

# Gümüşhane-Torul Barajı Yağış Havzasında Arazi Kullanımına Göre WEPP (Water Erosion Prediction Project) Modeli ile Toprak Kayıplarının Belirlenmesi ve Alınması Gereken Önlemler

\*Miraç AYDIN

Kastamonu Üni. Orman Fakültesi, Kastamonu  
Sorumlu yazar: [aydinmirac@hotmail.com](mailto:aydinmirac@hotmail.com)

Geliş Tarihi: 20.04.2009

## Özet

Gümüşhane-Torul Barajı yağış havzasında bulunan alt havzalar 5 ayrı eş havza grubuna ayrılmış ve her bir eş havza grubu içerisinde bir adet model havza seçilmiştir. Bu çalışmada (1) nolu model havzada WEPP modeli kullanılarak arazi kullanım durumuna göre toprak kayıpları ve erozyonun önlenmesi için alınması gereken önlemler belirlenmiştir. Bu amaçla farklı arazi kullanım şekillerinden toplam 56 adet toprak örneği alınmıştır. (1) nolu model yağış havzası için tahmini toprak kayıpları havzanın % 69.70'ini oluşturan ormanlık alanlarda 10494.04 ton/yıl iken; bu değer toplam havza alanının % 20.17'sini oluşturan mera alanlarında 12630.18 ton/yıl ve % 10.77'sini oluşturan tarım alanlarında 10108.18 ton/yıl olarak tespit edilmiştir. Model havzada sediment taşınımını önleyici tedbirler planlanmış ve planlama maliyetleri hesaplanmıştır. Bu model havza için fayda/masraf oranı 12.12 olarak tespit edilmiş ve bu proje ekonomik olarak kabul edilebilir olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** WEPP, Toprak Erozyonu, Arazi Kullanım Şekli

## Determination of soil losses by using WEPP (Water Erosion Prediction Project) composed of different land use and necessary precautions in Gümüşhane-Torul Dam Creek

### Abstract

Gümüşhane-Torul Dam watershed are separated into 5 match watersheds to take into consideration of parent material, land use, slope, aspect and 5 model watersheds were selected to represent each mate watershed groups. In (1) number model watershed which contains (1) number mate watershed approximate total soil losses were determined use WEPP from different land use. With the aim of this from model watershed were engraved soil profiles 56. In (1) number watershed while approximate total soil losses were determined in forest land 10494.04 ton/year, this value were determined pasture land 12630.18 ton/year and agriculture land 10108.18 ton/year. Model watershed was planned preventions for sediment transportation and determined planning costs. Economic analysis has been carried out on this model watershed project use/expense proportion to were found 12.12 and this project is reasonable and acceptable for economical reasons.

**Key Words:** WEPP, Soil Erosion, Land Use

### Giriş

Toprak erozyonu, toprak, su ve bitki arasındaki doğal dengenin bozulması sonucu ortaya çıkan bir olaydır. Doğal dengeyi oluşturan iklim, topografya ve jeolojik yapı oldukça sabit karakter gösterirler ve insanlar tarafından geniş ölçüde değiştirilemezler. İnsanın doğal dengeye etkisi, diğer bir faktör olan bitki örtüsüne yaptığı müdahale ile olmaktadır. İnsanların bu şekilde müdahale ve değiştirme etkisi, bilgisiz ve gelişigüzel olduğu takdirde mevcut doğal denge bozulmakta ve erozyon olayı gündeme gelmektedir (Çokbaşıaran ve Kırık, 1990).

Ülkemizin %7.2'sinde hafif düzeyde, %20'sinde orta derecede ve %58.7'sinde ise şiddetli ve çok şiddetli derecede erozyon olayları etkisini sürdürmektedir. Ülkemizde en önemli çevre sorunu niteliğinde olan ve insanımızı açlığa, yoksulluğa ve göçe zorlayan toprak erozyonu çok önemli bir çevre sorunudur. Aynı zamanda erozyon, ekosistemin bozulmasında ve suların kirletilmesinde de en büyük etkendir (Anonim, 2005).

Akarsular üzerinde yapılan barajların rezervuarları, akarsuların taşıdığı kil, silt, kum ve çakıl gibi katı maddelerle dolmakta ve rezervuarların depolama kapasiteleri ve

sonuç olarak ekonomik ömürleri azalmaktadır. Yapılan araştırmalar, yurdumuzda yılda yaklaşık 450 milyon ton sedimentin göl, rezervuar ve denizlere taşımakta olduğunu göstermektedir (Anonim, 1987).

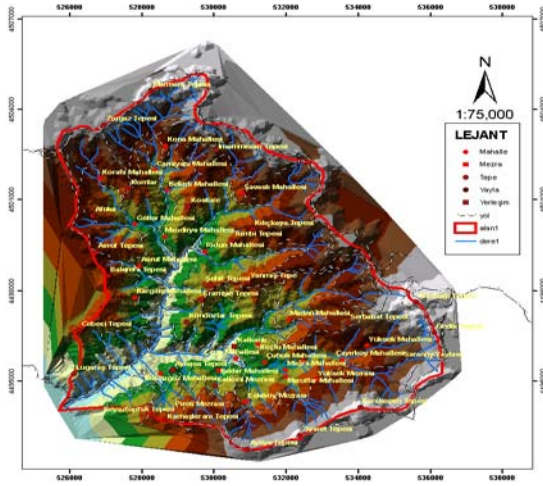
DSİ Genel Müdürlüğü'ne göre, 16 kritik su havzası için her yıl biriken çökelti ölçüm sonuçları dikkate alındığında; baraj gölü hacimleri ve yıllık toplanan sediment miktarları karşılaştırılarak hesaplanan toplam üretim yılı kayıpları belirlenmiş ve toplamda üretim değeri kaybının 64 milyon dolar olacağı tahmin edilmektedir (Bann ve Clements, 1999).

## Materyal ve yöntem

### Materyal

#### (1) Nolu model havzanın genel tanıtımı

Torul barajı yağış havzasında bulunan (1) nolu model havza Torul ilçesi sınırları içerisinde kalmakta olup, yaklaşık olarak 11 km uzunluğunda güneybatı-kuzeydoğu istikametinde uzanmaktadır. Model havza Torul ilçesine yaklaşık olarak 4-5 km mesafede bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. (1) Nolu model havzanın topografik yapısı

Havzanın Torul barajının yapıldığı noktaya olan uzaklığı yaklaşık olarak 7-8 km

olup barajın bulunduğu yere en yakın model havza olma özelliğine sahiptir. (1) nolu model havza coğrafi koordinatlar bakımından 40° 35' 00"- 40° 42' 04" kuzey enlemleri ile 39° 18' 05"- 39° 25' 46" doğu boylamları arasında yer almaktadır.

Havzanın 900-2500 metre yükseltileri arasında yer almakta olup havzanın ortalama yüksekliği 1710 metredir. Havzanın ortalama eğimi % 71.43 olup sarp bir arazi yapısına sahiptir.

