	6.5-8.5	6.0 - 9.0	6.0 - 9.0
Eİ µS/cm	236 - 330	231 - 298.2	200 - 344				
Çözünmüş O ₂ (mg/l)	8.84 - 11.25	9.9.1992	8.2 - 9.56	8	6	3	< 3
Ca ²⁺ (mg/l)	38.03 - 48.49	41.2 - 52.26	30.29 - 58.51				
Mg ²⁺ (mg/l)	5.26 - 8.88	7.12 - 8.79	6.86 - 10				
Na ⁺ (mg/l)	0.85 - 3.23	0.96 - 2.67	1.05 - 2.6	125	125	250	> 250
K ⁺ (mg/l)	0.22 - 0.61	0.37 - 0.74	0.26 - 1.1				
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	140 - 183	134 - 189	115.9 - 213.5				
Cl (mg/l)	0 - 5.65	0.05 - 1.16	1.21 - 3.54	10	10	50	> 50
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	0	0	0	200	200	400	> 400
B (mg/l)	0	0 - 0.007	0	1000	1000	1000	> 1000
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0.004 - 0.26	0.012 - 0.307	0.006 - 0.395	0.2	1	2	> 2
NH ₃ ⁻ (mg/l)	0.004 - 0.247	0.011 - 0.289	0.005 - 0.373	0.02	0.02	0.02	0.02
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0.002 - 0.067	0 - 0.037	0.007 - 0.104	0.002	0.01	0.05	> 0.05
NO ₃ ⁻ (mg/l)	3.7 - 9.39	0.52 - 27	0 - 3.35	5	10	20	> 20
(PO ₄) ³⁻ (mg/l)	0.01 - 0.153	0.042 - 0.146	0 - 0.139	0.02	0.16	0.65	> 0.65
BOİ (mg/l)	0	0 - 160.6	0 - 2.44	4	8	20	> 20
KOİ (mg/l)	0	0 - 482	0 - 16.8	25	50	70	> 70
SAR	0.05 - 0.22	0.06 - 0.15	0.06 - 1.17				
%Na	0.63 - 2.51	0.50 - 1.79	0.54 - 2.07				
RSC	1 - 1.86	0.03 - 2.30	1.07 - 2.00				



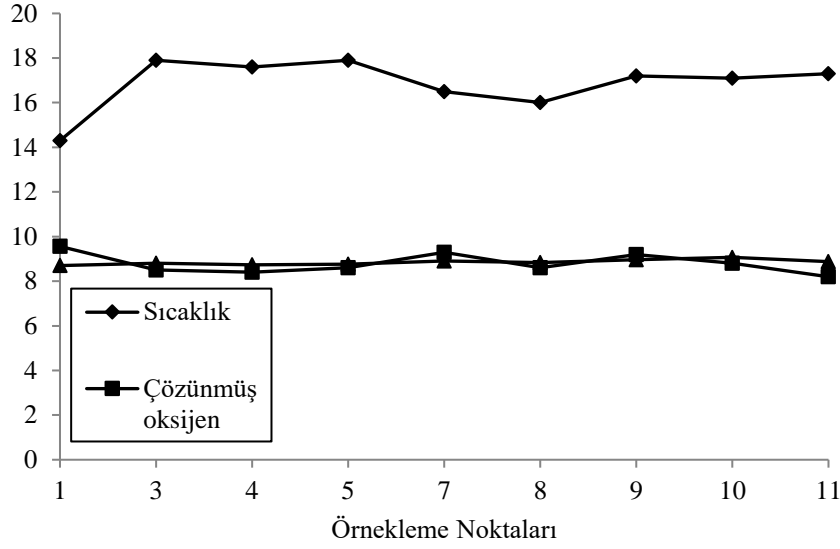
Şekil 9 - Mayıs ayı örnekleme noktalarının pH, çözülmüş oksijen ve sıcaklık değişimi [21]



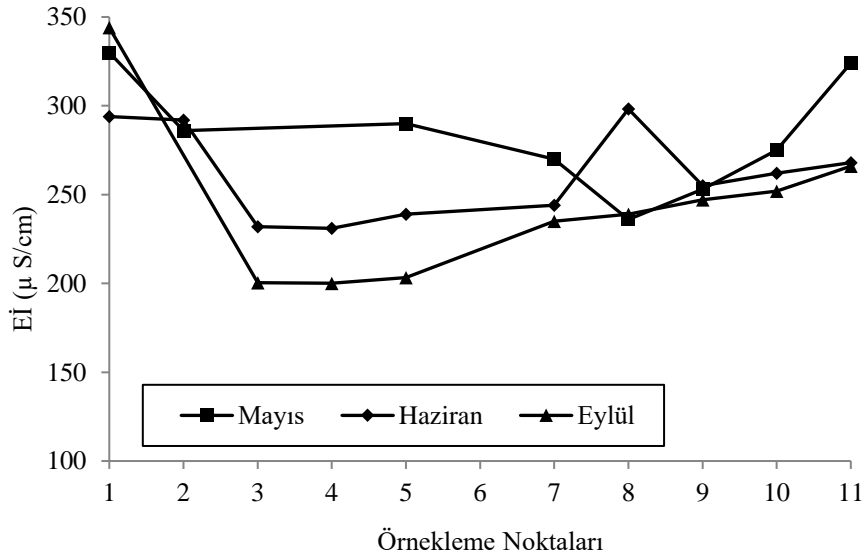
Şekil 10 - Haziran ayı örnekleme noktalarının pH, çözülmüş oksijen ve sıcaklık değişimi [21]

Analiz edilen kimyasal parametrelerden Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ ve K^+ katyonlarının analiz sonuçları sırasıyla 30.29 – 58.51 mg/l, 5.26 – 10 mg/l, 0.85 – 2.67 mg/l ve 0.22 ve 1.10 mg/l arasında, HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} ve B^- anyonlarının analiz sonuçları sırasıyla 115.9 - 213.5 mg/l, 0 – 5.65, 0 ve 0 – 0.007 mg/l arasında ölçülmüştür. Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ ve HCO_3^- analiz sonuçları Derme Deresinin jeolojik yapısıyla uyumlu, temel kayaların tipik kimyasal özelliklerini yansıtmaktadır. 1 (mamba-başlangıç) ve 11 (mansab-bitiş) nolu örnekleme noktalarına ait major anyon ve katyonların pie diyagramında

gösterimi Şekil 13'te verilmiştir. Dönemsel olarak anyon ve katyon oranlarında bariz bir değişiklik gözlenmezken, Mg^{2+} konsantrasyonu, 11 nolu örnekleme noktasında 1 nolu örnekleme noktasına oranla biraz daha yüksek değerde ölçülmüştür. Bu farklılık, 1 nolu örnekleme noktası ile 11 nolu örnekleme noktası arasında, farklı kimyasal özelliğe sahip kaynak ve yerüstü sularının (tarımsal sulamadan dönen sular, geliştirilen projeler kapsamında farklı havzalardaki suların aktarılması) karışması ile açıklanabilir (Çizelge 1).



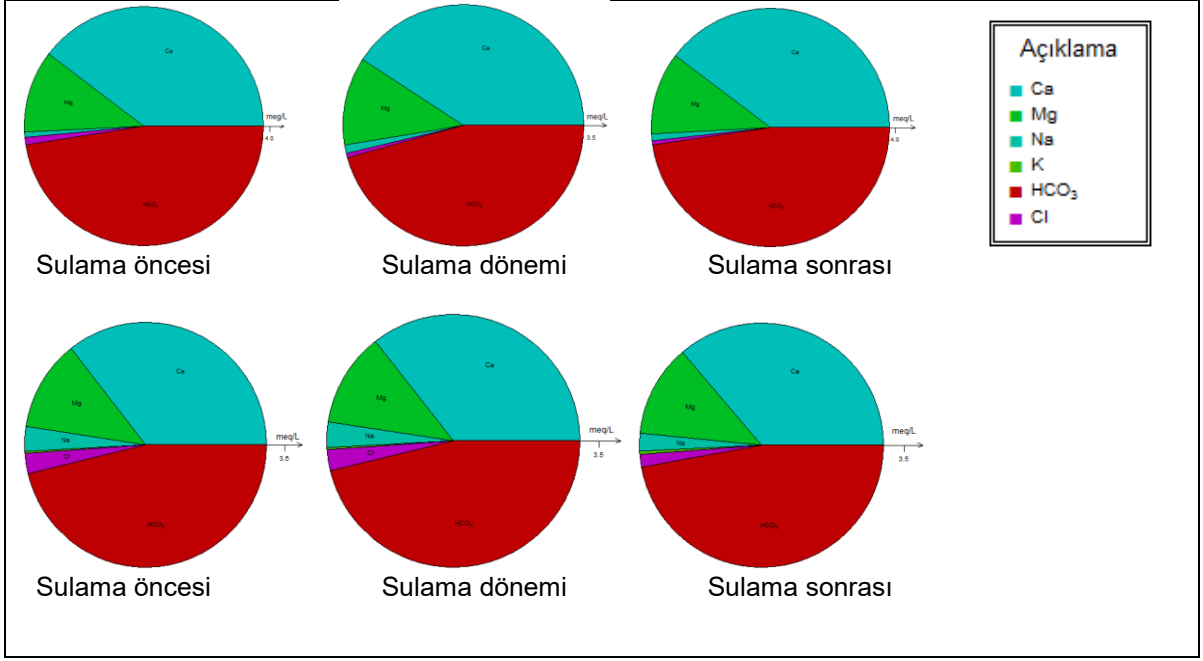
Şekil 11 - Eylül ayı örnekleme noktalarının pH, çözülmüş oksijen ve sıcaklık değişimi [21]



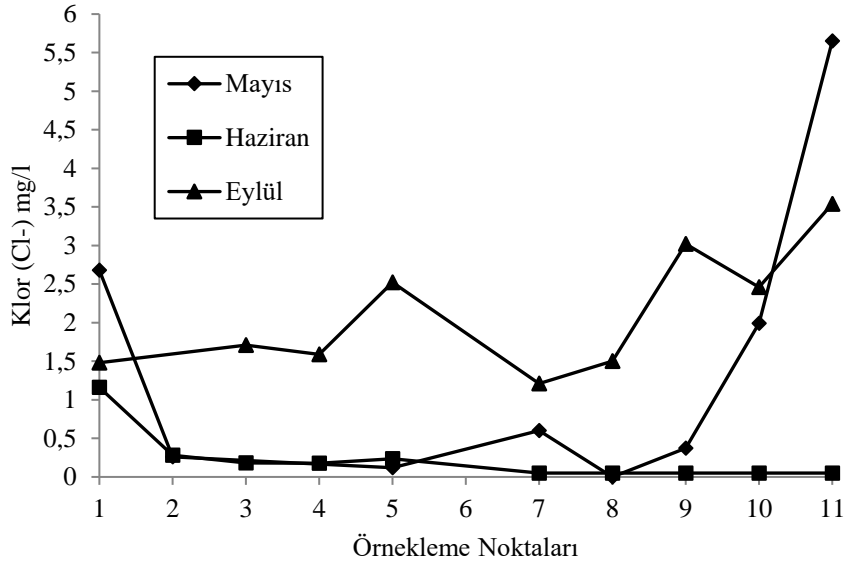
Şekil 12 - Mayıs, Haziran ve Eylül ayı örnekleme noktalarının Eİ değişimi [21]

Klorür parametresi örnekleme noktalarında dönemsel olarak değişkenlik göstermektedir (Şekil 14). Klorür bütün doğal sularda düşük konsantrasyonlarda bulunur ve antropojenik faaliyetler neticesi klorür konsantrasyonu artabilir. Ayyıldız (1990) sulama suları için klorü en problemli anyon grubu olduğunu belirtmiştir [26]. Örnekleme dönemleri için en düşük klorür miktarı 0.005 mg/l olarak 7, 8, 9, 10 ve 11 nolu örnekleme noktalarında Haziran ayında, en yüksek klorür miktarı 5.65 mg/l olarak 11 nolu örnekleme noktasında Mayıs ayında belirlenmiştir. Akarsuların ortalama klorür içeriği kirlenmemiş doğal

sularda 5.8 mg/l, antropojenik olarak etkilenmiş akarsuların klorür içeriği ortalaması ise 8.3 mg/l olarak raporlanmıştır [27]. Bu çalışmada bulunan klorür konsantrasyonları dünya akarsu ortalamalarından daha düşük değerdedir. Sülfat ve bor Haziran dönemi 2 nolu örnekleme noktası hariç (0.007 mg/l) bor parametresi, çalışma dönemleri ve noktalarında tespit edilememiştir. Sodyum, klorür, sülfat ve bor parametreleri bakımından Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre Derme deresi I. sınıf suların özelliklerini yansıtmaktadır.



