

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÖYCEĞİZ-DALYAN HAVZASININ YERALTI SUYU KİRLENME
POTANSİYELİNİN DRASTIC YÖNTEMİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zeynep TÜRKAY

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÖYCEĞİZ-DALYAN HAVZASININ YERALTI SUYU KİRLENME
POTANSİYELİNİN DRASTIC YONTEMİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Zeynep TÜRKAY
(501101720)**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Melike GÜREL

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501101720 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Zeynep TÜRKAY**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**KÖYCEĞİZ-DALYAN HAVZASININ YERALTI SUYU KİRLENME POTANSİYELİNİN DRASTIC YÖNTEMİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Melike GÜREL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof.Dr. Ayşegül TANIK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Nusret KARAKAYA
Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Teslim Tarihi : **4 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **3 Haziran 2015**

Annem, babam ve eşime,

ÖNSÖZ

Peyzaj mimarı olarak Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı'na Yüksek Lisans başvurusu yaparken bir hayalim vardı. Yaşadığı çevreye en çok dokunan varlık olan insanın mimar olarak estetik açıdan ve tasarım açısından çok değerli ürünler verebildiğini görmüştüm. Peki yaşayan insanın çevreye ve doğaya etkilerini sayısal olarak anlayabilir miydim? Benimle bilgi ve tecrübesini paylaşmaktan çekinmeyen, farklı bir eğitim temelinden gelmiş olmamdan kaynaklanan dezavantajlarım konusunda bana sınırsız sabır göstermiş olan hocam Prof. Dr. Melike Gürel'e (İstanbul Teknik Üni. İnşaat Fak. Çevre Mühendisliği Böl.) bu soruyu cevaplamamda yardımcı olduğu ve tez danışmanım olmayı kabul ettiği için teşekkür ederim.

Diğer büyük teşekkürü çalışmalarımın her aşamasında benimle bilgisini paylaşmaktan çekinmeyen ve çalışmalarımın yolunda gitmesi için bana oldukça zaman ayıran hocam Doç. Dr. Ali Ertürk'e (İstanbul Üni. Su Ürünleri Fak. İç Sular Biyolojisi Böl.) etmeliyim. Uzun tez çalışmam sürecinde karşıma çıkan maddi veya manevi her türlü zorluğu aşmam konusunda benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Araş. Gör. Gökhan Cüceloğlu'na (İstanbul Teknik Üni. İnşaat Fak. Çevre Mühendisliği Böl.) da teşekkürü bir borç bilirim.

Başka bir büyük teşekkür bölümünü ise bana öngördüğümüzden uzun süren bu süreçte destek olan, beni dinleyen ve sabırla bana başarabileceğimi hatırlatan aileme ve ailemden saydığım arkadaşlarıma ayırmam gerektiğini düşünüyorum. Sadece bu süreçte değil, hayatımın her aşamasında yanımda olduklarını bildiğim ve benden maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen babam Ali Hüseyin Şenkesen ve annem Nurhan Şenkesen'e, bundan bir yıl önce birlikte bir çekirdek aile kurduğumuz ve bana tahammül edip beni tezim konusunda motive etmekten bıkmayan sevgili eşim Volkan Türkay'a, bu programa başvurmam konusunda beni gayretlendiren sevgili arkadaşım Duygu Uygur'a teşekkür ederim. Bu kişilerin yanı sıra usanmadan bana başarabileceğimi hatırlatan sevgili dostlarım Zeynep Özkeserli, Tuba Demirtaş ve Derya Karşı'ya çok teşekkür ederim. Bilgisini benden esigemeyen ve çalışmalarımın başlangıcında bana destek olan sevgili arkadaşım Araş. Gör. Gökçen Türkkan'a (Uludağ Üni. İnşaat Fak. İnşaat Mühendisliği Böl.) da teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Mayıs 2015

Zeynep Şenkesen
(Peyzaj Mimarı)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi	3
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	4
2. HASSASİYET BELİRLEME YÖNTEMLERİ.....	7
2.1 Yeraltı Suyu Hassasiyeti Kavramı.....	7
2.2 Hassasiyet Haritalarının Hazırlanması	8
2.3 Hassasiyet Belirlemede İndeks Yöntemleri.....	9
2.3.1 GOD yöntemi	12
2.3.2 SINTACS yöntemi	12
2.3.3 AVI yöntemi.....	13
2.3.4 EPIK yöntemi.....	14
2.3.5 PI ve COP yöntemleri	15
2.3.6 SEEPAGE yöntemi	18
2.3.7 ISIS yöntemi.....	18
2.3.8 DRASTIC yöntemi.....	19
2.3.8.1 Analitik hiyerarşi süreci (AHS).....	21
2.3.8.2 DRASTIC indeksi	24
2.3.8.3 DRASTIC yönteminin avantajları.....	28
3. KÖYCEĞİZ DALYAN LAGÜN HAVZASI	31
3.1 Coğrafi Konum	31
3.2 İklim ve Meteorolojik Özellikler	33
3.3 Jeoloji ve Hidrojeoloji	38
3.4 Toprak Yapısı	41
3.5 Kara Ekosistemi.....	44
3.6 Arazi Kullanımı	46
3.7 Hidroloji.....	48
3.8 Ekonomik Yapı.....	49
3.9 Tarım ve Hayvancılık Faaliyetleri	50
3.10 Turizm	51
3.11 Sanayi ve Ticaret.....	52
3.12 Altyapı.....	53
4. DRASTIC YÖNTEMİNİN KÖYCEĞİZ-DALYAN HAVZASINA	
UYGULANMASI	55
4.1 Verilerin Toplanması ve Analiz Edilmesi	55

4.1.1 Yeraltı suyu derinliği (D)	60
4.1.2 Net beslenme (R).....	61
4.1.3 Akifer ortamı (A).....	64
4.1.4 Toprak bünyesi (S)	67
4.1.5 Eğim (T)	73
4.1.6 Doymamış bölge etkisi (I).....	75
4.1.7 Hidrolik iletkenlik (C).....	77
4.2 DRASTIC Hassasiyet İndeks Haritası.....	80
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	83
6. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER	87
KAYNAKLAR.....	89
ÖZGEÇMİŞ.....	95

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
FAO	: Gıda Tarım Örgütü
ISRIC	: Dünya Toprak Referans ve Bilgi Merkezi
NASA	: Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NRC	: Amerikan Ulusal Araştırma Merkezi
NRCS	: Amerikan Ulusal Kaynakları Koruma Servisi
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission
USDA	: Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı
USEPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
UTM	: Uluslararası Merkator Projeksiyonu
WFD	: Su Çerçevesi Direktifi
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Hassasiyet Belirlemede Temek İndeks Yöntemleri ve Temel Parametreleri (Gogu ve Dassargues, 2000).	11
Çizelge 2.2 : Hidrolik Direnç (c) ile AVI Hassasiyet İndeksi Arasındaki İlişki (Anornu ve Kabo-bah, 2013).....	14
Çizelge 2.3 : EPIK Parametreleri ve Sınıf Değerleri (Gogu ve Dassargues, 2000).	15
Çizelge 2.4 : PI ve Cop Yöntem Parametreleri ve Önem Dereceleri (Yıldırım ve Topkaya, 2007).....	16
Çizelge 2.5 : DRASTIC Yöntem Parametrelerinin Tanım ve Ağırlıkları (Aller ve diğ, 1987).....	20
Çizelge 2.6 : AHS Yönteminde Kullanılan İkili Karşılaştırmalar Ölçeği (Şener ve diğ, 2009).....	22
Çizelge 2.7 : DRASTIC Parametrelerinin Özgün Değerleri (Aller ve diğ, 1987)....	26
Çizelge 3.1 : Yağış Görülme Sıklık ve Olasılıkları (Gönenç ve diğ, 2004).	35
Çizelge 3.2 : Köyceğiz Gölü Alt Havzası Arazi Kullanımı (Gönenç ve diğ, 2004).	46
Çizelge 3.3 : Dalyan Alt Havzasında Arazi Kullanımı (Gönenç ve diğ, 2004).....	47
Çizelge 4.1 : DRASTIC Parametrelerinin Modifiye Edilmiş Değerleri.	58
Çizelge 4.2 : Yeraltı Suyu Derinliği Parametresi DRASTIC Sınıfları ve Sınıf Değerleri.	61
Çizelge 4.3 : Köyceğiz-Dalyan Havzası 2007 Yılı için Simüle Edilmiş Aylık Değerler (Güzel, 2010).....	62
Çizelge 4.4 : Net Beslenme Parametresi DRASTIC Sınıfları ve Sınıf Değerleri.....	63
Çizelge 4.5 : Akifer Ortamı Parametresi DRASTIC Sınıfları ve Sınıf Değerleri	66
Çizelge 4.6 : Toprak Bünyesi Parametresi DRASTIC Sınıfları ve Sınıf Değerleri..	72
Çizelge 4.7 : Eğim Parametresi için DRASTIC Sınıfları ve Sınıf Değerleri.	74
Çizelge 4.8 : Doymamış Bölge Etkisi Parametresi DRASTIC Sınıfları ve Sınıf Değerleri	76
Çizelge 4.9 : Hidrolik İletkenlik Parametresi DRASTIC Değerleri.	79
Çizelge 5.1 : Hassasiyet Sınıflarının Alansal Dağılımları.	83

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Özel ve İçsel Hassasiyet (Liggett ve Talwar, 2009).....	8
Şekil 2.2 : DRASTIC Yöntemi ile Hassasiyet Haritalarının Hazırlanması Akış Şeması	25
Şekil 3.1 : Köyceğiz-Dalyan Havzasının Türkiye’deki Konumu (DSİ, 2013).....	31
Şekil 3.2 : Köyceğiz-Dalyan Havzasının Google Earth Görüntüsü.....	32
Şekil 3.3 : Köyceğiz-Dalyan Havzası Sınırları ve Alt Havzalar (Gönenç ve diğ, 2004).	32
Şekil 3.4 : 1963-1990 Yılları Arası Ortalama ve Ekstrem Sıcaklıkların Aylık Ortalama Dağılımları (Gönenç ve diğ, 2004).....	34
Şekil 3.5 : 1985-2000 Yılları Rasatlarına Göre Havzada Yıllık Toplam Yağışlar (Gönenç ve diğ, 2004).	34
Şekil 3.6 : 1983-2000 Yılları Nisan-Ekim Dönemi Buharlaşma Rasatlarına Göre Havzada Toplam Buharlaşma (Gönenç ve diğ, 2004).	36
Şekil 3.7 : 1986-2000 Yılları Buharlaşma Rasatlarına Göre Havzada Aylık Toplam Buharlaşma (Gönenç ve diğ, 2004).	36
Şekil 3.8 : 1963-1990 Yılları Rasatlarına Göre Havzada Günlük Ortalama Nemin Aylık Ortalama Dağılımı (Gönenç ve diğ, 2004).....	36
Şekil 3.9 : 1963-1990 Yılları Rasatlarına Göre Havzada Günlük Ortalama Bulutluluğun Aylık Ortalama Dağılımları (Gönenç ve diğ, 2004).	37
Şekil 3.10 : 1985-1990 Yılları Rasatlarına Göre Havzada Günlük Ortalama Güneşlenme Süre ve Şiddetlerinin Aylık Ortalama Dağılımları (Gönenç ve diğ, 2004).....	37
Şekil 3.11 : Havzanın Jeolojik Durumu (Pons ve Edelman, 1960).	40
Şekil 3.12 : Bölgeye Ait Büyük Toprak Gruplarını Gösteren Harita (Gönenç ve diğ, 2004).	42
Şekil 3.13 : Arazi Kullanma Kabiliyet Alt Sınıfları Haritası (Gönenç ve diğ, 2004).	42
Şekil 3.14 : Arazi Kullanma Kabiliyet Sınıfları Haritası (Gönenç ve diğ, 2004).....	43
Şekil 3.15 : Toprak Problemleri Haritası (Gönenç ve diğ, 2004).	43
Şekil 3.16 : Arazi Kullanım Haritası (Gönenç ve diğ, 2004).	46
Şekil 3.17 : Hidrolojik Yıla Göre Namnam Çayı Debi Serileri (Gönenç ve diğ, 2004).	48
Şekil 3.18 : Namnam Çayı Ortalama Debileri (a) Aylık (b) Yıllık (Gönenç ve diğ, 2004).	48
Şekil 3.19 : Yuvarlakçay’ın Debi Değişimleri (Gönenç ve diğ, 2004).	49
Şekil 4.1 : DRASTIC Yönteminin Uygulanmasının Aşamaları.....	56
Şekil 4.2 : Çalışma Alanının Dijital Yükseklik Modeli.....	57
Şekil 4.3 : Yeraltı Suyu Derinliği Parametresi DRASTIC Değerlerini Gösteren Harita.....	61
Şekil 4.4 : Net Beslenme Parametresi DRASTIC Sınıfını Gösteren Harita.	64
Şekil 4.5 : Akifer Ortamı Parametresi DRASTIC Değerlerini Gösteren Harita.....	67
Şekil 4.6 : Toprak Tekstürü (Bünyesi) Üçgeni (USDA, 1987).	70

Şekil 4.7 : Toprak Bünyesi Parametresi DRASTIC Değerlerini Gösteren Harita.	73
Şekil 4.8 : Eğim Parametresi DRASTIC Değerlerini Gösteren Harita.	75
Şekil 4.9 : Doymamış Bölge Etkisi Parametresi DRASTIC Değerlerini Gösteren Harita.	77
Şekil 4.10 : Hidrolik İletkenlik ve Permeabilite Değerlerinin Değişim Aralığı (Freeze ve Cherry, 2003).....	78
Şekil 4.11 : Hidrolik İletkenlik Parametresi DRASTIC Değerlerini Gösteren Harita.	79
Şekil 4.12 : DRASTIC Hassasiyet İndeks Haritası.....	80
Şekil 4.13 : DRASTIC Hassasiyet Haritası.	81
Şekil 5.1 : DRASTIC Hassasiyet Haritası ile Uydu Görüntüsünün Çakıştırılması. ..	84
Şekil 5.2 : Köyceğiz-Dalyan Havzası İçin Arazı Kullanım Haritası ve DRASTIC Hassasiyet Haritasının Çakıştırılması.....	85
Şekil 5.3 : Tarım Alanlarının Hassasiyet Sınıflarına Göre Dağılımları.....	85

KÖYCEĞİZ-DALYAN HAVZASININ YERALTI SUYU KİRLENME POTANSİYELİNİN DRASTIC YÖNTEMİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ

ÖZET

Yeraltı suyu kirlenmesinin yüzeysel suların kalitesini düşüren büyük bir etken olduğu dünya genelinde fark edilmiştir. Kirlenmeye sebep olan parametrelerin başında azotun geldiği görülmektedir. Tarımsal aktivitelerin ise yeraltı suyu azot kirlenmesiyle doğrudan ilişkili olduğu ortaya konmuştur.

Bu çalışma kapsamında Köyceğiz-Dalyan Havzası için yeraltı suyu hassasiyet haritası hazırlanmıştır. Yeraltı suyu hassasiyeti kavramı bir jeolojik terimin kirliliğe karşı doğal özelliklerinden kaynaklanan korunma derecesi olarak ele alınmıştır. Hassasiyet belirlemede kullanılan indeks yöntemleri arasından Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından geliştirilmiş olan DRASTIC Yöntemi seçilmiştir.

DRASTIC Yöntemi özünde Amerika Birleşik Devletleri için geliştirilmiştir. Ancak anlaşılma ve uygulanma konusundaki kolaylığı, kullanıcının kendi yargı ve tecrübelerini sürece katma olanağı tanınması sayesinde dünyada yaygın olarak hassasiyet haritalarının hazırlanmasında kullanılmaktadır.

Çalışma alanı olarak bir kısmı Köyceğiz-Dalyan Özel Çevre Koruma Bölgesi sınırları içerisinde kalan Köyceğiz-Dalyan Lagün Havzası seçilmiştir. Köyceğiz-Dalyan Havzasında lagün ekosisteminin yeraltı suyuna bağımlı olduğu düşünülmekte ve yeraltı suyunda kirlilik oluşması durumundan lagün su kalitesinin etkilenmesi beklenmektedir. Havzada yeraltı suyu aynı zamanda içme ve sulama suyu kaynağı olarak da kullanılmaktadır. Çalışmanın temel motivasyonunu bu gerçekler oluşturmaktadır. Geçmişte bu bölgede yapılan birçok çalışmanın olması ise yöntem girdisi olarak kullanılan bazı verilerin sağlanmasında yardımcı olmuştur.

DRASTIC Yöntemi hassasiyet belirlemede kullanılan birçok indeks yönteminden biridir. Bu yöntemlerden Bölüm 2’de ayrıltılı olarak bahsedilmiştir. Bölüm 3’te Köyceğiz-Dalyan Havzasının özellikleri anlatılmıştır. Bölgeye DRASTIC Yönteminin uygulanmasının adımları ise Bölüm 4’te detaylı olarak yer almaktadır.

Köyceğiz-Dalyan Havzasına DRASTIC Yönteminin uygulanması sonucunda bölgenin hassasiyet haritası çıkarılmıştır. Buna göre havzanın alansal olarak %24,4’ünün çok yüksek, %8,3’ünün ise yüksek yeraltı suyu hassasiyetine sahip olduğu tespit edilmiştir.. Alanda çok düşük hassasiyet sınıfına sahip bir bölge olmadığı görülmüştür. Bunun yanı sıra bölgenin yeraltı suyu hassasiyet haritası alan kullanım haritası ile karşılaştırılmış, tarımsal alanlar ve yeraltı suyu hassasiyeti arasında ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Bu çalışmaya göre ise tarımsal alanların %87,1’inin çok yüksek hassasiyet sınıfına sahip alanlarda bulunduğu ortaya konmuştur.

Köyceğiz-Dalyan Havzasının ekosisteminin sürdürülebilirliği için yeraltı suyu kirliliği önem taşımaktadır. Kirliliğin oluştuktan sonra ortadan kaldırılması ekonomik olmayan ve uygulanması zor bir süreç olmaktadır. Bu çalışma kapsamında hazırlanan yeraltı suyu hassasiyet haritasının yeraltı suyunda kirlilik oluşmadan kirliliğin önüne

geçilmesi konusunda atılacak adımlarda yol gösterici nitelikte olması ve yapılacak ileri çalışmalara altlık oluşturması amaçlanmıştır.

ASSESSING THE GROUNDWATER POLLUTION POTENTIAL OF KOYCEGIZ-DALYAN WATERSHED USING DRASTIC METHOD

SUMMARY

Groundwater pollution as a contributor to the degradation of quality of surface waters has been recognized all over the world. The main parameter among all the parameters causing groundwater pollution is nitrate. Nitrogen is a main nutrient for plants. It is associated with healthy growth of leaves and the green colour of the leaves. Plants can use nitrogen as nitrate (NO_3^-) or ammonium (NH_4^+). As a nitrogen source plants can use soil media, atmosphere and fertilizers. Because of uncontrolled and over use of fertilizers, nitrate pollution is strongly associated with agricultural activities. Nitrate pollution in groundwater causes many health problems of which some are fatal like blue baby syndrome. Besides human and animal health, pollution of groundwater affects environmental ecology and environmental sustainability. In Chapter 1, groundwater pollution and national and non-national regulations are explained.

In this study a groundwater vulnerability map is obtained for Köyceğiz-Dalyan Watershed. There are two vulnerability concepts, specific vulnerability and intrinsic vulnerability. Specific vulnerability methods take into consideration both of the natural protection of an area and pollutant characteristics. In intrinsic vulnerability methods pollutant characteristics are not assessed. In these methods groundwater vulnerability means the concept of the natural protection of a geological setting to pollution without taking consideration of the pollutant characteristics. There are many methods for estimating groundwater vulnerability; Statistical methods, index methods and process methods. For this study DRASTIC method developed by United States Environmental Protection Agency (USEPA) was chosen to be used. DRASTIC is one of the index methods. In Chapter 2, other main index methods are explained besides DRASTIC.

DRASTIC Method has been developed to be used in the hydrogeological setting of the United States. It is a very easy to understand and implement method. Besides, it allows the user to integrate his/her experience and estimations. DRASTIC is a flexible method that some modifications can be made by the user. Because of these reasons, there are many cases that DRASTIC had been used for assessing the groundwater pollution potential all over the world.

DRASTIC Method evaluates seven different parameters of a groundwater environment. These parameters are depth to water, net recharge, aquifer media, soil media, topography, impact of the vadose zone and hydraulic conductivity. First letters of these parameters make up the name DRASTIC. All of these parameters have weights according to their effect on pollution. These weights are explained in the manual and can not be changed by the user. Besides these weights there are ratings to all parameters. While giving the rating values the user can add his/her experience. Rating values differ for every case study. By multiplying each weight and rating for each of these seven parameters and then adding these products, DRASTIC Index is obtained.

A lagoon is a shallow water body that is separated from the sea by a barrier, connected to sea by one or more inlets. Depending on the situation of sea and of rivers ending in the lagoon, the lagoons exhibit sometimes fresh, and sometimes brackish or saline water character. Unpolluted coastal lagoons have long been known as perfect environments for various aquatic products, especially for fishes. In this study, Köyceğiz-Dalyan Lagoon and its watershed was selected as the case study area. Some part of the study area is under environmental special protection. The area is a host for many endemic plant species. Besides İztuzu Beach is a nesting area of a turtle species called *Caretta caretta* that is endangered. In Köyceğiz-Dalyan Watershed the lagoon ecosystem is considered to be dependent on the groundwater sources. There is no doubt that any pollution to happen in the groundwater is going to affect the water quality of the lagoon. Besides, the water of Köyceğiz Lake is brackish. Because of this reason groundwater is used as a source for drinking water and irrigation in the watershed. These facts make the main motivation for the study. In the study area pollution of groundwater means health problems in people, environmental pollution and losing the environmental sustainability. There are many previous studies made in Köyceğiz-Dalyan Watershed. Some data for applying the method was derived from these past studies. In Chapter 3, detailed information about the study area can be found.

Data needed for the parameters are obtained from a variety of sources. Some data was received from the past studies made in Köyceğiz-Dalyan Watershed. Data about soil and hydrogeology was obtained from the internet. Digitization and calculations were made using ArcGIS software. ArcGIS is a geographical information system for working with maps and geographic information. The main component of ArcGIS suite, ArcMap was used for this purpose. ArcMap is used for viewing, editing, creating and analyzing geospatial data. Seven different layers of each parameter were prepared in ArcMap, and then added together in order to obtain the DRASTIC Index Map and DRASTIC Vulnerability Map. All the steps are explained in Chapter 4 in detail.

The output of applying the DRASTIC Method to Köyceğiz-Dalyan Lagoon watershed is first DRASTIC rating maps of each of the DRASTIC factors. After having these maps, each map is weighed according to the methods constant weight values. Lastly, by adding all the weighed DRASTIC rating values, the DRASTIC Index Map is obtained. According to a commonly used DRASTIC Index Classification there are five classes indicating vulnerability; Very Low (<79), Low (80-119), Moderate (120-159), High (160-199) and Very High (200<). Based on these classification ranges, calculated DRASTIC Indexes are mapped as the DRASTIC Vulnerability Map for Köyceğiz-Dalyan Watershed. According to the DRASTIC Vulnerability Map of Köyceğiz-Dalyan Watershed, a major part has high and moderate vulnerability to groundwater pollution. It has been estimated that there are no areas that have very low vulnerability. It can be said that a considerable percentage of the study area has moderate vulnerability. High vulnerability does not mean that there is going to be pollution in groundwater whereas no pollution is guaranteed in low vulnerable areas. If there is not a pollutant source in highly vulnerable areas, it is very hard for the pollution to occur. In addition to this in a case where a pollution is defined in low vulnerable areas, a pollution in groundwater is expected. Because of this reason, land use map and vulnerability map is evaluated together. When land use map and vulnerability map is evaluated together, it can be said that the areas where agricultural activities take place are very vulnerable to pollution. High vulnerability near Köyceğiz and intense agricultural activity is remarkable. These evaluations made with DRASTIC Vulnerability Map and land use map of Köyceğiz-Dalyan Watershed can

be a guide for decision makers. The results of the study is explained in Chapter 5 in detail.

Finally, recommendations for future studies are stated in Section 6. For the sustainable ecosystem management of Köyceğiz-Dalyan Watershed, groundwater quality is a very important issue. It is not a feasible and easy action to remediate after a pollution has happened. In this study, it is aimed that the vulnerability map of Köyceğiz-Dalyan Watershed can be a guide for taking steps for avoiding groundwater pollution.

1. GİRİŞ

Su, yeryüzündeki tüm canlılar için yaşamın temelidir. Dünya'daki tüm su kaynaklarının yalnızca %2,5'i tatlı su kaynağıdır. Dünya nüfusundaki hızlı artış tatlı su kaynaklarının kullanımındaki artışı da beraberinde getirmiştir.

Kaynakların yeterli miktarda bulunabilmesi probleminin yanı sıra suyun kalitesi de suyla ilgili karşılaşılabilecek sorunlardan biridir. Suyun bulunabilirliği ve ulaşılabilirliği kadar kalitesi de canlı yaşamının devamı ve sağlığı için önem taşımaktadır. Yeraltı suyu, büyük hacimlerle bulunması ve yüzeysel sulara kıyasla kirlenmeye karşı hassasiyetinin düşük olması sebebiyle Dünya'daki önemli içme suyu kaynakları arasındadır. Bunun yanı sıra yüzeysel suların yeraltı sularından beslenmesi sebebiyle yeraltı suyunun kalitesi, yüzeysel suların kalitesiyle de yakından ilişkilidir. Yeraltı suyu tatlı su kaynaklarının yeterli olmadığı durumlarda sulama suyu olarak da kullanılmaktadır. İçme ve sulama suyuna kaynak oluşturması ve yüzeysel suların kalitesine olan etkisi sebebiyle yeraltı suyunun kalitesini korumak hem insan sağlığı açısından hem de çevresel ve ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır.

Yeraltı sularının kalitesini etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametreler arasından nitrat suda çözünme özelliğine, eksi yüklü bir iyon olması sebebiyle yüksek hareket kabiliyetine ve doymamış bölgeden sızma yoluyla yeraltı suyuna ulaşılma potansiyeline sahiptir. Tüm bu özelliklerinden dolayı nitrat yeraltı suyu kalitesini düşüren bir parametre olarak diğer parametrelerin arasında öne çıkmaktadır.

Yapılan birçok çalışma yeraltı suyu nitrat kirlenmesi ve tarımsal faaliyetler arasında bir ilişki olduğunu göstermiştir (Muhammetoğlu ve diğ, 2002; Nas ve Berktaş, 2006; Wick ve diğ, 2012; Su ve Wang, 2013; Rosenstock ve diğ, 2014). Avrupa'da nitrat konsantrasyonu, içme suyu için tavsiye edilen sınır değeri olan 50 mg/L (WHO, 1993) üzerinde çıkan alanların %22'si işlenmiş toprak alanlarda bulunmaktadır (Thorburn ve diğ, 2003). Tarımsal faaliyetlerdeki aşırı gübre kullanımı, yeraltı suyuna sızan nitrat için en temel yayılı kaynak olarak gösterilmektedir (Almasri, 2007).

Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) belirttiğine göre, dünyada su kaynaklarının mevcudiyeti ve ulaşılabilirliği insan yaşamının devamı için birincil derecede önem taşıyorsa, ikincil derecede önem taşıyan konunun da besin sağlama olduğu söylenebilir. Nüfusun hızla artması sebebiyle tüm nüfus için yeterli miktarda besin üretilmesi konusu, dünya ölçeğinde önem kazanmakta ve tarımsal faaliyetleri etkilemektedir. Çoğu ülkede bu baskı, marjinal tarım arazilerinin ve geçim tarımının artmasıyla ilişkilendirilmektedir. Diğer ülkelerde ise besin ihtiyaçlarının artması aşırı sulama yapılmasına ve gübre kullanımında artışa sebep olmaktadır (Ongley, 1996). Dünya genelinde azot, fosfor ve potasyum içerikli gübrelerin kullanımı, tarımsal faaliyetler üzerindeki baskı sonucu artış göstermiştir. Bu gübrelerin yanlış ve aşırı uygulanması, yüzeysel sularda ötrofikasyona ve azotun nitrat formunda yeraltı suyuna ulaşması ile yeraltı suyunda kirlenmeye sebep olmaktadır (Nagendran, 2011).

Arazilerin ekilebilir araziye dönüştürülmesi, yeraltı suyunun sulama kaynağı olarak kullanılması amacıyla aşırı tüketimi, anorganik gübrelerin aşırı kullanımı, tarım ilaçlarının bilinçsiz kullanımı çevre üzerinde tamir edilemez ve geri döndürülemez etkiler bırakmaktadır. Alıcı ortamlardaki su kalitesini düşüren en büyük etken, gübreleme ve tarım ilacı kullanımından sonra kimyasalların yağmur suyu ile alıcı ortamlara ulaşmasıdır (Nagendran, 2011).

Tarımsal faaliyetler, tatlı su kaynaklarının en büyük oranda kullanıldığı aktivite olmakta ve dünya genelinde kaynakların %70'i bu amaçla kullanılmaktadır. Terleme yoluyla bitkinin kaybettiği miktar dışındaki su, yüzeysel suya ve yeraltı suyuna geri dönse de tarımsal faaliyetler, su kirlenmesinin hem sebebi hem de kirlenmeden etkilenen mağdurdur (Ongley, 1996).

Yeraltı sularında nitrat kirlenmesinin önemi farkedilmiş, bu konuda dünyada ve Türkiye'de birçok çalışma yapılmıştır (Corniello ve diğ, 1997; Muhammetoğlu ve diğ, 2002; Jamrah ve diğ, 2007; Polat ve diğ, 2007; Yıldırım ve Topkaya, 2007; Yang ve Wang, 2010; Sunal ve Erşahin, 2012; Yin ve diğ, 2012; Koç, 2014). Ülkemizde kirliliğin önlenmesi için mevzuatta düzenlemeler yapılmış, konuyla ilgili yönetmelikler yayımlanmıştır. 1991 yılında yayımlanan Avrupa Birliği Nitrat Direktifi'nde yüzeysel ve yeraltı sularının tarımsal kaynaklı nitrat kirlenmesine karşı korunması amaçlanmış, "Nitrat Hassas Bölgesi" tanımı yapılmış, iyi tarım uygulamalarından bahsedilmiş, ulusal çapta takip ve raporlama esasları belirtilmiştir. Türkiye'de ise Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması

Yönetmeliği, Türkiye'nin Avrupa Birliği Müktesebatına Uyum Programı kapsamında AB Nitrat Direktifi ile uyumlulaştırılmıştır. 2005 yılının Ocak ayında Türkiye'de Nitrat Direktifi'nin Uygulanması Projesi başlatılmış, 2006 yılı Aralık ayında ise proje son bulmuştur. Direktifin uygulanması kapsamındaki adımlardan biri, nitrat hassas bölgelerinin tanımlanması ve belirlenmesidir.

Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) göre kabul edilebilir nitrat konsantrasyonu 11,3 mg/L $\text{NO}_3\text{-N}$ veya 50 mg/L NO_3 'tür. Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği'nde hassas bölge tanımı yapılmış, 50 mg/L veya daha fazla nitrat konsantrasyonuna sahip olan, içme suyu amacıyla kullanılan veya kullanılabilecek olan tüm yüzey ve yeraltı suları kirlenmiş sular olarak tanımlanmıştır. 2005 yılında yayımlanan İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'te kaynak suları için sınır değeri 50 mg/L nitrat olarak belirtilmiştir. Aynı şekilde 2012 yılında yayımlanan Yeraltı Sularının Kirlenmeye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik'te ise, benzer şekilde yeraltı suları kirliliğinin tespiti için eşik değeri 50 mg/L nitrattır. 2014 yılında yayımlanan Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmelik'te de yeraltı sularında izlenmesi gereken asgari parametreler listesinde nitrat parametresi bulunmaktadır.

Yeraltı suyunda fazla nitrat bulunmasının toksik etkileri mavi bebek sendromu, mide kanseri, gastrointestinal kanser ve hayvanlarda başarısız gebelik şeklinde sıralanabilir (Khandare, 2013). Kirlenme gerçekleştikten sonra yeraltı suyunun temizlenmesi ekonomik olmayan ve uzun süren bir işlemdir. Bu sebeple kirlenmenin önlenmesine yönelik çalışmalar hem insan sağlığı açısından hem de çevresel ve ekonomik açıdan önem kazanmaktadır.

Yeraltı suyunda nitrat kirlenmesine tarımsal faaliyetlerin büyük etkisinin olması, yeraltı suyu kaynak kullanımı ve alan kullanım kararları arasında sıkı bir bağ olduğunu göstermektedir (Knapp, 2005). Yeraltı suyu hassasiyet haritaları kirlenmenin önlenmesine yönelik olarak yapılan birçok çalışmaya yol gösterici niteliktedir.

1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi

Yeraltı suyu hassasiyet haritaları, endüstriyel, tarımsal, ticari ve toplum kullanım kararlarıyla ilişkili su kaynakları yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi için gerekli olan yöntemlerden biridir. Hassasiyet haritaları ve alan kullanım kararları ilişkilendirildiği

takdirde, birçok senaryo oluşturulabilir ve yeraltı suyunun kirlenmeye karşı korunması ve izlenmesi ile ilgili seçenekleri oluşturmak kolaylaşabilir.

Köyceğiz-Dalyan Lagün Havzası'nda lagüne kaynak oluşturan büyük bir akarsu bulunmamakta, bu durum yeraltı suyu akışının lagün için ana tatlı su kaynağı olduğunu göstermektedir. Bölgedeki yeraltı suyunun kalitesinin korunması, lagün ekosisteminin sürdürülebilirliği açısından önem kazanmaktadır.

Çalışma alanı içerisindeki meskun bölgelerin atıksuyu, kanalizasyon sistemi ile uzaklaştırılmakta ve katı atık bertaraf tesisleri, çalışma alanı sınırlarının dışında bulunmaktadır. Bu sebeple tarımsal faaliyetler, yeraltı suyuna sızabilme ihtimali olan kirlilik için tek kaynağı oluşturmaktadır. Aynı zamanda lagün suyunun acı ve tuzlu olması, sulama ve içme suyu olarak kullanılmasını engellemektedir. Bu durum da yeraltı suyunu içme suyu ve sulama suyu için tek kaynak durumuna sokmaktadır (Ertürk ve diğ., 2014).