Havza alanı jeolojik yapı itibari ile incelendiğinde, alanda riyodasit ve krül olmak üzere iki farklı anakaya grubunun olduğu belirlenmiştir. Havza alanının 4575.92 ha'ını krül anakayasası üzerinde gelişen topraklar, 3601.94 ha'ını ise riyodasit anakayasası üzerinde gelişen topraklar oluşturmaktadır (Anonim, 2000).

Havza içerisinde genel olarak ibrelili türlerin olduğu yapraklı türlerin azınlıkta kaldığı tespit edilmiştir. Alanda ibrelili türlerden sarıçam (*Pinus sylvestris*), göknar (*Abies nordmanniana*) ve ladin (*Picea orientalis*) ağırlıklı olarak bulunurken, yapraklı tür olarak yer yer daha çok bozuk durumda meşe türlerin mevcut olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca ladin, göknar ve sarıçam türlerinin yer yer karışık meşcere oluşturdukları da belirlenmiştir. Sarıçam meşcerelerinin büyük bir çoğunluğunun çok bozuk meşcere tipinde oldukları belirlenmiştir. Araştırma alanında farklı arazi kullanımının toplam alanları aşağıda gösterilmiştir (Tablo 1).

(1) nolu model havza içerisinde ormanlık alanlar 5647.91 ha ile toplam alanın %69.06'sını oluşturmasına rağmen, orman alanlarının ancak %43.66'sına karşılık gelen 2466.04 hektarı verimli orman statüsündedir. Çok bozuk orman alanları tüm araştırma alanının %38.90'ını, ormanlık alanların ise %56.31'ini oluşturmaktadır (Tablo 2).

Tablo 1. (1) Nolu model havza arazi kullanım durumlarına göre ortalama eğimleri

Alan (ha)	Çok		OT	Mera	Kayalık	Ziraat	İskan	Top. Alan
	Koru Alanı	Bozuk Alanlar						
	2466.04	3181.87	339.75	1309.81	177.77	566.56	136.06	8177.86

Tablo 2. (1) nolu model havza arazi kullanım şekilleri durumu

Arazi Kullanım Şekli	Alan (ha)	Oran (%)
Orman	5647.91	69.06
Mera	1309.81	16.02
Ziraat-İskan	880.39	10.77
OT	339.75	4.15
Toplam	8177.86	100

Havza alanı içerisinde Komlar, Afuka, Köstüre ve Kalkanlı olmak üzere belli başlı 4 yerleşim yeri bulunmaktadır. Yörede yaşayan halkın genel geçim kaynağı başlıca buğday ve arpa olmak üzere tarımsal faaliyetlerden oluşmaktadır. Bunun yanında küçükbaş ve büyükbaş hayvancılık da ekonomik olarak yapılan faaliyetler arasında yer almaktadır.

Alan içerisinde tarım yapmaya elverişli alanların yok denecek kadar az olması insanların tarım alanı olarak kullanılması sakıncalı olan yerlerde tarım yapmasını ve bunun sonucunda orman ve mera alanı olarak kullanılması gereken alanların tahribatına neden olmaktadır. Hatalı arazi kullanımı, alanın birçok yerinde erozyona sebep olmuştur. Ayrıca elde edilen tarım alanlarından da yeterli verim alınamaması sebebiyle halkın özellikle orman alanları üzerinde olan baskısı artmıştır. Bu yüzden orman alanları daralmaya başlamış ve var olan orman alanları da kaçak ve düzensiz faydalanma sonucunda tahribata uğramıştır.

### (1) nolu model havzanın fizyografik faktörleri

#### Arazi kullanım şekli

Yağış havzasında meydana gelen toprak kayıplarının başlıca etkenleri arasında havzadaki arazilerin kullanım şekilleri yer almaktadır. Arazi kullanım şekillerindeki farklılıklar hem yağışın erosiv etkisini değiştirmekte hem de yeryüzüne ulaştıktan sonra yüzeysel akışı etkileyen en önemli faktör olmasından dolayı toprak kayıplarına neden olmaktadır. Tablo 2’de havzadaki farklı arazi kullanım şekillerine göre alansal dağılımlar görülmektedir.

#### Havzanın alanı

Gümüşhane-Torul Barajı Yağış Havzasındaki (1) nolu model havzanın

toplam alanı 8177.86 ha olarak hesaplanmıştır.

#### Havzanın şekli

##### a) Form faktörü

Form faktörü, bir havzaya düşen yağışın derelere ulaşma hızı ve zamanını etkileyen bir havza karakteristiğidir. Havzanın ortalama genişliğinin havzanın uzunluğuna bölünmesi suretiyle elde edilir (Hızal, 1984).

(1) nolu model havza için form katsayısı;

$$F = B / L$$

F= Form faktörü

B= Havzanın ortalama genişliği (km)

L= Havzanın uzunluğu (km)

$F = 8006 / 12714 = 0.63$  olarak hesaplanmıştır.

Havzanın uzunluğu, havzadaki suların çıkış noktası ile havzanın kaynak tarafında sırtlarda bulunan en uzak nokta arasındaki yatay mesafe olarak hesap edilir.

Bir havzadaki form faktörü genelde 1’den küçük çıkar. Havzanın ortalama genişliği havzanın uzunluğuna eşit olduğunda form faktörü 1 olmaktadır. Havza genişliğinin uzunluğundan büyük olması halinde ise form faktörü 1’den büyük çıkmaktadır. Örneğin; küçük form faktörüne sahip havzalarda şiddetli bir yağışın havzadaki uzun eksenin (L) tamamını kapsama ihtimali, alanı aynı fakat büyük form faktörüne sahip olan bir havzaya nispetle daha azdır.

##### b) Dairesellik oranı

Dairesellik oranı, havzaların şeklini saptamada kullanılmaktadır. Havzanın alanının (Ah) havzanın çevre uzunluğuna sahip bir dairenin alanına bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Çalışma alanının dairesellik oranı;

$$Rc = Ah (ha) / \text{Ç. Uz. (km)}$$

$$Rc = 8178,47 / 13814,67 = 0.59$$

Jeolojik yapı bakımından homojenlik gösteren küçük havzalarda bu oran, 0.6-0.7 arasında değişmekte ve havza şekilleri arasında büyük bir benzerlik görülmektedir. Buna karşılık, nispeten heterojen bir jeolojik yapıya sahip havzalarda bu oran daha uzun bir havza şeklini temsil ederek 0.4-0.5 arasında değişebilmektedir (Hızal, 1984).

### c) Uzunlaşma oranı

Havza şeklinin dar veya geniş oluşunu gösteren bu parametre, havza alanına eşit alana sahip bir dairenin yarıçapının, havzanın maksimum uzunluğuna bölünmesiyle elde edilmektedir (Hızal, 1984).

