



**WEPP HİLLSLOPE MODELİ İLE YÜZEY AKIŞ ve TOPRAK KAYIPLARININ
BELİRLENMESİ**

Saniye DEMİR

**Doktora Tezi
Toprak Bilim ve Bitki Besleme Anabilim Dalı
Doç. Dr. İrfan OĞUZ
2016**

Her Hakkı Saklıdır

TC.
GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

TOPRAK BİLİMİ

WEPP HILLSLOPE MODELİ İLE YÜZEY AKIŞ VE TOPRAK KAYIPLARININ
BELİRLENMESİ

SANIYE DEMİR


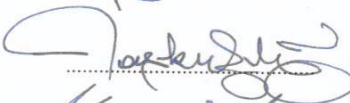

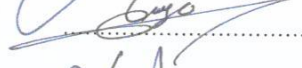

TOKAT

2016

Her hakkı saklıdır

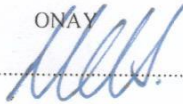
Saniye DEMİR tarafından hazırlanan "TOKAT İLİNDE WEPP HILLSLOPE MODELİ KULLANILARAK YÜZEY AKIŞ VE TOPRAK KAYBININ TAHMİNİ" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 05/09/2016 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilmiş Jüri tarafından Oy Birliği / ~~Oy Çoğunluğu~~ ile Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü **TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI**'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri
Danışman
Doç. Dr. İrfan OĞUZ
Gaziosmanpaşa Üniversitesi
Üye
Prof. Dr. Taşkın ÖZTAŞ
Atatürk Üniversitesi
Üye
Prof. Dr. Kadri YÜREKLİ
Gaziosmanpaşa Üniversitesi
Üye
Doç. Dr. Hakan Mete DOĞAN
Gaziosmanpaşa Üniversitesi
Üye
Yrd. Doç. Dr. Mahmut REİS
Sütçü İmam Üniversitesi

İmza






Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ONAY



Prof. Dr. Mehmet Ali SAKİN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

05/09/2016

TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

SANIYE DEMİR
Eylül, 2016

ÖZET

TOPRAK BİLİMİ

WEPP HILLSLOPE MODELİ İLE YÜZEY AKIŞ VE TOPRAK KAYIPLARININ BELİRLENMESİ

SANİYE DEMİR

GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİM VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. İRFAN OĞUZ

Tarıma bağlı olarak sürdüren toplumun, yoğun tarımsal faaliyetleri, bu problemi tetikleyen başlıca faktörlerdir. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde, çölleşme ve besin elementlerinin azalması sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, WEPP Hillslope model kullanmak suretiyle, farklı toprak işleme altındaki arazilerde meydana gelen toprak kayıpları ve yüzey akış tahmin edilmiştir. Eğime paralel ve dik sürüm ile tütün, buğday ve mercimek olmak üzere, farklı amenajman uygulamalarının yapıldığı homojen eğimli bir yamaç boyunca, daha önceden ölçülmüş sediment verimi ve akış verilerini kullanmak suretiyle, WEPP Hillslope modelin tahmin başarısı ölçülmüştür. Ölçülmüş gerçek veriler ile model tarafından tahmin edilen veriler bireysel olay, mevsimsel, yıllık ve uzun yıllar ortalama olmak üzere karşılaştırılmıştır. Çalışmada, ıslak-kuru yıllar ile farklı mevsimler için modelin performansı değerlendirilerek, ülkemizde şartlarına uygunluğu değerlendirilmiş, model parametrelerinin duyarlılık analizi yapılmıştır. WEPP Hillslope model ile yıllık ve aylık ortalama yağışlar değerlendirilmiş ve gerçek değerlere çok yakın değerler bulunmuştur. Mevsimlere bağlı tahminlerde ise; ıslak ortalama yağışlar ilkbahar aylarında, kuru ortalama yağışlar ise yaz mevsiminde tahminlerinde daha başarılı olduğu görülmüştür. K parselinde, olay esaslı toprak kayıp ve yüzey akış verileri gerçek ve tahmin edilen değerler 2.40 ve 4.98 mm ile 0.09 ve 0.28 kg/m²'dir. Yıllık ortalamalara göre ise, 15.25 ve 23.50 mm ile 0.63 ve 1.35 kg/m²'dir. K parselinde yıllık ortalamalara göre, model tahminlerde daha başarılı olduğu görülmüştür. P parselinde, olay esaslı toprak kayıp ve yüzey akış verileri gerçek ve tahmin edilen değerler 3.05 ve 7.26 mm ile 0.1 ve 0.26 kg/m²'dir. Yıllık ortalamalara göre ise, 7.62 ve 5.07 mm ile 0.32 ve 0.18 kg/m²'dir. P parselinde de yıllık ortalamalara göre modelin performansının yüksek olduğu görülmüştür. C parselinde, olay esaslı toprak kayıp ve yüzey akış verileri gerçek ve tahmin edilen değerler 1.67 ve 3.97 mm ile 0.06 ve 0.18 kg/m²'dir. Yıllık ortalamalara göre ise, 8.67 ve 16.08 mm ile 0.22 ve 0.12 kg/m²'dir. C parselinde yıllık ortalamalara göre, model tahminlerde daha başarılı olduğu görülmüştür. Islak, normal ve kuru yıllara göre modelin performansı değerlendirilmiş ve model normal yıllarda daha başarılı tahminlerde bulunduğu görülmüştür. USLE ile WEPP hillslope model karşılaştırılmış ve USLE toprak kayıplarını daha düşük tahmin ettiği çalışmanın sonusunda görülmüştür.

2016 – 211 Sayfa

ANAHTAR KELİMELER: WEPP Hillslope Model, Tokat, Su Erozyonu

ABSTRACT

DOCTORATE THESIS

DETERMINATION RUNNOFF AND SOIL ERSION BY USING WEPP HILLSLOPE MODEL

GAZIOSMANPAŞA UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE AND PLANT NUTRITION (SUPERVISOR:DOÇ. DR. İRFAN OĞUZ)

Soil erosion is an important form of land degradation in Turkey. Soil erosion leads to desertification and nutrient depletion in arid and semi-arid regions. Modeling approach is valuable tool for predicting soil degradation and runoff under different agricultural practices. Therefore, soil degradation and runoff losses under different tillage practices were predicted in this study through using WEPP hillslope model. The already measured data relating to sediment yield and flow measured in different crops like wheat, lentil and tobacco, sown parallel and perpendicular to slope were used in model fitting and prediction success of WEPP model was assessed. The individual events, seasonal, annual and long term yearly averaged data predicted by model and those collected by actual measurements were compared. Model performance was evaluated in compliance with the conditions of Turkey for wet and dry years, and sensitivity analysis was also conducted for the model parameters. Monthly and yearly average rainfall values were evaluated with WEPP model and found close to the actually measured values. In the season related predictions; model was more successful in predicting highly rainy days in spring season while dry average precipitation was successfully predicted in summer. K parcel, event-based runoff and soil loss data from actual and estimated values were 2.40 and 4.98 mm, and 0.09 and 0.28 kg /m² whereas, were 15.25 and 23.50 mm, and 0.63 and 1.35 kg/m² according to annual average values. Model was found to be more successful according to the K parcel predicted by using annual average values. Similarly, P parcel, event-based runoff and soil loss data from actual and estimated values were 3.05 and 7.26 mm, and 0.1 and 0.26 kg/m² whereas according to annual average data the values were 7.62 and 5.07 mm, and 0.32 and 0.18 kg/m². The model was also found highly successful in predicting P parcel through using annual average values. In the same manner, C parcel, event-based runoff and soil loss data from actual and estimated values were 1.67 and 3.97 mm, and 0.06 and 0.18 kg/m² whereas the values were 8.67 and 16.08 mm, and 0.22 and 0.12 kg/m² according to annual averaged data. The model was also found successful in P parcel with the use of annual average values. The model performance was also tested for wet, dry and normal years and model was found more successful for normal years. USLE and WEPP were compared and it was found that USLE predicted less soil losses compared to WEPP in the current study.

2016-211 Pages

KEYWORDS: WEPP Hillslope Model, Tokat, Water Erosion

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu tezin planlanmasından sonucuna kadar tüm aşamalarında bilgi ve katkılarını esirgemeyen değerli danışmanım Doç. Dr. İrfan OĞUZ'a sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Tez izleme komitesinde bulunarak teze yapmış oldukları olumlu katkılardan dolayı Sayın hocam Doç. Dr. Hakan Mete DOĞAN ve Yard. Doç.Dr. Mahmut REİS'e şükranlarımı sunarım.

Tezin yazım aşamasında benimle tüm zorluklara katlanan, yalnız bırakmayan ve çok değerli bilgilerini benimle paylaşan Gaziosmanpaşa Üniversitesi Turhal Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü Öğr.Grv. Tolga YÜCEHAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezin model hesaplaması ile ilgili bölümlerde bana yol gösteren Sayın hocam Prof. Dr. Alaattin YÜKSEL'e; hem iklimsel verilerin hesaplanması hem de yorumlanmasında bana büyük bir sabır gösterip, bilgisini esirgemeyen çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Kadri YÜREKLİ'ye minnetlerimi sunarım.

Tezimin çeşitli aşamalarında katkılarını gördüğüm Sayın hocam Şenay SARICA'ya, değerli arkadaşlarım Gıda Mühendisi Erhan OZER ve Ziraat Yük. Mühendisi Zekeriya SARITAŞ'a ve beni hiç yalnız bırakmayan Hamit CANIMOĞLU'na en içten duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tezin her aşamasında bana büyük bir sabır gösteren, benim kadar emeği olan, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili eşim Ahmet DEMİR've canım oğlum Kudret DEMİR ile hayatım boyunca beni hiç yalnız bırakmayan annem Ayşe SON'a ve tüm aileme şükranlarımı sunarım.

SANIYE DEMİR

EYLÜL, 2016

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------------|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | ii |
| ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR | iii |
| İÇİNDEKİLER | iv |
| ÇİZELGELER LİSTESİ | vii |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | ix |
| SİMGELER ve KISALTMALAR | xi |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Su Erozyonu | 2 |
| 1.1.1. Su Erozyonunu Kontrol Eden Başlıca Faktörler | 5 |
| 1.2. Erozyon Modelleri | 10 |
| 1.2.1. Deneysel (Empirical) Modeller | 11 |
| 1.2.2. Kavramsal (Conceptual) Modeller | 12 |
| 1.2.3. Fiziksel Süreçlere Dayalı (Physical Based) Modeller | 13 |
| 1.2.4. Güncel Erozyon Modelleri | 14 |
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ | 18 |
| 3. MATERYAL ve YÖNTEM | 28 |
| 3.1. Materyal | 28 |
| 3.1.1. Araştırma Alanının Tanıtımı | 28 |
| 3.1.2. Toprak Özellikleri | 29 |
| 3.1.3. İklim Özellikleri | 34 |
| 3.1.4. Jeolojisi ve Fizyografya | 37 |
| 3.1.5. Arazi Kullanma ve Bitki Örtüsü Durumu | 39 |
| 3.2. YÖNTEM..... | 39 |
| 3.2.1. Toprak Örneklerinin Alınması ve Yapılan Analizler | 39 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3.2.2. | Wepp Yamaç Erozyon Tahmin Modeli | 40 |
| 3.2.3. | Modelin tanımlanması..... | 40 |
| 3.2.4. | Model Bileşenleri | 42 |
| 3.2.5. | Modelin Uygulamasında Görülen Zorluklar | 44 |
| 3.2.6. | Veri Giriş Dosyaları | 44 |
| 3.2.6.1. | İklim Dosyası (Climate File)..... | 44 |
| 3.2.6.2. | Şev Dosyası | 47 |
| 3.2.6.3. | Toprak Dosyası..... | 48 |
| 3.2.6.4. | Amenajman Dosyası..... | 48 |
| 3.2.7. | WEPP Çıktı Tipleri | 49 |
| 3.2.7.1. | CLIGEN ile Yağış Verilerinin Oluşturulması | 49 |
| 3.2.7.2. | Şev Dosyası | 52 |
| 3.2.7.3. | Toprak Dosyası..... | 52 |
| 3.2.7.4. | Amenajman Dosyası..... | 53 |
| 3.2.8. | USLE ile Sediment Miktarının Hesaplanması | 54 |
| 3.2.9. | Modelin Değerlendirilmesi | 55 |
| 3.2.9.1. | Nash-Sutcliffe Modeli Verim Katsayısı (E_{NS})..... | 55 |
| 3.2.9.2. | Ortalama Karekök Hatası (RMSE)..... | 56 |
| 3.2.9.3. | Standart Hata Katsayısı (SE)..... | 56 |
| 3.2.9.4. | Duyarlılık Analizi | 56 |
| 4. | ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA..... | 58 |
| 4.1. | CLIGEN İklim Modeli Sonuçlarının Değerlendirilmesi..... | 58 |
| 4.1.1. | Yıllık Toplam Yağışların Değerlendirilmesi | 58 |
| 4.1.2. | Aylık Yağışların Değerlendirilmesi | 63 |
| 4.1.3. | Yağışların Mevsimsel Olarak Değerlendirilmesi..... | 66 |
| 4.1.3.1. | Islak Gün Ortalamalarına Göre Değerlendirilmesi..... | 66 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 4.1.3.2. | Kuru Gün Ortalamasına Göre Değerlendirilmesi..... | 75 |
| 4.2. | WEPP Model Simülasyon Sonuçları | 84 |
| 4.2.1. | Eğim Doğrultusunda Sürekli Nadas (K Parseli) Koşullarında Simülasyon Sonuçları | 84 |
| 4.2.1.1. | Olay Bazlı Simülasyon Sonuçları..... | 86 |
| 4.2.1.2. | Yıllık Simülasyon Sonuçları..... | 100 |
| 4.2.1.3. | Duyarlılık (Sensitivite) Analizi | 109 |
| 4.2.2. | Toprak Koruma Önlemleri Faktörü (Eğime Dik Sürüm) P Faktörü Parseli Sonuçları | 112 |
| 4.2.2.1. | Olay Bazlı Simülasyon Sonuçları..... | 112 |
| 4.2.2.2. | Yıllık Simülasyon Sonuçları..... | 124 |
| 4.2.2.3. | Duyarlılık (Sensitivity) Analizi | 134 |
| 4.2.3. | Buğday, Tütün ve Mercimek Tarımı Altında Bitki Yönetim C Faktörü Sonuçları | 137 |
| 4.2.3.1. | Olay Bazlı Simülasyon Sonuçları..... | 138 |
| 4.2.3.2. | Yıllık Simülasyon Sonuçları..... | 153 |
| 4.2.3.3. | Duyarlılık (Sensitivite) Analizi | 164 |
| 4.3. | Islak Kuru Yıllara Göre Toprak Kaybı ve Yüzey Akışın Değerlendirilmesi. | 165 |
| 4.4. | USLE ve WEPP Hillslope Model Sonuçlarının Karşılaştırılması | 170 |
| 5. | SONUÇ ve ÖNERİLER..... | 172 |
| 6. | KAYNAKLAR..... | 177 |
| 7. | EKLER..... | 201 |
| 7.1. | Ek 1 - Gözlemlenen Verileri Kullanarak İstasyon İlave Edilmesi | 201 |
| 7.2. | Ek 2 - WEPP Hillslope Model Çıktı Uygulaması Akış Şeması..... | 205 |
| 8. | ÖZGEÇMİŞ..... | 210 |

ÇİZELGELER LİSTESİ

| | |
|--|-----|
| Çizelge 3.1. Akış serisinin profil tanımlaması | 29 |
| Çizelge 3.2. Çalışma alanının toprak özellikleri | 29 |
| Çizelge 3.3. Kuraklık indisi (Kİ) değerlerinin sınıflaması | 34 |
| Çizelge 3.4. Orta Karadeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma İstasyonu uzun yıllar yağış verileri ortalaması (DMİ, 2015) | 35 |
| Çizelge 3.5. Orta Karadeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma İstasyonu uzun yıllar sıcaklık verileri ortalaması (DMİ, 2010) | 36 |
| Çizelge 3.6. WEPP Model Toprak Dosyası | 53 |
| Çizelge 4.1. Gözlenen ve CLIGEN ile simüle edilen yıllık yağışların tanıtıcı istatistiksel analizleri (1.) | 62 |
| Çizelge 4.2. Gözlenen ve CLIGEN ile simüle edilen yıllık yağışların tanıtıcı istatistiksel analizleri (2.) | 62 |
| Çizelge 4.3. Gözlenen ve CLIGEN ile simüle edilen yıllık yağışların tanıtıcı istatistiksel analizleri (3.) | 63 |
| Çizelge 4.4. 1975-1995 Aylık yağışlı gün sayısı ortalaması | 63 |
| Çizelge 4.5. 1975-1995 Yılları arasındaki aylık toplam yağış | 64 |
| Çizelge 4.6. Aylık gözlenen ve simüle edilen yağışların tanıtıcı istatistikleri | 66 |
| Çizelge 4.7. Mevsimlere ait gözlenen ve tahmin edilen ıslak yağış verilerine ait tanıtıcı istatistikler | 68 |
| Çizelge 4.8. Mevsimlere ait gözlenen ve tahmin edilen kuru yağış verilerine ait tanıtıcı istatistiksel parametreler | 76 |
| Çizelge 4.9. K parseli ve WEPP Hillslope model arazi uygulamalarının karşılaştırılması | 85 |
| Çizelge 4.10. K parseli olay esaslı simülasyon sonuçları | 88 |
| Çizelge 4.11. Devamı | 89 |
| Çizelge 4.12. Devamı | 90 |
| Çizelge 4.13. Devamı | 91 |
| Çizelge 4.14. Devamı | 92 |
| Çizelge 4.15. K parseli olay esaslı tanıtıcı istatistikler | 94 |
| Çizelge 4.16. K parseli olay esaslı toprak kayıpları arasındaki tanıtıcı istatistikler | 100 |
| Çizelge 4.17. K parseli yıllık ortalama yağış, yüzey akış ve toprak kayıp verileri | 103 |
| Çizelge 4.18. K parseli yıllık ortalama yüzey akış tanıtıcı istatistikler | 106 |
| Çizelge 4.19. K parseli yıllık ortalama toprak kayıpları tanıtıcı istatistikler | 109 |
| Çizelge 4.20. K parseli duyarlılık analiz sonuçları | 111 |
| Çizelge 4.21. P parseli ve WEPP Hillslope model arazi uygulamalarının karşılaştırılması | 113 |
| Çizelge 4.22. P parseli gözlenen ve tahmin edilen veriler | 115 |
| Çizelge 4.23. Devamı | 116 |
| Çizelge 4.24. P parseli olay esaslı yüzey akış verileri tanımlayıcı istatistikleri | 120 |
| Çizelge 4.25. Olay esaslı toprak kayıpları tanımlayıcı istatistikleri | 124 |
| Çizelge 4.26. P parseli yıllık ortalama gözlenen ve tahmin edilen model parametreleri | 126 |
| Çizelge 4.27. P parseli yıllık ortalama yüzey akış verileri tanımlayıcı istatistikler | 130 |
| Çizelge 4.28. P parseli yıllık ortalamalara göre toprak kaybı tanıtıcı istatistikleri | 134 |
| Çizelge 4.29. P parseli duyarlılık analiz sonuçları | 136 |

| | |
|---|-----|
| Çizelge 4.30. C parseli ve WEPP Hillslope model arazi uygulamalarının karşılaştırılması | 137 |
| Çizelge 4.31. C parseli olay bazlı simülasyon sonuçları | 140 |
| Çizelge 4.32. C parseli olay esaslı yüzey akış verileri tanıtıcı istatistikleri | 146 |
| Çizelge 4.33. C parseli olay esaslı toprak kaybı verileri tanıtıcı istatistikleri | 152 |
| Çizelge 4.34. C parseli yıllık yağış, yüzey akış ve toprak kaybı verileri | 156 |
| Çizelge 4.35. C parseli yıllık ortalama yüzey akış verileri tanıtıcı istatistikleri | 159 |
| Çizelge 4.36. C parseli yıllık ortalama toprak kaybı verileri tanıtıcı istatistikleri | 164 |
| Çizelge 4.37. C Parseli duyarlılık analiz sonuçları | 165 |
| Çizelge 4.38. Islak yıllara ait yağış, toprak kaybı ve yüzey akış | 167 |
| Çizelge 4.39. Normal yıllara ait yağış, toprak kaybı ve yüzey akış | 168 |
| Çizelge 4.40. Kurak yıllara ait yağış, toprak kaybı ve yüzey akış | 169 |
| Çizelge 4.41. USLE ve WEPP Hillslope model etkinliğinin değerlendirilmesi | 171 |
| Çizelge 4.42. WEPP Hillslope model ile USLE verilerinin karşılaştırılması | 171 |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | |
|---|-----|
| Şekil 1.1. Su erozyon çeşitleri..... | 5 |
| Şekil 1.2. Su erozyonunu kontrol eden başlıca faktörler (Symeonakis, 2010). | 8 |
| Şekil 3.1. Araştırma yeri yer buldur haritası | 28 |
| Şekil 3.2. Çalışma alanı derinlik sınıfları haritası | 30 |
| Şekil 3.3. Çalışma alanı detaylı eğim sınıfları haritası..... | 31 |
| Şekil 3.4. Çalışma alanı detaylı toprak serisi haritası | 32 |
| Şekil 3.5. Çalışma alanı detaylı tekstür grupları haritası..... | 33 |
| Şekil 3.6. Çalışma alanının jeoloji haritası..... | 38 |
| Şekil 3.7. Orta Karadeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma İstasyonu 1975-1995 yıllarına ait WEPP Model Çıktısı..... | 51 |
| Şekil 4.1. Gözlenen ve CLIGEN ile simüle edilen yıllık toplam yağış arasındaki ilişki | 59 |
| Şekil 4.2. Simüle edilen ve gözlenen yağış arasındaki ilişki | 61 |
| Şekil 4.3. Kış mevsimi yağış ortalamaları | 69 |
| Şekil 4.4. Kış mevsimi yağış arasındaki regresyon ilişkisi | 69 |
| Şekil 4.5. İlkbahar mevsimi yağış ortalamaları..... | 71 |
| Şekil 4.6. İlkbahar mevsimi yağış arasındaki regresyon ilişkisi | 71 |
| Şekil 4.7. Yaz mevsimi gözlenen ve tahmin edilen yağış ortalamaları..... | 73 |
| Şekil 4.8. Yaz mevsimi yağış arasındaki regresyon ilişkisi | 73 |
| Şekil 4.9. Sonbahar mevsimi yağış ortalamaları | 74 |
| Şekil 4.10. Sonbahar mevsimi yağış arasındaki regresyon ilişkisi | 74 |
| Şekil 4.11. Kış mevsimi kuru gün yağış ortalamaları | 77 |
| Şekil 4.12. Kış mevsimi kuru gün yağış arasındaki ilişki | 77 |
| Şekil 4.13. İlkbahar mevsimi kuru gün yağış ortalamaları | 79 |
| Şekil 4.14. İlkbahar mevsimi kuru gün yağış arasındaki regresyon ilişkisi | 79 |
| Şekil 4.15. Yaz mevsimi kuru gün yağış ortalamaları | 80 |
| Şekil 4.16. Yaz mevsimi kuru gün yağış arasındaki regresyon ilişkisi..... | 80 |
| Şekil 4.17. Sonbahar mevsimi kuru gün yağış ortalamaları..... | 81 |
| Şekil 4.18. Sonbahar mevsimi kuru gün yağış arasındaki regresyon ilişkisi | 81 |
| Şekil 4.19. K parseli amenajman dosyası..... | 85 |
| Şekil 4.20. K parseli olay esaslı yağış ve yüzey akış arasındaki ilişki..... | 95 |
| Şekil 4.21. K parseli olay esaslı yüzey akış verileri arasındaki tanımlama ilişkisi | 95 |
| Şekil 4.22. K parseli olay esaslı yağış ve toprak kayıpları arasındaki ilişki | 97 |
| Şekil 4.23. K parseli olay esaslı toprak kayıp verileri arasındaki tanımlama ilişkisi | 97 |
| Şekil 4.24. K parseli WEPP Hillslope model çıktısı..... | 100 |
| Şekil 4.25. K parseli erosiv yağışlara göre ıslak, normal ve kuru yıllar | 101 |
| Şekil 4.26. K parseli yıllık ortalama yağış ve yüzey akış verileri arasındaki ilişki..... | 104 |
| Şekil 4.27. K parseli yıllık ortalama yüzey akış verileri tanımlama ilişkisi..... | 104 |
| Şekil 4.28. K parseli yıllık ortalama toprak kayıpları arasındaki ilişki..... | 108 |
| Şekil 4.29. K parseli yıllık ortalama toprak kayıpları arasında tanımlayıcı ilişki | 108 |
| Şekil 4.30. P parseli amenajman dosyası | 114 |
| Şekil 4.31. P parseli model çıktısı..... | 114 |