Köyceğiz-Dalyan Havzası'nın sınırları içerisinde bulunan ve bir bölgesi Köyceğiz-Dalyan Özel Çevre Koruma Bölgesi sınırları içerisinde kalan çalışma alanında, lagün ekosistemi yeraltı suyuna bağımlı durumdadır ve yeraltı suyunda kirlilik oluşması durumundan lagün su kalitesinin etkilenmesi kaçınılmazdır. Çalışmanın temel motivasyonunu bu gerçek oluşturmaktadır.

Hasasiyet haritasının oluşturulmasının ardından, elde edilen çıktılar risk değerlendirmelerinin yapılmasında ve havza yönetiminde kullanılabilir (Liggett ve Talwar, 2009). Bu çalışma kapsamında DRASTIC yöntemi kullanılarak Köyceğiz-Dalyan Havzası için yeraltı suyu hassasiyet haritası hazırlanmıştır.

Hassasiyet haritalarının oluşturulması için bilim adamları ve araştırmacılar tarafından birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasından DRASTIC, Aller ve diğ., (1987) tarafından geliştirilmiş olup Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından sunulmuştur. Yöntem başlığındaki her bir harf, yöntem kapsamında değerlendirilecek olan bir parametreyi sembolize etmektedir. DRASTIC yöntemi detaylı olarak 2. Bölüm'de açıklanacaktır.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, DRASTIC yöntemini kullanarak Köyceğiz-Dalyan Lagün Havzası için yeraltı suyu hassasiyet haritasını oluşturmaktır. Çalışmanın 1. Bölümünde

yeraltı suyu hassasiyeti kavramından bahsedilmiş, çalışmanın amacı ve kapsamı açıklanmıştır. 2. Bölümde, yeraltı suyu hassasiyet haritalarının oluşturulmasında kullanılan temel indeks yöntemleri anlatılmıştır. 3. Bölümde çalışma alanı olan Köyceğiz-Dalyan Lagün Havzası'nın özelliklerinden bahsedilmiştir. DRASTIC yönteminin alana nasıl uygulandığı ve hazırlanan hassasiyet haritaları ise 4. Bölümde açıklanmaktadır. 5. Bölümde çalışmanın sonuçları sunulmakta ve 6. Bölümde değerlendirme ve öneriler yer almaktadır.

2. HASSASİYET BELİRLEME YÖNTEMLERİ

2.1 Yeraltı Suyu Hassasiyeti Kavramı

Yeraltı suyu hassasiyeti kavramını açıklamak için günümüze kadar birçok tanım yapılmıştır. Amerikan Ulusal Araştırma Konseyi (NRC) bu kavramı, “Bir kirleticinin akiferin en üst seviyesi üzerindeki herhangi bir yerden girişinin ardından yeraltı suyu sistemi içerisinde belirli bir yere ulaşabilme olasılığı” olarak tanımlamıştır (NRC, 1993. Vrba ve Zaporozec (1994) ise “Bir yeraltı suyu sisteminin insan ve/veya doğal etkilere karşı gösterdiği içsel hassasiyet” şeklinde bir tanım yapmıştır. Her iki tanımda da ana fikir, fiziksel çevrenin sahip olduğu özelliklere göre kirlenmeye karşı çeşitli derecelerde korunma özelliklerine sahip olmasıdır.

Yeraltı suyu hassasiyeti, kirlenmenin kirletici kaynak-yol-alıcı ortam modeli ile yakından ilişkilidir. Hassasiyet kavramı, modeldeki yol kısmı ile ilişkili olmakta, bu da kirleticinin kaynaktan çıkıp alıcı ortama ulaşmasının ne derece kolay veya zor olacağını göstermektedir.

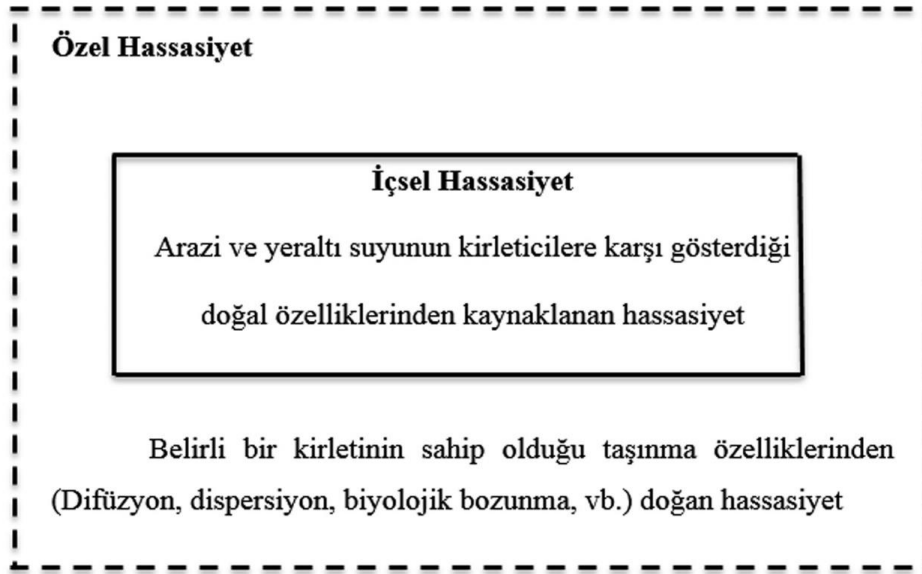
Yeraltı suyu hassasiyeti kavramı, alanda doğrudan ölçülebilen bir özellik olmaktan öte, bazı bölgelerin diğerlerine kıyasla yeraltı suyu kirlenmesine karşı hassasiyetinin daha yüksek olduğu esasına dayanan bir tahmindir. Kirleticilere karşı hassasiyetin derecesi, doğal ortam tarafından sağlanan korumanın bir fonksiyonu olarak düşünülebilir ve bölgelerin özelliklerine göre oldukça değişkendir (Gogu ve Dassargues, 2000).

Kirlenme için kirletici kaynak-yol-alıcı ortam modeli düşünüldüğü zaman, kirletici kaynak özellikleri veya bu kirleticilerin alıcıya kadar izlediği yol esas alınarak kirlenme potansiyeli değerlendirilir. Bu değerlendirme özel hassasiyet değerlendirmesi ve içsel hassasiyet değerlendirmesi olarak iki şekilde yapılabilir.

Özel hassasiyet değerlendirmeleri, kirleticinin ortamdaki taşınma özellikleri (Difüzyon, dispersiyon, biyolojik ayrışma, vb.) ve kirleticinin izlediği yolun bulunduğu ortamın doğal olarak sahip olduğu özelliklerin tamamını kapsar.

İçsel hassasiyet, arazi ve yeraltı suyunun kirleticilere karşı gösterdiği doğal özelliklerinden kaynaklanan hassasiyet olarak tanımlanacağı gibi, özel hassasiyet de

kirleticinin taşınma özelliklerinden doğan hassasiyet olarak tanımlanabilir (Vrba ve Zaporozec, 1994).



Şekil 2.1 : Özel ve İçsel Hassasiyet (Liggett ve Talwar, 2009).

Yeraltı suyunun kirlenme derecesi genellikle kirletici ve akifer arasında yer alan bölgede gerçekleşen doğal giderim prosesleri sonucu belirlenir. Toprakta, doymuş ve doymamış bölgede yer alan fiziksel ve kimyasal birçok proses kirleticinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişmesine sebep olabilir. Bu değişimler, kirleticinin giderimine yardımcı olabilir ve kirliliğin derecesini etkileyebilir. Bu proseslerden özellikle toprakta ve doymamış bölgede gerçekleşenler, yeraltı suyundaki kirletici konsantrasyonunu doymuş bölgede gerçekleşen proseslere göre daha çok etkileyebilir. İçsel hassasiyet indeksinin hesaplandığı yöntemlerde, kirleticinin özelliklerinden bağımsız olarak alanın doğasında var olan jeolojik ve hidrojeolojik özellikler değerlendirilir (Gogu ve Dassargues, 2000).

2.2 Hassasiyet Haritalarının Hazırlanması

Yeraltı suyu hassasiyet haritalarının hazırlanma amacı, yeraltı suyunun hidrojeolojik ve insan kaynaklı etkenler sebebiyle kirlenme potansiyelinin yüksek olduğu alanları belirlemektir (Remesan ve Panda, 2008). Hassasiyet haritaları, su kaynakları yönetim politikalarının hazırlanması kapsamında gözlem yapılması ve korunması gereken alanların belirlenmesinde, ileri araştırmalar yapılması konusunda karar alınmasında, risk değerlendirmesi ve kaynak sınıflandırması yapılmasında kullanılır (Liggett ve Talwar, 2009).

Hassasiyet haritalarının hazırlanmasında dört temel yöntem vardır (Wang ve Yang, 2008). Bunlar (a) süreç tabanlı yöntemler; (b) gözlem tabanlı yöntemler; (c) istatistiksel yöntemler; (d) indeks yöntemleri şeklinde sıralanabilir.

Süreç tabanlı yöntemlerde kirleticinin taşınması ile ilgili yaklaşık tahminlerde bulunmak amacıyla fiziksel tabanlı benzetim modelleri kullanılır. Bu yöntemde yeraltı suyu kirlenme sürecindeki tüm safhalar (kaynak-yol-alıcı ortam) değerlendirilir. Bu sebeple bu yöntemler yeraltı suyu kirlenmesinin önlenmesi ve ıslahı konusunda kullanılmak için uygundur.

Gözlem tabanlı yöntemlerde gözlem kuyularından elde edilen kirlilik konsantrasyonları değerlendirilerek hassasiyet haritaları oluşturulur. Ancak değerlendirme yapılırken kirlenme sürecindeki kaynak ve yol safhaları dikkate alınmaz. Bu sebeple gözlem tabanlı yöntemlerle oluşturulmuş haritalar daha ziyade mevcut kirliliği gösterir haritalardır.

İstatistiksel yöntemlerde ise mevcut veriler kullanılarak bağımlı değişken olan kirlilik ile bağımsız değişkenler arasında ilişki kurulur ve bu ilişki veri yokluğunun bulunduğu bölgelerde uygulanarak bağımlı değişken için çeşitli sonuçlara ulaşılır. Bu yöntem nesnel gözlem verisi kullanılarak uygulanması sebebiyle yeraltı suyu ıslahı için uygundur. Ek olarak, istatistiksel yöntemde yeraltı suyu hareketi değerlendirilmez.

İndeks yöntemleri ile ise yer seviyesinden doymamış bölgeye ulaşana değin kirleticinin taşındığı yolları kontrol eden etkenler birleştirilerek hassasiyet indeksleri elde edilir. Bu yöntemlerle elde edilen haritalar kirliliğin engellenmesi konusunda yol göstericidir.

Hassasiyet belirleme yöntemlerinin arasından indeks yöntemleri topografya, yağış miktarı ve jeolojik veriler gibi ulaşılması kolay verilere ihtiyaç duyulması, bu verilerin geniş alanlar için mevcut olabilmesi ve yöntemlerin anlaşılıp uygulanması konusundaki kolaylık sebebiyle avantajlıdır.

2.3 Hassasiyet Belirlemede İndeks Yöntemleri

İndeks yöntemleri, haritalanmış verilerin nicel ya da yarı-nicel olarak toplanması ve yorumlanması temeline dayanır.

İndeks yöntemlerinin temel varsayımları:

(1) Yeraltı suyu hassasiyeti ölçülemeyen, boyutsuz ve bağıl bir özelliktir.

(2) İçsel hassasiyet yöntemlerinde değerlendirilen temel özellikler beslenme, toprak özellikleri, doymuş ve doymamış bölge özellikleridir. Eğim, yeraltı suyu ve yüzey suyu ilişkisi, akifer altı tabakanın özellikleri ise ikincil olarak değerlendirilir.

(3) Özel hassasiyet haritaları, özel bir kirleticie maruz kalan yeraltı suyu sistemlerinde kullanılır. Özel hassasiyet değerlendirmelerinde kullanılan en önemli iki özellik kirleticinin doymamış bölgede yol alma süresi ve akiferde kalma süresidir.

(4) Hassasiyet haritaları bölgeye özeldir (Gogu ve Dassargues, 2000).

Yeraltı suyu hassasiyetinin belirlenmesinde DRASTIC (Aller ve diğ, 1987), GOD (Foster ve diğ, 1987), AVI (Van Stempvoort ve diğ, 1993), SINTACS (Civita, 1994), ISIS (Civita ve De Regibus, 1995) ve SEEPAGE (Navulur KCS ve Engel BA, t.y.) gibi birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler geçirgen akiferlerin hassasiyet haritalarının hazırlanmasında kullanılmıştır.

EPIK, (Doerfliger ve Zwahlen, 1998), PI (Goldscheider ve diğ, 2000) ve COP (Vias ve diğ, 2006) yöntemleri özellikle karstik akiferlerin hassasiyetini belirlemek için geliştirilmiştir (Büyükdemirci, 2012).

Genel olarak tüm yöntemlerde indeksin hesaplanmasında benzer bir süreç takip edilir. Yöntemlerin her biri, yeraltı suyu hassasiyeti için belirleyici olduğu düşünülen ve yönteme özgü olabilirken birkaç yöntemde ortak olarak da kullanılabilen parametrelere bağlıdır. Her parametre için tanımlanmış aralıklar ve bu aralıklar için belirlenmiş sınıflar bulunmaktadır. Her aralık için ise kirliliğe karşı hassasiyetine göre derecelendirilmiş bir değer vardır (Gogu ve Dassargues, 2000).

İçsel hassasiyetin belirlenmesinde kullanılan temel indeks yöntemleri ve temel parametreleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Hassasiyet Belirlemede Temek İndeks Yöntemleri ve Temel Parametreleri (Gogu ve Dassargues, 2000).

YÖNTEM VE REFERANSI	TEMEL PARAMETRELER													
	Topografik yüzey, eğim değişimi	Yüzey su ağı yoğunluğu	TOPRAK ZEMİN ÖZELLİKLERİ				Akifer ve yüzeysel su bağlantısı	Net beslenme	Doymamış bölge özellikleri	Yeraltı suyu derinliği	Hidrojeolojik özellikler	Akifer hidrolik iletkenliği	Akifer kalınlığı	Arazi kullanımı
			Kalınlık, yapı ve mineraloji	Etkin nem	Permeabilite	Fiziksel ve kimyasal özellikler								
GOD (Foster, 1987)									*	*	*			
DRASTIC (Aller ve diğ, 1987)	*		*					*	*	*	*	*		
SINTACS (Civita, 1994)	*	*	*				*	*	*	*	*	*		*
AVI (Van Stempvoort ve diğ, 1993)			*		*				*	*				
ISIS (Civita ve Regibus, 1995)	*		*			*		*	*	*	*		*	*
EPIC (Doerfliger ve Zwahlen, 1998)	*		*				*	*	*		*			*

2.3.1 GOD yöntemi

Bu sistem Foster (1987) tarafından yeraltı suyu hassasiyetinin hızlı tayini için geliştirilmiş ampirik bir yöntemdir. Bu yöntemde üç temel parametre değerlendirilir: yeraltı suyu bulunma durumu, üst katmanların litolojisi ve yeraltı suyuna olan uzaklık (sınırlanmış ve serbest akiferler için). İndeks, bu parametrelerle ilişkilendirilmiş değerler birbiriyle çarpılarak hesaplanır. Üst katmanların litolojisi parametresi, akiferin sınırlanmamış olduğu durumlarla indeks puanı hesabında çarpıma katılır (Gogu ve Dassargues, 2000).

GOD yöntemini diğer yöntemlerden ayıran temel özellik, parametrelerle ilişkilendirilen değerlerin 0 ve 1 arası değerler olması sebebiyle tüm değerlerinin çarpımının sonucu ortaya çıkan değer parametrelerle ilişkilendirilen değerlerden küçük olmasıdır. İndeksin herhangi üç parametreyle ilişkilendirilen değere eşit olması durumu, yalnızca diğer iki parametreyle ilişkilendirilen değer 1 olması durumunda ortaya çıkar (Corniello ve diğ, 1997).

GOD İndeks değeri aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanabilir (Abdelmadjid ve Omar, 2013).

$$GOD \text{ İndeksi} = CI \times Ca \times Cd$$

CI : Doymamış bölge litolojisi

Ca : Akifer tipi

Cd : Yeraltı suyuna olan uzaklık

2.3.2 SINTACS yöntemi

SINTACS yöntemi (Civita, 1994), İtalya’da geliştirilmiştir ve DRASTIC yönteminin Akdeniz koşullarına adapte edilmiş modifiye bir sürümüdür (Yıldırım ve Topkaya, 2007). SINTACS yönteminin diğer yöntemlere göre daha karmaşık bir yapısı vardır. Mevcut koşulları tanımlamak için bir ağırlıklandırma dizgisi kullanılır. Bu değerler sınıflandırılır ve aralıklandırılır. Sonuç olarak elde edilen indeks, altı hassasiyet sınıfından birini gösterir.

SINTACS yönteminde kullanılan parametreler, temelde DRASTIC yönteminde kullanılan parametrelerle aynı olmakla birlikte sınırlandırma ve ağırlıklandırma yöntemi DRASTIC yöntemine göre daha esnektir. Yöntem, ağırlıklandırma için dört

farklı sınıf sunmasının yanı sıra yenilerinin üretilmesine de olanak tanır (Gogu ve Dassargues, 2000).

SINTACS hassasiyet indeksi, aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanabilir.

$$I_v = \sum P_{(1,7)} \times W_{(1,n)}$$

I_v : SINTACS hassasiyet indeksi

$P_{(1,7)}$: Yedi parametreden her birinin sınıf değeri

$W_{(1,n)}$: Ağırlık değeri

n : Ağırlık sınıf sayısı

2.3.3 AVI yöntemi

Bu yöntemde (Van Stempvoort ve diğ, 1993) hassasiyet indeksi hesaplamasında diğer yöntemlerden farklı olarak yalnızca iki parametre kullanılır. Bu parametreler akiferin üst kısmındaki her çökelin kalınlığı (d) ve her çökel katmanının hidrolik iletkenliğidir (k). Yukarıdaki parametreler kullanılarak hidrolik direnç (c) hesaplanır.

Hesaplanan hidrolik direncin (c) veya bu değer logaritmasının, akifer hassasiyet indeksi ile ilişkilendirildiği bir çizelge mevcuttur. Yöntem geliştiricileri her gözlem kuyusu için hidrolik direnç değerinin hesaplanmasını ve bu değerler yardımıyla çalışma alanının sınıflandırılması için izo-direnç eğrilerinin oluşturulmasını tavsiye etmektedirler (Gogu ve Dassargues, 2000).

AVI hassasiyet indeksinin hesaplanabilmesi için, aşağıdaki bağıntı uygulanabilir.

$$c = \sum d_i/k_i$$

c : AVI sınıflandırma sistemi tarafından verilen hidrolik direnç değeri

n : Katman sayısı

k : n sayıdaki katmanlardan her birinin hidrolik iletkenliği

Bağıntı uygulandıktan sonra hesaplanan hidrolik direnç değeri, bu değer ile AVI hassasiyet indeks değeri arasında ilişki kuran çizelge yardımıyla indeks değerine dönüştürülür. Hidrolik direnç (c) ile AVI Hassasiyet Haritası arasındaki ilişki, Çizelge 2.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.2 : Hidrolik Direnç (c) ile AVI Hassasiyet İndeksi Arasındaki İlişki (Anornu ve Kabo-bah, 2013).

Hidrolik Direnç (c)	Log(c)	Hassasiyet İndeksi
0-10 yr	<1	Aşırı Yüksek
10-100 yr	2	Yüksek
100-1000 yr	3	Orta
1000-10000 yr	4	Düşük
10000 yr<	5<	Aşırı Düşük

2.3.4 EPIK yöntemi

EPIK yöntemi (Doerfliger ve Zwahlen, 1998) özellikle karstik akiferlerin hassasiyetinin belirlenmesinde kullanılması için İsviçre’de geliştirilmiştir. Bu yöntemde dört parametre değerlendirilir: epikarst (E), koruyucu kabuk (P), sızma koşulları (I) ve karstik yapının gelişimi (K). Kirlenmeye karşı etkisine göre parametreler sınıflara ayrılmıştır. Bu parametreler önemlerine göre ağırlıklandırılır ve hassasiyet indeksi hesaplanır. EPIK yönteminde yüksek indeks değeri, düşük hassasiyeti gösterir (Gogu ve Dassargues, 2000).

Koruma faktörü (EPIK İndeksi) aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanır (Gogu ve Dassargues, 2000).

$$F_p = (\alpha \times E_i) + (\beta \times P_j) + (\gamma \times I_k) + (\delta \times K_l)$$

F_p : EPIK İndeksi

E_i : Epikarst parametresi değeri

P_j : Koruyucu kabuk parametresi değeri

I_k : Sızma koşulları parametresi değeri

K_l : Karstik yapının gelişimi

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$: EPIK parametreleri ağırlık değerleri

Sırasıyla α, β, γ ve δ değerleri 3, 1, 3 ve 2’dir.

EPIK parametreleri sınıf değerleri, izelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3 : EPIK Parametreleri ve Sınıf Değerleri (Gogu ve Dassargues, 2000).

E ₁	E ₂	E ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	K ₁	K ₂	K ₃
1	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3

Hesaplanan EPIK indeksi, 9 ve 34 değerleri arasında değişir ve dört farklı hassasiyet sınıfını gösterir; yüksek (9-19), orta (20-25), düşük (26-34) ve çok düşük (Koruyucu tabakanın en az 8 metre kalınlığa ve çok düşük hidrolik iletkenliğe sahip olduğu durumlarda).

2.3.5 PI ve COP yöntemleri

Avusturya, Slovenya ve Hırvatısyen gibi çeşitli Avrupa lkelerinde karstik alanlar tüm alanın büyük bir kısmını (yaklaşık %40) kaplamakta ve su ihtiyaının %50'si bu karstik akiferlerden karşılanmaktadır. Mevcut yöntemlerin bu alanlara uygulanmasındaki zorlukların aşılabilmesi ve Su erevesi Direktifi (WFD) kapsamında yeraltı suyunu koruma önlemlerinin alınabilmesi için Avrupa Birliği'nde "Karstik akiferlerin korunması için hassasiyet ve risk haritalanması" (COST aksiyonu 620) alışma grubu kurulmuştur. Bu bağlamda PI (Goldscheider ve diğ, 2000) ve COP (Vias ve diğ, 2006) yöntemleri geliştirilmiştir (Yıldırım ve Topkaya, 2007).

PI ve COP yöntemlerinde değerlendirilen parametreler ve önem dereceleri izelge 2.4'te gösterilmiştir. Bu izelgedeki simgenin büyüklüğü parametrenin yöntem için öneminin büyüklüğüne işaret etmektedir.

PI yöntemi adındaki harfler, yöntem kapsamında değerlendirilen iki parametrenin baş harflerinden oluşmaktadır. Bu parametreler koruyucu tabaka (*Protective cover*) ve sızma koşullarıdır (*Infiltration conditions*). Koruyucu tabaka parametresi su tablası seviyesi ve yer seviyesi arasında kalan bölgeyi kapsar. Bu bölge toprak bölgesi, toprak altı bölgesi, karstik olmayan anakaya ve karstik olan doymamış bölgeyi ifade eder. Bu bölgelerin kalınlıklarından ve hidrolik iletkenliklerinden doğan özellikleri koruyucu tabakanın hassasiyete etkisini belirler. Sızma koşulları parametresi ise koruyucu tabakanın yanal yüzey akışı ve yeraltı suyu akışı sonucunda hangi derecede pas geçildiğini ifade eder. rnek olarak eğimin az olduğu, geçirgen ve drenaj kapasitesi yüksek alanlarda yzeyssel akış oluşmaz ve bu değer 1 olur. Bunun aksine dden

(suyutan) gibi oluşumların bulunduğu durumlarda yüzeysel su doğrudan karstik akifere ulaşır ve koruyucu tabakayı es geçmiştir olur. Bu durumda sızma koşulları değeri 0 olur (Nick, 2011).

Çizelge 2.4 : PI ve Cop Yöntem Parametreleri ve Önem Dereceleri (Yıldırım ve Topkaya, 2007).

Parametre		PI Yöntemi	COP Yöntemi
Toprak Özellikleri	Etkin Nem	•	-
	Kalınlık	•	•
	Permeabilite	•	●
	Tekstür	●	●
Doymamış Bölge Özellikleri	Kalınlık	●	•
	Permeabilite	•	●
	Litoloji	•	-
Akifer Özellikleri	İletkenlik	-	-
	Akifer Ortamı	-	●
	Sınırlanma Şartları	•	•
Eğim		•	•
Bitki Örtüsü		•	•
Beslenme		•	•
Yeraltı Suyu Derinliği		•	•
Karstik Özellikler		•	●

P ve I parametreleri için konumsal veritabanı kullanılarak haritalar oluşturulduktan sonra koruma faktörü (*II*) P ve I faktörleri için bulunan değerler çarpılarak hesaplanır.

$$II = P \times I$$

II : PI indeksi (Koruma Faktörü)

P : Koruyucu tabaka değeri

I : Sızma koşulları değeri

Hesaplanan PI indeksi, beş farklı hassasiyet sınıfından birini gösterir; aşırı hassasiyet (0-1), yüksek hassasiyet (1-2), orta hassasiyet (2-3), düşük hassasiyet (3-4) ve çok düşük hassasiyet (4-5) (Goldscheider, 2005).

COP ismi, diğer yöntemler gibi yöntem kapsamında değerlendirilen üç parametrenin baş harflerinin bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Bu parametreler konsantrasyon (*Flow concentration – C*), üst katmanlar (*Overlying layers – O*) ve yağışdır (*Precipitation – P*). Üst katmanlar parametresi (*O*), doymuş bölgeyle yer seviyesi arasında kalan ve akifere fiziksel özelliklerinden doğan korunma özelliklerini sağlayan katmanları kapsar. Bu parametre kapsamında önemli iki katman değerlendirilir; toprak ve doymamış bölgenin litolojik katmanları. Akış konsantrasyonu parametresi (*C*), üst katmanlar parametresi için tamamlayıcı nitelikte olup kirleticinin üst katmanları es geçerek akifere ulaşabilme potansiyelini ifade eder. Bu parametre akiferde veya akifer çevresinde yağışın bir obruğa toplanıp doymamış bölgeyi es geçme derecesi olarak tanımlanabilir. Yağış parametresi (*P*) ise yağış miktarı ile birlikte kirleticinin akifere ulaşmasını etkileyebilecek olan sıklık, zamansal dağılım, devam süresi ve aşırı yağışların sıklığı gibi faktörleri değerlendirir. Tüm parametre değerlerinin bulunmasından sonra COP indeksinin hesaplanması için aşağıdaki bağıntı kullanılır (Vias ve diğ, 2006).

$$COP \text{ İndeksi} = C \times O \times P$$

II : PI indeksi (Koruma Faktörü)

P : Koruyucu tabaka değeri

I : Sızma koşulları değeri

COP indeks değerleri, PI indeks değerlerine benzer şekilde beş farklı hassasiyet sınıfına bۆlünmüřtür; çok yüksek (0-0,5), yüksek (0,5-1), orta (1-2), düşük (2-4) ve çok düşük (4-15).

2.3.6 SEEPAGE yۆntemi

SEEPAGE yۆntemi (Navulur ve Engel, t.y.), tarımsal faaliyetlerin hâkim olduğu alanların yeraltı suyu sistemlerindeki hassasiyeti belirlemek amacıyla geliştirilmiştir. Bunun yanında toplu ve yayılı kaynaklardan gelen kirlenmenin potansiyelini hesaplamada da kullanılan sayısal bir sıralama sistemidir. SEEPAGE yۆnteminde değerlendirilen parametreler: toprak eğimi (*Soil slope*), yeraltı suyu derinliği (*Depth to water table*), doymamış bۆlge ۆzellikleri (*Vadose zone material*), akifer ۆzellikleri (*Aquifer material*), toprak derinliği (*Soil depth*) ve giderim potansiyelidir (*Attenuation potential*). Giderim potansiyelinde yüzeysel ve yüzey altı toprağın tekstürü, yüzey katmanı pH'ı ve organik madde muhteviyatı, toprak drenaj sınıfı ve toprak permeabilitesi gۆz ۆnne alınır.

Tüm parametrelerin kirlenmeye etkisine gۆre 1 ve 50 arası bir ağırlıklandırma değeri vardır. Ağırlık değerleri, kirleticinin noktasal ve yayılı kaynaklar için farklılık gۆsterir. Yüksek değer parametrenin kirlenmeye karşı etkisinin büyük olduğunu gۆstermektedir. Ağırlıklandırma yapıldıktan sonra tüm değerler toplanarak SEEPAGE indeksi hesaplanır. Kirlenebilme potansiyeli bu yۆntemde dۆrt sınıfa ayrılmıştır; düşük (1-89), orta (90-144), yüksek (145-209) ve çok yüksek (210<) (Navulur, 1996; Gogu ve Dassargues, 2000).

2.3.7 ISIS yۆntemi

ISIS yۆntemi (Civita ve De Regibus, 1995) mevcut hidrojeolojik durumun karşılaştırılmalı olarak değerlendirildiği bir yۆntemdir. Yapı olarak GOD, ağırlıklandırma ve sınıflandırma sistemi olarak DRASTIC ve SINTACS yۆntemleri temel alınarak oluşturulmuştur.

ISIS yۆnteminde kullanılan parametreler: Net beslenmenin yıllık ortalaması (*Annual mean of the net recharge*), topografya (*Topography*), toprak tipi (*Soil type*), toprak kalınlığı (*Soil thickness*), doymamış bۆlge litolojisi (*Lithology of the unsaturated zone*), doymamış bۆlge kalınlığı (*Thickness of the unsaturated zone*), akifer ortamı (*Aquifer medium*) ve akifer kalınlığıdır (*Aquifer thickness*).

ISIS yöntemine arazi kullanım parametresi SINTACS yönteminden hareketle adapte edilmiştir. Bu parametre diğer parametrelerin önemini belirlemede kullanılan bir ağırlıklandırma unsurudur. Hesaplanan ISIS indeksi altı farklı sınıfa ayrılmıştır (Gogu ve Dassargues, 2000).

ISIS indeksi hesaplanması için aşağıdaki bağıntı kullanılır (Gogu ve Dassargues, 2000).

$$I_v = p_{Inf} \times f_{Inf} + p_{Su} \times f_{Sus} \times f_{Su} + p_{Ins} \times f_{Si} \times f_{Ins} + p_{Sat} \times f_{Ss} \times f_{Sat}$$

I_v : ISIS İndeksi

p_{Inf} : Net beslenme sınıfı değeri

f_{Inf} : Alan kullanımına bağlı sızma katsayısı

p_{Su} : Toprak tipi sınıf değeri

f_{Sus} : Alan kullanımına bağlı toprak tipi katsayısı

f_{Su} : Toprak kalınlığına bağlı ağırlıklandırma katsayısı

p_{Ins} : Doymamış bölge sınıf değeri

f_{Si} : Doymamış bölge litoloji ve kalınlığına bağlı ağırlıklandırma katsayısı

f_{Ins} : Alan kullanımına bağlı doymamış bölge katsayısı

p_{Sat} : Akifer ortamı sınıf değeri

f_{Sat} : Alan kullanımına bağlı akifer kalınlığı katsayısı

Hesaplanan ISIS indeksi, altı farklı hassasiyet sınıfına ait olabilir; aşırı (141-180), çok yüksek (124-140), yüksek (88-123), orta (64-87), düşük (44-63) ve çok düşük (24-43) (Gogu ve Dassargues, 2000).

2.3.8 DRASTIC yöntemi

DRASTIC (Aller ve diğ, 1987) yöntemi, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından yeraltı suyu kirlenme potansiyelinin belirlenmesinde kullanılması amacıyla geliştirilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nin yanı sıra, Kuzey Amerika ülkelerinde de yöntem tercih edilmektedir (Büyükdemirci, 2012).

DRASTIC yöntemi iki temel bölüme ayrılır: (1) Hidrojeolojik yerleşim terimleri olarak adlandırılan haritalanabilir birimlerin belirlenmesi; ve (2) DRASTIC oran

olarak adlandırılan hidrojeolojik parametrelerin bağıl derecelenmesi ile ilgili şemanın uygulanması (Aller ve diğ, 1987). Yöntem parametreleri, Çizelge 2.5'te açıklanmıştır. Verilerin yeterli olduğu durumlarda hassasiyet belirleme konusunda DRASTIC yöntemi oldukça kullanışlıdır.

Yöntemin haritalanabilir ilk kısmını oluşturan hidrojeolojik yerleşim terimleri, suyun hareketini etkileyen ve sürdüren jeolojik ve hidrolojik tüm etkenlerin birleşimidir. İkinci bölümde ise parametrelerin bağıl derecelenmesi ile indeks hesaplaması yapılır. Böylece elde edilen sonuç yeraltı suyu kirlenebilirliği ile ilgili fikir verir.

DRASTIC yönteminin varsayımları:

- (1) Kirletici toprak üzerinde tanımlanmıştır.
- (2) Kirletici yeraltı suyuna yağmur suyu aracılığıyla ulaşır.
- (3) Kirletici suyun hareketi ile ilerler.
- (4) DRASTIC ile değerlendirilen alan 0,4 km² veya daha büyüktür (Aller ve diğ, 1987).

DRASTIC parametreleri kullanılarak hidrojeolojik yerleşimlerin yeraltı suyu kirlenme potansiyelini hesaplamak için sayısal bir sıralama sistemi kullanılır. Bu sistem iki ana bölümden oluşur: Sınıflandırma (*Rating*) ve Ağırlıklandırma (*Weights*). Sayısal sıralama sistemi, Bölüm 2.3.8.2'de anlatılacaktır.

Çizelge 2.5 : DRASTIC Yöntem Parametrelerinin Tanım ve Ağırlıkları (Aller ve diğ, 1987).

Sembol	Parametre	Tanım	Ağırlık
D	Yeraltı suyuna olan uzaklık (<i>Depth to water</i>)	Yer seviyesinden su tablasına kadar olan uzaklığı temsil eder. Uzaklığın fazla olması yeraltı suyu kirlenebilme olasılığını düşürür.	5
R	Beslenme (<i>Net recharge</i>)	Yeraltına sızan ve su tablasına ulaşan su miktarını ifade eder. Beslenme, kirleticinin taşınmasını sağlayan suyu temsil eder.	4
A	Akifer ortamı (<i>Aquifer media</i>)	Doymuş bölge özelliklerini temsil eder, kirletici giderim proseslerini kontrol eder.	3

Çizelge 2.5 (devam): DRASTIC Yöntem Parametrelerinin Tanım ve Ağırlıkları
(Aller ve diğ, 1987).