Şekil 13. 1 ve 11 nolu örnekleme noktalarına ait pie diyagramı



Şekil 14. Mayıs, Haziran ve Eylül ayı örnekleme noktalarının klor konsantrasyonu değişimi [21]

Amonyum azotu (NH_4^+), hayvansal atıkların ve azotlu organik maddelerin ayrışması sonucu oluşur [28]. Yüksek pH ve su sıcaklığında toksitesi artar [29]. Sulama sularında amonyum tuzlarının bulunması topraklarda dispersiyonu artırıcı, geçirgenliği düşürücü etki yapar. Fakat bahsedilen etki sürekli değildir. Zira amonyum iyonu okside olarak hızla nitrate dönüşür [30]. Derme Deresinde en düşük NH_4^+ değeri Mayıs ayında 10 nolu örnekleme noktasında 0,004 mg/l olarak, en yüksek NH_4^+

değeri Eylül ayında 9 nolu örnekleme noktasında 0,395 mg/l olarak ölçülmüştür (Tablo 1). Derme Deresinden alınan su örnekleri, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği NH_4^+ parametresine göre Mayıs ayında 11 nolu örnekleme noktası, Haziran ve Eylül aylarında 9 nolu örnekleme noktası II.Sınıf suların özelliğini göstermiş olup, genelde I.Sınıf sular özelliğindedir.

Doğal sularda amonyak (NH_3) tespit edilmesi fekal bir kirlenmeye gösterir ki, zamanla

amonyak azotu azalır ve buna karşılık nitrit ve sonra nitrat miktarı artmaya başlar. Samsunlu (2005) sulardaki organik azot ve amonyak konsantrasyonunun kirlenmenin yeni, nitrit ve nitrat konsantrasyonlarının ise kirlenmenin eski olduğunu belirtmiştir [31]. Amonyak (NH_3^-) konsantrasyonunun en düşük değeri Mayıs ayında 0.004 mg/l ile 10 nolu örnekleme noktasında, en yüksek değeri 0.373 mg/l ile Eylül ayında 9 nolu örnekleme noktasında ölçülmüştür (Tablo 1). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde, pH değerine bağlı olarak serbest amonyak azotu konsantrasyonunun 0.02 mg/l değerini geçmemesi öngörülmüştür. Bu çalışmada, Derme Deresinde Mayıs ayı 11 nolu örnekleme noktasında, Haziran ayı 1, 3, 4, 5, 7 ve 9 nolu örnekleme noktalarında ve Eylül ayı 9, 10 ve 11 nolu örnekleme noktalarında SKKY (2008)'de önerilen serbest amonyak değerinin üzerinde konsantrasyonlar ölçülmüştür.

Nitrit azotu (NO_2^-), amonyum azotunun oksidasyonu sonucu gerçekleşen nitrifikasyon olayının bir ara ürünüdür ve çevresel ortamda birikirmez. Oksidasyonla azot döngüsünün son basamağı olan nitrate dönüşür [32]. Düşük konsantrasyonda nitritin toprağın kimyasal yapısına etkisi yoktur. Ancak topraktaki mikrobiyal dayanıklılık artabilir [30]. Nitrat, su ortamında inorganik bileşik azotun en yaygın formu olarak bulunur. Bitkiler için gerekli olan nitratın, 1 mg/l'den az konsantrasyonlarının toprak yapısı üzerine herhangi bir olumsuz yönü yoktur ancak yüksek nitrat konsantrasyonlarının toprağın hidrolik iletkenliğini ve permeabilitesini azaltacağı vurgulanmıştır [26,30]. Aynı şekilde sulama suyunda bulunan amonyum tuzları da permeabiliteyi azaltıcı etki gösterir ve toprak dispersiyonu artırır. Etkisi kısa sürelidir hızla nitrate okside olur [30]. Çalışma periyodu boyunca Derme Deresinde ölçülen nitrit (NO_2^-) konsantrasyonu, bazı örnekleme noktaları hariç benzer değerlerde ölçülmüştür. En düşük nitrit konsantrasyonu 0.002 mg/l olarak 5 ve 9 nolu örnekleme noktalarında Mayıs ayında ve 8 nolu örnek noktasında Haziran ayında, en yüksek nitrit konsantrasyonu ise 0.104 mg/l olarak 11 nolu örnekleme noktasında Eylül ayında ölçülmüştür (Şekil 15). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre örnek noktaları nitrit parametresi açısından değerlendirildiğinde Derme Deresinde, II. Sınıf su özelliği; Mayıs ayında 2, 5, 7, 8, 9 ve 10 nolu örnekleme noktalarında, Haziran ayında 8 nolu örnekleme noktasında ve Eylül ayında 1 nolu örnekleme noktasında, III. Sınıf su özelliği; Mayıs ayında 1 nolu örnekleme noktasında, Haziran ayında 1,

2, 10 ve 11 nolu örnekleme noktalarında ve IV. Sınıf su özelliği; Mayıs ve Eylül aylarında 11 nolu örnekleme noktalarında görülmüştür (Tablo 1).

Örnekleme noktalarında ölçülen en düşük ve en yüksek nitrat konsantrasyonu Haziran ayında 10 nolu örnekleme noktasında 0.52 mg/l ve Eylül ayında 9 nolu örnekleme noktasında 27 mg/l olmuştur (Şekil 16). 9 nolu örnekte ölçülen yüksek nitrat konsantrasyonunun, örnekleme ile eş zamanlı olarak alanda yapılan çevre düzenlemesi nedeni ile sulama kanalına karışan kanalizasyon suyundan kaynaklandığı düşünülmüştür.

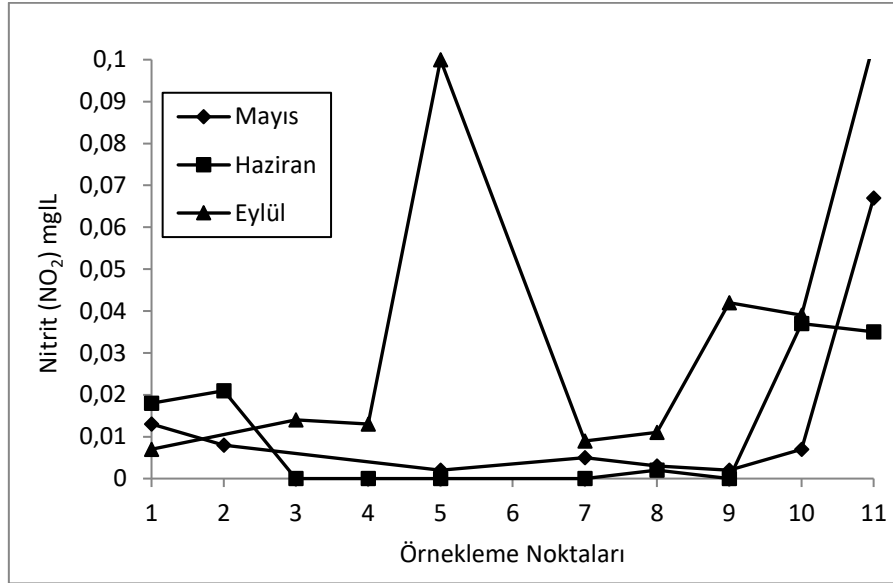
Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre Derme Deresi, nitrat bakımından Haziran ayında 9 nolu örnekleme noktasında (27 mg/l) VI. sınıf, Mayıs ayında 10 ve 11 nolu örnekleme noktalarında (6.49 – 9.39 mg/l) II. sınıf ve diğer tüm örnekleme dönemi ve noktalarında Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre I. sınıf su olarak tanımlanmıştır.

Doğal sularda fosfor, fosfat tuzları halinde bulunur ve ana kaynağı fosfor mimerali içeren kayalardır. Buna karşın, fosforlu gübrelerin tarımsal amaçlı kullanımıyla birlikte yüzey akışlarıyla taşınması sonucu akarsularda bulunan fosfat miktarın yükselmeler gözlemlenmektedir [33-35]. Derme Deresinde fosfat (PO_4^{3-}) konsantrasyonu en düşük 0.01 mg/l ile 9 nolu örnekleme noktasında Mayıs ayında, en yüksek ise 0.204 mg/l ile yine 9 nolu örnekleme noktasında Haziran ayında ölçülmüştür (Tablo 1). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde (PO_4^{3-}) kriterine göre yapılan sınıflamada 9 nolu örnekleme noktasından alınan su örneği Mayıs ayında I. sınıf su özelliği göstermişken Haziran ayı su örneklemesinde III. sınıf su özelliği göstermiştir. Diğer su örnekleme noktalarından alınan sular çalışma süreci boyunca II. sınıf suların özelliğini göstermiştir.

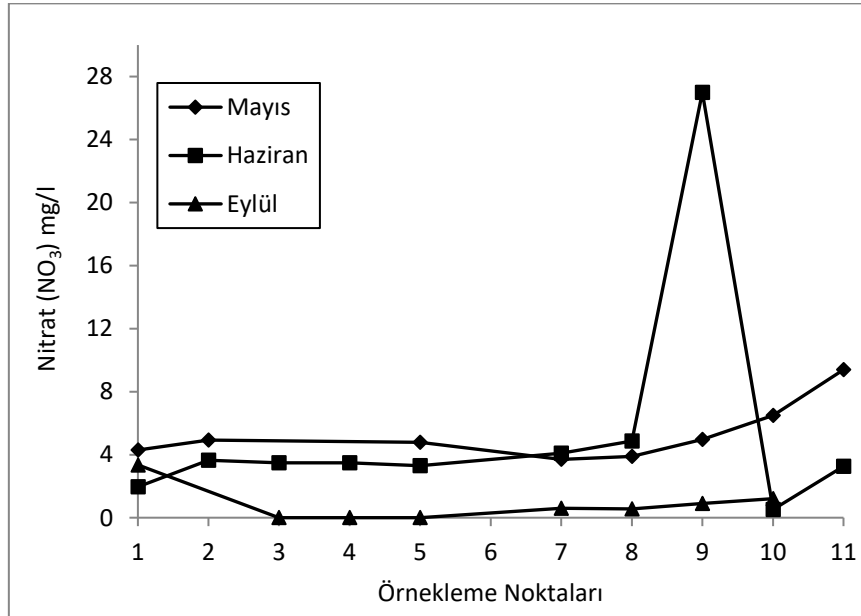
Su kirliliğinin belirlenmesinde, Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ) ve Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), önemli bir göstergedir. Sulama suyunda mevcut yüksek BOİ değerleri toprak havalanmasını olumsuz yönde etkiler ve yetersiz oksijen nedeniyle bitki gelişmesi üzerine olumsuz etkiler gösterebilir [26]. Çalışma alanında, Derme deresi su kalitesini önemli derecede tehdit eden kirlenme faktörleri bulunmamasına rağmen, tarımsal amaçlı gübreleme faaliyetleri ve müstakil yerleşim yerlerinden dereye yer yer atık su deşarjları gözlemlenmiştir. Derme deresinde en yüksek BOİ ve KOİ değerleri sırasıyla 160.6 mg/l ve 482

mg/l olarak Haziran ayında 7 nolu örnekleme istasyonunda, en düşük BOİ ve KOİ değeri ise sırasıyla 0.27 mg/l ve 0.84 mg/l olarak Eylül ayında yine 7 nolu örnekleme noktasında tayin edilmiştir. Bu durum anlık bir kirliliği göstermektedir. Ayrıca 2 nolu örnekleme noktasında kayda değer önemli ölçüde BOİ (24.3 mg/l) ve KOİ (73.1 mg/l) miktarı tayin edilmiştir (Şekil 17, 18). Bu noktalardan 2 no'lu örnekleme noktasındaki BOİ ve KOİ değerlerinin Haziran ayında meydana gelen

