DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TAHTALI İÇME SUYU BARAJI HAVZASI'NDA İKLİM VE ARAZİ ÖRTÜSÜ DEĞİŞİKLİĞİ SENARYOLARI ALTINDA SU EROZYONUNUN MODELLENMESİ

Özden ÖNCÜ

Şubat, 2022

İZMİR

TAHTALI İÇME SUYU BARAJI HAVZASI'NDA İKLİM VE ARAZİ ÖRTÜSÜ DEĞİŞİKLİĞİ SENARYOLARI ALTINDA SU EROZYONUNUN MODELLENMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hidrolik, Hidroloji ve Su Kaynakları Programı

Özden ÖNCÜ

Şubat, 2022

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ÖZDEN ÖNCÜ, tarafından **DOÇ. DR. ALİ GÜL** yönetiminde hazırlanan **"TAHTALI İÇME SUYU BARAJI HAVZASI'NDA İKLİM VE ARAZİ ÖRTÜSÜ DEĞİŞİKLİĞİ SENARYOLARI ALTINDA SU EROZYONUNUN MODELLENMESİ"** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

……

Doç. Dr. Ali GÜL

_____

Yönetici

……..... ……

Prof. Dr. Hülya BOYACIOĞLU Prof. Dr. Ülker GÜNER BACANLI

_____ _____

Jüri Üyesi Jüri Üyesi

_____

Prof. Dr. Okan FISTIKOĞLU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bana danışmanlık ederek bilgi ve tecrübelerinden yararlanmama imkân sağlayan, bilimsel ve manevi desteğinin yanı sıra, tez çalışmalarım boyunca gösterdiği anlayış ve yardımlarından dolayı değerli hocam Doç. Dr. Ali Gül'e en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım. Çalışmalarımda emeği geçen tüm akademik personele, bu süreçte desteklerini esirgemeyen sevgili arkadaşlarıma ve lisans, yüksek lisans eğitimim boyunca sahip olduğum olanaklar için Dokuz Eylül Üniversitesi'ne teşekkür ederim. Hayatımın her döneminde beni destekleyen, tez çalışmam boyunca her zaman yanımda olan, gösterdikleri büyük emek ve sabırlarından dolayı kıymetli aileme sonsuz teşekkür ederim.

Özden ÖNCÜ

TAHTALI İÇME SUYU BARAJI HAVZASI'NDA İKLİM VE ARAZİ ÖRTÜSÜ DEĞİŞİKLİĞİ SENARYOLARI ALTINDA SU EROZYONUNUN MODELLENMESİ

ÖZ

İzmir kentinin önemli içmesuyu kaynaklarından biri olan Tahtalı Barajı, sediment ve su kirliliği yüklerine karşı korunması büyük önem taşımaktadır. Bunun dâhilinde evrensel bir problem olan iklim değişikliği, birçok olumsuz etkileri beraberinde getirmekte, değişen hava koşulları nedeniyle erozyon etkilerini arttırmaktadır. Sunulan çalışmada baraj havzasında erozyon Üniversal Toprak Kayıpları Eşitliği (USLE) modeli ile mekânsal analizler yapılarak taşınım ve birikim yapan toprak miktarları günümüz koşulları ve ilerleyen yıllardaki değişen iklim koşulları altında hesaplanmış ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Öncelikle havzaya ait yağış verileri temin edilerek, USLE yağış aşındırma faktörü (R) hesaplanmıştır. Baraj havzasına dair toprak örtüsü, toprağın permeabilite ve granülometre bilgileri Avrupa Toprak Veritabanı'ndan temin edilerek toprak aşınabilirlik faktörü (K) hesaplanmıştır. Baraj havzasına ait, yerel yönetimlerden temin edilen sayısal paftalar aracılığıyla oluşturulan havza yükselti modeli ile arazinin sahip olduğu topoğrafik özellikler göz önünde bulundurularak eğim ve eğim uzunluğu (LS) faktörleri hesaplanmıştır. Bir diğer parametre olan bitki amenajman faktörü (C) hesabında, CORINE arazi örtüsü haritalarından ayırt edilen bitki örtüsü sınıfları esasında (C) faktörü dağılım haritası oluşturulmuştur. İklim değişikliği etkileri sonucu yağış aşındırma faktöründe ve ayrıca bitkisel örtü değişiminden dolayı bitki amenajman faktöründeki tahmini değerler yeniden belirlenmiş ve USLE modelinde bu yeni değişkenler kullanılarak gelecek dönem erozyon miktarı hesaplanmıştır. Çalışma bulguları, havza ölçeğinde günümüz koşullarına göre gelecek dönem iklim değişikliği sonucu toprak erozyonunda önemli değişimlerin yaşanacağı söz konusu olmaktadır.

Anahtar kelimeler: İçmesuyu barajı, su erozyonu, iklim değişikliği, arazi örtüsü modellemesi

MODELING OF WATER EROSION UNDER CLIMATE AND LAND COVER CHANGE SCENARIOS IN TAHTALI DRINKING WATER RESERVOIR CATCHMENT

ABSTRACT

Tahtalı Dam, which is one of the important drinking water resources of the city of İzmir, is of great importance to be protected against sediment and water pollution loads. Within this, climate change, which is a universal problem, brings many negative effects and increases the effects of erosion due to changing weather conditions. In the presented study, it was aimed to calculate and comparatively evaluate the amount of soil transported and accumulating under today's conditions and the changing climatic conditions in the following years by making spatial analyzes with the erosion Universal Soil Loss Equation (USLE) model in the dam basin. First of all, precipitation data from the meteorological stations in the basin were obtained and the USLE precipitation erosion factor (R) was calculated. The soil cover, soil permeability and granulometry information of the dam basin were obtained from the European Soil Database and the soil erosive factor (K) was calculated. The slope and slope length (LS) factors of the dam basin were calculated by taking into account the topographic characteristics of the land with the basin elevation model created through the digital maps obtained from the local governments. In the calculation of the vegetation management factor (C), another parameter, the (C) factor distribution map was created on the basis of the vegetation classes distinguished from the CORINE land cover maps. The estimated values in the precipitation erosion factor as a result of the effects of climate change and also in the vegetation management factor due to the vegetation cover change were re-determined and the amount of erosion in the future period was calculated by using these new variables in the USLE model. The findings of the study indicate that there will be significant changes in soil erosion as a result of climate change in the future, according to current conditions at the basin scale.

Keywords: Drinking water reservoir, water erosion, climate change, land cover modeling.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU ii

TEŞEKKÜR iii

ÖZ iv

ABSTRACT v

ŞEKİLLER LİSTESİ viii

TABLOLAR LİSTESİ x

BÖLÜM BİR – GİRİŞ 1

1.1 Erozyonun Tanımı 2

1.2 Çalışma Bölgesinin Tanıtımı 4

BÖLÜM İKİ – YÖNTEM 5

2.1 Erozyon Tahmin Modelleri 5

2.2 Üniversal Toprak Kayıpları Eşitliği (USLE) Yöntem 6

2.2.1 Yağış Aşındırma Faktörü R 7

2.2.2 Toprak Aşınabilirlik Faktörü K 7

2.2.3 Eğim ve Eğim Uzunluğu Faktörü L S 8

2.2.4 Bitki Amenajman Faktörü C 8

2.2.5 Toprak Koruma Faktörü P 8

BÖLÜM ÜÇ – VERİ KULLANIMI VE YAZILIM GEREKSİNİMLERİ 9

3.1 Yazılım Gereksinimleri 9

3.2 Sayısal Yükselti Modeli'nin Oluşturulması 10

3.3 Havza Yağış Verilerinin Temini 15

3.4 Arazi Toprak Harita Verilerinin Temini 16
3.5 Arazi Bitki Örtüsü Harita Verilerinin Temini 22

BÖLÜM DÖRT – EROZYON MODELLEMESİ 25
4.1 Yağış Aşındırma R Faktörü 25
4.2 Toprak Aşınabilirlik K Faktörü 26
4.3 Bitki Amenajman C Faktörü 29
4.4 Eğim ve Yamaç Eğim Uzunluğu SL Faktörü 33
4.5 Toprak Koruma P Faktörü 35
4.6 Referans Dönem için Toprak Kaybı Miktarı Tahmini 35
4.7 İklim Değişikliği Senaryoları Altında Toprak Kaybının Modellenmesi 36

BÖLÜM BEŞ – SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME 40

KAYNAKLAR 43

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Tahtalı Barajı havzası……...4

Şekil 3.1 ArcGIS yazılımı arayüzü…….....9

Şekil 3.2 Google Earth yazılımı ile Tahtalı Barajı Havzası gösterimi…….....….10

Şekil 3.3 1/5000 ölçekli sayısal hâlihazır pafta…….……....11

Şekil 3.4 CBS yazılımı üzerinde yükselti verilerinin seçilmesi……....12

Şekil 3.5 CBS Yazılımı üzerinde ayrı veri katmanlarının birleştirilmesi…...….....13

Şekil 3.6 Sayısal yükselti modeli……..……...…….13

Şekil 3.7 Flow direction komutu işlevi…..…….....14

Şekil 3.8 Flow accumulation komutu işlevi……..…….....15

Şekil 3.9 Akış yönleri ve eklenik akışlar haritası……..…….....15

Şekil 3.10 Arazi toprak haritası……...17

Şekil 3.11 Tahtalı Barajı havzası toprak, kil, silt ve kum içeriği haritaları…….....18

Şekil 3.12 Toprak permeabilite sınıfı haritası…….....20

Şekil 3.13 Toprak granülometre sınıfı haritası……..….....21

Şekil 3.14 Tahtalı Barajı Havzası CORINE arazi örtüsü haritası……..…....23

Şekil 4.1 Yağış erozyon R faktörü……...…...…..…....26

Şekil 4.2 Toprak bünye M faktörü……...……...…..27

Şekil 4.3 Toprak aşınabilirlik (erodibilite) K faktörü……..…….....28

Şekil 4.4 Bitki amenajman C faktörü……..……..32

Şekil 4.5 Tahtalı Barajı arazi eğim haritası……..…….....33

Şekil 4.6 Eğim S faktörü…….…….34

Şekil 4.7 Eğim uzunluğu L faktörü… …….35

Şekil 4.8 Toprak kaybı miktarı ve toprak erozyonu - birikim alanları…….……...36

Şekil 4.9 Senaryo dönemi yağış erozyon R faktörü…….37

Şekil 4.10 Senaryo dönemi bitki amenajman C faktörü…….....37

Şekil 4.11 Senaryo dönemi toprak kaybı miktarı ve toprak erozyonu – birikim alanları.....…….39

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1 Avrupa toprak veritabanı permeabilite sınıfları……....19

Tablo 3.2 Avrupa toprak veritabanı yapı sınıfları…….....21

Tablo 3.3 Havza dâhilinde bulunan CORINE arazi örtüsü sınıfları……..……...24

Tablo 4.1 Ekilebilir toprak arazileri için C faktörü……...30

Tablo 4.2 Ekim yapılamayan toprak arazileri için C faktörü……....31

Tablo 4.3 CORINE sınıfları ve arazi örtüsü değişikliğine ilişkin özel gruplu arazi sınıflarının eşleştirilmesi……..38

Tablo 5.1 Referans ve senaryo dönemi parametreleri…….41

Tablo 5.1 Referans ve senaryo dönemi toprak aşınım ve birikim miktarları……..41

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Günümüz koşullarının bir getirisi olarak gerek iklim değişikliği gerekse insanların doğal kaynakları bilinçsiz tüketmesi ve çevreyi kirletmesi sonucu birçok doğal su kaynaklarımız tehlikede olup tükenme riskiyle karşı karşıya olmaktadır. Başta beşeri faktör kaynaklı olmak üzere doğal yollar ile dahi oluşabilen erozyonun olumsuz etkileri doğal kaynakları ve tarımsal faaliyetleri etkilemektedir. Yeryüzünde erozyon kaynaklı toprak kaybı miktarının ortalama yıllık 12 ile 15 ton/ha arasında değiştiği tahmin edilmektedir. Bu değerler her yıl yaklaşık 0,90 ile 0,95 mm kadar toprağın kaybolduğu anlamını taşımaktadır (Food and Agriculture Organization [FAO], 2015). Verimli üst tabakanın uzaklaşması sonucu tarım faaliyetleri, su kaynakları kalitesini ve biyolojik çeşitlilik olumsuz etkilenirken arazinin bozunmasına ve çölleşmesine neden olmaktadır (Dregne ve Chou, 1992).

Ülkemiz bulunduğu coğrafya ve iklim koşullarına bağlı olarak her yıl su erozyonu sonucunda maksimum 642 milyon ton toprak harekete geçmekte ve ortalama hektarda 8,24 ton toprak yer değiştirmektedir. (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi, 2021). Bu değerlerin en aza indirilebilmesi adına etkili toprak ve su koruma planlarının hayata geçirilmesi gerekmektedir. İlk olarak mevcut erozyon durumunun doğru analiz edilmesi ve modellenmesi gereklidir. Bunun için kullanılan birçok matematiksel model bulunmaktadır. Bunların birkaçı; USLE (Universal Soil Loss Equation), RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), SWAT (Soil and Water Assesment Tool) ve WEPP (Water Erosion Prediction Project) şekilde ortaya çıkan model ve hesaplama yaklaşımlarıdır. Bu modellerin arasında USLE yöntemi, kullanım kolaylığı nedeniyle en çok tercih edilen yöntemler arasında yer almaktadır. (Tiwari vd., 2000). USLE modeli, yağış sıklığı ve şiddeti, topoğrafya, toprak tipi, bitki örtüsü, tarım sistemi ve yönetim uygulamalarına bağlı olarak bir arazide ortalama yıllık erozyon sonucu kaybolan toprak miktarını tahmin etmektedir.