S	Toprak bünyesi (<i>Soil media</i>)	Doymamış bölgenin ayrılmış üst kısmını temsil eder. Bu bölge özellikleri, sızmaya geçen su miktarını etkiler.	2
T	Topografya (<i>Topography</i>)	Alan yüzeyinin eğimini ve eğim değişkenliğini temsil eder. Topografya, akışa geçen suyun alanda beklemesine, dolayısıyla kirleticinin yeraltı suyuna sızmasına etki eder.	1
I	Doymamış bölge etkisi (<i>Impact of vadose zone</i>)	Kirleticinin doymuş bölgeye ulaşana değin geçişini kontrol eder ve giderimini etkiler.	5
C	Hidrolik iletkenlik (<i>Hydraulic conductivity</i>)	Akiferin suyu iletebilme özelliğini temsil eder. Bu da suyun yeraltı suyu sistemindeki hareket hızını gösterir	3

2.3.8.1 Analitik hiyerarşi süreci (AHS)

Analitik hiyerarşi süreci yöntemi, Saaty tarafından 1980 yılında geliştirilmiş çok kriterli karar analizidir. Yöntem kullanılan her bir kriterin tanımlanması ve ikili karşılaştırmalar yapılması ile ağırlık katsayılarının belirlenmesi temeline dayanır. AHS yöntemi karar analizlerinde hızlı ve güvenilir bir şekilde sonuca ulaşmaya yardımcı bir yöntemdir. Bu yöntem iki adımdan oluşur: ilk adım verilerin ikili olarak birbiriyle sözel kıyaslanması, ikinci adım ise her bir özelliğin önem derecesini gösteren öncelik vektörlerinin bulunmasıdır (Şener ve diğ, 2009).

İlk adımda ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturularak her bir kriterin birbirine kıyasla göreceli önem derecesi bulunur. Böylece hiyerarşideki elemanların bir üst kademedeki elemana göre bağıl öneminin belirlenmesi sağlanır. Hiyerarşide n sayıda kriter varsa $n(n-1)/2$ sayıda karşılaştırma yapılmalıdır. Bu adımda kullanılan ikili karşılaştırmalar ölçeği, Çizelge 2.6'da gösterilmiştir (Şener ve diğ, 2009). Bu karşılaştırmaların yapılması sonucunda, A_w matrisi elde edilmiş olur.

AHS yönteminde ikinci adım, her bir özelliğin önem derecesini gösteren öncelik vektörlerinin bulunması aşamasıdır. İkili karşılaştırmalar matrisindeki her bir sütunun değeri, o sütunun toplam değerine bölünür. Bu noktada N matrisi elde edilmiş olur. N matrisindeki değerlerin satır toplamı alınır ve bu toplam satırdaki eleman sayısına bölünür. Böylece her bir kriter için öncelik vektörü (W) hesaplanmış olur (Barış, 2008).

Çizelge 2.6 : AHS Yönteminde Kullanılan İkili Karşılaştırmalar Ölçeği (Şener ve diğ, 2009).

Sözel Tercih Hükümü	Açıklama	Sayısal Değer
Eşit Tercih Edilme	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunur	1
Kısmen Tercih Edilme	Tercrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine göre kısmen tercih ettiriyor	3
Oldukça Tercih Edilme	Tercrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine göre oldukça tercih ettiriyor	5
Kuvvetle Tercih Edilme	Bir faaliyet diğerine göre kuvvetle tercih ediliyor ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görünüyor	7
Kesinlikle Tercih Edilme	Bir faaliyetin diğerine göre tercih edilmesine ilişkin kanıtlar çok büyük bir güvenilirliğe sahip	9
Orta Değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasına düşen değerler	2, 4, 6, 8

İkili karşılaştırmalar sürecinde formüle edilen yargıların tutarlılığı, nihai kararın kalitesini belirler. AHS yöntemi mükemmel bir tutarlılık öngörmemekte, tutarsızlığa izin vermektedir. Ancak her yargılamada tutarsızlığın ölçümünü sağlamaktadır. İkili karşılaştırmadaki yargıların tutarlılığını ölçmek için Saaty, bir tutarlılık oranı önermektedir. Tutarsızlık için önerilen üst limit değerinin (0,10) altında kalan yargıların yeterli bir tutarlılık gösterdiğine karar verilir. Bu değeri geçen yargıların ise tutarsız olduğu kabul edilip yargı kalitesinin iyileştirilmesi gerektiği sonucuna varılır. Bu işlemde de başarısız olunursa problemin yeniden kurulması yoluna gidilir (Baris, 2008). Tutarlık değerinin hesaplanması için, aşağıdaki bağıntı kullanılabilir (Şener ve diğ, 2009).

$$TO = TI/RI$$

TO: Tutarlılık oranı

TI: Tutarlılık indeksi

RI: Rastgelelik indeksi

Tutarlılık indeksi ve rastgelelik indeksinin hesaplanması için ise, aşağıdaki bağıntı kullanılabilir (Tirkey ve diğ, 2013).

$$TI = (\lambda_{maks}-n)/(n-1)$$

TI: Tutarlılık indeksi

λ_{maks} : Karar matrisinin en büyük değeri

n: Matrisin derecesi (Kriter sayısı)

$$RI = [1,98(n-2)]/n$$

RI: Rastgelelik indeksi

n: Matrisin derecesi (Kriter sayısı)

AHS yönteminin DRASTIC yöntemine entegre edilmesiyle DRASTIC yönteminde değerlendirilen yedi parametre için öncelikle ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur ve her bir parametrenin ağırlıklı önceliği hesaplanır. Daha sonra her bir parametreye ait sınıflar kendi içerisinde tekrar değerlendirilerek sınıfların göreceli öncelik değeri hesaplanır. Hesaplanan ağırlıklı öncelik değeri yeni ağırlık değeri, göreceli öncelik değeri ise yeni sınıf değeri olarak alınır. Ardından Bölüm 3.3.8.2’de detaylı olarak

anlatılan DRASTIC indeks hesaplama bağıntısı kullanılarak AHS-DRASTIC indeksi hesaplanır.

2.3.8.2 DRASTIC indeksi

DRASTIC yönteminin ismi, yöntem uygulamasında değerlendirilen yedi parametrenin baş harflerin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Her parametrenin 1 ve 5 arasında değişen ağırlık değeri vardır. Büyük değer parametrenin kirliliğe etkisinin fazla olduğunu, küçük değer bu etkinin diğer parametrelere kıyasla daha az olduğunu ifade eder. Parametrelerin ağırlık değerleri Çizelge 2.5'te gösterilmiştir.

DRASTIC yönteminin ikinci bölümü olan ve DRASTIC oran olarak adlandırılan hidrojeolojik parametrelerin bağıl derecelenmesi ile ilgili şemanın uygulanması aşaması, sınıflandırma ve ağırlıklandırma şeklinde iki temel bölümden oluşur. Her parametre için ağırlık değeri sabittir ve değiştirilemez. Sınıflandırmada ise her bir parametre, kirliliğe etki etme derecesine göre sınıflara ayrılmıştır. Her sınıf, bu etki derecesine göre 1 ile 10 arasında değişen bir değere sahiptir. Ağırlıklandırmada olduğu gibi sınıflandırmada da küçük değer kirliliğe olan etkinin yüksek değerli sınıfa göre az olduğunu göstermektedir. DRASTIC indeksinin hesaplanmasında kullanılan semboller, aşağıda gösterilmiştir.

D_r : Yeraltı suyu derinliği sınıfı

D_w : Yeraltı suyu derinliği ağırlığı

R_r : Beslenme sınıfı

R_w : Beslenme ağırlığı

A_r : Yeraltı suyu derinliği sınıfı

A_w : Yeraltı suyu derinliği ağırlığı

S_r : Toprak bünyesi sınıfı

S_w : Toprak bünyesi ağırlığı

T_r : Eğim sınıfı

T_w : Eğim ağırlığı

I_r : Doymamış bölge etkisi sınıfı

I_w : Doymamış bölge etkisi ağırlığı

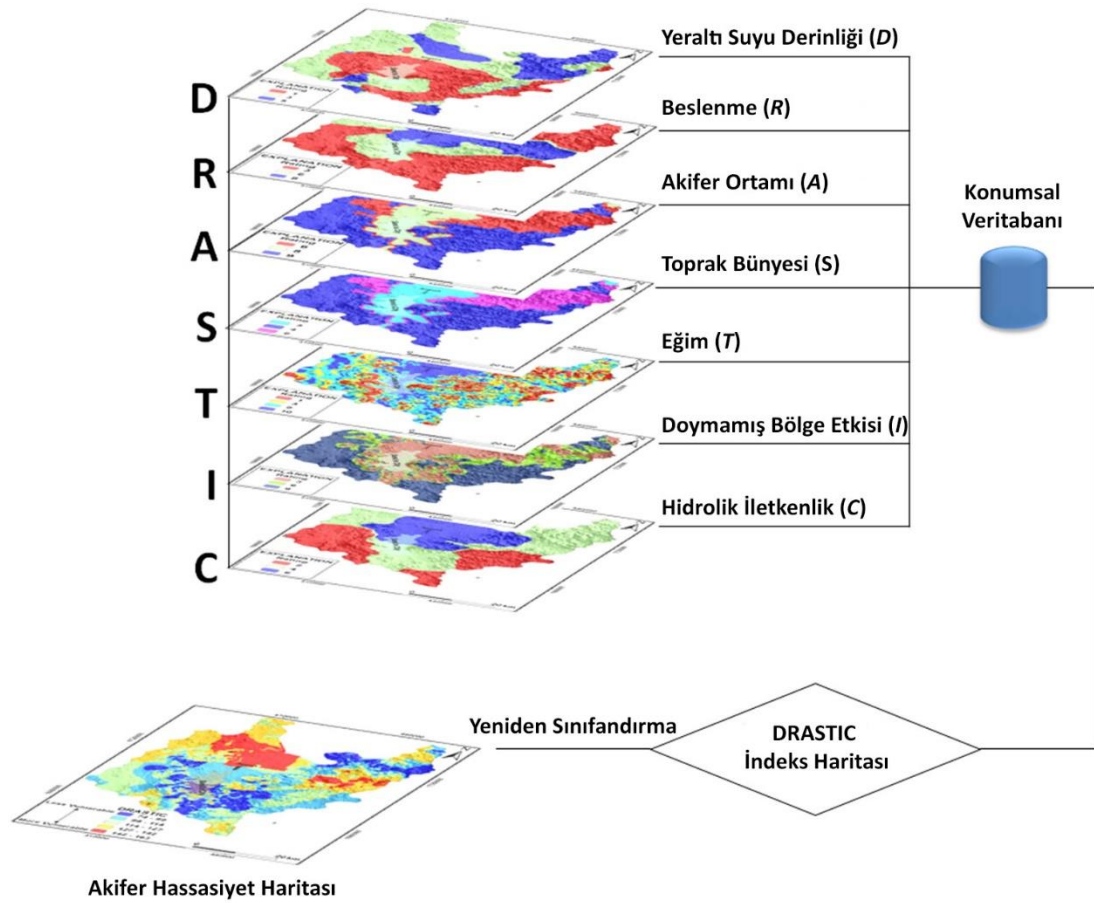
C_r : Hidrolik iletkenlik sınıfı

C_w : Hidrolik iletkenlik ağırlığı

Tüm parametrelerin ağırlıklandırılması ve sınıflandırılmasının ardından aşağıdaki bağıntı uygulanarak DRASTIC indeksi hesaplanır.

$$DRASTIC \text{ İndeksi } (DI) = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w$$

D, R, A, S, T, I ve C suyun hareketini etkileyen ve sürdüren jeolojik ve hidrolojik tüm parametreleri gösteren semboller olurken R ve W alt simgeleri, sırasıyla sınıflandırma ve ağırlıklandırmayı göstermektedir. Ağırlıklandırma ve sınıflandırma yapıldıktan sonra her bir parametreye ait ağırlık ve sınıf değeri birbiriyle çarpılıp tüm çarpımlar birbiriyle toplanarak indeks değeri hesaplanır (Aller ve diğ, 1987).



Şekil 2.2 : DRASTIC Yöntemi ile Hassasiyet Haritalarının Hazırlanması Akış Şeması

DRASTIC parametrelerinin özgün değerleri ise Çizelge 2.7’de verilmiştir.

Çizelge 2.7 : DRASTIC Parametrelerinin Özgün Değerleri (Aller ve diğ, 1987).

Parametre	Sınıf	Sınıf Değer Aralığı	Tipik Sınıf Değeri	Ağırlık
Yeraltı Suyu Derinliği (m) (Depth to Water)	0-1,5	10		5
	1,5-4,5	9		
	4,5-9	7		
	9-15	5		
	15-22,5	3		
	22,5-30	2		
	30<	1		
Beslenme (mm/yıl) (Net Recharge)	254<	9		4
	178-254	8		
	102-178	6		
	51-102	3		
	0-51	1		
Akifer Ortamı (Aquifer Media)	Karstik Kireçtaşı	9-10	10	3
	Bazalt	2-10	9	
	Kum ve Çakıl	4-9	8	
	Masif Kireçtaşı	4-9	6	
	Masif Kumtaşı	4-9	6	
	Katmanlı Kumtaşı, Kireçtaşı, Şist Sıraları	5-9	6	
	Buzul Birikintisi	4-6	5	
	Ayrışmış Mağmatik ve Metamorfik	3-5	4	
	Mağmatik ve Metamorfik	2-5	3	
	Masif Şist	1-3	2	

Çizelge 2.7 (devam) : DRASTIC Parametrelerinin Özgün Değerleri (Aller ve diğ, 1987).

Parametre	Sınıf	Sınıf Değer Aralığı	Tipik Sınıf Değeri	Ağırlık
Toprak Bünyesi (<i>Soil Media</i>)	İnce veya Bulunmuyor	10		2
	Çakıl	10		
	Kum	9		
	Torf	8		
	Küçülmüş ve/veya Kümelenmiş Kil	7		
	Kumlu Tın	6		
	Tın	5		
	Siltli Tın	4		
	Killi Tın	3		
	Bataklık	2		
	Küçülmemiş ve Kümelenmemiş Kil	1		
Topografya (%) (<i>Topography</i>)	0-2	10		1
	2-6	9		
	6-12	5		
	12-18	3		
	18<	1		

Çizelge 2.7 (devam) : DRASTIC Parametrelerinin Özgün Değerleri (Aller ve diğ, 1987).

Parametre	Sınıf	Sınıf Değer Aralığı	Tipik Sınıf Değeri	Ağırlık
Doymamış Bölge Etkisi (<i>Impact of Vadose Zone</i>)	Karstik Kireçtaşı	8-10	10	5
	Bazalt	2-10	9	
	Kum veya Çakıl	6-9	8	
	Mağmatik veya Metamorfik	2-8	4	
	Belirgin Miktarda Silt ve Kil İçeren Kum ve Çakıl	4-8	6	
	Katmanlı Kumtaşı, Kireçtaşı ve Şist	4-8	6	
	Kumtaşı	4-8	6	
	Kireçtaşı	2-7	6	
	Şist	2-5	3	
	Silt veya Kil	2-6	3	
	Geçirimsiz Tabaka	1	1	
Hidrolik İletkenlik (m/gün) (<i>Hydraulic Conductivity</i>)	82<	10		3
	41-82	8		
	29-41	6		
	12-29	4		
	4-12	2		
	0-4	1		

2.3.8.3 DRASTIC yönteminin avantajları

DRASTIC yönteminin geliştirilmesindeki temel amaç, Amerika Birleşik Devletleri'nin herhangi bir yerindeki bir hidrojeolojik yerleşim teriminin mevcut veriler yardımıyla kirlenme potansiyelinin sistematik bir şekilde değerlendirilmesidir. Bu bağlamda Aller ve diğ, (1987) yöntemin farklı geçmiş ve uzmanlık seviyelerine

sahip kişiler tarafından anlaşılabilir ve kolay uygulanabilir olmasını hedeflemiş, yöntem kapsamında çok çeşitli kaynaklarda mevcut olan verilerin kullanılabileceği şekilde yöntemi tasarlamışlardır.

Yöntem Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile birlikte kullanıldığı takdirde sonuç olarak ortaya çıkan haritalar, yeraltı suyu hassasiyeti göz önünde bulundurularak alan kullanım kararlarının alınmasında yol gösterir nitelikte haritalardır. Bunun yanında, yöntemi tarifleyen el kitabı okunarak ve bu kitapta yer alan örnek çalışmalar incelenerek yöntem kolayca anlaşılabilir ve uygulanabilir. Veri eksikliği olan durumlar için yöntem, kullanıcı kişinin tecrübelerini ve tahminlerini yöntemle adapte etmesine olanak sunmaktadır. Kullanım kolaylıkları yöntemin yaygın bir şekilde kullanılmasına yol açacak ve böylece kullanıldığı her yerde çevreye duyulan hassasiyetin artmasına yardımcı olacaktır.

DRASTIC yöntemi, alan kullanımı ile ilgili olarak yeraltı suyunun kirlenmeye karşı hassasiyetinin yüksek olduğu bölgelerin tahmin edilmesini sağlayan bir araçtır. Yöntem uygulaması sonucunda hesaplanan DRASTIC indeksinin yüksek olması yüksek kirlenebilme potansiyeline işaret eder. Yöntem sonucu ortaya çıkan haritalar, alan kullanım kararlarının alınması, önleyici veya koruyucu stratejilerin geliştirilmesi, gözlem ve alan incelemelerinin yapılmasında yol göstericidir. Örnek olarak gözlem gerektiren bölgeler, bu haritalar yardımıyla seçilebilir. Ekipmanlar seçilen bölgelere yerleştirilebilir. Özetle DRASTIC yöntemi, yeraltı suyu kalitesinin kontrolü için yapılması gerekenler bağlanmında zaman ve para kaybını önler. Bu özelliklerinden dolayı bu çalışma kapsamında Köyceğiz-Dalyan Havzası'nda DRASTIC yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir.

3. KÖYCEĞİZ DALYAN LAGÜN HAVZASI

3.1 Coğrafi Konum

Köyceğiz Dalyan Lagün Havzası Türkiye'nin güneybatısında 36° 45' ile 37° 15' kuzey enlemleri ve 28° 22' 30'' 28° 52' 30'' doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Batı Akdeniz Havzası içinde yer alan Köyceğiz Dalyan Havzası'nın Türkiye'nin coğrafik bölgelerine göre bir kısmı Ege, bir kısmı Akdeniz Bölgesi içerisinde kalmaktadır. Çalışma alanının sınırları Köyceğiz-Dalyan Özel Çevre Koruma Bölgesi'nin sınırları ile kesişmektedir. Havzanın Türkiye'nin Havzaları içindeki konumu Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Köyceğiz-Dalyan Havzasının Türkiye'deki Konumu (DSİ, 2013).

Şekil 3.2'de ise çalışma alanının Google Earth uydu görüntüsü gösterilmektedir. Türkiye'de 1988 yılında Özel Çevre Koruma Bölgesi olarak ilan edilen Köyceğiz-Dalyan Özel Çevre Koruma Bölgesi, sahip olduğu geniş tür çeşitliliği ile özgün ve önemli bir bölgedir (Ertürk ve diğ, 2014). Koruma bölgesindeki İztuzu kumsalı Akdeniz'de nesli tükenmekte olan *Caretta caretta*'ların yuva yaptığı bir yerdir ve uluslararası derecede öneme sahiptir (Maktav ve diğ, 2000).



Şekil 3.2 : Köyceğiz-Dalyan Havzasının Google Earth Görüntüsü

Havza içerisinde çok sayıda akasu, göl ve bunları bir ağ gibi birbirine bağlayan kanallar bulunmaktadır. Havza, iki alt ana havzadan oluşmakta olup, bunlar Köyceğiz Gölü Alt Ana Havzası ve Dalyan Alt Ana Havzasıdır. Bu alt ana havzalar içerdikleri akarsuların drenaj alanlarına göre çok sayıda alt havzaya ayrılmaktadırlar. Köyceğiz-Dalyan Lagün Havzası sınırları ve alt havzaları, Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 : Köyceğiz-Dalyan Havzası Sınırları ve Alt Havzalar (Gönenç ve diğ., 2004).

3.2 İklim ve Meteorolojik Özellikler

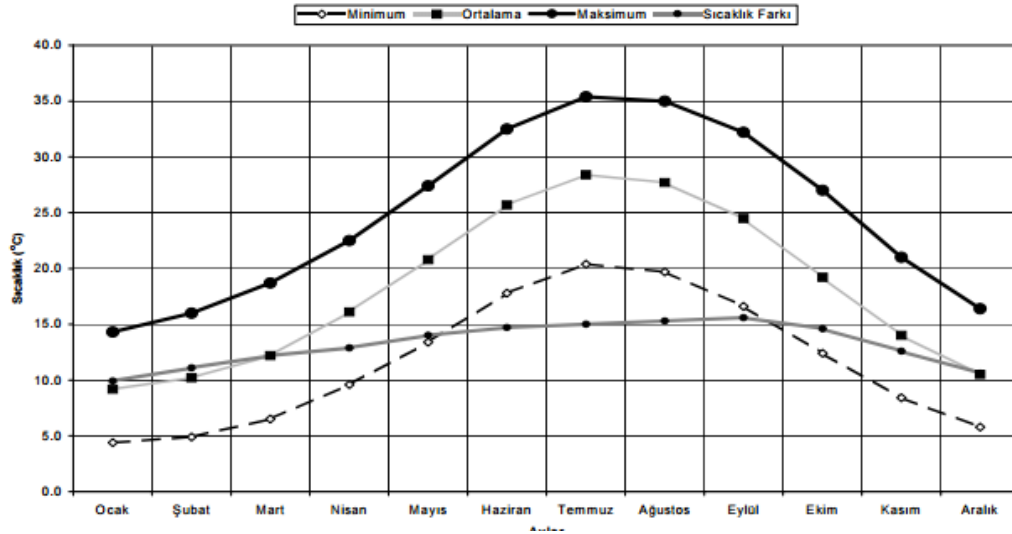
Köyceğiz-Dalyan Havzası genel olarak Akdeniz ikliminin etkisi altındadır. Bu iklimin genel karakteristiği yazların sıcak ve kurak, kışların ise ılık ve yağışlı geçmesidir. Genel olarak Akdeniz Bölgesi'ni etkisi altına alan sistemler karasal, denizsel veya yarı karasal ve yarı denizsel alçak ve yüksek basınç sistemleridir. Havzada iklimi etkileyen başlıca etkiler kış mevsiminde havzanın güney sınırını oluşturan Akdeniz suyunun ortalama sıcaklığının hava sıcaklığında 2-3° fazla olması ve havzayı etkileyen basınç sisteminin özellikleridir (Gönenç ve diğ, 2004).

Genel olarak kış aylarında havzayı üç farklı basınç sistemi etkilemektedir. Bunlardan biri Sibirya Yüksek Basıncı'dır. Arktik karakter taşıyan bu basınç sistemi zaman zaman Akdeniz'e kadar inerek Ege ve Akdeniz Bölgesi'nde sıcaklık düşülerine ve zaman zaman kar yağışı olarak görülebilen yağışlara sebep olmaktadır. Diğer bir sistem ise, Azor Yüksek Basıncı'nın Akdeniz üzerinden doğuya doğru hareketi ile Ege ve Akdeniz Bölgesi'ni etkisi altına almasıdır. Bu sistemin zayıfladığı zamanlar ise havza çoğunlukla Cenova Körfezi, Kuzey Adriyatik ve Ege Denizi'nde oluşan oldukça ılık alçak basınç merkezlerinin etkisinde kalır ve bu sistemler havzaya yağış getirmektedirler (Gönenç ve diğ, 2004).

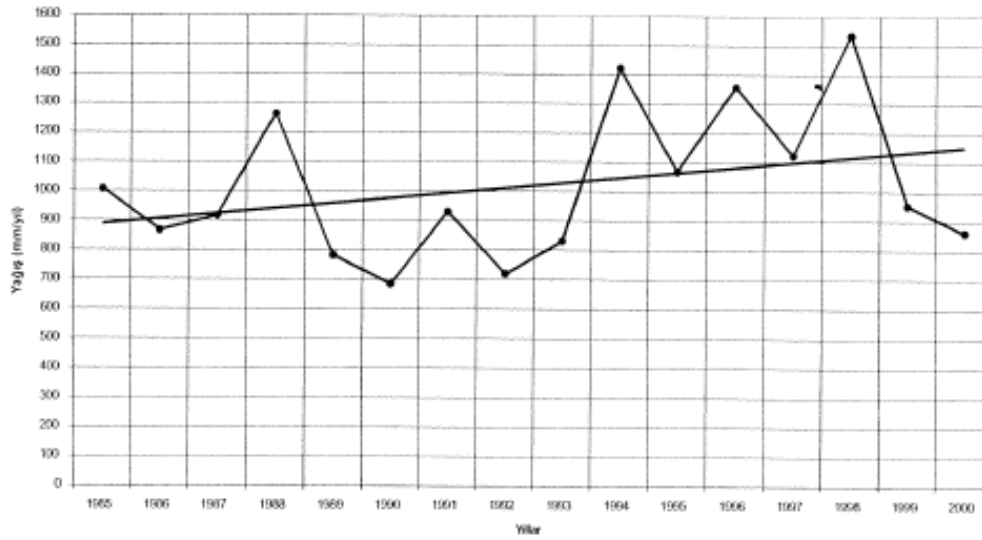
Yaz aylarında ise havza genel olarak Doğu Akdeniz Yüksek Basınç Sistemi'nin etkisi altındadır. Gün boyunca kara yüzeyi ısınır ve bunun sonucunda Anadolu Platosu'nda termal bir alçak basınç alanı meydana gelir. Bu iki sistem arasındaki denge, Ege Denizi ve Batı Anadolu kıyılarındaki hava şartlarının oluşmasına neden olmaktadır. Yüksek basınç sistemi kuvvetlendiğinde doğuya doğru yayılır ve azalan basınç gradyanına paralel olarak kuzey yönlü rüzgârların şiddeti azalır. Bu durum kara ve deniz meltemi gibi local sirkülasyonların kuvvetlenmesine neden olmaktadır. Yüksek basınç sistemi zayıflarken alçak basınç sisteminin kuvvetlenmesiyle Ege Denizi üzerindeki basınç gradyanı artar ve bu periyotta kuzey rüzgârları kuvvetlenir. Ege Bölgesinde daha hâkim bir şekilde ortaya çıkan ve havzada da etkili bu patern Eteziyen Rüzgârlar olarak bilinmektedir (Gönenç ve diğ, 2004).

Havzada yağış ve sıcaklık parametreleri kıyı ve iç kesimlerde yükseklik, bakı ve hava sistemlerinin izledikleri yörüngeler nedeniyle farklılıklar gösterebilir. Çevresi dağlarla çevrili havza, civarına nazaran daha karasal bir karakter gösterir; kışlar daha soğuk, yazlar ise daha sıcak geçer. Şekil 3.4'te havzada ortalama ve ekstrem sıcaklıkların

aylık değişimleri sunulmaktadır. Havzada yıllık toplam yağışlar ise Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 :1963-1990 Yılları Arası Ortalama ve Ekstrem Sıcaklıkların Aylık Ortalama Dağılımları (Gönenç ve diğ, 2004).



Şekil 3.5 : 1985-2000 Yılları Rasatlarına Göre Havzada Yıllık Toplam Yağışlar (Gönenç ve diğ, 2004).

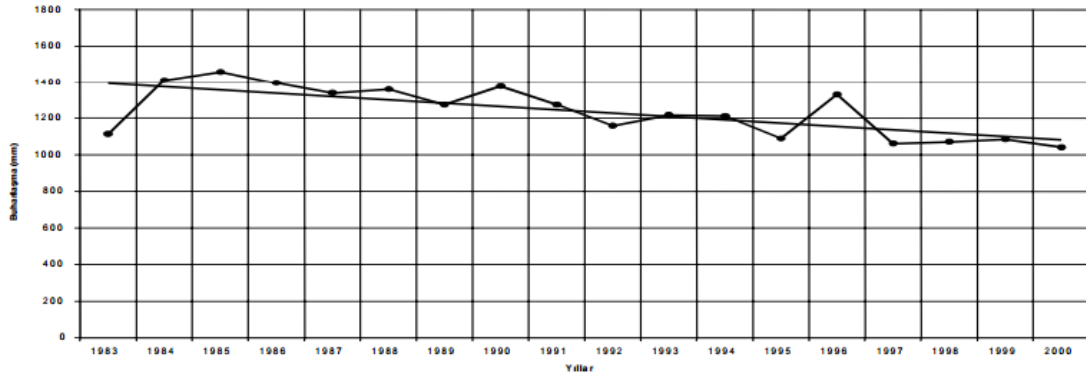
Yıllık ve aylara göre yağış olayının ortalama tekerrür süresi ve günlük görülme olasılıkları Çizelge 3.1'de verilmiştir. Buna göre Aralık-Şubat dönemi düzenli olarak her iki günde bir ortalama 16 mm mertebesinde yağışın oluştuğu kış mevsimidir. Mart-Mayıs dönemi yağışın hızla azaldığı ancak devam ettiği ilkbahar mevsimidir. Yaz mevsimi yağışların çok nadir görüldüğü Haziran-Ağustos döneminde görülmekte, bu dönemde yağışlar ayda bir veya iki kez düşmekte, yüksekliği 7 mm düzeyinde

seyretmekte ve günlük yağış olasılığı %10'un altına inmektedir. Eylül-Kasım dönemi ise yağışların hızla artış gösterdiği sonbahar dönemini göstermektedir.

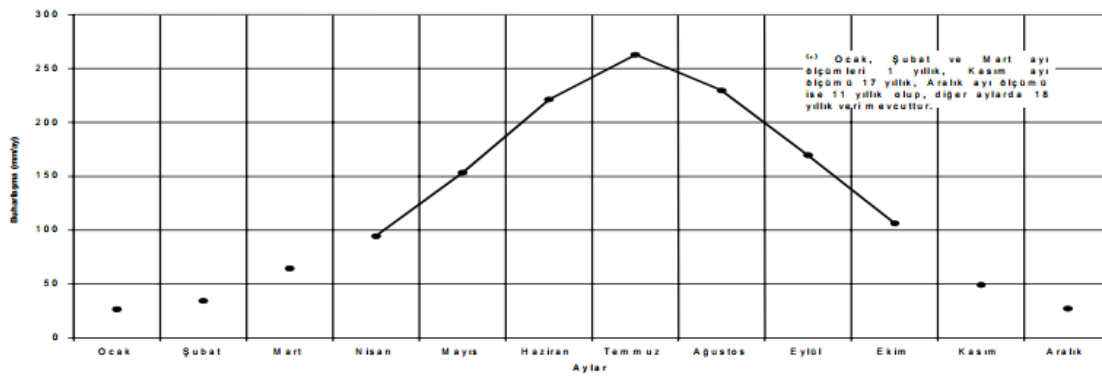
Çizelge 3.1 : Yağış Görülme Sıklık ve Olasılıkları (Gönenç ve diğ, 2004).

Aylar	Ortalama Yağış Görülme Sıklığı (gün)	Günlük Ortalama Yağış Görülme Olasılığı (%)
Ocak	2,3	44
Şubat	2,4	41
Mart	3,1	32
Nisan	3,8	26
Mayıs	5,4	18
Haziran	10,7	9
Temmuz	17,6	6
Ağustos	20,1	5
Eylül	11,4	9
Ekim	5,2	19
Kasım	3,4	29
Aralık	2,3	44
Yıllık	4,3	24

Toplam buharlaşma kayıplarının yıllara ve aylara göre değişimi, sırasıyla Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de verilmiştir. Buharlaşmanın yağışın minimum sıcaklığın maksimum olduğu Temmuz ayında en yüksek seviyesine ulaştığı (263 mm), buna karşın yağışın maksimum sıcaklığın minimum olduğu Aralık ayında en düşük değerde olduğu görülmektedir (Gönenç ve diğ, 2004).

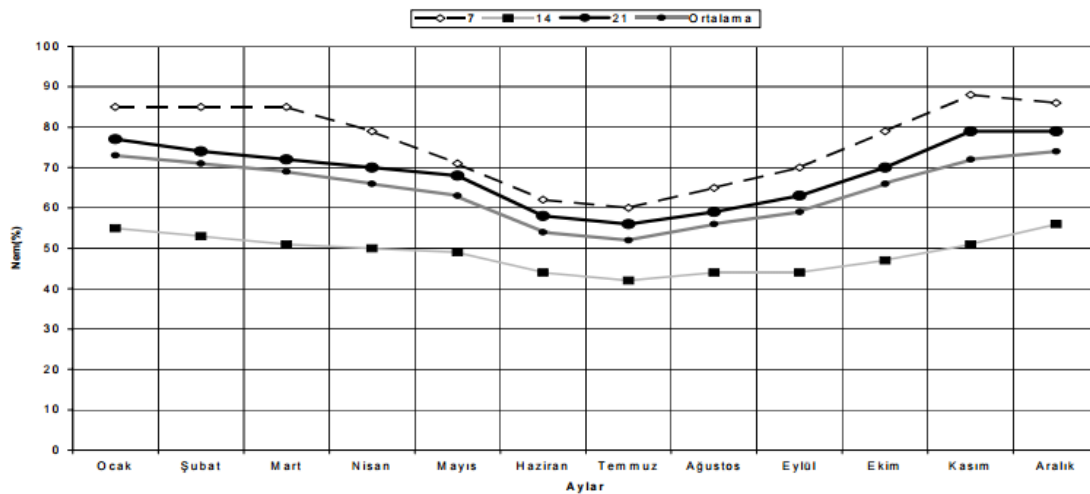


Şekil 3.6 : 1983-2000 Yılları Nisan-Ekim Dönemi Buharlaşma Rasatlarına Göre Havzada Toplam Buharlaşma (Gönenç ve diğ, 2004).