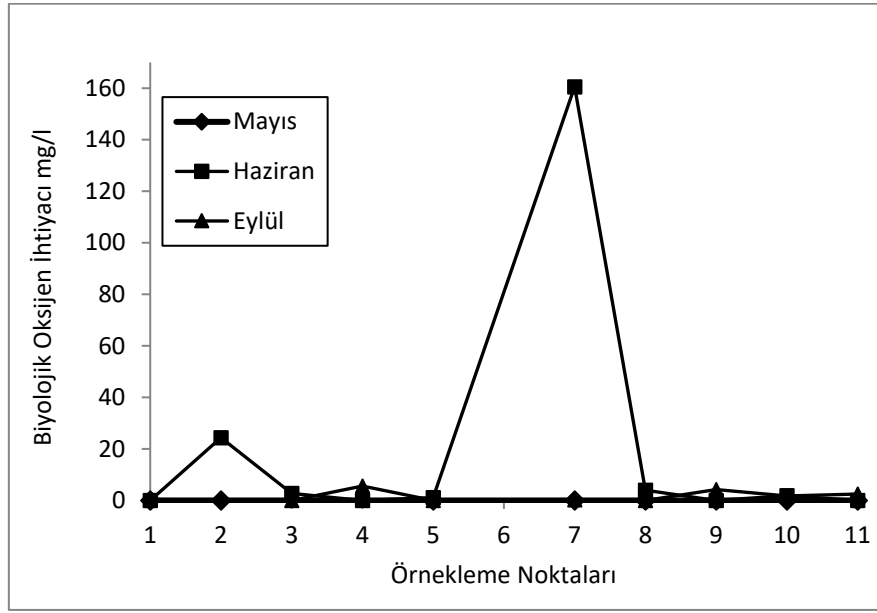
taşkın sonucu arttığı düşünülmüş olup 7 no'lu noktadaki artışın da taşkın ve bu noktanın eğimin az olması nedeni ile taşkına bağlı olarak atık birikiminden meydana geldiği şeklinde yorumlanmıştır. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ndeki su kalite sınıflarına göre Derme deresinin BOİ ve KOİ değeri açısından anlık kirlilik yükünün tespit edildiği 2 ve 7 nolu örnekleme noktalarında Haziran ayı analizleri hariç (IV. Sınıf) genel olarak I. Sınıf yani yüksek kaliteli sular sınıfına girdiği belirlenmiştir.



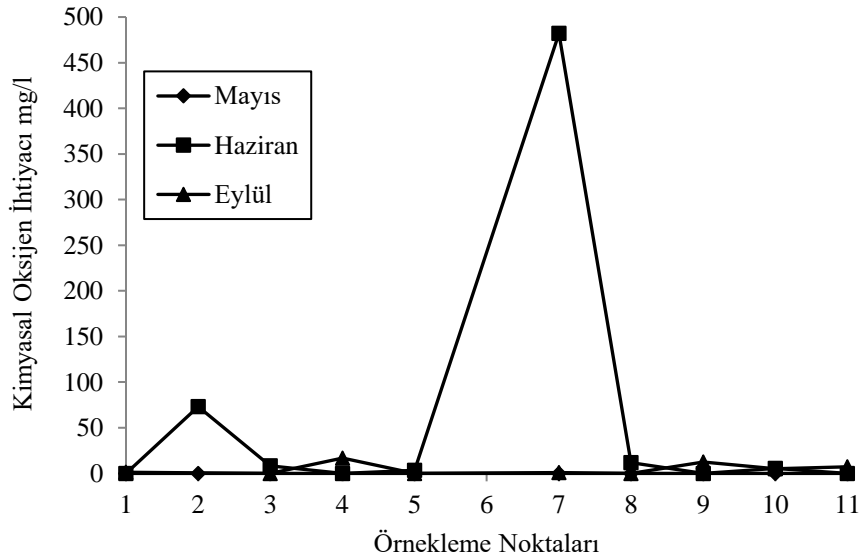
Şekil 15. Mayıs, Haziran ve Eylül ayı örnekleme noktalarının NO₂⁻ konsantrasyonu değişimi [21]



Şekil 16. Mayıs, Haziran ve Eylül ayı örnekleme noktalarının NO₃⁻ konsantrasyonu değişimi [21]



Şekil 17. Mayıs, Haziran ve Eylül ayı örnekleme noktalarının BOİ değişimi [21]



Şekil 18. Mayıs, Haziran ve Eylül ayı örnekleme noktalarının KOİ değişimi [21]

Suların sodyum içeriği, sulama suyu kalitesinin değerlendirilmesi açısından önemli bir parametre olup, yüksek sodyum miktarı toprak geçirgenliğini azaltır. Bu şekilde, bitki kökleri hava alamaz ve bitkiler için uygun olmayan bir durum ortaya çıkar [36]. SAR oranı denklem (2)'de verildiği şekilde hesaplanır ve iyonların mek/l değerleri bu hesaplamada kullanılır. Bu çalışmada, su örneklerine ait SAR değerleri tüm

örnekleme dönemleri için 0.05 - 0.22 arasında hesaplanmıştır (Tablo 1).

$$SAR = rNa^+ / [(rCa^{2+} + rMg^{2+}) / 2] \quad (2)$$

Sodyum yüzdesi (%Na) değerinin belirlenmesi, suların sulamada kullanılabilirlik açısından tanımlanmasında diğer bir önemli parametredir. Yüksek %Na değeri, topraktaki kalsiyum ve magnezyumla baz değişikliğine neden

olacağından istenmeyen bir durumdur. %Na değeri iyonların mek/l değerleri kullanılarak aşağıda verilen formül ile hesaplanmıştır (3). Çalışma alanında su örneklerinin hesaplanan sodyum yüzdesi 0.5 ile 2.51 arasında değişmektedir.

$$\%Na = [rNa^+ / (rNa^+ + rCa^{2+} + rMg^{2+} + rK^+) \times 100] \quad (3)$$

Suların sulama suyu olarak uygunluğunun belirlenmesinde artık sodyum karbonat (RSC; Na_2CO_3) değeri önemli bir parametredir. Sodyum karbonat toprakta bulunan organik kütleleri çözme potansiyeline sahip olup, siyah alkali toprakların meydana gelmesini sağlar. RSC değeri yüksek sular, toprağın kuru olduğu büyük boyutta çatlamasına, toprağın nemli olduğu durumlarda da çok yapışkan hal alıp işletme zorluğuna neden olur [37]. RSC değeri iyonların mek/l değerlerinin denklem (4) de verilen bağıntısı ile hesaplanmıştır (4). Derme deresi örnekleme noktalarından alınan su örneklerinin RSC değerleri 0.03-2.00 arasındadır.

$$RSC = (rCO_3^{2-} + rHCO_3^-) - (rCa^{2+} + rMg^{2+}) \quad (4)$$

Derme deresinde farklı noktalardan alınan su örneklerinin, sulamada kullanılabilirliğini tespiti için su örnekleri sodyum adsorpsiyon oranlarına (SAR), Özgül Elektriksel İletkenlik (EI) ve Artık sodyum karbonat RSC değerlerine göre

sınıflandırılmıştır. Ayers ve Westcot (1989) suları, sulama suyu olarak kullanılabilirliği açısından Sodyum Adsorpsiyon Oranlarına göre dört sınıfa ayırmıştır (Tablo 2) [37]. Su analiz sonuçlarına göre hesaplanan SAR değerleri genel olarak 0.05 ve 0.22 arasındadır ve SAR değerlerine göre analiz edilen sular, “çok iyi özellikte sulama suları” şeklinde sınıflandırılmıştır.

Çizelge 2 - SAR değerine göre sulama suyu sınıflaması [37]

Sulama Suyu Sınıfı	SAR %
Çok iyi özellikte sulama suları	< 10
İyi özellikte sulama suları	10-18
Orta özellikte sulama suları	18-26
Fena özellikte sulama suları	>26

Ayrıca, Ayers ve Westcot (1989), tarımsal amaçlı suların uygunluğunu, suların içerisindeki çözünebilen tuzların toplam içeriğine bağlı olarak ölçülen özgül elektriksel iletkenlik değerine göre yapılan sınıflama ile de değerlendirmiştir (Tablo 3) [37]. Derme deresindeki örnekleme noktalarında yerinde yapılan ölçümler ile tespit edilen EC değerleri 200-344 $\mu S/cm$ arasında değişmektedir. Sulama suyu sınıflamasına göre Mayıs ayı 8, Haziran ayı 3, 4, 5 ve Eylül ayı 3, 4, 5, 7, 8 ve 9 nolu örneklerin “Düşük Tuzlu Sular” diğer örneklerin tamamının ise “Orta Tuzlu Sular” sınıfında yer aldığı görülmüştür.

Çizelge 3 - EC değerine göre sulama suyu sınıflaması [37]

Sınıf	EC	Açıklama
Düşük Tuzlu Sular	<250	Sulamada kullanılmaya uygun sular
Orta Tuzlu Sular	250-750	250-750 Yıkama ile sulamada kullanılabilir
Yüksek Tuzlu Sular	750-2250	Tuza dayanıklı bitki yetiştirilmede kullanılabilir
Çok yüksek Tuzlu Sular	>2250	Sulamada kullanılamaz

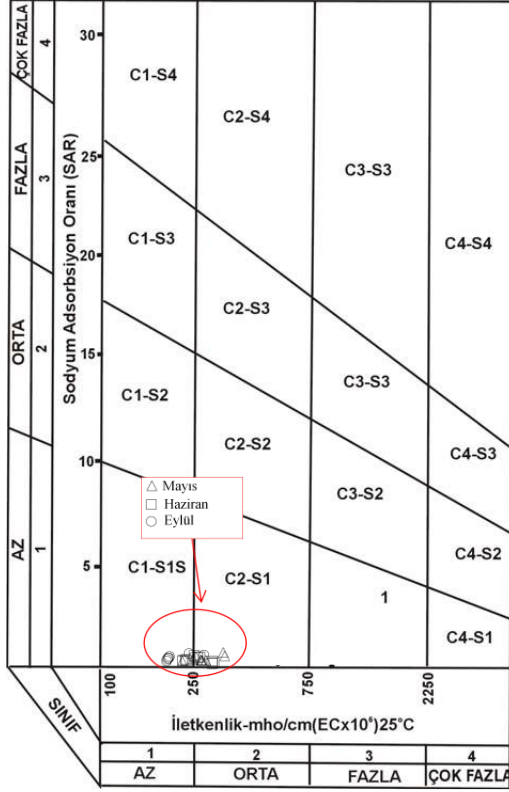
Aynı şekilde Eaton (1950) sulama sularını, hesaplanan artık sodyum karbonat değerine göre bir başka şekilde sınıflamıştır (Çizelge 4) [38]. Derme deresinde örnekleme noktalarından alınan suların RSC değerleri suların büyük oranda kullanılabilir özellikte olduğunu göstermiştir.

Ayrıca, suların sulamada kullanılabilirliği ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı ve Wilcox diyagramında değerlendirilmiştir. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramında suların SAR ve EC değerleri, Wilcox diyagramında ise %Na ve EC

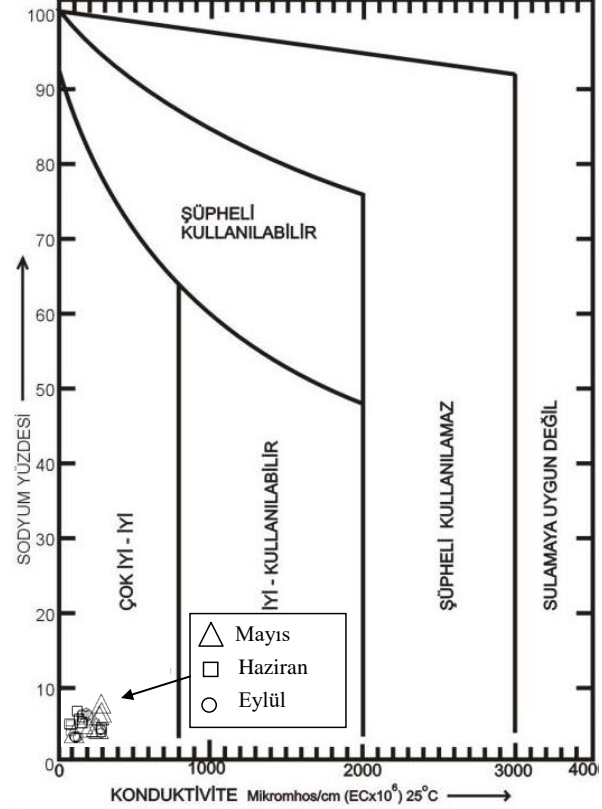
değerleri esas alınmaktadır. ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramında sular 16 sınıf ile tanımlanmıştır. Bu diyagrama göre farklı dönemlerde Derme deresinden alınan su örnekleri C1-S1 (az tuzlu az sodyumlu sular) ve C2-S1 (orta tuzlu az sodyumlu sular) şeklinde nitelendirilmektedir (Şekil 19). Dolayısıyla bu suların, topraklarda tuzluluk ve sodyum tehlikesi oluşturmaksızın kullanılabilir özellikte olduğu tespit edilmiştir. Wilcox diyagramına göre de değerlendirilen bu sular “Çok iyi-iyi” sulama suyu şeklinde tanımlanmıştır (Şekil 20).