Tahtalı Barajı Havzası İzmir kentinin önemli içmesuyu kaynaklarından biri olma nedeniyle erozyon sonucu havzada kaybolan ve taşınan sedimentlerin belirlenmesi amacıyla, Üniversal Toprak Kayıpları Eşitliği (USLE) yöntemi kullanılarak mekânsal analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yürütülen yöntem bütünü dâhilinde, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) araçları kullanılarak tümüyle yayılı nitelikte ve yüksek çözünürlükte modellemeler gerçekleştirilmiş; klasik toprak kaybı tahmini uygulaması üzerinde, erozyon faktörlerinin eğim uzunluğu boyunca ortalama değerlerini hesaplayan ek program desteğinden yararlanılmış ve USLE yönteminin toprak kaybı tahminlerinden çalışma sahası toprak aşınma ve birikim bölgelerinin ayırt edilmesine yönelik bir yaklaşım geliştirilmiştir.

Tahtalı Barajı Havzası topraklarının hem günümüz koşulu durumunda hem de gelecek dönem iklim değişikliği nedeniyle oluşması ön görülen arazi bitki örtüsü ve iklim koşulları göz önünde bulundurularak erozyon sonucu oluşan toprak kayıplarının mekânsal olarak tahmin edilmesi, referans dönem ve gelecekte öngörülen koşullar altında oluşacak toprak aşınmalarının kıyaslanması ile durum tespiti amaçlanmıştır.

1.1 Erozyonun Tanımı

Erozyonun tanımı toprağın türlü dış etken koşulları altında iklime bağlı olarak yağışların, buzulların ve rüzgârların bunun yanında topoğrafik faktörler akarsular gibi kuvvetlerin aşındırması sonucu toprağın eritilmesi veya yer değiştirmesi olayıdır.

Ülkemizde geçmişten günümüze gelen düzensiz arazi kullanımları ve orman alanlarının çeşitli amaçlarla tahribi sonucunda ormanlarımız büyük kayıplara uğrayarak bir kısmı tamamen yok olmuş ve önemli bir bölümü de verimini yitirmiştir. Bu durumun doğal bir sonucu olarak toprak, su ve bitki arasındaki doğal denge de bozulmuştur (Dutkuner ve Fakir, 1999). Bu dengenin bozulmasına sebebiyet veren başlıca uygulamalar yanlış ekim uygulaması, meraların aşırı otlatılması, ağaçların kesilmesi ve köklerinin sökülüp çıkarılması sonucu tarla haline getirilmesi, orman

yangınları ve kaçak ağaç kesimleri, toprağın aşırı işlenmesi ve eğime paralel sürülmesi bunlara ek olarak dağınık kentleşme de olumsuz etkiler göstermektedir.

Beşeri olmayan faktörler ise arazinin çok engebeli ve eğimli olması, iklimin etkisi, ani su taşkınları, yağışların düzensiz olması, yamacın eğim ve uzunluğu bununla birlikte toprak yapısı parametreleri olmaktadır.

Erozyon çeşitleri meydana getirildiği dış kuvvete istinaden isimlendirilmiştir. Bunlardan birkaçı rüzgâr erozyonu, dalga erozyonu, buzul erozyonu ve su erozyonu şeklinde ayrılmaktadır. Erozyon çeşitlerinin gözlemlenmesi sonucu aralarında en yaygın ve etkili olan erozyon çeşidi yağmur damlaları sayesinde yüzey akışa geçen sel suların veya nehirlerin aşındırma etkisi sebebiyle su erozyonudur.

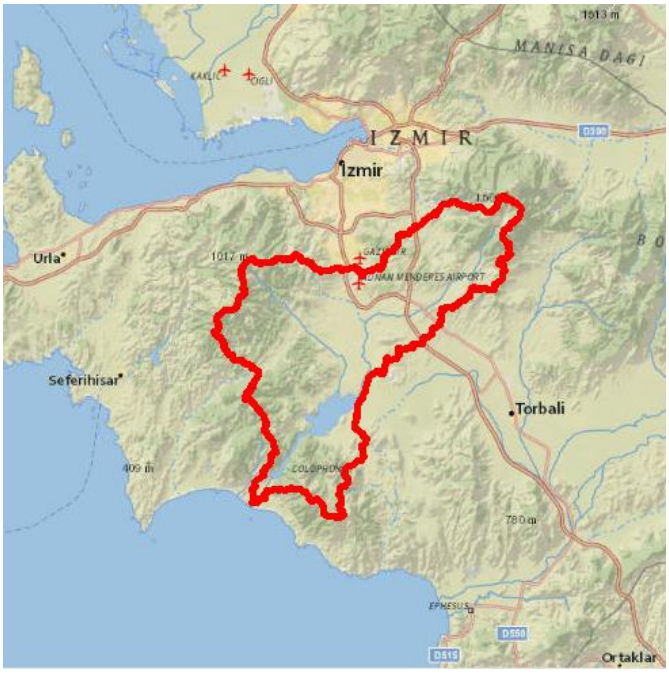
İklim olayları sonucu toprağa düşen su damlacıkları zeminin porozite oranına bağlı olarak bir kısmı süzülerek yer altı su kaynaklarının oluşmasını sağlar, süzülemeyen yağış suları ise arazi topografyası doğrultusunda yüzey akışa geçerek toprağı aşındırma ve taşıma eylemleri su erozyonuna sebebiyet vermektedir.

Su erozyonu sebebiyle içmesuyu kaynaklarına sediment taşınması, askıda katı madde konsantrasyonunun artmasına aynı zamanda tarımda kullanılan pestisit, kimyasal gübreleme gibi türlü tarımsal ilaçlar su kalitesini olumsuz etkileyen hususlardandır.

Tahtalı Barajı, etkin yüzeysel su kaynaklarından ve İzmir kentinin önemli içmesuyu kaynaklarından birisi olup bu sebepten dolayı baraj haznesinin erozyon kaynaklı su kirliliğinden korunması büyük önem taşımaktadır.

1.2 Çalışma Bölgesinin Tanıtımı

Çalışma bölgesi, İzmir İlinin 40 km güneyinde, Gümüldür Belediyesi'nin 5 km doğusundaki Menderes, Gaziemir ve Buca ilçelerini içeren, Tahtalı Çayına akış yaratan eğimlerin sınırladığı 55732 hektar büyüklüğündeki alan Tahtalı Barajı Havzasıdır (Şekil 1.1). Tahtalı Barajı Havzasının iklim özellikleri bulunduğu yerleşim yeri olan İzmir kentine hâkim olan Akdeniz iklimidir. Bu iklim tipi yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve bol yağışlıdır, kar yağışı ise seyrektir. Havza sınırları içerisinde bulunan ve Tahtalı Baraj Gölü'nü besleyen yüzeysel su kaynakları Kona, Hırsız, Kocaçay, Sarıçay, Sandı, Deliömer, Çamurlu, Darıçay, Balaban, İzmirliboğazı ve Tahtalı dereleridir. Havzanın bitki örtüsü Akdeniz İklimine bağlı olarak orman alanlarının büyük bir kısmını kızılçam ağaçları mevcut olup orman ve makilik alanlar havzanın % 60'ını, tarım alanları % 30'unu kaplamakta, seralar % 0,3, endüstriyel alanlar % 0,2, yerleşim alanları % 2'lik bir alan tutmaktadır. 2200 hektar yüzey alanına sahip Tahtalı Barajı, havzaya ait % 3 oranındaki su kütlesinin büyük bölümünü oluşturmaktadır. Havzanın orta kesimlerinde yer alan ovalık bölgelerde bağ meyvecilik, sebzecilik ve seralarda çiçekçilik gibi tarımsal faaliyetler gerçekleştirilmektedir (Barış, 2008).



Şekil 1.1 Tahtalı Barajı Havzası

BÖLÜM İKİ

YÖNTEM

2.1 Erozyon Tahmin Modelleri

İlk defa yapılmış olan erozyon araştırmaları gözlemsel olup geleneksel metotlar vasıtasıyla erozyon etkileri azaltılmaya çalışılmıştır. Erozyon tahmin çalışmalarında nicel yöntemler ve parametreler arasındaki ilişkilerin ortaya konulması daha sonraki zaman zarfı içerisinde meydana gelmiştir (Koç, 2014). Geliştirilmiş olan nicel yöntemler ile bölgesel olarak erozyon şiddetinin tahmin edilebilirliği ve riskli bölgelerin tespiti açısından gerekli olan önlem planlarının yapılmasında büyük önem taşımaktadır.

Erozyon tahmin modelleri iki ana başlığa ayrılır. Bunlardan biri niteliksel yöntemler olup ölçüm ve matematiksel verilerin kullanılmadığı daha çok gözlemsel, göreceli tahminlerin yapıldığı modellerdir. Niceliksel yöntemler ise sayısal değerlerle yapılan objektif ölçüm standartları ile ulaşılan tahminlerin yapıldığı modellerdir. Bu modellerde istatistiksel ve deneysel yöntemler kullanılarak erozyonu tetikleyen iklim, topoğrafya, jeolojik özellikler vb. gibi parametreler kullanılmaktadır.

Erozyon tahmin çalışmalarında kullanılan modellere örnek olarak, Su Erozyonu Tahmin Projesi (WEPP), Erozyon Verimlilik Etki Hesaplama (EPIC), Avrupa Erozyonla Mücadele Modeli (EUROSEM), Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği (USLE) ve bu yöntemin geliştirilmesi ile tekrar düzenlenen Revize Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği (RUSLE) verilebilir (Rahman ve Chongfa, 2009). Bu modeller geliştirilirken bulundukları ülkelerin iklim ve coğrafik özellikleri esas alınarak hazırlanmıştır (Özden ve Özden, 1997).

Bu çalışmada niceliksel bir model olan ve aynı zamanda geniş bir zaman zarfı boyunca kabul edilebilir doğrulukta, uygulama kolaylığı sağlayan Üniversal Toprak Kayıpları Eşitliği (USLE) yöntemi seçilerek erozyon modeli mekânsal analizler yapılarak oluşturulmuştur.

2.2 Üniversal Toprak Kayıpları Eşitliği (USLE) Yöntem

Üniversal Toprak Kayıpları Eşitliği birçok bilim insanı tarafından erozyonla kaybolan toprak miktarının tahmin edilebilmesi adına farklı ülkeler üzerinde denenmiş olup tahmin sonuçlarının doğru kabul edilebilirlik oranı yüksek olan nicel bir modeldir. Model, Wischmeier ve Smith tarafından geliştirilmiş olup modelin sağlıklı sonuç verebilmesi için iklim, topoğrafya, toprak yapısı ve içeriği, arazi bitki örtüsü ve uygulama mevcut ise toprak korunma faaliyetleri verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bahsi konu olan parametreler, istatistiksel ve deneysel olarak temin edilebilmektedir. Bu çalışma için deneysel yöntemlerin gerek zaman gerek maddi açıdan değerlendirilmesiyle uluslararası veritabanları ve istatistiki yöntemlerden yararlanılmıştır.

Eşitlik (2.1)'de verilen Üniversal Toprak Kayıpları Eşitliği 6 adet faktörün çarpımı ile yılda hektar başına ton cinsinden toprak kaybı miktarını analiz etmektedir.

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \qquad (2.1)$$

A: Erozyon sonucu oluşan toprak kaybı miktarı (ton/ha/yıl)

R: Yağış aşındırma faktörü (ton.metre/hektar)

K: Toprak aşınabilirlik faktörü (ton ha^{-1} . ha MJ^{-1} . h mm^{-1})

L: Eğim uzunluğu faktörü

S: Eğim faktörü

C: Bitki amenajman faktörü

P: Toprak koruma faktörü

2.2.1 Yağış Aşındırma Faktörü R

İzmir ili Akdeniz iklimi etkisi altında olduğundan dolayı kış mevsiminde yüksek oranda yağış gören bir coğrafyaya sahip olması nedeni ile yağışlar sonucu toprağın aşınımı azımsanamayacak kadar etkili olmaktadır.

Coğrafik ve meteorolojik olayların sonucu meydana gelen yağışların sahip olduğu kinetik enerji ile zaman içerisinde su damlaların çarptığı jeolojik yapının aşınması, sürüklenerek yer değiştirmesi söz konusudur. Yağış aşındırma olayının erozyona etkisini tayin edebilmek açısından matematiksel modelleme yöntemleri kullanılmaktadır. Matematiksel modeller yağışın şiddeti, yağış süresi ve yağışın görülme sıklığı gibi parametrelerden faydalanarak toprağı aşındırma oranını hesaplamaktadır.

2.2.2 Toprak Aşınabilirlik Faktörü K

Her toprak cinsinin dış kuvvetlere karşı gösterdiği direnç farklıdır. Bu direnç toprağın mukavemeti bir diğer ifadeyle formunun bozulmasına karşı gösterdiği direnç anlamına gelmektedir. Herhangi bir fiziksel dış kuvvet sonucu her toprağın davranış farklılığı göstermesinin temel nedenlerinden bir kaçı toprağın jeolojik yapısı, geçirgenlik oranı, zemin daneleri arasındaki kohezyon gibi faktörlerin değişken olmasıdır. İzmir ili bölgesel olarak farklı zemin tiplerine sahip bir coğrafi konumda bulunmaktadır. Kıyı şeridinde alüvyon zemin tipi hâkim olmakta iken, iç kesimlerde daha sert zeminler görülmektedir. Toprak aşınabilirlik faktörü deneysel metotlar ile tespit edilebileceği gibi matematiksel modeller yöntemi ile de tahmin sonuçları elde edilmektedir. Bütçe ve zaman yöntemi açısından çoğunlukla matematiksel modeller tercih edilmektedir.