| | |
|--|-----|
| Şekil 4.32. P parseli olay esaslı yüzey akış verileri arasındaki ilişki | 118 |
| Şekil 4.33. P parseli olay esaslı yüzey akış verileri arasındaki tanımsal ilişki..... | 118 |
| Şekil 4.34. P parseli olay bazlı toprak kayıpları arasındaki ilişki | 122 |
| Şekil 4.35. Toprak kayıpları arasındaki regresyon ilişkisi | 122 |
| Şekil 4.36. P parseli erosiv yağışlara göre ıslak, normal ve kuru yıllar | 125 |
| Şekil 4.37. P parseli yıllık ortalama yüzey akış verileri arasındaki ilişki | 128 |
| Şekil 4.38. P parseli yıllık ortalama yüzey akış verileri arasındaki tanımsal ilişki | 128 |
| Şekil 4.39. P parseli yıllık ortalama toprak kayıpları arasındaki ilişki..... | 133 |
| Şekil 4.40. P parseli yıllık ortalama toprak kayıpları arasındaki tanımsal ilişkisi | 133 |
| Şekil 4.41. C parseli amenajman dosyası..... | 138 |
| Şekil 4.42. C parseli olay esaslı yağış ve yüzey akış verileri arasındaki ilişki | 145 |
| Şekil 4.43. C parseli olay bazlı yüzey akış verileri arasındaki tanımsal ilişki | 145 |
| Şekil 4.44. C parseli olay esaslı toprak kaybı verileri arasındaki ilişki..... | 148 |
| Şekil 4.45. C parseli olay esaslı toprak kaybı verileri arasındaki tanımsal ilişki | 148 |
| Şekil 4.46. C parseli erosiv yağışlara göre ıslak, normal ve kuru yıllar..... | 153 |
| Şekil 4.47. C parseli model çıktısı | 155 |
| Şekil 4.48. C parseli yıllık ortalama yağış ve yüzey akış verileri arasındaki ilişki..... | 157 |
| Şekil 4.49. C parseli yıllık ortalama yüzey akış verileri arasındaki tanımsal ilişki..... | 157 |
| Şekil 4.50. C parseli yıllık ortalama toprak kayıpları arasındaki ilişki | 163 |
| Şekil 4.51. C parseli yıllık ortalama toprak kayıpları arasındaki tanımsal ilişki..... | 163 |
| Şekil 4.52. Yıllık Yağış Toplamına Göre Islak, Kuru ve Normal Yıl Dağılımı | 166 |
| Şekil 7.1. WEPP Hillslope modelin istasyon yüklemesi (1.) | 201 |
| Şekil 7.2. WEPP Hillslope modelin istasyon yüklemesi (2.) | 202 |
| Şekil 7.3. WEPP Hillslope modelin istasyon yüklemesi (3.) | 202 |
| Şekil 7.4. WEPP Hillslope modelin istasyon yüklemesi (4.) | 203 |
| Şekil 7.5. WEPP Hillslope modelin istasyon yüklemesi (5.) | 203 |
| Şekil 7.6. WEPP Hillslope modelin istasyon yüklemesi (6.) | 204 |
| Şekil 7.7. WEPP Hillslope modelin istasyon yüklemesi (7.) | 204 |
| Şekil 7.8. WEPP Hillslope model simülasyon ekranı (1.) | 205 |
| Şekil 7.9. WEPP Hillslope model simülasyon ekranı (2.) | 205 |
| Şekil 7.10. WEPP Hillslope model simülasyon ekranı (3.) | 206 |
| Şekil 7.11. WEPP Hillslope model simülasyon ekranı (4.) | 206 |
| Şekil 7.12. WEPP Hillslope model simülasyon ekranı (5.) | 207 |
| Şekil 7.13. WEPP Hillslope model simülasyon ekranı (6.) | 207 |
| Şekil 7.14. WEPP Hillslope model simülasyon ekranı (7.) | 208 |
| Şekil 7.15. WEPP Hillslope model simülasyon ekranı (8.) | 208 |

SİMGELER ve KISALTMALAR

| | |
|-------------------|---|
| G | Gözlenen Aylık Yağışlı Gün Ortalaması |
| W | WEPP Hillslope Model ile Tahmin Edilen Aylık Yağışlı Gün Ortalaması |
| C | CLIGEN ile tahmin edilen yağış, |
| G | Gözlenen yağış |
| TK | Toprak Kaybı |
| YA | Yüzey Akış |
| K-S | Kolmogorov-Smiromov testi |
| mm | milimetre |
| kg/m ² | kilogram/metrekare |
| mm/h | milimetre/saat |
| t | t-Testi |

1. GİRİŞ

Toprak bozulması tüm dünya ülkelerinde olduğu gibi; Türkiye’de de ciddi bir çevresel problem olduğu son yıllarda yapılan çalışmalarda ifade edilmektedir (Koçman ve ark.,1995; Türkeş, 2001; Pamuk ve ark., 2004; Türkeş ve ark.,2009a; Kömüşçü ve Erkan., 2011; Karabulut, 2015). Toprak-iklim-ekosistem birbirini yakından etkilemektedir. Yaşamlarını tarıma bağlı olarak sürdüren toplumlarda, yoğun tarımsal faaliyetler bu problemi tetikleyen başlıca faktördür (Öztaş, 1997; Schmengler, 2011). Toprak erozyonu, toprak bozulmasının en yaygın ve yeryüzünde geniş dağılım gösteren bir çeşididir. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde, çölleşme ve besin elementinin azalması sonucu ortaya çıkmaktadır (Bationa ve ark., 2007; Cobo ve ark., 2010; Schmengler, 2011). Erozyon süresince, toprağın taşınmasından dolayı üst toprak bitki besin elementlerini kaybetmektedir. Bitki örtüsü, hidrolojik sistem ve arazi kullanımına bağlı olarak toprak verimliliğindeki azalma, tarımsal faaliyetlerin kısıtlanmasına neden olmaktadır (Brown ve ark., 1994). Ayrıca; sosyo-ekonomik gelişmeler, devlet politikaları ve yasalar, hem insanların çevresel ihtiyaçlarının; hem de arazi kullanımı ve doğal kaynakların kullanımında değişikliklere neden olmaktadır (Batterbury ve Warren, 2001; Schmengler, 2011). Türkiye’deki çiftçiler bu durumdan çok fazla etkilenmektedir. Çünkü Türkiye, tarımsal faaliyetlerin öncelikli olduğu ve halkın yaklaşık %23.2’sinin tarımla uğraştığı ülkelerden birisidir (Türkiye Tarım Sektörü Raporu, 2013).

Dünya’da, ekonomik olarak gelişmemiş ve pek çok kaynağı sınırlı olan ülkeler, toprak erozyonundan oldukça sıkıntı çekmektedir. Bu ülkeler, kurak iklime sahip olmalarından dolayı düzensiz yağışlara maruz kalmakta ve toprakta yeterince su depolanamamaktadır. Bundan dolayı; son yıllarda toprak korumaya yönelik çalışmalarda, toprak erozyonu ilk sıraya yerleşmiştir (Sun ve ark., 2014).

Günümüzde, toprak erozyonu en ciddi çevresel problemlerden birisi olarak kabul edilmektedir (Reichve ark., 2000; Saavedra, 2005). Çünkü erozyon, hem havza içerisinde önemli olup, hem de sediment taşınımı ile ilgili süreçleri içermektedir (Brown ve Wolf, 1984; Tefera ve Sterk., 2010). Sediment birikiminin yanı sıra, strüktürel yapısı

zayıf topraklarda oluk (Rill) ya da oyuntu (Gully) adı verilen yapıların oluşumuna neden olmaktadır (Wickenkamp ve ark., 2000; Romero ve Stroosnijder, 2002; Saavedra, 2010). Sedimentlerin bir kısmı taşınma sırasında şev boyunca depolanmakta bir kısmı ise dere, nehir ya da barajlarda birikmektedir (Foster, 2004).

Bir bölgede; arazilerin bozulma dereceleri dikkate alınarak yapılan toprak ve su koruma çalışmalarında; toprak erozyonunun dağılımının bilinmesi önemlidir. Toprak erozyonunun havza içi ve dışı etkisinin değerlendirilmesinde; erozyona uygun alanların büyüklüğü ve erozyon şiddetinin tanımlanması gerekmektedir (Jetten ve Favis-Mortlock, 2006; Yujra, 2010). Kompleks havzalarda ise, bu özelliklerin alansal dağılımı göz önünde tutulmalıdır. Toprak erozyonu havzanın şekline göre değerlendirilmeli, havzanın özellikleri çok iyi bilinmeli ve arazi gözlemleri mutlaka yapılmalıdır. Gözlenen veriler, günümüzde toprak erozyonu ile ilgili modellerde kullanılmaktadır (Zhang, 2004; Zhang, 2005). Özellikle, toprak erozyonu ile ilgili çalışma yapılan kompleks havzalarda, gözlenen ve tahmin edilen verilerin karşılaştırılması çok önemlidir (Beven, 1995).

1.1. Su Erozyonu

Yağmur damlaları, yüzey akış, eriyen kar ve sulama sularının; eğimli arazilerde, vejetasyonun (bitki örtüsünün) zayıfladığı veya tamamen yok olduğu bölgelerde yüzey toprağını aşındırıp, taşınması sonucunda “*su erozyonu*” meydana gelmektedir (Thornes, 1990; Schumacher ve ark., 1999; Saavedra, 2010). Suyun yeryüzüne düşerken ve arazi yüzeyinden akarken, kazanmış olduğu kinetik enerjinin bir sonucu olarak meydana gelen yüzeysel akış, su erozyonunun başlıca nedenidir. Yüzey toprağındaki organik ve inorganik besin elementleri ile tuzları, eğimi daha az olan arazilere taşımakta ve orada birikmesine neden olmaktadır (Foster, 1982; Duveskog, 2003; Saavedra, 2010).

Dünya’da yaklaşık 2 milyar ha arazinin %55’i su erozyonuna maruz kalmaktadır (Kisic, 2000; Guilherme, 2014). Otlatma, inşaat yapıları, koruma önlemleri almadan dik yamaçlarda yapılan tarımsal ve mono kültür gibi insani faaliyetler erozyonu hızlandırmaktadır (Lowery ve ark., 1995; Schumacher ve ark., 1994).

Toprak erozyon çalışmalarının çoğunda, arazinin aşınma süreçleri ve etkileyen faktörler karşılaştırılmaktadır (Wu ve Wang., 2011).Çünkü toprak erozyonunun tanımlanabilmesi için bu süreçlerin nerde ve ne zaman ortaya çıkacağına çok iyi tahmin edilmesi gerekmektedir (Kirkby ve ark., 2004; Kakisina ve ark., 2015).

Sedimentlerin ayrışma, taşınma ve birikme süreçleri oldukça komplekstir ve birbirini doğrudan etkilemektedir (Toy ve ark., 2002; Saavedra, 2010). Pek çok alt sürecin birleşmesinden oluşan bu süreçler, erozyon modellerinde '*erozyon süreçleri*' olarak tanımlanmaktadır. Yağmur damlaları ve yüzey akışın erosiv güçleri, toprağın erozyona karşı direncini aşması olayına *ayrışma* denilmektedir (Thorne, 1991; Saavedra, 2010). Ayrışan partiküller, yağmur damlalarının sıçramasıyla ya da akışla beraber taşınmaktadır. Partiküllerin sediment yükü, taşıma kapasitesini aşması ise *birikme* olarak isimlendirilmektedir (Nearing ve ark., 1994;Yujra, 2010). Bu temel süreçler, oluk ya da oluklar-arası (İnter-rill) olarak isimlendirilen yüzey şekillerinin meydana gelmesine neden olmaktadır. Ayrıca şev uzunluğu ve eğimi, toprak yüzey örtüsü, yağışın yoğunluğu ve miktarı ile amenajman yöntemleri bu temel süreçleri oldukça yakından etkilemektedir (Meyer, 2004). Oluklar-arası alanlarda oluşan erozyon, oluk alanlarda oluşan erozyondan bağımsızdır. Oluk alanlarda oluşan erozyonun şiddeti, yüzey akış ve sediment miktarına bağlı olarak değişmektedir (Lu ve ark., 2003; Yujra, 2010).

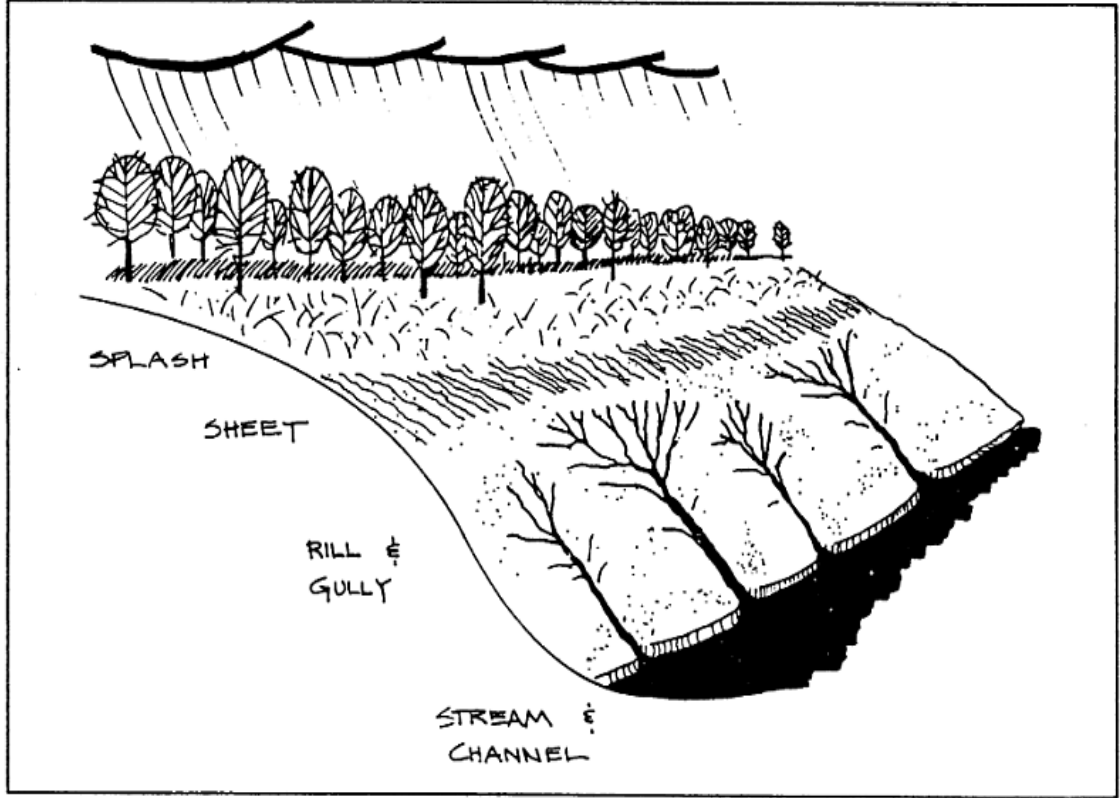
Damla (Sıçrama) Erozyonu, erozyonun ilk aşamasını oluşturmaktadır (Şekil 1.1). Özellikle, arazide toprağın parçalanmasına ve taşınmasına neden olmasından dolayı önemlidir (Wei ve ark., 2009). Yağmur damlalarının çarpmasıyla birlikte toprak yüzeyi dağılmakta, toprağa düşen yağmur damlaları toprak taneciklerini 1–1.5 m çapında bir daire içerisinde etrafa ve hemen hemen 60 cm yukarı doğru sıçratmaktadır. Bu durum, bu tip erozyonla taşımının sınırlı olduğunu göstermektedir. Yağmur damlalarının düşüş hızı, boyutu, kütlesi, yağışın yoğunluğu, enerjisi damla erozyonunu yakından etkileyen yağış karakteristikleridir. Su erozyonunun bu çeşidi toprak yüzeyinde farklı şekil, büyüklük ve derinlikte boşluklar meydana gelmesine neden olmaktadır.

Toprak partiküllerinin, yağmur damlaları veya sığ yüzey akışın etkisiyle taşınıp, ince bir tabaka şeklinde birikmesi sonucu **Tabaka (Sheet) Erozyonu** oluşmaktadır (Lucas., 2012; Lal ve ark., 2015). Bu çeşit erozyonda belirgin bir kanal oluşumu

gözlenmemektedir. Üst toprak üniform, ince bir tabaka halinde taşınmaktadır (Şekil 1.1). Üst toprak renginin açık renkli olması, bu bölgelerde yüzey erozyonunun şiddetli olduğunun göstergesidir (Balabanlı, 2005).

Oluk (Rill) Erozyonu ise, erozyonun yüzeysel aşınmadan çizgisel aşınmaya geçtiği aşamadır. (Gyssels ve ark., 2002; Nachtergaele ve Poesen, 2002; Zhen, 2015). Sedimentler, yüzey akışın kazanmış olduğu kinetik enerjiden dolayı, dere yatağı boyunca taşınmaktadır. İnce kanalcıklar içinde eğim aşağı hareket eden yüzey akış, giderek artan bir parçalama ve taşıma gücü kazanmakta; kıvrım veya çıkıntındaki toprak kütlesini gevşetmekte, oymakta ve toprak parçacıklarını yerinden koparmaktadır (Yılmaz, 2006). Eğim aşağı doğru hareket eden suyun, toprak yüzeyinde ince kanalcıklar oluşturmasına, onları derinleştirip genişletmesine, elin parmakları gibi oluklar açmasına *oluk ya da parmak erozyonu* adı verilmektedir (Şekil 1.1). Bu oluklar, kendiliğinden toprağın eğime paralel işlenmesi, hayvan ayak izleri ve tarım makinalarının tekerlek izleri sonucunda ortaya çıkmaktadır. Oluk erozyonu, hafif eğimin (% 6 eğimin) üzerindeki eğim derecelerinde çok daha zararlı olmaktadır (Bahadur, 2008). En yaygın görülen ikinci erozyon çeşidi olup; oluklar toprak işleme sırasında bozulmakta ve buna bağlı olarak bu bölgelerde oldukça şiddetli erozyon meydana gelmektedir (Çelik, 2011).

Oyuntu (Gully) Erozyonu ise; arazide ‘U’ veya ‘V’ şeklinde görülmektedir. Tabaka ve oluk erozyon ile karşılaştırıldığında, en fazla toprak kaybı ve toprak bozulmasına yol açan su erozyon çeşididir (Poesen ve ark., 2002; Saavedra, 2010). Oyuntular öncelikle, arazinin en düşük eğime sahip bölgesinde yoğun yağışa bağlı olarak meydana gelmekte, daha sonra zaman içerisinde arazi yüzeyinde çok derinlere inmektedir (Şekil 1.1). Bundan dolayı, bu kanallarda oluşan erozyon *yoğun yağış erozyonu* olarak isimlendirilmektedir (NSW Department of Primary Industries, 2012; Lucas, 2012). En az 30 cm genişliğinde ve 30 cm derinliğinde, düz kesikli kanallardan oluşmaktadır. Dar kanallar boyunca yamaç aşağı hareket eden yüzey akış, tepelere ulaştığında yoğunluğu arttığı için yüzeyin pürüzlü olmasına neden olmaktadır (Govers, 1987; Yujra, 2010).



Şekil 1.1. Su erozyon çeşitleri

(Kaynak: <http://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/resources/soils/erosion>)

1.1.1. Su Erozyonunu Kontrol Eden Başlıca Faktörler

Su erozyonunu etkileyen faktörler ve bu faktörlerin erozyon sürecine etkileri birbirinden farklıdır (Summer ve ark., 1998; Saavedra, 2010). Su erozyonunun temel faktörleri yağış, bitki örtüsü, topoğrafya ve topraktır (Şekil 1.2). Bununla birlikte insan aktivitesi de aktif bir faktör olarak kabul edilmektedir (Yujra, 2010).

Yağış: Erozyonun ortaya çıkması için gerekli olan enerjinin ana kaynağını, yağış ve yüzey akışı oluşturmaktadır. Bundan dolayı, yağışlar su erozyonunun başlıca nedeni olarak kabul edilmektedir (Saavedra, 2010; Huang ve ark., 2016). Yağış miktarı ve yoğunluğu, erozyonu etkileyen en önemli yağış karakteristikleridir. Yüzey akışın şiddeti ve tepe (pik) oranı, akışın erositivitesinden ölçülmektedir (Foster, 1982; Desir ve Marin, 2007). Yağış erosivitesi; her bir yağışın kinetik enerjisi ile 30 dakikalık maksimum intensitesinin çarpımının yüz'e bölümüyle hesaplanmaktadır. Az sıklıkla görülen

şiddetli yağış, erozyona neden olmakta ve sürece dayalı modellerde erozyonu tahmin etmek için kullanılmaktadır (Andoh ve ark., 2012).

Topoğrafya: Şevin eğimi, uzunluğu ve şekline bağlı olarak hidrolojik girdilerin enerjileri değişmekte ve bunun sonucu olarak erozyon meydana gelmektedir. Eğim uzunluğu arttıkça, artan yüzey akışa bağlı olarak toprak kayıpları miktarı da artmaktadır (Sun ve ark., 2014). Eğim derecesi ile toprak kayıpları arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Eğim uzunluğu ve derecesi toprak erozyonu çalışmalarında bir arada değerlendirildiğinde, topoğrafik faktör olarak adlandırılmaktadır (McCool ve ark., 1997; Morales ve ark., 2007).

Eğimin yapısı erozyon üzerinde oldukça belirleyicidir. Eğimler içbükey, dışbükey veya karışık eğimler şeklinde görülmektedir. İçbükey eğimlerde, aşınan toprağın bir kısmının şevin topuğunda birikme imkanı olacağından böyle eğimlerin sediment potansiyeli, dış bükey eğimlere göre daha azdır (Kim, 2006).

Toprak Aşınma Duyarlılığı: Erozyon süreçlerine bağlı olarak meydana gelen ayrışma ve taşınmaya karşı toprağın göstermiş olduğu direnç olarak ifade edilmektedir. Hudson (1995) erodibilitiyi, toprağın spesifik özelliği olarak tanımlamaktadır. Özel şartlar altında, toprağın erozyona olan hassasiyet derecesinin ölçülerek değerlendirilmesidir. Aşınımı etkileyen en önemli toprak özelliklerinden birisi toprak tekstürüdür. Orta ve kaba bünyeli toprakların ana kayadan kolayca ayrıldığı ve killi partiküllerin ise ayrışmaya karşı direnç gösterdiği laboratuvar çalışmalarında gözlemlenmiştir (Nill., 1996; OGeen ve ark., 2006; Andoh ve ark., 2012). Toprağın kohezyon ve toprak yüzeyine ulaşan yağışların yüzey akış ve infiltre olmalarında, toprak strüktürü önemli rol oynamaktadır. Aşınımı etkileyen diğer önemli bir faktör ise, hidrolik geçirgenliktir. Özellikle alt toprakların geçirgenlikleri büyük önem kazanmaktadır (Model, 2005). Organik madde içeriği, organik madde miktarı ve kil/silt oranı toprakların strüktürünü yakından etkilemektedir. Bundan dolayı, toprakların su tutma kapasiteleri de etkilenmektedir. Toprak porozitesindeki artışa bağlı olarak infiltrasyon artmaktadır. Toprağın su tutma kapasitesinin artması, bitkilere daha fazla su sağlanmasına imkan sağlamaktadır. Bu durum ise, yüzey akışın meydana getirdiği erosiv güçler ve agro-kimyasalların yol açtığı kirleticilerin etkisini azaltmaktadır (Lal, 1997; Jankauskas, 2007). Organik madde içeriği, toprağın erodibilitesiyle yakından ilişkilidir.

Aşınmış toprakta organik maddenin ayrışması, bozulmamış topraklara göre daha fazladır. Organik karbon içeriği, aşınmış ince tekstürlü topraklarda genellikle % 1-2 arasında değişmektedir (Boyle, 2002; Kadlec ve ark., 2012).