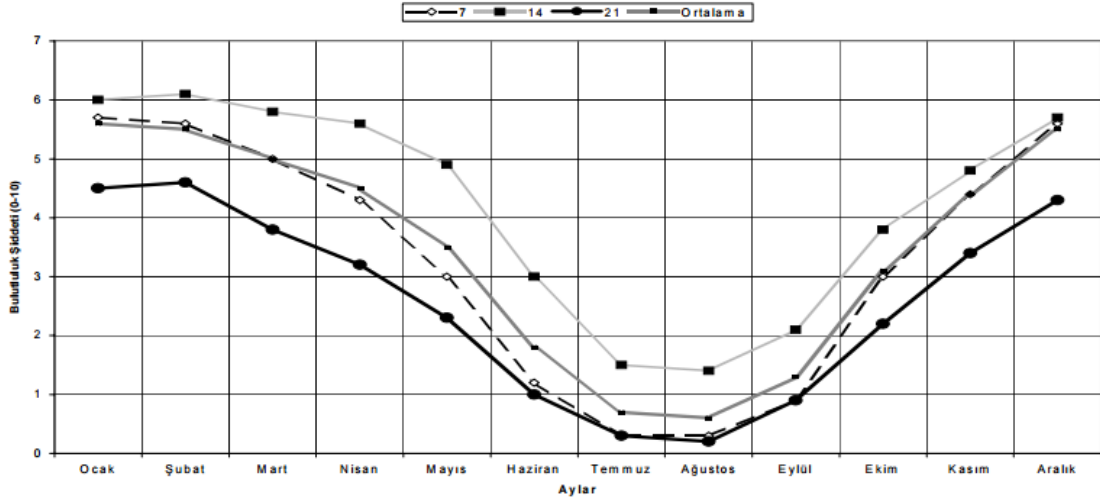
Şekil 3.7 : 1986-2000 Yılları Buharlaşma Rasatlarına Göre Havzada Aylık Toplam Buharlaşma (Gönenç ve diğ, 2004).

Şekil 3.8'de havzada günlük ortalama nemin aylık ortalama dağılımı verilmiştir. Günlük ortalama değerlerin aylık ortalamaları incelendiğinde, nemin günlük sıcaklığın azalması ile arttığı görülmektedir. Nem parametresinin %40 değerinin altına düşmediği ve %90 seviyesine ulaşmadığını söylemek mümkündür (Gönenç ve diğ, 2004).



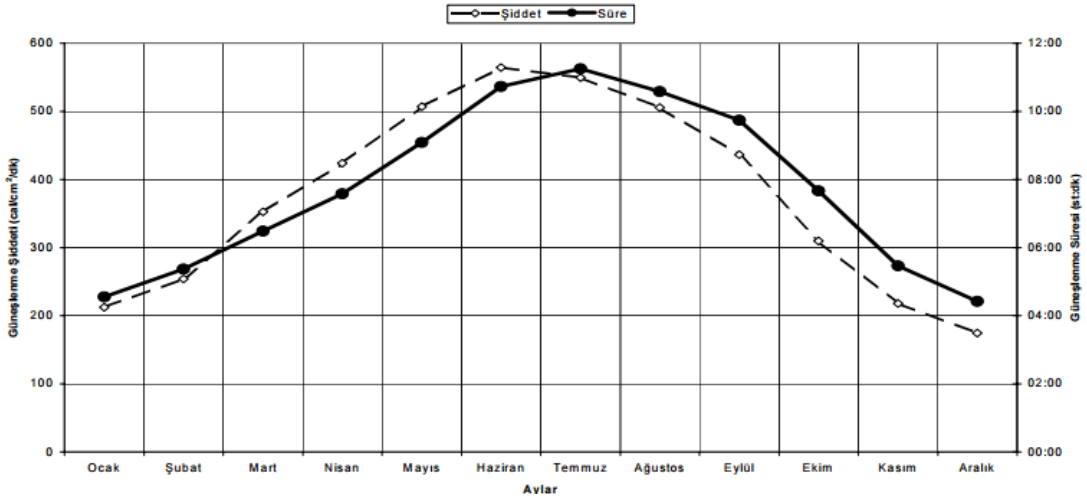
Şekil 3.8 : 1963-1990 Yılları Rasatlarına Göre Havzada Günlük Ortalama Nemin Aylık Ortalama Dağılımı (Gönenç ve diğ, 2004).

Bulutluluğun aylara göre ortalama dağılımları Şekil 3.9’da verilmektedir. Yağışların yoğun olduğu kış aylarında havanın kapalı ve yazın açık olduğu istatistiksel olarak da belgindir.



Şekil 3.9 : 1963-1990 Yılları Rasatlarına Göre Havzada Günlük Ortalama Bulutluluğun Aylık Ortalama Dağılımları (Gönenç ve diğ, 2004).

Havzadaki güneşlenmenin mertebesinin görülmesi açısından Şekil 3.10’da süre ve şiddet ilişkisi sunulmaktadır. Güneşlenme parametresi şiddet olarak Haziran ($564 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{dk}^{-1}$) süre olarak ise Temmuz aylarında en yüksek değerlerine ulaşmakta, Aralık ayında ise en düşük değerlerine çekilmektedir ($175 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{dk}^{-1}$; 4:25) (Gönenç ve diğ, 2004).



Şekil 3.10 : 1985-1990 Yılları Rasatlarına Göre Havzada Günlük Ortalama Güneşlenme Süre ve Şiddetlerinin Aylık Ortalama Dağılımları (Gönenç ve diğ, 2004).

3.3 Jeoloji ve Hidrojeoloji

Köyceğiz–Dalyan Havzası, birçok jeolojik olay sonucunda bugünkü yapısına ulaşmıştır. Şekil 3.11’de havzanın jeolojik durumu gösterilmiştir. Bölgedeki dağların, ovaların hemen bitiminde dik bir şekilde yerleşmiş olması, havzanın tektonik bir depresyon alanı olduğunu göstermektedir. Yüksek dağlar (Sandras, Günlük, Boğa, İncirlik, Koz Dağları) Toros Dağları’nın çökme eğilimi gösteren batı kısmını oluşturmaktadır. Bu silsilenin batıya doğru gidildikçe denizin altında kaybolduğu görülmektedir. Deniz, dağlık arazi içine vadiler vasıtası ile sokulmaktadır (Gönenç ve diğ, 2004).

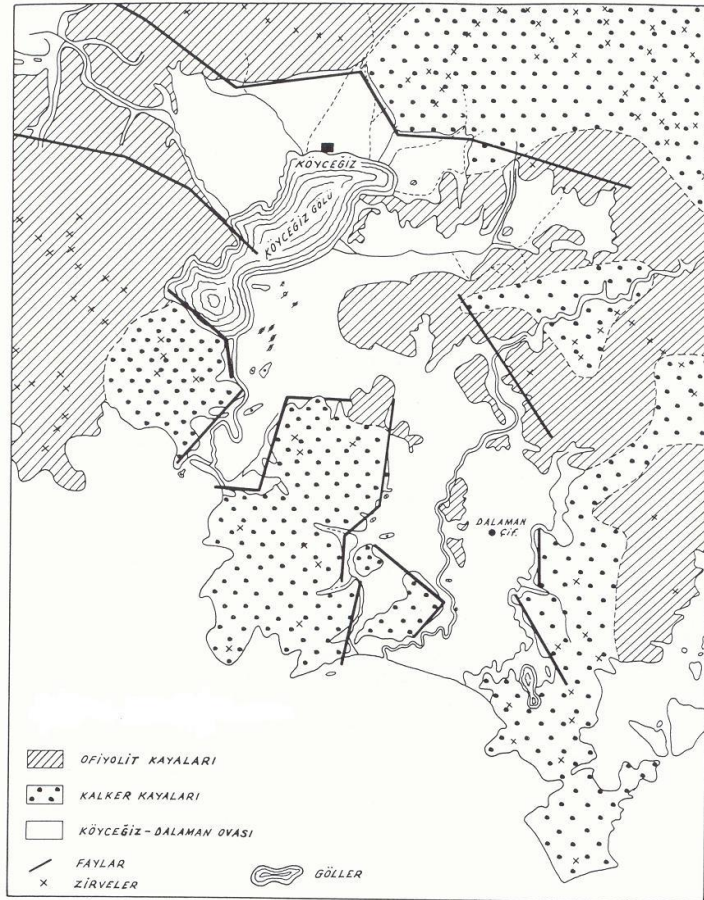
Bölgede, iki önemli fay hattı bulunmaktadır. Bunlardan birisi, Köyceğiz Gölü’nün güneyinde, güneybatıdan kuzeydoğuya uzanmaktadır. Bu fay hattı üzerinde Sultaniye kaplıcası bulunmaktadır. Bu fay hattından ayrılan diğer bir fay hattı ise Marmarlı Havalisi’ne kadar uzanmakta olup fay hattı üzerindeki Velibey, Rıza Çavuş ve Kokargirme olarak bilinen sıcak ve soğuk su kaynakları kanal kenarında, Marmarlı kaynağı ise daha iç kısımda yer almaktadır. İkinci fay hattı ise Köyceğiz Gölü’nün içinden geçer ve kuzeybatı–güneydoğu yönünde uzanır. Havzanın kuzeyinde yine kuzeybatı–güneydoğu doğrultulu bir fay hattı yer almaktadır. Bu fay hatları boyunca hala tektonik hareketler devam etmektedir (1957’de Fethiye’de ve 1958’de Köyceğiz’de meydana gelen depremler). Köyceğiz Ovası ve Gölü tektonik depresyon alanlarından birisini oluşturur. Yuvarlak Ovası ile Dalaman Ovası’nın Kuzey kısımları arasındaki bağlantı da güneybatı-kuzeydoğu fayları doğrultusunda uzayan daha dar depresyonlarla sağlanmış bulunmaktadır. Depresyonlarda bir çok serpantin ve kalker tepelerine rastlanır. Fay hatları boyunca ve yüksek zirvelerde dağlar çıplak veya çıplağa yakın bir durum gösterirler. Yerel olarak bazı kesimlerde büyük taş birikintileri göze çarpar ve bazı yamaçlar taş döküntüleri ve hatta toprakla kaplanmışlardır. Bu birikintiler yeni olmayıp birikintilerin Pleistosen yaşında oldukları tahmin edilmektedir. Bu sahanın Holosen toprakları ise kahverengidir. Bir çok yerlerde kuru vadiler kırmızı renkli kil ve silt karışımı ve çok miktarda köşeli taş döküntüleri ile dolmuştur. Aynı cins malzemeye dağ eteklerinde de rastlanmaktadır. Bu eski Kollüviyum koniler, teraslar gibi diğer kırmızı renkli birikintilerden, bunların içinde bulunan yuvarlak çakılların mevcudiyeti ile ayrılır. Eski Kollüviyumlar içinde ancak köşeli çakıllar mevcuttur (Gönenç ve diğ, 2004).

Koni ve nehir terasları ise akarsular tarafından taşınan malzemelerden oluşmuştur. Köyceğiz-Dalaman Ovaları'nda asırlar boyunca devam eden sulama neticesinde, sulama kanallarına yakın arazi, sulama suyunda süspansiyon halinde mevcut malzemenin çökmesi ile yavaş yavaş yükselmiştir. Bu malzeme tabii nehir sırtı seddelerini meydana getiren malzemenin aynısıdır. Fakat sedimantasyon şekli farklıdır. Kaba ve ince malzemenin bir kısmı Eski Kollüviyum'dan veya doğrudan doğruya daha önce mevcut olan topraklardan gelmiş olabilir. Prensip itibarı ile havzada koni ve nehir teraslarını oluşturan malzemeler, Kollüviyal malzemelere nazaran daha az ayrışmaya ve yıkanmaya maruz kalmışlardır. Köyceğiz-Dalaman bölgesi eski koni ve teraslarında kırmızı bir toprak profili meydana gelmiştir (Gönenç ve diğ., 2004).

Havza içinde bazı yerlerde sert konglomeralara rastlanmaktadır. Çamlıçay konisinde dar ve Yuvarlak vadisinde geniş bir konglomera oluşumu gözlenmektedir. Bunlar Genç Pleistosen birikintisi üzerinde 30-40 m yüksekliğe varan aflörmalar oluşturmaktadır. Yuvarlak vadisi üzerinde yüksek yerlerde ve Dalaman nehrinin kolları üzerinde bu konglomeraların oluşturduğu eski teras göze çarpmaktadır. Yuvarlak ve Dalaman boyunca bu teras Genç Pleistosen terasına hemen hemen paralel olarak uzanır. Bu Genç Pleistosen terasları son glasiyasyon (Würm) için karakteristik olan alçak deniz seviyesi ile ilişkili olduğundan, Eski Pleistosen birikintilerinin eski deniz çekilmesi devirlerinden birisi ile yaşıtlı olduğu söylenebilir. Bunlar eski terasın kalıntılarından ibarettir. Çamlıçay konglomeraları da (-100) ila (0) m arasında düşük bir deniz seviyesine karşı gelmektedir (Gönenç ve diğ., 2004).

Yuvarlak terası az miktarda ince malzeme (kil, silt ve kum) ile karışık kalker çakıllarından oluşmuştur. İnce malzeme CaCO_3 içermez. Beyobası Köyü'nün batısında bu teras Genç Holosen nehir birikintileri altında kaybolur. Yuvarlak Nehri'nin esas kolu kuzeyde kalkerlerin etkin olduğu bir bölgeden gelir. Az önemli olan bir kol büyük bir depresyon sahasının bulunduğu doğudan gelir. Bu depresyon Pleistosen kollüviyal ve akarsu malzemesi ile dolmuş olup üstte kırmızı bir toprak mevcuttur. Sonradan bu birikintiler yer yer şiddetle erozyona uğramıştır. O zamanlar oluşmuş sel çukurları (*Gully*) bugünkü nehir sistemine karşı gelmektedir. Köyceğiz-Dalaman ovalarını büyük bir kısmının altında genç Pleistosen, Kollüviyal ve Flüviyal (sularla taşınmış) birikintileri yer almıştır. Ovaların kenarları boyunca rastlanan dik meyilli koniler genç Pleistosen birikintilerinin yalnız en yüksek kısımlarını temsil eder. Köyceğiz'in kuzey ve doğusunda bulunan büyük Pleistosen konilerinin her ikisi

de, bu yörede MÖ 2000-3000 yıl öncesine kadar bozulmadan kalmıştır. O zaman Köyceğiz-Dalaman Havzası'nda çok az düz arazi mevcut olduğundan tarım yapmak için oldukça eğimli arazilerden yararlanılmıştır. Keza birçok yerlerde orman altı florası da tahrip edilmiştir. Sonuçta, fazla olan kış yağışları toprağı yıkamaya başlamış ve böylece tarihi toprak erozyonu ortaya çıkmıştır. Nehirlerin rejimi düzenini kaybetmiş ve yazın hemen hemen kuru hale gelen nehirlerin kış ve bahar aylarında akıttıkları su ve toprağı sürüklemeye kuvvetleri büyük ölçüde artmıştır. Nehir ve çaylar ekseriya Pleistosen veya Eski Holosen birikintileri içinde açılmış bulunan yukarı mecralarını kazmaya ve aşağı mecralarını yükseltmeye başlamışlardır. Bu yeni konilerin oluşumu zamanında deniz ya bugünkü seviyesinde veya hafifçe daha aşağıda bulunmaktaydı. Bunun için genç koniler eski konilere nazaran daha az eğimlidirler. Dalaman Nehri son defa yatağını değiştirip bugünkü yatağından akmaya başladıktan sonra deniz seviyesi 2 m yükselmiştir. Bu yükselmenin buzul devri sonu deniz yükselmesinin son safhasından mı, yoksa mahalli tektonik hareketlerden mi ileri geldiği sorusu cevaplandırılmamıştır (Gönenç ve diğ, 2004).



Şekil 3.11 : Havzanın Jeolojik Durumu (Pons ve Edelman, 1960).

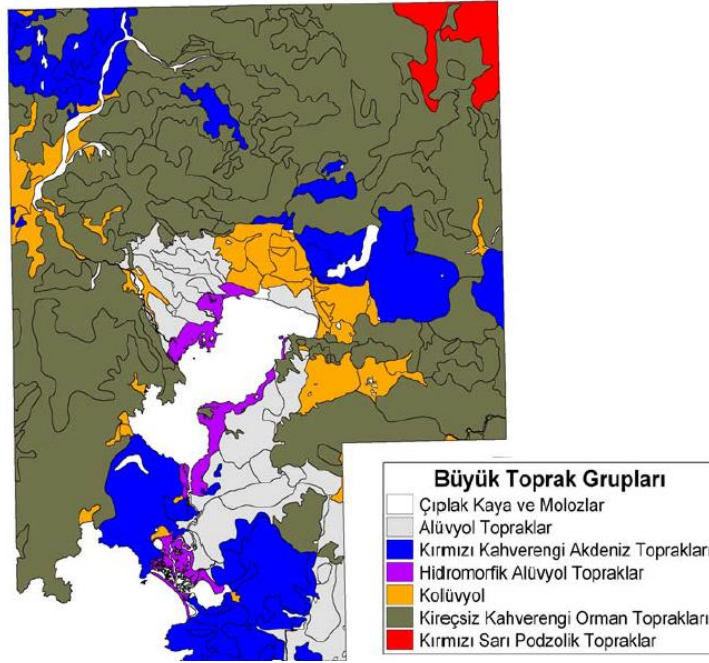
Bölgede sıcak su kaynakları da bol bulunmaktadır. Sultaniye Kaplıcası'nda üç adet, Rızaçavuş Girmesi'nde üç adet, Delibey ve Gelgirme'de de birer adet kaynak bulunmaktadır (Gönenç ve diğ, 2004).

Kaynak sularının karakterleri birbirlerinin hemen hemen aynıdır ve yüksek tuz içerikleri (18-30 mg/L) ile dikkati çekmektedir. İkinci olarak dikkati çeken unsur, her birinde yüksek miktarda (10 mg civarında) bulunan hidrojen sülfürdür. Diğer taraftan bazı kaynaklarda 30 eman'ın üstüne çıkan radyoaktivite de ölçülmüştür. Hatta Sultaniye İçmesi ile Sultaniye Büyük Hamam suyunda bu miktarlar kuvvetli bir radyoaktiviteye işaret eden 90 ila 126 eman seviyesine çıkmaktadır. Suların termalitesi dış tatbik imkanları verecek derecededir. Bunlardan bir kısmının sıcaklıkları 30-36°C diğerlerinin ise 40°C'ye kadar çıkmaktadır (Gönenç ve diğ, 2004).

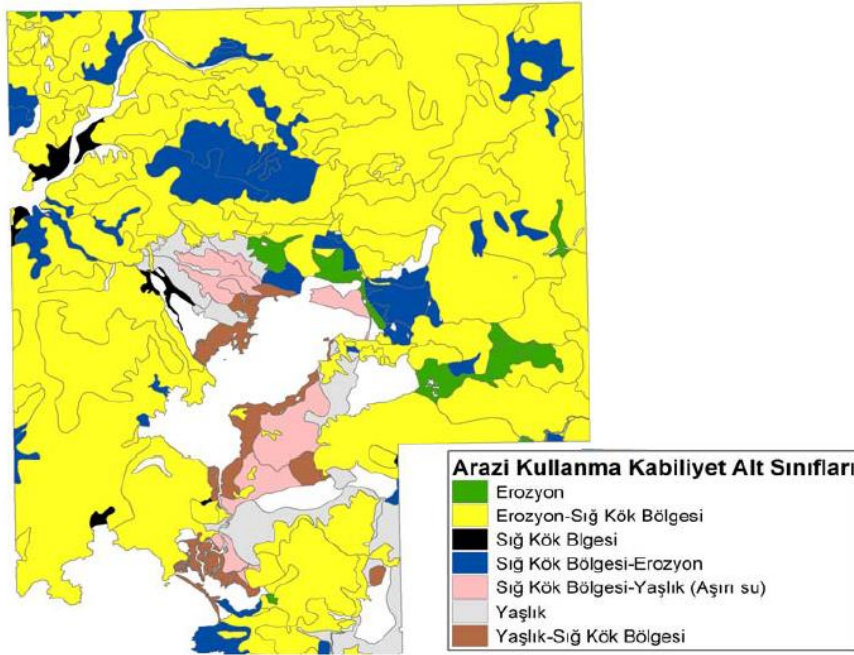
3.4 Toprak Yapısı

Bölge topraklarının hemen hepsi başka yerden taşınmış olup, yerinde oluşmuş toprağa pek rastlanmamaktadır. Jeolojik erozyonla birlikte insan kaynaklı erozyon birçok yerde yamaçlardaki toprağı sürükleyerek başka yerlere taşımıştır. Her ne kadar insan kaynaklı erozyon çeşitli yerlerde tahribat yapmışsa da, yine de eski nehir terasları ve konilerin üzerinde oldukça normal topraklara rastlanmaktadır. Bu topraklarda kireç bulunmamaktadır. Ancak pH hiçbir zaman 7'nin çok altına düşmez. Kalkerce zengin olan konilerde yıkanan CaCO_3 toprağın alt kısımlarında çökebilmektedir. Birçok yerde sızan karbonatlı sularla çimentolaşmış çakıllara rastlanmaktadır. Nehir sedimenti üzerindeki topraklarda hiçbir profil gelişmesi göze çarpmamaktadır. Üst toprak %20 oranına kadar CaCO_3 içerebilmektedir. Nehir sırt ardı toprakları da böyledir. Siyah renkli nehir havzası topraklarının üst kısmında %1'den fazla CaCO_3 bulunmayabilmektedir. Bu durum siyah toprakların oluşumu sırasında hâkim olan bataklık şartlarındandır. Kötü drenaj koşullarının ova topraklarının morfolojisi üzerindeki etkisi büyüktür. Ovada mevcut olan toprakların birçoğunda yüksek yeraltı suyuna işaret eden renk lekelerine sıkça rastlanmaktadır. Yeni nehir sedimenti üzerinde meydana gelen toprakların kimyasal özellikleri oldukça değişiktir. Topraklar sıklıkla fosforca fakir veya çok fakir durumdadır. Bölgede tuzlu topraklar denize yakın yerlerde göze çarpmaktadır. Belli dönemlerde nehir ağızlarından içeriye doğru tuzlu su girişi söz konusudur, ancak tuzlu su bu kesimlerde hapsolmaktadır. Herhangi bir drenaj da mevcut olmadığı için gelen tuz birikip kalmaktadır (Gönenç ve diğ, 2004).

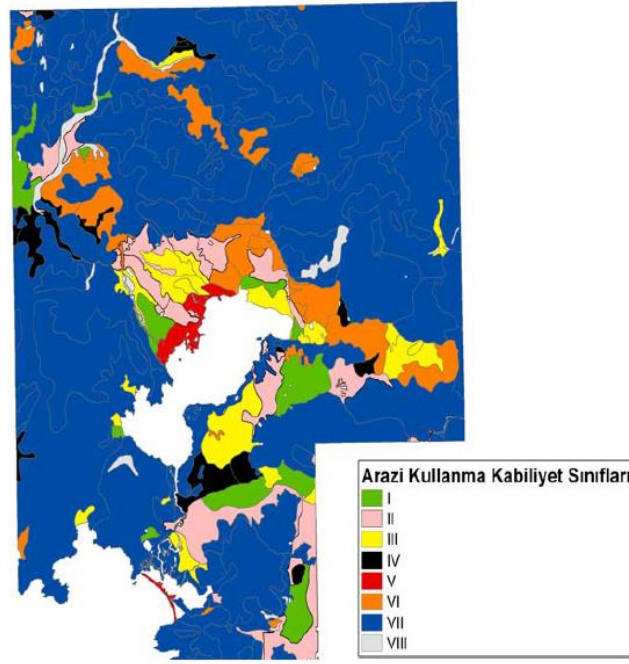
Havzaya ait büyük toprak grupları şematik olarak Şekil 3.12, arazi kabiliyet alt sınıfları Şekil 3.13, havzaya ait arazi kullanma kabiliyet sınıfları Şekil 3.14’te gösterilmektedir (Gönenç ve diğ, 2004).



Şekil 3.12 : Bölgeye Ait Büyük Toprak Gruplarını Gösteren Harita (Gönenç ve diğ, 2004).

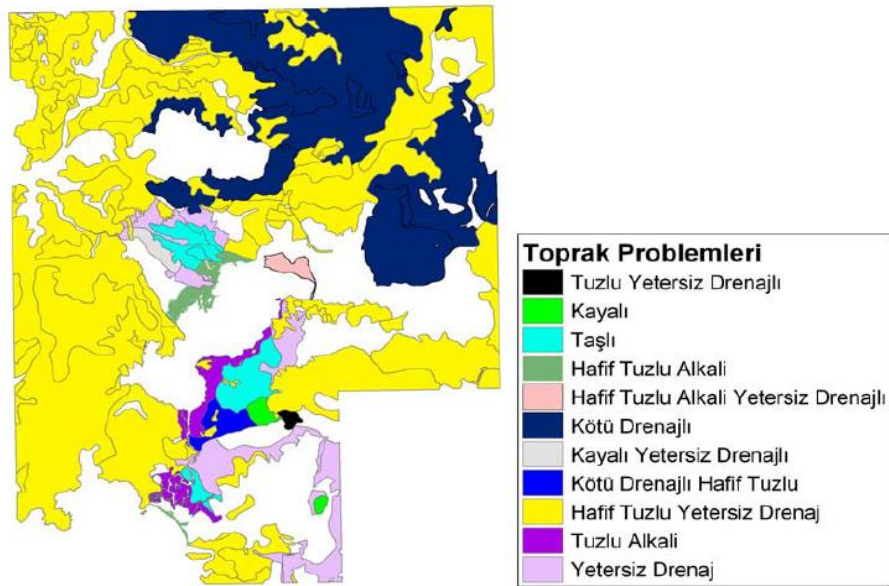


Şekil 3.13 : Arazi Kullanma Kabiliyet Alt Sınıfları Haritası (Gönenç ve diğ, 2004).



Şekil 3.14 : Arazi Kullanma Kabiliyet Sınıfları Haritası
(Gönenç ve diğ, 2004).

Havzada tarımsal kullanımı kısıtlayan erozyon, sığlık, taşlılık, kayalılık, drenaj ve çoraklık gibi sorunlar bulunmaktadır. Bu problemler Şekil 3.15'te gösterilmiştir. Havzada rastlanan en yaygın sorun erozyondur ve erozyon nedeni ile toprak gün geçtikçe verimsizleşmektedir. Bu sorundan az çok etkilenen veya hiç etkilenmeyen alanlar genellikle alüvyal topraklardan oluşan taban araziler ve kolüvyal toprakların düze yakın ve hafif eğimli alanlarıdır (Gönenç ve diğ, 2004).



Şekil 3.15 : Toprak Problemleri Haritası (Gönenç ve diğ, 2004).

3.5 Kara Ekosistemi

Havza tamamen Akdeniz ikliminin tipik florasına sahiptir. Ayrıca sulak alanlarda geniş sazlıklar ve kamışlıklar büyük yer kaplamaktadır. Havzadaki tepelerin tamamı orman alanıdır. Gölün kuzeybatısındaki düzlüklerde, güneybatı Anadolu ve Rodos adasına özgü geniş günlük ağacı (*Liquidamber orientalis*) ormanları bulunmaktadır. Buna göre havzada üç ana bitki örtüsü hâkimdir:

(1) Köyceğiz Gölü Dalyan Deltası ve yakın çevresindeki sulak ve bataklık alanları kaplayan kamışlık, sazlıklar ve sulak alanlara özgü bitki örtüsü, {kamışlar (*Phragmites australis*(Cav.) Trin. ex Steud.)}, kovalar (*Juncus acutus* L., *hybridus* Brot., vb.), sazlar (*Typha* spp.) ve *Chenopodiaceae* ailesine ait türler}.

(2) Akdeniz'in tipik maki bitki örtüsü,

Cistus creticus (Laden)

Colchicum (Çiğdem)

Cyclamen trochopetalanthum (Topalak)

Erica (Süpürge çalısı)

Hyacinthus orientalis (Sümbül)

Iris xanthospuria (Süsen)

Liquidamber orientalis (Günlük ağacı)

Lunipus angustifolius (Mavi lüpen)

Nerium oleander (Zakkum)

Pinus brutia (Kızılçam)

Sternbergia eischeriana (Karaçiğdem)

Typha sp. (Saz)

Iris xanthospuria (Süsen)

Ormanlar havzada ormanları oluşturan ve topografyaya göre çeşitlenen topluluklar arasında çeşitli yüksekliklerde rastlanılan kızıl çamlar, meşe ağaçları, defneler ve sığla ağaçları özellikle önemlidir. Halk dilinde günlük, sanayide sığla ağacı olarak bilinen *Liquidamber orientalis* Türkiye'nin endemik bir ağacıdır. Havzada koruma altına alınan Köyceğiz Gölü'nün kuzeydoğusunda yaklaşık 8 ha'lık turbalık alanda sığla

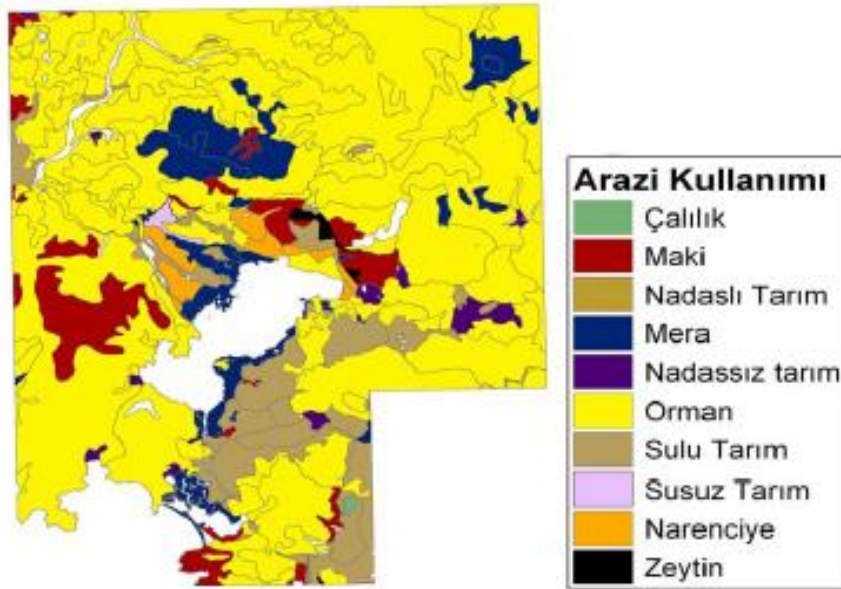
ormanı bulunmaktadır. Ayrıca havzada düz ve düze yakın yerlerin hemen tümünde tarım yapılmaktadır. Bu nedenle narenciye, pamuk, susam, mısır ve buğday başlıca tarımsal ürünler ile daha yüksek kesimlerdeki zeytinlikler bu bitki örtüsünü zenginleştirmektedir. Bölgenin Akdeniz ikliminde olması nedeni ile uzun bir kurak devre mevcuttur. Bu dönemde özellikle yapraklı ağaç ve çamların alt bölgelerinde bulunan karayosunları toprağın nemliliği açısından önemlidir. Karayosunları florası bakımından günlük ağacı, sandal ağacı ve kızılçam topluluklarının bulunduğu alanlar önem taşımakta ve korunması gereken birinci derecede gerekli bölgeler arasında sayılmaktadırlar. Köyceğiz-Dalyan ve çevresinin bitki örtüsü halen araştırılmaktadır. Yörede 700 civarında çiçekli bitki, ibreli ve eğrelti türü bulunduğu tahmin edilmektedir (Gönenç ve diğ, 2004).

Havzada dağlık alanlardan kıyı alanlarına uzanan vadiler, ovalar ve kanyonlarla bezenmiş morfolojik yapı, ılıman iklim koşulları ve zengin bitki örtüsü, faunal yapıyı çeşitlendirip zenginleştirmiştir. Havzada hemen her türden sürüngenler, memeli hayvanlar ve kuşlara rastlamak olasıdır. Buhan'ın belirttiği gibi havzada bugüne kadar 180 kuş türü gözlenmiştir (Gönenç ve diğ, Buhan'a atıfta bulunulduğu gibi). Bunlar arasında iki önemli tür, İzmir yalıçapkını (*Holcyon smyrnensis*) ve alaca yalıçapkını (*Cryle rudis*)'dir. İzmir yalıçapkını en nadir kuş türlerinden biri olup Türkiye'deki popülasyonu yaklaşık 100-150 çift kadardır. Köyceğiz-Dalyan bölgesi bu sayının %75'inin yoğunlaşmış olduğu 5 bölgeden biridir. Alaca yalıçapkını'nın ise Türkiye'deki yayılış alanı sınırlıdır. Yaklaşık olarak 250 çiftlik bir popülasyon bulunmaktadır. Önemli kuşlardan turaç (*Francolinus francolinus*) ise 1960'dan sonra bir daha gözlenememiştir. Havzada kuluçkaya yatan ya da yatma ihtimali olan türlerin tamamı giderek azalmaktadır. Bazı su kuşları ise (maks. 47654) kışı bu bölgede geçirmektedirler. Bölgedeki başlıca kuş türleri; Buhan'ın belirttiği gibi macar ördeği (maks. 528), tepeli karabatak (*Phalacrocorax aristotelis*), küçük karabatak (*Phalacrocorac pygmeus*; maks. 40), büyük batağan (*Podiceps cristatus*), küçük batağan (*Tachybaptus ruficollis*), sakarmeke (*Fulica atra*; maks 34120), küçük balaban (*Ixobrychus minutus*), gece balıkçılı (*Nycticorax nycticorax*), erguvan balıkçıl (*Ardea purpurea*), yılan kartalı (*Circaetus gallicus*), saz delicesi (*Circus aeroginosus*), küçük kartal (*Hieraaetus pennatus*), küçük kerkenez (*Falco naumanni*), mahmuzlu kızkuşu (*Hoplopterus spinosus*) ve gülen sumru (*Gelochelidon nilotica*) olarak sıralanabilir (Gürel ve diğ, Buhan'a atıfta bulunulduğu gibi). Leylek ise

bölgedeki yerleşim alanlarının hemen hepsinde kuluçkaya yatmaktadır. Ak kuyruklu kartalın da göl çevresinde kuluçkaya yattığı bilinmektedir. Demirsoy'un belirttiği gibi havzada görülmesi olası memeliler ise hemen tamamı ormanlık alanlarda yaşamını sürdüren türlerdir (Gürel ve diğ, Demirsoy'a atıfta bulunulduğu gibi). Bunlar arasında endemik türler ve uluslararası antlaşmalarla koruma altına alınan türler dikkat çekmektedir (Gönenç ve diğ, 2004).

3.6 Arazi Kullanımı

Havzadaki arazi kullanımı ile ilgili olarak elde edilen harita Şekil 3.16'da gösterilmektedir.



Şekil 3.16 : Arazi Kullanım Haritası (Gönenç ve diğ, 2004).