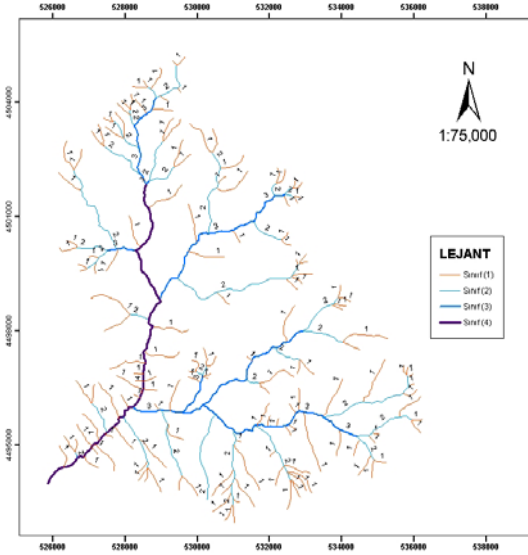
Havzanın Uzunlaşma Oranı =  $5.2 / 12.7 = 0.41$ 'dir.

### d) Drenaj yoğunluğu

Havzanın drenajını gerçekleştiren derelerin sınıflandırılması Tablo 3'de gösterilmiştir. Dere sınıfları haritasında görüldüğü üzere 4 sınıf görülmektedir (Şekil 2). Havza alanı içerisinde bulunan toplam dere sayısı 219 adettir.

Tablo 3. (1) nolu model havza dere sınıfları durumu

Dere Sınıfı	Adedi	Uzunluklar (km)
1 Nolu	157	85,86
2 Nolu	43	40,32
3 Nolu	15	20,84
4 Nolu	4	10,09
Toplam	219	157,11



Şekil 2. (1) nolu model havza dere sınıfları haritası

Havza alanındaki dereler Coğrafi Bilgi Sistemlerinde değerlendirilmiş ve uzunlukları hesaplanmıştır. Derelerin sınıflandırılmasında ve dere sayısının belirlenmesinde devamlı ve periyodik dereler dikkate alınmıştır (Tablo 4).

Tablo 4. (1) nolu model havza eğim sınıfları durumu

Eğim Sınıfları	Alan (ha)	Oran (%)
Düz (% 0-2)	587.95	7.19
Hafif (% 2-6)	14.85	0.18
Orta (% 6-12)	27.86	0.34
Dik (% 12-18)	138.70	1.70
Çok Dik (%18-30)	658.94	8.06
Sarp (% >30)	6749.56	82.53
TOPLAM	8177.86	100.00

(1) nolu model havzanın drenaj yoğunluğu değeri;

$$Dy = L / A$$

L = derelerin uzunlukları (km)

A = Havzanın alanı (km<sup>2</sup>)

$Dy = 157,11 / 81,78 = 1,92$  olarak hesap edilmiştir.

Buradan da anlaşıldığı gibi drenaj yoğunluğu havzadaki birim alana isabet eden ortalama dere uzunluğunu ifade etmektedir. Genel olarak küçük drenaj yoğunluğu değerleri reliyefin alçak olduğu ve arazinin sık bir vejetasyonla kaplı bulunduğu havzalarda ve alt toprağın çok dayanıklı veya geçirgen olduğu bölgelerde görülmektedir. Buna karşılık büyük drenaj yoğunluğu değerleri ise daha ziyade dağlık ve vejetasyonun seyrek olduğu ve alt toprağın da dayanıksız veya geçirgenliğinin az olduğu yerlerde söz konusudur (Hızal, 1984).

### Havzanın ortalama yüksekliği

(1) nolu model havzanın ortalama yüksekliği 1710 metre olarak tespit edilmiştir. Havzanın ortalama yükseklik değeri Türkiye'nin ortalama yüksekliğinden daha yüksektir. Havza alanı yükseklik kademeleri bakımından incelendiğinde I. yükseklik kademesi olarak alınan 900-1433 metre yükseklik kademesinde bulunan alanların 1810.62 ha, II. yükseklik kademesi olarak alınan 1433-1966 metre yükseklik kademesinde bulunan alanların 4389.63 ha, III. yükseklik kademesi olarak alınan 1966-2500 metre yükseklik kademesinde bulunan alanların 1977.61 ha olduğu tespit edilmiştir. Havza alanında II. ve III. Yükseklik kademelerine ait olan alanın daha fazla olduğu ve havza toplam alanının %77.86'sını oluşturduğu belirlenmiştir.

### Havzanın ortalama eğimi

Topoğrafya öğeleri içerisinde bulunan eğim, havza amenajmanında gerek hidrolojik gerekse su erozyonu bakımından büyük önem taşımaktadır.

Havzanın ortalama eğimi ise yüzeysel akış oluşmasında ve dolayısıyla dere akımına ait hidrografın şekli ve pik akım oluşumunda önemli bir etkidir.

Araştırma havzasındaki her bir eğim sınıfına ait alanlar ve bunların tüm alanlar içerisindeki yüzdeleri Tablo 4’de belirtilmiştir.

Araştırma alanının eğim haritasına göre yapılan değerlendirmede, havzanın yaklaşık olarak % 80-90’ının dik veya çok dik eğime sahip olup ortalama eğimi %71.43’tür. Havzanın bu kadar eğimli olması, erozyon ve sedimentasyon problemini de arttırmaktadır. Ayrıca havzadaki yoğun ve yanlış arazi kullanımından dolayı, bitki örtüsü son derece tahrip olmuş ve bununla birlikte topraklar erozyona karşı son derece hassas hale gelmiştir.

### Havzanın bakı durumu

(1) nolu model havzadaki farklı bakı gruplarındaki alan değerleri ile bunların genel alana oranları Tablo 5’te verilmiştir. Araştırma alanı genel olarak güneşli bakı grubu (Güney, Güneydoğu, Güneybatı, Doğu) içerisinde yer almaktadır.