2.2.3 Eğim ve Eğim Uzunluğu Faktörü L S

Toprak aşınmasını ve taşınmasını etkileyen hususlardan birisi de topoğrafik şekillerdir. Eş yükselti eğrilerinin sıklaştığı konumlarda diğer bir ifadeyle dik yamaçlarda, toprak danelerinin ağırlık kuvveti yer çekimi doğrultusunda olarak x – y bileşenlerine ayrılmaktadır. x – y koordinat sisteminde düşey kuvvet ve yatay kuvvet olarak ikiye ayrılarak arazinin yatayla yaptığı açı ne kadar büyük olursa düşeyde gösterdiği ağırlık o kadar azalacağından ve yatay bileşende ağırlık kuvveti oluşacağından zemin daneleri kaymaya eğilim göstermektedir. Eğer yatay bileşende bulunan ağırlık kuvveti sürtünme kuvvetinden yani daneler arasındaki kohezyon kuvvetinden büyük ise toprağın kayması ve hareket ederek yer değiştirmesi söz konusudur. Aynı zamanda arazinin eğimli olması yağışlar sonucu yüzeysel akışa geçen su, artan kinetik enerjinin etkisi ile hızlanarak daha kuvvetli bir aşındırma etkisi göstermektedir.

2.2.4 Bitki Amenajman Faktörü C

Yer yüzeyinin bitki örtüsü ile kaplı olması, çıplak bir araziye oranla erozyona karşı daha korunaklı olduğu bilinmektedir. Bitki kökleri sayesinde fiziksel dış kuvvetlerin etkileri azaltılmaktadır. Her bitkinin toprak aşınımına karşı göstermiş olduğu direnç farklıdır. Bu sebeple erozyon modelinin yapılacağı arazide bulunan bitki örtüsünün teşhisi oldukça önem taşımaktadır.

2.2.5 Toprak Koruma Faktörü P

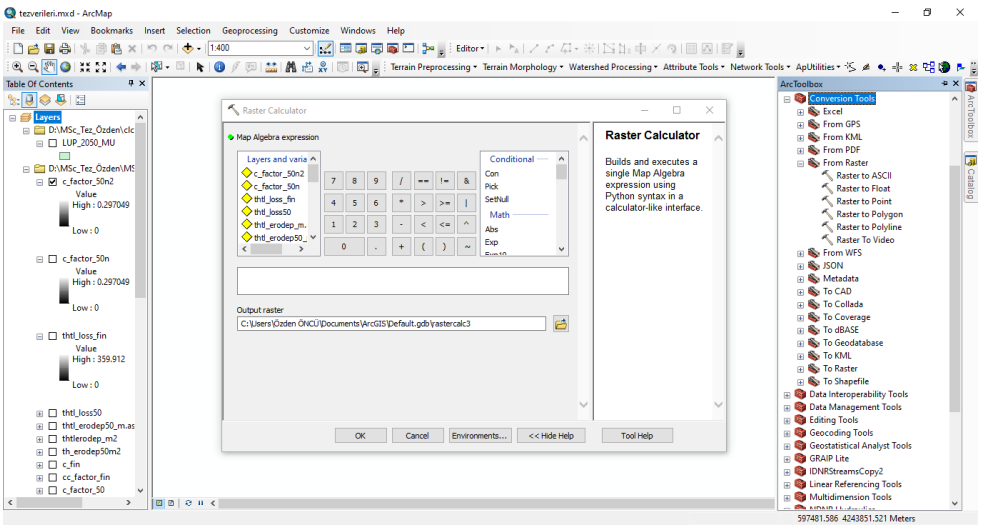
Erozyon sonucu gerçekleşen toprak taşınım etkilerinin azaltılması veya hiç oluşmamasının sağlanması için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Toprak koruma faaliyetleri özellikle erozyona eğilimi yüksek olan bölgelerde uygulamaya geçilmesi gereklidir. Bu faaliyetlerden bir kaçı, eğime paralel şeritler halinde yapılan tarım faaliyetleri, teras şeklinde eş yükselti eğrilerine paralel olarak inşa edilen toprak setleri şeklinde uygulanmaktadır.

BÖLÜM ÜÇ

VERİ KULLANIMI VE YAZILIM GEREKSİNİMLERİ

3.1 Yazılım Gereksinimleri

Tez çalışmasında gerekli tüm işlemlerin havza ölçeğinde mekânsal olarak gerçekleştirilmesi amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımından yararlanılması gerekli olunmuştur. Bu amaçla, ESRI firmasının CBS yazılım ürünleri arasında geliştirdiği ArcGIS 10 yazılımı kullanılmıştır. Yazılım, mekânsal analiz, veri yönetimi ve haritalama için standartlara dayalı bir platform sağlamaktadır. ArcGIS yazılımının kullanımı sayesinde, topoğrafik veri katmanları üzerinden sayısal yükselti modelinin oluşturulmasından erozyon dağılım hesaplamalarının yayılı bir şekilde gerçekleştirilmesine kadar birçok çalışmanın mekânsal nitelikli olarak gerçekleştirilmesi mümkün olmuştur. Şekil 3.1'de arayüzü gösterilen ArcGIS yazılımı, içerisinde bulunan araç setleri ve fonksiyon grupları üzerinden farklı sayıda coğrafi katmanın bir arada bütünleşik olarak değerlendirilebildiği bir mekânsal analiz platformu oluşturmaktadır.

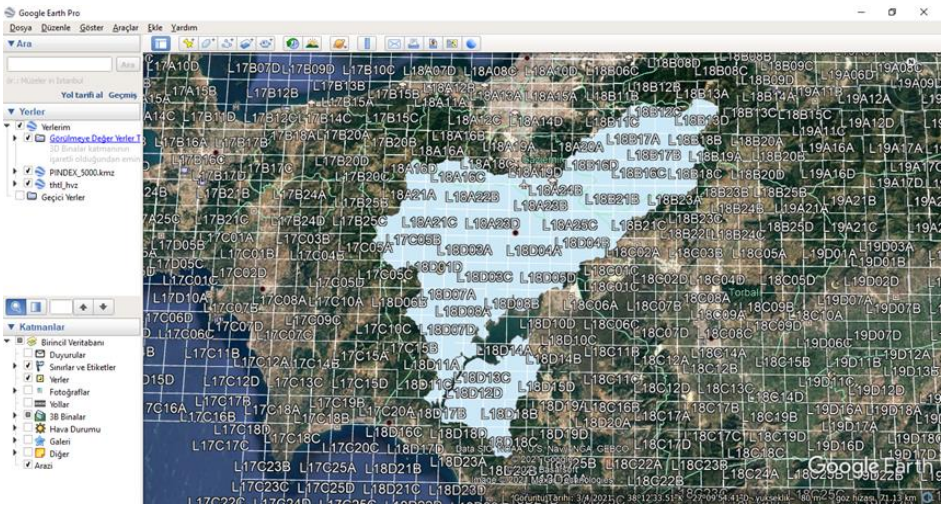


Şekil 3.1 ArcGIS yazılımı arayüzü

Sunulan çalışmada, standart mekânsal analiz işlemlerinin üzerinde ve sayısal veri katmanı grid hücre verileri temelinde ek mekânsal hesaplamalar gerçekleştirilmesi gerekli olduğundan, bu türden hesaplamaların yine yayılı ve hidrolojik akış yönleri doğrultusunda ardışık şekilde yerine getirilebilmesi için Visual Basic (VB) programlama dilinde geliştirilen ek program kodlarından yararlanılmıştır. Tahtalı Barajı Havzası'nın ilgili paftalarının seçilmesinde Google Earth programından faydalanılmıştır. Aynı zamanda, Microsoft Office Excel yazılımı Yağış Aşındırma R Faktörü değerlerinin hesaplanması için kullanılmıştır. İklim değişikliği koşulları altında gelecek dönem, 2050 yılı için arazi bitki örtüsünün modellenmesi ise Terrset programı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir.

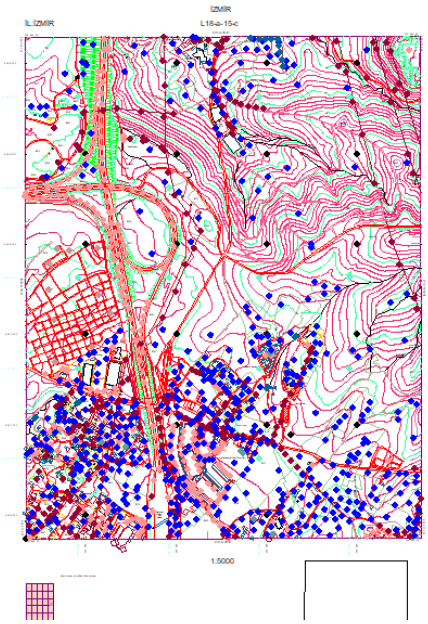
3.2 Sayısal Yükselti Modeli'nin Oluşturulması

Tez kapsamındaki hidrolojik çalışmalarda kullanılmak üzere oluşturulacak Sayısal Yükselti Modelinin (SYM) türetilmesi için gerekli yükselti verileri, İzmir Büyükşehir Belediyesi'nden 1/5000 ölçekli sayısal hâlihazır paftalar şeklinde temin edilmiştir. Google Earth yazılımının sunmuş olduğu platform sayesinde Şekil 3.2'de görüldüğü üzere açık mavi renkte gösterilen Tahtalı Barajı Havzası'nın kapsadığı paftalar kolaylıkla ayırt edilebilmiş ve seçilen paftalar ITRF 96 koordinat sistemi çerçevesinde ArcGIS ortamına aktarılmıştır.



Şekil 3.2 Google Earth yazılımı ile Tahtalı Barajı Havzası gösterimi

İzmir Büyükşehir Belediyesi'nden temin edilen, içeriğinde yükselti bilgilerinin yanı sıra mülkiyet, bina yerleşimleri, su yapıları, arazi kullanımları vb. farklı verileri barındıran 1/5000 ölçekli sayısal hâlihazır pafta Şekil 3.3'de gösterilmektedir. Havza alanını kapsayan hâlihazır paftalar seçilerek ArcGIS platformuna aktarılarak sayısal yükselti modeli oluşturulmaya başlanmıştır.

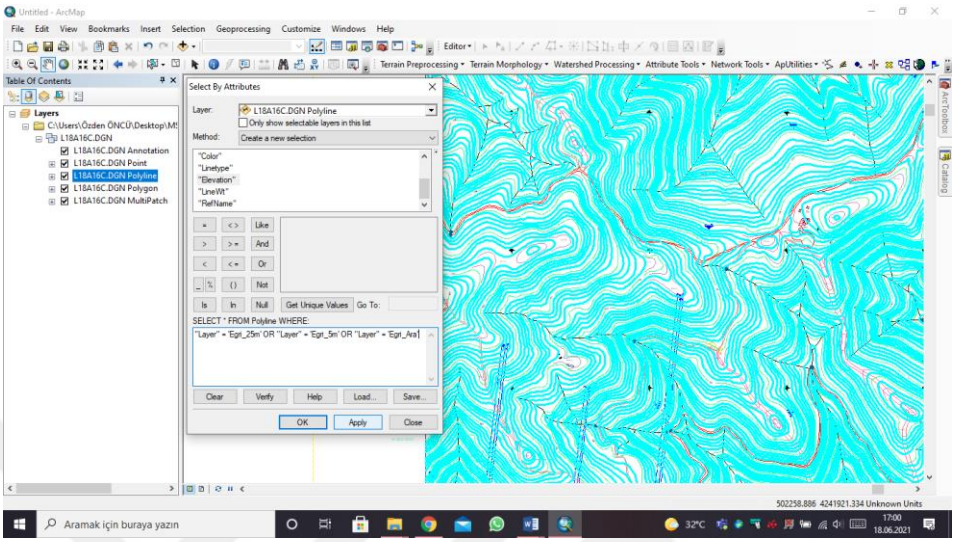


Şekil 3.3 1/5000 ölçekli sayısal hâlihazır pafta

Sayısal hâlihazır paftalar ayrı veri katmanları şeklinde barındıran hâlihazır veri dosyaları kullanılarak katman isimlerinden öznitelik katman bilgisi sorgulaması yapılmıştır.

Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımı üzerinde hâlihazır sayısal paftalar kullanılarak gerçekleştirilen mekânsal sorgulamalarla eş yükselti verileri ayırt edilerek farklı yükselti veri katmanları elde edilmiştir. Sayısal yükselti modelinin oluşturulması aşamasında öncelikle eldeki verilerden sadece yükselti bilgilerine ait coğrafi veri nesnelerinin ayırt edilmesi gerekli olup, bu amaçla farklı hâlihazır veri paftaları

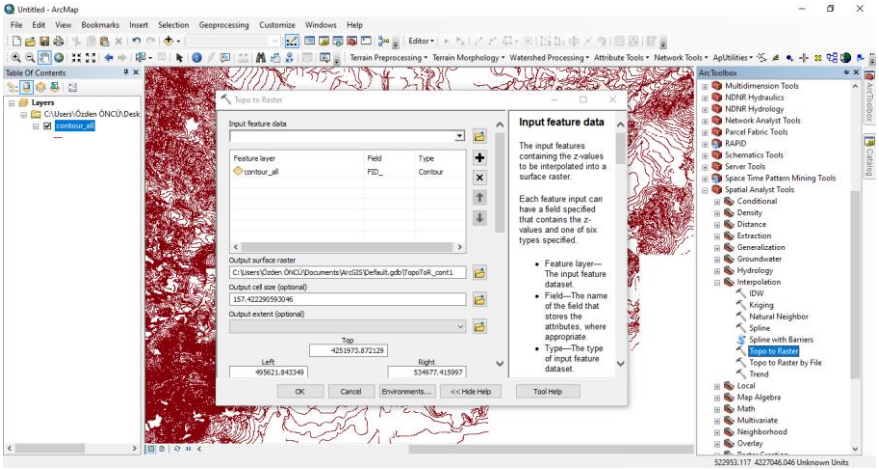
üzerinde ayrı ayrı katman öznitelik bilgisi sorgulamalarıyla yükselti nesneleri seçilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 CBS yazılımı üzerinde yükselti verilerinin seçilmesi

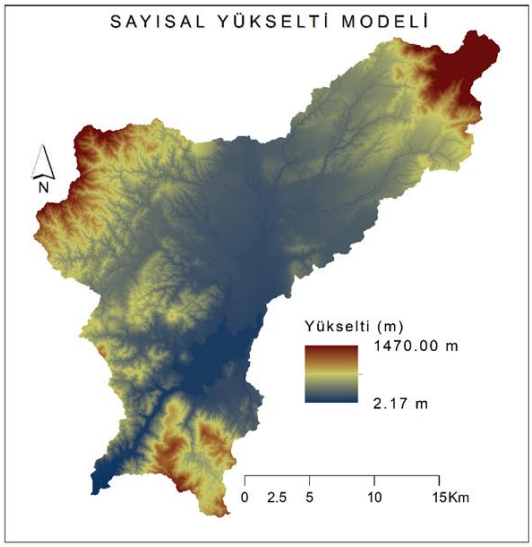
Seçilen yükselti verileri ayrı katman dosyaları şeklinde kaydedilmiş ve farklı paftalara ait yükselti verilerinin tek bir coğrafi kapsamda birleştirilmesi amacıyla da katman birleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Yükselti verileri için gerçekleştirilen bu işlem, noktasal nitelikli yükselti verileri, akım ağını gösteren akarsu geçki çizgileri ve baraj gölüne ait poligon veri nesneleri için de tekrarlanmıştır.