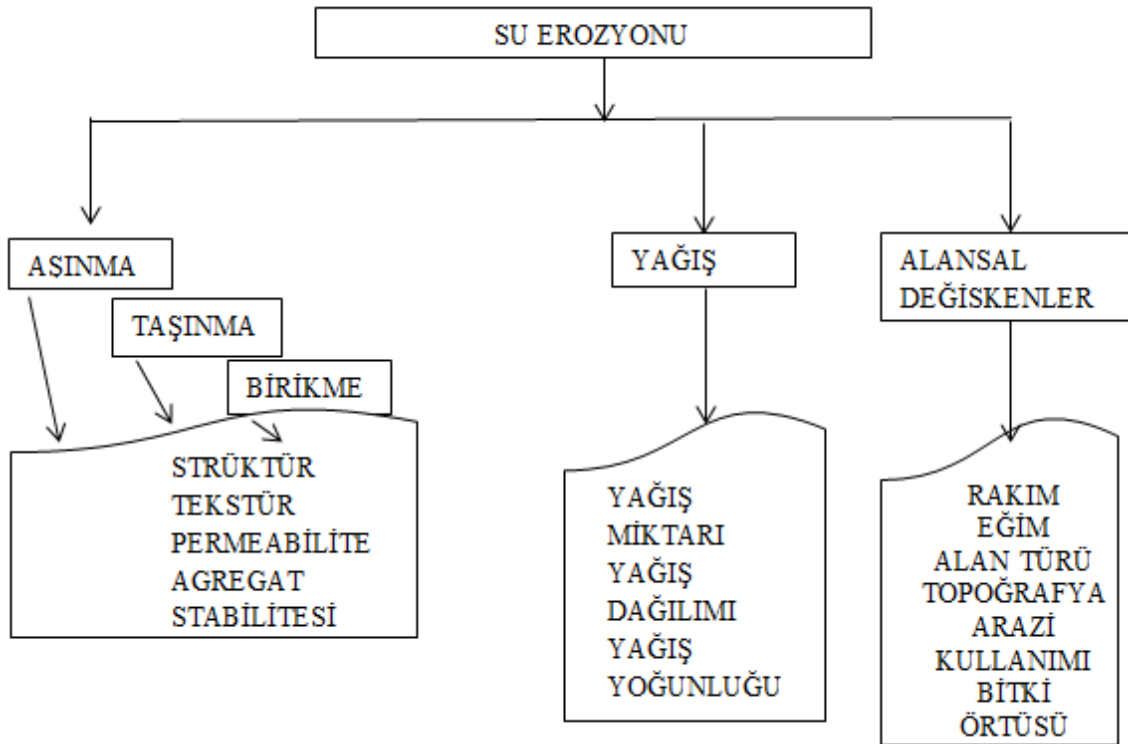
Yağıştan önce toprağın nem içeriği, yüzey akış miktarını etkilemektedir. Sature olmuş ya da yakın nem içeriğine sahip topraklarda, yüzey akış daha yoğundur (Nill, 1996). Kurak dönemlerde, toprakta depolanan su ortaya çıkmaktadır. Bu dönemde ayrıca hayvansal aktivitelere bağlı olarak, yüzeyde boşluklar görülmektedir (Deng ve ark., 2016). Ghebreiyessus ve ark. (1994), oluklar-arası erozyonunu etkileyen en önemli faktörün hacim ağırlığı olduğunu ve bu değer 1.2 – 1.4 ton/m³ arasında olması durumunda, oluklar-arası erozyonun % 470 arttığını çalışmanın sonucunda bulmuşlardır.

Kaymak Tabakası (Sealing):İnce tekstürlü toprakların yüzeyinde sıçrama, ufalanma, şişme ya da sedimentasyonun etkisiyle yassı, zayıf bir toprak tabakası meydana gelmektedir (Nciizah ve ark, 2015). Kaymak tabakası olarak isimlendirilen bu formasyon, yağmur damlalarının çıplak toprak yüzeyine çarpması sonucu oluşmaktadır (Centeri ve ark., 2009;Jakab, 2013). Bunun sonucunda infiltrasyon azalmakta, yüzey akış artmakta ve toprak erozyonu hızlanmaktadır. Imeson ve Kwaad (1990), yağış ve toprak sistemi arasındaki etkileşimden dolayı toprak sisteminin bozulduğunu ve bunun sonucunda da toprak yüzeyinde kaymak tabakası meydana geldiğini ifade etmişlerdir.

Kabuklanma (Crusting): Toprakta meydana gelen kabukların kalınlıkları birkaç mm ile 3 cm arasında değişmektedir. Çoğunlukla sıkışmıştır, kurduğunda ise sert ve kırılıgandır (Bissonnais, 1996). Tüm kaymak tabakası, birer kabuk olarak tanımlanırken; toprak yüzeyinde görülen kabuklanmanın hepsi kaymak tabakası olarak tanımlanamamaktadır. Kabuklanma, topraktaki bitki örtüsünün yok edilmesiyle birlikte oluşan toprak bozulmasının bir göstergesidir (Zejun ve ark ,2002). Yağmur damlalarının çarpma etkisinin sonucu toprak yüzeyinde kabuklanma meydana gelirken ayrıca, su ve rüzgar erozyonu ile de oluşmaktadır (Valentin ve Bresson, 1998; Jakab, 2013). Topraktaki agregatların ayrışması ve buldukları yerden başka yere taşınmaları sonucunda da toprak yüzeyinde kabuklanma oluşumu gözlenmektedir (Stavi ve Lal, 2011; Naggy ve ark., 2012).

Bitki Örtüsü ve Amenajman: Bitki örtüsü, su erozyonunu kontrol eden başlıca faktörlerden birisidir. Bitki çeşidine bağlı olarak tarım arazisine uygulanan amenajman yöntemi ile erozyon arasında çok yakın bir ilişki söz konusudur. Toprak kaybı toleransı dikkate alınarak, amanjman yöntemi seçilmelidir (Yan ve ark., 2002). Günümüzde bitki örtüsü ve amenajman ile su erozyonu arasındaki ilişkiyi açıklayan çalışmalar yoğun bir şekilde yapılmaktadır. Bu çalışmalar özellikle, meraların tarım arazilerine ya da ormanların meralara dönüştürülmesinin meydana getirdiği toprak kayıpları üzerine odaklanmıştır (Zhang ve ark., 2015).

Toprak yüzeyinin bitki örtüsü ile kaplı olması, ayrışma ve taşınma olayını azaltmaktadır. Yağmur damlaları, toprak yüzeyine çarpıp sıçrama için gerekli kinetik enerjiyi kazanamazlar ve üst toprakta aşınma meydana gelmez. Bunun yanında, yüzey akış hızı daha düşük olduğu için yağmur suları toprak yüzeyinden daha aşağılara sızmakta ve buralarda ayrışma hızlanmaktadır. Şerit şeklinde yapılan malçlama ve ekilen koruyucu örtü, birikime yol açmakta ve yüzey akışın getirdiği sedimentlerin tutulmasına neden olmaktadır (Wall,2003; Çilek, 2013; Zhu ve Zhu., 2015).



Şekil 1.2. Su erozyonunu kontrol eden başlıca faktörler (Symeonakis, 2010).

Sediment Verimi

Suyla meydana gelen toprak erozyonu, yamaç arazilerinin önemli bir sorunudur. Toprağın verimliliğinin azalmasına ve aynı zamanda sediment oluşumuna neden olmaktadır. Bu olay sonucunda; kanallarda siltasyon meydana gelmekte, sular kirlenmekte, barajların yararlı hacimleri azalmakta, taşkınlar ve sel artmaktadır. Bu problemler, yamaçta meydana gelen erozyonun önlenmesi ile çözülebilir. Ancak, erozyonun tamamen kontrol altına alınması her zaman mümkün olmayabilir.

Birim zamanda taşınan sediment miktarı *sediment yükü* olarak isimlendirilmektedir. Belirli bir noktadan geçen sedimentlerin hızlarının toplamı ise, *sediment taşıma oranı* olarak ifade edilmektedir. Bir havzadan ya da yamaçtan yıkanan sediment miktarı, erozyon ve birikme süreçlerinin bir fonksiyonudur. Topoğrafya, toprak özellikleri, iklim, bitki örtüsü ve arazi kullanımı gibi faktörler tarafından kontrol edilmektedir (Yujra, 2010). Erozyon sonucu oluşan sediment verimi, yüksek alanlardaki birikme ile sınırlıdır. Sediment kaynakları arazinin yukarı kısımlarındaki oluklar arası-oluk erozyon, oyuntu, kanallar, inşaat sahaları, yol yapımının olduğu alanlardır. Yamaçlarda taşınma başlamadan önce birikme meydana gelmez. Birikmenin miktarı, yamaç ve iklim özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Şevin eğimi ve uzunluğu, biçimi, yüzey akış miktarı, sediment yükü, sediment iriliği ve yağış yoğunluğu gibi karakteristikler birikmeyi etkilemektedir.

Belli bir alandaki sediment verimi, taşıma oranına bağlı olarak değişen toplam erozyon ile hesaplanmaktadır. Toplam erozyon, havza içerisinde bulunan bütün erozyon alanlarını tanımlamaktadır. Buna dahil alanlar sırasıyla işlenmiş tarımsal alanlardan oluşan yüzey ve parmak erozyonu, çayır, mera, orman alanı, yerleşim yerleri, terk edilmiş maden ocakları, ile dere yatağı, dere kenarı bozulması gibi tüm alanlardan erozyonla meydana gelen sedimentin tamamı anlaşılmaktadır. Toplam erozyon içerisinde bu kaynakların her birinin çok önemli ilişkileri olup, havza ile aralarında bağlantıları vardır.

Toprak Kaybı Toleransı

Toprak kaybı toleransı, erozyonla taşınmasına izin verilen maksimum toprak kaybı miktarı olup; her yıl bu miktarda toprağın taşınmış olması tarım alanının verimlilik

düzeyinde önemli bir değişim meydana getirmemektedir (Karaş, 2005). Toprak kaybı toleransı, toprak tipine bağlı olarak değişmektedir. Çok derin, homojen ve organik madde içeriği yüksek topraklar, kurak bölgelerin dağlık alanlarında oluşan sığ topraklara göre daha yüksek tolerans değerine sahiptir. Toprak kaybı toleransını belirlemedeki amaç ise; beklenen toprak kaybı ile toprak kaybı tolerans değerlerini karşılamaktır. Eğer toprak kaybı; toprak kaybı tolerans değerine eşit ya da küçükse toprak kayıplarının sürdürülebilirlik bakımından kabul edilebilir olduğu değerlendirilir. Ancak değer büyükse mevcut erozyonun arazinin sürdürülebilir kullanımına ciddi tehdit olduğu ve önlem alınması gerektiğini ifade eder. Toprak kaybı toleransının belirlenmesinde üst toprağın kalınlığı, toprağın fiziksel özellikleri ve organik madde içeriğinin azalması ve bitki besin elementlerin yıkanması gibi bazı önemli faktörler göz önünde tutulmaktadır (Oğuz, 1995). Maksimum toprak kaybı toleransı tropik bölgeler için $25 \text{ tha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ ve sıcak bölgeler için ise $13.7 \text{ tha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ 'dir. Derin ve sığ toprakların her ikisi içinde kullanılan değer ise, $5-12 \text{ tha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ 'dir (Lal ve Elliot, 1994).

1.2. Erozyon Modelleri

Toprak erozyon modelleri, toprak kayıplarının tahmin edilmesi ve simülasyonların geliştirilmesinde bir araç olarak kullanılmaktadır. Toprağın ayrışması, taşınması ve birikmesi, erozyon modellemede dikkate alınan temel süreçlerdir (Lal, 1993). Birçok erozyon modeli, birikim meydana gelmeden taşıyabileceği maksimum sediment miktarı olarak tanımlanan taşıma kapasitesine dayanmaktadır. Günümüzde erozyon modelleri, tarım arazilerinin korunması için, toprak ve arazi koruma planlamasında, erozyon tehlikesi üzerine veri üretmek için en uygun yaklaşımlar olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Souksakoun, 2008; Çilek, 2013).

Kompleks yapıya sahip havzaların tanımlanmasında erozyon modelleri kullanılmaktadır (Aksoy ve Kavvas, 2005). Alana bağlı olarak meydana gelen değişimi diferansiyel denklemler kullanarak açıklayan bu modeller iklim, topografya, bitki örtüsü ve toprak olmak üzere dört temel faktöre dayanmaktadır (Çilek, 2013). Bu modeller arasındaki fark, erozyon olayı sırasında erozyonun yüzeyi nasıl değiştirdiğini açıklaması, sürekli simülasyonu yapabilmesi veya tek bir olay için toprak kayıplarını tahmin edip etmediğidir. Fakat toprak erozyonunun doğru tahmininde iki kısıtlayıcı neden vardır.

Birinci nedeni modelin yüksek belirsizliği, ikinci neden ise mekânsal ve zamansal değişkenlikle ilişkilidir. Model kalitesine bağlı olarak, havza modelinin kalibre edilmeden kullanımı tavsiye edilmemektedir. (Souksakoun, 2008).

Genelde modeller 3 kategoride toplanmaktadır. Bu kategoriler Deneysel (Empirical) Modeller, Kavramsal (Conceptual) Modeller, Fiziksel süreçlere dayalı (Physics- based) Modellerdir.

1.2.1. Deneysel (Empirical) Modeller

Bu model, genellikle 3 erozyon modelinin en basit olanıdır. Arazi çalışmalarından elde edilen veriler kullanılmaktadır. Bu verileri istatistiksel olarak değerlendirerek, havzada ya da yamaçta meydana gelen erozyonun özellikleri belirlenmektedir (Kadupitiya 2002; Özsoy, 2007). Fiziksel süreçlere dayalı ve kavramsal modeller için gerekli veri ve hesaplamalar bu modelde daha azdır. Podmanický ve ark. (2011), bu modellerin en önemli özelliğinin alana ve zamana bağlı olmasıyla birlikte çok az sayıda veri içermesi olduğunu ifade etmişlerdir. Pek çok sayısal modelde, değişik yöntemler kullanılarak havzaya ait veri analizi yapılmaktadır (Elirehema, 2001; Çilek, 2013). Deneysel modelde bulunan sonuçlar, çalışma alanına ait verilerin kalibre edilmesiyle elde edilmektedir. Bu modeller sediment kaynaklarının tanımlanması olarak ifade edilen ilk aşama için oldukça önemlidir.

Ancak deneysel modeller kompleks havzalarda, yağış ve toprak karakteristikleri gibi heterojen özelliklerini ihmal edip, yalnızca fiziksel özellikleri hakkında gerçekçi olmayan varsayımlar üzerinde çalıştığından çok fazla eleştirilmektedir. Bu eleştiriler yerinde olmakla birlikte, toprağın heterojen özellikte ve meteorolojik verilerin yetersiz olması daha kompleks modellerin kullanımını kısıtlamaktadır. Benzer modeller genellikle çalışma periyodu boyunca değişmeden aynı kalan şartları değerlendirmektedir. Havzadaki değişimin etkisini tahmin eden sayısal modellerin çalışması varsayımlarla sınırlı olmaktadır. İklim verilerini dikkate almadıklarından dolayı, modelin çalışmasında yağış-akış parametresi ihmal edilmiştir (Saavedra, 2005).

Bununla beraber, sayısal modeller özellikle sınırlı veri ve parametrenin bulunduğu durumlarda çalıştığından kompleks modellere göre daha fazla kullanılmaktadır (Foster,

1996; Saavedra, 2005). Prosser ve ark. (2001a) yapmış oldukları çalışmada, özellikle bölgesel ölçekte zamana bağlı olarak sediment oluşumu ve birikimini gösteren örneklerin az olmasından dolayı, bu alanlardaki sediment verimi ve süreçlerini tahmin etmek için çoğunlukla sayısal modeller kullanılması gerektiğini ifade etmişlerdir.

1.2.2. Kavramsal (Conceptual) Modeller

Bu modeller sayısal ve fiziksel süreçlere dayalı modeller arasında bulunmaktadır. Algoritması, fiziksel süreçlere dayalı modellerin çalışması gibidir. Ancak olayları deneysel modeller gibi tanımlamaktadır. Havzaya ait özellikleri tanımlayıp, havzanın yapısına bağlı olarak meydana gelen sediment taşınımı ve yüzeysel akışı tahmin etmektedir (Sivapalan ve ark., 2003). Kavramsal modeller, havzadaki süreçler hakkında bilgi vermektedir. Süreçlerin birbirleriyle olan etkileşimi hakkında bilgi vermez. Arazi kullanımındaki değişimlerin etkisini çok sayıda alana ve zamana bağlı veri olmadan, kalitatif ve kantitatif olarak sunmaktadır. Genelde kavramsal modeller bir sonraki süreçleri dikkate alarak hazırlanan çıktıları toplu olarak sunmaktadır (Viney ve Sivapalan, 1999; Saavedra, 2005).

Son zamanlarda geliştirilen kavramsal modeller, bozulmuş havza ve yamaçlarda da çalışmaktadır. Ayrıca, alt bölümlere ayrılmış havzalara da model uygulanabilmektedir (Sidorchuk ve ark., 2003; Arnold ve Fohrer, 2005). Kavramsal modeller için gerekli parametreler, drenaj ağı ve sediment konsantrasyon ölçümleri gibi gözlenen verilerin aksine kalibrasyon ile belirlenmektedir (Zhou ve Li, 2005; Saavedra, 2005).

Kavramsal modellerin çalışması için gerekli parametrelerin elde edilmesi oldukça zor olmasından dolayı, tanımlanan parametreler arasındaki ilişkiyi tam olarak açıklayamamaktadır. Toprağın aşınması ve taşınımı devam ederken, bu modeller hala oluşum süreci hakkında hipotez üretmeye çalışmaktadır. Bu özelliğinden dolayı sayısal modellerden ayrılmaktadır. Sayısal modeller çalışırken süreci yansıtmaz. Arazideki değişkenler ile model çıktıları arasındaki ilişkiyi istatistiksel ya da gözlemlere dayalı olarak bağlantı kurmaktadır.

1.2.3. Fiziksel Süreçlere Dayalı (Physical Based) Modeller

Bu modeller erozyon ve taşıma süreçlerini toprağın fiziksel özelliklerini dikkate alarak tahmin etmektedir. Kütle hareketi ve enerji transferini denklem kurarak açıklamaktadır (Sidorchuk ve ark., 2003). Çalışma prensibinde kalibrasyon için uygulanacak aralığı kullanıcı belirleyebilmektedir. Uzun yıllar ölçülmüş hidrolojik veriler olmadan gözlemler sonucu elde edilen veriler değerlendirilebilmektedir. Bu modeller, fiziksel kurallar çerçevesinde sınırlandırılmıştır. Temel hidrolojik ve erozyon süreçleri, matematiksel olarak bilgisayarda hesaplanmaktadır (Smith ve ark., 1995; Saavedra, 2005).

1970 yılına kadar fiziksel süreçlere dayalı modeller ortaya çıkmamıştır. Ancak, bilgisayarın kullanılmaya başlanmasıyla birlikte bu modeller yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Sürekli alansal ve zamana bağlı veriler kullanılarak formülize edilmektedir. Havzanın sadece bir bölümüne ait veriler kullanılmaktadır. Gridlere ayrılmış bir alanda, çok küçük fiziksel özellikleri toplamak bu modelin başlıca sorunudur. Nearing ve ark. (1994), bu konuyla ilgili olarak yaptığı çalışmada kullanılan parametrelerin fiziksel öneminin ötesinde uygun bir katsayıdan başka bir şekilde ifade edilemeyeceğini vurgulamıştır. Küçük bir alan için kullanılan parametrelerin aynı şekilde daha büyük bir alan için kullanıldığında fiziksel önemini yitirmektedir. Özellikle grid bölümlere ayrılmış heterojen agregatlardan oluşmuş bir denklemi değerlendirmede başarısız olmaktadır (Perrin ve ark., 2001).

Ayrıca küçük alanlar için uygulanan modellerde kullanılan denklemlerin çoğu çok az bilgi vermektedir. Bu modellerin çıktıları, bozulmuş bir havzada erozyon ve sediment verimi üzerine simülasyon yapmaktadır (Pullar ve Springer, 2000). Bunu yapmak için çok sayıda parametre, birden çok denklem kullanmak suretiyle hesaplanmakta ve değerlendirilmektedir (Santos ve ark., 2003). Farklı iklim ve arazi kullanımı altında, toprak erozyonu ve sediment veriminin tahmin edilmesi ve aralarında ilişki kurması fiziksel süreçlere dayalı modellerin avantajıdır (Saavedra, 2005).

1.2.4. Güncel Erozyon Modelleri

Çok sayıda erozyon modelinin temelini USLE oluşturmaktadır. USLE (Wischmeier ve Smith, 1978), en yaygın olarak kullanılan sayısal modeldir. Tarımsal arazilerden deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen, çok sayıda veri seti içeren, oluk ve oluklar- arası erozyonu tahmin etmek için geliştirilmiştir. 1 ha büyüklüğündeki alanlar için geçerlidir (Foster., 2004). USLE, Amerika'da geliştirilmiş olmasına rağmen Dünya'da yaygın olarak kullanılmaktadır (Summer ve ark., 1998; Bartsch ve ark., 2002). USLE, daha sonraları modifiye edilmiş ve çok sayıda araştırmacı tarafından 35 yıl boyunca kullanılmıştır. Ancak, toplam (Gross) erozyonu tahmin etmek için USLE ve türleri yetersiz kalmaktadır. Yamaç, gerilme depoları, nehir ve kanal boyunca meydana gelen birikimi bu modeller hesaplayamamaktadır. Gerçekte erozyon, yüzeysel akışın hareketi yönüne göre meydana gelmektedir. Kompleks arazilerde su akışı etkisiz olduğu için USLE'nin doğrudan kullanımı kısıtlanmaktadır (Saavedra, 2005).

MUSLE (Williams, 1975) ve RUSLE (Renard ve ark., 1997) ile ANSWERS (Beasley ve ark., 1991) - RUSLE 3D (Mitasova ve ark., 1996) gibi modellerin temelini USLE ya da modifiye edilmiş biçimi oluşturmaktadır (Jones ve ark., 1995).

CREAMS, büyüklüğü 5 ha veya daha küçük arazilerde meydana gelen yüzey akış, erozyon ve kimyasal taşınmayı tahmin etmektedir. Kök zonlarındaki, toprak suyu ve yüzey akışın taşıdığı kirliliğin çeşitli tarımsal uygulamalara etkisini değerlendirmek için geliştirilmiştir. Böylece alanın su kalitesi değerlendirilmektedir. 2 ila 50 yıl gibi uzun süreli yağışlar veya tek bir olay değerlendirilebilmektedir (Knisel,1995; Saavedra, 2005). Yağmur damlalarının etkisiyle oluşan oluklar arası-oluk erozyon gibi USLE'nin çeşitli özelliklerini kullanmasına rağmen bir arazideki sediment yönü ve erozyonun değişik bileşenlerini hesaplamak için fiziksel süreçlere dayalı yöntemleri kullanmaktadır (Aksoy ve Kavvas, 2005). USLE'nin aksine arazide bulunan profiller ve kanallardaki oyuntu erozyon ve birikimleri hesaplamaktadır. Bu konuda, CREAMS erozyon, taşıma ve birikim gibi sürece dayalı olaylardaki toprak kaybını açıklayan ilk büyük teknolojik ilerlemedir (Schmidt ve ark., 1999).

Beasley ve ark. (1991) tarafından geliştirilen ANSWER tamamen bozulmuş havzalarda meydana gelen erozyon ve sediment verimini hesaplamak üzere geliştirilmiş ilk

modeldir (Aksoy ve Kavvas, 2005). Bileşenleri su erozyonu ve sediment taşınması ile Foster ve Meyer (1977) tarafından geliştirilen sediment süreklilik denklemdir. ANSWER, hidrolojik süreçler kullanarak tarımsal uygulamalar, amenajman planlanması ve arazi kullanımının değerlendirilmesi için planlanmıştır.

KINEROS 2 model (Smith ve ark., 1995), yüzey ve kanalları bir grup olarak düzenlemesinin yanı sıra, havza iyileştirme çalışmalarında kullanılan yarı bozulmuş dinamik fiziksel bir modeldir. Yüzey akış ve sediment veriminin hesaplanmasında kinematik dalga ile Smith/Parlange infiltrasyon denklemini kullanan ve tek bir yağış olayını baz alan modeldir (Ziegler ve ark., 2001; Aksoy ve Kavvas, 2005).