Tablo 5. (1) nolu model havza farklı bakı grupları ve alan dağılımları

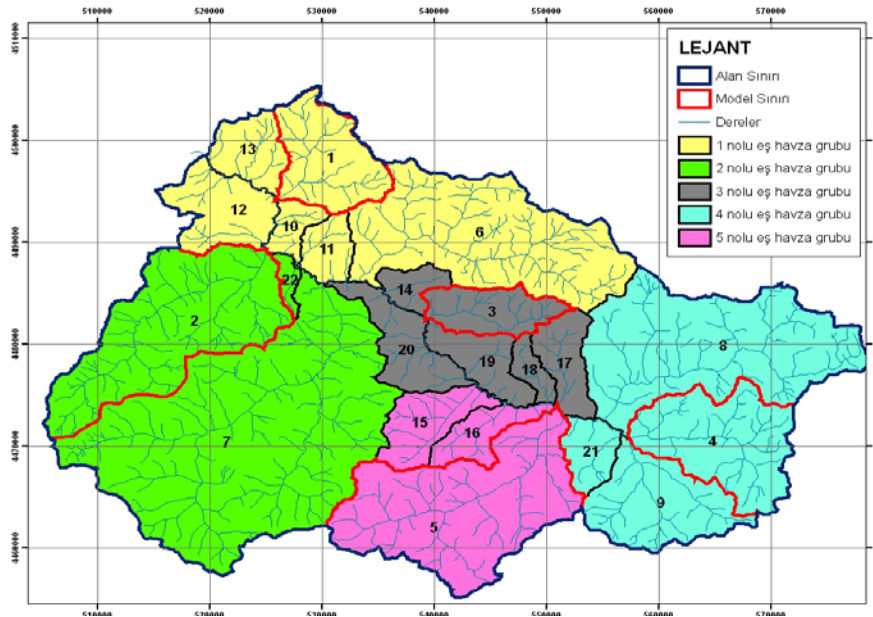
Bakı Grupları	Alan (ha)	Oran (%)
Gölgeli (K, KD, KB, B)	2864.98	35.04
Güneşli (G, GB, GD, D)	4427.65	54.14
Düz Alanlar	885.23	10.82
TOPLAM	8177.86	100

### Yöntem

Gümüşhane-Torul barajı yağış havzasında topografik harita üzerinden sayısallaştırma yapılarak alanın eşyüksekti eğrileri ve dere sınıfları haritası ortaya çıkarılmıştır. Elde edilen haritalar üzerinden baraj havzası 22 adet alt havzaya bölümlendirilmiştir (Şekil 3).

Gümüşhane-Torul barajı yağış havzasında yukarıda irdelemesi yapılan anakaya, arazi kullanımı, eğim ve bakı etmenleri dikkate alınarak eş havzalar oluşturulmuştur. Şekil 3’te belirlenen eş havza grupları ve her bir eş havza grubu içerisinde seçilen model havzalar görülmektedir.

Her bir eş havza grubunda anakaya, arazi kullanımı, eğim ve bakı faktörleri dikkate alınarak, gruplandırılan eş havzalar arasından gruptaki eş havzaları en iyi şekilde temsil edebilecek model havzaların seçimi yapılmıştır (Tablo 6).



Şekil 3. Gümüşhane-Torul barajı yağış havzası eş havza haritası

Tablo 6. Torul barajı havzasında eş havza grubu ve seçilen model havza

Eş Havza Grubu	Havza Numaraları	Seçilen Model Havza
1	1-6-10 11-12-13	1
Alan (ha)	45459.41	8177.86

Metodun uygulamasında, araştırma alanında farklı jeolojik formasyonların kapladığı alanların her birinden usulüne uygun olarak İrmak (1954) yirmişer adet toprak profili alınmış ve bu profillerden elde edilen strüktürü bozulmamış toprak örnekleri üzerinden laboratuvar analizleri sonucu üst toprak permeabiliteleri belirlenmiştir (Özyuvacı, 1976).

Araştırma alanından alınması gereken toprak örneklerini belirlemek amacıyla model havza için havza içerisindeki her bir anakaya grubundan 20 adet olmak üzere toplamda 40 adet silindir örneği alınmıştır. Buna göre araştırma alanında model havzalardan alınması gerekli toprak örneği sayısı 56 olarak belirlenmiştir.

WEPP erozyon modeli, sürekli bir bilgisayar simülasyon programı olup, yamaçlardan yüzeysel akışla birlikte meydana gelen toprak kayıpları ve sediment birikimini, derelerden meydana gelen toprak kayıpları ve sediment taşınımını tahmin etmektedir. Bu erozyon bileşenlerine ek olarak, aynı zamanda, iklim verilerini, infiltrasyon durumunu, günlük su bitki-toprak ve su arasındaki dengeyi, bitkilerin gelişimini ve ölü örtü durumunu ve sulama işlemlerinin de içermektedir. WEPP modeli bir yağış havzasından veya bir yamaç araziden meydana gelen toprak kayıplarının nerelerde ve ne zaman meydana geleceğini ve nerede depolanacağını ortaya koyar. Böylece uygulama açısından nerelerde hangi toprak koruma önlemlerin alınmasında ve en uygun yöntemlerin seçilmesinde etkili olmaktadır.

WEPP modelini uygulanmasında yamaçları ayırmak buralarda WEPP' in giriş parametrelerinin, özellikle topoğrafik faktörleri ayırmak zor olduğundan, WEPP modeli ArcView 3.2 GIS (Environmental System Research Institute, ESRI, tarafından geliştirilen GIS programı) ve TOPAZ (Topographic PArameterization, USDA-

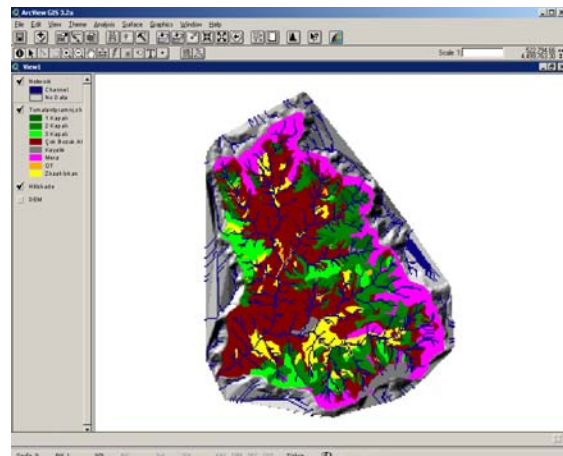
ARS tarafından geliştirilen) ile entegre edilmiş ve GeoWEPP modeli ortaya konulmuştur. TOPAZ, havzanın alt havzalara otomatik olarak ayrılmasında, derelerin yerlerinin belirlenmesinde, havzanın yamaçlara ayrılmasında ve akım yönlerinin belirlenmesini sağlamaktadır. Havzadan kaybolan toprak miktarı, sedimentasyon durumu modelin giriş ve çıkış parametreleri ArcView CBS ortamında grafik halde görülebilmektedir (Garbrecht, 1999).

## Bulgular

### (1) Nolu model havzada meydana gelen toprak kaybı ve sediment verimi

(1) nolu model havza alanından meydana gelen toprak kaybı ve sediment miktarının belirlenmesi için her bir alt havza ve farklı arazi kullanım şekilleri (tarım, orman ve mera) için ayrı ayrı değerlendirme yapılmıştır. Drenaj ağı oluşturulan yağış havzası sınırlandırılarak alt havzalara ayrılmış ve her bir havzaya sıra numarası verilmiştir. Her bir alt havza için programın çalıştırılması ile toprak kayıpları ve sediment durumları belirlenerek havzanın tamamından meydana gelen tahmini toprak kayıpları ve sediment durumları ortaya konulmuştur.