Şekil 3.5 CBS Yazılımı üzerinde ayrı veri katmanlarının birleştirilmesi

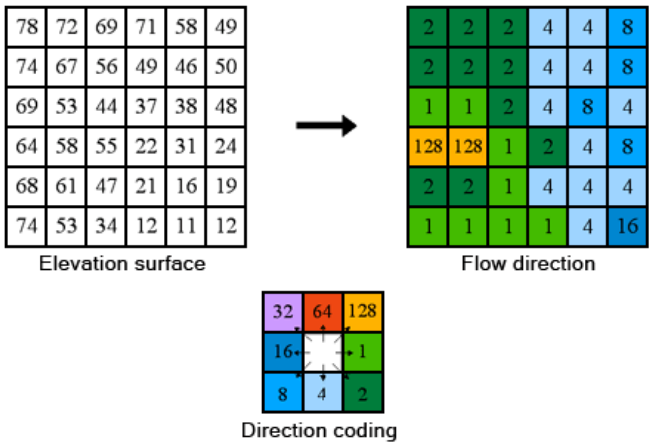
Bu sayede Şekil 3.5'de görüldüğü üzere CBS yazılımında çizgisel olarak derlenen eş yükselti eğrileri, noktasal nitelikli yükselti verileri, akım ağını gösteren akarsu geçki çizgileri ve baraj gölüne ait poligon veri nesnelerinin birlikte kullanılmasıyla *ArcToolBox* araç setinde yer alan *Topo to Raster* fonksiyonu ile sayısal yükselti modeli oluşturulmuştur. Böylece Tahtalı Barajı Havzası'nın sayısal yükselti modeli hücre boyutu 25x25 m^2 olarak raster veri şeklinde elde edilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Sayısal yükselti modeli

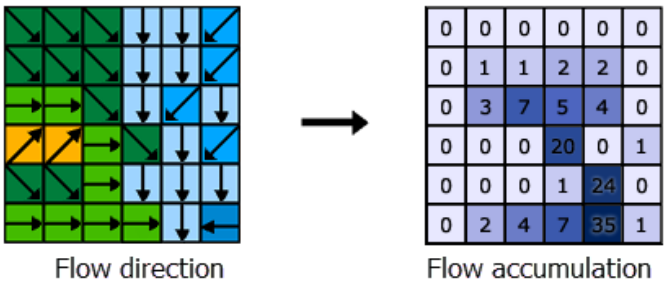
Sayısal yükselti modeli oluşturulurken bünyesinde barındırdığı bazı hücreler *NoData* olarak tanımlanabilmektedir. Bu durum akış modellemesini etkileyerek modelin düzgün çalışmasını engelleyeceğinden dolayı sayısal yükselti modeli hidrolojik modelleme yapılmadan önce bünyesinde bulundurduğu verisiz hücreler, *Fill* komutu kullanılarak modelde havza topoğrafyasında akışın sürekliliği sağlanmıştır.

Hidrolojik açıdan düzeltilen sayısal yükselti modeli *Flow Direction* komutu kullanılması ile Şekil 3.7'de çalışma mekanizmasının gösterildiği, her bir hücredeki akışların izleyeceği toplam 8 farklı yön akış yönleri haritası raster veri seti olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.9).



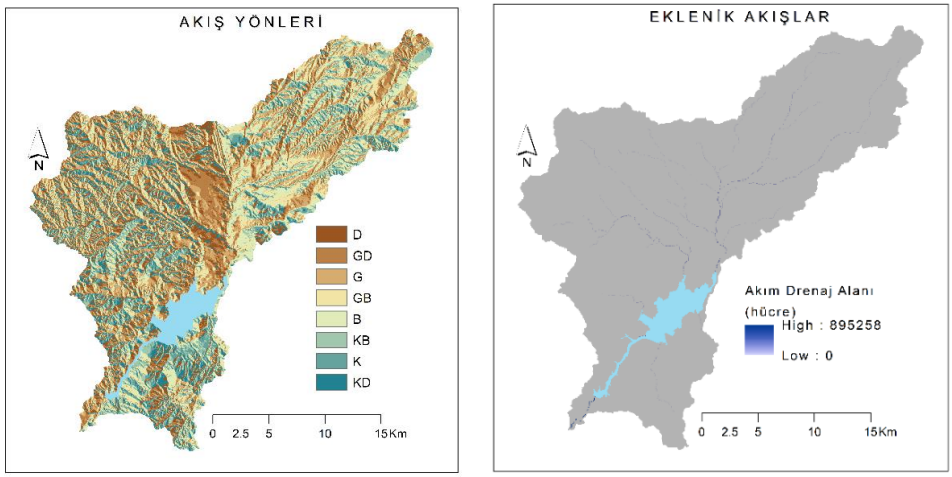
Şekil 3.7 Flow direction komutu işlevi

Akış yönleri haritasının kullanımıyla Şekil 3.8'de görüldüğü şekilde *Flow Accumulation* komutu ile havzanın memba ucundan (havza sınırından) itibaren barajın çıkışına (havzanın çıkışına) kadar olan kesimde akım toplanmaları hücre değerlerinin eklenik değerleri üzerinden akım toplanma haritası ya da diğer bir ismiyle eklenik akışlar haritası raster veri seti şeklinde oluşturulmuştur (Şekil 3.9).



Şekil 3.8 Flow accumulation komutu işlevi

Tahtalı Barajı gölünü besleyen su havza sınırını teşhis etmek için *Watershed* komutu vasıtasıyla baraj gölü çıkışına yerleştirilmiş noktasal veri ile Eklenik Akışlar Haritası'nın kullanılması ile Tahtalı Barajı'nı besleyen havza sınırları belirginleştirilmiştir.



Şekil 3.9 Akış yönleri ve eklenik akışlar haritası

3.3 Havza Yağış Verilerinin Temini

Yağışlar, bulunduğu coğrafi konum, iklim tipine ve hatta topoğrafyaya bağlı olarak gerçekleşmektedir. İzmir ili Akdeniz iklimine hâkim olmakla birlikte kış mevsiminde bolca yağış görmektedir. Bu yağışlar sıcak ve soğuk havanın karşılaşması sonucu yeterli neme sahip havanın yoğuşması ile oluşmaktadır. Özellikle kış mevsiminde

yüksek oranda yağış almasından dolayı, aşındırma ve taşınım yüksek mertebelerde yağmur sularından meydana gelmektedir. Bu sebeple yağışın meydana getirdiği aşındırmanın tayin edilebilmesi adına modelde kullanılmak üzere havza ve civarı için 1970 – 2005 referans dönemi günlük yağış verileri temin edilmiştir.

Dünyamızın güncel bir problemi olan iklim değişikliği, mevsimlere göre meydana gelen yağışların bir yıl içerisindeki dağılımını yani yağış rejimlerinin değişmesine neden olmaktadır. Aynı zamanda yağışların şiddeti ve görülme sıklığı da değişmektedir. Bu durumdan ötürü, iklim değişikliği sebebiyle oluşan yağışların toprak aşındırmasına olan etkisini belirleyebilmek adına bir proje kapsamında yürütülmüş olan iklim değişikliğine bağlı modellenen yağış verilerinin kullanılması ile gelecek dönem erozyon tahmini modellemesi yapılmıştır.

3.4 Arazi Toprak Harita Verilerinin Temini

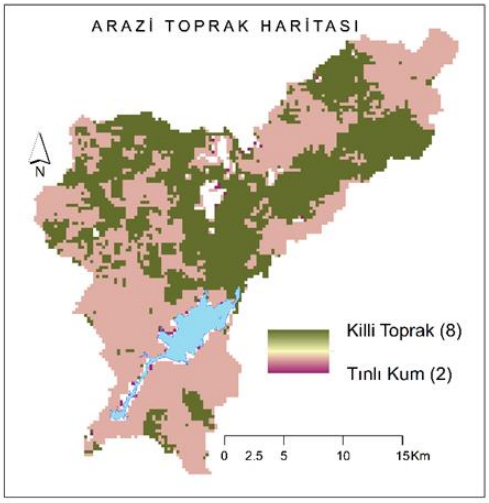
Toprak aşınabilirlik K faktörünün modellenebilmesi için toprak özellikleri ve havza alanındaki dağılım şeklinin bilinmesi önemlidir. Bu sebeple toprağın fiziksel, kimyasal, coğrafik özellikleri ve arazide yapılan tarımsal faaliyetler vb. parametrelerin teşhis edilmesi gerekmektedir. Bu parametrelere bağlı olarak birçok sınıflandırma sistemi mevcuttur. Günümüzde sıklıkla kullanılan sınıflandırma sistemleri Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA) olarak bilinmektedir.

Belli bir miktar toprak kütlesinde bulunan kil, silt, kum vb. taneciklerinin oranlanması ile toprak bünyesi elde edilmektedir.

Toprak yapısı, gerek dış kuvvetlerin meydana getirdiği örneğin iklim, canlıların yaşamsal faaliyetleri ve topoğrafyanın yapısı gibi parametreler, toprak bünyesini önemli derecede etkilemektedir. Bu nedenle Tahtalı Barajı Havzası sınırları dâhilinde

olan arazide toprak özelliklerinin belirlenmesi ve toprağın erozyona olan duyarlılığının tespiti yapılması gerekli bulunmaktadır.

Erozyon tahmin çalışmalarında kullanılan sayısal yöntemlerden birisi olan toprak aşınabilirlik K faktörünün modellenebilmesi adına Avrupa Toprak Veritabanı'ndan Tahtalı Barajı Havzası'nın arazi toprak haritası (Şekil 3.10) ve toprağın kil, silt, kum içerikleri (Şekil 3.11) hâlihazır sayısal raster veri halinde temin edilmiştir.



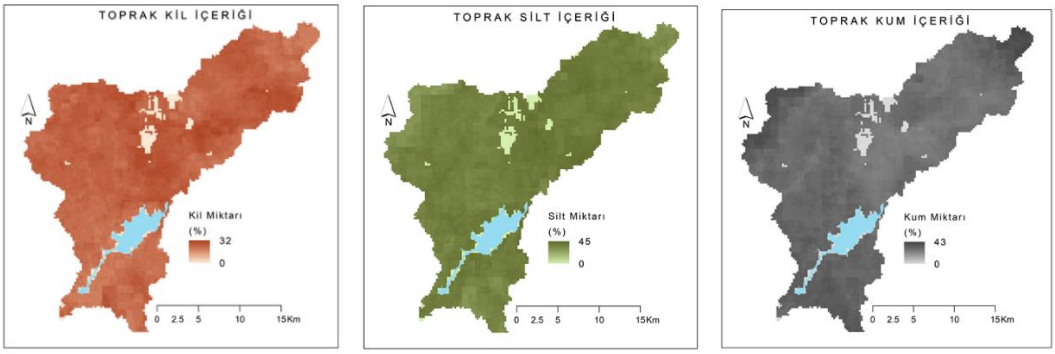
Şekil 3.10 Arazi toprak haritası

Tahtalı Barajı Havzası sınırları dâhilinde bulunan arazinin toprak haritasında görüleceği üzere killi toprak ve tınlı kum olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Avrupa Toprak Veritabanı'ndan elde edilmiş veriler dâhilinde baraj gölü ve çevresi tınlı kum olarak, şehre yaklaşan kesimlerde ise killi toprak cinsi yaygın olarak görülmektedir (Şekil 3.10).

Tınlı topraklar, bünyelerinde çoğunluk olarak kum barındırmaktadır. Bunula birlikte % 30 – 50 arası kilden meydana gelmektedir. Ekilip sürülmeleri ve işlenmeleri

kolay olduğundan tarım için elverişli topraklardır. Organik madde içeriği kumlu topraklara oranlandığında daha yüksektir.

Kumlu topraklar ise, bünyelerinde % 80 oranında kum bulundurmaktadır. Kumun dane çapı iri olduğundan dolayı daneler arası boşluklar ince malzemelere oranla daha fazladır. Böylece hava ve su geçirgenliği yüksektir. Kolay işlenebilmekle birlikte bünyelerinde su tutamadıklarından dolayı sıkça sulanması gereklidir. Bu sebeple topraktaki besin, organik maddeler yıkanarak kaybedilebilmektedir. Tarıma elverişli topraklar değildir.



Şekil 3.11 Tahtalı Barajı havzası toprak, kil, silt ve kum içeriği haritaları

Toprak bünyesindeki tanecik boyutu açısından belli sınırlar içerisinde olan çakıl ve taş haricindeki, kil, silt, kum gibi ince malzemelerin gruplara ayrılmasına toprak fraksiyonu denilmektedir.