Morgan ve ark. (1998), tarafından geliştirilen EUROSEM model yamaç arazisi ve küçük havzalarda su ile meydana gelen toprak erozyonunu tek bir yağış olayına dayanarak hesaplayan fiziksel süreçli modeldir. Genellikle tüm yamaç üzerinde benzer süreçler üretmektedir. Toprak kaybı, yüzey akış ile taşınan sediment miktarı ve yağış oranına bağlı olarak tanımlanmaktadır (De Roo ve ark., 1996). Yağmur damlalarının etkisiyle oluşan ayrışma, toprak erodibilitesini göstermektedir ve toprak kohezyonunun ölçülmesinden hesaplanmaktadır. Yüzey akış ve sedimentler, eğime göre oluklar arası alanlardan oluk alanlara hareket etmektedir. Büyük havzalar için uygun olmayan ancak küçük havzalar için bazı parametrelerin toplanmasını gerektiren WEPP, KINEROS 2 ve EUROSEM gibi modellerde havza kanal ve alt bölümleri ile temsil edilmektedir (Folly ve ark., 1999).

CASC2D-SED, Colorado Eyalet Üniversitesinde (CSU)'de geliştirilmiştir. Bir havzadaki yağış olayına benzer şekilde oluşan fiziksel süreçler oluşturmak suretiyle hidrolojik özellikleri ve toprak erozyonunu tahmin etmektedir (Julien ve Saghafian, 1995; Johnson ve ark., 2000). Bir havzada yağış zamana bağlı olarak çok değişkenlik göstermektedir. Model, bir havzanın herhangi bir noktasındaki dane büyüklüğünü dikkate alarak sediment üretimi ve birikimini hesaplayabilmektedir.

Viney ve Sivapalan (1999) tarafından geliştirilmiş olan Large Scale Catchment Model (LASCAM), sediment oluşumunu tahmin etmek için USLE'nin çalışma yöntemini kullanmaktadır. Sediment taşınması, kanal birikimi, yatağın bozulması gibi süreçleri içermektedir. Derelerdeki sediment taşınması, sediment taşıma kapasitesiyle

hesaplanmaktadır. Sediment taşıma modelleri, mevcut fiziksel süreçlere dayalı modeller gibi çalışmaktadır. (Viney ve Sivapalan, 2000; Saavedra, 2005). İklim karakteristikleri ve arazi kullanımının etkisi modelin çalışma şekline göre belirlenirken, mümkün olduğu kadar süreçlerin tanımları yapılmaktadır. Havzanın bir ya da daha fazla noktasında modeli kullanmak için en az 6 parametrenin kalibrasyonunun yapılması gerekmektedir.

EROSION-3D (Defersa ve ark., 2012), küçük havzalar için uygun bir modeldir. Erozyon modellerinin fiziksel süreçlerini, yüzey akış ya da yağmur damlalarının momentum akışına bağlı olarak toprak yüzeyinden partiküllerin ayrışma miktarı oluşturmaktadır. Toprakta erozyon sürecini tanımlamak için kullanılan momentum akış ile karıştırılmaktadır (Schmidt ve von Werner, 1999). Toprağın ayrışması, sayısal bir denklem kullanarak hesaplanmakta ve birimsizdir. Bireysel yağışlara dayanan model, alt bölümlere ayrılmış havzada ayrışma, birikme ve net erozyonu ile akış, sediment konsantrasyonu ve kil+silt yüzdesini de hesaplamaktadır.

Limburg Soil Erosion Model (LİSEM) (De Roo ve ark., 1996a), toprakların arazi planlaması ve korunması amacıyla fiziksel süreçlere dayalı hidrolojik ve toprak erozyon modeli olarak Hollvea'da geliştirilmiştir. Bozulmuş alanlarda kullanılmaktadır ve EUROSEM modifiye edilmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Yağış miktarı, mikro gerilme alanlarındaki yüzey depolanması, infiltrasyon, profil boyunca düşey su akışı, yüzey akış, ayrışma ve taşınma gibi çok sayıda farklı süreçleri içermektedir (De Roo ve ark., 1996b). Bu model, oluk ve oyuntu için uygun değildir. Göletlerdeki ayrışma miktarını simule etmektedir. Tabaka ve oluk erozyon arasındaki erozyon süreçlerini tahmin etmek için kullanılmaktadır. Yağmur, kanallar vasıtasıyla ya da yüzey akış ile meydana gelen ve *sediment ayrışması* olarak ifade edilen süreci içermektedir.

SEDNET (Saavedra., 2005); bozulmuş alanlarda meydana gelen sediment verimini hesaplamak için kullanılmaktadır. Yamaç, oyuntu ve nehirlerdeki sediment birikimi ve ayrışmasını tahmin etmek için geliştirilmiştir. Havza ya da büyük alanlara yönelik toprak ve su amenajmanının hesaplamaları yapılmaktadır (Wilson ve ark., 2007). Havzanın yapısı, ana materyal, oyuntuların bölümlere ayrılmış kısımları, yoğunluğu, ayrılmış sedimentin hacim ağırlığı ile ilişkilidir. Tüm bu özellikler dikkat alınarak suretiyle, nehirlerde meydana gelen ortalama yıllık oyuntu sediment oluşumu

hesaplanmaktadır. Model yamaçlarda oluşan erozyonu tahmin etmek için USLE'yi kullanmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan WEPP hillslope modeli, çevresel şartlara bağlı olarak meydana gelen toprak kayıplarını ve yüzey akışı tahmin eden fiziksel sürece dayalı bir modeldir. En büyük avantajı; doğal sistemde yer alan erosiv ve hidrolojik süreçleri etkileyen, alana ve zamana bağlı olarak değişen parametreleri göz önünde bulundurmasıdır (Brunner, 2004;). Erozyon çalışmalarında model kullanımının öncelikli amacı, ele alınan erozyon modelinin, arazi planlamasına katkısı ve yanı sıra modelin tahmin başarısıdır. Ülkesel olarak farklı yönetimler altında elde edilmiş yüzey akış ve toprak kaybı verilerinin sınırlı oluşu, çoğu zaman çeşitli amaçlar için ele alınan modellerin doğrudan kullanımını ve elde edilen sonuçların doğru olarak kabulünü mecbur kılmaktadır. Bu durumda ise, modele bağlı olarak oluşturulacak planlama ve yatırımların ne ölçüde başarılı olacağı ciddi bir soru işaretidir. Dünyada yaygın olarak kullanılan WEPP model farklı iklim ve toprak koşullarında geliştirilmiş olup, tahmin başarısını doğru olarak test edebilmek ve modeli ülkemiz koşullarında objektif olarak değerlendirebilmek son derece önemlidir. Bu amaçla bu tez çalışmasında, eğime dik sürüm, eğime paralel sürüm ile tütün, buğday ve mercimek olmak üzere farklı amenajman uygulamalarının yapıldığı homojen eğimli bir yamaç boyunca, daha önceden ölçülmüş sediment verimi ve akış verileri kullanılmak suretiyle WEPP Hillslope modelinin tahmin başarısının değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada ölçülmüş gerçek veriler ile model tarafından tahmin edilen veriler, bireysel olay, mevsimsel, yıllık ve uzun yıllık olmak üzere karşılaştırılmıştır. Çalışmada, ıslak ve kuru yıllar ile farklı mevsimler için modelin performansı değerlendirilerek, ülkemiz şartlarına uygunluğunun tartışılması, model parametrelerinin duyarlılık analizinin yapılması amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Water Erosion Prediction Project (WEPP).fiziksel süreçlere dayalı bir erozyon modelidir. Yağmur suları, sulama ve kar erimesi sonucunda meydana gelen yüzey akışın neden olduğu erozyon ve birikimi sürekli simülasyon yapmak suretiyle hesaplamaktadır. Zhang ve ark. (1996), yapılan çalışmada 556 yıllık iklim verileri 8 ayrı bölgeden toplanmıştır. 32 ürün çeşidi WEPP hillslope modeli kullanılarak değerlendirilmiştir. 4124 yağış olayının incelendiği çalışmada, Green-Ampt hidrolik iletkenliği esas alınarak kalibrasyon yapılmıştır. Tahmin edilen değerlere göre $r^2= 0.77$, yıllık değerlere göre 0.76 ve ortalama yıllık değerlere göre ise 0.87 olarak belirlenmiştir. Toprak kayıplarına göre yapılan kalibrasyonda ise tanımlama katsayısı sırasıyla 0.36, 0.60 ve 0.85'tir. Küçük yağış ve düşük yüzey akışı ile toprak kaybının daha az olduğu; şiddetli yağışlar ve yüksek yüzey akışı ile toprak kaybının daha fazla olduğu görülmüştür. Ancak; ortalama yüzey akışı ve toprak kaybının ise, farklı amenajman ve ürün sistemi için ise yaklaşık değerlerde tahmin ettiği sonucuna varılmıştır. Modelin çıktıları ise, WEPP modelin bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlarda sonuçları daha doğru tahmin ettiği şeklinde yorumlanmıştır.

Toprak işleme ve su, erozyonun meydana gelmesinde en önemli iki faktördür. Bu amaçla Schumacher ve ark (1999), Güney Dakota ve Minnesota eyaletlerinde 50 yıllık iklim verileri kullanılarak, WEPP hillslope model ile simüle etmişlerdir. Çalışma sonucuna göre, yamacın aşağı kısımlarında ve topuk bölgesinde toprak birikimi olurken; yukarılarda, şevin arkasında ve daha düşük eğime sahip tepelerde ise toprak kaybı meydana geldiği gözlenmiştir.

Yamaçlarda ya da dalgalı bir morfolojiye sahip alanlarda su erozyonunun belirlenmesi çok önemlidir. Bryan (2000) yapmış olduğu çalışmada, bir yamaç arazisinde su erozyonu süreçlerini ve toprak erodibilitesini değerlendirmiştir. Özellikle süreçlere bağlı olarak meydana gelen erozyonu tahmin etmek için kullanılan ve alan-zaman olarak çalışan modeller ile yağışları simüle ederek interill erozyonu tahmin eden deneysel çalışmalar değerlendirilmiştir. Arazi çalışmalarına dayalı araştırmalarda, yüzey ve yüzey altı süreçleri gibi erozyonun meydana gelmesine neden olan pek çok bileşen bir arada değerlendirilmektedir. Rillerin konumu ve yamaçlarda sediment oluşumu,

toprağın agregatlaşması ve kayma gerilmesi, yağış ile erime olayları erodibilitayı etkileyen başlıca bileşenlerdir.

Yu (2000), modifiye edilmiş CLIGEN ara yüzünü kullanarak. Amerika'da 14 eyaletten 4 ile 19 yıllık break-point iklim verilerini değerlendirmiştir. Çalışma kapsamında 100 yıllık simülasyon yapılmıştır. 3 farklı arazi kullanımını altında ortalama yıllık akış ve toprak kaybı belirlenmiştir. Tahmin edilen sonuçlar ile gerçek değerler karşılaştırılmış ve ($P < 0.05$) düzeyinde önemsiz bulunmuştur.

Duiker ve ark. (2001), İspanya'da 5 ordo üzerinde WEPP modelin performansını değerlendirmişlerdir. Kırmızı ve yeşil renkli Alfisol ordosundan oluşan teraslanmış 2 arazi, bir alüviyal toprak, sığ İnceptisollerin oluşturduğu yamaç araziler, kil içeren Vertisoller çalışmada kullanılan materyallerdir. Çalışma alanı %30 eğime ve 0.75 m^2 'lik parsellere bölünmüş, 1 saat aralıklarla 30 dak. yağış simülatörüyle 60 mmh^{-1} 'lik yağış verilmiştir. İnfiltrasyon, ıslanma %50'yi aştığında artarken; ıslanma tamamlandığında ise en düşük infiltrasyon oranı ve en yüksek toprak kaybı (kuru $985 \text{ gm}^{-2}\text{h}^{-1}$ ve ıslak iken $1557 \text{ gm}^{-2}\text{h}^{-1}$) belirlenmiştir. Vertisoller, ıslak- kuru arasında iken toprak kaybı iki kat artmış; ıslak koşulların ise erozyonu artırdığı görülmüştür.

Doğal kaynakların korunması ve çevre planlamasının yapılmasında toprak kayıplarının miktarının belirlenmesi en önemli basamağı oluşturmaktadır. Bhuyan ve ark. (2002), Amerika'da WEPP, EPIC ve ANSWER modelini kullanarak toprak kayıplarını tahmin etmişlerdir. Sırta ekime yönelik toprak işleme, cizel sürüm ve toprak işlemez olmak üzere 3 farklı amenajman sistemi üzerinde modellerin performansını değerlendirmişlerdir. 1995-1997 yılları arasına ait iklim verilerinin kullanıldığı çalışmada, sırta ekime yönelik toprak işleme ve çizel sürüm yapılan arazilerde WEPP ve ANSWER modellerinin; toprak işleminin olmadığı arazilerde ise WEPP ve EPIC modellerinin sonuçları daha doğru tahmin ettiği görülmüştür. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde ise WEPP modelin 3 farklı amenajman sistemi üzerine daha iyi simülasyon yaptığı kabul edilmiştir.

Brezilya'da, toprak bozulması en ciddi çevresel problemlerden birisidir. Bu amaçla Baachi ve ark. (2003), Ceveiro havzasında ^{137}Cs , USLE ve WEPP modeli karşılaştırmışlardır. Şekerpancarı ekili olan havzada, sediment oluşumunu alana bağlı

olarak değerlendirmişlerdir. Kullanılan üç yöntemin bulduğu sonuçların birbirinden farklı olduğunun görüldüğü çalışmada, sediment birikimi olmamıştır. USLE tarafından hesaplanan toprak kaybının ise gerçek değere daha yakın olduğu belirlenmiştir.

Yu (2003). Avustralya’da 43 farklı bölgenin 100 yıllık iklim verilerini toplayarak CLIGEN dosyasını oluşturmuştur. Girilen yağış parametrelerini değerlendirerek; nadasa bırakılmış 3 çıplak arazide WEPP modeli kullanarak yüzey akışı ve sediment verimini tahmin etmiştir. RUSLE modelinde kullanmak üzere iklim verileri oluşturmuştur. Yağış intensite haritasını hazırlamıştır. Çalışma sonunda elde edilen verilerden. CLIGEN arayüzünün toprak kaybı ve sediment verimini gerçek değerlere yakın değerler olarak tahmin ettiği görülmüştür. 6 dak yağış intensite değerlerini yüksek tahmin ettiği ve kısa zaman aralığında daha doğru tahmini değerler ürettiği sonucuna varmıştır.

Suyla meydana gelen toprak kayıplarını değerlendirmek çok önemlidir. Çünkü su erozyonu, verimli arazilerde toprak kayıplarına ve sediment birikiminden dolayı rezervuarlarda su depolama kapasitelerinin azalmasına yol açmaktadır. Amore ve ark. (2004), İtalya’da üç büyük havzada USLE ve WEPP modeli kullanarak havzanın bozulmasını değerlendirmişlerdir. Sediment verimini baz aldıkları çalışmada, WEPP model ile bulunan sonuçların gerçek değerlere daha yakın olduğu görülmüştür. Modelin alanın büyüklüğüne göre daha hassas çalıştığı; modelin kalibrasyonu için arazi koşullarının çok iyi tanımlanmasına rağmen erozyonu doğru tahmin etmediği anlaşılmıştır.

Uganda’da bir yamaç boyunca meydana gelen erozyon süreçleri üzerine, U şeklinde gelişen toprak profilinin etkisi Brunner ve ark. (2004) tarafından araştırılmıştır. Yeterli toprak gelişiminden dolayı en üstteki topraklar kalın bir soluma sahiptir. Sırttaki topraklar ise, aktif erozyon sürecinden dolayı sığ bir A horizonu içermektedir. Duyarlılık analizi ile modelin performansı değerlendirilmiştir. 40 cm derinlikteki toprak özellikleri aşağıya doğru değişime duyarlı olduğu görülmüştür. Toprak tekstürünün duyarlılık analizinde en önemli rolü oynadığı belirlenmiştir.

Hunt ve Wu (2004), Kaliforniya’nın doğu bölgesinde küçük bir yamaç üzerinde, Halosen boyunca meydana gelen toprak kaybı üzerine iklimin etkisini çalışmışlardır. Toprak dosyası arazi çalışması yapılan örneklemeler ve analiz çalışmasının sonuçlarını

içermektedir. Topoğrafyaya ait bilgiler ayrıntılı olarak girilirken hakim olan bitki örtüsü çeşidi ise amenajman dosyasında yer almaktadır. WEPP model kullanılarak elde edilen tahmini değerlerin, gerçek değerler ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Jong van Lier ve ark. (2005), WEPP modelin hidrolojik süreçlerini kullanan yeni bir ara yüz programı geliştirmişlerdir. EDI (Erosion Database Interface) adını verdikleri programı, Brezilya'da 1990'ha lık bir havzada şekerpancarı, orman ve mera arazilerine uygulamışlardır. 100 yıllık simülasyon sonunda, WEPP modelin hidrolik parametreleri ve erozyonu tahmin etmek için gerekli verileri otomatik olarak hesapladığı görülmüştür. Çalışma sonunda oluşturulan yüzey akış haritaları, hem arazi şartlarını hem de ürün çeşidi ile arazi kullanımı ve toprak işleme arasındaki ilişki yansıtmaktadır. Yüzey akışı erozyon sürecinde büyük rol oynamaktadır. Çünkü hidrolojik süreçleri doğrudan etkilemektedir. Lier ve ark.(2005), WEPP model kullanarak Brezilya'da 1990 ha'lık bir alvea tarım, orman ve mera alanlarında 100 yıllık simülasyon yapmışlardır. 1 ha'lık standart 6 noktada modeli çalıştırmışlardır. Modelin çıktıları, yüzey akışı ile arazi kullanımı arasında çok yakın bir ilişki olduğunu göstermiştir.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan iklim modelleri, tahmini hava şartları oluşturmakta ve doğru bir analiz için uygun iklimsel senaryolar üretmektedir. Oluşturulan yağış dolaylı olarak düzeltilmektedir. Yüzey akış ve toprak kayıplarını değerlendirmek için kullanılan iklimsel veriler ise doğrudan düzeltilmektedir. Yu (2005), Sidney'de uzun süreli iklim ve 6 dak intensite verilerini kullanmak suretiyle CLIGEN dosyasını hazırlamıştır. Islak günde meydana gelen yağış miktarının ve stveart sapmasının arttığını belirlemiştir. Ayrıca ıslak günden sonra ıslak gün olma ihtimalinin yüksek olduğunu ve 30 dak yağış intensitesi ile yağış arasında kuvvetli bir ilişkinin varlığını ortaya çıkarmıştır. Pik yoğunluğundaki değişiminin yağıştaki değişimin yarısı kadar olduğu sonucuna varmıştır.

Toprak ve su özellikleri üzerine arazi kullanımının etkisini değerlendirmek için erozyon tahmin modelleri oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Croke ve Nethery (2006), Güneydoğu Avustralya'da orman alanlarındaki su erozyonu ve yüzey akışı tahmin etmek için USLE, WEPP ve TOPOG gibi fiziksel süreçlere dayalı modelleri kullanmışlardır. Bu modeller kullanımı oldukça kolay olması, girilen parametrelerin belli olması ve süreçlere bağlı olarak yapılan tahminlerin doğru olmasından dolayı

seçilmiştir. USLE'den elde edilen sonuçlar toprak kayıplarını aşırı yüksek tahmin ettiği, spesifik yağışlara göre sediment verimini doğru tahmin etmediği görülmüştür. WEPP ve TOPOG modellerin kullanıldığı yamaç arazilerde ise; özellikle degradasyona uğramış alanlarda sediment verimi ve erozyonu doğru olarak tahmin ettiği belirlenmiştir. Ekili alanlarda ise, her iki modelinde toprak kayıplarını ve yüzey akışını gerçek değerinden daha düşük tahmin ettiği sonucuna varılmıştır. WEPP ve TOPOG modellerin oldukça kompleks olması ve çok sayıda veri hesaplaması gerektirdiğinden kullanımı zor ancak erozyonu tahmin etmede oldukça güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Grostan ve Lundekvam (2006), Norveç'in kuzeydoğusunda yer alan iki farklı erozyon bölgesinde ölçümler yapmışlardır. Elde edilen sonuçları WEPP hillslope modeli ile değerlendirmişlerdir. Çalışma alanının birisi 21 m uzunluğunda ve 8 m genişliğinde olup, %2 organik madde içermektedir. Diğeri ise, 30 m uzunluğunda ve 7 m genişliğinde, tınlı tekstüre sahip olup % 5 organik madde içeriğine sahiptir. Her iki yamaç arazisi %13 eğime sahiptir. 4 farklı amenajman sistemi mevcuttur. WEPP hillslope modeli ile elde edilen sonuçlar, bu modelin Norveç iklim koşulları ve toprak özelliklerine uygun olmadığını göstermiştir.

Baigorri ve Romera (2007), Veean havzasında erozyonun şiddetini çalışmışlardır. GIS ve WEPP modelin kullanıldığı çalışmada, WEPP modelin çok büyük havzalarda yüzey akış ve toprak kayıplarını doğru tahmin etmediği görülmüştür.

Mera arazilerinin en önemli sorunlarından birisi de sıkça karşılaşılan yangın olayıdır. Yüzey akışı, erozyon süreçlerini etkileyen toprak özellikleri ile bitki örtüsünü yangın ciddi anlamda tehdit etmektedir. Moffet ve ark. (2007) ateşin yüzey akışı, su erozyonu ve hidrolik iletkenliğe olan etkisini değerlendirmek için %35-50 eğime sahip yamaç arazilerinde WEPP modeli kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, ateş en fazla rill süreçlerinde etkili olduğu görülmüştür.

Pieri ve ark. (2007), WEPP modeli İtalya'nın kuzeyindeki Apennis dağlarında bulunan yamaç arazilerine uygulamışlardır. Çalışma alanına ait saatlik iklim verileri yüzey akış, toprak suyu ve sediment verimi verilerini toplamışlardır. Modele girilen ikinci önemli parametre ise, biomass enerji oranı ve hidrolik iletkenliktir. Akış, toprak suyu, erozyon ve biomassa ait gerçek veriler kullanılarak model kalibre edilmiştir. Kalibre edilen

model, üç tipik ürün rotasyonunun hidrolojik ve erozyon süreçleri üzerine etkisini değerlendirmek için kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, toprak profilinin en üst kısmında bulunan tabakanın tanımlanması ve model parametrelerinden ikisinin kalibrasyon için kullanılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Toprak koruma uygulamasının yapıldığı, sürekli mısır ekilen ve sonrasında tekrar sürülen alanlarda; yüzey akışı ve erozyonun düşük olduğu ancak tek bir ürün çeşidi uygulamasının toprak kalitesini azaltabileceğini ifade etmişlerdir.

Yangından sonra meydana gelecek yüzey akışı ve erozyonu önlemek çok önemlidir. Arazinin hangi bölgesine ne zaman ve nasıl bir amenajman uygulanacağını bilmek, erozyonun önlenmesinin ilk adımıdır. Robichaud ve ark. (2007), yangından sonra meydana gelen erozyonu tahmin etmek için WEPP modele dayalı olarak geliştirdikleri ERMİT modelini kullanmışlardır. 20 ila 40 yıllık zaman dilimini WEPP model kullanarak verileri simülasyon etmişler ve erozyonu değerlendirmişlerdir. ERMİT modelin daha az maliyet ile erozyonu azaltabilecek uygulamaları dikkate alırken; WEPP model ise çok fazla parametre ve zaman gerektirdiğini ifade etmişlerdir.

Tarım arazilerinin en verimli bir şekilde kullanılması için değişik amenajman uygulamalarının etkisini değerlendirilmesi gerekmektedir. Bunun için su erozyonunu ve sediment verimini tahmin etmek için birçok yöntem kullanılmaktadır. Sadeghi ve ark. (2008), İran'da mera ve yıllık ekim yapılan tarım arazisinde WEPP hillslope modelinin performansını değerlendirmişlerdir. 24 yağış olayının değerlendirildiği çalışmada gerçek değerler ile ölçülen değerler grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Sediment verimi arasında yakın bir ilişki bulunmuştur. Erodibilite parametrelerinin yetersiz olmasından dolayı, kalibre edilememiştir. Ancak, çalışmanın sonucunda modelin mera mera ve tarım arazilerinde etkinliğinin yüksek olduğunu tanımlama katsayısına göre ifade etmişlerdir.

Aladağ (2009), yüksek lisans tezinde Kahramanmaraş yöresi ahır dağı meralarında WEPP model kullanarak toprak kayıplarını belirlemiştir. Yıllık ortalama sediment veriminin 44,2 (t/ha/yıl) olarak bulunan çalışma sonunda bölgenin iklim, topoğrafik yapı ve genel toprak özellikleri ile erozyona çok duyarlı bir yapıya sahip olduğu görülmüştür.