Çizelge 4. RSC değerine göre sulama suyu sınıflaması [38]

Sınıf	RSC	Açıklama
I.Sınıf	1.25 >	Kullanılabilir
II.Sınıf	1.25 –	Orta seviyede kullanılabilir
III. Sınıf	< 250	Kullanılmaz



Şekil 19 - ABD tuzluluk diyagramı [21]



Şekil 20 - Wilcox Diyagramı

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, Derme deresi ve sulama kanalı boyunca 11 farklı noktadan, sulama öncesi, sulama dönemi ve sulamadan sonraki dönemleri içeren aylarda alınan su örneklerinin fiziksel-kimyasal parametreleri analiz edilmiş ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne (SKKY, 2008) göre yüzeysel su kalite standartlarıyla karşılaştırılarak su kalitesi sınıfları tanımlanmıştır. Büyük oranda sulamada kullanılan Derme deresinin, sulama suyu kalitesi açısından uygunluğu araştırılmıştır. Bu çalışmada yoğun tarımsal faaliyetler yayılı kaynak ve kanalizasyon sistemine bağlı olmayan meskenlerden atık su deşarjları noktasal kaynaklar olarak Derme deresinin kirlilik yüklerini oluşturduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte DSİ

tarafından geliştirilen projelerin Derme deresinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkilediği belirlenmiştir. Derme deresinde örnekleme döneminde meydana gelen taşkınların kirlitici parametrelerindeki konsantrasyon yükselmelerine neden olması, su kalitesine etki eden bir başka baskı unsuru olduğu saptanmıştır. Amonyak, nitrit, nitrat ve fosfat parametreleri bakımında Derme deresi Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne (2008) göre I., II., III. ve IV. sınıflar arasında dönemsel olarak ve örnekleme noktalarında değişmektedir. BOİ ve KOİ kirlilik parametreleri bakımından ise su sınıfı I. ve II. kalite olarak gözlemlenmiştir. Derme Deresinde alınan su örneklerinde elde edilen yüzeysel kirlilik bulguları, tarımsal kullanım kalite kriterleri ile karşılaştırıldığında sulama suyu

kalitesini etkilemediği tespiti yapılmıştır. Sulama suyu kalitesi bakımından Derme deresi, elektrik iletkenliği (<250 - 250 - 750 μ S/cm) ve SAR (10'dan az) değerlerine göre C1S1 ve C2S1 olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında havzaya ait karakteristik özellikler çıkarılmış ve modellenmiştir. Bu çalışmada elde edilen ve makale içerisinde irdelenen hidrolojik karakteristikler ve kimyasal parametreler Derme deresinin nicelik ve nitelik bakımından korunması ve geliştirilmesine yönelik yapılacak çalışmalar altlık teşkil ederek katkı sağlayacaktır.

5 TEŞEKKÜR

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi (İÜBAP) tarafından 2013/26 proje numarasıyla desteklenmiştir. Yazarlar İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimine teşekkür ederler.

6 KAYNAKLAR

- [1] Mutlu E., Uncumusaoğlu A. A., (2016), Physicochemical analysis of water quality of brook Kuruçay, Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 4(11), 991-998
- [2] Maraşlıoğlu F., Gönüloğlu A., Bektaş S., (2017), Assessment of water quality in Mert Stream (Samsun, Turkey) base on some physicochemical parameters, Ecology Symposium 2017 Proceedings Book of Full Papers'ın içinde, Kayseri, Turkey, ss. 77-89
- [3] Oluduro AO, Adewoye BI (2007) Efficiency of moringa Oleifera Seed extract on the microflora of surface and ground water. J Plant Sci 6:438-453
- [4] Drever JI (1988) The Geochemistry of Natural Waters. Prentice-Hall, Upper Saddle River.
- [5] Dezuane J (1979) Handbook of drinking water quality. Indiana University Press, Bloomington, pp 3-17
- [6] Abbas N, Subramanian V (1984) Erosion and sediment transport in the Ganga River basin India. J Hydrol 69:173-182
- [7] Stallard RF, Edmond JM (1987) Geochemistry of the Amazon, weathering chemistry and limits to dissolved inputs. J Geophys Res 92:8293-8302
- [8] Raymahashay BC (1986) Geochemistry of bicarbonate in the river water. J Geol Soc India 27:114-118
- [9] Haris N, Bickle M, Chapman H, Fairchild I, Bunbury J (1998) The significance of Himalayan Rivers for silicate weathering rates evidence from the Bhote Kosi tributary. Chem Geol 144:205-220
- [10] Ahmed T, Khanna PP, Chakrapani G, Balakrishnan S (1998) Geochemical characteristics of the Indus river Trans-Himalaya India constraints on weathering and erosion. J Asian Earth Sci 16:33-46
- [11] Sharma A, Rajamani V (2001) Weathering of charnockite and sediment production in the catchment area of the Cauvery River southern India. Sediment Geol 143:169-184
- [12] Rajamani V, Tripathi JK, Malviya VP (2009) Weathering of lower crustal rocks in the Kaveri river catchment southern India: implication to sediment geochemistry. Chem Geol 265:410-419
- [13] Şener Ş., Şener E., Davraz A., (2017), Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey), Science of the Total Environment, 584-585, 131-144
- [14] Özel H. U., Gemici T. B., 2018. Bartın Irmağı Kirlilik Profilinin Fiziksel Parametrelerle Belirlenmesi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 7(1): 52-58
- [15] Satılmış U., Bayram A., "Değirmendere (Trabzon) Akarsuyu Tarafından Karadeniz'e Taşınan Kirleticilerin Belirlenmesi", 8. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, 7-9 Kasım 2014, ss.455-466
- [16] Tepe Y., Ateş A., Mutlu Ekrem, Töre Y., 2006. Hasan Çayı (Erzin-Hatay) Su Kalitesi Özellikleri ve Aylık Değişimleri, E.Ü. Su Ürünleri Dergisi, Cilt 23, Ek (1/1): 149-154
- [17] Koç C., (2010), A study on the pollution and water quality modeling of the River Büyük Menderes, Turkey, Clean – Soil, Air, Water, 38(12), 1169-1176
- [18] Şen, B., Gölbaşı, S., 2008. Hazar Gölü'ne Dökülen Kürk Çayı'nın Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri, E.Ü. Su Ürünleri Dergisi, Cilt 25, Sayı 4: 353-358
- [19] Dursun Ö.F., Çeliker M., Fırat M. (2016). Hydrological Properties of the Derme Karstic Springs by Using

- Hydrogeochemical Analyses and Environmental Isotope Techniques. CLEAN - Soil, Air, Water, 44(2), 143-153
- [20] Aronoff, S. (1991) Geographic Information Systems: A Management Perspective, WDL Publ., Canada
- [21] Ermis Yasemin, (2014). Derme Deresi'nin Fiziksel, Kimyasal ve Hidrolojik Karakteristiklerinin Belirlenmesi, Yüksek lisans tezi. Malatya: İnönü Üniversitesi, 69 sh
- [22] APHA, (2005), Standard Methods of Water and Wastewater, 21st Ed., American Public Health Association, Washington, DC., ISBN:0875530478, pp: 2-61
- [23] SKKY, 2008. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete, 13/2/2008-26786
- [24] Sinokrot, B.A., J.S. Gulliver. 2000. In-stream flow impact on river water temperatures. Journal of Hydraulic Research, 38, 5, 339-350
- [25] HDC. 2003. Water Quality Parameters. Chemical and Physical Factors Influencing Water Quality in Rivers and Streams, Hauraki District Council, 38p
- [26] Ayyıldız, M., 1990. Sulama Suyu Kalitesi ve Tuzluluk Problemleri. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları, 1196, Ankara
- [27] Allan, J.D. 1995. Stream Ecology Structure and Function of Running Waters. Kluwer Academic Publishers, London, 388p
- [28] Tommasso JR (1994) The toxicity of nitrogenous wastes to aquaculture animals. Reviews of Fisheries Science 2, 291-314
- [29] Emerson K, Russo RC, Lund RE, Thurston RV (1975) Aqueous ammonia equilibrium calculations
- [30] Kanber, R., C. Kırdı, O. Tekinel, 1992. Sulama Suyu Niteliği ve Sulamada Tuzluluk Sorunları. Çukurova Üniv. Ziraat Fak. Genel Yayın No:21, Adana
- [31] Samsunlu, A., "Çevre Mühendisliği Kimyası", İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 120-303-304 (2005)
- [32] Boyd CE, Lichtkopfer F (1980) Water Quality Management in Pond Fish Culture
- [33] Dişbudak, K., "Avrupa Birliği'nde tarım-çevre ilişkisi ve Türkiye'nin uyumu" AB Uzmanlık Tezi, Tarım ve Köyüşleri Bakanlığı Dış İlişkiler Ve Avrupa Birliği Koordinasyon Dairesi Başkanlığı, Ankara, 10 (2008)
- [34] Olhan, E., Ataseven, Y., "Türkiye'de içme suyu havza alanlarında tarımsal faaliyetlerden kaynaklanabilecek kirliliği önleme ile ilgili yasal düzenlemeler", Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 6(2): 162-163-164 (2009)
- [35] DMİ, 2015. Devlet Meteoroloji İstasyonu, Malatya
- [36] Ayar, E., "Bentonit kili kullanılarak su ortamından fosforun adsorpsiyon ile giderimi", Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 7-8 (2009)
- [37] Şahinci A. Doğal Suların Jeokimyası, 1. Baskı. İzmir, Türkiye, Reform Matbaası, 1991
- [38] Ayers RS, Westcot DW. Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage Paper, 29 Rev. 1, Rome Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1989
- [39] Eaton, F. M. 1950. Significance of carbonates in irrigation waters. Soil. Sci. V 69 : 123-133. Indian Standards, 1967. Quality Tolerances for water for ice manufacture. Indian Standard Institution, New Delhi

BULANIK DEMATEL YÖNTEMİ İLE HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN İŞLETİLMESİNDEKİ RİSKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Gökhan KAHRAMAN

Munzur Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 62000 TUNCELI
gokhankahraman@munzur.edu.tr

Melih YÜCESAN

Munzur Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 62000 TUNCELI
melihyucesan@munzur.edu.tr

(Makalenin geliş tarihi: 20.03.2019, Makalenin kabul tarihi: 18.07.2019)

ÖZ

Yenilenebilir enerji alanında sistem kurulumu ve işletimi sırasında meydana gelebilecek çevresel risklerin büyüklüğünü ve ihtimalini azaltmak çok önemlidir. Risk analiz metotları mühendislik uygulamalarındaki riskin analizi ve azaltılması için yaygın bir şekilde kullanılan karar destek araçları kabul edilir. Bu metodların entegrasyonu sayesinde daha yetkin ve verimli açıklamalar ve sonuçlar elde etmek mümkündür. Bu çalışmada hidroelektrik santrallerde işletme esnasında gerçekleşen hasarların değerlendirilmesinde bulanık DEMATEL (Karar Verme Örneği ve Değerlendirme Laboratuvarı) metodu incelenecektir. DEMATEL metodu neden sonuç ilişkisi içinde muhtemel riskleri tanıtip analiz etme imkanı sağlar. Çalışmanın sonuç kısmında belli güvenlik önlemlerini artırma ve riskleri azaltma ihtiyaçlarına dair öneriler yer almaktadır. Bu çalışmanın hidroelektrik santrallerdeki iş güvenliği konusuna katkı sağlayacağı can kayıplarını ve ekonomik kayıpları azaltacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık kümeler, DEMATEL, Hidroelektrik santraller, Önemli operasyonel tehlikeler

EVALUATION OF RISKS IN THE OPERATION OF HYDROELECTRIC POWER PLANTS WITH FUZZY DEMATEL METHOD

ABSTRACT

In the renewable-energy field, minimizing the possibility and the magnitude of the environmental risks during system's construction and actual operation is critically important. Risk analysis methods are admitted as decision support tools increasingly in the fields of analyzing and minimizing the risks in engineering applications. More authentic and practical explanations and outcomes are provided thanks to the integration of these methods. In this paper, fuzzy DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) method is introduced in order to evaluate critical operational hazards the operation of hydroelectric power plants. The DEMATEL method provides to describe and analyze the possible risks with cause-effect diagram. In the conclusion section, some suggestions are proposed concerning the needs to reduce the risks and improve certain safety measures. The results of the paper are expected to contribute to safety of hydroelectric power plants and prevention of financial losses and loss of life and property.