(1) nolu model havzaya ait olan alt havzaların hangi arazi kullanım şekillerine ait olduğunu belirlemek için havzaya ait arazi kullanım şekilleri haritası ile drenaj ağı (network) haritası çakıştırılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. (1) nolu model havzanın GeoWEPP ortamında arazi kullanım şekilleri haritasının görünümü

Sonuç olarak alt havzalardaki yamaç (hillslope) için ayrı ayrı kaybolan tahmini toprak ve sediment miktarı hesaplanarak alt havzalara ilişkin değerler tespit edilmiştir. (1) nolu model alanda WEPP erozyon modelinin çıktısı olarak havzanın drenaj alanı, yüzeysel akışı, sediment ve kaybolan toprak miktarı, her bir kanaldan meydana gelen kayıplar, sediment birikimi ve depolanması gibi değerler ortaya konulmuştur.

Aşağıdaki tabloda havza içerisinde farklı arazi kullanım şekillerine göre WEPP çıktı örnekleri açıklanmıştır. (1) nolu model yağış

havzasına ait alt havzalara ilişkin WEPP programının kullanımı ile ortaya çıkarılmış bulunan sediment verimleri ve birim alan değerleri hesaplanmıştır. Araştırma alanında bulunan farklı arazi kullanım şekillerine göre sınıflandırma yapılmış; orman, mera ve tarım arazisi olarak toplam alan değerleri ve sediment verimleri Tablo 7'de gösterilmiştir. Elde edilen toplam değerler her bir farklı arazi kullanımını için alt havzalara ait değerlerin ayrı ayrı toplanması ile bulunmuştur.

Tablo 7. Farklı arazi kullanım şekillerine göre tahmini toprak kayıpları

Arazi Kullanım Şekli	Alan (ha)	Oran (%)	Top. Sed. Miktarı (ton/yıl)	Yıllık Ort. Sed. Miktarı (ton/ha/yıl)
Orman	5647.91	69.06	10494.04	1.86
Mera	1649.56	20.17	12630.18	7.66
Tarım	880.39	10.77	10108.18	11.48
Toplam	8177.86	100.00	33232.40	21.00

(1) nolu model yağış havzası için toplam değerler incelendiğinde havzanın % 69.70'ini oluşturan ormanlık alanlarda meydana gelen toplam toprak kaybı 10494.04 ton/yıl iken; bu değer toplam havza alanının % 20.17'sini oluşturan mera alanlarında 12630.18 ton/yıl ve % 10.77'sini oluşturan tarım alanlarında 10108.18 ton/yıl olarak tespit edilmiştir. Birim alandan meydana gelen ortalama toprak kayıplarını incelediğimizde; hektarda orman alanlarında yılda 1.86 ton toprak taşınması gerçekleşirken, mera alanlarında yılda 7.66 ton ve tarım alanlarında ise yılda 11.48 ton toprak taşınması gerçekleşmiştir. Yağış havzasından toplamda yılda ortalama toprak kaybı 21.00 ton'dur.

Önsoy ve Yüksek (1994), yaptıkları araştırmada Harşit deresi için farklı yöntemler kullanmışlardır. 3 farklı yöntemle göre yaptıkları araştırmada Harşit deresi için yıllık sediment verimini sırasıyla; 1 095 403 yıl/ton, 1 940 257 yıl/ton ve 4 689 396 yıl/ton olarak tespit etmişlerdir.

Balcı (1973), tarımsal olmayan insan uğraşlarının yeryüzünde meydana getirdiği toprak erozyonu gerek alan gerekse miktar olarak önemli boyutlarda değildir. Buna karşılık tarımsal uğraşlar, alan olarak dünya üzerinde o kadar yaygın ve yoğundur ki, tarım alanları her türlü erozyonun en yaygın ve ciddi olduğu yerleri teşkil eder. Tarımsal

ürünler hiçbir zaman bir orman veya mera vejetasyonunun toprağı örtücü, koruyucu, eroziv etkilerini yumuşatıcı ve önleyici niteliklere sahip olmadığını belirtmiştir.

El Hassanin ve ark. (1999), eğim oranına göre alanın genelini sarp arazi yapısına sahip olduğu ve bu eğim sınıfındaki arazilerin erozyon yönünden hassas oldukları bilinmektedir. Araştırma alanında elde edilen sonuçlarda havza içerisinde tarım yapılan alanların ortalama eğiminin % 20'nin çok üzerinde oldukları belirlenmiştir. Yapılan araştırmada eğim derecesi ve eğim uzunluğu arttıkça yüzeysel akış, toprak kaybı ve sediment konsantrasyonlarının da artış gösterdiklerini belirlemişlerdir.

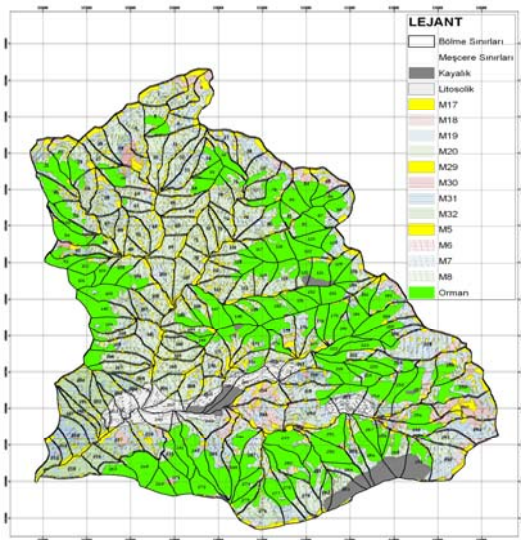
#### **(1) Nolu model havzada toprak kayıplarının önlenmesine yönelik tedbirler Güncel arazi kullanım haritasının oluşturulması**

Güncel arazi kullanım haritası, havzanın fiili durumunu gösteren bir haritadır. 1/25000 ölçekli amenajman planı meşcere haritasının CBS ortamında sayısallaştırılması suretiyle elde edilmiştir (Anonim 1984). Ayrıca havzanın tam saha etüdü ile amenajman planlarında meydana gelen değişiklikler de yine CBS ortamında bu haritaya eklenmiştir.

### Toprak haritasının oluşturulması

Bir havzada yapılacak olan faaliyetlerin tespit edilmesi ve gerek alınan tedbirler ve gerekse ağaçlandırma çalışmalarının başarıya ulaşabilmesi için öncelikle toprak etüdü yapılmaktadır. Toprak haritasının oluşturulmasında havzada açılan toprak profillerinin özellikleri ve arazide etüd sırasında yapılan gözlemler dikkate alınmıştır. Toprak haritasının oluşturulması için ikinci aşamada araştırma sahasının eğim durumları belirlenmiştir. Eğim sınıfları haritasının oluşturulmasında, CBS ortamında topoğrafik harita üzerinden eşyüksekti haritası ve akabinde sayısal arazi modeli oluşturulmuştur.