Aydın (2009), Gümüşhane-Tortul Barajı havzasında ana kaya, arazi kullanımı, eğim ve bakı etmenlerini dikkate almak suretiyle sediment verimini belirlemiştir. GEOWEPP modelinin kullanıldığı çalışmada, havza 5 eş alt havzalara ayrılmıştır. Her bir alt havzadan sırasıyla 56, 56, 26, 68 ve 56 adet toprak profili açılmış ve her bir profilin farklı derinlik kademelerinden (0-20 cm ve 20-50 cm) toprak örnekleri alınmıştır. Bu toprak örnekleri kullanılarak bazı hidro-fiziksel özellikleri tespit edilmiştir. Havzada yılda ortalama 42.16 t/ha toprak kaybının olduğu ve modelin havzaya uygulanabileceği sonucuna varmıştır.

Dun ve ark. (2009), Kuzey Pasifikte ormanlık bir alanda WEPP model kullanarak havzanın hidrolojisini ve erozyonu simüle etmişlerdir. Çalışma kapsamında modelin algoritması modifiye edilmiş ve geliştirdikleri alt program ile yüzey altı süreçleri tahmin edilmiştir. Yapılan değişiklikler sonucu modelin performansının arttığı görülmüştür. Modifiye edilmiş 2008.9 versiyonu Hermada havzasında uygulanmış ve elde edilen sonuçlar 2004.7 versiyonunun uygulandığı Kuzey Pasifik ormanlık alanından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. 1995-2000 yılları arasında ortalama yağış 945 mm iken; 2004.7 versiyonunu kullanılarak yapılan simülasyonda 262 mm ve 2008.9 versiyonunda ise 275 mm olarak belirlenmiştir.

Türkiye’de WEPP modelin kullanıldığı ilk çalışma Yüksel ve ark. (2008) tarafından Kahramanmaraş’ta Orcan havzasında yapılmıştır. GEOWEPP kullanarak yüzey akışı ve sediment verimini tahmin etmişlerdir. Gözlemlenen ve tahmin edilen sonuçlar karşılaştırıldığında. 0.98 ve 0.99 regresyon katsayısı belirlemişlerdir. Bu sonuçları modelin çok iyi çalıştığı şeklinde yorumlamışlardır.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan erozyon modellerinin değerlendirilmesi, 3 aşamada yapılmaktadır. Bunlar validasyon, kalibrasyon ve duyarlılık aşamalarıdır. Genellikle modeli yeni kullananlar, modelin parametrelerini tahmin etmek için gerekli giriş dosyasını ilk hazırlayışlarında zorlanmaktadırlar. Bu problemin üstesinden gelmek için, önemli parametreleri duyarlılık analizi ile tanımlanmakta ve simüle edilmiş-gözlemlenmiş veriler arasında uyumu sağlamak için kalibre edilmektedir. Xinxiao ve ark. (2009), Çin’de Lős platolarında yüzey akışı ve sediment verimini araştırmışlardır. GEOWEPP kullanılan çalışmanın kalibrasyon ve validasyon sonuçlarına göre, modelin küçük havzalarda güvenilir bir şekilde çalıştığı kabul edilmiştir.

Klık (2010, Avusturya'da 1.14 km² büyüklüğünde bir havzada yağmur suyunun tutulması ve su erozyonu üzerine amenajman yöntemlerinin etkisini değerlendirmek için WEPP model kullanmıştır. Geleneksel sürüm ve işlemez tarımın yapıldığı alanlarda, 1961-1990 yılları arasındaki iklim verileri kullanılmıştır. Yapılan simülasyon sonucunda, geleneksel sürümün yapıldığı alanlarda yüzey akışı %16 ve işlemez tarımın yapıldığı alanlarda ise %53 olarak bulunmuştur. Gerçek değerler ise, sırasıyla %38 ve %75'dir.

Çin'de baraj alanları toprak erozyon çalışmalarında yaygın olarak kullanılan materyaldir. Shen ve ark. (2010), bu baraj alanları içinde yer alan 22 mm uzunluğunda ve %9 eğime sahip 3 farklı tarım arazisinde toprak kaybını WEPP model kullanarak değerlendirmişlerdir. 2004-2007 yılları arasındaki iklim verileri toplanarak CLIGEN dosyasını hazırlamışlardır. Yapılan simülasyon sonunda, modelin tahmin ettiği değerlerin gerçek değerlere çok yakın olduğu ve ciddi erozyon çalışmaları için uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Su erozyonunu engelleme açısından ilk sırada çalıkların oluşturduğu bitki örtüsünün, taş bentlerin ikinci ve son olarak ta toprak bentlerin olduğu görülmüştür.

Yamaçlarda görülen yüzey erozyonu ve yavaş gelişen toprak kayması, su sayesinde sediment taşınmasının ana kaynağını oluşturmaktadır. Bunların aralarındaki ilişki, sediment miktarını tahmin etmede çok önemlidir. Yavaş toprak kayması topoğrafya, bitki örtüsü ve toprak özelliklerindeki değişimlerden dolayı uzun zaman içinde yüzey erozyonuna dönüşmektedir. Deneysel çalışmalar, arazi gözlemleri ve model simülasyonları bu durumu onaylamaktadır. Bitki örtüsünden yoksun mera arazilerinde, şev ve toprak özellikleri değiştiğinden dolayı bozulmadan sonra meydana gelecek su erozyonu öncekinden daha fazladır Bitki örtüsünün olduğu bir yamaçta, vejetasyon yamaç aşağı taşınmakta, dolayısıyla oluşacak erozyon miktarı da azalmaktadır. Acharya ve Cochrane (2011); topoğrafyadaki değişiklikleri basitleştirilmiş toprak bozulma denklemi kullanarak tahmin etmişlerdir. Daha sonra farklı bir topoğrafyada meydana gelen toprak kayıplarını WEPP model kullanarak ölçmüşlerdir. WEPP model kullanılarak elde edilen simülasyon sonuçlarının gerçek değerlere yakın sonuçlar verdiğini görmüşlerdir.

Albaradeyia ve ark. (2011). Filistin'in yamaç arazilerinde WEPP hillslope modelini ve yapay sinir ağıları (ANN) modelini kullanarak toprak kaybını ve yüzey akışını tahmin etmişlerdir. Çalışmanın sonunda, su erozyonunun yağış miktarına ve süresine bağlı olduğunu ancak WEPP hillslope modelinin yüzey akış ve toprak kaybını gerçek değerlere göre daha düşük hesapladığını görmüşlerdir.

Hindistan'ın Doğu Himalaya dağlarında, Singh ve ark. (2011) tarafından WEPP model kullanarak yamaç alanlarında sediment verimi ve yüzey akışı tahmin edilmiştir. 239.44 ha lık bir alvea yapılan simülasyon sonucunda 2003 yılında 86 mm ve 2004 yılında 98 mm yağış üretilmiştir. Kalibrasyon ve validasyon için kullanılan günlük akış ve sediment verimi arasında %95 bir ilişki bulunmuştur.

Teraslama yapmak suretiyle eğimli araziler sudan korunmakta, su erozyonu kontrol altına alınmakta ve toprak verimliliği artmaktadır. Bu uygulamanın toprak ve su koruma üzerine etkisi son yıllarda yapılan çalışmalarda yoğun bir şekilde tartışılmaktadır. Liu ve ark (2013), 64 adet farklı teraslama uygulanmış yamaç arazisinde ölçümler yapmak suretiyle, toprak ve su korunmasındaki değişimleri karşılaştırmışlardır. Mera arazilerinde toprak kaybı ve sediment miktarında birbirinden farklı sonuçlar bulunmuştur. Teraslanmamış şevler ile teraslanmış şevler karşılaştırılmıştır. Teraslanmış şevlerde sediment tutulumunun arttığını ancak yağış intensitesindeki artışın sediment tutulumu üzerine etkisinin önemsiz olduğunu görmüşlerdir.

Erozyon süreçlerinin takip edilmesinde ve farklı çevresel şartlar altında oluşan erozyonun değerlendirilmesinde erozyon modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Mahmoodabadi ve Cerda (2013), İran'da Kerma havzasında yağış simülatörü kullanmak suretiyle, kurak ve yarı kurak bölgelerde WEPP modelin performansını değerlendirmişlerdir. İnterrill erozyonun çalışıldığı araştırmada, gerçek değerler ile tahmin edilen interrill erozyon değerleri karşılaştırılmıştır. Tahmin edilen değerlerin 14.5 katı düşük olduğu görülmüştür. Modelin kalibrasyonunda ise; ayarlanmış interrill erodibilite (K_{iadj}) ve tahmin edilen interrill erodibilite (K_{ib}) temsil eden iki farklı regresyon denklemi kullanılmıştır. Başlangıçtaki interrill erozyonun toprak özelliklerinden çok, yüzeydeki kaya parçalarından etkilendiği görülmüştür. Ayarlanmış interrill erozyonun ise, sediment birikimi ve kum yüzdesiyle ilişkili olduğu sonucuna varmışlardır. Kalibrasyon çalışmalarından sonra yapılan validasyon çalışmalarında ise;

K_{ib} ve K_{iadj} değerleri sırasıyla 0.31 ve 0.90 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre model, düşük erozyon oranını yüksek ve yüksek erozyon oranını ise düşük tahmin ettiği varsayımına ulaşmıştır.

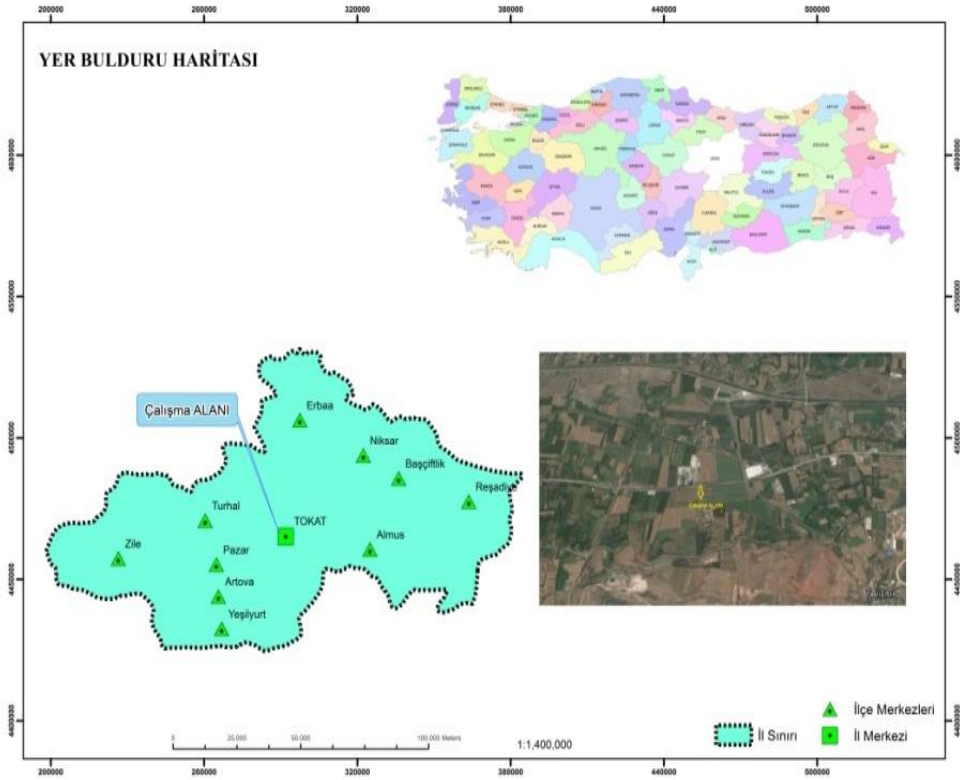
CLIGEN (CLImate GENerator); pik, pik yoğunluğu ve yağış süresi gibi yağış parametrelerini içeren ve günlük tahmini yağış üreten stokastik bir iklim tahmin programıdır. CLIGEN, günlük iklimsel verileri oldukça doğru bir şekilde tahmin etmesine rağmen; yağış süresi gibi bazı parametrelerin tahmininde bazı tutarsızlıklar görülmektedir. Lobo ve ark. (2015), yağış parametrelerinin değerlendirilmesinde CLIGEN programını kullanmışlardır. Bireysel yağış olaylarını 1-h plüviyograflar kullanarak belirlemişlerdir. Kayıtları Şili'nin 30 farklı eyaletinden toplamışlardır. 415 yıllık verileri kullanmak suretiyle, 18.012 yağış olayını incelemişlerdir. Yağış erositivitesi CLIGEN'de belirtilen yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. Gerçek değerler ve tahmin edilen değerler karşılaştırılmıştır. Sadece yağış süresi kontrol altında tutularak modelin kalibrasyonu yapılmıştır. 30 eyaletten toplanan verilerin ıslak ve kuru gün için kalibrasyon öncesi ve sonrası değerleri karşılaştırılmıştır. Özellikle ıslak günler için kalibrasyondan önce modelin özellikle yağış süresi ve 30 dak yağışları ya aşırı fazla ya da aşırı düşük tahmin ettiği görülmüştür. 30 eyaletin 19'unda yıllık yağış miktarını daha düşük hesapladığı sonucuna varmışlardır. Kalibrasyondan sonra ise; CLIGEN ile hesaplanan yağış sürelerine ait R^2 değerlerinde 0.41 ile 0.65 arasında değişen bir değer artışı belirlenmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırma Alanının Tanıtımı

Çalışmanın yürütüldüğü Orta Karadeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Karadeniz ve İç Anadolu bölgeleri arasında geçit bölgede ve Yukarı Yeşilirmak Havzasında yer almaktadır. Müdürlük arazisi Tokat-Turhal karayolunun 10.km'sinde, Kazova'da, $40^{\circ} 18'$ enlem ve $36^{\circ} 34'$ doğu boylamında yer almakta olup, Enstitü arazisinin denizden yüksekliği 585 m'dir (Şekil 3.1. Araştırma yeri yer buldur haritası).



Şekil 3.1. Araştırma yeri yer buldur haritası

3.1.2. Toprak Özellikleri

Toprak ve yüzey akış kayıpları Akış Toprak Serisi (Çizelge 3.1) için simüle edilmiştir. Bu seriye ait gerçek ölçülmüş yüzey akış ve toprak kayıpları verileri mevcut olup çalışmada WEPP Hillslope modeli kullanılarak elde edilen simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir. Bu seri toprakları Entisol toprak sınıfı içinde yer almakta olup (Çizelge 3.2), %10-12 eğimli (Şekil 3.2) topoğrafyada marn ve kalker ana materyali üzerinde oluşmuş A ve C horizonlu oldukça derin topraklardır (Şekil 3.2). Kireç tüm profil boyunca oldukça yüksektir. Baskın katyon Ca ve Mg olup, pH 7.64 civarındadır. Kil oranı profil boyunca artmakta olup %26.-41.35 civarındadır. Tekstür üst horizonlarda killi tın profilin alt kısımlarında ise kildir (Şekil 3.5). Serinin bulunduğu arazi (Şekil 3.4) teraslanmış ve oluşturulan teraslarda karışık meyve bahçesi tesis edilmiştir (Oğuz, 1993)

Akış Serisinin özellikleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

Rölyef: Dalgalı

Eğim: %10-12

Ana Materyal: Marn ve kalker

Arazi Kullanım Şekli: Meyve bahçesi

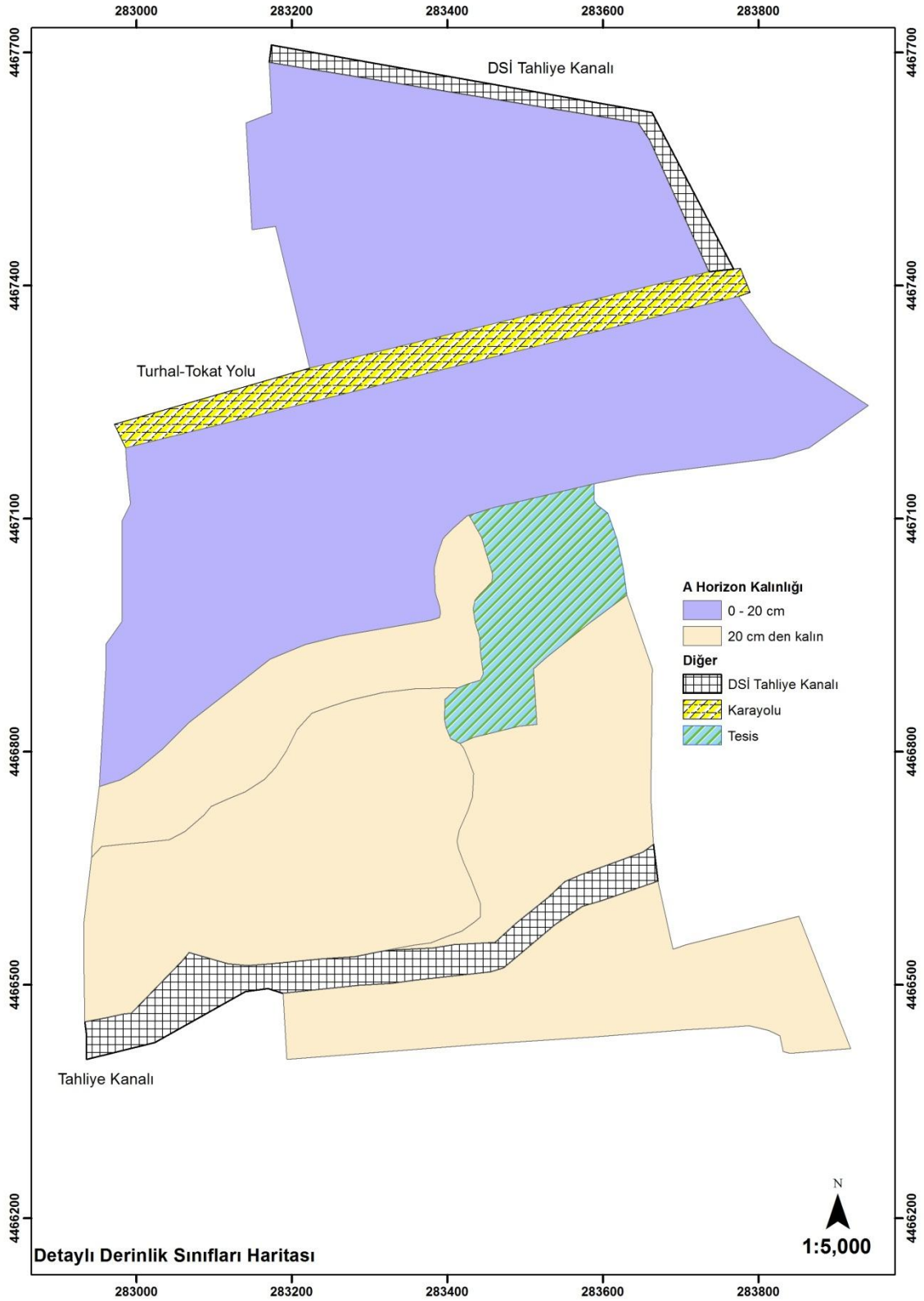
Vejetasyon: Karışık meyve ağacı

Çizelge 3.1. Akış serisinin profil tanımlaması

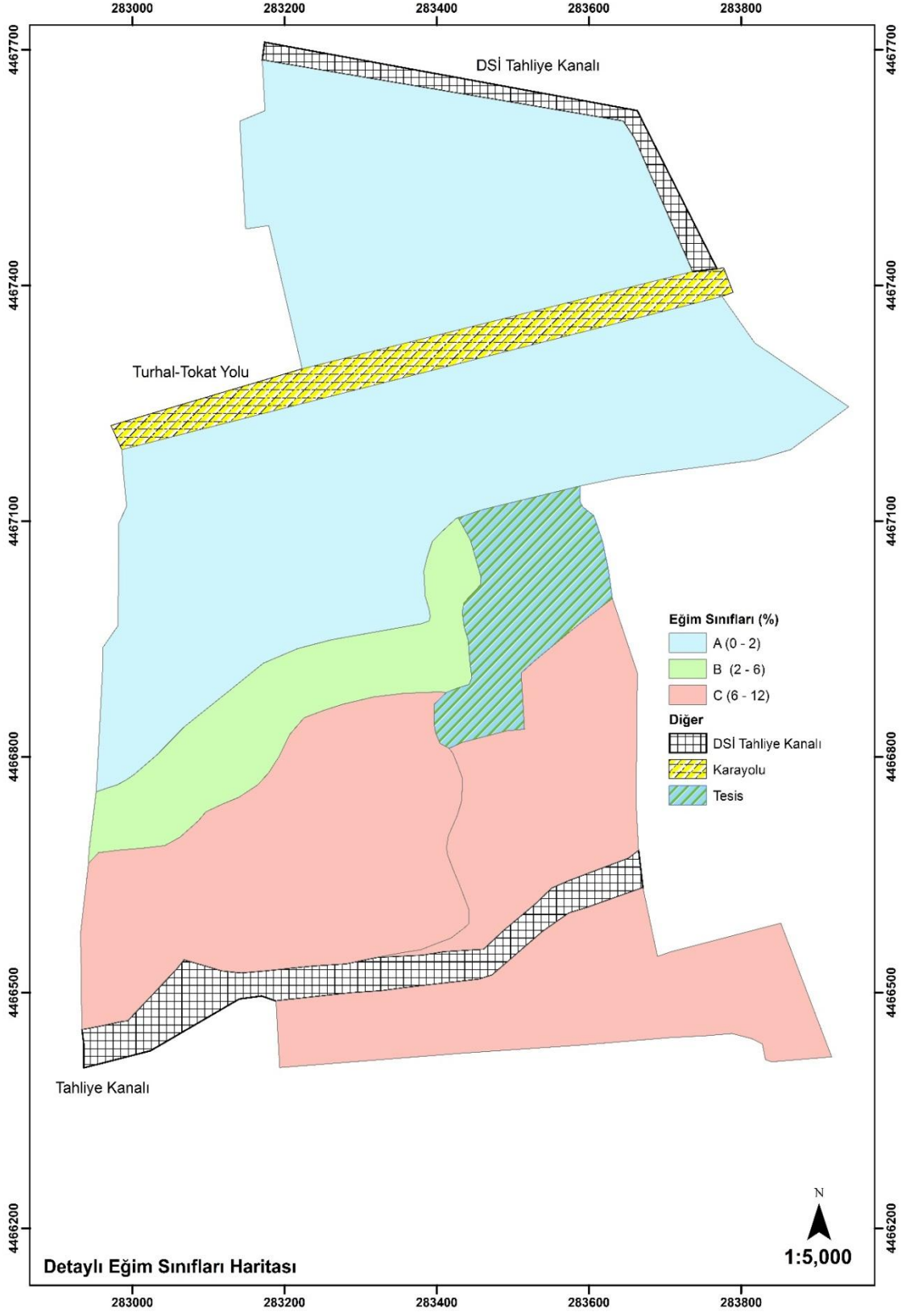
| Horizon | Derinlik (cm) | Tanımı |
|---------|---------------|--|
| Ap | 0-26 | Kahverengi (7.5 YR 4/4) kuru, parlak kahverengi (7.5 YR 3/3) nemli, killi tınlı, granüler, kuru iken hafif sert, yaş iken yapışkan, plastik, çok kireçli, ince saçak kökler, düz horizon sınırı. |
| A | 26-65 | Kahverengi (7.5 YR 4/4) kuru, parlak kahverengi (7.5 YR 3/3) nemli, killi tınlı, zayıf orta blok, kuru iken hafif sert, yaş iken yapışkan, plastik, çok kireçli, ince saçak kökler, belli dalgalı sınır. |
| C | 65+ | Kahverengi (7.5 YR 4/4) kuru, kuru kahverengi (7.5 YR 4/4) nemli, killi tınlı, yaş iken yapışkan, plastik, çok kireçli, kuvvetli kalkerli, çok seyrek ince kökler. |