Havzada ve alt havzalarda arazi kullanımlarının arazi dağılıkları Çizelge 3.2 ve 3.3'te verilmiştir (Gönenç ve diğ, 2004).

Çizelge 3.2 : Köyceğiz Gölü Alt Havzası Arazi Kullanımı (Gönenç ve diğ, 2004).

Arazi Kullanım Kategorisi	Alan (ha)	Alan (%)
<i>Namnam Çayı Su Toplama Havzası</i>		
Orman Alanı	45336	75
Sazlık	3022	5

Çizelge 3.2 (devam) : Köyceğiz Gölü Alt Havzası Arazi Kullanımı (Gönenç ve diğ, 2004).

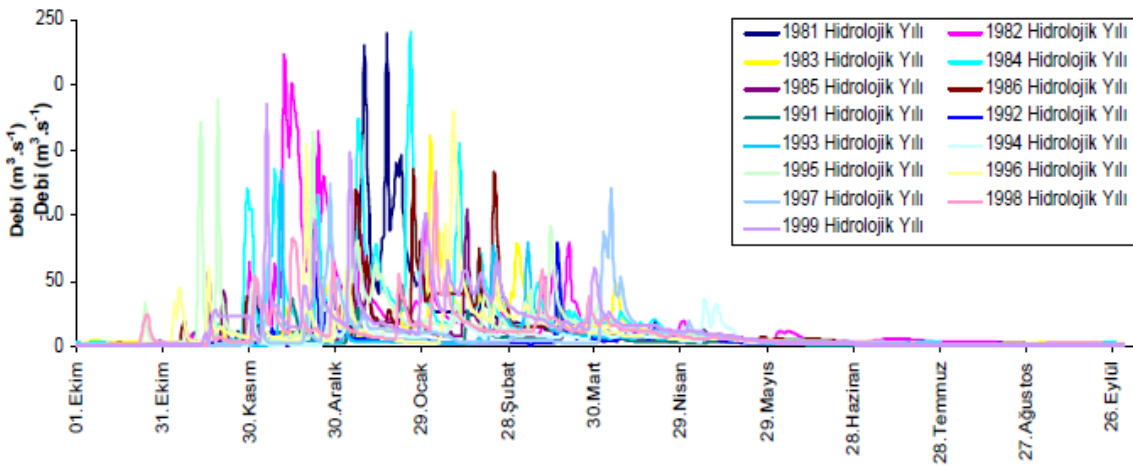
Tarım Alanı	4232	7
Yerleşim Alanı	4232	7
Kayalık Alan	3627	6
Toplam Alan	60449	100
<i>Diğer Su Toplama Havzaları</i>		
Orman Alanı	18233	49
Sazlık	5582	18
Tarım Alanı	5582	15
Yerleşim Alanı	6698	15
Kayalık Alan	1116	3
Toplam Alan	37210	100

Çizelge 3.3 : Dalyan Alt Havzasında Arazi Kullanımı (Gönenç ve diğ, 2004).

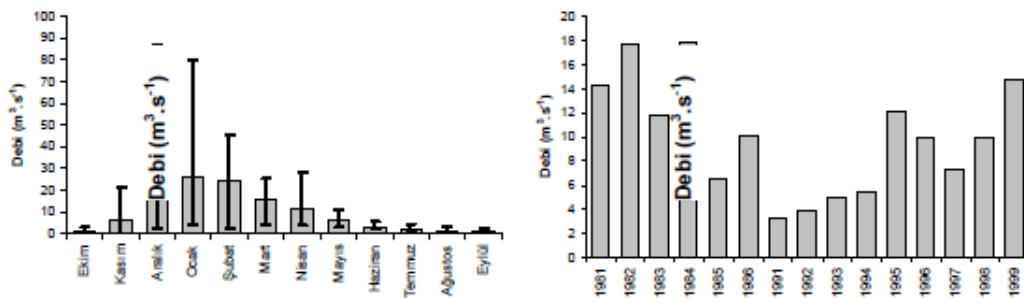
Havza Adı	Üçtepeliler	Alagöl	Kaunos	Dalyan	Gerendüzü	Gökbek	Sütlüçür	İztuzu	Toplam	Alan (%)
Orman Alanı (ha)	127	1145	870	1653	2289	1373	445	255	8157	70
Tarım Alanı (ha)	-	-	-	2435	286	217	32	-	2970	25
Diğer (ha)	-	-	594	-	-	-	-	-	594	5
Toplam	127	1145	1464	4088	2575	1590	477	255	11721	100

3.7 Hidroloji

Namnam Çayı, su toplama havzası içindeki birçok küçük akarsu kolunun birleşmesinden oluşmuştur. 607 km²'lik havzası ile Köyceğiz Havzası'nın en geniş drenaj alanına sahip çayıdır. Çayın debisi, yaz döneminde Akdeniz ikliminin etkisi ve sulamada kullanılmak üzere çekilen su nedeniyle azalmaktadır. Çayın yatağı taşlıktır. Çay getirdiği alüvyonlarla Hamitköy ovasını oluşturmuştur. Kazancı ve diğerlerinin 1992 yılında belirttiği gibi bu çayın deltası, çayın getirdiği alüvyonlar nedeniyle birkaç kez yer değiştirmiştir (Gürel ve diğ, atıfta bulunduğu gibi). Namnam Çayı'nın ana kolunun uzunluğu, 13 km civarındadır. Genişliği ise genellikle 25–30 m civarındadır. Taşkınların olmadığı normal akım şartlarında, en geniş yeri ise 40 m'ye yakındır. Çayın debisinin zamana göre oldukça değişken ve akarsuyun bazı kesimlerde sürekli olmayan akım koşulları meydana getirdiği gözlenmiştir. Namnam Çayı'nın akım zaman serisi, Şekil 3.17'de, aylık ve yıllık ortalamalar ise Şekil 3.18'de verilmiştir (Gönenç ve diğ, 2004).

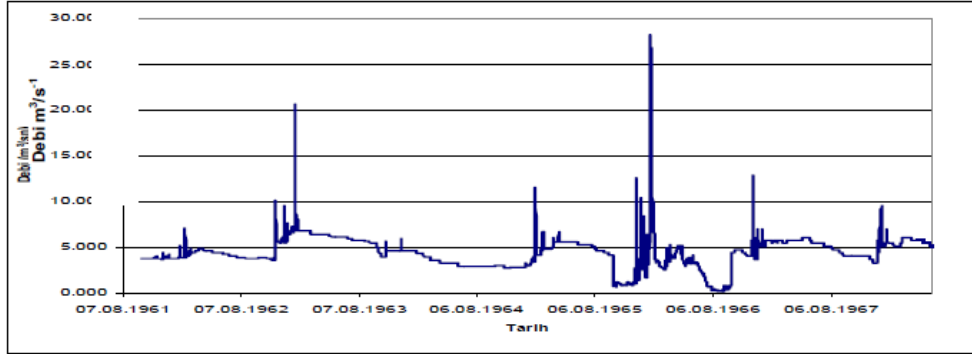


Şekil 3.17 : Hidrolojik Yıla Göre Namnam Çayı Debi Serileri (Gönenç ve diğ, 2004).



Şekil 3.18 : Namnam Çayı Ortalama Debileri (a) Aylık (b) Yıllık (Gönenç ve diğ, 2004).

Uzuncabük dolaylarında doğan Yuvarlak Çay, Köyceğiz Gölü'nün kuzeydoğu kesimine ulaşmaktadır. Yuvarlak Çay'ın uzunluğu 21 km, genişliği ise 8–14 m arasındadır. Yuvarlakçay'ın debisi, Şekil 3.19'da oluşturulan zaman serisi görülmektedir. Yapılan basit su kütle dengesi hesapları sonucunda, Yuvarlakçay'ın yeraltı suyu tarafından beslendiği anlaşılmıştır. Çayın debisi, yaz döneminde sulamada kullanılmak üzere çekilen yüksek miktardaki su nedeniyle zaman zaman neredeyse kuruyacak kadar azalabilmektedir (Gönenç ve diğ, 2004).



Şekil 3.19 : Yuvarlakçay'ın Debi Değişimleri (Gönenç ve diğ, 2004).

3.8 Ekonomik Yapı

Havzada ekonomik yapı geleneksel olarak tarımsal faaliyetlere dayanmaktadır. Bahçecilik, seracılık ve arıcılık konularında son yıllarda gelişmeler kaydedilmiştir. Köyceğiz'de tarımsal gelirlerin çeşitliliği ve düzeyi bölge halkının geleneksel tarımı terk etmediğini göstermektedir. Köyceğiz'in sahip olduğu tarımsal, ekonomik ve toplumsal kaynakların, turizm kaynağı dışta tutulduğu takdirde Dalyan'dan hem nitel hem de nicel açıdan daha fazla olduğu söylenebilir. Ancak Dalyan'ın turizm sebebiyle aşırı büyümesi ve Köyceğiz'in eski idari önemini kaybetmesi sebebiyle aradaki gelir farkının kısa sürede kapanması beklenmektedir. Dalyan'da farklı iş kollarında çalışan kişi sayısındaki artış tarım arazilerinin daralmasını ve geçimini tarımsal faaliyetlerden sağlayan ailelerin azalmasını da beraberinde getirmiştir. Bu sebeple Dalyan ihtiyaçlarını Ortaca'dan karşılar hale gelmiştir. Kaynak kullanımı açısından değerlendirildiğinde Köyceğiz'in Dalyan'a göre daha örgütlü ve şanslı olduğu söylenebilir. Dalyan'daki bir diğer ekonomik faaliyet balıkçılıktır (Gönenç ve diğ, 2004).

Muğla'nın diğer yerleşim yerlerinin ekonomik gelişim düzeyi göz önünde bulundurulduğunda Dalyan'da turizm dışındaki sektörlerin az gelişmiş olduğu

söylenbilir. Havzadaki orta ölçekli en büyük tesis, tarım ve belediye araçlarını üreten ve Köyceğiz’de bulunan Köytaş Fabrikası’dır. Bunun dışında Köyceğiz ve Dalyan’da çeşitli küçük ölçekli tesisler tarım donanımı üretimi, pamuk işleme ve gıda alanlarında faaliyet göstermektedir. Bu tesislerin dışında bakım atölyeleri de mevcuttur (Gönenç ve diğ, 2004).

Dalyan ve Köyceğiz turizm potansiyeli açısından karşılaştırılırsa Dalyan’ın turizm potansiyelinin Köyceğiz’e göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bu bölgede yaşayan insanların yaşam planlarını turizm faktörünü göz önüne alarak planladıkları gözlemlenmektedir (Gönenç ve diğ, 2004).

Dalyan halkı ile yapılan görüşmeler sonucunda, bu bölgede yaşayan insanların bugüne kadar devam ettirmiş oldukları tarımsal üretimin hayat biçimlerinde büyük ve radikal bir değişime sebep olmadığını, bu değişime sebep olan faaliyetin turizm olduğunu ve turizmin bu değişimi çok kısa zamanda yaptığını düşündükleri anlaşılmıştır. Dalyan toplumsal yapı özellikleri açısından Köyceğiz’den farklı insanları barındırmaktadır. Köyceğiz’de yaşam daha geleneksel ve daha toprağa bağlıdır. Bu sebeple Dalyan’da görülen yurtiçi ve yurtdışından gelen hareketlilik Köyceğiz’de görülmemekte, Köyceğiz turizm faaliyetlerine Dalyan’a kıyasla daha yavaş girmektedir (Gönenç ve diğ, 2004).

3.9 Tarım ve Hayvancılık Faaliyetleri

Bölüm 3.8’de bahsedildiği üzere havzanın ve Köyceğiz-Dalyan yerleşimlerinin ekonomisi temel olarak tarımsal faaliyetlere dayanmaktadır (Gönenç ve diğ, 2004).

Köyceğiz’de toplam 7111 hektar büyüklüğünde alan sulanmakta veya yağmur suyu almakta ve tarımsal faaliyetler için kullanılmaktadır. Tahıl ve endüstriyel ürünler (pamuk, susam ve diğerleri) tarla ürünleri arasında ana elemanları oluşturmaktadır. Ekilen arazilerin %46’sı tarıma ayrılmıştır. Geriye kalan arazide patates, kavun, karpuz, soğan, sarımsak ve bazı tahıllar yetiştirilmektedir. Dalyan’da ise ürün dağılımı Köyceğiz’le benzer şekilde olan 3259 hektarlık alan tarımsal faaliyetler için kullanılmaktadır (Gönenç ve diğ, 2004).

Narenciye, bahçecilik ve seracılık ürünlerinin de ekonomi üzerinde büyük etkileri vardır. Köyceğiz’de narenciye bahçelerine ayrılan alan 2630 hektardır. Bunun dışında 550 hektarlık alan bahçecilik, 700 hektarlık alan seracılık faaliyetleri için

kullanılmaktadır. Bunun dışında ise 1580 hektarlık alan zeytincilik, 5 hektarlık alan asma bahçeleri, 20 hektarlık alan ise kavaklık olarak kullanılmaktadır (Gönenç ve diğ, 2004).

Köyceğiz çevresine ekolojik tarım faaliyetleri için çeşitli işletmeler kurulmuş olmasına karşın yöntem kırsal kesimde yaygınlaşmamış ve çiftçilerin bu teknikler üretim yapması sağlanamamıştır. Bu bölgede oldukça gelişmiş durumda olan bir başka faaliyetin de çiçekçilik olduğu söylenebilir (Gönenç ve diğ, 2004).

3.10 Turizm

Köyceğiz ve Dalyan'da turizm ana sektörlerden biridir. Ancak her iki ilçede de konaklama tesislerindeki ortalama yatak sayıları değerlendirildiğinde, bu oranın Türkiye ortalamasına göre daha düşük olduğu görülmektedir. Mevcut kentleşme gelişimi içerisinde bu tesislerin yerleşimlerinin doğru seçilememesi bu duruma sebep olmuştur (Gönenç ve diğ, 2004).

Dalyan'da Temmuz ve Ağustos aylarında turizm tesislerinin doluluk oranları %100'e ulaşmaktadır. Konaklama yerlerinin sayıları 1995 senesi verilerine göre Dalyan'da 2738 yatak, Köyceğiz'de ise 742 yatak şeklindedir. Bu sayı hızla artmaktadır (Gönenç ve diğ, 2004).

Dalyan'da turizm tesislerinin tamamı arazi ve planlama sınırlamaları sebebiyle antik kent alanlarında kurulmuştur. Bu durum, Turizm Bakanlığı teşvik belgeli tesisler haricinde Köyceğiz için de geçerlidir. Bunun dışında dikkate değer bir husus ise %93,6 oranında turizm tesisinin belediyeden belgeli olmasıdır. Yatak kapasiteleri teşvik belgeli tesislerde daha yüksektir (Gönenç ve diğ, 2004).

Dalyan'ın turistik ve tarihsel bir bölge olarak tanıtımında, 1993 senesinde İztuzu Plajı'nda yumurtlamaya gelen *Caretta caretta* kaplumbağa türünün korunmasına yönelik yerli ve yabancı çevre kuruluşlarının ve bilim adamlarının rolü büyüktür (Gönenç ve diğ, 2004).

Köyceğiz'in konumu, turizm açısından Dalyan'dan daha farklı özellikler göstermesine sebep olmaktadır. Köyceğiz-Ekincik Karayolunun açılışı ile Dalyan'a gelen turistlerin Köyceğiz'i görme istekleri artmış, bu durum 1992 yılında Köyceğiz turizmine canlılık getirmiştir. Köyceğiz'e gelen tekne sayısı her yıl artmakta olup bu tekneler Ekincik'e ve yöredeki kaplıcalara insan taşımaktadırlar. Köyceğiz'de turizm gelirlerinin büyük

bir kısmı turistik belgeli ve nitelikli turizm tesislerinde kalan turistler sayesinde sağlanmaktadır (Gönenç ve diğ, 2004).

Dalyan-Köyceğiz bölgesinde Antik Kaunos Kenti, Kaya Mezarları, Kaplıcalar, Çaur Banyoları ve İztuzu sahili turistlerin uğrak yerleri arasında sayılabilir (Gönenç ve diğ, 2004).

Yörede yer alan Sultaniye Kaplıcaları Türkiye'nin en önemli 10 kaplıcası arasındadır. Bu kaplıcalar Köyceğiz Gölü'nün güneybatı kıyısında 20 km ve Dalyan'dan 4 km uzaklıktadır. Kaplıcaların Helenistik devirden günümüze kaldığı tahmin edilmekte olup kaplıca yakınında tarihi duvar harabeleri vardır. Kaplıca günde ortalama 1000 kişiye hizmet vermektedir. Uzmanlara göre kaplıca suyunda bulunan radyoaktif elementler metabolizma, sinir ve sindirim sistemi ile ilgili 8 farklı hastalık için tedavi edivi özelliğindedir. Ayrıca cerrahi operasyonlardan sonrası iyileşmenin hızlanmasına yardımcıdır (Gönenç ve diğ, 2004).

Sultaniye Kaplıcaları dışında bölgede Köyceğiz Gölü'nün güneyinde, Evlenmez Dağı'nın eteğinde ve Dalyan Deresi ve Gölü'nün çevresinde çeşitli kaplıcalar bulunmaktadır. Ali Rıza Çavuş Girmesi Kaplıcası, bu kaplıcalardan biridir ve bu orta ölçekli kaplıca çamur banyosu için tercih edilmektedir. Çamur banyosu, özellikle turistlerin ilgi odağıdır. Burada su doğal kaynakların altında kaynamaktadır. Ilık su içerisindeki yüksek sulfur sebebiyle cildi yumuşatmakta ve kırıksıklıkları ortadan kaldırmaktadır. Bu orta ölçekli kaplıca Sultaniye Kaplıcaları ile bağlantılıdır (Gönenç ve diğ, 2004).

3.11 Sanayi ve Ticaret

Havzada yakın zamana kadar ulaşım olanaklarının kısıtlı oluşu, Özel Çevre Koruma Bölgesi olması ve Ortaca-Dalaman yerleşim yerindeki gelişmeler sanayinin oluşmasını ve gelişmesini engellemiştir. Bazı küçük el sanatları dışında sayılabilecek önemli bir endüstriyel faaliyet görülmemektedir (Gönenç ve diğ, 2004).

Köytaş hariç hemen hemen tüm işletmeler küçük ölçekli olup çoğunluğu Köyceğiz Küçük Sanayi Sitesi içerisinde yer almaktadır. Tarımda ve belediyede kullanılmak üzere ekipmanlar üreten Köytaş ise ilçenin tek orta ölçekli tesisi konumundadır. Bunun dışında Köyceğiz'de çevre köylerden gelen pamukları işleyen bir çırçır prese fabrikası ve Beyobası'nda bir balık işletme tesisi bulunmaktadır (Gönenç ve diğ, 2004).

1996-1997 yılları arasında Hamitköy ve Toparlar Köyü'nde kurulan narenciye işletme tesisleri, hem kış sezonunda yaşanan işsizliği azaltmakta hem de belli başlı meyveleri (portakal, mandalina, greyfurt, limon, vb) işleyerek ihraç ederek Türkiye ekonomisine katkı sağlamaktadır (Gönenç ve diğ, 2004).

Ticari faaliyetler hem Köyceğiz'de hem de Dalyan'da nispeten gelişmiştir. Dalyan'da ekonomik gelişme özellikle turizme bağlı olarak gerçekleşmektedir. 1984 yılından sonra bölgede turizmle bağlı olarak yan sektörlerde önemli değişiklikler göze çarpmaktadır. Bu değişikliklerden en önemlisinin tarımsal arazinin satılarak yerine yatırım yapan taşımacılık sektörü olduğu söylenebilir. Bu değişim sonucu bölgedeki tekne ve taksi sayısı hızla artmaktadır. 1992 yılı verilerine göre turizm mevsiminde bölgeye gelen günde 900 kişiye kadar çıkması taşımacılığın gelişmesindeki başlıca nedendir. Gelen turistlerin eğlenme ve konaklama ihtiyaçlarını karşılamak için 1986 yılından itibaren lokanta ve barların sayısı hızla artış göstermektedir (Gönenç ve diğ, 2004).

3.12 Altyapı

Köyceğiz ve Dalyan için Özel Çevre Koruma Bölgesi Projesi kapsamında planlanmış olan iki ayrı kanalizasyon sisteminin ve üçüncü derecede arıtmaya dahip iki atıksu tesisinin inşaatı büyük oranda tamamlanmıştır (Bann ve Başak, 2013). Bu proje kapsamında kırsal yerleşimlerdeki atıksu problemini çözmek için sızdırmaz veya sızdırmalı fosseptikler ve bu fosseptiklerde toplanan atıksuyun merkezlerdeki arıtma tesislerine taşınarak arıtılması da planlanmıştır. Dalyan ve Köyceğiz kentsel alanlarının atıksuları ayırık sistem borularla toplanmaktadır.

Köyceğiz-Dalyan Havzası'nda iki adet atıksu arıtma tesisi, bir adet katı atık düzenli depolama tesisi bulunmaktadır. Katı atık düzenli depolama tesisi Ortaca'da bulunmakta olup 39.877 kişiye hizmet etmektedir. Özel Çevre Koruma Bölgesi Projesi kapsamında inşa edilmiş olan Köyceğiz Atıksu Arıtma Tesisi'nin ise birinci aşaması tamamlanmış olup, ikinci aşamasının tamamlanması için 2020 yılı hedeflenmiştir. Proje kapsamında 54 km uzunluğunda kanalizasyon sisteminin inşaatı tamamlanmıştır (Bann ve Başak, 2013).

4. DRASTIC YÖNTEMİNİN KÖYCEĞİZ-DALYAN HAVZASINA UYGULANMASI

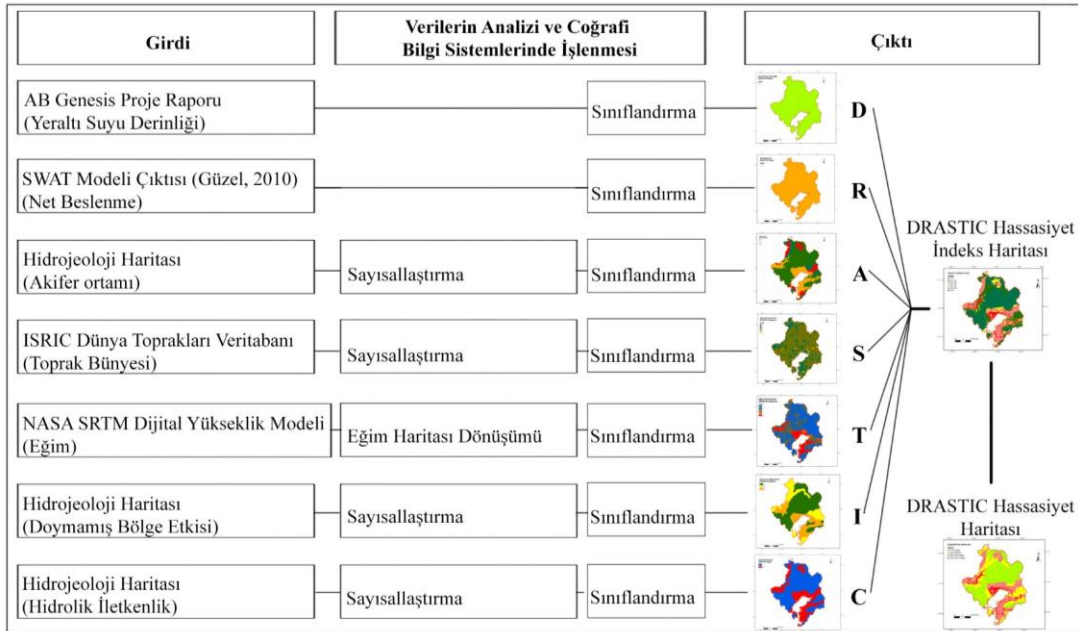
4.1 Verilerin Toplanması ve Analiz Edilmesi

Bölüm 2.3.8.3'te bahsedildiği gibi DRASTIC yöntemi veri eksikliği olduğu durumlarda, kullanıcının tahmin ve tecrübelerini yönteme adapte etmesine olanak tanımaktadır. Bunun yanı sıra DRASTIC parametre sınıfları için aralık değerleri vermekte, böylece puanlandırma yapılırken oluşabilecek hatalar en aza indirgenmiş olmaktadır.

Bu çalışma kapsamında “Lagünlerin Sürdürülebilir Yönetimi İçin Ekosistem Modellemesi” (Gönenç ve diğ, 2004) isimli çalışmadan faydalanılmıştır. Bu çalışma “Kıyı Lagünlerinin Sürdürülebilir Yönetimi İçin Ekosistem Modellemesi” (*Ecosystem Modeling of Coastal Lagoons for Sustainable Management*), “Besi Maddeleri ve Pestisitlerin Kıyı Ekosistemlerindeki Taşınım ve Akıbetleri” (*Fate and Transport of Nutrients and Pesticides in Coastal Lagoons*) ve “Köyceğiz-Dalyan Lagünü ve Havzasının Modellenmesi ve Arazi Planlama Çalışması” isimli projeleri bütünleyen bir çalışmadır. Bunun yanı sıra Avrupa Birliği (AB) Genesis Projesi (*Groundwater and Dependent Ecosystems: New Scientific and Technological Basis for Assessing Climate Change and Land-use Impacts of Groundwater*) İş Paketi 1 kapsamında yapılan çalışmalar kapsamında hazırlanan rapordan da faydalanılmıştır (t.y.). Yeraltı suyu derinliği haritası bu rapordaki bilgiler doğrultusunda hazırlanmıştır. Net beslenme değeri için Güzel (2010) tarafından hazırlanmış olan “Swat Modelinin Türkiye’deki Bir Havzada Uygulanması” isimli yüksek lisan tezindeki çıktılarından faydalanılmıştır.

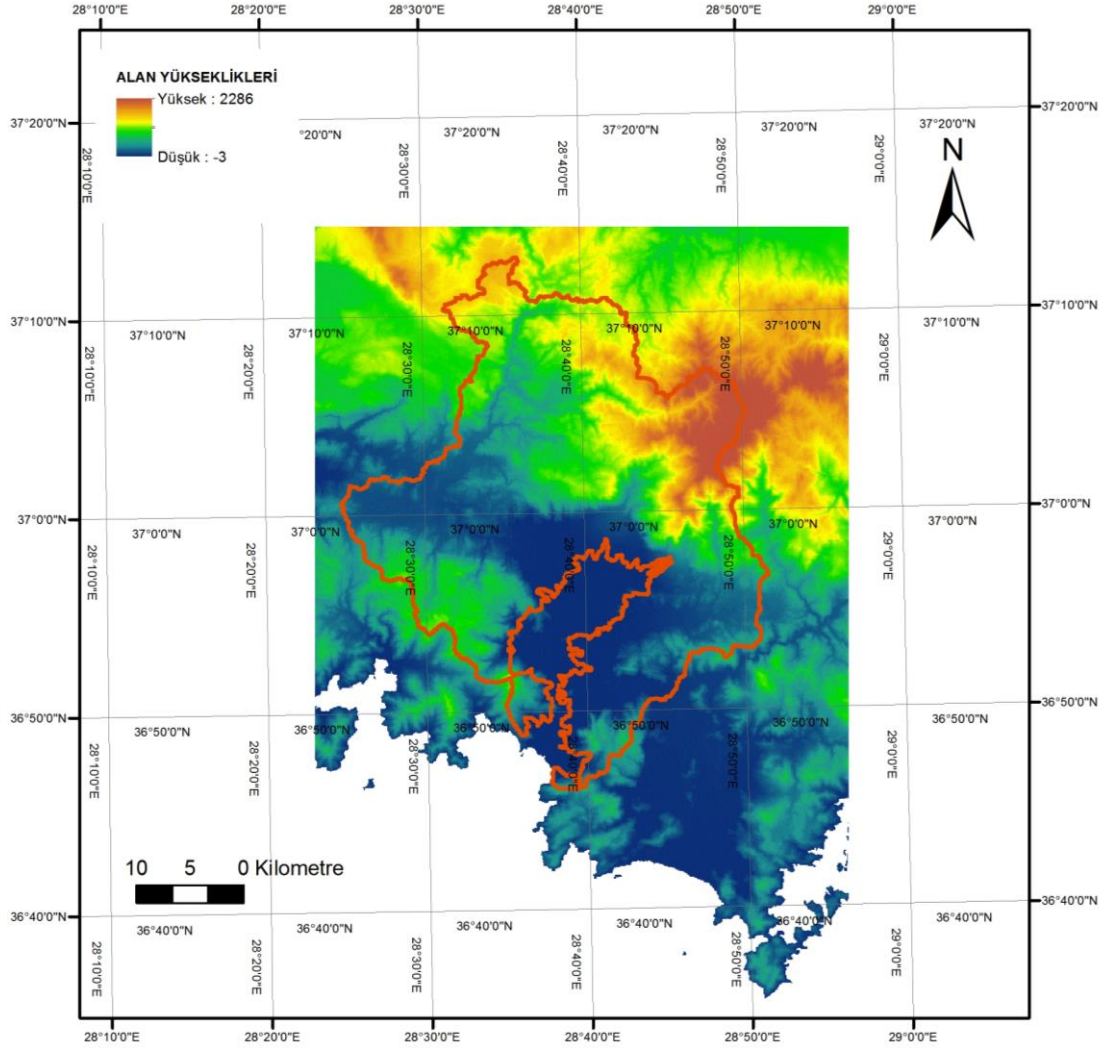
Raporların yanı sıra haritalarının hazırlanması için her internet kullanıcısının erişimine açık veritabanlarından ve hidrojeoloji haritalarından faydalanılmıştır. Toprak bünyesi haritası için ISRIC (*International Soil Reference and Information Centre* – Dünya Toprak Referans ve Bilgi Merkezi) – Dünya Toprak Bilgileri (World Soil Information) kuruluşu tarafından yayımlanan Dünya Toprak Veri Seti kullanılmıştır. Eğim haritası için ise Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından yürütülen SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) projesi kapsamında paylaşılan 90 m x 90 m

çözünürleğindeki Dijital Yükseklik Modeli'nden faydalanılmıştır. Akifer ortamı ve doymamış bölge etkisi için Tansuğ ve Öztuna (1976) tarafından hazırlanmış olan Hidrolojik Etüd Raporu'ndaki Hidrojeoloji Haritası kullanılmıştır. Bu hidrojeoloji haritasının hesaplamalarda kullanılabilmeleri için ilk adım olarak sayısallaştırılmaları gerekmiştir. Bu süreç parametrelerin anlatıldığı bölümlerde adım adım anlatılmaktadır. Hidrolik iletkenlik haritası için ise akifer ortamı ve doymamış bölge etkisi parametreleri için kullanılan hidrojeoloji haritası esas alınmış, Freeze ve Cherry (2003) tarafından hazırlanmış olan hidrolik iletkenlik ve permeabilite tablosundan yararlanılmıştır. Şekil 4.1'de bu çalışma kapsamında yöntemin girdileri, adımları ve çıktıları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : DRASTIC Yönteminin Uygulanmasının Aşamaları

Çalışma haritasının projeksiyonu Uluslararası Merkator Projeksiyonu (UTM) ile 35 N zonuna göre yapılmıştır. Projeksiyonun datumu WGS 84'tür. Çalışma alanı sınırlarının ve çevresinin yüksekliklerine göre renklendirilmiş dijital yükseklik modeli Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Mavi alanlar düşük rakımda kalan bölgeleri gösterirken kırmızı renkli alanlar yüksek rakım değerine sahip alanları işaret etmektedir.



Şekil 4.2 : Çalışma Alanının Dijital Yükseklik Modeli

DRASTIC yönteminin Köyceğiz-Dalyan Havzasına uygulanmasıyla ortaya çıkan sınıflar ve sınıf değerleri Çizelge 4.1’de gösterilmektedir. DRASTIC yönteminin özgün sınıfları ve değerleri, Köyceğiz-Dalyan Havzasına uygulanırken yeraltı suyu derinliği, net beslenme ve toprak bölgesi parametreleri için çeşitli sınıf değerlerinin özelliklerini karşılayan alanlar bulunmadığı gözlemlenmiştir. Akifer ortamı, doymamış bölge etkisi ve hidrolik iletkenlik parametreleri için de veri eksikliği sebebiyle bazı kabul ve varsayımlar doğrultusunda ilerlemek gerekmiştir. Her parametre için sınıflandırmanın nasıl yapıldığı ilgili bölümlerde detaylı olarak anlatılmaktadır.

Çizelge 4.1 : DRASTIC Parametrelerinin Modifiye Edilmiş Değerleri.

Parametre	Sınıf	Sınıf Değeri	Ağırlık
Yeraltı Suyu Derinliği (m) (<i>Depth to Water</i>)	4,5-9	7	5
Beslenme (mm/yıl) (<i>Net Recharge</i>)	254<	9	4
Akifer Ortamı (<i>Aquifer Media</i>)	Mermer	3	3
	Kireçtaşı	10	
	Amfibolit ve Kuvarsit	3	
	Alüvyon	8	
	Serpantin ve Periyodit	4	
	Radyolarit, Diyabaz ve Fliş	3	
	Silisli Kireçtaşı	10	
	Fliş	3	
	Dolomitik Kireçtaşı	10	
Toprak Bünyesi (<i>Soil Media</i>)	Kumlu Tın	6	2
	Tın	5	
	Kumlu Killi Tın	4	
	Killi Tın	3	

Çizelge 4.1 (devam) : DRASTIC Parametrelerinin Modifiye Edilmiş Değerleri.

Parametre	Sınıf	Sınıf Değeri	Ağırlık
Eğim (%) (<i>Topography</i>)	0-2	10	1
	2-6	9	
	6-12	5	
	12-18	3	
	18<	1	
Doymamış Bölge Etkisi (<i>Impact of Vadose Zone</i>)	Mermer	4	5
	Kireçtaşı	10	
	Amfibolit ve Kuvarsit	4	
	Alüvyon	8	
	Serpantin ve Periyodit	4	
	Radyolarit, Diyabaz ve Fliş	4	
	Silisli Kireçtaşı	6	
	Fliş	4	
	Dolomitik Kireçtaşı	6	
Hidrolik İletkenlik (m/gün) (<i>Hydraulic Conductivity</i>)	Mermer	1	3
	Kireçtaşı	10	
	Amfibolit ve Kuvarsit	1	
	Alüvyon	10	
	Serpantin ve Periyodit	1	
	Radyolarit, Diyabaz ve Fliş	1	
	Silisli Kireçtaşı	10	
	Fliş	1	
	Dolomitik Kireçtaşı	10	

4.1.1 Yeraltı suyu derinliği (D)

Yeraltı suyu derinliği, kirleticinin akifere ulaşmadan önce geeeği bölgenin derinliği ile ilgili olduğu ve çevreleyen ortamla temas süresini belirlemede kullanıldığı için önemli bir parametredir (Aller ve diğ, 1987). Kirleticinin su tablasına ulaşıncaya kadar geeeği yolun uzunluğu ile belirlenir. Bundan yola çıkararak bu yolun uzun olmasının kirleticinin yeraltı suyuna ulaşma süresini uzatacağı ve giderim prosesleri için zaman sağlayacağı söylenebilir. Uzun mesafeler kirleticinin yeraltı suyundan uzak tutulmasına yardımcı olur.