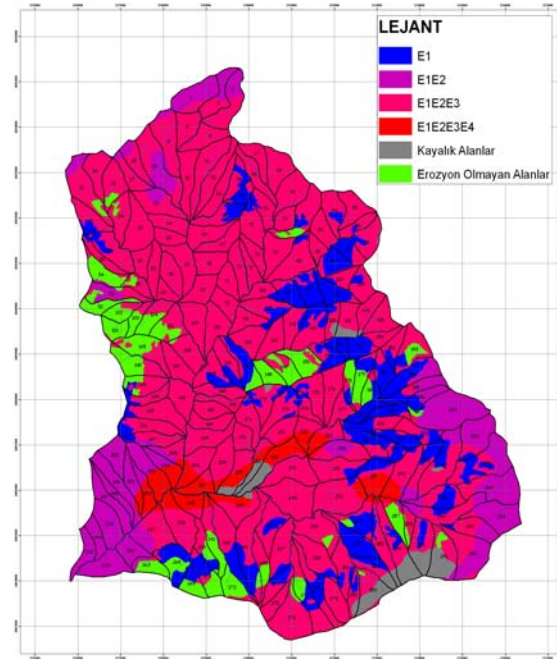
CBS ortamında belirlenen havzanın eğim yüzdeleri CBS'nin sorgulama fonksiyonu kullanılarak 4 gruba ayrılmıştır. Yapılacak arazi çalışmalarında makineli veya insan gücü ile yapılacak çalışmalarda eğim durumu önemli bir kriter olarak alınmıştır. Özellikle % 40'ın üzerinde eğime sahip alanlarda makine ile çalışma mümkün olmamakta, bu alanlarda insan gücü ile çalışma yapılması gerekmektedir. Havza için elde edilen toprak derinlikleri, eğim sınıfları, taşlılık durumu, toprağın tekstürü ve toprak tipleri verileri CBS ortamında kombine edilerek ağaçlandırma çalışmalarında kullanılacak toprak haritası oluşturulmuştur (Şekil 5).



Şekil 5. Havzanın toprak haritası

### Erozyon durumu haritasının oluşturulması

Havzada arazi çalışmaları sırasında belirlenen yüzey, çizgi ve oyuntu erozyonu bulunan sahalara bilgisayar ortamına aktararak CBS'nin kullanımı ile havzanın erozyon durumu haritası ortaya çıkarılmıştır. (Şekil 6).



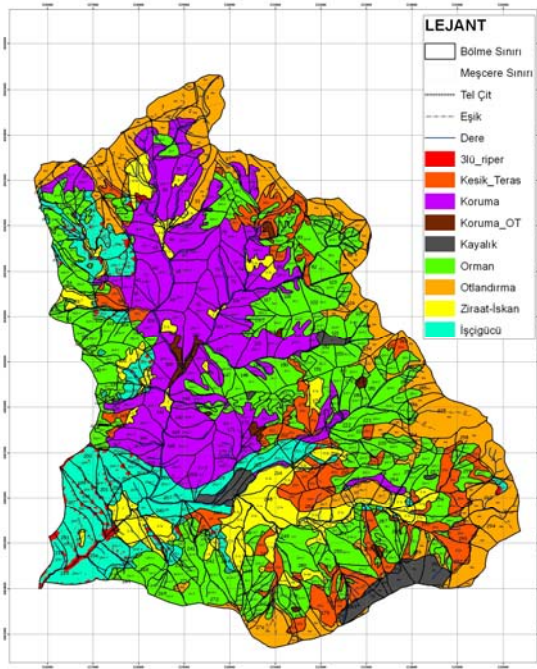
Şekil 6. Havzanın erozyon haritası

### Yapılacak işler haritasının oluşturulması

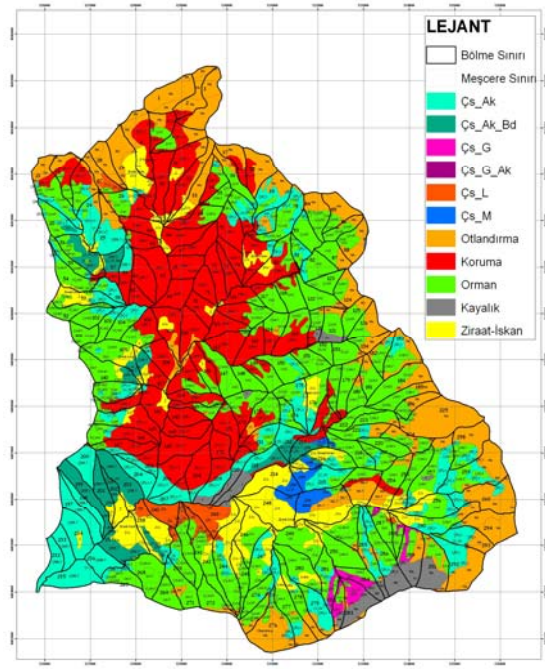
Yapılacak işler haritasında bugünkü arazi kullanım haritasında ağaçlandırma yapılması düşünülen sahalara ile toprak haritasının CBS ortamında kombine edilmesi suretiyle proje sahasında ekolojik yönden çalışmaya uygun sahalarda yapılacak çalışmalar tespit edilmiştir. Ağaçlandırma çalışması yapılacak sahalarda hangi tür çalışmaların yapılacağı, koruma alanı olarak ayrılan yerler ve otlandırma yapılması gerekli sahalara bu kısımda belirlenmiştir (Şekil 7).

Yapılacak çalışmaların belirlenmesinde özellikle eğim ve toprak derinliği dikkate alınmaktadır. Eğimin %40'ı aştığı yerlerde işçigücü ile teras yapımı tercih edilmekte, eğimin müsait olduğu yerlerde ise makine ile çalışma tercih edilmiştir.





Şekil 7. Havzanın yapılacak işler haritası



Şekil 8. Havzanın dikim haritası

#### Dikim haritasının oluşturulması

Araştırma alanında çalışma yapılacak alanlar için yörenin yetişme koşullarına uygun ağaç türleri tercih edilmektedir. Ağaç türlerinin yetişebilecekleri toprak derinlikleri ve yükseltileri dikkate alınmıştır. Köy ve yerleşim alanlarının yakınında ise ekolojik şartların olanak verdiği ölçüde yörede yaşayan insanlara ekonomik gelir sağlaması amacıyla ekonomik değeri olan ağaç türleri tercih edilmiştir. (Şekil 8).

#### (1) Nolu model havzanın planlama giderleri

Araştırma alanı için yapılan çalışmanın yatırım giderlerindeki proje maliyetlerine ayrıca yerleşim yerlerine yakın olan sahalarda alanın korunması amacıyla dikenli tel çit yapımı ve köy tüzel kişiliğince koruma öngörülmüştür. Model havzalar için hesaplanan toplam yatırım giderleri; arazi hazırlığı toplamları, dikim toplamları, bakım toplamları, erozyon tesisi toplamları ve koruma toplamları olmak üzere 5 kısımda hesaplanmıştır (Tablo 8).