Çizelge 3.2. Çalışma alanının toprak özellikleri

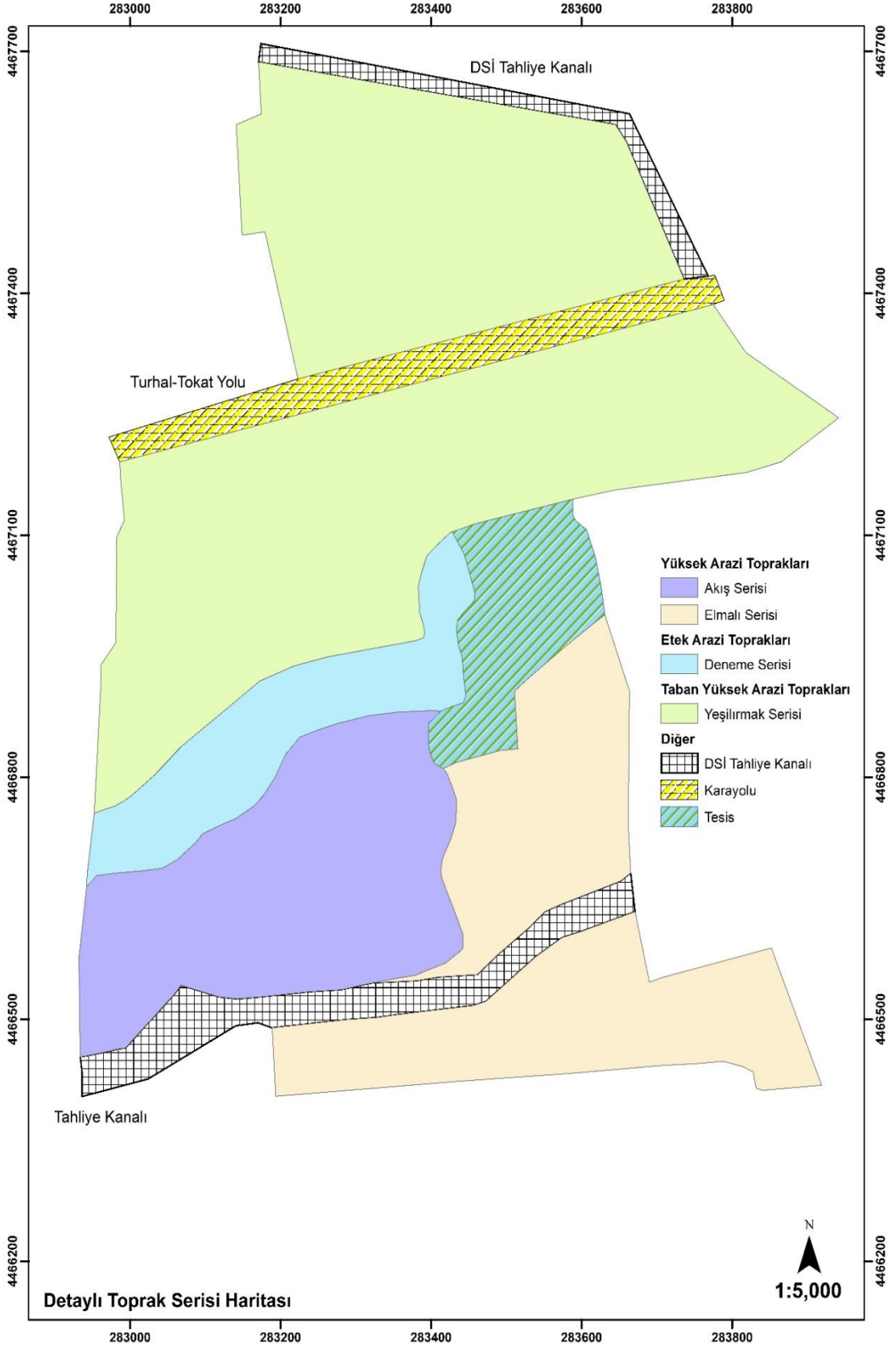
| Seri | Ordo | Alt Ordo | Büyük Grup | Alt Grup |
|------|---------|----------|-------------|-------------------|
| Akış | Entisol | Orthent | Ustorthenit | Typic Ustorthenit |



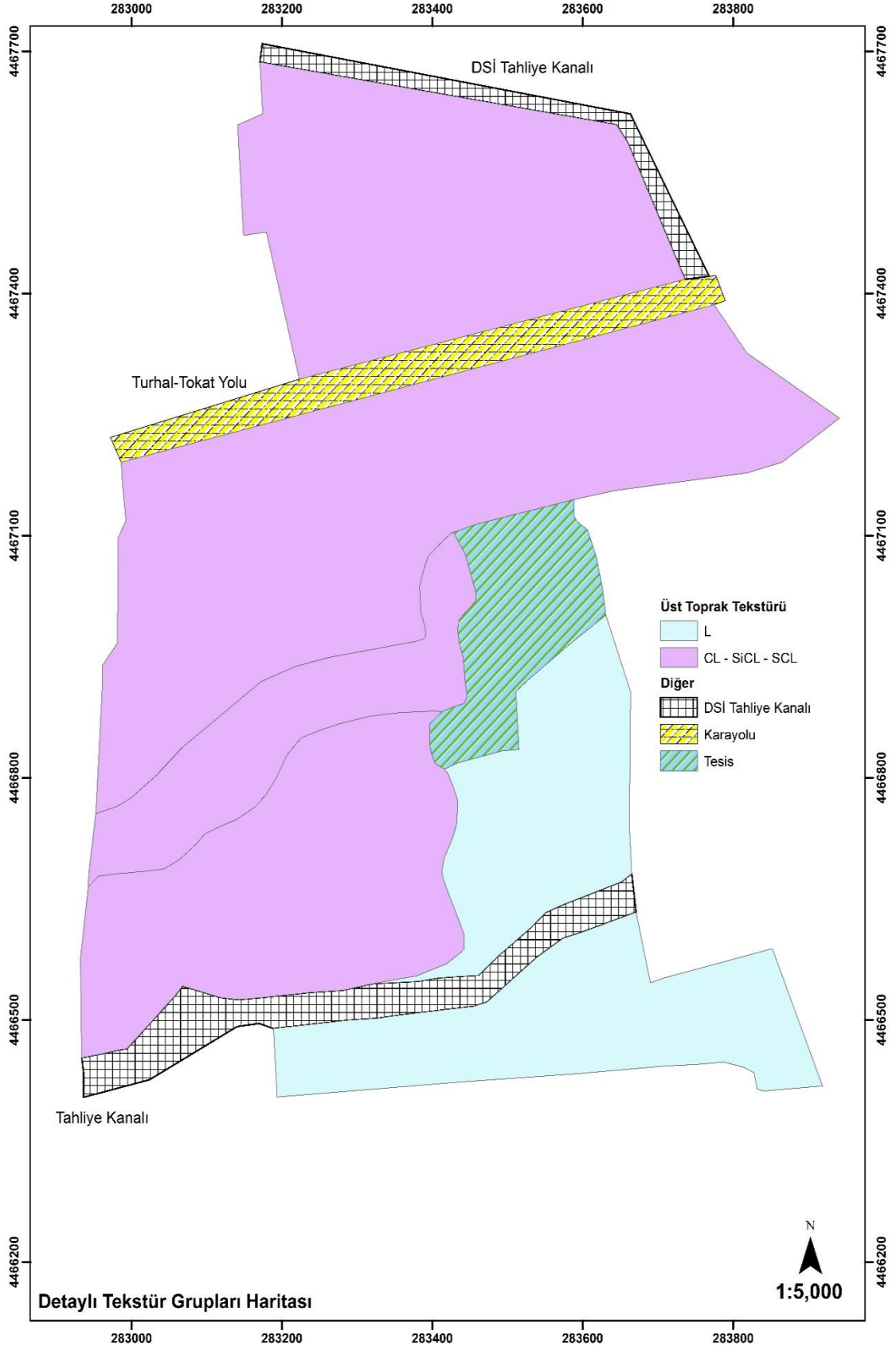
Şekil 3.2. Çalışma alanı derinlik sınıfları haritası



Şekil 3.3. Çalışma alanı detaylı eğim sınıfları haritası



Şekil 3.4. Çalışma alanı detaylı toprak serisi haritası



Şekil 3.5. Çalışma alanı detaylı tekstür grupları haritası

3.1.3. İklim Özellikleri

Tokat ili Orta Karadeniz bölümünün iç kısımlarında bulunduğu; hem Karadeniz hem de İç Anadolu'daki step (kara) ikliminin etkisi altındadır. Yazlar sıcak ve kurak. kışlar soğuk ve yağışlıdır. Tokat Meteoroloji İstasyonundan alınan 1980-2015 yılları arasındaki yağış verilerine göre yıllık ortalama yağış miktarı 313.3 mm ile 592.9 mm ve en yağışlı ay ise 105 mm ile kasım ayıdır (Çizelge 3.4). Bir yılın yaklaşık 250 günü yağışlı geçmektedir. En fazla yağışlar ilkbahar ve sonbahar aylarında görülmektedir. Bu değerler dikkate alındığında toprak sıcaklık rejimi Mesic ve nem rejimi de Ustic olarak sınıflandırılmaktadır (Soil Survey Staff. 1999). 1980-2015 yılları arasındaki verilere göre en düşük sıcaklık -10.7°C ile ocak ayında, en yüksek sıcaklık ise 36.5 °C ile temmuz ayında görülmektedir. Yıllık ortalama sıcaklık 12.5 °C 'dir (Çizelge 3.5).

Araştırma alanının iklim tipi Bagnouls-Gaussen Kuraklık İndisi (Kİ) yardımıyla belirlenmiştir.

$$Kİ = \sum_{k=1}^{n12} (2t - P_i)$$

Eşitliği ile belirlenmiştir. Burada, t= i ayındaki ortalama sıcaklık (°C), Pi= i ayındaki toplam yağıştır (mm).

Çizelge 3.3. Kuraklık indisi (Kİ) değerlerinin sınıflaması

| Dağılım | Sınıf | Tanımı |
|---------|-------|------------|
| 0 | 1 | Nemli |
| 1-50 | 2 | Yarı Nemli |
| 51-130 | 3 | Kurak |
| >130 | 4 | Yarı Kurak |

Çalışma alanının Kİ değeri 209 olarak dağıldığı görülmüş olup, Yarı kurak iklim sınıfına girmektedir.

Çizelge 3.4. Orta Karadeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma İstasyonu uzun yıllar yağış verileri ortalaması (DMİ, 2015)

| İSTASYON İSMİ | | TOKAT | | | | | | | İŞLT. İDARE | | DMİ | RAKIM | 580 |
|---------------|------|-------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|--------------|-------|-------------------|-------|--------|
| İSTASYON NO | | 17086 | | | | | | | BÖLGE | | KARADENİZ | | |
| İL VE İLÇESİ | | MERKEZ | | | | | | | ENLEM-BOYLAM | | 40° 18' - 36° 34' | | |
| RASAT TÜRÜ | | AYLIK TOPLAM YAĞIŞ (mm) | | | | | | | | | | | |
| YIL | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | YILLIK |
| 1980 | 71.0 | 19.4 | 67.8 | 51.6 | 95.6 | 9.3 | . | 3.2 | 18.8 | 25.7 | 56.1 | 22.8 | 441.3 |
| 1981 | 39.6 | 18.7 | 85.4 | 47.9 | 65.3 | 28.8 | 2.7 | 1.0 | 14.4 | 34.1 | 60.3 | 45.7 | 443.9 |
| 1982 | 54.2 | 32.1 | 24.6 | 70.2 | 54.4 | 31.6 | 10.8 | 7.7 | 2.0 | 12.9 | 7.8 | 38.6 | 346.9 |
| 1983 | 25.8 | 55.5 | 17.8 | 23.0 | 109.4 | 42.3 | 17.3 | 7.3 | 12.0 | 74.4 | 103.9 | 21.5 | 510.2 |
| 1984 | 28.8 | 28.3 | 33.0 | 101.4 | 49.5 | 16.1 | 5.9 | 7.1 | 0.7 | 2.5 | 17.7 | 22.3 | 313.3 |
| 1985 | 58.6 | 68.1 | 32.9 | 49.3 | 51.9 | 14.5 | 1.3 | 14.0 | . | 141.1 | 32.3 | 53.0 | 517.0 |
| 1986 | 59.0 | 42.2 | 1.7 | 38.7 | 82.0 | 51.5 | . | 0.4 | 16.6 | 11.4 | 45.9 | 62.8 | 412.2 |
| 1987 | 73.3 | 34.9 | 41.5 | 57.3 | 16.8 | 39.3 | 14.7 | 6.4 | . | 51.0 | 66.6 | 88.7 | 490.5 |
| 1988 | 37.4 | 44.1 | 52.3 | 52.1 | 42.6 | 47.3 | 23.1 | . | 8.5 | 110.0 | 95.8 | 42.7 | 555.9 |
| 1989 | 12.2 | 15.5 | 29.9 | 28.3 | 57.4 | 63.7 | 0.3 | 0.0 | 11.5 | 49.8 | 113.6 | 35.5 | 417.7 |
| 1990 | 19.6 | 27.4 | 2.9 | 103.7 | 103.3 | 39.3 | 21.2 | 1.9 | 25.2 | 25.7 | 35.5 | 45.2 | 450.9 |
| 1991 | 19.7 | 35.5 | 28.4 | 141.0 | 125.0 | 29.6 | 0.2 | . | 25.2 | 76.7 | 34.0 | 46.2 | 561.5 |
| 1992 | 25.5 | 47.0 | 15.2 | 47.6 | 54.6 | 41.9 | 26.6 | 7.8 | 10.4 | 43.5 | 84.3 | 95.7 | 500.1 |
| 1993 | 56.6 | 29.3 | 45.3 | 53.7 | 80.9 | 49.8 | 1.8 | 22.6 | 10.5 | 2.1 | 74.6 | 33.2 | 460.4 |
| 1994 | 35.8 | 30.7 | 35.7 | 32.3 | 49.2 | 6.0 | 0.1 | 0.1 | 3.1 | 34.5 | 65.5 | 62.1 | 355.1 |
| 1995 | 28.8 | 12.5 | 34.3 | 88.9 | 53.3 | 75.8 | 35.6 | 2.5 | 21.0 | 38.9 | 105.8 | 9.9 | 507.3 |
| 1996 | 16.4 | 16.8 | 93.9 | 104.0 | 40.2 | 24.7 | 0.7 | 14.0 | 42.1 | 47.1 | 3.0 | 34.3 | 437.2 |
| 1997 | 20.5 | 32.7 | 24.9 | 51.5 | 53.3 | 88.7 | 1.0 | 11.7 | 9.1 | 118.4 | 23.4 | 73.8 | 509.0 |
| 1998 | 46.6 | 36.0 | 24.8 | 36.9 | 98.1 | 15.9 | 8.8 | 0.0 | 17.9 | 54.9 | 40.8 | 57.1 | 437.8 |
| 1999 | 14.4 | 53.0 | 34.8 | 67.9 | 47.2 | 34.8 | 1.9 | 22.6 | 25.5 | 40.2 | 24.4 | 32.0 | 398.7 |
| 2000 | 56.0 | 62.2 | 36.9 | 91.6 | 87.0 | 14.5 | . | 6.1 | 11.6 | 38.5 | 0.0 | 34.7 | 439.1 |
| 2001 | 5.2 | 22.9 | 23.6 | 45.3 | 99.0 | 2.4 | 0.5 | 23.4 | 25.2 | 13.2 | 69.6 | 62.4 | 392.7 |
| 2002 | 59.8 | 20.6 | 39.3 | 68.9 | 4.7 | 61.9 | 43.8 | 7.7 | 14.4 | 35.4 | 40.7 | 31.9 | 429.1 |
| 2003 | 29.8 | 36.7 | 18.4 | 73.7 | 65.5 | 19.2 | 2.8 | . | 40.2 | 78.6 | 21.5 | 47.2 | 433.6 |
| 2004 | 47.1 | 31.2 | 57.7 | 29.5 | 42.1 | 58.2 | 8.8 | 30.0 | 8.1 | 18.9 | 90.4 | 23.3 | 445.3 |
| 2005 | 38.4 | 38.8 | 108.7 | 50.6 | 101.3 | 12.1 | 26.4 | 6.8 | 15.8 | 54.5 | 43.9 | 26.1 | 523.4 |
| 2006 | 34.4 | 25.2 | 46.1 | 48.5 | 91.4 | 5.8 | 0.0 | . | 15.8 | 59.8 | 35.4 | 14.2 | 376.6 |
| 2007 | 33.7 | 20.4 | 39.6 | 43.2 | 31.7 | 33.8 | 0.2 | 0.1 | 38.5 | 37.3 | 99.9 | 47.4 | 425.8 |
| 2008 | 36.4 | 38.8 | 43.5 | 51.6 | 34.2 | 53.7 | 0.0 | 13.3 | 52.7 | 40.8 | 45.5 | 60.7 | 471.2 |
| 2009 | 68.3 | 83.2 | 82.4 | 45.5 | 60.1 | 20.0 | 73.9 | 0.5 | 29.2 | 16.6 | 75.2 | 38.0 | 592.9 |
| 2010 | 77.0 | 54.1 | 58.8 | 64.6 | 45.3 | 59.8 | 6.4 | . | 3.4 | 109.4 | 4.1 | 35.5 | 518.4 |
| 2011 | 23.2 | 22.4 | 69.5 | 73.5 | 59.1 | 76.4 | 37.9 | 16.5 | 14.8 | 24.0 | 29.5 | 23.4 | 470.2 |
| 2012 | 48.0 | 46.3 | 44.3 | 14.8 | 114.7 | 36.3 | 30.7 | 1.5 | 5.1 | 30.8 | 97.0 | 77.2 | 546.7 |
| 2013 | 52.6 | 33.6 | 29.7 | 40.3 | 32.3 | 36.1 | 1.6 | 0.4 | 12.3 | 45.0 | 13.8 | 40.3 | 338.0 |
| 2014 | 14.5 | . | . | 12.7 | 29.2 | 61.5 | 7.3 | 1.1 | 39.0 | 51.6 | 63.1 | 39.4 | 319.4 |
| 2015 | 38.4 | 25.8 | 57.0 | 29.1 | 34.8 | 35.6 | 0.2 | 7.6 | 0.2 | 55.6 | 15.8 | 35.5 | 335.6 |

Çizelge 3.5. Orta Karadeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma İstasyonu uzun yıllar sıcaklık verileri ortalaması (DMI, 2010)

| İSTASYON İSMİ | | TOKAT | | | | | | | | | | | İŞLT. İDARE | DMI | RAKIM | 580 | |
|---------------|------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|-------------------|-------|-----|--|
| İSTASYON NO | | 17086 | | | | | | | | | | | BÖLGE | KARADENİZ | | | |
| İL VE İLÇESİ | | MERKEZ | | | | | | | | | | | ENLM-BYLAM | 40° 18' - 36° 34' | | | |
| RASAT TÜRÜ | | ORTALAMA SICAKLIK °C | | | | | | | | | | | | | | | |
| YIL | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | YILLIK | | | | |
| 1980 | 0.0 | 2.4 | 7.2 | 11.3 | 16.5 | 20.6 | 23.5 | 21.6 | 17.0 | 13.2 | 9.5 | 5.5 | 12.4 | | | | |
| 1981 | 5.8 | 5.8 | 8.5 | 10.7 | 13.8 | 19.9 | 22.8 | 21.4 | 19.3 | 15.6 | 6.5 | 9.5 | 13.3 | | | | |
| 1982 | 2.1 | 0.8 | 5.2 | 13.4 | 16.7 | 19.0 | 19.8 | 20.7 | 18.7 | 13.2 | 5.7 | 4.0 | 11.6 | | | | |
| 1983 | -1.0 | 1.7 | 6.6 | 13.5 | 16.5 | 18.8 | 21.9 | 20.2 | 17.9 | 11.9 | 8.1 | 3.5 | 11.6 | | | | |
| 1984 | 5.4 | 5.3 | 8.6 | 10.7 | 15.9 | 18.5 | 19.9 | 18.1 | 19.9 | 13.0 | 9.2 | -1.4 | 11.9 | | | | |
| 1985 | 4.4 | -1.4 | 3.0 | 13.9 | 18.6 | 19.6 | 19.3 | 23.2 | 17.6 | 10.7 | 9.9 | 3.2 | 11.8 | | | | |
| 1986 | 4.1 | 5.3 | 8.0 | 14.2 | 12.8 | 19.4 | 22.6 | 23.8 | 19.8 | 12.2 | 5.0 | 3.2 | 12.5 | | | | |
| 1987 | 4.1 | 5.3 | 3.3 | 10.2 | 16.9 | 19.2 | 22.1 | 20.5 | 17.9 | 12.4 | 7.0 | 3.8 | 11.9 | | | | |
| 1988 | 1.9 | 4.1 | 6.8 | 12.2 | 15.7 | 19.6 | 21.8 | 21.7 | 17.8 | 12.5 | 5.4 | 4.7 | 12.0 | | | | |
| 1989 | -2.3 | 1.3 | 9.7 | 17.0 | 16.9 | 20.3 | 21.7 | 23.7 | 18.7 | 12.9 | 7.9 | 0.8 | 12.4 | | | | |
| 1990 | -0.7 | 3.8 | 7.8 | 11.5 | 14.4 | 19.5 | 21.9 | 20.5 | 18.3 | 13.1 | 9.4 | 4.0 | 12.0 | | | | |
| 1991 | 0.3 | -0.6 | 7.4 | 12.7 | 15.4 | 20.1 | 23.5 | 22.9 | 19.1 | 15.1 | 7.5 | 2.2 | 12.1 | | | | |
| 1992 | -1.7 | -3.3 | 6.3 | 12.2 | 14.7 | 19.4 | 20.6 | 22.5 | 17.2 | 15.6 | 6.5 | -0.2 | 10.8 | | | | |
| 1993 | -3.3 | 0.5 | 6.9 | 11.4 | 16.0 | 19.0 | 21.0 | 22.1 | 18.4 | 13.8 | 4.0 | 5.5 | 11.3 | | | | |
| 1994 | 5.0 | 2.0 | 7.0 | 16.2 | 17.1 | 19.7 | 22.3 | 21.9 | 22.8 | 16.5 | 6.2 | 1.1 | 13.2 | | | | |
| 1995 | 4.7 | 6.0 | 9.5 | 10.8 | 17.4 | 21.3 | 21.0 | 22.9 | 18.9 | 11.9 | 6.5 | 4.1 | 12.9 | | | | |
| 1996 | 3.8 | 6.2 | 5.0 | 10.1 | 19.0 | 18.5 | 23.4 | 22.8 | 18.8 | 13.0 | 8.5 | 8.7 | 13.2 | | | | |
| 1997 | 3.0 | 0.1 | 3.8 | 10.8 | 17.9 | 19.5 | 22.7 | 21.8 | 15.6 | 14.0 | 7.6 | 4.9 | 11.8 | | | | |
| 1998 | 3.0 | 2.8 | 6.2 | 15.1 | 16.5 | 20.6 | 23.7 | 23.4 | 19.5 | 15.0 | 9.8 | 5.1 | 13.4 | | | | |
| 1999 | 4.1 | 6.2 | 7.9 | 12.8 | 16.1 | 20.7 | 23.7 | 23.2 | 19.1 | 14.0 | 7.3 | 5.2 | 13.4 | | | | |
| 2000 | -0.8 | 0.5 | 5.7 | 15.0 | 14.9 | 18.7 | 24.6 | 22.5 | 19.3 | 12.9 | 7.8 | 4.6 | 12.1 | | | | |
| 2001 | 3.4 | 5.4 | 12.0 | 13.9 | 14.8 | 21.5 | 24.7 | 24.3 | 21.3 | 13.2 | 8.3 | 5.5 | 14.0 | | | | |
| 2002 | -3.5 | 5.4 | 10.0 | 11.1 | 16.9 | 19.4 | 24.6 | 22.7 | 20.4 | 15.2 | 8.6 | -0.8 | 12.5 | | | | |
| 2003 | 6.2 | 2.1 | 3.7 | 11.6 | 19.1 | 20.2 | 22.9 | 22.7 | 18.2 | 15.4 | 7.7 | 4.1 | 12.8 | | | | |
| 2004 | 3.1 | 4.5 | 7.6 | 12.3 | 15.7 | 19.5 | 22.2 | 23.3 | 18.7 | 14.7 | 7.4 | 2.6 | 12.6 | | | | |
| 2005 | 4.5 | 4.3 | 7.1 | 13.1 | 16.2 | 19.2 | 23.7 | 24.6 | 19.1 | 11.9 | 7.0 | 4.1 | 12.9 | | | | |
| 2006 | 0.4 | 3.4 | 9.6 | 13.1 | 15.9 | 21.7 | 21.0 | 26.3 | 19.0 | 14.5 | 5.9 | 0.3 | 12.6 | | | | |
| 2007 | 3.5 | 2.9 | 7.9 | 9.4 | 20.3 | 21.7 | 24.1 | 25.0 | 20.8 | 15.7 | 7.6 | 3.4 | 13.5 | | | | |
| 2008 | -3.9 | -2.4 | 11.8 | 14.7 | 15.1 | 19.5 | 23.1 | 23.9 | 19.2 | 14.1 | 8.8 | 0.5 | 12.0 | | | | |
| 2009 | 2.9 | 6.6 | 7.0 | 11.2 | 15.5 | 21.3 | 22.4 | 20.6 | 17.7 | 17.0 | 7.7 | 7.2 | 13.1 | | | | |
| 2010 | 5.1 | 8.6 | 8.9 | 12.1 | 18.0 | 22.3 | 25.0 | 26.4 | 21.9 | 13.2 | 10.0 | 7.3 | 178.8 | | | | |
| 2011 | 2.5 | 3.7 | 6.7 | 10.9 | 15.5 | 19.5 | 24.2 | 22.0 | 18.4 | 13.1 | 3.3 | 4.1 | 143.9 | | | | |
| 2012 | 1.3 | -1.6 | 3.6 | 16.1 | 17.9 | 21.4 | 24.4 | 22.9 | 20.6 | 16.0 | 9.8 | 5.6 | 158 | | | | |
| 2013 | 3.7 | 7.4 | 9.9 | 14.0 | 22.2 | 22.8 | 18.0 | 11.7 | 8.7 | -1.0 | | | 117.4 | | | | |
| 2014 | 4.4 | | | | 17.7 | 20.5 | 24.6 | 25.4 | 20.1 | 14.3 | 7.1 | 7.2 | 141.3 | | | | |
| 2015 | 2.7 | 5.2 | 8.1 | 10.0 | 17.2 | 20.1 | 22.5 | 24.5 | 23.2 | 15.1 | 8.7 | 1.0 | 158.3 | | | | |

3.1.4. Jeolojisi ve Fizyografya

Tokat bölgesi jeolojisini filişler (şeyl, marn), kristalin kütleler ile üçüncü zaman öncesi tortullar ve lokal sahalarda rastlanan alüvyonlar oluşturmaktadır (Şekil 3.6).