Keywords: Fuzzy sets, DEMATEL, Hydroelectric power plants, Critical operational hazards

1 GİRİŞ

Risk tehlikenin varlığı, ciddiyeti ve ihtimali şeklinde tanımlanmaktadır (Gül vd., 2014). Risk değerlendirmesi yapmak güvenlik önlemlerini belirlemenin ilk aşamasıdır. Güvenlik önlemleri alma süreci risk değerlendirmesi, önleyici tedbirler ve raporlama aşamalarından meydana gelir. (Marhaviyas ve Koulouriotis, 2008).

Enerji toplumsal ve ekonomik gelişme konusunda önemli bir rol oynar ve yaşam standartını yükseltir (Gökcol vd., 2009). Enerji talebini karşılamak isteyen ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarına gereken önemi vermesi gerekir. Hidroelektrik enerji yenilenebilir enerji kaynakları içinde önemli yer tutmaktadır. Ekonomik ve çevresel katkılarının yanı sıra dünya çapındaki potansiyelleri de hidroelektrik enerji kaynaklarını dünyanın artan enerji talebini karşılamada önemli bir konuma getirmektedir (Yüksek vd., 2006).

Hidroelektrik enerji dünyadaki enerji talebinin en önemli sağlayıcılarından biridir. Bu yolla üretilen enerjinin maliyeti çok düşüktür. Gelecekte maliyetlerin daha da düşmesi beklenmektedir. Hidroelektrik enerji santrallerinin çevreye etkileri fosil yakıt santrelleri ile kıyaslanamayacak kadar azdır. Hidroelektrik enerji gelecekteki enerji talebi ve toplumların diğer enerji üretme yolları düşünüldüğünde bu günkü önemini hiçbir zaman kaybetmeyeceği kaçınılmaz bir gerçektir (Saedi, 2014).

Barajların işletilmesinde meydana gelen hata veya tehlikelerin olasılıkları göreceli bir şekilde düşük olmasına rağmen hata gerçekleştiğinde sonuçları yıkıcı etkiye sahiptir. Bir barajın çökmesinin sonuçları bireyler, doğa ve ülke ekonomisi için çok yıkıcı etkileri olabilir. Barajların güvenliğini farklı karar alma süreçleri etkiler. İyileştirici çalışma kararları bu sürecin ilk ya da son adımı değildir. Baraj güvenlik karar süreçleri baraj işletmecilerinin uygulamalarına göre ciddi şekilde farklılaşabilir. Son yıllarda baraj güvenlik konularının görüşülmesi sürecinde risk değerlendirilmesi uygulamaları ve risk arama kriterleri önem kazanmaya başlamıştır (Bowles, 2001).

Baraj güvenliği iki yönlü ele alınır. Baraj güvenlik programları bir taraftan iyi tanımlanmış teknik amaçlara sahiptir. Bu amaçlar günümüzdeki mühendislik standartları ve güncel uygulamalara göre düzenlenmiştir. Öteki taraftan bu kadar iyi tanımlanmış amaçların gerçekleştirilmesi için kullanılan yöntemler son derece yetersizdir. Güvenlik önlemleri çok iyi tanımlanmalıdır aksi takdirde sürecin yavaşlamasına neden olurlar. Güvenlik programlarını gerçekleştirmek için kullanılan kötü tanımlanmış yöntemler mevcut

ödeneklerin yanlış kullanılmasına ve baraj güvenlik geliştirmelerinin iyi anlaşılmasına sebep olabilir. Bu yüzden sadece sonuçların iyi tanımlanması yeterli değildir. Bu amaçları gerçekleştirmek için yöntemlerin ve uygulama aşamalarının da tanımlanması gerekir. Baraj güvenlik uygulamalarında yapılacak özellikle bu yöndeki bir gelişme programının hukuki anlamda savunulabilirliği ve anlamlılığını da artıracaktır. Bowles'a göre değişimler iç ve dış değişimler şeklinde sınıflandırılabilir. Temel dış faktörler şu şekilde sıralanabilir: düzenleme gereklilikleri, toplumsal algı, tolere edilebilecek risk kriterleri, çevresel konular. Projenin onay süreci, kurumsal risk yönetim stratejisi ve baraj güvenliğinin konumu değişebilecek iç faktörler olarak sıralanabilir (Bowles, 2001).

Mevcut riskin tanımı ve ihtimal değerlendirilmesi ya da tehlike ve gerekli kontrol önerileri risk değerlendirme sürecinin basamaklarıdır. Hidroelektrik santrallerindeki tehlikeler birbirlerinden farklıdır ve çalışanları, tesisi ve çevreyi ciddi derecede etkileyebilecek sonuçlar doğurur.

Tüm bunlardan yola çıkarak bu çalışma hidroelektrik santrallerde oluşabilecek riskleri tanımlamak için gerçekleştirilmiştir. Basamaklar tanımlandıktan sonra anlamlı kıyaslamalar yapmak amacıyla dilsel terimler kullanılmıştır. Bu dilsel terimler bulanık kümeler kullanılarak sayısal değerlere dönüştürülür. Bu şekilde değerlendirme sürecine dair belirsizlikler ortadan kalkar. Bulanık DEMATEL yöntemi barajlarda meydana gelebilecek tehlikelerin önem sırasını tespit etmek için kullanılır. Bu yöntem aynı zamanda değerlendirilen kriterler arasında sebep sonuç ilişkisini belirlemek için kullanılan en işlevsel yöntemdir.

Hidroelektrik santrallerdeki risk değerlendirme çalışmaları son derece sınırlıdır. Bu çalışma başka alanlarda sık sık kullanılan bulanık DEMATEL yönteminin hidroelektrik santrallerde kullanılması ve önemli operasyonel tehlikelerin değerlendirilmesinde başvurulması amacıyla oluşturulmuştur. Amaç bu alanda literatürdeki boşluğu doldurmaktır. Liou vd. (2008) havacılık endüstrisindeki riskleri değerlendirmek için bulanık DEMATEL metodu kullanmıştır. Aynı zamanda hava yolları yönetimi gibi karmaşık sistemlerde etkili sonuçlar alabilmek için bulanık DEMATEL metod kullanımını tavsiye etmişlerdir. Chang vd. (2011) tedarikçi seçiminde etkili kriterleri belirlemek için bulanık DEMATEL yöntemini kullanmıştır. Tayvan'daki elektronik sektöründe tedarikçi seçiminde ürün kalitesi, ürün fiyatı, teknolojik yetkinlik, hizmet, teslimat performansı, ürünlerin teslimatında istikrar, tedarik süresi, talepteki değişime cevap

verebilme yeteneği, üretim kapasitesi, finansal durum kriterlerinin etkisi incelenmiştir. Zhou vd. (2011) acil durum yönetimi sürecindeki önemli faktörleri tanımlamak için bulanık DEMATEL yöntemine başvurmuştur. İnsanın muhakeme gücünün kullanımı acil durum yönetiminde başarı sağlamak noktasında önemli bir faktör olarak tanımlanmıştır. Wu (2012) başarılı bilgi yönetimi uygulamasında kritik faktörleri belirlemek için bulanık DEMATEL metodu kullanmıştır. Dilsel değişkenler ve yığınların kullanımının DEMATEL metoda katkı sağlayacağı düşünülmüştür. Bu şekilde grup karar alma süreçlerindeki kesin olmayan, belirsiz muhakemelerin de önüne geçilebilir. Bu sonuç aynı zamanda bir öneri şeklinde düşünülebilir. Anuntavoranich (2013) teknoloji firmalarının inovasyon yeteneklerini etkileyen kriterlerin arasındaki ilişkiyi bulanık DEMATEL yöntemiyle incelemiştir. Çalışmanın sonucunda inovasyon yönetim yeteneğinin diğer kriterler üzerinde en fazla etkiye sahip kriter olduğu belirlenmiştir. Lin (2013) yeşil tedarikçi seçme probleminden yola çıkarak DEMATEL metodun kriterleri ve çıkış noktası arasında bağlantı kurmuştur. Bu çalışmaya göre yeşil tedarikçi seçiminde hukuki düzenlemeler ve tedarik-müşteri arasındaki ilişkiler etkilidir. Mentis vd. (2015), Türkiye’de açık denizlerde ve kıyılarda daha temiz ve güvenli bir deniz taşımacılığına dair bir rihs yöntemi geliştirmeyi amaçlamış ve DEMATEL ile bulanık kümeler teorisini birlikte kullanmışlardır. Akyüz ve Çelik (2015) ham petrol tankerlerinden gaz boşaltma sürecine dair yürüttükleri çalışmada önemli operasyonel tehlikeleri değerlendirmek için bulanık DEMATEL yöntemini kullanmışlardır. Amiri ve Mohammadi (2016) bulanık ANP ve bulanık DEMATEL metodlarını birlikte kullanarak barajlardaki güvenlik önlemlerine dair bir çalışma yapmıştır. Han ve Deng (2018), Dempster–Shaferkanit teorisi ve DEMATEL metodu birlikte kullanmıştır. Onlara göre bu birleşim hem sonuçlardaki kesin olmayan durumları hem de uzmanların subjektifliğini çözebilecek niteliktedir. Makine seçimi problemine dair çözüm kriterlerinin önemini tanımlayan ve bunun bulanık DEMATEL metodla ilişkisini kuran Gökkısa ve Perçin (2017), bulanık VIKOR yöntemi ile alternatif makineler arasından işleme için en uygun olanının seçilmesini sağlamışlardır. Sumrit ve Bu çalışma şu sırayla ilerleyecektir: Birinci bölümde hidroelektrik santrallerdeki işletme şartlarına değinilecektir. İkinci bölümde araştırma metodolojisi, bulanık kümeler ve DEMATEL tekniği anlatılacaktır. Üçüncü bölümde ise önerilen yöntem açıklanacak ve sonuçların analizleri yapılacaktır.

2 HİDROELEKTRİK SANTRALLERDE İŞLETME ŞARTLARI

Hidroelektrik santrallerde suyun dikey bir mesafeden düşüşü ile enerji açığa çıkar ve bu enerji elektriğe dönüştürülür.

Hidroelektrik santraller temelde türbin ve jeneratör olmak üzere iki bölümden meydana gelir. Hidroelektrik santrallerde su enerjisi türbinler aracılığıyla mekanik enerjiye dönüşür. Türbinlerin çalıştırdığı jeneratörler ise mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir.

Çalışmaların yürütüldüğü baraj Elazığ'nın 45 kilometre kuzey batısında bulunmaktadır. Karasu ve Murat Nehirlerinin birleşme noktasından 10 kilometre uzaklıktadır. Baraj kapasitesi 1330 MW ve 8 adet Francis türbin bulunmaktadır. Yıllık ortalama enerji üretimi 6 milyarkWh'dir. Baraj taş dolgu ve beton ağırlıklıdır. Kret kotu 848 metredir. Depolama kapasitesi 31000 hm³'dür. Dolu savakları 6 bölmedir ve saatte 17000 m³ su deşarz edebilir. Türbin devri 166.7 dev/dak.'dir. Türbin net düşüşü 145 metredir ve debisi 135 m³/s'dir (Yucesan ve Kahraman, 2019).