Tablo 8. (1) nolu model havzanın yatırım giderleri cetveli

	İŞİN ÇEŞİDİ (TARİFİ)	TUTARI ( TL)
Arazi Hazırlığı Toplamı	Terasların aplikasyonu, makine ve işçi ile toprak işleme	1 986 559
Dikim Toplamı	Piketaj yapılması, fidan bedelleri ve dikimleri	1 723 828
Bakım Toplamı	Tamamlama dikimleri ve fidanların bakımları	1 766 315
Erozyon Tesisi Toplamı	Kuru duvar eşik yapımları	559 577
Koruma Toplamı	Dikenli tel çit ihata ve köy tüzel kişiliği ile koruma	399 001
<b>YATIRIM GİDERLERİ TOPLAMI</b>		<b>6 435 279</b>

Model havzada belirlenen toplam ağaç servetlerin maddi olarak karşılığını bulmak için odun hammaddesi ürününe göre sınıflandırma yapılmıştır. Yapılan

sınıflamada Torul Orman İşletme Müdürlüğü'nün 2006 yılı odun hammaddesi ürünü satışları ölçü olarak alınmıştır (Anonim, 2006), (Tablo 9).

Tablo 9. (1) nolu model havza için tahmini ürün dağılımları ve toplam fiyatları

Ürün Çeşitleri	Ürün Dağılımları Çs-(m <sup>3</sup> )	Ürün Dağılımları L-(m <sup>3</sup> )	Ort.Satış Fiyatı Çs-(TL)	Ort. Satış Fiyatı L-(TL)	Çs Toplam Fiyat (TL)	L Toplam Fiyat (TL)
Tomruk	260676.01	12800.59	146.99	157.99	38316766.39	2022365.45
Tel Dir.	12619.92	619.71	188.31	192.33	2376457.37	119188.03
M. Dir.	85829.03	4214.67	105.24	113.38	9032647.57	477858.87
S.odunu	8209.73	403.14	104.72	140.00	859723.32	56439.88
Kağ.Od.	68798.93	3378.40	105.93	102.96	7287870.18	347839.72
Lif-Yon.	34060.22	1672.54	43.50	43.50	1481619.46	72755.47
Yak.odun	208296.55	10228.48	37.36	37.36	7781959.10	382135.97
Sırık	0.00	0.00	65.05	54.10	0.00	0.00
Toplam					67137043.40	3478583.40
Genel Toplam					70615626.79	

Aynı zamanda elde edilen ürünlerin tomruk, yakacak odun, maden direk ve kâğıtlık odun gibi ürün çeşitlerine göre değerlendirilmeleri yapılmıştır. Ürünlerin %38.42'sinin tomruk olarak, %30.70'inin yakacak odun, %12.65'inin maden direk, %10.14'ünün kâğıtlık odun, %5.02'sinin lif-yonga odunu, %1.86'sinin tel direk, %1.21'inin sanayi odunu olarak değerlendirildiği belirlenmiştir (Anonim, 2004). Elde edilen değerler üzerinden model havzada yapılacak ağaçlandırma çalışmaları sonucunda elde edilmesi öngörülen ürünlerin maddi karşılığı 70615626.79 TL olarak hesaplanmıştır.

#### (1) Nolu model havzadaki proje çalışmasının ekonomik analizi

(1) nolu model havzadaki proje çalışmasının toplam maliyeti 6435279.00 TL'dir. Aynı havzada yapılacak olan ağaçlandırma çalışmaları sonucunda hesaplana toplam ürün satış tutarının bugünkü değeri 70615626.79 TL hesaplanmıştır. Model havza alanında WEPP model ile hesaplanan tahmini yıllık toprak kaybı 33232.40 ton (yaklaşık olarak 18462.44 m<sup>3</sup>) olarak hesaplanmıştır. Ortalama proje süresinin 20 yıl olduğu düşünüldüğünde ve toprak kayıplarının alınan erozyon tedbirleri ve ağaçlandırma çalışmaları neticesinde projenin yarı süresinden sonra azalacağı varsayılarak elde edilen değerlerin 10 ile çarpılması uygun görülmüştür. Burada 1 m<sup>3</sup> karşılığı yaklaşık olarak 1.8 ton alınmıştır (Kezdi, 1979). Günümüz koşullarında 1 m<sup>3</sup> toprağın fiyatı,

fidanlık, belediye ve toprak satışı yapan şirketlerden elde edilen ortalama değere göre 40 TL olarak alınmıştır. Aslında bu değer kaybedilen toprağın gerçek değerini karşılamamakla birlikte asgari bir değer olarak alınmıştır. Buna göre;

$$\begin{aligned} &\text{Toprağın geri kazanım fiyatı} \\ &= 18462.44 \text{ m}^3 \times 40 \text{ TL} \times 10 \text{ yıl} \\ &= 7384977.77 \text{ TL} \end{aligned}$$

olarak karşımıza çıkmaktadır.

Elde edilen gelirler ve giderleri oranladığımızda;

$$\begin{aligned} &\text{Fayda/masraf Oranı} \\ &= 78000604.57 / 6435279.00 = 12.12 \end{aligned}$$

değeri karşımıza çıkmaktadır. Projenin fayda/masraf oranı 1 değerinin çok üstünde çıkmaktadır. Elde edilen bu değer yapılması planlanan projenin ekonomik açıdan kabul edilebilir bir proje olduğunu göstermektedir.

#### Sonuç ve Öneriler

Çalışma alanının toplam 8177.86 ha olduğu ve havzada meydana gelen tahmini toprak kaybının toplamda 33232.40 ton/yıl olduğu belirlenmiştir. Yıllık ortalama sediment miktarının en yüksek tarım arazilerinde gerçekleştiği (11.48 ton/ha/yıl), bunu sırasıyla 7.66 ton/ha/yıl ile mera arazilerinin ve 1.86 ton/ha/yıl ile orman arazilerinin izlediği belirlenmiştir.

Havzanın genel olarak dik veya çok dik eğime sahip olduğu ve ortalama eğiminin de %71.43 olduğu tespit edilmiştir. Havzanın bu kadar eğimli olması, erozyon ve sedimentasyon problemini de arttırmaktadır. Ayrıca havzadaki yoğun ve yanlış arazi kullanımından dolayı, bitki örtüsü son derece

tahrip olmuş ve bununla birlikte topraklar erozyona karşı son derece hassas hale gelmiştir.

Havzanın ekonomik analizinde havzanın fayda/masraf oranı değeri 1'den yüksek çıkmıştır. Bu yöntemle göre, yatırım projesinin ekonomik ömrü boyunca elde edilen değerine oranlanmaktadır. Fayda/masraf oranı, 1'den büyük çıkarsa proje kabul edilmekte, küçük çıkması durumunda ise proje reddedilmektedir (Türker, 1998). Fayda hanesine yazılacak olan rekreasyon değeri, yaban hayvanlarına verdiği fayda değeri, oksijen üretim değeri, tarım arazilerini koruma değeri vb. gelir kalemleri projenin ekonomik analizine katılmamasına rağmen proje uzun vadede yine yapılabilir bir proje durumundadır. Baraj havzası için yapılacak projelerde hesaplanacak kapsamlı bir ekonomik analiz çalışmasında elde edilecek faydanın çok daha fazla olacağı açıkça görülmektedir.