Yeraltı suyu sınırlanmış, serbest ya da yarı sınırlanmış akifer koşullarında bulunabilir. Sınırlanmış akiferler mutlaka serbest akiferlerin altında bulunur. Bunun yanı sıra serbest akiferler yzeeye yakın yerlerde bulunmaları sebebiyle kirlenmeye karşı sınırlanmış akiferlere göre daha hassastırlar. Yarı sınırlanmış akiferler ise sınırlanmış ve serbest akiferlerin özelliklerini çeşitli oranlarda sergileyebilirler. Bu akiferlerin hassasiyeti, yeraltı suyu gradyanları ve akiferin sınırlılık derecesine göre değişim gösterir. DRASTIC yönteminde çalışılan akiferin yarı sınırlanmış olması durumunda, kullanıcı akiferi serbest veya sınırlanmış olarak değerlendirme konusunda seçim yapmak durumundadır (Aller ve diğ, 1987).

Akiferin serbest olduğu durumlarda yeraltı suyu derinliği, su tablasından yer seviyesine kadar olan mesafeyi ifade etmektedir. Akiferin sınırlanmış olduğu durumlarda ise bu uzaklığı, akiferin st sınırından yer seviyesine kadar olan uzaklık olarak tanımlamak daha doğru olur. Bunun sebebi su tablası ifadesinin, serbest akiferler için kullanılıyor olmasıdır (Aller ve diğ, 1987). Yeraltı suyu derinliği parametresi metre (m) birimi ile değerlendirilmektedir.

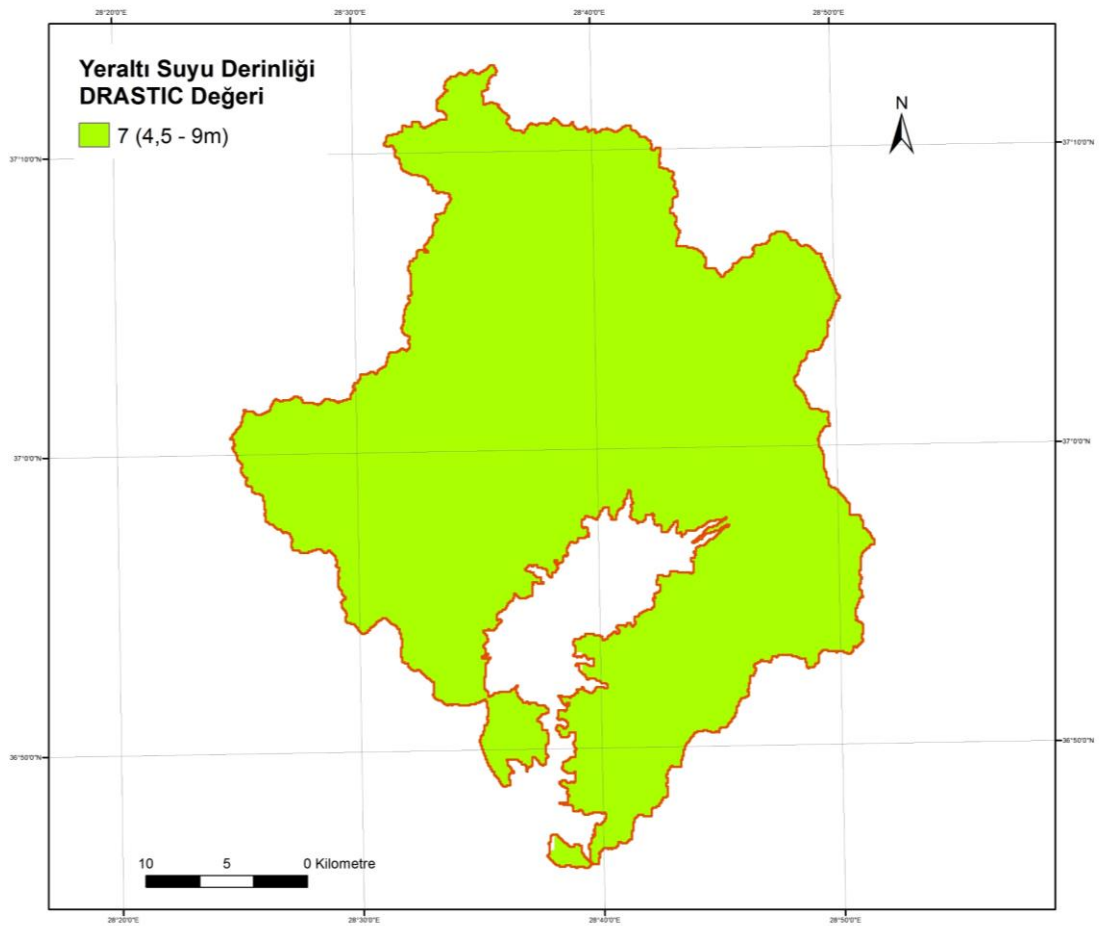
Avrupa Birliği (AB) Genesis Projesi (*Groundwater and Dependent Ecosystems: New Scientific and Technological Basis for Assessing Climate Change and Land-use Impacts of Groundwater*) İş Paketi 1 kapsamında yapılan çalışmalarla Kyeğiz Dalyan havzasında özellikle meskun bölgelerde birçok yeraltı suyu kuyusu bulunduğu ve ortalama olarak 5 m derinliğe sahip olup bu kuyuların çok çeşitli amaçlarla bölgeye su sağladığı raporlanmıştır. Kyeğiz-Dalyan Havzası'nda yeraltı suyu seviyesinin Mayıs ve Kasım ayları arasında 0,05 m ve 6,55 m arasında değiştiği belirtilmiştir (Gonenc ve Wolflin, 2005). Yeraltı suyu için DRASTIC haritası hazırlanırken yeraltı suyu derinliği için Genesis Projesi İş Paketi 1 kapsamında oluşturulan raporlardan faydalanılmıştır.

Yeraltı suyu derinliği parametresi için DRASTIC sınıfı ve sınıf değerleri Çizelge 4.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2 : Yeraltı Suyu Derinliği Parametresi DRASTIC Sınıfları ve Sınıf Değerleri.

Yeraltı Suyu Derinliği (m)	Sınıf Değeri
4,5-9	7

ArcMap ortamında elde edilen harita Şekil 4.3’te gösterilmektedir.



Şekil 4.3 : Yeraltı Suyu Derinliği Parametresi DRASTIC Değerlerini Gösteren Harita.

4.1.2 Net beslenme (R)

Beslenme, sızarak yeraltı suyuna ulaşan birim alandan geçen su miktarı olarak tanımlanır. Sızan su, dikey hareketiyle kirleticiyi akifere ulaştırırken yatay hareketiyle kirleticinin akifer içerisindeki hareketini sağlar. Buna ek olarak kirleticinin doymuş ve doymamış bölgelerdeki dispersiyon ve seyrelme için mevcut su miktarı bu parametre

tarafından belirlenir. Yöntemde kullanıldığı şekliyle beslenme, yer seviyesinden uygulanan ve sızarak su tablasına ulaşan net su miktarı olarak tanımlanır (Aller ve diğ, 1987).

Beslenme parametresinin tanımı serbest ve sınırlanmış akiferler için değişmemektedir. Akiferin serbest olduğu durumlarda beslenmenin kolaylıkla olması sebebiyle kirlenme potansiyeli akiferin sınırlanmış olduğu durumlara göre daha yüksektir. Sınırlanmış akiferlerde ise sınırlayıcı katmanların permeabilitesinin düşük olması sebebiyle bu katmanlar suyun akifere ulaşmasını geciktirerek akiferin kirleticilere karşı korunmasına yardımcı olur (Aller ve diğ, 1987).

Suyun kirleticileri akifere taşıyan asıl araç olduğu düşünüldüğünde beslenme miktarı ne kadar fazla olursa, kirlenme potansiyelinin o kadar yüksek olduğu söylenebilir. Bu değer seçilirken akifere ulaşan net su miktarını etkileyebilecek olan sulama ve atıksu miktarları da hesaba katılmalıdır. Beslenme miktarı mm/yıl biriminde ifade edilmektedir (Aller ve diğ, 1987).

Net beslenme değeri için Güzel (2010) tarafından hazırlanmış olan “Swat Modelinin Türkiye’deki Bir Havzada Uygulanması” isimli yüksek lisans tezi kapsamında yapılan çalışmalardan faydalanılmıştır. Bu çalışma kapsamında hassasiyet belirlemede süreç tabanlı yöntemlerden biri olan SWAT modeli, Köyceğiz-Dalyan Havzası için çalıştırılmıştır. Sonuç olarak 2007 yılı için elde edilen yüzeysel akış, yanal akış, yeraltı suyu akışı ve perkolasyon değerleri Çizelge 4.3’te gösterilmektedir.

DRASTIC Yöntemi kapsamında net beslenme değeri, sızarak yeraltı suyuna ulaşan net su miktarı olarak tanımlanmıştır. Bu sebeple Güzel (2010) tarafından yapılan çalışmadaki perkolasyon değeri, net beslenme değeri (453,87 mm/yıl) olarak alınmıştır.

Çizelge 4.3 : Köyceğiz-Dalyan Havzası 2007 Yılı için Simüle Edilmiş Aylık Değerler (Güzel, 2010).

Ay	Yağış (mm)	Yüzeysel Akış (mm)	Yanal Akış (mm)	Yeraltı Suyu Akışı (mm)	Perkolasyon (mm)
Ocak	106,65	31,75	11,56	26,88	32,49
Şubat	176,51	48,22	11,11	29,65	69,94

Çizelge 4.3 (devam) : Köyceğiz-Dalyan Havzası 2007 Yılı için Simüle Edilmiş Aylık Değerler (Güzel, 2010).

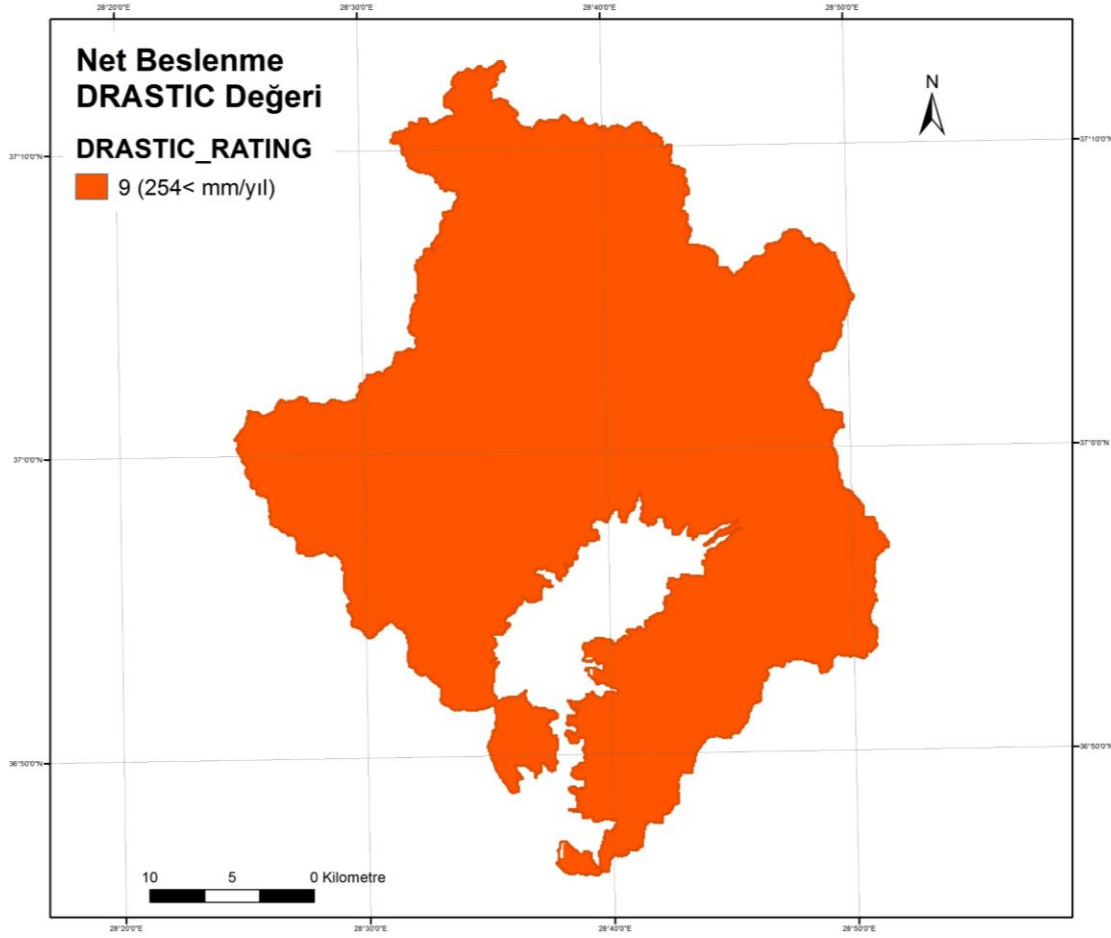
Mart	26,95	0,35	12,4	43,26	23,91
Nisan	42,13	7,85	11,52	34,14	18,85
Mayıs	26,94	0,09	11,27	23,1	17,16
Haziran	0,64	0	10,75	16,92	15,93
Temmuz	21,82	0	11,06	16,47	17,17
Ağustos	0	0	10,52	15,84	16,46
Eylül	0,25	0	9,97	15,03	15,94
Ekim	158	21,74	10,87	16,4	32,54
Kasım	195,38	51,69	12,18	28,2	68,25
Aralık	265,54	108,3	15,49	60,69	125,21
Toplam	1020,81	269,99	138,7	326,57	453,87

Net beslenme değerinin DRASTIC sınıfı ve sınıf değeri, Çizelge 4.4'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.4 : Net Beslenme Parametresi DRASTIC Sınıfları ve Sınıf Değerleri.

Net Beslenme (mm/yıl)	Sınıf Değeri
254 <	9

Elde edilen sınıf değerlerine göre net beslenme parametresi için ArcMap ortamında oluşturulan harita Şekil 4.4'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4 : Net Beslenme Parametresi DRASTIC Sınıfını Gösteren Harita.

4.1.3 Akifer ortamı (A)

Akifer, olağan hidrolik eğim altında önemli miktarda su ileten doygun jeolojik birim şeklinde tanımlanabilir (Freeze ve Cherry, 2003). Akiferlerde su granüler ve klastik kayacın gözeneklerinde, granüler veya klastik olmayan kayacın ise yarık ve açıklıklıklarında bulunur. Gözeneklerinde su bulunduran kayaç birincil poroziteye, suyun kayacı çözmesi sayesinde oluşan açıklıklarda su barındıran kayaçlar ise ikincil poroziteye sahiptir. Akifer içindeki akış, akifer ortamından etkilenmektedir (Aller ve diğ, 1987).

Akifer içindeki akış sistemi, kirleticinin gideceği rotayı ve bu rotanın uzunluğunu belirlemektedir. Rota uzunluğu ise kirleticinin giderim prosesleri için gereken zamanı etkilemektedir. Bunun yanı sıra akifer ortamı kirleticinin temas edeceği maddelerin efektif yüzey alanını belirlemektedir. Kayaçlardaki yarıklar ve birbirine bağlı açıklıklar ise suyun hareketine kolay yollar sağlayabilir. Özet olarak dane boyutunun büyük olması ve akifer ortamında yarıklar ve açıklıkların bulunması, permeabilitesi

daha yüksek bir ortam sağlar ve akiferin kirlenme potansiyelini yükseltir (Aller ve diğ, 1987). Akifer ortamı, kirleticinin akıbetini belirlemektedir (Yin ve diğ, 2012).

Akifer ortamı haritasının hazırlanması için Tansuğ ve Öztuna (1976) tarafından hazırlanmış olan Hidrolojik Etüd Raporu'ndaki Hidrojeoloji Haritası kullanılmıştır. Kullanılan harita jpeg resmi formatında olup DRASTIC değerlerinin hesaplanmasında kullanılması için öncelikle sayısallaştırılması ve jeoreferanslanması gerekmektedir. Bu işlemler için Google Earth, Autocad ve ArcMap programları birlikte kullanılmıştır.

Öncelikle Autocad programına jpeg resmi programın Yerleştirme (*Insert*) menüsündeki Raster Resmi Referansı (*Raster Image Reference*) komutu kullanılarak eklenir. Ardından Devamlı Çizgi (*Polyline*) komutu ile alan sınırları üzerinden geçen çokgenler çizerek harita sayısallaştırılmış olur. Ancak harita sayısallaşmış olmasına rağmen yanlış koordinatlar üzerindedir. Haritayı doğru koordinatlara oturtabilmek için Google Earth programından faydalanılmıştır. Köyceğiz Gölü'nü referans almak düşüncesiyle programda yeni bir yol oluşturulup gölün sınırları çizilmiştir. Ardından oluşturulan bu yol, kml uzantılı dosya formatında kaydedilmiştir. Bu dosyayı Autocad ortamında referanslama işleminde kullanmak için ise kullanımı tüm internet kullanıcılarına açık olan bir dönüştürücü program kullanılmıştır. Kml uzantılı dosya, bir şekil dosyasına (*Shape File*) dosyasına dönüştürülmüştür. Bu şekil dosyası ArcMap programında açılmış, katman üzerine sağ tıklayınca açılan menüdeki Aktar (*Export*) ve Cad'e Aktar (*Export to Cad*) komutları sırasıyla kullanılarak dosya autocad ortamında açılabilir ve referanslama işleminde kullanılmaya hazır bir formata gelmiştir. Sayısallaştırmayı yaptığımız Autocad dosyasına oluşturduğumuz dosya Düzenleme (*Edit*) menüsündeki Özgün Koordinatlara Yapıştır (*Paste to Original Coordinates*) komutu ile yapıştırılır. Bu işlemin ardından Hizalama (*Align*) komutu kullanılır ve Köyceğiz Gölü sınırları referans olarak kullanılarak sayısallaştırılmış olan harita doğru ölçeğe ve koordinat sistemine getirilmiş olur.

Doğru ölçeğe sahip ve doğru koordinatlara oturmuş sayısal harita ArcMap ortamında açılır. Katman üzerine sağ tıklayınca açılan Aktar (*Export*) menüsündeki Veri Aktar (*Export Data*) komutu kullanılarak dosya bir şekil dosyasına dönüştürülür. Bu adımlardan sonra izlenmesi gereken tek adım haritadaki devamlı çizgilerin (*Polyline*) çokgene (*Polygon*) dönüştürülmesi işlemidir. Bu işlem için ArcMap programında Veri Yönetimi (*Data Management*) menüsündeki Özellikler (*Features*) ve Özellikten Çokgene (*Feature to Polygon*) komutu seçilmelidir. Oluşan dosya tekrar bir şekil

dosyasına çevrilir. Böylece harita DRASTIC puanlandırmasının yapılmasına uygun bir hale gelmiş olmaktadır.

Sayısallaştırmanın ve puanlandırmanın yapılmasının ardından çokgen içeren özellik sınıfları hesaplamada kullanılabilmesi için raster formatına çevrilmelidir. Bunun için Araçlar penceresinde sırasıyla Çevrim Araçları (*Conversion Tools*), Rastera (*To Raster*) ve Çokgenden Raster'a (*Polygon to Raster*) seçilmiştir. Bu işlem yapılırken piksel boyutu diğer parametrelerle uyumlu olması için 90 m x 90 m olarak belirlenmiştir.

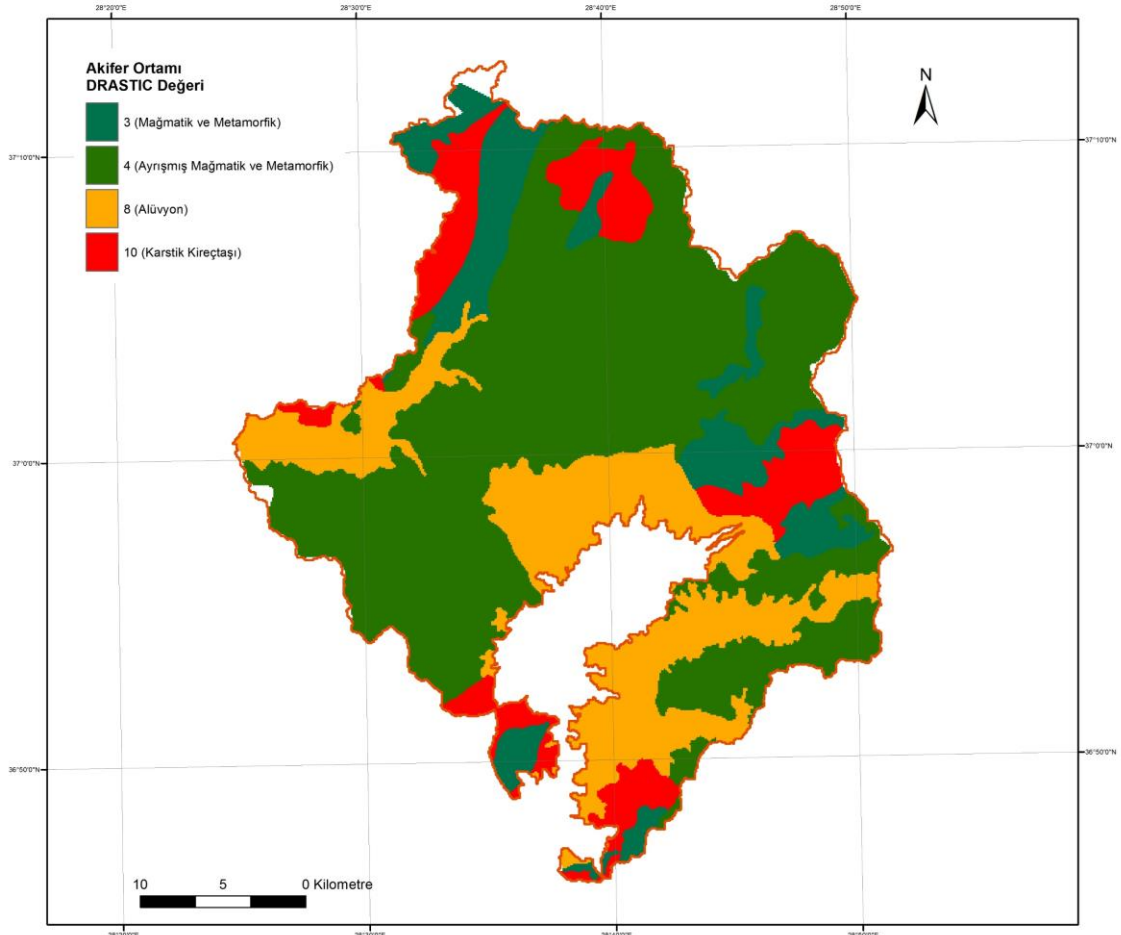
Tüm çokgen katmanlarının raster katmanlarına çevrilmesinin ardından bu raster katmanları Araçlar penceresindeki Veri Yönetimi Araçları (*Data Management Tools*), Raster (*Raster*), Verisini Rasterlaştır (*Raster Dataset*) ve Yeni Bir Rastera Mozaikleştir (*Mosaic to New Raster*) seçilerek birleştirilip tek bir raster dosyası elde edilmiştir.

Akifer ortamı parametresi için DRASTIC sınıfları ve sınıf değerleri Çizelge 4.5'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.5 : Akifer Ortamı Parametresi DRASTIC Sınıfları ve Sınıf Değerleri

Formasyon	DRASTIC Sınıfı	Sınıf Değeri
Serpantin ve Periyodit	Ayrışmış Mağmatik ve Metamorfik	4
Radyolarit, Diyabaz ve Fliş	Mağmatik ve Metamorfik	3
Silisli Kireçtaşı	Karstik Kireçtaşı	10
Fliş	Mağmatik ve Metamorfik	3
Dolomitik Kireçtaşı	Karstik Kireçtaş	10
Kireçtaşı	Karstik Kireçtaş	10
Mermer	Mağmatik ve Metamorfik	3
Kireçtaşı	Karstik Kireçtaşı	10
Amfibolit ve Kuvarsit	Mağmatik ve Metamorfik	3
Alüvyon	Kum ve Çakıl	8

Şekil 4.5'te ArcMap ortamında oluşturulan DRASTIC haritası görülebilir.



Şekil 4.5 : Akifer Ortamı Parametresi DRASTIC Değerlerini Gösteren Harita.

4.1.4 Toprak bünyesi (S)

Toprak bünyesi parametresi, doymamış bölgenin dikkate değer oranda biyolojik faaliyet içeren en üst bölümünü ifade etmektedir. Toprak bünyesi parametresinin net beslenme, potansiyel dispersiyon miktarı ve kirleticilerin giderim prosesleri üzerinde kayda değer miktarda etkisi vardır (Yin ve diğ., 2012). DRASTIC yönteminde toprak bünyesi ile ifade edilen, yer seviyesinden uzaklığı 1,5m veya daha az olan yeryüzü parçası ifade edilmektedir. Toprak parametresi, doymamış bölgeye sızan su miktarını ve doymamış bölgedeki suyun hareket kabiliyetini etkileyen bir parametredir.

Toprak bünyesinin siltli ve killi gibi ince maddelerle dolu olması toprağın permeabilitesini azalmasıyla kirletici hareketini engeller. Bunun yanı sıra toprak bünyesinin kalın olması, filtreleme, biyolojik ayrışma, sorpsiyon ve buharlaşma gibi proseslerin kayda değer miktarda gerçekleşmesini sağlar. Bu sebeple tarımsal faaliyetlerin bulunduğu durumlarda toprak parametresinin kirlenme potansiyeline

doğrudan etkisi vardır. Toprakta bulunan organik madde miktarı kullanılan pestisitlerin giderimine yardımcı olabilir (Aller ve diğ, 1987).

Toprak bileşimleri bölgeden bölgeye değişim göstermektedir. Toprak bileşiminin yanı sıra mevcut kilin tipi, bu kilin büyüme/küçülme potansiyeli ve dane boyutu da hassasiyeti etkiler. Büyüme ve küçülmenin fazla olması ve küçük dane boyutu, kirlenme potansiyelini düşürmektedir.

Köyceğiz-Dalyan Havzası toprak haritasının hazırlanmasında ISRIC (*International Soil Reference and Information Centre* – Dünya Toprak Referans ve Bilgi Merkezi) – Dünya Toprak Bilgileri (World Soil Information) kuruluşu tarafından yayımlanan Dünya Toprak Veri Seti kullanılmıştır. Yayımlanan veri seti 1 km x 1 km çözünürlüğünde olup toprağın 2,5 cm, 10 cm, 22,5 cm, 45 cm, 80 cm ve 150 cm kalınlıklarındaki katmanları için birçok parametreye dair bilgiyi içermektedir. Köyceğiz-Dalyan Havzası için DRASTIC toprak sınıflarının belirlenmesi amacıyla bu parametreler arasından kum, kil ve silt parametreleri seçilmiştir. Veri setinde bu parametreler yüzde cinsinden ve ortalama olarak verilmektedir.

Verilerin ait olduğu katman kalınlıklarının artışının sabit olmaması sebebiyle öncelikle kum, kil ve silt ortalama değerlerinin her birinin ağırlıklı ortalaması ArcMap ortamında hesaplanmıştır. Öncelikle veri setinde tiff resmi formatında bulunan kum, kil ve silt haritaları programda açılmış ve Bölüm 4.1.1’de anlatılmış olduğu gibi projeksiyonları yapılmıştır. Ardından bu hesaplamanın yapılabilmesi için Konumsal Analiz Araçları (*Spatial Analyst Tools*) başlığı altındaki Harita Algoritması (*Map Algebra*) ve Raster Hesaplayıcısı (*Raster Calculator*) sırasıyla seçilmiştir. Aşağıdaki ifade her bir parametre için kullanılarak ortalama değerlerin ağırlıklı ortalamaları hesaplanmıştır.

$$W_i = [W_{0-2,5} \times (5-0) + W_{2,5-10} \times (10-2,5) + W_{22,5-10} \times (22,5-10) + W_{45-22,5} \times (45-22,5) + W_{80-45} \times (80-45) + W_{150-80} \times (150-80)] / 6$$

W_i : Kil, kum ve silt parametrelerinin her biri için ortalamaların ağırlıklı ortalaması

$W_{0-2,5}$: Her bir parametrenin 0 - 2,5 cm kalınlıktaki bölgesi için ortalama değeri

$W_{2,5-10}$: Her bir parametrenin 2,5 - 10 cm kalınlıktaki bölgesi için ortalama değeri

$W_{10-22,5}$: Her bir parametrenin 10 - 22,5 cm kalınlıktaki bölgesi için ortalama değeri

$W_{22,5-45}$: Her bir parametrenin 22,5 - 45 cm kalınlıktaki bölgesi için ortalama değeri

W₄₅₋₈₀ : Her bir parametrenin 45 - 80 cm kalınlıktaki bölgesi için ortalama değeri

W₈₀₋₁₅₀ : Her bir parametrenin 80-150 cm kalınlıktaki bölgesi için ortalama değeri

Her bir parametrenin ortalama değerlerinin ağırlıklı ortalamaları hesaplanarak 1 km x 1 km çözünürlüğünde yeni kum, kil ve silt haritaları elde edilmiştir. Bu haritaları hesaplamada kullanmadan önce doğru ve kesin sonuçlara ulaşabilmek için raster hesaplayıcısının değerleri tam değer şeklinde okumaması ve her bir piksel için kum, kil, silt yüzdelerinin toplamının 100 değerine eşit olması gerekmektedir. Bunu sağlamak için aşağıdaki ifade raster hesaplayıcısında kullanılarak her bir harita değerleri ondalıklı hale getirilerek bu değerlerin 100'e normalize edilmesi sağlanmıştır.

$$Float(Float("Harita1") * Float(Float(100) / Float("Harita2")))$$

Harita1: Kum, kil veya silt ortalamalarının ağırlıklı ortalaması haritası

Harita2: Kum, kil ve silt ortalamalarının ağırlıklı ortalaması haritalarının toplamı

DRASTIC indeksinin hesaplanmasında kullanılacak olan tüm parametre haritaları aynı çözünürlükte olmalıdır. Bu sebeple tüm haritaların mevcut verilerden en büyük çözünürlüğe sahip olan eğim haritası çözünürlüğüne (90 m x 90 m) getirilmesi gerekmektedir. Bunun için ArcMap programında Araçlar penceresinde Veri Yönetimi Araçları (*Data Management Tools*) içerisinde sırasıyla Raster (*Raster*), Raster İşlemleri (*Raster Processing*) ve Yeniden Örneklendirme (*Resample*) seçilerek her bir harita 90 m x 90 m çözünürlüğünde yeniden hesaplanmıştır.

Elde ettiğimiz 90 m x 90 m çözünürlüğündeki kum, kil ve silt haritaları, DRASTIC sınıflarının bulunmasında kullanılmak için hazırdır. Bu sınıfların bulunabilmesi için Aller ve diğerleri (1987) tarafından atıfta bulunulan ve 1987 yılında Birleşik Devletler Tarım Bakanlığı, Ulusal Kaynakları Koruma Servisi (*Unites States Department of Agriculture, National Resources Conservation Service*) tarafından geliştirilen Toprak Tekstür Üçgeni (USDA, 1987) kullanılacaktır. Yalnız öncelikle toprağın hangi bölgelerinin mineral toprak, hangi bölgelerinin organik toprak olduğuna karar vermek gerekmektedir.

Toprakta organik toprak sınıfına giren bölgelerin tayini için gene Ulusal Kaynakları Koruma Servisi tarafından yayımlanan Toprak Sınıflarının Belirlenmesi Anahtarları

(*Keys to Soil Taxonomy*) (USDA, 2010) dökümanındaki mineral toprak tanımından faydalanılmıştır. Bu ifadeler aşağıdaki gibidir:

- (1) %20'den daha az organik karbon içeriğine sahip topraklar veya,
- (2) Organik karbon içeriği %18'den daha az ve kil içeriği %60'a eşit ve daha fazla olan topraklar veya,
- (3) Organik karbon içeriği %12'den az ve kil içeriği %0 olan topraklar veya,
- (4) Organik karbon içeriği $[12 + (\text{Kil içeriği} \times 0,1)]$ 'den daha az ve kil içeriği %60'dan az olan topraklar.

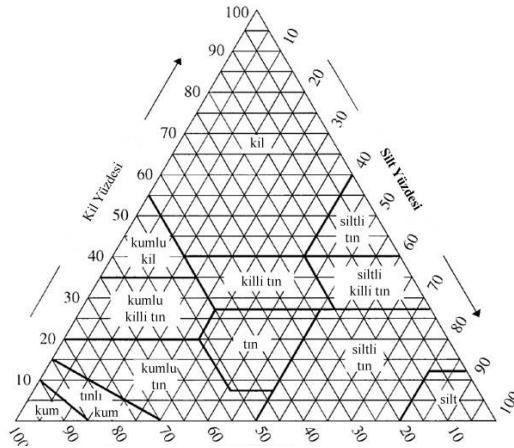
Bu ifadeleri sağlayan alanlar mineral toprak, sağlamayan alanlar ise organik toprak olarak tanımlanmıştır. İfadeler, aşağıdaki şekilde formüle edilmiş ve raster hesaplayıcısından hesaplanmıştır.

- (1) $(\text{"Harita1"} / 10) < 20$
- (2) $((\text{"Harita1"} / 10) < 18) \& (\text{"Harita2"} \geq 60)$
- (3) $((\text{"Harita1"} / 10) < 12) \& (\text{"Harita2"} == 0)$
- (4) $((\text{"Harita1"} / 10) < (12 + (\text{"Harita2"} * 0.1))) \& (\text{"Harita2"} < 60)$

Harita1: Organik karbon ortalamalarının ağırlıklı ortalaması (Binde cinsinden)

Harita2: Kil ortalamalarının ağırlıklı ortalaması (Yüzde cinsinden)

Bu ifadelerin raster hesaplayıcında kullanılmasının ardından Köyceğiz-Dalyan bölgesinde organik toprak sınıfına dahil olan bir alan bulunmadığı görülmüştür. Bu hesaptan sonra toprak tekstürü üçgeni kullanılarak toprak sınıfları belirlenmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 : Toprak Tekstürü (Bünyesi) Üçgeni (USDA, 1987).