3 ARAŞTIRMA METODOLOJİLERİ

Bu çalışmada hidroelektrik santrallerde operasyonel tehlikelerin belirlenmesinde bulanık küme ve DEMATEL modelleri birleştirilerek kullanılmıştır. Bir sonraki bölümde bu metodlar incelenecektir.

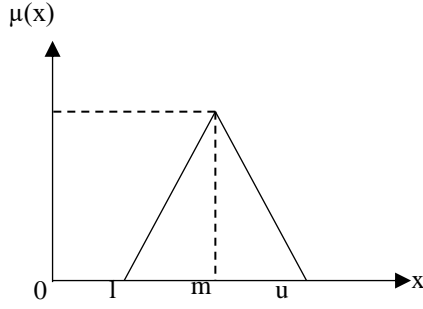
3.1 Bulanık Kümeler

Gerçek dünya problemlerinin parametrelerini kesin bir şekilde belirlemek mümkün değildir. Bu problemlerde elbette belirsizlikler olabilir. İnsanın karar alma sürecindeki belirsizliklerin değerlendirilmesi için Lotfi A. Zadeh 1975 yılında bulanık mantığı ortaya atmıştır (Zadeh, 1975). İnsanların düşüncelerinde çıkarımlarında ve algılarında belli bir dereyeye kadar belirsizlikler vardır. Önerilen teoride belirsiz ve çok anlamlı verilerin çözümü amaçlanmıştır. Bir şeyi bir ya da sıfır olarak belli bir kümeye dahil eden geleneksel Boolean mantığından farklı bir şekilde Chang üyelik işlevinin bir derecesi olarak bulanık kümeleri ortaya atmıştır (Chang vd., 2011).

Bu çerçevede üçgen bir bulanık sayı üçleme $\tilde{A} = (l, m, u)$ şeklinde tanımlanabilir. l, m ve u daha azı simgeler. Bulanık kümelerdeki orta ve üst sayılar ($x \leq y \leq z$) Üçgen bulanık sayı işlevi aşağıdaki gibi açıklanabilir (Wu ve Lee 2007):

$$\mu_{\tilde{A}} = \begin{cases} 0 & x < l \\ \frac{x-l}{m-l} & l \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m} & m \leq x \leq u \\ 0 & x \geq u \end{cases} \quad (1)$$

Yukarıdakiler ışığında, eşitlik 1 üçgen bir bulanık sayıyı gösterir. Aynı şekilde bulanıklık dereceleri işlevleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil1. Bulanıklık derecesi ve bulanıklık işlevi

Herhangi iki bulanık üçgen sayısı için $\tilde{A}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{A}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ matematiksel işlem aşağıdaki şekilde ifade edilir.

Bulanık üçgen sayılar arasında toplama

$$\tilde{A}_1 + \tilde{A}_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (2)$$

Bulanık üçgen sayılar arasında çıkarma

$$\tilde{A}_1 - \tilde{A}_2 = (l_1 - l_2, m_1 - m_2, u_1 - u_2) \quad (3)$$

Bulanık üçgen sayılar arasında çarpma

$$\tilde{A}_1 \times \tilde{A}_2 = (l_1 \times l_2, m_1 \times m_2, u_1 \times u_2) \quad (4)$$

Bulanık üçgen sayıların aritmetik ortalaması $kx\tilde{A}_1 = (kx l_1, kx m_1, kx u_1)$. ($k > 0$) (5)

$$\tilde{A}_1 / k = (l_1 / k, m_1 / k, u_1 / k). \quad (k > 0) \quad (6)$$

3.2 Dematel Tekniği

The Battelle Memorial Enstitüsü DEMATEL metodu projesini Cenevre Araştırma Merkezin'de yürütmüştür. Orijinal DEMATEL ayrılmış olgulardan bütüncül ve genişletilmiş bir çözüme gitmeyi amaçlar (Gabus ve Fontela, 1972).

DEMATEL metodu faktörlerin neden ve sonuç faktörleri olarak ikiye ayrılarak sınıflandırılmalarıyla oluşmuştur. Bu çalışmada kullanılan diyagramlar bu açıdan yararlıdır çünkü bu diyagramlar incelendiğinde alt sistemler

arasındaki ilişki anlaşılabilir. Wu'nun da ifade ettiği gibi bir diyagram iletişim ağı ya da insanlar arasındaki ilişkilerde bazı üstünlükleri belirleyebilir (Wu vd., 2007; Gül vd., 2014).

Bir sistemin şu elemanları içerdiğini düşünelim $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ bu durumda modelleme için kullanılan ikili ilişkiler matematiksel R ilişkisine göre belirlenir. Metod, R ilişkisini S kümesindeki tüm elemanların eşit bir şekilde ve iki boyutlu indekslediği bir direkt ilişki matrisi alır. Daha sonra hücrede 0 olduğu durumda (i, j) girdi pozitif bir integrale ve mevcut R ile ilişkili çiftin ortalamasıysa (s_i, s_j) s_i elemanında s_j elemanını etkileyen bir ilişki olduğu söylenebilir. Bu araştırma çalışmadaki verileri analiz etmek için DEMATEL metodunu kullanır. DEMATEL metodunun temel basamakları aşağıda anlatılmıştır.

Karşılaştırmalı değerlendirme ölçeği dört bölümden oluşur. Bu bölümler sırasıyla "çok düşük etkili", "düşük etkili", "yüksek etkili" ve "çok yüksek etkili" şeklinde ifade edilebilir. Bu sıralamaların değerleri yine sırasıyla 1, 2, 3 ve 4'tür.

İlk direkt ilişki matrisi $Z_{n \times n}$ ikili karşılaştırmalardan elde edilmiş bir matristir. Z_{ij} kriterinin j kriterine nasıl etki ettiğini gösterir $Z = [Z_{ij}]_{n \times n}$ Normal direkt ilişki matrisi $X \cdot X = [X_{ij}]_{n \times n}$ ve $0 \leq x_{ij} \leq 1$ ifadeleri Eşitlik (7-8)'de görülebilir. Buradaki tüm temel diagonal elemanlar sıfıra eşittir.

$$S = \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n z_{ij}} \quad (7)$$

$$X = S \cdot Z \quad (8)$$

Toplam ilişki matrisi T eşitlik (9)'u kullanarak elde edilebilir. Burada " I " matrisi tanımlama olarak kullanılmaktadır.

$$T = X(I - X)^{-1} \quad (9)$$

Satır ve sütunların toplamı ayrı ayrı D ve R değerlerini verir. Toplam ilişki matrisi T Eşitlik (10-11)'de görülebilir: $T = t_{ij}, j = 1, 2, \dots, n$

$$D = [\sum_{j=1}^n t_{ij}]_{n \times 1} \quad (10)$$

$$R = [\sum_{i=1}^n t_{ij}]_{1 \times n} \quad (11)$$

D ve R sırasıyla satır ve sütunların toplam değerini ifade eder. Son olarak bir neden sonuç grafiği ($D + R, D - R$) veri kümesinin haritalandırılmasıyla elde edilir. Yatay eksen ($D+R$) D ve R 'nin toplanmasıyla oluşur. Dikey

eksen (D-R) ise D'den R'nin çıkarılmasıyla oluşur.

4 UYGULAMA

Bu bölümde bulanık DEMATEL metodu hidroelektrik santral işletilmesinde ciddi tehlikelere uygulanacaktır.

4.1 Problem Tanımlama

Hidroelektrik enerji üreten santrallerdeki güvenlik ölçümü özellikle hidrolik alanda uzmanlaşmış mühendisler için tüm dünyada ciddi problemler yaratmaktadır. Bu güvenlik problemleri hem tasarım hem yapım hem de operasyon sürecinde ortaya çıkabilir. Barajlar çoklu hasar süreçleri gibi karmaşık mekanizmalara ev sahipliği yapar (Peyras vd., 2012).

Hidroelektrik enerji üreten santrallerdeki tehlikelerin boyutları çeşitlilik gösterebilir. Bu tehlikelerden çalışanlar, tesis ve çevre ciddi

anlamda zarar görebilir. Önleyici tedbirler sayesinde barajlarda karşılaşılan ya da deneyimlenen riskler az olsa da bu risklerin sonuçları önemli bir boyuta ulaşabilir.

Bu çalışmada barajlarda meydana gelebilecek tehlikelerin hangilerinin daha ciddi olabileceği tartışılmaktadır. Sonuç olarak yöneticiler hangi hasarın daha ciddi olabileceğini bildiklerinde buna yönelik önleyici tedbirleri alabileceklerdir. Operasyonel tehlikeler neden sonuç ilişkisi içinde tanımlanıp bu şekilde analiz edilebilir. Değerlendirmeler farklı uzmanlık alanlarından beş uzman tarafından hidroelektrik santrallerde gerçekleştirilmiştir.

İlk değerlendirmeler sonucunda hidroelektrik santrallerin işletiminde 20 ciddi kriter belirlenmiştir. Bu çerçevede, Çizelge 1 kritik operasyonel tehlikeleri ve bunların muhtemel sonuçlarını göstermektedir (Yucesan ve Kahraman, 2019).

Çizelge 1 - Hidroelektrik Santrallerdeki Kritik Operasyonel Tehlikeler

Kod	Kritik Operasyonel Tehlike	Muhtemel Sonuç
C1	Revizyon işlemi sırasında izole edilmiş trafo yağlarının ve kimyasal yağ maruziyetinin ölçümü	İnsan sağlığına zararlı etki
C2	Jeneratör fren balataları değişimi esnasında asbest maruziyeti	İnsan sağlığına zararlı etki
C3	Şalt sahasında izolatör patlama riski	Ölüm ya da yaralanma ile sonuçlanabilir
C4	Enterkonekte sistemdeki elektriksel darbeler nedeniyle türbinlerde oluşan riskler.	Taşıyıcı ve kılavuz yataklar zarar görebilir.
C5	Arıza ve bakım sırasında ağır malzemelerin vinçle taşınması	Vinç halatının kopması yaralanmalara ve ölümlere neden olabilir.
C6	Emme borusundakavitasyon hasarlarının tamirati esnasında düşme riski	Ölüm ya da yaralanma ile sonuçlanabilir.
C7	Yatak soğutma sisteminde su akışı arızası ve yatak sıcaklıklarının artması	Türbinler durur. Üretim kaybı yaşanır.
C8	Yatak soğutma sisteminde yatak yağına su karışması sonucunda yatak yağının tavsiyesi sonucu yağ maruziyeti riski	İnsan sağlığına zararlı etki.
C9	Çalışanların ağır malzemeleri iskelet sistemine zarar verecek şekilde taşımaları.	İnsan sağlığına zararlı etki.
C10	Maske ve kulak tıkacı gibi koruyucu malzemeler olmadan çalışanlar	İnsan sağlığına zararlı etki.
C11	Cebri boru salmastra değişimlerinde cebri boru üzerinden düşme riski	Ölüm ya da yaralanma ile sonuçlanabilir.
C12	Sulu ve yağlı zeminlerde kayıp düşme riski	Ölüm ya da yaralanma ile sonuçlanabilir
C13	Yağlı zeminleri temizlemek için kullanılan kimyasallara maruz kalma tehlikesi	İnsan sağlığına zararlı etki
C14	Basıncılı hava ve yağ tanklarında emniyet valflerinin arızası, basıncın aşırı artmasına ve patlama riskine neden olur.(Emniyet valfi ani basınç artışlarını tolere edemezse tehlikeli durumlar oluşur.)	Patlamayla sıçrayan metal parçacıkları ölümlere neden olabilir.
C15	Hız regülatörü arızaları nedeniyle türbin devir sayısı aşırı hızlanabilir ve yataklar zarar görür. (Hız regülatörü regülasyon	Uzun dönem çalışmaya ve üretim kayıplarına neden olur.

	yaparak şaft devrini senkronizasyon devrinde sabit tutar yağ akışındaki herhangi bir arıza türbin şaftını aşırı hıza götürür.)	
C16	Yüksek hızlı frenleme balata dumanına neden olur ve karbondioksit sistemi çalışır.(Türbin durmaya giderken röle arızaları nedeniyle frenleme devrinden daha fazla bir devirde frenleme yapabilir.)	Jeneratöre arızadan hemen sonra girilmesi durumunda boğulma riski vardır.
C17	Üniteler devre dışı bırakıldığında, santralin iç ihtiyaç sisteminin arızalanması, jeneratörün devreye girmemesi nedeniyle elektrik ihtiyacı olan yerlerin çalışmaması nedeniyle ortaya çıkabilecek riskler.	Ciddi ekonomik kayıplara neden olabilir.
C18	Türbin çukuru sızdırmazlık arızası nedeniyle türbin çukuru suyunun yükselmesi	Su, türbin yatak yağı ile karışır. Etrafa sızar. Bu durumda operator düşüp yaralanabilir.
C19	Kumanda operatörüne bilgi vermeden jeneratör hücre sine giriş	Ölüm ya da yaralanma ile sonuçlanabilir
C20	Çalışanların dalgınlıkla ve psikolojik rahatsızlıklarla çalışma riski	Ölüm ya da yaralanma ile sonuçlanabilir

Dilsel terimler ve bulanık üçgen sayıları arasındaki karşılıklı ilişki Çizelge 1'e göre belirlenebilir.