Baraj havzasındaki toprak fraksiyonu, elde edilen veriler dâhilinde incelendiğinde, kil miktarı havza sınırı içerisinde en çok %32 oranında görülmekte, silt miktarı %45 ve kum miktarı ise % 43 oranında görülmektedir. Sayısal haritalarda 0 değerine sahip hücreler şehirleşen bölgeler olarak tanımlanmaktadır.

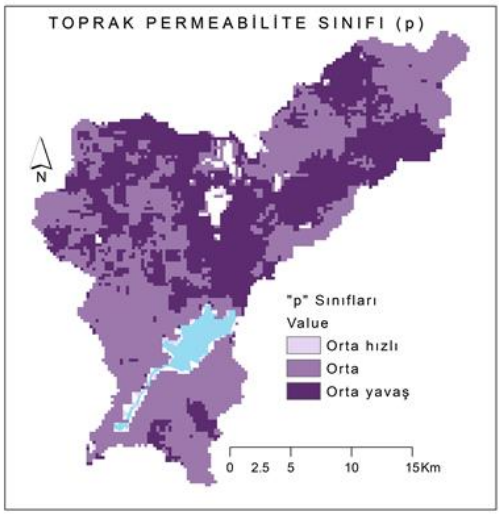
Zemin daneleri arasında bulunan boşluklar su ve hava akışına olanak sağlamaktadır. Zeminin boşluklu yapısı geçirimliliği bir diğer ifadeyle permeabilite, dane çapı, granülometre ile doğru orantılıdır. Kaba malzemeler ince malzemelere oranla yapısında daha çok boşluk bulundurmaktadır. Bilindiği üzere toprak kıvamı, daneciklerin birbirleri arasındaki ve diğer elementler ile daneciklerin arasındaki çekim kuvvetine bağlı olarak toprağın dış baskılara karşı şekil değişimine, kırılıp dağılmaya karşı gösterdiği dirençtir. Toprağın erozyona olan yatkınlığı belirlenebilmesi için permeabilite ve granülometrenin bilinmesi önem taşımaktadır.

Avrupa Toprak Veritabanı permeabilite sınıflandırma sistemi, toprağın sahip olduğu boşluk yapısı esasında doymuş hidrolik iletkenlik hızı (geçirimlilik) 6 sınıf olarak incelemektedir. İri daneli toprak tipleri örnek olarak kum, su tutma kapasitesi çok hızlı olarak sınıflandırılırken, dane çapı inceldikçe zemin yapısındaki boşluklar azalarak daha sıkı bir doku sergilemektedir. Böylece ince daneli zeminlerde, özellikle kil miktarının çok fazla olduğu zeminlerde hidrolik iletkenlik çok düşük olmakla birlikte çok yavaş sınıf olarak kategorize edilmektedir (Tablo 3.1).

Tablo 3.1 Avrupa toprak veritabanı permeabilite sınıfları

Permeabilite Sınıfı (p)	**Doku**	**Doymuş Hidrolik İletkenlik (mm h $^{-1}$)**
1 - Hızlı ve Çok Hızlı	Kum	>61,0
2 - Orta Hızlı	Tınlı Kum, Kumlu Tın	20,3 – 61,0
3 - Orta	Tın, Siltli Tın	5,1 – 20,3
4 - Orta Yavaş	Kumlu Killi Tın, Killi Tın	2,0 – 5,1
5 – Yavaş	Siltli Killi Tın, Kumlu Kil	1,0 – 2,0
6 - Çok Yavaş	Siltli Kil, Kil	<1,0

Havza sınırları dâhilinde bulunan toprağın permeabilite ve granülometre bilgisini içeren sayısal raster haritalar yine Avrupa Toprak Veritabanı'ndan temin edilmiştir. Bu sınıflar hidrolik iletkenliğin gerçekleştiği hızlara göre kategorize edilmiştir. Baraj havzası sınırları kapsamında kalan arazideki permeabilite değerleri incelendiğinde, sınıflandırma sisteminde bulunan 6 sınıftan 3 sınıf bulunmaktadır. Baraj havzasında permeabilite parametresi, orta hızlı (tınlı kum), orta (siltli tın) ve orta yavaş (kumlu killi tın) olarak 3 ayrı sınıfta değerlendirilmiştir.



Şekil 3.12 Toprak permeabilite sınıfı haritası

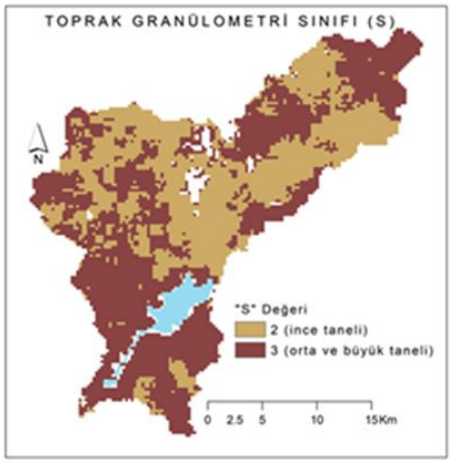
Şekil 3.12'de görüldüğü üzere baraj gölü çevresi çoğunluk olarak orta hızlı permeabilite sınıfına hâkim, havzanın diğer alanlarına kıyasla daha iri daneli toprak yapısına sahip geçirgenliği yüksek olan zemin yapısındadır.

Baraj havzasının toprak granül çapı belirlenmesi amacı ile yine Avrupa Toprak Veritabanın'dan yararlanılarak yapı sınıfları olarak irdelenen sistem kullanılmıştır. Bu sistem, zemini dane çapını esas alarak dört ayrı sınıf olarak kategorize eder (Tablo 3.2).

Tablo 3.2 Avrupa toprak veritabanı yapı sınıfları

Yapı sınıfları (s)	Avrupa Toprak Veritabanı
1 - Çok ince daneli: 1–2 mm	İ (iyi)
2 - İnce daneli: 2–5 mm	N (normal)
3 - Orta veya iri daneli: 5–10 mm	Z (zayıf)
4 - Bloklu, düz veya masif: > 10 mm	H (humuslu)

Avrupa Toprak Veritabanı'ndan temin edilen toprak granülometri sınıflarını gösterir raster haritada görüleceği üzere baraj havzasında iki granülometre sınıfı mevcuttur (Şekil 3.13). Bu sınıflar haritada 2 olarak belirtilen ince daneli zeminler yaklaşık olarak 2 ile 3 mm arası dane çapına sahip zemin sınıfları olmakta, 3 olarak belirtilen zemin ise 5 ila 10 mm dane çapına sahip orta veya iri taneli zemin olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 3.13 Toprak granülometre sınıfı haritası

Baraj havzasına ait permeabilite ve granülometre parametreleri birlikte irdelenmiştir. Bu neticede granülometri haritasında baraj gölü çevresi zemin yapısı 5 – 10 mm dane çapına sahip orta veya iri daneli partikül çaplarına sahip olmakla birlikte aynı bölge için permeabilite haritasına bakıldığında hidrolik iletkenlik orta sınıfı hakim olması ile her iki haritanın birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir.

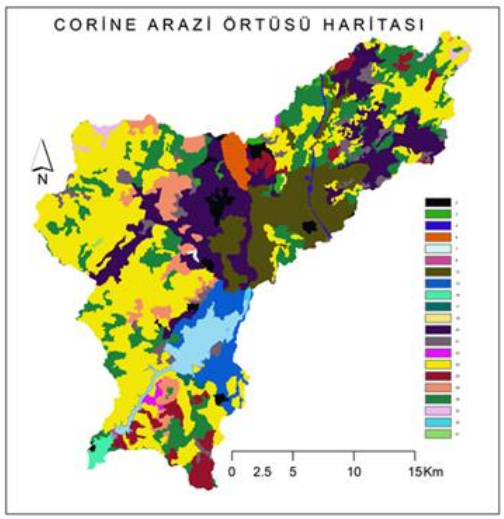
3.5 Arazi Bitki Örtüsü Harita Verilerinin Temini

Bitkiler, yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmeleri için gerekli olan besini ve suyu toprağın alt tabakalarında veya üst tabakalarında bulunan kökleri vasıtası ile temin etmektedir. Bu vesile ile bitki kökleri, toprak kütlelerini tutarak olası dış etkilerden dolayı yer değiştirme durumunu engellemekte ve erozyonun etkilerini önemli derecede azaltmaktadır. Çeşitli bitki türlerinin olmasına bağlı olarak, her bitkinin toprak tutma kapasitesi farklıdır. Kuvvetli ve büyük köklere sahip bitkiler yüksek oranda toprak tutma kapasitesine sahip iken zayıf ve küçük köklere sahip bitkiler ise toprak tutma kapasiteleri oldukça düşüktür. Her bitkinin erozyon etkilerini azaltma faktörü farklı olduğundan dolayı, erozyon çalışmalarında bitki çeşitliliğinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla yapılan çeşitli çalışmalar bulunmakla birlikte ortak değerlendirme bağlamında irdelenmesi açısından Avrupa kara parçasına ait standart bir veri tabanı olan CORINE (Coordination of Information on the Environment - Çevresel Bilginin Koordinasyonu) kullanılmıştır.

CORINE, Avrupa Çevre Ajansı tarafından geliştirilen arazi bitki örtüsü sınıflandırma kuralları dâhilinde Landsat uydu görüntülerinin kullanılmasıyla coğrafi bilgi sistemi ortamında, 1/100.000 ölçekli sayısal harita şeklinde türetilen arazi örtüsü verisidir. CORINE Arazi Örtüsü Haritası, Avrupa Birliği tarafından geliştirilmiş Dünya Gözlem Programı olan Copernicus Programı tarafından üretilmektedir. Poligon formatında geliştirilen sayısal haritalar, minimum haritalama birimi 25 ha, değişim algılama eşiği ise 5 ha olmaktadır. Arazi bitki örtüsü, yapay yüzeyler, tarım alanları, orman ve yarı doğal alanlar olarak üç ana başlıkta incelenmekte ve bu başlıklara bağlı 44 alt başlık bulunmaktadır (Avrupa Çevre Ajansı, 2000).

Yapılan çalışmada Bitki Amenajman C Faktörü'nün modellenmesinde, üretimi yaklaşık 4 sene süren 2000 yılı sürümü olan CORINE arazi örtüsü haritası (CORINE Land Cover – CLC 2000) kullanılmıştır. Havza bölgesinin bitki çeşitliliği CORINE haritası ile birlikte incelendiğinde, ana başlıkları ile birlikte tüm alt başlıkları Tablo 3.3' te listelenmiştir.

Coğrafi bilgi sistemi olan ArcGIS platformu üzerinde vektör veri seti halinde CORINE arazi örtüsü haritası (CLC – 2000) öznitelik sorgulaması yapılarak haritanın tamamında hücre değerleri, CORINE arazi örtüsü sınıfı kodları ile eşleştirilmiştir (Tablo 3.3). Böylece Avrupa Çevre Ajansı'nın bitki örtüsü sınıflandırma kuralları çerçevesinde Tahtalı Barajı Havzası CORINE arazi örtüsü haritası elde edilmiştir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Tahtalı Barajı Havzası CORINE arazi örtüsü haritası

Arazi örtüsü haritası incelendiğinde, havza bölgesinde çoğunlukla sarı rengin hâkim olduğu görülmekle birlikte bu grubun sınıflandırma sisteminde iğne yapraklı ormanlar olarak isimlendirildiği görülmektedir. İğne yapraklı ormanların takibinde arazide çoğunluk oluşturan bir diğer grup ise tarımsal faaliyetleri içeren bitki cinsleridir.

Tablo 3.3 Havza dâhilinde bulunan CORINE arazi örtüsü sınıfları

Hücre Değeri	CORINE Kodu	CORINE Arazi Kullanımı Tanımları
1. Yapay Bölgeler		
2	112	Kesikli Şehir Yapısı
3	121	Endüstriyel veya Ticari Alanlar
4	122	Karayolları, Demiryolları ve ilgili alanlar
6	124	Havaalanları
7	131	Maden Çıkarım Sahaları
9	133	İnşaat Sahaları
2. Tarımsal Alanlar		
12	211	Sulanmayan Ekilebilir Alan
13	212	Sürekli Sulanan Alanlar
16	222	Meyve Bahçeleri
17	223	Zeytinlikler
18	231	Meralar
20	242	Karışık Tarım Alanları
21	243	Doğal Bitki Örtüsüyle Bulunan Tarım Alanı
3. Orman ve Yarı Doğal Alanlar		
23	311	Geniş Yapraklı Ormanlar
24	312	İğne Yapraklı Ormanlar
25	313	Karışık Ormanlar
28	323	Sklerofil Bitki Örtüsü
29	324	Bitki Değişim Alanları
32	333	Seyrek Bitki Alanları
4. Islak Alanlar		
35	411	Bataklıklar
5. Su Yapıları		
41	512	Su Kütleleri