Filişler genellikle çok yumuşak, dağılıbilir veya sıkı, değişik kalınlıkta, iyi tabakalanmış kumtaşı, şeyl, marn ve konglemeradır. Kretase ve üçüncü zaman öncesi devirlere ait oluşları da içine almaktadır.

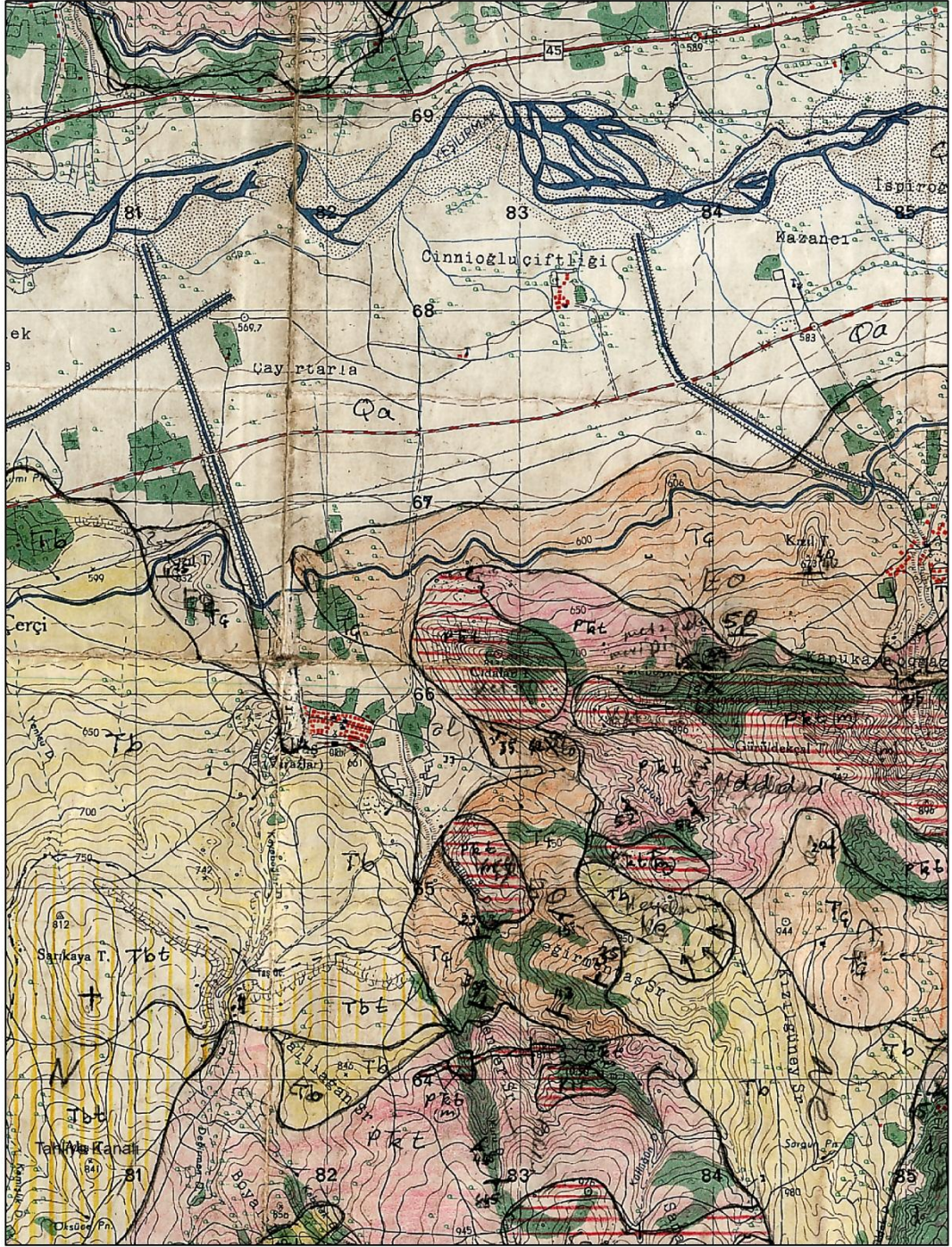
Kristalin kütleler değişik şekil ve grupları içine almaktadır. Metamorfik kütlelerden şist ve gnays, plütanik kütlelerden granit ve diyorit, yeşil saherelerden serpantin ve peridotiti, volkanik kütlelerden andezit, bazalt ve diyabazdan oluşmaktadır.

Üçüncü zaman öncesi tortullar genellikle kalkerlerden oluşmakla birlikte konglomera, marn, kumtaşı, şeyl ve sleksleri de içermektedir. Genellikle sert yapıdadır. Bazen açık çatlaklar ve geniş boşluklar da gözlenmektedir.

Çalışma alanında rastlanılan alüvyonlar nehir ve kollarının getirmiş olduğu genç, genellikle pekişmemiş kum, çakıl, silt ve kilden oluşmuş bir örtüdür. Bu alanlar tarıma son derece uygun olup ova ve vadi tabanlarını meydana getirmektedir.

Orta Karadeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma İstasyonu Müdürlüğü arazisi. paleozoyik yaşlı metamorfik seriler, kretase yaşlı kalkerler, alçak tepelerde oligosen yaşlı kırmızı, gri ve marnlı seriler ile gençte yaşta alüvyonlardan oluşmaktadır.

Enstitü arazisi; Kazova'nın güneyini oluşturan dağ silsilesinin kuzey yamaçlarında yer alan yamaç arazisi, Yeşilirmak'ın taşıdığı alüvyonlarla oluşmuş taban arazisi ve yamaç ve taban arazisi arasında yer alan etek arazisi konumunda farklı üç fizyografik üniteden oluşmuştur (Oğuz, 1995).



Jeoloji Haritası

N
1:25,000

Şekil 3.6. Çalışma alanının jeoloji haritası

3.1.5. Arazi Kullanma ve Bitki Örtüsü Durumu

Orta Karadeniz Geçit Kuşığı Tarımsal Araştırma İstasyonu Müdürlüğü arazisinde yer alan düz ve düze yakın arazilerde sebze ve tarla bitkileri tarımı yapılmaktadır. Eğimli arazilerde ise, meyve bahçeleri bulunmaktadır. Eğimli arazilerin bir kısmında ise oluşturulan teraslarda tarla tarımı yapılmaktadır.

3.2. YÖNTEM

3.2.1. Toprak Örneklerinin Alınması ve Yapılan Analizler

Bu çalışmada, Orta Karadeniz Geçit Kuşığı Tarımsal Araştırma İstasyonunda yayılım gösteren Akış Serisi topraklarından bozulmuş ve bozulmamış üst (0-20 cm) toprak örnekleri üç farklı kademedan alınmıştır. Alınan örnekler plastik torbalar içinde laboratuvara getirilmiş ve oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kuruyan örnekler 2 mm'lik elekten elenip analize hazır hale getirilmiş ve plastik torbalara konulmuştur. Analize hazır hale getirilen toprak örneklerinde yapılan analizlerle tekstür, organik madde içeriği, hidrolik iletkenlik ve çok ince kum yüzdesi belirlenmiştir.

Tekstür: Toprağın kum, silt ve kil fraksiyonları Bouyocous hidrometre yöntemi ile belirlenmiştir (Bouyocous, 1951).

Organik madde: Organik madde tayini için modifiye edilmiş Walkey-Black metodu ile yapılmıştır (Nelson ve Sommers, 1982).

Hidrolik iletkenlik: Toprağın hidrolik iletkenliği sabit seviyeli permeametre yöntemi ile bozulmamış toprak örneklerinde yapılmıştır (Richards, 1954).

Çok ince kum: Aşınımaya duyarlılığı belirlemek amacıyla, eleme ile belirlenmiştir (Soil Survey Staff, 1951).

Katyon Değişim Kapasitesi (KDK): 1.0 N amonyum asetat (pH = 7.0) yöntemine göre belirlenmiştir (Jackson, 1958).

3.2.2. Wepp Yamaç Erozyon Tahmin Modeli

WEPP erozyon tahmin modeli. Amerika'da Ormancılık, Tarımsal Araştırma ve Toprak Koruma Servisleri, Amerika Jeoloji Araştırma kurumlarının bilim adamları tarafından 1985-1995 yılları arasında yapılan ortak bir çalışma sonucu ortaya çıkmıştır. Toprak ve su koruma ile çevre planlaması ve değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalarda kullanılmaktadır (Foster. 1987; Lane ve ark., 1988; Yüksel, 2008).

WEPP yamaç erozyon modeli bu çalışmalarda atılan en önemli adımlardan birisidir. İnfiltrasyon, hidroloji, toprak fiziği, bitki besleme, hidrolik ve erozyon süreçleri gibi temel karakteristikleri göz önünde bulundurarak toprak kayıplarını ve sediment verimini tahmin etmektedir. Model, günümüzde kullanılan USLE; RUSLE; ANSWERS gibi erozyon tahmin modellerine göre birkaç avantaja sahiptir. Bunlar;

- Net toprak kayıplarını alana- zamana bağlı olmak suretiyle günlük, aylık ve yıllık zaman aralıklarında tahmin edebilmektedir.
- Sürece dayalı bir model olduğundan, arazide uygulanması çok zor ve oldukça maliyetli erozyon çalışmalarında toprak kayıpları başarılı bir şekilde tahmin edilebilmektedir.

3.2.3. Modelin tanımlanması

WEPP yamaç erozyon modeli tek bir yağış olayını kullanarak toprak kayıplarını tahmin etmekle birlikte, öncelikle devamlı simülasyon yapmak amacıyla geliştirilmiştir. Model topoğrafya, toprak özellikleri, arazi kullanımı, iklim ve zamanın bir fonksiyonu olarak gelişen erozyon süreçlerine benzer süreçler geliştirmek suretiyle toprak kaybını tahmin etmektedir. Örneğin; toprak yüzeyindeki atıklar, yağış sırasında meydana gelen toprak kayıplarının miktarını belirlemede önemli rol oynamaktadır. WEPP model, bir yıl boyunca günlük olarak toprak yüzeyindeki bitki atıklarının miktarını tahmin etmek için bitki gelişimi modeli kullanmaktadır. Atıkların net toplamı, yetişkin dönemde düşen yaprak miktarına göre belirlenmekte ve hasat döneminin sonunda model bitki örtüsünü belirlemektedir. Toprak işleme sırasında atıkların bir kısmı toprağa gömülme ve model bu gömülen atık miktarını da tahmin edebilmektedir (Lane ve ark., 1988).

Modelin kullanımını bakımından en önemli bölümünü veri giriş dosyası oluşturmaktadır. Ekim zamanı, sürüm ve hasat zamanı, ürün, toprak işleme çeşidi gibi girdilerin doğru bir şekilde girilmesi gerekmektedir. Örneğin, iklim verileri CLIGEN adı verilen model kullanılarak oluşturulmaktadır. Bu model tahmini hava şartları oluşturmaktadır (Yu, 2002).

Yetiştirilen ürün çeşidi hakkındaki bilgi, modeli kullanan araştırmacılara bu konu hakkındaki uzmanlar tarafından sağlanmalıdır. Modelin ihtiyaç duyduğu toprak verileri, çalışmanın amacına uygun olarak araştırmacının kendisi tarafından belirlenmelidir. Şev dosyası ise, şevin uzunluğu ve eğiminden oluşmaktadır.

Modelde kullanılan zaman aralığı gündüzdür. Toprak parametreleri, atık miktarı, yetiştirilen ürün, toprak-su içeriği, yüzey pürüzlülüğü gibi modelin çalışması için gerekli tüm parametrelerin hesaplamalarında 24 saatlik zaman aralığı kullanılmaktadır.

WEPP model çıktılarında zamana bağlı olarak erozyon tahmin edilmektedir. Model toprak kayıplarını tahmin etmesinin yanı sıra, ayrıca kısa süreli yağışların meydana getirdiği şiddetli erozyonu da tahmin etmektedir. Yamaç üzerinde meydana gelen toprak kaybını ve sediment verimini, sürekli simülasyon yapmak suretiyle istenilen yıl kadar simülasyon yapmakta ve ortalama olarak sonuçları vermektedir. Model, yamaç üzerinde ayrışmanın nerde bittiğini ve birikmenin nerde başladığını tahmin etmektedir. Bir bölgede ayrışma devam ederken, başka bir bölgede birikme başlamaktadır.

Erozyonun alan içinde ve alan dışında etkileri, modelin çıktılarında ayrı ayrı görülmektedir. Arazi yüzeyindeki toprağın zamana bağlı değişimini ifade etmek için *Net toprak kaybı* terimi kullanılmaktadır. Net toprak kaybı, erozyonun arazi içindeki etkisini göstermektedir. USLE ile çok benzerlik göstermektedir ve sediment verimin azalmasıyla çok yakından ilişkilidir. Yamaçlarda meydana gelen ortalama sediment birikimi tahmin edilmekte ve en az 100 noktada tablo şeklinde sunulmaktadır. Model çıktılarının diğeri ise, erozyonun alan dışı etkisidir. Yamaç profilinden yıkanan *sediment yükü* tahmin edilmektedir. Yıkanan sedimentler alan dışında tarımsal kirliliğe yol açmakta ve su yollarının tıkanmasına neden olduğu için, potansiyel bir çevre problemi olarak kabul edilmektedir. Erozyonun alan dışı etkisine ait çıktılar incelendiğinde, sediment büyüklüğü hakkında da bilgi sahibi olunmaktadır. Tarımsal

kirlilik ile sediment büyüklüğü arasında yakın bir ilişki söz konusu olduğu için; modelin bu çıktıları kullanılarak alan dışı kirlilik problemi için gerekli önlemler alınabilmektedir.

Erozyonun arazi içi ve dışına olan etkisini gösteren model çıktıları, günlük ya da aylık oluşan erozyon miktarını tahmin etmektedir. Bu çıktıların tümü, toprak ve su koruma çalışmalarında çok önemlidir. Yamaç üzerinde, toprak işleme sırasında nerde ve ne zaman toprak kaybı meydana geleceği model tarafından tahmin edilmekte ve çıktı olarak verilmektedir. Ayrıca modelin ucuz ve çok hızlı olması diğer önemli bir avantajıdır.

WEPP model, bireysel yağışları da değerlendirmektedir. Bireysel yağışlar değerlendirirken, modele girilmesi gereken hidrolojik ve erozyon süreçleri kullanıcının isteğine bağlı olarak değişmektedir. Sürekli simülasyon da ise; başlangıç şartlarını gösteren veriler girilmekte ve bu şartlar model tarafından tekrar ayarlanmaktadır. Bu yüzden girilen verilerin etkisi sürekli simülasyon olayında daha az iken; bireysel yağış simülasyonunda daha fazla olmaktadır. Model bireysel yağışları değerlendirirken kullanıcının girmiş olduğu verileri değerlendirmekte ve koruma amaçlı planlama, değerlendirme ve dizayn çıktıları vermektedir. Bireysel yağış model hesaplamaları, bir yamaç üzerinde erozyon üzerinde etkili olan faktörlerin değerlendirilmesinde ve anlaşılmasında çok önemlidir.

Model yıldan yıla ve bir yıl boyunca değişen şartları göz önünde bulundurarak, koruma çalışmalarında kullanılacak parametreleri kendisi belirlemektedir.

3.2.4. Model Bileşenleri

WEPP model 6 tane alt bölümden oluşmaktadır. Bunlar;

1. *İklim*
2. *Hidroloji*
3. *Bitki Gelişimi*
4. *Toprak Özellikleri*
5. *Sulama Sistemi*
6. *Erozyon*

İklim verileri, *CLIGEN* adı verilen bir model ile oluşturulmaktadır ve WEPP modelden ayrı çalışmaktadır. Yağış miktarı, süresi, max. yoğunluk, intensite, peak yoğunluğuna göre zaman (tp), mak. ve min. sıcaklık ile solar radyasyon modelin iklim karakteristiklerini oluşturmaktadır. Veriler modelin iklim dosyası içine yazılır. Yağışlar sıcaklığa bağlı olarak yağmur veya kar şeklinde olmaktadır. Rüzgarın şiddeti ve hızına bağlı olarak, yamaç üzerindeki kar dağılması hesaplanmaktadır. Ayrıca iklim dosyasında kar erimesi ve erozyon miktarı da tahmin edilmektedir. İnfiltrasyon-erozyon bileşenleri olarak kullanılan yağışlar, zaman-yağış formatına uygun olarak sınıflandırılmaktadır.

İnfiltrasyon, günlük su dengesi olarak ifade edilen akış, evapotranspirasyon ve perkolasyon hidroloji bileşenleri olarak kabul edilmektedir. İnfiltrasyon, *Green ve Ampt* denklemi kullanılarak hesaplanmaktadır. Akış kinematik dalga denklemi ya da yağış yoğunluğu dağılımı, hidrolik özellikler ve infiltrasyon parametrelerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Su dengesini oluşturan eriyen kar miktarı, kök zonlarının alt kısmında oluşan perkolasyon, toprak tabakaları arasında aşağıya doğru suyun hareketi, topraktaki buharlaşma ve bitkinin terleme olayı SWRBB modelinin su denge formülünün modifiye edilmesiyle belirlenmektedir. Ürün gelişimi, hesaplanan terleme miktarına göre bulunan yaprak alan indeksine göre belirlenmektedir.

Bitki gelişimi söz konusu bitkinin büyüme, olgunluk ve ayrışma süreçleri göz önünde tutularak hesaplanmaktadır. Ürün gelişiminde, sıcaklık ve toprak neminin etkisi oldukça fazla olmaktadır. Büyüme dönemi ürüne ait özel parametreler tarafından kontrol edilmektedir. Ekimden sonra görülen bitki ayrışması, model tarafından simule edilebilmektedir.

Hidroloji ve erozyon tahmin edilmesinde kullanılan parametrelerin birçoğu zamana bağlı olarak değişim göstermektedir. Toprak bileşenleri, günlük zaman aralığında yeniden düzeltilmektedir. Erodibilite parametreleri yüzey pürüzlülüğü, hidrolik iletkenlik, toprak hacim ağırlığı gibi özellikler alana bağlı olarak değişmektedir. Profilden yıkanan aşınmış sedimentlerden *Sediment büyüklüğü* hesaplanmaktadır. Sediment büyüklüğü ana materyal ve profilde meydana gelen sediment birikimi ile yakından ilgilidir.

3.2.5. Modelin Uygulamasında Görülen Zorluklar

WEPP yamaç modeli yamaçlara ya da koruma çalışması yapılacak belli alanlara uygulanması daha başarılı sonuçlar vermektedir. 640 ha ve daha küçük alanlara uygulandığında daha başarılı sonuçlar elde edildiği yapılan çalışmalarda görülmüştür. Model, gully ve yoğun derelerin bulunduğu havzalara hillslope modeli uygulanamamaktadır. Böyle yerlere WEPP Havza Versiyonu uygulanmaktadır.

3.2.6. Veri Giriş Dosyaları

WEPP yamaç modelinde 4 dosya kullanılmaktadır. Bunlar: *İklim, Şev, Toprak, Amenajman* dosyasıdır.

3.2.6.1. İklim Dosyası (Climate File)

Modelin sürekli simülasyon yapması için gerekli olan iklim dosyası CLIGEN adı verilen modelden oluşmaktadır. Modelin kullanacağı yıl ve bu yıllar arasındaki iklim değişiklikleri çok önemlidir. Model 3 yılın sonunda iklim değişikliklerini dikkate alarak, farklı amenajman uygulamalarını göz önünde bulundurarak, gerekli toprak ve su koruma yöntemini seçmektedir. Özellikle kurak ve yarı kurak iklimin hakim olduğu bölgelerde model uzun yıllar dikkate alınarak çalıştırılması gerekmektedir.

Uzun süreli toprak kayıplarını tahmin etmek için, geniş zaman aralığını kullanmak modelin güvenilirliğini artırmaktadır. Model 6 ve 9 aylık gibi zaman aralığında tahmin edilen sonuçlar çok başarılı olmadığı yapılan çalışmalarda görülmüştür. Bireysel yağış olayını simule ederken, modele girilen veriler kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Bu veriler, sürekli simülasyon modeline göre daha azdır ve bu dosyanın hazırlanması daha kolaydır.

3.2.6.1.1. CLIGEN Dosyası

CLIGEN adıyla oluşturulan dosya, uzun süreli yağış verilerini simule ederek, arazi üzerindeki toprak kayıplarını ve yüzey akışı belirlemek için kullanılmaktadır. Özellikle, WEPP modelde kullanılan *pik yağış intensitesi* (30 dak. yağış) çok önemli bir parametredir. Çünkü, bu parametre interill erozyonu doğrudan; rill akış miktarı ve

kayma gerilmesini ise dolaylı olarak etkilemektedir. Bundan dolayı, CLIGEN gibi stokastik hava koşulları oluşturan modellerde intensitenin doğru bir şekilde belirlenmesi, toprak kayıplarının belirlenmesinde çok önemlidir.

CLIGEN dosyasında kullanılan iklim verileri 2 farklı dosyada oluşturulmaktadır. İlk grupta, erosiv olan ya da olmayan yağışlar, günlük yağış miktarı, günlük sıcaklık ve solar radyasyon bulunmaktadır. İkinci grupta ise; rüzgar şiddeti ve yönü, çığ düşme noktası gibi yağış üzerine etkili olan yağış özelliklerini içermektedir. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda, günlük iklim verileri değişik modeller kullanılarak simule edilmiş ve başarı yönünden karşılaştırılması yapılmıştır. Oluşturulan iklim dosyaları arasında çok az farklılık olmasına rağmen en az hatanın CLIGEN dosyasında olduğu görülmüştür. CLIGEN dosyasında yer alan yağış süresi, time pik (tp) ve pik intensitesi (Ip) gibi parametreler bu dosyayı bir adım daha öne çıkardığı ve iklim değişkenlerini belirleme kapasitesini artırdığı görülmektedir.

3.2.6.1.2. Yağış Oluşumu

Bir ayda oluşan yağış sayısı ve dağılımını belirlemek için, iki ayrı safhadan oluşan Markov zincir metodu kullanılmaktadır. Bu yöntem, iki şartın olma ihtimalini hesaplamaktadır. Bir kuru günü izleyen bir kuru günden sonra ıslak gün olma ihtimali 'α' ve bir ıslak günden sonra kuru gün olma ihtimali ise 'β' olarak tanımlanmaktadır (Yoo, 2006).