4.2 Verilerin analizi

Bu çalışmada uzman görüşleri hidroelektrik santraller üzerine yapılan çalışmaların niceliksel eksikliği nedeniyle kullanılmıştır. Niteliksel ifadeler olarak kullanılan dilsel değerlendirmelerle kıyaslandığında uzman görüşleri daha işlevseldir. Özellikle Zadeh'in ifade ettiği gibi dilsel değerlendirmeler sayıların olmadığı durumlarda referans olarak kullanılabilir(Zadeh, 1975).

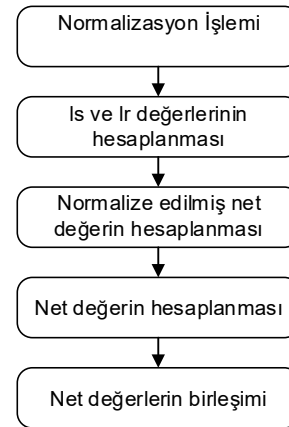
Bu çalışma 2018 yılında Türkiye'nin doğusunda bulunan Keban barajında gerçekleştirilmiştir. Muhtemel tehlikeler 20 değerlendirme kriterine göre 5 uzman tarafından belirlenmiştir. Uzman grubu elektrik elektronik ve makine mühendislerinden oluşmaktadır. Uzmanlara ait bilgiler Çizelge 2'de sunulmuştur. Çizelge 2 'de özellikleri verilen bütün uzmanlar. Etkisiz, çok az etkili, az etkili, yüksek etkili ve çok yüksek etkili olarak kriterler arasında kıyaslamalar yapmışlardır. Daha sonra dilsel ifadeler bulanık sayılara çevrilmişlerdir.

Çizelge 2 - Uzmanlara ait bilgiler

Uzman Kimliği	Deneyim (yıl)	Uzmanlık alanı
U1	19	Elektrik işletme ve bakımı
U2	11	Makine işletme ve bakımı
U3	12	Elektrik işletme ve bakımı
U4	12	İş güvenliği uzmanı
U5	16	Makine işletme ve bakımı

4.3 Önerilen Metodun Uygulanması

Beş kişiden oluşan uzman değerlendiriciden, her değerlendirme kriterinin önem ağırlığı ile ilgili olarak Tablo 3'te tanımlanan dil değişkenlerini kullanarak ikili karşılaştırmalarını yapmaları istenmektedir. Bu aşamada, dil değişkenlerine karşılık gelen aralıklı bulanık sayılara aktarılmaktadır. Şekil 2 de Bulanık DEMATEL metodunun hesaplama aşamalarına yer verilmiştir.



Şekil 2 - Bulanık DEMATEL metodunun hesaplama aşamaları

Opricovic ve Tzeng (2003) tarafından önerilen CFCS (Bulanık Verileri Net Puanlara Dönüştürme yöntemi), sol ve sağ puanları bulanık en küçük ve bulanık en yüksek ile belirleme şekline dayanmakta ve toplam puan üyelik işlevlerine göre ağırlıklı ortalama olarak belirlenmektedir.

$$\tilde{z}_{ij}^k = (l_{ij}^k, m_{ij}^k, r_{ij}^k)k, (k=1,2,\dots,p)$$

Değerlendirici I kriterinin j kriterini hangi derecede etkilediğine dair bulanık

değerlendirmesini belirliyor olsun. CFCS metodu aşağıda ifade edildiği gibi beş basamaklı bir algoritmadan oluşur (Wu ve Lee 2007)

(1) Normalizasyon

$$xl_{ij}^k = (l_{ij}^k - \min l_{ij}^k) / \Delta_{\min}^{\max} \quad (13)$$

$$xm_{ij}^k = (m_{ij}^k - \min l_{ij}^k) / \Delta_{\min}^{\max} \quad (14)$$

$$xr_{ij}^k = (r_{ij}^k - \min l_{ij}^k) / \Delta_{\min}^{\max} \quad (15)$$

$$\Delta_{\min}^{\max} = \max r_{ij}^k - \min l_{ij}^k \quad (16)$$

(2) Normalize edilmiş sol (ls) ve sağ (rs) değerlerin hesaplanması

$$xls_{ij}^k = xm_{ij}^k / (1 + xm_{ij}^k - xl_{ij}^k) \quad (17)$$

$$xrs_{ij}^k = xr_{ij}^k / (1 + xr_{ij}^k - xm_{ij}^k) \quad (18)$$

(3) Normalize edilmiş net değerlerin hesaplanması

$$x_{ij}^k = [xls_{ij}^k(1 - xls_{ij}^k) + xrs_{ij}^k xrs_{ij}^k] / [1 - xls_{ij}^k + xrs_{ij}^k] \quad (19)$$

(4) Net değerlerin hesaplanması:

$$z_{ij}^k = \min l_{ij}^k + x_{ij}^k \Delta_{\min}^{\max} \quad (20)$$

(5) Net değerlerin birleşimi

$$z_{ij}^k = \frac{1}{p} (z_{ij}^1 + z_{ij}^2 + \dots + z_{ij}^p) \quad (21)$$

Bulanık dilsel ölçek Çizelge 3'de değerlendirme yapmak için kullanılmaktadır. İlk basamakta takım bu faktörler arasındaki bağlantıyı bulanık dilsel ölçek kullanarak hesaplamıştır. Bir sonraki basamakta her bireysel değerlendirmeden bazı veriler elde edilmiştir.

Daha sonra eşitlik 10-11 kullanılarak neden diyagramı Şekil 3 ve Çizelge 4'de elde edilmiştir.

Çizelge 3 - Dilsel terimler ve bulanık sayılar arasındaki karşılıklı ilişki

Dilsel Terim	Üçgen Bulanık Sayılar
Etkisiz (No)	(0, 0, 0.25)
Çok az etkili (VL)	(0, 0.25, 0.5)
Az etkili (L)	(0.25, 0.5, 0.75)
Yüksek etkili (H)	(0.5, 0.75, 1)
Çok yüksek etkili (VH)	(0.75, 1, 1)

Çizelge 4 - Nedensel Diyagram Tablosu

	D	D+R	D-R	Grup
C1	1,91	4,25	-0,51	Sonuç
C2	1,87	3,92	-0,22	Sonuç
C3	1,91	3,98	-0,20	Sonuç
C4	2,04	4,02	0,01	Sebeup
C5	1,67	4,04	-0,73	Sonuç
C6	1,74	3,75	-0,30	Sonuç
C7	1,76	3,83	-0,36	Sonuç
C8	1,74	3,95	-0,52	Sonuç
C9	1,62	3,83	-0,63	Sonuç
C10	1,69	3,75	-0,40	Sonuç
C11	1,82	3,76	-0,15	Sonuç
C12	1,68	3,84	-0,52	Sonuç
C13	1,93	3,75	0,06	Sebeup
C14	2,51	4,10	0,85	Sebeup
C15	2,144	4,21	0,03	Sebeup
C16	1,85	4,00	-0,33	Sonuç
C17	2,47	4,22	0,67	Sebeup
C18	2,08	3,96	0,15	Sebeup
C19	2,92	3,96	1,83	Sebeup
C20	2,49	3,61	1,34	Sebeup

4.4 Bulgular

D, D+R, D-R sonuçları ışığında Tablo 4'de neden sonuç ilişkileri gösterilmiştir. Tablo 4'e göre bulguları sebep ve sonuç olarak iki sınıfa ayırmak kaçınılmazdır. Kritik operasyonel tehlikeleri değerlendirmek için hidroelektrik üretim santrallerine odaklanmak gerekmektedir. Özellikle sebep faktörlere odaklanılmalıdır. Şekil 3'de bulunan C19 (Jeneratör hücresine kontrol operatörünün haberi olmadan girmek) faktörü nedensel faktörler arasında en yüksek D-R değerine (1,83) sahiptir. Aynı zamanda C19 faktörü D değeri de en yüksek olan faktördür. Bu da C19 faktörünün bütün sürece en fazla etki eden faktör olduğunu göstermektedir. İkinci en önemli nedensel faktör ise C20'dir. Bu faktör üçüncü en yüksek D değerine sahiptir. C14 üçüncü en önemli nedensel faktördür. İkinci en yüksek D değerine sahip olan faktördür. Bu faktörler bütün bir süreci geniş ölçekte etkileyen faktörlerdir.

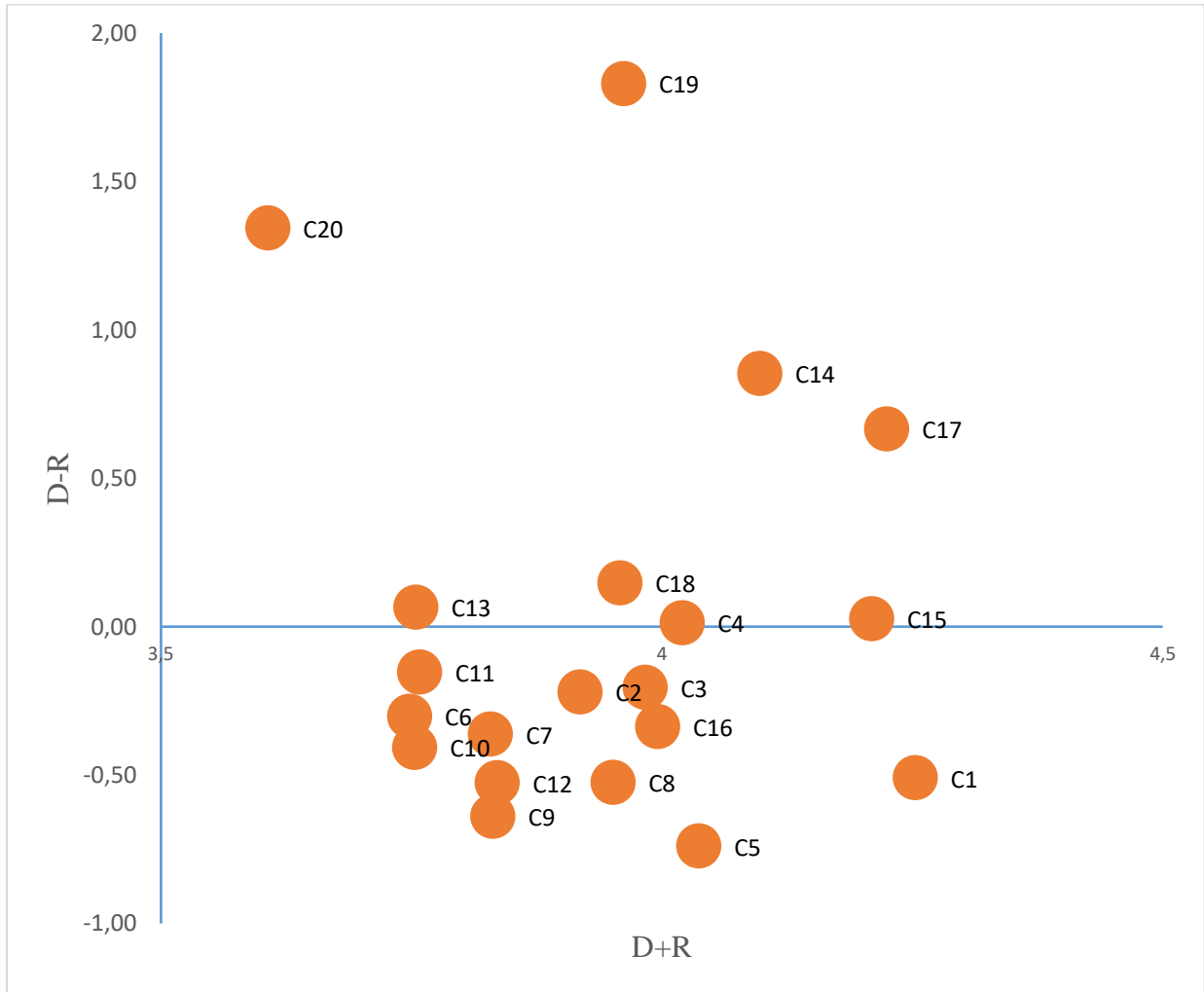
Sonuç faktörleri diğer faktörlerden kolayca etkilenebilir bu yüzden tehlike faktörlerini analiz etmek önemini korumaktadır aksi takdirde ciddi sonuçlar ortaya çıkabilir. C1, 4,25 ile en yüksek D+R değerine sahiptir. H4 diğer faktörleri ciddi seviyelerde etkilemektedir. C17 ve C15 tüm süreçte en yüksek ikinci ve üçüncü D+R değerlerine sahiptirler. Bu faktörlerin değerleri