BÖLÜM DÖRT

EROZYON MODELLEMESİ

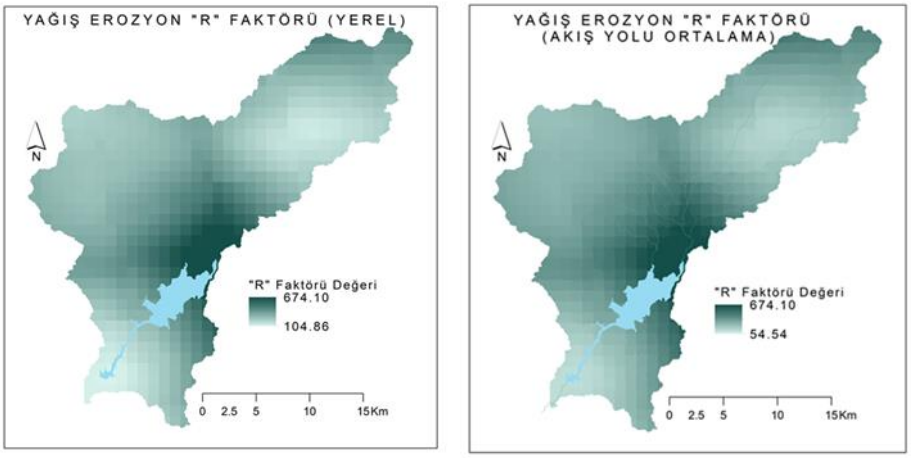
4.1 Yağış Aşındırma R Faktörü

Coğrafi konum ve iklim koşullarına bağlı olarak oluşan yağışlar, toprağın bir yerden koparılarak başka bölgelere taşınması ve birikmesine sebep olan büyük etkenlerdendir. Bu neticede Tahtalı Barajı Havzası'nda yağışlar sebebiyle oluşan toprak taşınımını tayin edebilmek adına Ferreira ve Panagopolous tarafından geliştirilmiş olan R Faktör eşitliği kullanılmıştır. Eşitlik, 10 mm ve üzeri günlük yağış verilerinin kullanılmasını ve bu yağışların gözlemlendiği gün sayısının kullanılmasını gerektirmektedir. Havza civarı için temin edilen yayılı yağış modeline ait 699 grid noktası için 1970 ile 2005 yılları arasını kapsayan günlük yağış verileri kullanılmıştır. Günlük veriler, Excel ortamında düzenlenerek 10 mm ve üzeri olan yağışlar ayrı biçimde derlenmiş ve bu yağışların görülme sıklığı gün bazında belirlenmiştir. Yine Excel ortamında bu verilerin eşitliğe uygun şekilde hesaplanması sonucu ile her yıl için ayrı bir R faktör hesaplanmıştır. Oluşturulan R Faktörlerin ortalaması alınarak referans dönemi için nihai bir R faktör ArcGIS ortamında raster veri olarak düzenlenmiştir (Şekil 4.1). Akış yönlerinin de hesaba katılması ile Visiual Basic'te yazılmış olan bir program kodu kullanılarak akım toplanma haritası ya da diğer bir ismiyle eklenik akışlar haritası oluşturulmuştur. Böylece havzanın memba ucundan (havza sınırından) itibaren barajın çıkışına (havzanın çıkışına) kadar olan kesimde akım toplanmaları hücre değerlerinin eklenik değerleri üzerinden belirlenmiştir.

$$R = \sum_{i=1}^{12} 6{,}56 * \text{rain}_{10} - 75{,}09 * \text{days}_{10} \qquad (4.1)$$

Rain_{10}: 10mm ve üstü yağmurlu günler için aylık yağış

Days_{10}: 10mm ve üstü aylık yağışlı gün sayısı



Şekil 4.1 Yağış erozyon R faktörü

4.2 Toprak Aşınabilirlik K Faktörü

USLE denkleminde bir diğer çarpan olan K Faktörü, toprak parçacıklarının ayrılmaya olan duyarlılığını ifade etmektedir. Yapılmış olan hâlihazır araştırmalar neticesinde farklı toprak türlerinin farklı oranlarda erozyona uğradığı belirlenmiştir. Bunun ana sebepleri toprak dokusu başta olmak üzere toprağın içerdiği organik madde, geçirgenlik, granülometre, kil, silt ve kum içeriği gibi parametrelerin farklılık göstermesidir. Bu parametreler arazi çalışmaları ile teşhis edilebilmesine karşın, arazi çalışmaları ile numune ve laboratuvar analiz ölçümleri finansal olarak sürdürülebilir olmamaktadır. Bu sebeple Toprak Aşınabilirlik K Faktörü, Wischmeier ve diğerleri, tarafından geliştirilmiş yaygın ölçekte kullanılan toprak aşınabilirlik nomografı esas alınarak hesaplanmıştır. Nomografın cebirsel bir yaklaşımı, doku, organik madde, kaba parçalar ve geçirgenlik olarak dört toprak parametresini içermektedir (Eşitlik 4.2).

$$K = [(2{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot M^{1{,}14}(12 - OM) + 3{,}25(s - 2) + 2{,}5(p - 3))/100].0{,}1317 \quad (4.2)$$

K: Toprak Aşınabilirlik Faktörü

M: Bünye Faktörü

OM: Toprak organik madde içeriği, (%)

s: Toprak Granülometre Sınıfı

p: Toprak Permeabilite Sınıfı

Nomografın uygulanması adına ilk olarak dokusal faktörün hesaplanması gereklidir. Dokusal faktör bir diğer ismi ile bünye (M) faktörü modeli Eşitlik (4.3) ile havza sınırları içerisinde bulunan toprağın kil, silt ve kum yüzde verilerini içeren raster haritaların kullanımı ile coğrafi bilgi sistemi platformunda raster veri olarak türetilmiştir (Şekil 4.2).

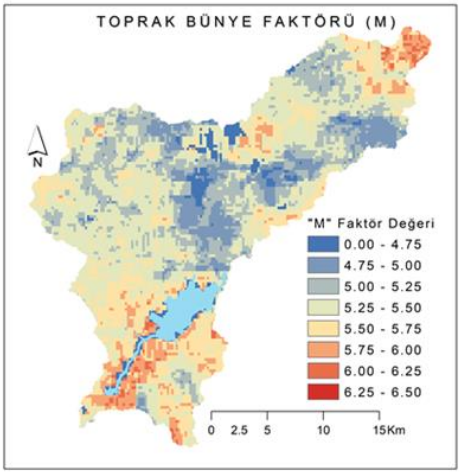
$$M = (m_{silt} + m_{vfs}) * (100 - m_c) \quad (4.3)$$

M: Dokusal Faktör (Bünye)

m_c (%): kil fraksiyon içeriği (< 0,002 mm)

m_{silt} (%): silt fraksiyon içeriği (0,002 – 0,05 mm)

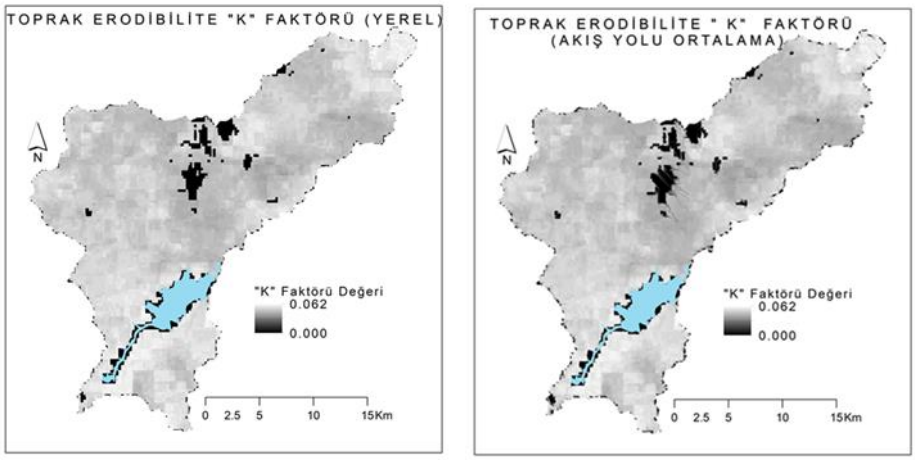
m_{vfs} (%): çok ince kum oranı içeriği (0,05 – 0,1 mm)



Şekil 4.2 Toprak bünye M faktörü

Arazi Toprak Harita Verilerinin Temini bölümünde detaylı olarak anlatılmış olan havzaya ait permeabilite ve granülometre raster haritalarının, organik madde yüzdesi ve M (Bünye) faktörünün kullanımıyla Wischmeier ve Smith tarafından geliştirilmiş olan nomograf ile Toprak Aşınabilirlik K Faktörü grid bazlı harita şeklinde elde edilmiştir (Şekil 4.3).

Akış yönlerinin de hesaba katılması ile Visiual Basic'te yazılmış olan bir program kodu kullanılarak akış yolu ortalaması toprak aşınabilirlik K Faktörü haritası elde edilmiştir.



Şekil 4.3 Toprak aşınabilirlik (erodibilite) k faktörü

Modellenmiş olan K Faktörü haritalarında açık renge sahip bölgeler toprak aşınmasına daha yatkın bölgeler olmaktadır. Buna karşın sıfır değerine yakın değerler daha koyu renkte gösterilmekle birlikte aşınmaya karşı daha dirençli toprak yapısına sahip olmaktadır. Ancak toprak erozyonunun tespitinde esas alınmayan su kütleleri ve yerleşim yerleri havalimanları gibi yapay yüzey örtüsüne sahip bölgeler Toprak Aşınabilirlik K Faktörü haritalarında sıfır değeri ile ifade edilmektedir.

4.3 Bitki Amenajman C Faktörü

Bitki Amenajman bir diğer ismiyle bitkisel örtü faktörü (C Faktörü) Evrensel Toprak Kaybı Eşitliğinde (USLE) (Wischmeier ve Smith, 1978) yağışların aşındırma etkisine karşı toprağın bitkiler tarafından tutulması ile koruyucu bir etki olarak ifade edilmektedir. Toprak kayıplarının çıplak toprak ile toprak yüzeyinin tamamen bitki örtüsü ile kaplandığı durum arasındaki ilişkiyi yansıtmaktadır. Bitki örtüsü türüne bağlı olaraktan C Faktörü sıfır ile bir arasında değişkenlik göstermektedir (Meusburger ve Alewell, 2010).

Bitki örtüsü; kuraklık yangın sel ve volkanik aktivitelerin yanı sıra beşeri faktör kaynaklı kentleşme ve tarım gibi faaliyetlerden etkilenmektedir.

Biyofiziksel ve tarımsal ürünlerle ilgili istatistik verileri uzaktan algılama yöntemleri ile tespit edilebilip ürün başına arazi yüzdesi saptanabilmekte bu sayede arazinin seyrek bitki örtüsüne veya sık ormanlık bitki örtüsüne sahip olduğu tespit edilebilmektedir. C faktörü tarıma elverişli olmayan ve seyrek bitki örtüsüne sahip arazilerde en yüksek değerlere sahipken sık ormanlık arazilerde en düşük C faktör değerlerine sahiptir (Panagos, 2015; Grimm, 2001).

Bitki Amenajman C Faktörü tahmini için, Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi (JRC) tarafından, ekilebilir topraklar ile ekilemeyen diğer tüm arazi kullanımları için hibrit bir yaklaşıma dayalı C faktör tahminleri sunan bir çalışmanın belirlemelerinden yararlanılmıştır. Ekilebilir toprak alanları için ayrı, ekime elverişli olmayan toprak alanları için ayrı C faktörü ifade edilen bu yöntemde yapay alanlar, sulak alanlar, su kütleleri, çıplak kayalar, plajlar ve buzullar C-faktörü değerlendirmesinde dikkate alınmamaktadır (Panagos, 2015).

Avrupa komisyonu ortak araştırma merkezi tarafından modellenmiş olan ekilebilir toprak arazileri için C Faktörü Tablo 4.1’de sunulmuştur.

Tablo 4.1 Ekilebilir toprak arazileri için C faktörü

	Ürün	C Faktörü
1	Ekmeklik buğday	0,2
2	Makarnalık buğday	0,2
3	Çavdar	0,2
4	Arpa	0,21
5	Tahıl mısırı - mısır	0,38
6	Pirinç	0,15
7	Kuru bakliyat (baklagiller) ve protein mahsulü	0,32
8	Patates	0,34
9	Şekerpancarı	0,34
10	Yağlı tohumlar	0,28
11	Şalgam	0,3
12	Ayçiçeği çekirdeği	0,32
13	Keten tohumu	0,25
14	Soya	0,28
15	Pamuk tohumu	0,5
16	Tütün	0,49
17	Nadas arazi	0,5

Ekilebilir toprak arazileri için Tahtalı Barajı havzasında CORINE arazi sınıflandırmasında bulunan “Sulanmayan Ekilebilir Alanlar” ve “Sürekli Sulanan Alanlar”, çoğunlukta soya yetiştirilmesinden dolayı C Faktörü bu iki grup için 0,28 seçilmiştir. Bu iki gruba dâhil olan gridler 0,28 olarak tekrar sınıflandırılırken bunun dışındaki tüm gridler *NoData* olarak tanımlanmış ve raster harita elde edilmiştir.

Tarıma uygun olmayan araziler için C faktörü tahmini Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi tarafından modellenmiş olup Tablo 4.2’de sunulmuştur.

Tablo 4.2 Ekim yapılamayan toprak arazileri için C faktörü

CLC Sınıfı	Ürün	Minimum C Faktör	Maksimum C Faktör
221	Üzüm Bağları	0,15	0,45
222	Meyve Bahçeleri	0,15	0,3
223	Zeytinlikler	0,1	0,3
231	Meralar	0,05	0,15
241	Kalıcı mahsullerle ilişkili yıllık mahsuller	0,07	0,35
242	Karmaşık yetiştirme kalıpları	0,07	0,2
243	Önemli doğal bitki örtüsüne sahip, ağırlıklı olarak tarım yapılan arazi	0,05	0,2
244	Tarımsal ormancılık alanları	0,03	0,13
311	Geniş Yapraklı Ormanlar	0,0001	0,003
312	İğne Yapraklı Ormanlar	0,0001	0,003
313	Karışık Ormanlar	0,0001	0,003
321	Doğal Çayırlıklar	0,01	0,08
322	Fundalıklar	0,01	0,1
323	Sklerofil Bitki Örtüsü	0,01	0,1
324	Bitki Değişim Alanları	0,003	0,05
331	Sahil,Kumsal,Kumluk	0	0
332	Çıplak Kayalıklar	0	0
333	Seyrek Bitki Alanları	0,1	0,45
334	Yanmış Alanlar	0,1	0,55
335	Buzullar ve sürekli kar	0	0

Coğrafi bilgi sistemleri programında Tahtalı Barajı Havzası sınırları dâhilinde bulunan CORINE arazi örtüsü sınıfları için minimum ve maksimum C Faktör değerleri için ayrı bir şekilde Cmin ve Cmax grid bazlı haritalar oluşturulmuştur. Bu iki raster verinin *Raster Calculator* vasıtasıyla farkları alınarak aralık değerlerine sahip raster harita elde edilmiştir.