Toprak Bünyesi Üçgeni'nin matematiksel ifadeleri Ulusal Kaynakları Koruma Servisi tarafından yayımlanmıştır. Bu ifadeler ArcMap raster hesaplayıcısının diline uygun hale aşağıda yazıldığı şekliyle getirilmiştir.

- (1) Kil: $((\text{"Harita1"} \geq 40) \& (\text{"Harita2"} \leq 45) \& (\text{"Harita3"} < 40))$
- (2) Kumlu Kil: $((\text{"Harita1"} \geq 35) \& (\text{"Harita2"} > 45))$
- (3) Siltli Kil: $((\text{"Harita1"} \geq 40) \& (\text{"Harita3"} \geq 40))$
- (4) Kumlu Killi Tın: $((\text{"Harita1"} \geq 20) \& (\text{"Harita1"} < 35)) \& (\text{"Harita3"} < 28) \& (\text{"Harita2"} > 45))$
- (5) Killi Tın: $((\text{"Harita1"} \geq 27) \& (\text{"Harita1"} < 40)) \& ((\text{"Harita2"} > 20) \& (\text{"Harita2"} \leq 45))$
- (6) Siltli Killi Tın: $((\text{"Harita1"} \geq 27) \& (\text{"Harita1"} < 40)) \& (\text{"Harita2"} \leq 20))$
- (7) Kum: $((\text{"Harita3"} + 1.5 * \text{"Harita1"}) < 15)$
- (8) Tınlı Kum: $((\text{"Harita3"} + 1.5 * \text{"Harita1"} \geq 15) \& (\text{"Harita3"} + 2 * \text{"Harita1"} < 30))$
- (9) Kumlu Tın: $((\text{"Harita1"} \geq 7) \& (\text{"Harita1"} < 20)) \& (\text{"Harita2"} > 52) \& ((\text{"Harita3"} + 2 * \text{"Harita1"}) \geq 30) \mid ((\text{"Harita1"} < 7) \& (\text{"Harita3"} < 50) \& (\text{"Harita3"} + 2 * \text{"Harita1"} \geq 30))$
- (10) Tın: $((\text{"Harita1"} \geq 7) \& (\text{"Harita1"} < 27)) \& ((\text{"Harita3"} \geq 28) \& (\text{"Harita3"} < 50)) \& (\text{"Harita2"} \leq 52))$
- (11) Siltli Tın: $((\text{"Harita3"} \geq 50) \& ((\text{"Harita1"} \geq 12) \& (\text{"Harita1"} < 27))) \mid ((\text{"Harita3"} \geq 50) \& (\text{"Harita3"} < 80)) \& (\text{"Harita1"} < 12))$
- (12) Silt: $((\text{"Harita3"} \geq 80) \& (\text{"Harita1"} < 12))$

Harita1: Kil ortalamalarının ağırlıklı ortalaması (yüzde cinsinden)

Harita2 : Kum ortalamalarının ağırlıklı ortalaması (yüzde cinsinden)

Harita3 : Silt ortalamalarının ağırlıklı ortalaması (yüzde cinsinden)

Bu ifadelerin kullanılmasının ardından raster hesaplayıcısı çıktı olarak şartları sağlayan alanları 1 değeri, sağlamayan alanları ise 0 değeri ile gösteren haritalar

üretmektedir. Bu hesaplamanın ardından elde edilen haritalar raster hesaplayıcısında aşağıdaki ifade kullanılarak bir araya getirilmiş ve toprak haritası elde edilmiştir.

$$Int("Harita1")+(2*Int("Harita2"))+(3*Int("Harita3"))+(4*Int("Harita4"))+(5*Int("Harita5"))+(6*Int("Harita6"))+(7*Int("Harita7"))+(8*Int("Harita8"))+(9*Int("Harita9"))+(10*Int("Harita10"))+(11*Int("Harita11"))+(12*Int("Harita12"))$$

Harita1: Kil sınıfına ait toprakları gösteren harita

Harita2: Kumlu kil sınıfına ait toprakları gösteren harita

Harita3: Siltli kil sınıfına ait toprakları gösteren harita

Harita4: Kumlu killi tın sınıfına ait toprakları gösteren harita

Harita5: Killi tın sınıfına ait toprakları gösteren harita

Harita6: Siltli killi tın sınıfına ait toprakları gösteren harita

Harita7: Kum sınıfına ait toprakları gösteren harita

Harita8: Tınlı Kum ait toprakları gösteren harita

Harita9: Kumlu tın sınıfına ait toprakları gösteren harita

Harita10: Tın sınıfına ait toprakları gösteren harita

Harita11: Siltli tın sınıfına ait toprakları gösteren harita

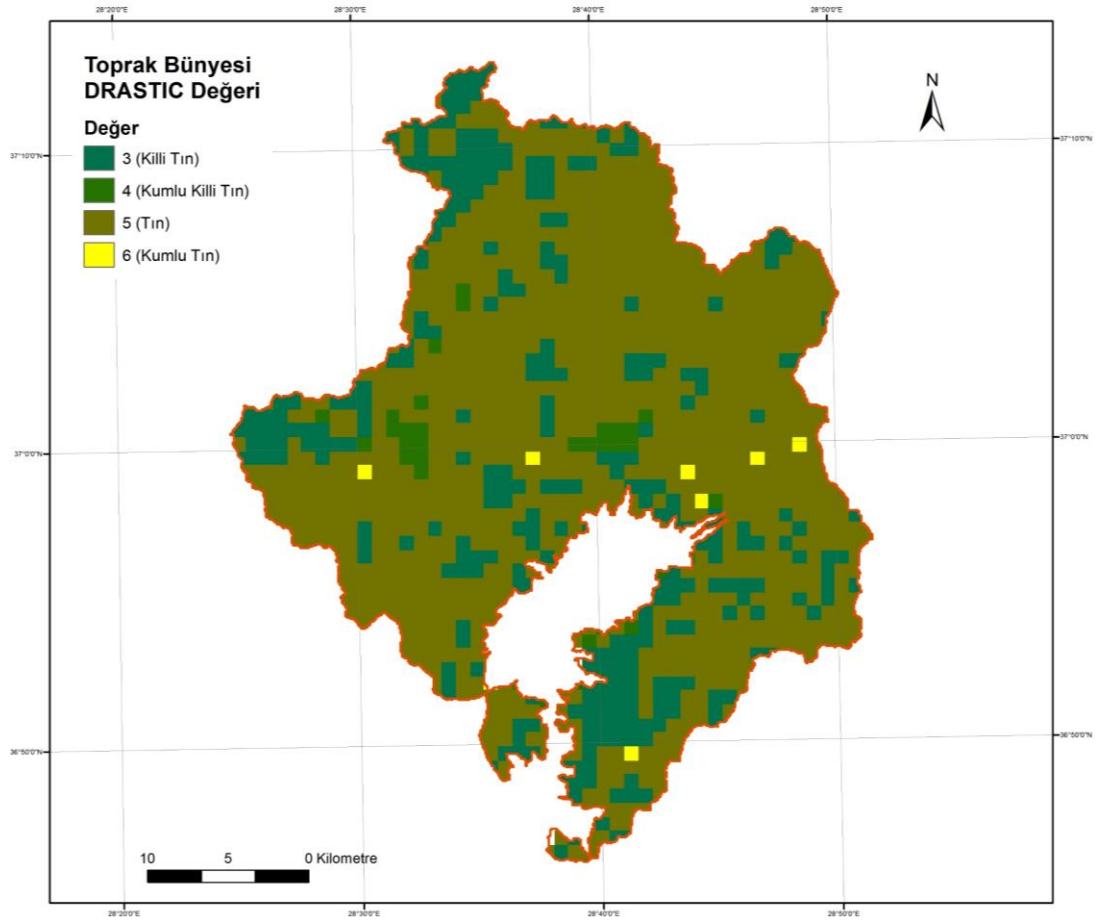
Harita12: Silt sınıfına ait toprakları gösteren harita

Toprak bünyesi parametresi için DRASTIC sınıfları ve sınıf değerleri aşağıdaki Çizelge 4.6’da gösterildiği şekilde düzenlenmiştir.

Çizelge 4.6 : Toprak Bünyesi Parametresi DRASTIC Sınıfları ve Sınıf Değerleri.

Toprak Bünyesi	Sınıf Değeri
Kumlu Tın	6
Tın	5
Kumlu Killi Tın	4
Killi Tın	3

Elde edilen toprak bünyesi DRASTIC haritası Şekil 4.7’de gösterilmektedir.



Şekil 4.7 : Toprak Bünyesi Parametresi DRASTIC Değerlerini Gösteren Harita.

Eğim parametresi ile, isminden de anlaşılabileceği gibi yüzey eğimi ve eğim değişimi ifade edilmektedir. Eğim, yüzeysel akışa geçen suyun yüzeyde kalma süresini belirlemekte, bu bağlamda kirleticinin sızma yoluyla akifere ulaşmasını etkilemektedir (Aller ve diğ., 1987). Düşük eğimli arazilerde yüzeysel su yüzeyde uzun süre kalabildiği için kirlenme potansiyeli artmakta, tam tersi durumda ise suyun akış hızının artması sebebiyle kirleticinin toprak bünyesinden akifere doğru düşey hareketi için sahip olduğu zaman yetersiz olmakta ve hassasiyet azalmaktadır (Büyükdemirci, 2012).

Köyceğiz-Dalyan Havzası için eğim haritasının elde edilmesinde Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından yürütülen SRTM (*Shuttle Radar topography Mission*) projesi kapsamında paylaşılan 90 m x 90 m çözünürlüğündeki Dijital Yükseklik Modeli'nden faydalanılmıştır. Dijital Yükseklik Modeli eğim haritasını oluşturmak için bir altlık olarak kullanılmış ve programın konumsal analiz

araçlarından biri olan eğim analizi aracı kullanılarak arazinin yüzde olarak eğimini gösteren eğim haritası elde edilmiştir.

Öncelikle Araçlar penceresinden Konumsal Analiz Araçları (*Spatial Analyst Tools*) seçilmiş, ardından Yüzey (*Surface*) araçları içerisinde Eğim (*Slope*) analizcisine ulaşılmıştır. Aller ve diğerleri (1987) tarafından belirlenen özgün Eğim sınıflarına uyulması amacıyla eğim analizcisindeki Çıktı Ölçü Birimi (*Output Measurement*) yüzdesel yükselme (*Percent Rise*) olarak seçilmiştir.

Eğim haritası elde edildikten sonra harita için bir Öznitelik Çizelgesi (*Attribute Table*) oluşturulması ihtiyacı doğmuştur. Bunun için Konumsal Analiz Araçları (*Spatial Analyst Tools*) başlığı altındaki Harita Algoritması (*Map Algebra*) ve Raster Hesaplayıcısı (*Raster Calculator*) sırasıyla seçilmiştir. Raster hesaplayıcısında aşağıdaki ifade kullanılarak öznitelik çizelgesine sahip bir eğim haritası elde edilmiştir.

$$Int("EğimHaritası")$$

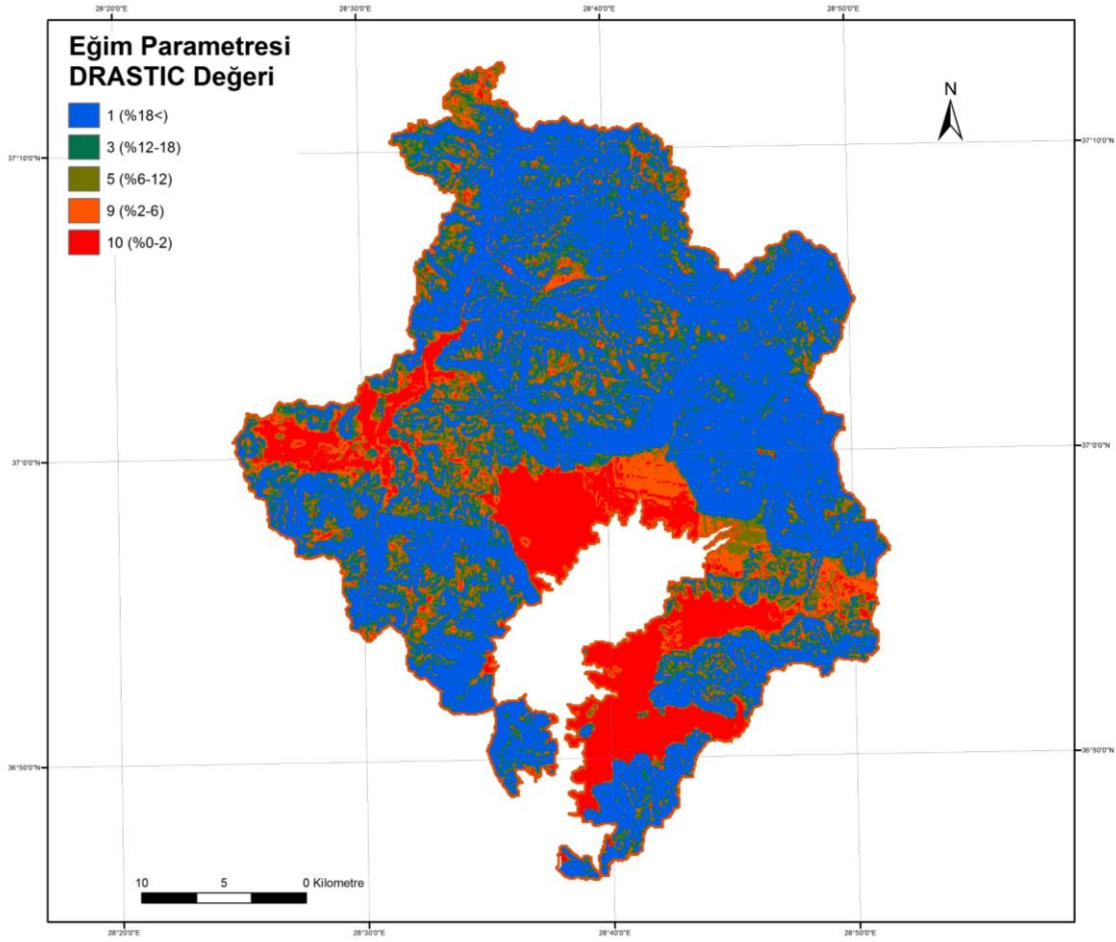
Bu ifadenin raster hesaplayıcısıyla uygulanmasının ardından haritanın simgesel gösterimi Çizelge 4.7’de gösterilen özgün sınıflandırmaya uygun olarak tekrar düzenlenmiştir.

Çizelge 4.7 : Eğim Parametresi için DRASTIC Sınıfları ve Sınıf Değerleri.

Eğim (%)	Sınıf Değeri
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
18 <	1

Yukarıda tarif edilmiş olan adımların uygulanmasının ardından Şekil 4.8’de görülen eğim haritası elde edilmiştir. Düşük eğim değerine sahip alanlar turuncu ve kırmızı renklerle, yüksek eğim değerine sahip alanlar ise koyu renklerle simgelenmiştir.

Düşük eğim değeri, kirleticinin sızmaya geçmesi için yeterli zamana sahip olmasını kolaylaştırması sebebiyle yüksek DRASTIC indeks değerini işaret etmektedir.



Şekil 4.8 : Eğim Parametresi DRASTIC Değerlerini Gösteren Harita.

4.1.6 Doymamış bölge etkisi (I)

Doymamış bölge, su tablasının üzerinde bulunan ve suya doymamış veya yarı doymuş olan bölgeye denilmektedir. Bu bölgenin tipi su tablası ile toprak bölgesi arasında kalan alanda gerçekleşen giderim proseslerini belirlemektedir. Biyolojik ayrışma, nötralizasyon, mekanik filtreleme, çeşitli kimyasal reaksiyonlar, buharlaşma ve dispersiyon gibi prosesler doymamış bölgede gerçekleşebilir. Bölge karakteristikleri suyun rotasını belirlemekte, dolayısıyla kirleticinin akifere ulaşana kadar geçireceği süreyi belirlemektedir. Daha önce de belirtildiği gibi bu süre, giderim prosesleri için gereklidir. Doymamış bölge permeabilitesi de kirlenme potansiyeline etki etmektedir (Yin ve diğ., 2012). Ortamda yarıkların bulunması durumunda suyun akifere ulaşana dek geçtiği yol kısaltılmaktadır. Özetle ortamın geciktirici özellikleri varsa, kirlenme potansiyeli düşmektedir (Aller ve diğ., 1987).

Doymamış bölgenin kalın olmasının kirlenme potansiyeline iki yönlü etkisi bulunmaktadır. Suyun geçeceği yolun uzun olması sebebiyle giderim prosesleri için gereken sürenin artması kirlenme potansiyelini düşürmektedir. Ancak ortamda yarıklar varsa gereken süre sağlanamaz ve kirlenme potansiyeli artar (Aller ve diğ, 1987).

Serbest ve sınırlanmış akiferler için doymamış bölge parametresinin tanımı ufak farklılıklar göstermektedir. Serbest akiferler için bu uzunluk su tablasından üst sınırından toprak bünyesine kadar suya doymamış olan tüm katmanları ihtiva eder. Sınırlanmış akiferler için ise su tablası terimi kullanılamayacağı için bu ifade akiferin üst sınırından toprak bünyesine kadar olan katmanları ifade etmektedir. Bu ifadeye göre sınırlanmış akiferler için sınırlayıcı katman, doymamış bölge sınırlarına dâhil edilmektedir. Yöntem, sınırlayıcı katmanın bu bölgede kirlenme potansiyelini en çok etkileyen katman olması sebebiyle bu katman özelliğinin doymamış bölge özelliği olarak değerlendirilmesi gerektiğini ifade etmektedir (Aller ve diğ, 1987).

Köyceğiz-Dalyan Havzası doymamış bölge etkisi haritasının hazırlanabilmesi için akifer ortamı parametresinin haritasının hazırlanmasında kullanılan Tansuğ ve Öztuna (1976) tarafından hazırlanmış olan hidrojeoloji haritasından faydalanılmıştır. Akifer ortamı parametresinin haritası oluşturulurken sayısallaştırılmış olan haritanın sınıfları, doymamış bölge etkisi parametresi DRASTIC yöntemi sınıfları ile uyumlulaştırılmıştır.

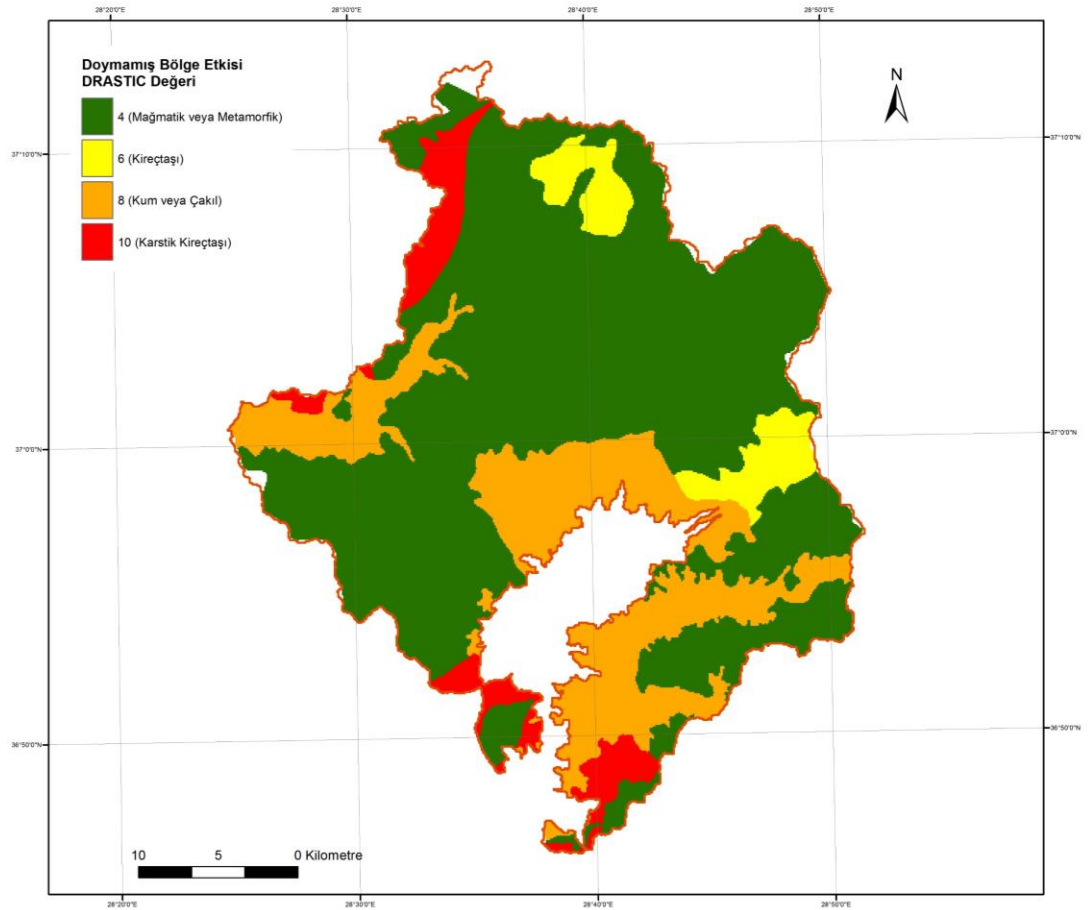
Doymamış bölge etkisi için DRASTIC sınıfları ve sınıf değerleri Çizelge 4.8’de, elde edilen DRASTIC haritası Şekil 4.9’da gösterilmektedir.

Çizelge 4.8 : Doymamış Bölge Etkisi Parametresi DRASTIC Sınıfları ve Sınıf Değerleri

Formasyon	DRASTIC Sınıfı	Sınıf Değeri
Mermer	Mağmatik veya Metamorfik	4
Kireçtaşı	Karstik Kireçtaşı	10
Amfibolit ve Kuvarsit	Mağmatik veya Metamorfik	4
Alüvyon	Kum veya Çakıl	8

Çizelge 4.8 (devam) : Doymamış Bölge Etkisi Parametresi DRASTIC Sınıfları ve Sınıf Değerleri

Serpantin ve Periyodit	Magmatik veya Metamorfik	4
Radyolarit, Diyabaz ve Fliş	Mağmatik veya Metamorfik	4
Silisli Kireçtaşı	Kireçtaşı	6
Fliş	Magmatik veya Metamorfik	4
Dolomitik Kireçtaşı	Kireçtaşı	6

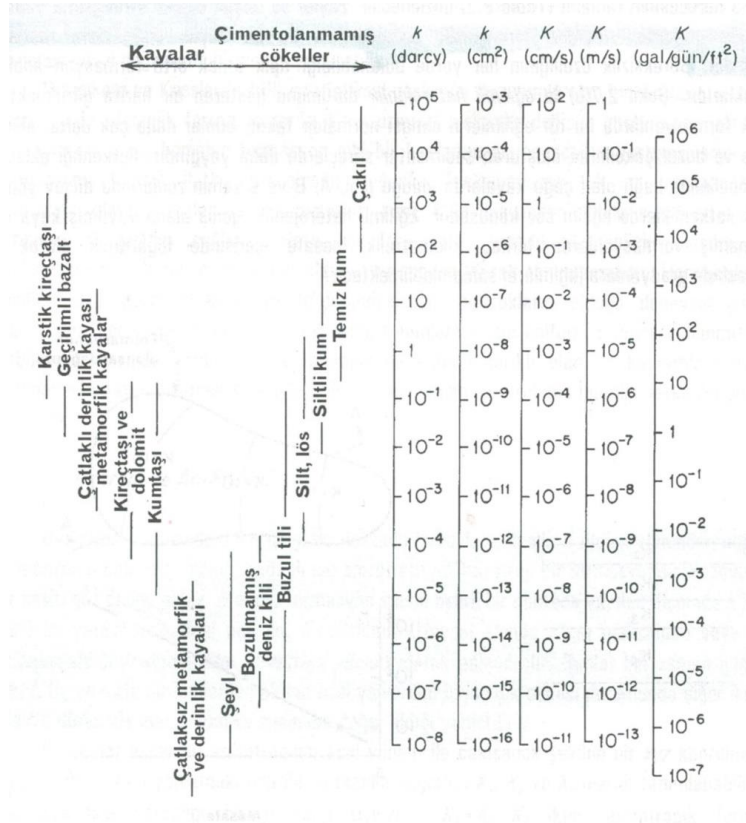


Şekil 4.9 : Doymamış Bölge Etkisi Parametresi DRASTIC Değerlerini Gösteren Harita.

Hidrolik iletkenlik akiferin suyu iletebilme kabiliyetidir. Bu parametre yeraltı suyunun belirli bir gradyan altında hangi hızda akacağını belirlemektedir. Akifer içerisindeki boşlukların ve bu boşlukların birbiriyle olan bağlantısının miktarı hidrolik iletkenliği etkilemektedir (Aller ve diğ, 1987).

Hidrolik iletkenlik akifer pompalama deneyleri yardımıyla hesaplanmaktadır. Tüm parametreler arasında bu parametre, hakkında veri bulunması en zor olan parametredir. Hidrolik iletkenlik m/gün birimi ile ifade edilmektedir (Aller ve diğ, 1987).

Hidrolik iletkenlik sınıf değerlerinin bulunması için akifer ortamı parametresi çalışmaları kapsamında sayısallaştırılan hidrojeoloji haritasından ve Freeze ve Cherry (2003) tarafından hazırlanmış olan hidrolik iletkenlik ve permeabilite değerlerinin değişim aralığı tablosundan yararlanılmıştır (Şekil 4.10).

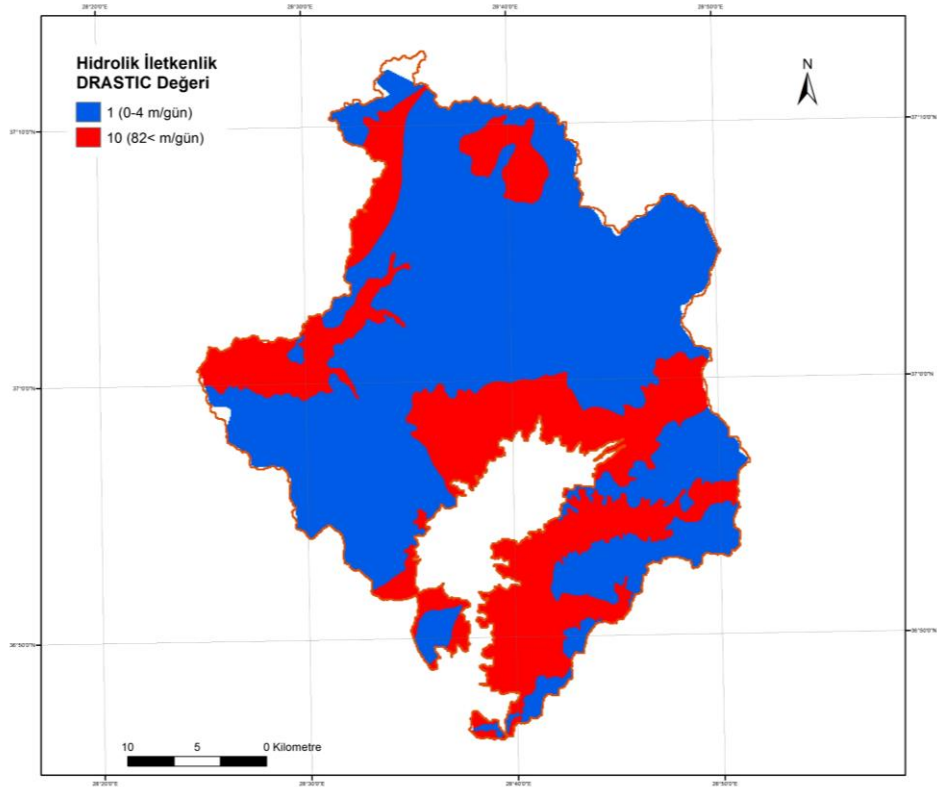


Şekil 4.10 : Hidrolik İletkenlik ve Permeabilite Değerlerinin Değişim Aralığı (Freeze ve Cherry, 2003).

Akifer ortamı haritasında görülen formasyon sınıflarına uygun hidrolik iletkenlik değerleri, Şekil 4.10 yardımıyla seçilmiştir. Şekil 4.10'da çeşitli formasyonların hidrolik iletkenlikleri için değer aralıkları verilmektedir. Her formasyona uygun hidrolik iletkenlik değerinin bulunması için bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Hidrolik iletkenlik parametresi için tablo yardımıyla hesaplanan değerler ve DRASTIC sınıf değerleri Çizelge 4.9'da gösterilmektedir. Hidrolik iletkenlik için elde edilen DRASTIC haritası ise Şekil 4.11'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.9 : Hidrolik İletkenlik Parametresi DRASTIC Değerleri.

Formasyon	Hidrolik İletkenlik (m/gün)	Sınıf Değeri
Mermer	1,7	1
Kireçtaşı	432	10
Amfibolit ve Kuvarsit	$4,32 \times 10^{-6}$	1
Alüvyon	500,5	10
Serpantin ve Periyodit	$8,64 \times 10^{-6}$	1
Radyolarit, Diyabaz ve Fliş	$4,32 \times 10^{-6}$	1
Silisli Kireçtaşı	432	10
Fliş	$8,64 \times 10^{-6}$	1
Dolomitik Kireçtaşı	432	10
Kireçtaşı	432	10

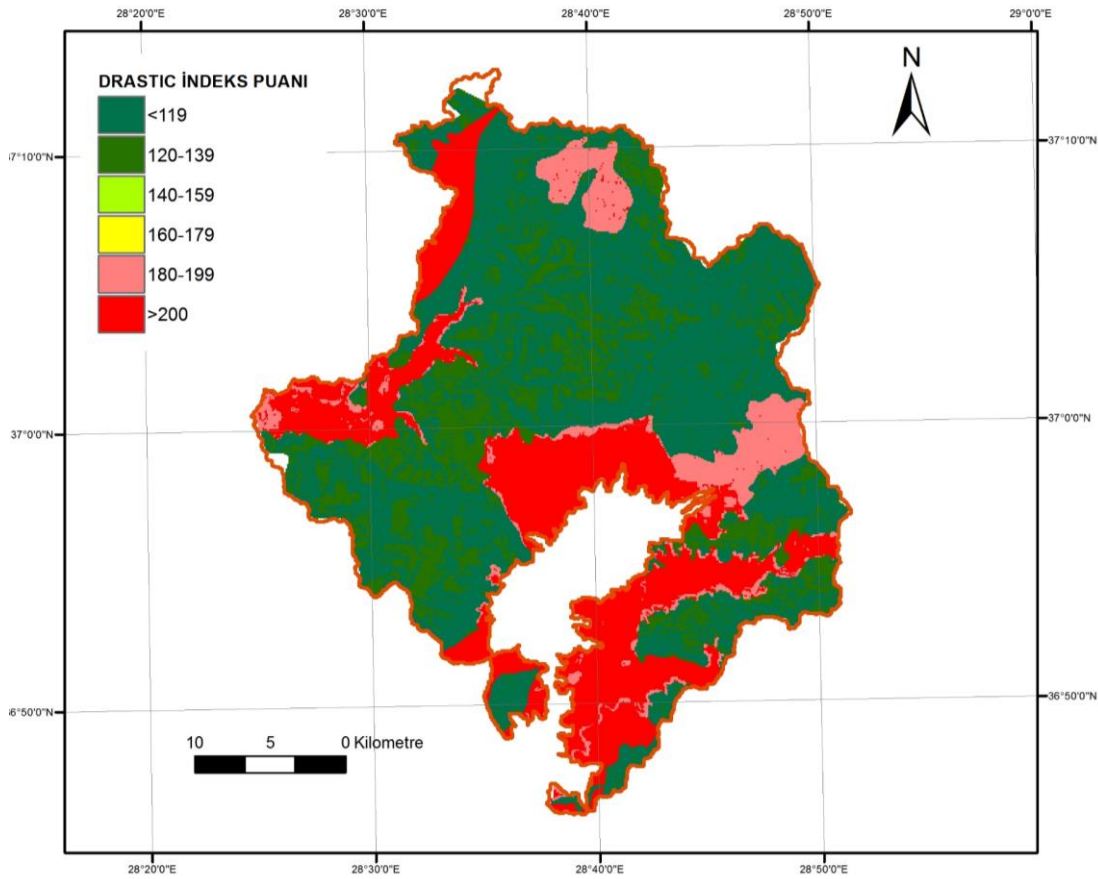


Şekil 4.11 : Hidrolik İletkenlik Parametresi DRASTIC Değerlerini Gösteren Harita.

4.2 DRASTIC Hassasiyet İndeks Haritası

Bu çalışmanın yapılma amacı Köyceğiz-Dalyan Havzasının yeraltı suyu kirlenme potansiyelinin belirlenmesidir. Bu potansiyelin belirlenmesi için yaygın bir kullanımı olan DRASTIC yönteminin adımları takip edilmiştir. DRASTIC yönteminin seçilmesinin sebebi yöntemin kolay anlaşılabilir ve uygulanabilir olmasının yanı sıra kullanıcının tecrübe ve yargılarını sürece katmasına imkan tanımasıdır. Bunun yanı sıra girdi olarak kullanılan verilerdeki değişiklik, oluşturulan haritalara kolaylıkla yansıtılabilmektedir.

tüm parametrelerin ayrı ayrı ArcMap ortamında DRASTIC sınıf puanı haritalarının hazırlanmıştır. Ardından yine ArcMap ortamından bu yedi harita bir araya getirilmiş, ağırlıklandırılmış ve alana ait DRASTIC hassasiyet indeksi raster hesaplayıcısı yardımıyla hesaplanmıştır. Harita Şekil 4.12’de görülmektedir.