Model yağış havzası dağlık bir arazi yapısına sahip olduğu için, toprağın yetersiz olduğu, havzada yaşayan halkın yıllık geliri düşük olduğundan, halkın büyük çoğunluğunun hayvancılıkla uğraştığı, tarım yapmaya elverişli alanın yok denecek kadar az ve verimsiz olması, yörede yaşayan halkın sosyo-ekonomik yapısı büyük önemde etkiye sahip olmaktadır. Bu nedenle hatalı arazi kullanımı sonucunda toprak taşımının sürekli olduğu, havzadaki değerli bitki besin elementlerinin yıkanarak sürekli taşınmaları, toprakların giderek verimsizleşmesi sonucunu doğurmaktadır. Bu nedenle yörede yaşayan halkın sosyo-ekonomik yapısı dikkate alındığında tarıma elverişli arazilerin kıt, yetersiz ve verimsiz olması nedeniyle oluşan toprak kayıpları toprağın değerini kat kat arttırmaktadır. Ayrıca yörede yaşayan halkın yağışlardan sonra ve özellikle sellerden sonra dik eğimli arazilerde tarım yaptıkları alanlardaki toprağın taşınmasından sonra bu alanların tekrar verimli hale getirilmesi için araziler üzerine toprakları taşıyarak yeniden tarla oluşturulması yağış havzasındaki toprak değerinin önemini vurgulamaktadır.

Orman Bakanlığı'nın özellikle son yıllarda hız vermiş olduğu ağaçlandırma ve erozyon projelerinde öncelikli olarak baraj havzalarının bulunduğu alanlarda erozyon ve

ağaçlandırma projeleri yapılmalıdır. Bu kapsamda 2008 yılında su toplamaya başlamış bulunan Torul barajı yağış havzasında yapılacak projelerin barajın ekonomik ömrüne katkıda bulunacağı açıktır. Havzada tarıma uygun olan arazilerin az olması, yörede yaşayan halkın geçimini sağlamak için yeni tarım alanları açarak özellikle orman alanlarının tahribatına yol açmaktadır. Havza alanı incelendiğinde bilimsel açıdan tarıma uygun arazilerin yok denecek kadar az olduğu açıktır. Ormanlar üzerindeki bu olumsuz baskıyı bertaraf etmek için yörede yaşayan halka yeni iş imkânları ve istihdam oluşturacak yeni projeler oluşturulmalıdır.

#### **Kaynaklar**

- Anonim, 1984. Torul Orman İşletme Müdürlüğü Amenajman Planları.
- Anonim, 2004. Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü, Meşcerelerden Alınan Ortalama Üretim Değerleri.
- Anonim 2005. Çölleşme ile Mücadele Türkiye Ulusal Eylem Programı, Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Anonim, 2006. Torul Orman İşletme Müdürlüğü, 2006 yılı odun ürünü satış cetvelleri.
- Balcı A.N. 1973. Toprak Koruması Ders Notları, İ.Ü. Orman Fak., İstanbul.
- Bann C., Clements M. 1999. Türkiye'de Orman Kaynaklarının Yönetimi ve Ormandan Faydalanma ile İlgili Dışsallıklarda Alt Sınır (Minimum) Değerlerinin Tahmini ve Bu Bilgilerden Yararlanılması Konusunda İlgili Öneriler, TC. Orman Bakanlığı-Dünya Bankası Ormancılık Sektör İncelemesi Küresel Örtüşme Programı Çalışması Final Raporu, Nisan 1999.
- Çokbaşaran G., Kırık S. 1990. Ülkemizdeki Erozyon ve DSİ Genel Müdürlüğü Çalışmaları, Etüd ve Plan Dairesi Başkanlığı, Ankara, 65-76.
- El-Hassanin A.S., Labib T.M., Gaber, E.I. 1993. Effect of Vegetation Covar and Land Slope on Runoff and Soil Losses from The Watershed of Brundi, Agricultura, Ecosystem and Environment, Elsevier Science Publishers B.V., Emsterdam, 43, 301-308, Egypt.
- Garbrecht J., Martz LW 1999. TOPAZ: An Automated Digital Landscape Analysis tool for Topographic Evaluation, Drainage Identifications, Watershed Segmentation and Subcatchment Parametirization, ARS-NAWQL, 95-1, US Department of Agriculture, ARS, Durant, Oklahama.

Garbrecht, J., Martz LW., 1993, Network and Subwatershed Parameters Extracted from Digital Elevation Models: The Bills Creek Experience. Water Resources Bulletin., American Water Resources Association, 29, 6, 909-916.

Garbrecht J., Martz LW. 1997, The Assignment of Drainage Direction over Flat Surfaces in Raster Digital Elevation Models, Journal of Hydrology, 193, 204-213.

Garbrecht J., Martz LW., 1997, Automated channel Ordering an node Indexing for Raster Channel Networks. Computers and Geosciences 23(a), 961-966.

Hızal A. 1984. Hava Fotoğrafları Yorumlamasının Havza Amenajmanı (Ova Deresi Havzası, Kocaeli) Çalışmalarında Uygulanma Olanaklarının Araştırılması, İ.Ü.Yay No: 3144, O.F. Yay No: 341, İstanbul, 1984.

İrmak A. 1954. Arazide ve laboratuarda Toprağın Araştırılması Metotları, İÜ. Orman Fak. Yayınları, Yayın No: 27, İstanbul.

Kedzi A. 1979. *Stabilized Earth Roads*, Elsevier Amsterdam.

MTA 2001. "Gümüşhane ili Jeoloji Haritaları", Trabzon.

OGM 1987. Uygulama Projelerinin Düzenlenmesi, Esasları ve Dispozisyonları, 4125 Sayılı Tamim, Ankara.

Önsoy H., Yüksek Ö. 1994. Doğu Karadeniz Akarsularında Kıyı Dengesi, Baraj Planlaması ve Havza Açısından Sürüntü Maddesi Hareketi Etüdü, DSİ 40. Yıl Kuruluş Yılı Su ve Toprak Kaynaklarının Geliştirilmesi Konferansı, cilt 1, s. 365-374, Ankara.

Özyuvacı N. 1976. Arnavutköy Deresi Yağış Havzasında Hidrolojik Durumu Etkileyen Bazı Bitki-Toprak-Su İlişkileri . İ.Ü. Orman Fak. Yay. No. 221, İstanbul.

Türker M.F. 1998. Orman İşletmeciliği Ders Notu, KTÜ., Orman fakültesi, Ders Notları Serisi, Yayın No:52, Trabzon.