Tarıma uygun olmayan araziler için C faktörü tahminin yapılabilmesi adına Bitki Örtüsü Fraksiyon ($F_{örtü}$) verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bitki örtüsü fraksiyonu yeşil bitki örtüsüyle kaplı toprağın bitki çeşitliliği sınıflandırılmasına karşılık gelmektedir. Bitki örtüsü fraksiyon ($F_{örtü}$) raster veri seti Copernicus programı tarafından halihazır paftalar şeklinde temin edilmiştir. Ekim yapılamayan toprak arazilerinde C faktörün modellenmesi Eşitlik (4.5) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

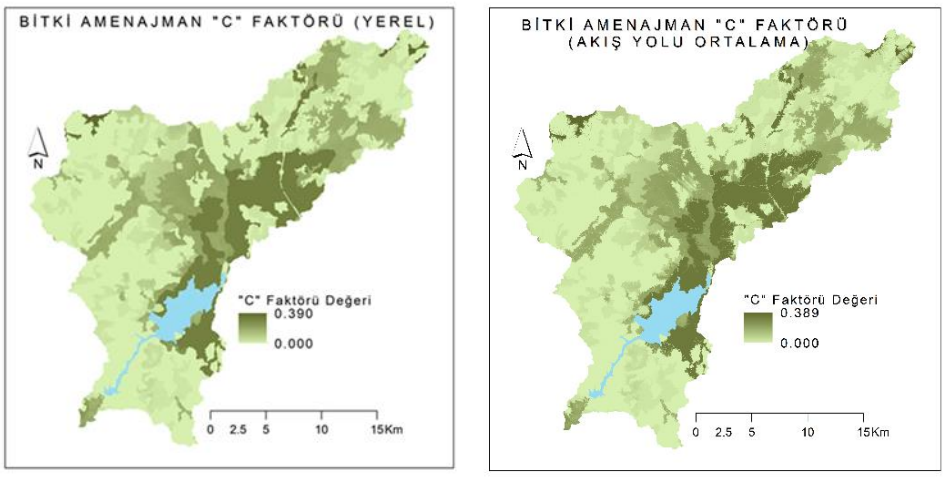
$$C_{Ekilemeyen} = \text{Min}(C_{AraziKullanımı}) + \text{Aralık}(C_{AraziKullanımı}) \text{ x } (1 - F_{örtü}) \quad (4.5)$$

$C_{Ekilemeyen}$: Tarıma uygun olmayan araziler için C Faktörü

$C_{AraziKullanımı}$: CORINE arazi örtüsü C faktör değeri

$F_{örtü}$: Bitki örtüsü fraksiyonu

Tarıma uygun olan toprak arazileri için ve tarıma uygun olmayan toprak arazileri için bulunan C faktörleri ArcGIS programında bulunan *Mosaic* komutu kullanılarak birbirleri ile bütünleştirilmiş ve nihai C faktörü elde edilmiştir (Şekil 4.4).

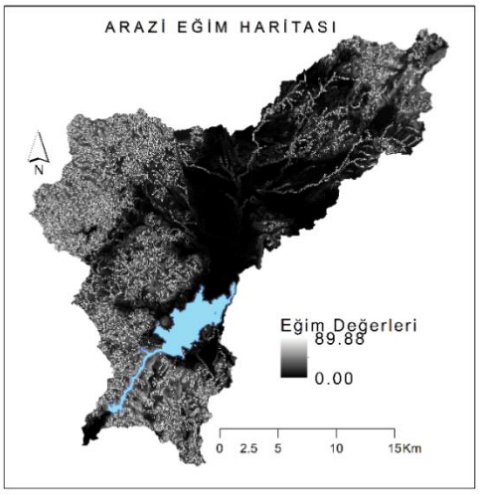


Şekil 4.4 Bitki amenajman C faktörü

4.4 Eğim S ve Yamaç Eğim Uzunluğu L Faktörü

Eğim, erozyonu etkileyen önemli faktörlerden biri olmaktadır. Arazinin eğimi suyun akış yönünü ve hızını belirlediğinden topoğrafyanın eğim derecesi, eğim uzunluğu ve yükselti özelliği toprak aşınım ve taşınım miktarı üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir (Van Remortel, 2001; Hickey, 2000).

Baraj havzasına ait, yerel yönetimlerden temin edilen sayısal paftalar aracılığıyla oluşturulan havza yükselti modeli ile arazinin sahip olduğu topoğrafik özellikler göz önünde bulundurularak eğim faktörünün modellenmesi için ArcGIS programı Slope komutu ile yüzdesel eğim değişimi olarak havza bölgesine ait eğim haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Tahtalı Barajı arazi eğim haritası

Eğim haritası ile USLE Eğim S Faktörü Eşitliği kullanılarak Eğim Faktörü grid bazlı harita şeklinde elde edilmiştir. USLE S faktörü sadece grid bazında bulunduğu hücreye ilişkin olan değeri kullanılması yerine hâkim eğim uzunluğu dikkate alınarak akış yolunda S faktörü ortalaması elde edilmiş, böylece her bir grid hücresinin üzerinde drenaj alanını temsil edebilecek bir USLE S Faktörü ortalama olarak elde edilmeye çalışılmıştır (Şekil 4.6). Akış yolu ortalaması S Faktör hesaplanması işlemi,

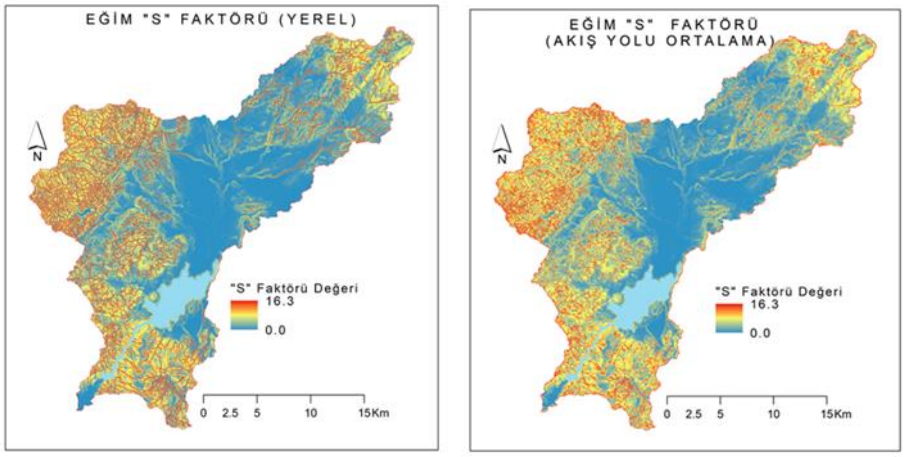
Visual Basic tabanlı tasarlamış olduğumuz bir program kodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Gül, 2010; Stone, 2012).

$$S = 0{,}0065 + 0{,}0456(slope) + 0{,}006541(slope)^2 \quad (4.6)$$

S: USLE eğim faktörü eşitliği

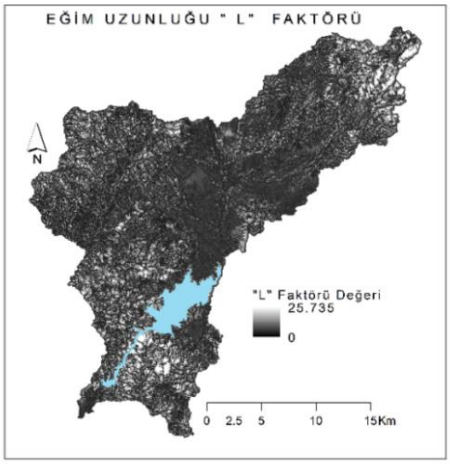
slope: Arazi eğim haritası, (%)

Eğim S faktörü haritasında havza topoğrafyasında eğimin olmadığı bölgeler mavi olarak, eğimi yüksek bölgeler ise kırmızı olarak tanımlanmaktadır. Kırmızı olarak renklendirilen alanlar erozyona daha duyarlı bölgeler olmaktadır.



Şekil 4.6 Eğim S faktörü

Tahtalı Barajı Havzası'nda yamaç eğim uzunluğu haritası oluşturulması için çeşitli yaklaşımlar ve algoritmalar arasından Hickey tarafından geliştirilen USLE tabanlı program algoritması kullanılmış ve L faktörü grid bazlı harita olarak elde edilmiştir (Şekil 4.7).



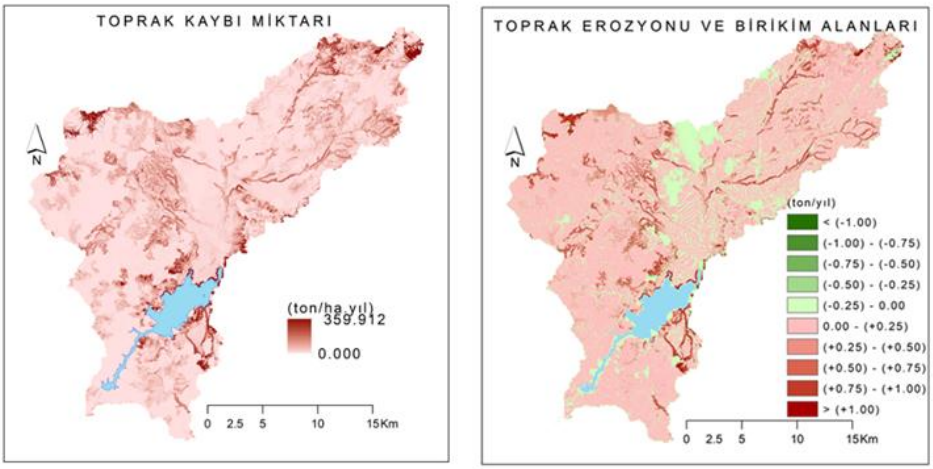
Şekil 4.7 Eğim uzunluğu L faktörü

4.5 Toprak Koruma P Faktörü

P Faktörü toprak koruma işlemleri olarak tanımlanır. Eğime paralel şeritler halinde yapılan tarım faaliyetleri veya teras şeklinde eş yükselti eğrilerine paralel olarak inşa edilen toprak setleri yüzeysel akışları yavaşlatarak ve tutarak toprak taşımını önlemek amacı ile yapılan işlemlerdir. Tahtalı Barajı Havzası'nda belirli bir koruma işlemi uygulanmadığından ve aynı zamanda daha kritik bir durum ortaya çıkması karşısında etkili tedbirler alınabilmesi adına P Faktörü 1 olarak alınmıştır.

4.6 Referans Dönem için Toprak Kaybı Miktarı Tahmini

Üniversal Toprak Kayıpları Eşitliği (USLE) parametreleri her biri ArcGIS ortamında sayısal haritalar şeklinde oluşturulmuştur. ArcGIS ortamında *Raster Calculator* komutu kullanılarak USLE eşitliğinde her bir parametre yerine yazılmış ve her bir haritanın sahip olduğu hücre değerleri diğer haritalarda bulunan hücre değerleriyle çarpılarak nihai bir raster veri oluşturularak toprak kaybı miktarı grid bazlı harita şeklinde elde edilmiştir. Böylece referans dönemde havzada yıllık hektar başına en çok 359,9 ton toprak kaybı olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.8).



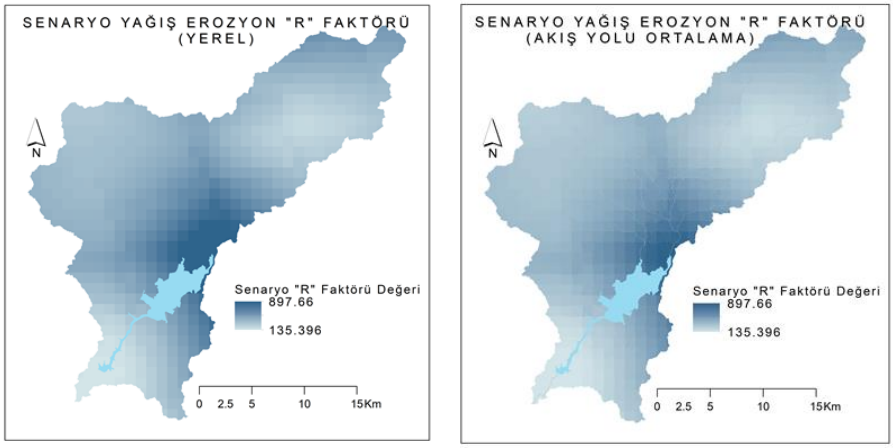
Şekil 4.8 Toprak kaybı miktarı ve toprak erozyonu - birikim alanları

Visual Basic tabanlı türetilmiş olan program algoritması kullanılarak havzanın toprak kayıp ve birikim miktarları tespit edilmiştir. Bir hücreden diğerine geçildiğinde, üstteki hücrenin drenaj alanından tahmin edilen toprak kaybı miktarında bir artış söz konusu ise dikkate alınan hücrenin toprak kaybına uğradığı eğer azalma söz konusu ise hücrede birikim olduğu anlamına gelmektedir.

Toprak erozyonu ve birikim alanları haritasında görüleceği üzere negatif değer taşıyan hücreler yeşil renk ve tonlarında gösterilmiş olup bu alanlarda sediment birikimi söz konusu olmaktadır. Pozitif değerler için harita gösteriminde kırmızı renk ve tonları kullanılarak erozyona uğrayan bölgeler belirginleştirilmiştir (Şekil 4.8).