sırasıyla 4,22 ve 4,21'dir. C15'in D-R değeri düşüktür bu da diğer faktörlerden kolayca etkilendiği anlamına gelmektedir. Diğer faktörlerin D+R değerleri oldukça düşüktür. D-R

değerlerinin düşük olması yüksek etkilene değerlerine sahip olduklarını göstermektedir. Kriterler değerlendirilirken Çizelge 5 kullanılmıştır.

Çizelge 5 - Kriterlerin Öncelik (D+R) ve D-R değerlerinin yorumlanması

D-R	D+R	Kriterin özelliği
Pozitif	Yüksek	Bu kriterler nedensel kriter olarak sınıflandırılmaktadır ve bu kriterlerin diğer problem kriterleri üzerinde etki dereceleri yüksektir. Nedensel gruptaki kriterlerin diğer kriterleri etkileme ve dolaylı yoldan değiştirme özelliği olduğu için bu kriterler karar vericilerin istedikleri sonuçları elde etmek için odaklanması gereken kriterlerdir
Pozitif	Düşük	Bu kriterler de pozitif D-R değerine sahip olduğu için nedensel kriterler olarak sınıflandırılır. Ancak bu kriterlerin diğer kriterler üzerindeki etkisi azdır ve bağımsız kriterlerdir. Bu kriterlerde yapılacak değişikliğin diğer kriterleri etkilemesi beklenmez.
Negatif	Yüksek	Bu kriterler sonuç kriteri olarak sınıflandırılır ve nedensel kriterlerin bu kriterler üzerindeki etkisi büyüktür. Nedensel kriterlerin geliştirilmesiyle bu kriterlerin de dolaylı olarak gelişmesi mümkündür
Negatif	Düşük	Bu grupta yer alan kriterler sonuç kriteri olarak değerlendirilmekte beraber bu kriterler göreceli olarak bağımsız kriterlerdir. Nedensel kriterler tarafından çok fazla etkilenmezler. Problemin sonucu üzerindeki etkileri zayıftır.



Şekil 3 - Neden sonuç diyagramı.

4.5 Önleyici Tedbirler Önerilmesi

Yukarıdaki bulgular ışığında hidroelektrik santrallerinin operasyonları sırasında meydana gelebilecek tehlikeler C19, C20, C14, C17, C18, C13, C15, C4 olarak belirlenmiştir. Engelleyici tedbirler Çizelge 2'de uzmanlık alanları verilen kişilerin değerlendirmeleri alınarak

oluşturulmuştur. Çizelge 6'da tehlikeler ve önleyici tedbirlere yer verilmiştir. Ayrıca bu tedbirlerin maliyetlerinde tahminlerine yer verilmiştir. Uzmanlar tablo 6'daki tedbirlerin alınması durumunda santrallerde olan tehlikelerin önemli derecede azalacağını düşünmektedir.

Çizelge 6 - Önleyici Tedbirler

Tehlike Kodu	Önleyici Tedbirler
C19	Çalışma yapılacak ünite iş emniyet görevlileri tarafından kartlanmalı ve gereken yerlere haber verilmeli.
C20	Sorunları olan personel daha az riskli yerlerde çalıştırılmalı gerekirse hastaneye gönderilmeli.
C14	Basıncılı tankların yılda bir kez basınç testlerini yapmak gerekir. Emniyet ventillerini yine aynı periyotta test etmek ve çalışmayanları yenisi ile değiştirmelidir.
C17	Jeneratörün bakımının yapılıp çalışmaya hazır halde tutulması gerekir.
C18	Salmaşıraların belli periyotta değiştirilmesi ve türbin çukuru pompalarının çalışır halde tutulması gerekmektedir.
C13	Çalışanlar koruyucu maske takmalıdırlar ve temizlik yapılan ortamda çok fazla bulunmamalıdırlar.
C15	Aşırı hız korumalarının periyodik olarak bakımının ve testlerinin yapılması gerekir.
C4	Elektriksel darbelerden gelen hasarları en aza indirebilmek için kumanda operatörlerinin darbeden hemen sonra üniteye oluşan bir hasarın olup olmadığını sinyaller yardımı ile kontrol etmeleri gerekir. Eğer bir sorun varsa daha büyük hasarları engellemek için ünite hemen durdurulup soruna müdahale edilir.

5 SONUÇ

Çalışanların iş güvenliği bilinçlerinin artırılması ve risk analizi sürecinin uygun bir şekilde gerçekleştirilmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, bulanık dematel yöntemiyle barajların faaliyet zamanlarındaki riskleri analiz etme ve geleneksel risk değerlendirme yaklaşımına yeni bir bakış kazandırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, kesin bir risk ihtimalinin hesaplamasında ve alınacak önlemlerin belirlenmesinde karşılaşılan zorlukları ortadan kaldırmak, uzman görüşlerindeki farklılıkları azaltarak ortak bir paydada birleştirmek için dilsel değişkenlerin kullanıldığı bulanık bir yaklaşım önerilmiştir. Türkiye'nin doğusunda bulunan hidroelektrik santralının çalışması sırasında yapılan risk değerlendirmesi uygulamasında, uzman görüşleri alınarak öncelikle tehlikeler tespit edilmiş, ardından tehlike faktörlerinin ikili ilişkileri kıyaslanıp bulanık DEMATEL yönteminin en ayırt edici özelliği olan neden sonuç diyagramı elde edilmiştir. Risklerin değerlendirilmesinden sonra, uzman görüşleri alınarak tehlikeleri ortadan kaldırabilecek önlemler ve bu önlemlerin olası maliyetleri belirlenmiştir.

Yapılan değerlendirmeler ışığında (D-R)'nin negatif D+R ise düşük olduğu bölgeye düşen riskler tamamen etkisiz olarak değerlendirilemezler (C10, C6, C11). Riskler sıralandığı zaman en az önemli riskler olarak değerlendirilirler. DEMATEL yönteminin yapısı gereği (D-R) pozitif (D+R)'nin ise yüksek olduğu sebep faktörlerine odaklanmak toplam riskin azaltılmasında önemli rol oynayacaktır. (C19,C20, C14, C17).

Bulanık DEMATEL metodu kritik tehlikelerin neden sonuç ilişkisi içinde tespit ve analizini gerektiren farklı endüstriyel alanların benzer operasyonel süreçleri için de uygulanabilir. Gelecek çalışmalarda hataların kritiklik seviyeleri başka yöntemlerle belirlenebilir. Ayrıca bu çalışmanın barajların çalışma esnasındaki tehlikelerinin değerlendirilmesi konusunda ilk olduğu için bu yönüyle gelecekteki çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

6 KAYNAKLAR

- [1] Gül, M., Güneri, A. F., Derin, B., "Evaluation of service quality criteria for a private medical center by using SERVQUAL and DEMATEL methods", *Sigma*, 32, 2014 240-253
- [2] Marhavilas, P.K., Koulouriotis, D.E., "A risk-estimation methodological frame work using quantitative assessment techniques and real accidents' data: application in an aluminum extrusion industry", *J. Loss Prev. Process Ind.* 21, 2008 596-603
- [3] Gökcol, C., Dursun, B., Alboyacı, B., Sunan, E., "Importance of biomass energy as alternative to other sources in Turkey", *Energy Policy*, 37, 2009 424-431
- [4] Yüksek, O., Kömürcü, M. I., Yüksel, I., Kaygusuz, K., "The role of hydropower in meeting Turkey's electric energy demand", *Energy Policy*, 34, 2006 3093-3103
- [5] Al-mulali U., Sab C., "The impact of energy consumption and CO₂ emission on the economic growth and financial development in the Sub Saharan African countries", *Energy*, 39, 1, 2012, 180-186
- [6] Lin, R. J., "Using fuzzy DEMATEL to evaluate the green supply chain management practices", *Journal of Cleaner Production*, 40, 2013 32-39
- [7] Zhou, Q., Huang, W., Zhang, Y., "Identifying critical success factors in emergency management using a fuzzy DEMATEL method", *Safety science*, 49, 2011 243-252
- [8] Liou, J. J., Yen, L., Tzeng, G. H., "Building an effective safety management system for airlines", *Journal of Air Transport Management*, 14, 2008 20-26
- [9] Wu, W. W., Segmenting critical factors for successful knowledge management implementation using the fuzzy DEMATEL method, *Applied Soft Computing*, 12, 2012, 527-535
- [10] Amiri, M., Mohammadi A., "A Fuzzy Analytic Network Process Model to Treat Critical Environmental Risks in Dams and Hydropower Plants", 8th International Civil Engineering Congress, Ensuring Technological Advancement through Innovation Based Knowledge Corridor. 2016
- [11] Han, Y., Deng, Y. "An enhanced fuzzy evidential DEMATEL method with its application to identify critical success factors", *Soft Computing*, 2018 1-18.
- [12] Mentés, A., Akyıldız, H., Yetkin, M., Turkoglu, N., "A FSA based fuzzy DEMATEL approach for risk assessment of cargoships at coasts and open seas of Turkey. *Safety science*, 79, 2015 1-10
- [13] Gökkısa A. C. & Perçin S.. Bütünleşik Bulanık DEMATEL-Bulanık VIKOR Yaklaşımının Makine Seçimi Problemine Uygulanması. *Journal of Yasar University*, 12, 2017 249-256
- [14] Chang, B., Chang, C. W., Wu C., H., "Fuzzy DEMATEL Method for Developing Supplier Selection Criteria", *Expert Systems with Applications*, 38, 2011 1850-1858
- [15] Sumrit D., Anuntavoranich P., "Using DEMATEL Method to Analyze The Causal Relations on Technological Innovation Capability Evaluation Factors in Thai Technology-Based Firms", *Int Trans J Eng. Manag. Appl. Sci. Technol.*, 4, 2013 81-103
- [16] Yucesan, M.; Kahraman, G., "Risk evaluation and prevention in hydro power plant operations: A model based on Pythagorean fuzzy AHP", *Energy Policy*, 126, 2019 343-351
- [17] Zadeh, L.A., "The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning", *Inf. Sci.* 1975, 8, 199-249
- [18] Wu, W. W., Lee, Y., T., "Developing global managers competencies using the fuzzy DEMATEL method", *Expert systems with applications*, 2007, 32(2), 499-507
- [19] Gabus, A., Fontela E., "World problems, an invitation to further thought within the framework of DEMATEL", *Battelle Geneva Research Center, Geneva, Switzerland*, 1972, 1-8
- [20] Peyras L., Carvajal C., Felix H., Bacconnet C., Royet P., Becue J. P., Boissier D., "Probability - based assessment of dam safety using combined risk analysis and reliability methods—application to hazards studies", *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 2012, 16(7), 795-817
- [21] Opricovic S., Tzeng G., H., "Defuzzification within a multicriteria decision model, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 2003, 11(5), 635–65