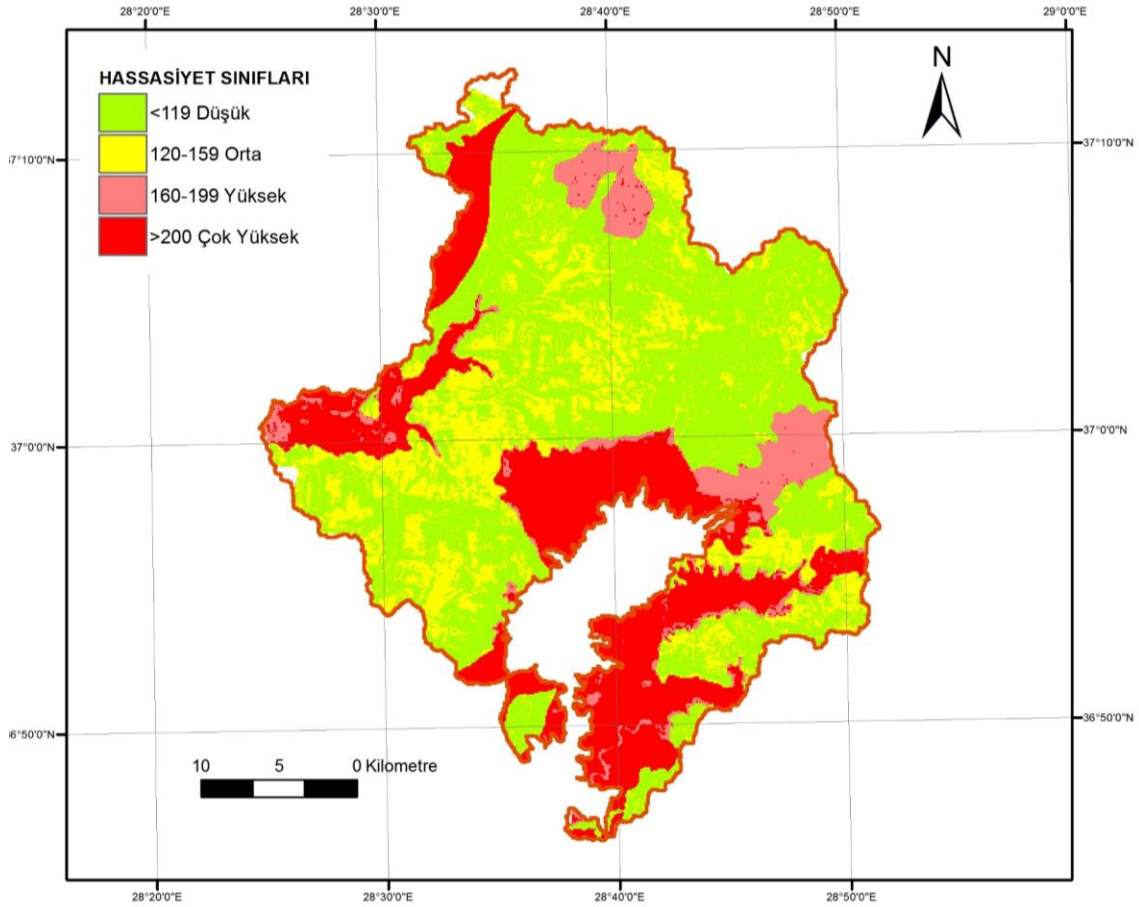


Şekil 4.12 : DRASTIC Hassasiyet İndeks Haritası.

Çalışma kapsamında yeraltı suyu derinliği ve net beslenme için elde edilebilen ve değerlendirilen veriler sınırlıdır. Bu sebeple akifer ortamı, doymamış bölge etkisi,

toprak bünyesi ve hidrolik iletkenlik parametreleri hassasiyetin belirlenmesine etken durumdaki parametrelerdir. Bu parametreler arasında doymamış bölge etkisi en yüksek ağırlık değerine sahiptir. Köyceğiz-Dalyan havzası jeolojik olarak karstik özellik göstermektedir (Gonenc ve Wolflin, 2005). Eğimin kirleticinin yeraltı suyuna sızmasını kolaylaştıracak şekilde düşük olduğu ve jeolojik yapının karstik olduğu bölgelerin en yüksek hassasiyet gösteren bölgeler olduğu görülmektedir. Eğim değerinin yüksek, jeolojik yapının magmatik veya metamorfik olduğu bölgelerde ise bu hassasiyetin daha düşük olduğu söylenebilir.

Aller ve diğerleri (1987), hassasiyet sınıflandırması için değer aralıkları belirtmemektedir. Yaygın şekilde kullanılagelen sınıflandırma beş farklı hassasiyet sınıfından oluşmaktadır (Gogu ve diğ, 2003). Bu sınıflar ve sınıf indeks puan aralıkları Çok Yüksek (>200), Yüksek (199-160), Orta (159-120), Düşük (79-119) ve Çok Düşük (<79) şeklindedir. Hassasiyet indeks haritasının hazırlanmasının ardından tekrar sınıflandırma yapıldığında ortaya çıkan DRASTIC hassasiyet haritası Şekil 4.13'te gösterilmektedir.



Şekil 4.13 : DRASTIC Hassasiyet Haritası.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

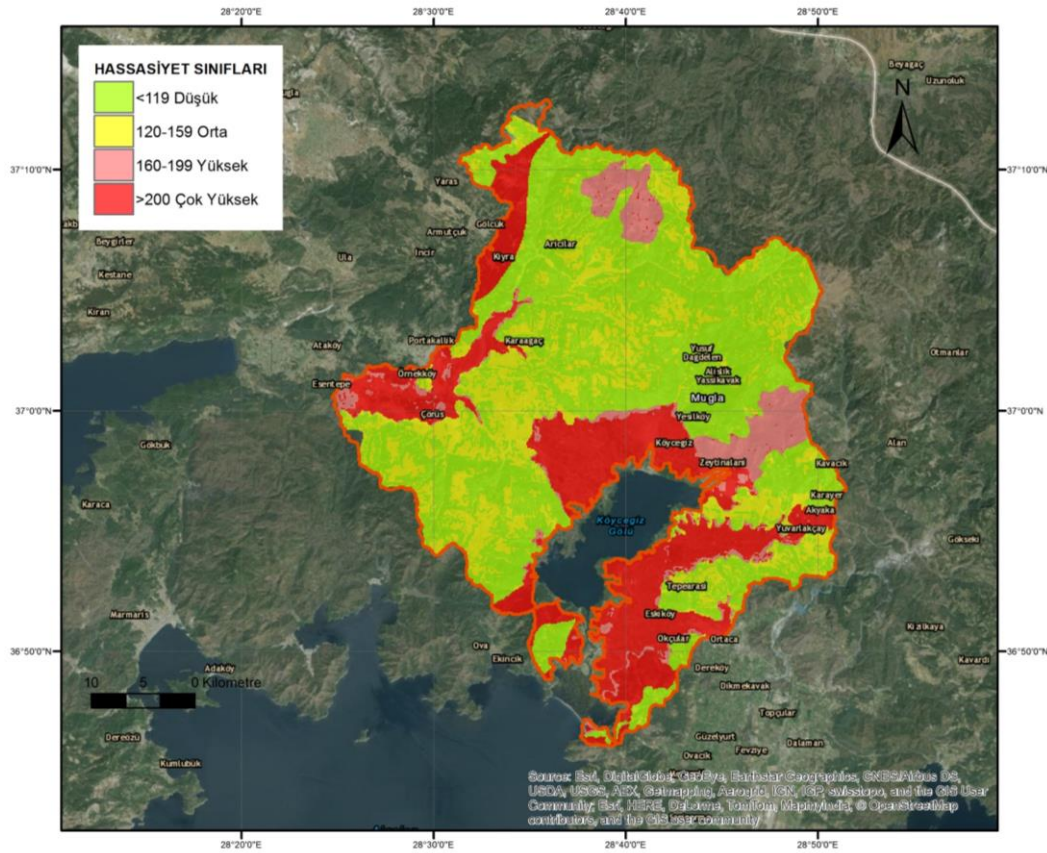
Bu çalışma kapsamında DRASTIC Yeraltı Suyu Hassasiyet Haritasının hazırlandığı Köyceğiz-Dalyan Havzası 940 km² büyüklüğündedir. Havzanın toplam alanının %24,4'ünün çok yüksek hassasiyet sınıfına girdiği görülmektedir. Böylece toplamda 229,8 km²'lik bir alan kaplayan ve bu hassasiyet sınıfına giren bölgelerin mühadale planlarında ilk etapta değerlendirilmesi gereken alanlar olduğu ortaya çıkarılmıştır. Yüksek hassasiyet sınıfına ait bölgeler ise çalışma alanının hassasiyet sınıfı alansal dağılımında %18,3'lük bir yüzdede yer almaktadır. Bu sınıfa ait bölgelerin Köyceğiz Gölü çevresinde ve havzanın Kuzeybatı sınırına yakın bölgelerinde olduğu görülmektedir. Düşük hassasiyet sınıfına giren bölge havzanın %47,7'lik bir alanını kaplamakta, çalışma alanının Kuzeydoğu – Güneybatı sınırları ve bu sınırlar arasında kalan bölgede olduğu tespit edilmiştir. Havzanın %19,5'ini kaplayan bölgenin ise orta hassasiyet sınıfına ait olduğu görülmektedir. Havzanın alansal olarak en büyük yüzdesinin, düşük hassasiyet sınıfında olduğu ortaya çıkarılmıştır. Bunların yanı sıra havzada çok düşük hassasiyet sınıfına ait bir alan olmadığı tespit edilmiştir. Hassasiyet sınıflarının alansal dağılımları Çizelge 5.1'de gösterilmektedir.

DRASTIC yöntemi sonucunda hassasiyetin yüksek olduğu yerlerde kirlenmenin olacağı garanti edilemeyeceği gibi, hassasiyetin düşük olduğu yerlerde kirlenmenin olmayacağı söylenemez. Eylem planları bu gerçek unutulmadan yapılmalıdır, atılacak adımlar buna göre atılmalıdır.

Çizelge 5.1 : Hassasiyet Sınıflarının Alansal Dağılımları.

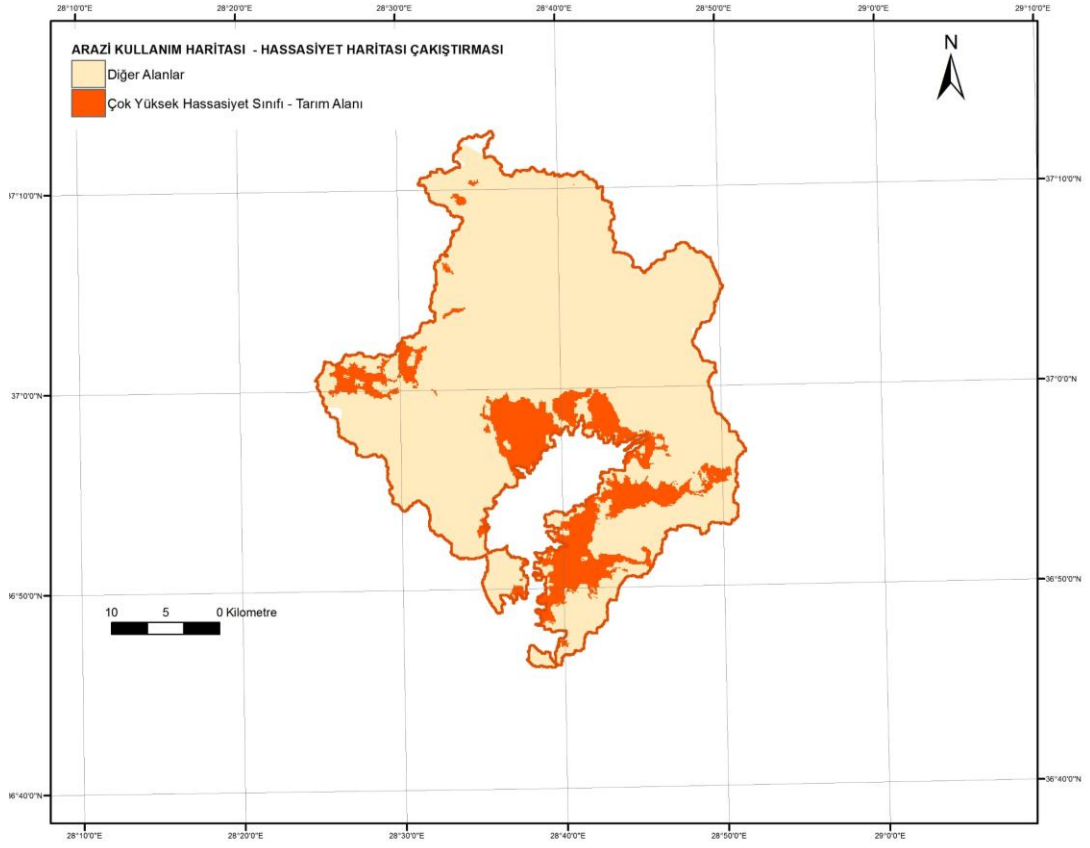
Hassasiyet Sınıfı	Alan (km ²)	Alan (%)
Çok Yüksek	229,8	24,4
Yüksek	78	8,3
Orta	183,5	19,5
Düşük	448,7	47,7

Şekil 5.1’de Köyceğiz-Dalyan için oluşturulan hassasiyet haritası ile uydu görüntüsünün çakıştırılmış resmi bulunmaktadır. Köyceğiz ve Dalyan yerleşimlerinin çevresinin yüksek ve çok yüksek hassasiyet sınıflarına ait alanlar içerisinde kaldığı görülmektedir. Özellikle Köyceğiz Gölü çevresinde kalan Hamitköy, Toparlar, Pınarköy, Beyobası, Kavakarası, Eskiköy ve Okçular’ı kapsayan bölgenin yüksek ve çok yüksek hassasiyet sınıfında olduğu sonucuna varılmıştır. Havzanın kuzeyinde ise Yaylasöğüt ve Kıyra bölgesi ile Örnekköy, Kızılyaka ve Esentepe bölgesinin de yüksek ve çok yüksek hassasiyet sınıfında olduğu tespit edilmiştir.



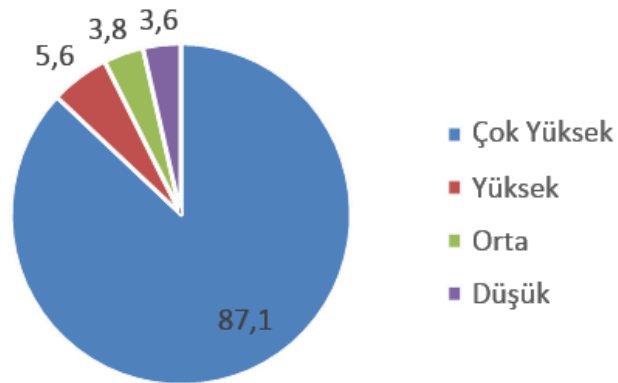
Şekil 5.1 : DRATIC Hassasiyet Haritası ile Uydu Görüntüsünün Çakıştırılması.

Şekil 5.2’de arazi kullanım haritası (Avrupa Çevre Ajansı, 2000) ile DRATIC Hassasiyet Haritası çok yüksek hassasiyete sahip alanlarının çakıştırılması ile elde edilen harita gösterilmektedir. Bu iki harita birlikte değerlendirildiğinde Köyceğiz Gölü’ne komşu ve gölün kuzey, doğusu ve güneydoğusunda kalan bölgelerin yüksek veya çok yüksek hassasiyet sınıfında kaldığı, aynı zamanda bu bölgede tarımsal faaliyetlerin yoğunlaştığı görülmektedir. Tarımsal aktivitelerin yoğunlaştığı bu bölgelerde yeraltı suyunun kirlenme potansiyelinin yüksek olması sebebiyle kirliliğin oluşma ihtimalinin diğer bölgelere göre daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 5.2 : Köyceğiz-Dalyan Havzası İçin Arazı Kullanım Haritası ve DRASTIC Hassasiyet Haritasının Çakıştırılması

Tarım alanlarının bulundukları hassasiyet sınıflarına göre dağılımları Şekil 5.3'te gösterilmektedir. Buna göre tüm tarım alanlarının %87,1'inin çok yüksek hassasiyet sınıfına ait alanlarda bulunduğu ortaya çıkarılmıştır.



Şekil 5.3 : Tarım Alanlarının Hassasiyet Sınıflarına Göre Dağılımları

6. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Yeraltı suyu hassasiyet haritaları, endüstriyel, tarımsal, ticari ve toplum kullanım kararlarıyla ilişkili su kaynakları yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi için gereklidir. Bu çalışma sonucunda elde edilen çıktılar alan kullanım kararlarının verilmesi sürecinde karar vericiler ve otoriteler tarafından kullanılabilir. Hassasiyet haritaları ve alan kullanım kararları ilişkilendirildiği takdirde, birçok senaryo oluşturulabilir ve yeraltı suyunun kirlenmeye karşı korunması ve izlenmesi ile ilgili seçenekleri oluşturmak kolaylaşabilir. Hassasiyet haritaları, su kaynakları yönetim politikalarının hazırlanması kapsamında gözlem yapılması ve korunması gereken alanların belirlenmesinde, ileri araştırmalar yapılması konusunda karar alınmasında, risk değerlendirmesi ve kaynak sınıflandırması yapılmasında kullanılabilir (Liggett ve Talwar, 2009).

Bu çalışma kapsamında Köyceğiz-Dalyan havzası için DRASTIC Yeraltı Suyu Hassasiyet İndeks Haritası hazırlanmıştır. Ardından bu haritadaki indeks puanları sınıflandırılarak DRASTIC Hassasiyet Haritası elde edilmiştir. DRASTIC, hassasiyet belirlemede içsel hassasiyet yöntemlerinden biri olmakla birlikte dünyada sıkça kullanılma olanağı bulmuştur.

DRASTIC yöntemi bir bölgenin doğal olarak sahip olduğu çeşitli hidrolojik ve jeolojik özelliklerinden kaynaklanan kirliliğe karşı korunma derecesinin belirlenmesini sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem kapsamında yedi farklı parametre değerlendirilmiştir. Değerlendirilen parametreler için girdi olarak kullanılan veriler alanda yapılacak çalışmalarla zenginleştirilebilir. Değerlendirilen yedi parametreden net beslenme ve yeraltı suyu derinliği parametreleri için mevcut verilerin yetersiz olması sebebiyle tüm havzada her iki değerin de homojen olduğu kabul edilmiştir. İleride SWAT gibi bir modelle yapılacak çalışmalarla alt havza bazında DRASTIC indeksi hesaplanabilir.

Bunun yanı sıra yöntemle dinamiklik özelliği veren yeraltı suyu ve net beslenme parametreleri ile ilgili yeterli veri elde edilmesi durumunda mevsimsel hassasiyet haritası oluşturulabilir. İklimin değişmesi de bu iki parametreye dinamiklik

katmaktadır. Bu veriler zaman içerisinde güncellenip, yeni DRASTIC Hassasiyet Haritası elde edilebilir ve gelecek için yeni bir yaklaşım geliştirilebilir.

Çalışmanın çıktısı olan DRASTIC Hassasiyet Haritası, arazi kullanım haritaları ile birlikte değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda Köyceğiz-Dalyan Havzası için yeraltı suyu kirlenme risk haritası oluşturulmuştur.

Yeraltı suyu hassasiyet haritalarında hassasiyetin yüksek çıktığı bölgelerde kirlenmenin oluşacağı garanti edilemeyeceği gibi hassasiyetin düşük olduğu yerlerde kirlenmenin oluşmayacağı söylenemez. Bu çalışmanın ardından Köyceğiz-Dalyan Havzası'na ait mevcut nitrat konsantrasyon verileri elde edildiği takdirde hassasiyet haritası ile mevcut konsantrasyon verileri birlikte değerlendirilebilir, kirliliğin hangi hassasiyet sınıfına ait alanlarda olduğuna dair bir sonuca varılabilir. Arazi kullanım haritaları ile birlikte hem kirleticinin olduğu, hem de hassasiyetin yüksek olduğu bölgeler belirlenebilir. Bu çalışma eylem planları için yol gösterici nitelikte olabilir. Kirlenme potansiyelinin yüksek olduğu alanlar, aynı zamanda en yüksek beslenme alanlarını da oluşturmaktadır. Bu alanların tayini ve korunması yenilenebilir yeraltı suyu kaynakları açısından büyük önem taşımaktadır.

Yeraltı suyunun içme ve sulama suyuna kaynak oluşturduğu havzalarda hassasiyet haritalarının hazırlanması mevzuatla zorunlu hale getirildiği takdirde oluşabilecek kirlenmenin önüne geçilmiş olacaktır. Böylece ekosistemin sürdürülebilirliği sağlanmış olacak ve daha sağlıklı yeraltı suyunun sağlanabilecektir.

Tüm bunların yanı sıra toprak analizlerinin ve bitki paterniyle ilgili bir çalışmanın yapılması ile bitkinin alabileceği miktarda gübreleme yapılabilmesi için gerekli olan bilgi elde edilebilir. Kullanıcıların bilgilendirilmesiyle birlikte bitkinin alabileceği miktarda gübrelemenin doğru mevsim ve hava şartlarında yapılması, nitratın suyla yıkanıp yeraltı suyuna ulaşarak kirliliğe sebep olmasının önüne geçecektir.

KAYNAKLAR

- Abdelmadjid, B. ve Omar, S.** (2013). Assessment of Groundwater Pollution by Nitrates Using Intrinsic Vulnerability Methods: A Case Study of the Nil Valley Groundwater (Jijel, North-East Algeria), *Academic Journals*, Cilt 7 (10), Sf. 952-953.
- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R. J., Hackett, G.** (1987). DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings, *USEPA*, Ada, Oklahoma, Amerika Birleşik Devletleri.
- Almasri, M. N.** (2007). Assessment of Intrinsic Vulnerability to Contamination for Gaza Coastal Aquifer, Palestine, *Journal of Environmental Management*, 27 (2007), Sf. 220-222.
- Amerikan Ulusal Araştırma Merkezi.** (1993). Groundwater Vulnerability Assessment: Predicting Relative Contamination Potential Under Conditions of Uncertainty, Washington, D.C, National Academy Press, Sf. 13-30.
- Anornu, G. K. ve Kabo-bah, A. T.** (2013). Evaluation of AVI and DRASTIC Methods for Groundwater Vulnerability Mapping, *Journal of Environment and Ecology*, Cilt 4, Sayı. 2, Sf. 130.
- Bann, C. ve Başak, E.** (2013). Economic Analysis of Köyceğiz-Dalyan Special Protection Area, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara, Sf. 70.
- Barış, N.** (2008). Tahtalı Barajı Havzasının Hidrojeolojik İncelenmesi ve Yeraltı Suyu Kirlenebilirliğinin AHS-DRASTIC Yöntemi ile Değerlendirilmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (doktora tezi), Sf. 126, İzmir, Türkiye.
- Büyükdemirci, A.** (2012). Groundwater Vulnerability Assessment with DRASTIC Method: A Case Study on Kırıkkale Plain, Turkey, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (yüksek lisans tezi), Ankara, Türkiye.
- Civita, M. ve De Regibus C.** (1995). Sperimentazione di Alcune Metodologie per la Valutazione della Vulnerabilità degli Aquiferi, Cilt 3.
- Civita, M.** (1994). Le Carte della Vulnerabilità degli Aquiferi All'inquinamento: Teoria e Practica.
- Corniello, A., Ducci, D., Napolitano, P.** (1997). Comparison Between Parametric Methods to Evaluate Aquifer Pollution Vulnerability Using GIS: An Example in the "Piana Campana", Southern Italy, *Proceedings International Symposium on Engineering Geology and the Environment*, Sf. 1721-1726.

- Doerfliger, N. R., Zwahlen, F.** (1998). Groundwater Vulnerability Mapping in Karstic Regions (EPIK), Bern, Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape SAEFL.
- Ertürk, A., Ekdal, A., Gürel, M., Karakaya, N., Guzel, C., Gönenç, E.** (2014). Evaluating the Impact of Climate Change on Groundwater Resources in a Small Mediterranean Watershed, *Science of the Total Environment*, **499** (2014), Sf. 438.
- Foster, S. S. D.** (1987). Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability, Pollution Risk and Protection Strategy, *Proceeding International Conference on Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants*, Sf. 69-86.
- Freeze, R. A., Cherry, J.A.** (2003). Yeraltı Suyu, Amerika Birleşik Devletleri, Sf. 27.
- Gogu, R. C., Dassargues, A.** (2000). Current Trends and Future Challenges in Groundwater Vulnerability Assessment Using Overlay and Index Methods, *Environmental Geology*, **36** (6), Sf. 549-559.
- Gogu, R. C., Hallet, V., Dassargues, A.** (2003). Comparison of Aquifer Assessment Techniques. Application to the Neblon River Basin (Belgium), *Environmental Geology*, **44**, Sf. 886.
- Goldscheider, N., Klute, M., Sturm, S., Hotzl, H.** (2000). The PI Method: A GIS-Based Approach to Mapping Groundwater Vulnerability With Special Consideration of Karst Aquifers, *Z. Angew. Geol.*, **46** (3).
- Goldscheider, N.** (2005). Karst Groundwater Vulnerability Mapping: Application of a New Method in the Swabian Alb. Germany, *Hydrogeology Journal*, **13**, Sayı. 4, Sf. 5.
- Gönenç, I. E., Wolflin, J. P.** (2005). Coastal Lagoons: Ecosystem Processes and Modeling for Sustainable Use and Development, CRC Press, Amerika Birleşik Devletleri, Sf. 442.
- Göneç, İ. E., Tanık, A., Şeker, D. E., Gürel, M., Ertürk, A., Ekdal, A., Yüceil, K.** (2004). Lagünlerin Sürdürülebilir Yönetimi için Ekosistem Modellemesi, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, İstanbul, Sf. 3-92.
- Güzel, Ç.** (2010). Application of Swat Model in a Watershed in Turkey, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (yüksek lisans tezi), İstanbul, Türkiye.
- Jamrah, A., Al-Fatusi, A., Rajmohan, N., Al-Yaroubi, S.** (1997). Assessment of Groundwater Vulnerability in the Coastal Region of Oman Using DRASTIC Index Method in GIS Environment, *Environ. Monit. Assess.*, **147**.
- Khandare, H. W.** (2013). Scenario of Nitrate Contamination in Groundwater: Its Causes and Prevention, *International Journal of ChemTech Research*, Cilt 5, Sayı. 4, Sf. 1921-1925.
- Knapp, M. F.** (2005). Diffuse Pollution Threats to Groundwater: A UK Water Company Perspective, *Quarterly Journal of Engineering Geology & Hydrogeology*, **38**(1), Sf. 39-51.

- Koç, E.** (2014). Bazı Ülkelerde İçme Suyu Kaynağı Olarak Kullanılan Yeraltı Suyu Kütleleri için Koruma Alanı Yaklaşımları ve Türkiye için Uygulanabilirliği (uzmanlık tezi), Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- Liggett, E. J., Talwar, S.** (2009). Groundwater Vulnerability Assessments and Integrated Water Resource Management, *Watershed Management Bulletin*, Cilt **13**, Sayı 1, Sf. 18-27.
- Maktav, D., Sunar, F., Yalın, D., Aslan, E.,** (2000). Monitoring Loggerhead Sea Turtle (*Caretta caretta*) Nests in Turkey Using GIS, *Coastal Management*, **28**, Sf. 122-132.
- Muhammetoğlu, H., Muhammetoğlu, A., Soyupak, S.** (2002). Vulnerability of Groundwater to Pollution From Agricultural Diffuse Sources: A Case Study, *Water Science and Technology*, Cilt **45**, Sayı. 9, Sf. 1-7.
- Nagendran, R.** (2011). Agricultural Waste and Pollution, Food and Agricultural Organization (FAO), Hindistan, Sf. 341-348.
- Nas, B. ve Berktaş, A.** (2006). Groundwater Contamination by Nitrates in the City of Konya, (Turkey): A GIS Perspective, *Journal of Environmental Management*, **79**.
- Navulur, K. C. S.** (1996). Groundwater Vulnerability Evaluation to Nitrate Pollution on a Regional Scale Using GIS, *Purdue Üniversitesi* (doktora tezi), Amerika Birleşik Devletleri.
- Nick, A.** (2011). Development of a Groundwater Information & Management Program for the Lusaka Groundwater Systems, Lusaka, Zambiya.
- Ongley, E. D.** (1996). Irrigation and Drainage Paper, Food and Agricultural Organization (FAO), Roma, İtalya.
- Polat, R., Elçi, A., Şimşek, C., Gündüz, O.** (2007). İzmir-Nif Dağı Çevresindeki Yeraltı Suyu Nitrat Kirliliği Boyutunun Mevsimsel Değerlendirilmesi, 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Sf. 483-488.
- Pons, L. J. ve Edelman, C. H.** (1960). A Soil Survey of the Köyceğiz-Dalaman Area (Turkey), Ankara, Sf. 22.
- Remesan, R. ve Panda, R. K.** (2008). Groundwater Vulnerability Assessment, Risk Mapping, and Nitrate Evaluation in a Small Agricultural Watershed: Using the DRASTIC Model and GIS, *Environmental Quality Management*, Sf. 53-74.
- Rosenstock, T. S., Liptzin, D., Dzurella, K., Fryjoff-Hung, A., Hollander, A., Jensen, V., King, A., Kourakos, G., McNally, A., Pettygrove, G. S., Quinn, J., Viers, J. Q., Tomich, T. P., Harter, T.** (2014). Agriculture's Contribution to Nitrate Contamination of Californian Groundwater (1945-2005), *Journal of Environmental Quality*, Sf. 895-906.
- Saaty, T. L.** (1980). Decision Making with the Analytic Hierarchy Process, *Int. J. Sciences*, Cilt **1**, Sayı. 1, Sf. 83-95.

- Su, X., Wang, H., Zhang, Y.** (2013). Health Risk Assessment of Nitrate Contamination in Groundwater: A Case Study of an Agricultural Area in Northeast China, *Water Resour. Manage.*, **27**, Sf. 3025-3034.
- Süenal, S. ve Erşahin, S.** (2012). Türkiye’de Tarımsal Kaynaklı Yeraltı Suyu Nitrat Kirliliği, *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, **5(2)**, Sf. 116-118.
- Şener, Ş., Şener, E., Davraz, A.** (2009). DRASTIC ile Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemlerinin Entegrasyon ile Akifer Duyarlılık Haritalarının Hazırlanması: Senirkent-Ulubotlu Havzası (Isparta) Örneği, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **13-1**, Sf. 48-59.
- Tansuğ, Z. ve Öztunalı, A.** (1976). Muğla-Köyceğiz Civarının Hidrolojik Etüd Raporu, Devlet Su İşleri (DSİ) 2. Bölge, İzmir, Türkiye.
- Thorburn. P. J., Biggs, J. S., Weier, K. L., Keating, B. A.** (2003). Nitrate in Groundwaters of Intensive Agricultural Areas in Coastal Northeastern Australia, *Agriculture Ecosystems & Environment*, **94**, Sf. 49-58.
- USDA.** (1987). Soil Mechanics Level 1, Module 3, USDA Textural Soil Classification, Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı.
- USDA.** (2010). Keys to Soil Taxonomy, Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı.
- Van Stempvoort, D., Ewert, L., Wassenaar, L.** (1993). Aquifer Vulnerability Index (AVI): A GIS Compatible Method for Groundwater Vulnerability Mapping, *Canadian Water Resources Journal*, Cilt **18**, Sayı. 1, Sf. 25-36.
- Vias, J. M., Andrea, B., Perles, M. J., Carrasco, F., Vadillo, I., Jimenez, P.** (2006). Proposed Method for Groundwater Vulnerability Mapping in Carbonate (Karstic) Aquifers: the COP Method, *Hydrogeology Journal*, **14**, Sf. 912-925.
- Vrba, J. ve Zaporozec, A.** (1994). Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability, Hannover, Heinz Heise, Almanya.
- Wang, J. L. Ve Yang, Y. S.** (2008). An Approach to Catchment-Scale Groundwater Nitrate Risk Assessment From Diffuse Agricultural Sources: A Case Study in the Upper Bann, Northern Ireland, *Hydrological Processes*, **22**, Sf. 4274-4286.
- Wick, K., Heumesser, C., Schmid, E.** (2012). Groundwater Nitrate Contamination: Factors and Indicators, *Journal of Environmental Management*, **111**, Sf. 178-186.
- Yang, Y. S., Wang, L.** (2010). Catchment-Scale Vulnerability Assessment of Groundwater Pollution from Diffuse Sources Using the DRASTIC Method: A Case Study, *Hydrological Sciences Journal*, **22**, Sf. 4274-4286.
- Yıldırım, M., Topkaya, B.** (2007). Groundwater Protection: A Comparative Study of Four Vulnerability Mapping Methods, *Clean*, **35(6)**, Sf. 594-600.
- Yin, L., Zhang, E., Wang, X., Wenninger, J., Dong, J., Guo, L., Huang, J.** (2012). A GIS-Based DRASTIC Model for Assessing Groundwater Vulnerability in the Ordos Plateau, China, *Environ Earth Sci*, **69**, Sf. 171-185.

DSİ. (2013). Türkiye'nin Havzaları ve Havza Haritası, Adres: <http://www.dsi.gov.tr/dsi-resmi-istatistikler>.

Navulur, K. C. S., Engel, B. A. (t.y.). Predicting Spatial Distributions of Vulnerability of Indiana State Aquifers Systems to Nitrate Leaching Using a GIS, Adres: http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE_CD-ROM/sf_papers/navulur_kumar/my_paper.html.

Url-1 < <http://soilgrids1km.isric.org> >, alındığı tarih: 19.03.2015.

Url-2 < <http://srtm.csi.cgiar.org> >, alındığı tarih: 20.03.2015.

Url-3 < <http://igemportal.org/Resim/12032012130728.pdf> >, alındığı tarih: 19.04.2015.

Url-4 < <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2000-clc2000-seamless-vector-database> >, alındığı tarih: 06.05.2015.

Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği. (2004), Resmi Gazete Sayısı: 25377.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik. (2005), Resmi Gazete Sayısı: 25730.

Yeraltı Sularının Kirlenmeye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik. (2012), Resmi Gazete Sayısı: 25257.

Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmelik. (2012), Resmi Gazete Sayısı: 28910.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Zeynep Türkay
Doğum Yeri ve Tarihi : 04.02.1986, Bursa
E-Posta : senkesenz@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2010, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Anabilim Dalı, Peyzaj Mimarlığı Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- **Kurum** : Bahçe Butik, Bursa
Yılları : 2011-2012
- **Kurum** : Cem Botanik, İstanbul
Yılları : 2012-2013
- **Kurum** : Eren Peyzaj, İstanbul
Yılları : 2013-halen devam etmekte