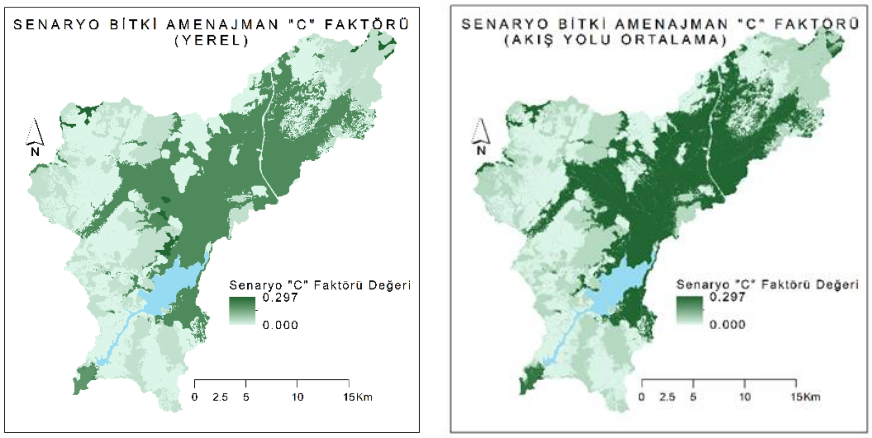
4.7 İklim Değişikliği Senaryoları Altında Toprak Kaybının Modellenmesi

İklim değişikliği senaryoları altında havzanın erozyon modellemesi için çalışmaya konu proje kapsamında üretilen bölgesel iklim modeli çıktıları kullanılarak 2025 – 2050 yılları için günlük yağış verilerinin Excel ortamında düzenlenerek daha önce kullanılmış olan Ferreira ve Panagopolous tarafından geliştirilmiş olan uygun R Faktör eşitliği kullanılması ile Senaryo R Faktörü elde edilmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Senaryo dönemi yağış erozyon R faktörü

Gelecek dönemde arazi bitki örtüsü tahmini için Terrset programı arazi örtüsü modelleme modülü üzerinden CORINE 2000 ve 2018 arazi kullanım haritaları vasıtasıyla 2050 yılını temsilen arazi bitki örtüsü modellenmiş ve referans döneme benzer nitelikte senaryo C Faktör dağılımı tekrar elde edilmiştir. Terrset üzerinde yapılan modelleme çalışmasında arazi örtüsü geçiş sınıfları sınırlı sayıda tanımlanabildiği için gelecek dönem arazi örtüsünün temsilinde CORINE arazi örtüsü sınıfları yerine gruplandırılmış özel arazi kodları kullanılmış (Tablo 4.3) ve bu kodlarla ilişkilendirilen ortalama C faktörleri üzerinden gelecek dönem C faktörü dağılımı elde edilmiştir (Şekil 4.10).

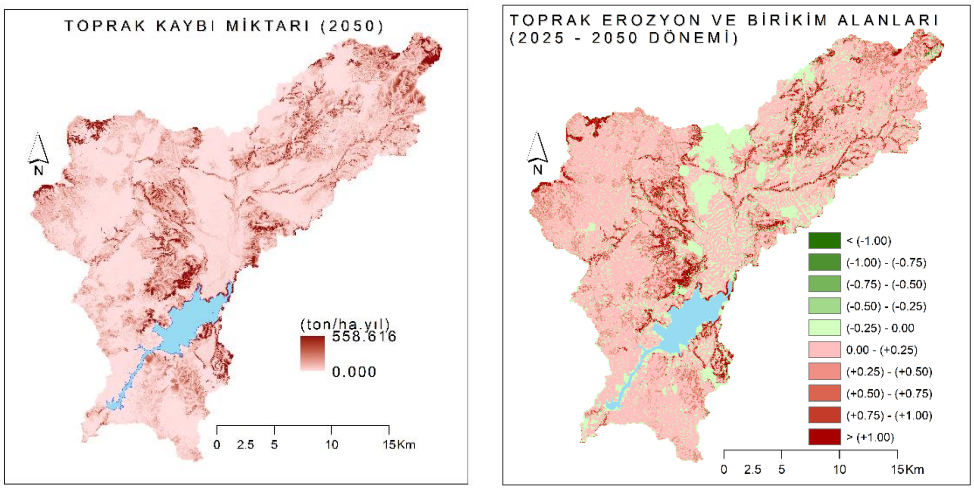


Şekil 4.10 Senaryo dönemi bitki amenajman C faktörü

Tablo 4.3 CORINE sınıfları ve arazi örtüsü değişikliğine ilişkin özel gruplu arazi sınıflarının eşleştirilmesi

CORINE Kodu	**CORINE Arazi Kullanımı Tanımları**	**Özel Gruplu Arazi Kullanımı Tanımları**
111	Sürekli kentsel alan	Konut-orta / düşük yoğunluk
112	Süreksiz kentsel alan	Konut-orta / düşük yoğunluk
121	Endüstriyel veya ticari birimler ve kamu tesisleri	Konut-orta / düşük yoğunluk
133	İnşaat alanları	Konut-orta / düşük yoğunluk
142	Spor ve eğlence tesisleri	Konut-orta / düşük yoğunluk
122	Kara ve demiryolu ağları ve ilgili alanlar	Ulaşım
124	Havaalanları	Ulaşım
211	Sulanmayan ekilebilir arazi	Tarım arazileri
212	Sürekli sulanan ekilebilir arazi	Tarım arazileri
242	Karmaşık zirai paternler	Tarım arazileri
243	Esasen tarım tarafından işgal edilen ve önemli miktarda doğal bitki örtüsüne sahip arazi	Tarım arazileri
221	Bağlar	Zeytin
222	Meyve ağacı ve meyve tarlaları	Zeytin
223	Zeytin korusu	Zeytin
311	Geniş yapraklı orman	Orman-karışık
312	İğne yapraklı orman	Orman-karışık
313	Karışık orman	Orman-karışık
231	Meralar, çayırlar ve tarımsal kullanımdaki diğer kalıcı çayırlar	Otlak
321	Doğal otlak	Otlak
323	Sklerofiller bitki örtüsü	Otlak
324	Geçiş ormanlık / çalılık	Otlak
331	Plajlar, kumullar ve kum ovaları	Çorak
332	Çıplak kaya	Çorak
333	Seyrek bitki örtüsü alanları	Çorak
334	Yanmış alanlar	Çorak
131	Maden sahaları	Çorak
132	Çöplük alanlar	Çorak
411	İç bataklıklar	Su
512	Su kütleleri	Su
523	Deniz ve okyanus	Su

USLE denklemi bu iki senaryo faktör esasında tekrar hesaplandığında gelecek dönem senaryo toprak kaybı miktarı tahmini oluşturulmuştur. Havzada gelecek dönem (2025-2050) yıllık hektar başına en çok 558,6 ton toprak kaybı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen grid bazlı toprak kaybı haritası program kodu ile eklenik toplanma hesabı yapılarak arazideki toprak aşınım ve birikim bölgeleri ve miktarları tespit edilmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 Senaryo dönemi toprak kaybı miktarı ve toprak erozyonu – birikim alanları

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Günümüz koşullarında ülkemizde erozyon, tarımsal faaliyetleri ve doğal su kaynaklarını olumsuz etkileyen önemli çevresel problemlerden birisi haline gelmiştir. Bu nedenle bu sorunun önüne geçilmeye çalışılması adına yapılan araştırmaların önemi giderek artmaktadır.

Erozyon sonucu yer değiştiren toprak miktarını tahmin etmek için geliştirilmiş olan birçok nitel ve nicel model bulunmakta olup bu çalışmada bunlardan Wishmeier ve Smith tarafından geliştirilen USLE (Universal Soil Loss Equation) modeli kullanılmıştır. Mevcut iklim ve arazi bitki örtüsü koşullarının yanı sıra havza topoğrafyası, toprak özellikleri gibi çeşitli faktörlerin kombinasyonunun kullanıldığı yöntemle mevcut günümüz koşulları altında ve gelecek dönemde oluşması muhtemel iklim değişikliği senaryoları altında değişen iklim özellikleri ve arazi bitki örtüsünün modellenmesi ile gelecek dönem için Tahtalı Barajı havzasının erozyon modellemesi yapılarak analiz edilmiş olup, günümüz koşullarında 359,9 ton/ha/yıl, iklim değişikliği koşulları altında ise gelecek dönem için 558,6 ton/ha/yıl değerlerine ulaşılacağı tahmin edilmektedir (Tablo 5.1). Bu belirlemelerden anlaşılacağı üzere yıl bazında ve birim alan (hektar) ölçeğinde potansiyel erozyon miktarının mevcut koşullara kıyasla gelecek orta dönemde artış göstereceği, bunun da temel nedeni olarak çalışma bölgesindeki ortalama yağışların azalmasına karşılık 10 mm üzeri şiddetli sayılabilecek yağışların frekansının artması olarak gösterilebilir.

Tablo 5.1 Referans ve senaryo dönemi parametreleri

Parametreler	**Referans Dönem (1970 – 2005)**	**Senaryo Dönemi (2025 – 2050)**
R Faktör: Yağış aşındırma (ort)	275,60	368,66
C Faktör: Bitki amenajman (ort)	0,082	0,088
Toprak Erozyonu Miktarı (ton/ha.yıl)	359,91	558,62

Birim alanda tahminlenen bu erozyon deseni ve gelecekteki değişim ön görüleri, havza üzerinde yerel olarak kopan ve tutulan toprak miktarları üzerinden incelendiğinde, referans olarak seçilen dönem koşullarında havzadaki toprak kayıplarının potansiyel olarak tutulma miktarlarına göre daha düşük seviyede kalması nedeniyle, Tahtalı içmesuyu haznesini tehdit edebilecek bir rusubat birikimine ciddi anlamda yol açmayacağı, gerçek taşınan miktarlar üzerinden de ortaya çıkabilecek risklerin hazne koruma alanında ve içinde alınabilecek tedbirlerle engellenebileceği anlaşılmaktadır. Ancak, gelecek dönem senaryo ön görüleri altında, havzadan toprak kaybının referans döneme kıyasla ciddi oranda artış göstereceği, bu kopan miktarın yine artan miktarda havza içerisinde tutulabilme potansiyeline karşılık kayıp yönünde belirgin olarak hesaplanan farkın hazne üzerinde ciddi rusubat birikimi yönünde artan tehditler oluşturacağı göz önünde bulundurulmalıdır (Tablo 5.2).

Tablo 5.2 Referans ve senaryo dönemi toprak aşınım ve birikim miktarları

Parametreler	**Referans Dönem (1970 – 2005)**	**Senaryo Dönemi (2025 – 2050)**	**Değişim Oranı**
Potansiyel erozyona uğrayan toprak miktarı (ton/yıl)	75.494,4	139.881,0	%85
Potansiyel birikimle tutulan toprak miktarı (ton/yıl)	81.333,0	124.867,3	%54

Bu temel belirlemeden hareketle, baraj havzasında mevcut ve orta gelecek dönem koşulları altında erozyon riskleri artan bir önem arz etmekte olup bu konuda tarımsal faaliyetlerin düzenlenmesi ve toprak koruma işlemlerinin yapılması, ağaçlandırılması, bölge halkının bilinçlendirilmesi ve erozyonla mücadele planları yapılması gibi faaliyetler üzerinde iklim değişikliğine uyum etkinliğinin arttırılması büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

Barış, N. (2008). *Tahtalı baraj havzasının hidrojeolojik incelenmesi ve yeraltı suyu kirlenebilirliğinin AHS – Drastıc yöntemi ile değerlendirilmesi.* Doktara Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Dregne, H. E. ve Chou, N. T. (1992). Global desertification dimensions and costs. In *Degradation and restoration of arid lands.* Lubbock: Texas Tech University.

Dutkuner, İ. ve Fakir, H. (1999). Erozyon kontrolü ve ağaçlandırma. *Ekoloji Çevre Dergisi, 8*(32), 14–16.

EEA (Avrupa Çevre Ajansı) (2000). *CORINE land cover technical guide - Addendum 2000.* Copenhagen: European Environment Agency.

FAO (Food and Agriculture Organization of the Unites Nations) (2015). Soil change: Impacts and responses. In *Status of the World's Soil Resources.* Rome: FAO

Grimm, M., Jones, R. ve Montanarella, L. (2001). *Soil erosion risk in Europe*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

Gül, A. (2010). *Determination of reservoir protection zones in watersheds by a physically based approach.* Phd Thesis, Dokuz Eylül University, İzmir.

Hickey, R. (2000). Slope angle and slope length solutions for GIS. *Cartography, 29*(1), 1–8.

Koç, G. (2014). *Modifiye edilmiş üniversal toprak kayıpları eşitliği (MUSLE) kullanılarak Tarsus (Mersin) – Topçu Deresi Alt Havzası'nda erozyon potansiyelinin değerlendirilmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

Özden, Ş. ve Özden D. M. (1997). *Türkiye toprak erozyon tahmin modeli TURTEM.* Ankara: Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları.

Panagos, P., Borelli, P., Meusburgerb, K., Alewellb, C., Lugatoa, E. ve Montanarellaa, L. (2015). Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy, 48,* 38–50.

Panagos, P., Meusburger, K., Ballabio, C., Borrelli, P. ve Alewell, C. (2014). Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS. *Science of the Total Environment, 479–480,* 189–200.

Rahman, R., Shi, Z. H. ve Chongfa, C., (2009), Soil erosion hazard evaluation-an integrated use of remote sensing, gıs and statistical approaches with biophysical parameters towards management strategies. *Ecological Modelling, 220*(13–14), 1724–1734

Stone, R. P. ve Hilborn, D. (2012). *Factsheet: Universal soil loss equation (USLE).* Ontario: Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi. (11.09.2021). https://www.tarimorman.gov.tr/CEM/Link/9/Izleme-Sistemleri.

Tiwari, A. K., Risse, L. M. ve Nearing, M.A. (2000). Evaluation of WEPP and its comparison with USLE and RUSLE. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 43*(5), 1129–1135.

Van Remortel, R., Hamilton, M. ve Hickey, R. (2001). Estimating the LS factor for RUSLE through iterative slope length processing of DEM elevation data. *Cartography, 30*(1), 27–35.

Wischmeier, W. H. ve Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses—a guide to conservation planning.* Washington: U.S. Government Printing Office.