Bu şartlar göz önünde tutularak Markov Zincirinde hesaplamalar aşağıda verilmiştir (Lane ve Nearing, 1989):

$$P(W/D)=\alpha \quad (\text{Eşitlik 1})$$

$$P(D/D)=1- \alpha$$

$$P(D/W)=\beta$$

$$P(W/W)=1-\beta$$

$P(W/D)$ = Islak günü izleyen kuru gün olma ihtimali

$P(D/D)$ = Kuru günü izleyen kuru gün olma ihtimali

$P(D/W)$ = Kuru günü izleyen ıslak gün olma ihtimali

$P(W/W)$ = Islak günü izleyen ıslak gün olma ihtimali

3.2.6.1.3. Yağış miktarı

Bir ayda oluşan günlük yağış miktarını bulmak için çarpık normal dağılım kullanılmaktadır (Lane ve Nearing, 1989). Bu denklem:

$$x = \frac{6}{g} \left\{ \left[\frac{g}{2} \left[\frac{X - \mu}{s} \right] + 1 \right]^{1/3} - 1 \right\} + \frac{g}{6} \quad (\text{Eşitlik 2})$$

formülde; x=Standart normal dağılım, X= Gerçek yağış değerleri, μ , s ve g sırasıyla aritmetik ortalama, standart sapma ve çarpıklıktır. Bir ay içerisinde her bir yağış için normal dağılımı hesaplanır ve formülde yerine konularak yağış değerleri (X) bulunmaktadır.

3.2.6.1.4. Yağış Süresi

Yağış süresi aşağıda verilen formül kullanılarak tahmin edilmektedir (Lane ve Nearing, 1989):

$$D = \frac{6.607}{-2 \ln(1 - r)} \quad (\text{Eşitlik 3})$$

D= Yağış süresi, r= 30 dak. yağışların Gamma Dağılımından bulunan parametre

3.2.6.1.5. Hava Sıcaklığı

Hava sıcaklığı, günlük yağışlara bağlı olarak değişmektedir. Örneğin; kuru bir günden sonra hava sıcaklığı, yağışlı bir günden sonraki hava sıcaklığından daha yüksek olmaktadır (Lane ve Nearing, 1989). WEPP model aşağıda verilen formülü kullanarak maksimum ve minimum hava sıcaklığını tahmin etmektedir.

$$T_{\max} = T_{mx} + (ST_{mx})(v)(B) \quad (\text{Eşitlik 4})$$

$$T_{\min} = T_{mn} + (ST_{mn})(v)(B) \quad (\text{Eşitlik 5})$$

T_{\max} ve T_{\min} ; maksimum ve minimum hava sıcaklığı, T_{mx} ve T_{mn} ortalama günlük maksimum ve minimum sıcaklık ile ST_{mx} ve ST_{mn} bir ay içinde maksimum ve minimum sıcaklıkların standart sapması, v= standart normal sapma, B ise ıslak-kuru gün olma ihtimaline dayalı ağırlık formülüdür.

Aylık B değerleri aşağıda verilen formül ile bulunmaktadır.

$$B(W/D)=1-\frac{P(W/D)}{PF} \quad (\text{Eşitlik 6})$$

$$B(W/D)=1-\frac{P(W/D)}{PF}$$

$$B(W/D)=1-\frac{P(W/D)}{PF}$$

$$B(W/D)=1-\frac{P(W/D)}{PF}$$

Burada; P(W/D) bir kuru günden sonra ıslak gün olma ihtimali ve P(W/W) ise bir yağışlı günden sonra yağışlı olma ihtimalidir.

$$PF= P(W/D)*(1-P(W/D))+P(W/W)*(1-P(W/W)) \quad (\text{Eşitlik 7})$$

3.2.6.1.6. Solar Radyasyon

Günlük solar radyasyon değerleri tıpkı sıcaklıkta olduğu gibi bir ay içerisinde normal dağılım gösteren değerlerden hesaplanmaktadır (Lane ve Nearing, 1989):

$$RA=(R_{am})+(U_{ra})*(x)*(B) \quad (\text{Eşitlik 8})$$

Burada; RA oluşturulan günlük solar radyasyondur, R_{am} ortalama aylık solar radyasyon, U_{ra} ise günlük solar radyasyonun steart sapması ve x steart normal dağılımdır.

3.2.6.1.7. Çiğ Düşme Noktası

Günlük nem içeriği kullanılarak hesaplanmaktadır (Lane ve Nearing, 1989).

3.2.6.2. Şev Dosyası

Bir yamaç profili, yamacın tepesinden başlayarak uzunluğu ve eğimi ile tanımlanmaktadır. Segmentlerin son bulunduğu yerde meydana gelen değişikliklere göre yamaç segmentlere ayrılmaktadır. Örneğin, tipik bir 'S' profilinde üç farklı alan söz konusudur; birincisi, yamacın en üst kısmında düz alan, ikincisi ortada daha eğimli bir alan, son olarak yamacın topuk kısmında tamamen düzlükten oluşan bir bölge bulunmaktadır. Birikmenin başladığı yer, şevin uzunluğunun bittiği yer olarak kabul edilmemelidir. Şevin uzunluğu belirlenirken mutlaka arazi, yoğun akış kanalları, çim

yolları ya da terasların son bulunduğu yer dikkate alınmalıdır. Ayrışmanın sona erdiği ve birikmenin başladığı noktalar model tarafında hesaplanmakta ve çıktı olarak verilmektedir.

Şev dosyası her zaman 6 satırdan oluşmaktadır. İlk satırda yüzey akış elementlerinin sayısı verilmektedir. *Yüzey akış elementi*; yamaç profilinin ürün, amenajman ve toprak özellikleri bakımından homojen olan bölümü olarak tanımlanmaktadır. Kullanıcı, modelin güvenilirliğini artırmak isterse yüzey akış elementlerinin sayısını artırabilmektedir. Örneğin; eğer toprak özellikleri şevin aşağı kısımlarına doğru değişmiyorsa, erozyonun tahmin etmek için yüzey akış elementinin sayısını artırmaya gerek yoktur.

İlk satırda yüzey akış elementleri verilmektedir. İkinci satır arazinin yönünü ve genişliğini göstermektedir. Doğudan görünüşü 90° ve kuzeyden görünüşü ise 360° ile başlaması gerekmektedir. Bu bilgi rüzgardan dolayı gerçekleşen kar erimesinin hesaplanmasında gerekmektedir. Üçüncü satırda ise, yamacın en üst kısmının şekli verilmektedir. Eğer yamacın üst kısmı yuvarlak ise 0 alınır ve üçüncü satıra '0' yazılır. Eğer 0 değilse '1' yazılır. Dördüncü satıra ise, kullanıcı tarafından belirlenen segmentlerin sayısı yazılmaktadır. Beşinci satır ise, şevin uzunluğu ve eğimini göstermektedir. Bu özellikler ayrıca dördüncü satırda verilen segmentler ile uyumlu olmalıdır. Örneğin; dördüncü satır 6 adet segmentten oluşuyorsa, beşinci satırda 12 tane özellik verilmesi gerekmektedir. Altıncı satır ise, yüzey akış elementinin uzunluğunu göstermektedir. Buradaki değerler toplamı, birinci satırda verilen yüzey akış elementlerinin uzunlukları toplamına eşit olmak zorundadır. Yamaç üzerinde bulunan segmentler, yüzey akış elementi içerisinde olmak zorunda değildir.

3.2.6.3. Toprak Dosyası

Toprak profil özelliklerinin verildiği dosyadır. Toprak dosyasının ikinci satırında toprak ile ilgili özellikler verilmektedir.

3.2.6.4. Amenajman Dosyası

Arazi kullanımı, toprak işleme ilgili bilgilerin verildiği dosyadır. Tarım arazilerinde ekim ve dikim tarihleri, hasat ve toprağın sürüm tarihleri ile sulama tarihleri modele

girilmesi gereken parametrelerdir. Mera alanlarında ise, mera bitkilerinin boyları, kapalılık oranı, otlanıp otlanamadığı veya hangi tarihlerde otlatıldığı giriş dosyasında belirlenmektedir. Orman alanlarında, bitki örtüsünün kapalılığı, ölü örtü, ağaçların yaşları ve benzeri parametreler dikkate alınmaktadır.

Veri giriş dosyalarının modelde çalıştırılabilmesi için, modele yeni istasyon yüklemesi yapılması gerekmektedir. Şematik olarak Ek.1’de verilmiştir.

3.2.7. WEPP Çıktı Tipleri

Genel olarak WEPP modele giriş dosyaları ile verileri girdikten sonra yamaç arazisinde meydana gelen toprak kayıpları ve yüzey akışını tahmin etmek ve bilgisayar ekranından modelin çıktı görüntüleri elde edilmektedir. Modelin çalıştırılması Ek. 2’de şematik olarak verilmiştir.

3.2.7.1. CLIGEN ile Yağış Verilerinin Oluşturulması

K, C ve P parsellerinde 1975-1995 yılları arasındaki iklim verileri kullanılarak CLIGEN ara yüzü ile iklim verileri simüle edilmiştir. Yağış verileri, Kolmogorov-Smirnov testi ile normal dağılım gösterip göstermedikleri kontrol edilmiştir. Normal dağılım gösteren yağış verileri aynen, normal dağılım göstermeyen veriler ise logaritmik dönüşüm yapılarak hesaplamada kullanılmıştır. CLIGEN uzun süreli günlük yağış, maksimum ve minimum sıcaklık, solar radyasyon, çığ düşme noktası, rüzgar şiddeti ve yönü gibi iklim parametrelerini kullanmak suretiyle, çalışma alanına ait iklim verilerini tahmin eden bir iklim modelidir (Yu, 2005; Kou, 2007; Min ve ark., 2011; Caviglione ve ark., 2013). CLIGEN, yağışlı günleri esas alarak simülasyon yapmaktadır. Ay içerisindeki yağışlı ve kuru günleri belirlemek için değişim katsayısı kullanılmıştır. Her aya ait değişim katsayısından miktar olarak küçük yağışlı günler KURU; yüksek yağışlı günler ise ISLAK gün olarak kabul edilmiştir (Tammets, 2010). İki durumlu Markov zinciri, ıslak günden sonra ıslak bir gün (W/W) ve ıslak günden sonra kuru bir gün (W/D) dönüşüm ihtimalini göz önünde bulundurarak yağışlı günleri belirlemektedir. Gözlenen kuru yağış verileri yıllık toplam yağış içerisinde kullanılmamıştır. Ay içerisindeki günlük yağış verilerinin ortalama, steart sapma ve çarpıklık katsayı hesaplanmıştır. Yağışın olasılık hesabında kullanılmak üzere eşik değer olarak kabul edilen alt sınır

(Xo) değeri hesaplanmıştır (Eşitlik 1). Elde edilen eşik değer, gözlenen yağış verilerinden çıkarılarak yeni bir değer elde edilmiştir. Bulunan değer doğal logaritması alınmıştır. Yağış hesaplamasında 0-1 arasında değişen random değişkenler, GAMMA DAĞILIMI kullanılarak hesaplanmıştır. Eşitlik 2’de yerine konularak yağış simülasyonu yapılmıştır. Yağışın şiddeti, pik zamanı ve yağış süresi simülasyonun en önemli parametreleridir. WEPP modelde, yağışın özelliğini tanımlamak için bu üç parametre özellikle hesaplanmaktadır (Yu, 2000). Yağış süresi standart exponential dağılım kullanılarak hesaplanmıştır. Normalleştirilmiş pik şiddeti (I_p), yağışın maksimum şiddeti ile ortalama yağış arasındaki ilişkiyi sunmaktadır. Birimsizdir ve her zaman 1’den büyük değer almaktadır. Yağışın başladığı ve pik yaptığı zaman aralığını ifade etmektedir (Yu, 2003). Yamaç arazisinin şekline ve yüzey akışın pik oranına bağlı olarak değişmektedir. Yağışın ilk başları, hafif yağışlar olarak kabul edilmektedir. Toprağın infiltrasyon kapasitesi oldukça yüksektir ve su depoları maksimum su tutmaktadır. Yüzey akış daha az miktarda meydana gelmektedir. Yağışın sonları ise ağır yağışlardır. Bu yağışların sonunda yüksek pik değerleri elde edilmektedir. CLIGEN, Soil Conservation Service (SCS) tarafından tanımlanan 4 sınıf yağış dağılımını kullanmaktadır (Şekil X). Yağış sınıfı tanımlanmadığında, CLIGEN pik şiddeti (I_p) ve pik zamanı (T_p) simüle etmemektedir. Çalışmada kullanılan yağış verileri 24 saatlik zaman aralığının ortalarında 30 dak. zaman diliminde pik değerine ulaşmaktadır. Bu yüzden Type 2 dağılım göstermektedir. 30 dak. ve 6 saatte bir maksimum yağış birikimi meydana gelmektedir. T_p değeri, 30 dak. yağış dağılımının kümülatif toplamı kullanılarak 12 ay için ayrı ayrı hesaplanmaktadır. I_p ve T_p değerleri Eşitlik X ve X göre hesaplanmıştır. TOKAT.par dosyasında kullanılan T_p değerleri, gözlenen 30 dak. yağışlardan hesaplanmıştır. TP 5 değeri gözlenen yağış verilerinin 30 dak. şiddetine göre, TP6 değeri ise simüle edilen yağış verileri kullanılarak hesaplanmıştır.

Maksimum ve minimum sıcaklıklar eşitlik 4 ve 5 kullanılarak hesaplanmıştır. Tahmin edilen sıcaklık verilerinin ortalama ve stveart sapmaları belirlenmiştir.

Solar radyasyon eşitlik 8’e göre belirlenmiştir. Ortalama günlük solar radyasyon ve stveart sapma değerleri hesaplanmıştır.

Rüzgarın şiddetini hesaplamak için EPIC model kullanılmıştır. 16 rüzgar yönü ayrı ayrı olarak belirlenmiştir. Her bir rüzgar yönüne ait şiddet %, ortalama ve stveart sapma

hesaplanmıştır. Rüzgarın şiddeti modele girilen parametreler arasında en önemsiz olanıdır. Kar birikimi ve erimesi hesabında kullanılmaktadır. Yağış ve sıcaklık, toprak kaybı ve yüzey akış tahminin kullanılan en önemli parametrelerdir.

Gözlemlenen veriler kullanılarak hesaplanan tahmini değerlerin ortalama, standart sapma ve çarpıklıkları belirlenmiş ve modelin istasyon yüklemesinin yapılması için gerekli olan 'par' dosyası oluşturulmuştur. Par dosyasında yer alan yağış inch olarak ve maksimum ve minimum sıcaklık ile dew point Fahrenheit birimleri kullanılarak hesaplama yapılmıştır. Hazırlanan CLIGEN.cli.txt (Şekil 3.7) ve CLIGEN.par dosyası, WEPP 2012,8 versiyonunda kullanılarak yağış simülasyonu yapılmıştır.

Çalışmada yamaç arazisinde oluşacak toprak kayıpları ve sediment miktarları Water Erosion Prediction Project (WEPP) modeli ile tahmin edilmiş ve elde edilen veriler USLE çalışması kapsamında gözlemlenen gerçek sediment miktarlarıyla karşılaştırılmıştır.

| Dosya | Düzen | Biçim | Görünüm | Yardım | | | | | | | | |
|---|-----------|---------------|------------|--|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 4.30 | | | | | | | | | | | | |
| 1 0 0 | | | | | | | | | | | | |
| Station: TOKAT | | | | | | | | | | | | |
| CLIGEN VERSION 4.3 | | | | | | | | | | | | |
| Latitude | Longitude | Elevation (m) | Obs. Years | Beginning year Years simulated | | | | | | | | |
| 40.18 | 36.34 | 585 | 21 | 1 21 | | | | | | | | |
| Observed monthly ave max temperature (C) | | | | | | | | | | | | |
| 6.1 | 8.0 | 13.3 | 19.8 | 23.4 26.8 28.9 29.4 26.9 20.7 13.1 7.6 | | | | | | | | |
| Observed monthly ave min temperature (C) | | | | | | | | | | | | |
| -3.1 | -2.7 | 0.6 | 5.3 | 8.3 10.7 12.9 12.3 9.2 5.1 1.2 -1.3 | | | | | | | | |
| Observed monthly ave solar radiation (Langleys/day) | | | | | | | | | | | | |
| 115.4 | 174.6 | 258.5 | 334.1 | 415.3 469.0 444.7 413.6 337.6 220.7 147.3 92.9 | | | | | | | | |
| Observed monthly ave precipitation (mm) | | | | | | | | | | | | |
| 136.2 | 102.2 | 107.2 | 140.2 | 141.0 127.9 28.6 29.5 30.3 108.9 131.2 123.9 | | | | | | | | |
| da | mo | year | prcp | dur | tp | ip | tmax | tmin | rad | w-vl | w-dir | tdew |
| | | | (mm) | (h) | | | (C) | (C) | (l/d) | (m/s) | (Deg) | (C) |
| 1 | 1 | 1975 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.38 | -4.90 | 76. | 2.35 | 90. | -3.09 |
| 2 | 1 | 1975 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 10.02 | 1.09 | 80. | 3.77 | 42. | -1.74 |
| 3 | 1 | 1975 | 3.14 | 3.60 | 0.39 | 2.24 | 8.29 | 2.00 | 52. | 1.45 | 154. | 0.65 |
| 4 | 1 | 1975 | 2.49 | 3.16 | 0.47 | 1.96 | 4.75 | 0.36 | 127. | 0.52 | 117. | -2.26 |
| 5 | 1 | 1975 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 7.11 | 0.54 | 163. | 2.05 | 210. | -1.35 |
| 6 | 1 | 1975 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.93 | -1.54 | 155. | 0.62 | 124. | -4.00 |
| 7 | 1 | 1975 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.83 | -1.36 | 170. | 0.15 | 79. | -3.47 |
| 8 | 1 | 1975 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 9.56 | -2.00 | 163. | 1.52 | 195. | -1.32 |
| 9 | 1 | 1975 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 11.56 | 5.99 | 94. | 5.04 | 132. | -0.77 |
| 10 | 1 | 1975 | 2.49 | 3.16 | 0.47 | 1.96 | 10.29 | -0.09 | 43. | 4.09 | 117. | -2.36 |
| 11 | 1 | 1975 | 3.30 | 3.70 | 0.38 | 2.29 | 2.30 | -1.82 | 159. | 1.45 | 192. | -5.45 |
| 12 | 1 | 1975 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.84 | -7.63 | 191. | 0.00 | 135. | -7.74 |

Şekil 3.7. Orta Karadeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma İstasyonu 1975-1995 yıllarına ait WEPP Model Çıktısı

3.2.7.2. Şev Dosyası

Çalışmada tek bir over flow element (OFE) yani bir yamaç arazisi toprakları üzerinde çalışılmıştır. Çalışma alanının büyüklüğü 66 m² olup, uzunluğu 22 m ve eğimi ise %9'dur.

3.2.7.3. Toprak Dosyası

Arazide ve laboratuvar analizleri sonucu ortaya konulan toprak özelliklerine göre toprak tekstürü (kum ve kil), organik madde içeriği, kation değişim kapasitesi, hacim ağırlığı değerlerine göre oluşturulmuştur (Çizelge 3.6). Toprağın hidrolik iletkenliği anahtar parametrelerden birisidir. Aşağıda verilen denklemler kullanılarak hidrolik iletkenlik hesaplanmıştır.

$$\text{Critical Shear} = 2.76 + 6.5 * \text{clay} - 5.8 * \text{vfs} \quad (\text{Eşitlik 9})$$

Burada;

vfs=Çok ince kum

Kum içeriği >%30 ise;

$$\text{Krb (Rill erozyon)} = 0.00197 + 0.030 * \text{vfs} + 0.03863e^{-184 * \text{OM}} \quad (\text{Eşitlik 10})$$

Burada; vfs= çok ince kum, OM= Organik madde miktarıdır.

$$\text{Kib (İnterrill erozyon)} = (2.728 * 10^6) + (1.921 * 10^7) * \text{vfs} \quad (\text{Eşitlik 11})$$

$$\text{Kb (Effective H Conductivity)} = -0.265 + 0.0086 (100 * \text{Sve})^{1.8} + 11.46 \text{CEC}^{-0.75}$$

(Eşitlik 12)

Denklemdaki; Sve= toprak tekstüründeki % kum içeriğidir. CEC= KDK kation değişim kapasitesi olup her zaman 1 meq/100 g fazla olması tercih edilmektedir.

Çizelge 3.6. WEPP Model Toprak Dosyası

| | | | | | | |
|--|---------|--------|--------|-------|-----------------------|--------|
| 97,5 | | | | | | |
| # Created by S DEMİR. Wed Dec 02 02:26:05 PM 2015 | | | | | | |
| Any comments: Orta Karadeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma İstasyonu Müdürlüğü | | | | | | |
| 1 1 | | | | | | |
| 'TOKATK' | 'L' | 3 | 0,23 | 0,75 | 3.06e+008 0.4211 1.42 | 2,6 |
| | 260.000 | 39.800 | 33.500 | 2.200 | 18.100 | 5.200 |
| | 650.000 | 33.500 | 33.500 | 1.280 | 18.600 | 6.200 |
| | 810.000 | 33.500 | 25.100 | 0.990 | 16.900 | 25.400 |
| 128 255 192 | | | | | | |

3.2.7.4. Amenajman Dosyası

Bitki gelişim parametreleri, ölü örtü ayrışma parametreleri, sürüm işlemleri ve günlük işlemlerin tarihleri amenajman dosyasını oluşturmaktadır. Gözlenen veriler, farklı toprak işleminin yapıldığı K, P ve C parsellerinden elde edilmiştir.

3.2.7.4.1. K ve P Parseli

Universal denklemin toprağın erozyona duyarlılığı (K) faktörü ile toprak koruma tedbirleri (P) faktörünün araştırıldığı parsellerde hiç bitki bulundurulmayarak, parsellerin devamlı olarak çıplak bırakılmasına özen gösterilmiştir. Parsellerde toprak işleme bel ile yapılmıştır. Belleme işlemi parsel aşağısından başlanarak, sürüm derinliğinde (15-18 cm) yapılmış ve toprak olduğu yerde alt üst edilmiştir. Belleme işleminden sonra parsel aşağısından yukarıya doğru bir tırmık çekilerek sürüm karıkları K parselinde aşağıdan yukarıya doğru, P parselinde ise eğime dik olaral el markörü ile 18-20 cm aralıklarla ve 8-10 cm derinliğinde açılmıştır.

USLE model K ve P parselinde, toprak işleme ve sürüm karıkları el işçiliğiyle yapıldığı için gerçek tarla koşulları karşılığı olmak üzere pulluk ve kazayağı kültüvator aletleri model seçenekleri içerisinde en uygunu olarak kabul edilmiştir. Model bilgi ekranına yönetim uygulamaları gerçek koşullar dikkate alınarak girilmiştir. Başlangıç koşulları olarak 1/1/1 tarihi nadas koşulda seçilmiş ve tarımsal uygulamalar ise su yılı esaslı olarak ekim ayında başlatılmıştır. Önce gerçek arazi uygulaması olan bel ile toprağın alt üst edilmesi modele pullukla toprak işleme olarak 10/1/1 olarak girilmiştir. Gerçek arazi koşullarında bel ile toprağın alt üst edilmesini takiben kazayağı uçlara sahip el ile çekilen el markörünü simüle etmek üzere model bilgi ekranına “kazayağı kültüvator”

işlem olarak girilmiştir. Aynı dönem için uygulamada yapılan eğime dik sürümü, model ekranına “konturlama” olarak tanımlama yapılmıştır.

Gerçek arazi koşullarında su yılı başında yapılan ilk toprak işleme uygulamasını müteakip mayıs ve haziran aylarında yukarıda özetlenen işlemler tekrarlandığı için model bilgi ekranı yönetim editörüne aynen girilmiştir.

3.2.7.4.2. C Parseli

Tokat yöresinde taban alanlar dışında meyilli tarım arazilerinde buğday-baklagil (nohut, mercimek gibi) ekim nöbeti uygulanmaktadır. Ancak keten bitkisinin Tokat'ta yaygınlığı dikkate alınarak deneme başlangıcında buğday- keten- mercimek üçlü nöbeti uygulanmış daha sonra ise keten alanlarının daralması dikkate alınarak buğday-tütün-mercimek üçlü ekim nöbetine devam edilmiştir. C faktörü her bitki için ayrı ayrı uygulandıkları her yıl için tespit edilmiştir.

C faktörü, devamlı işlenen nadas parseli olup bitki örtüsü altında meydana gelen toprak kayıpları ve yüzey akış tahmin edilmiştir. Bel ile toprak işlenmesi yapılmıştır. Toprak işlemenin hemen sonrasında bir el markörü yardımıyla eğim yönünde olmak üzere 18-20 cm aralık ve 8-10 cm derinlikte sürüm karıkları oluşturulmuştur. Eğim yönünde açılan çizgilere mercimek ekimi yapılmıştır. Ekimden önce 3-4 mm derinliğe fosforlu gübre, ekimden sonra ise yüzey esas alınarak azotlu gübre uygulanmıştır. Ot mücadelesinin ardından mercimek bitkisi hasat edilmiştir.

3.2.8. USLE ile Sediment Miktarının Hesaplanması

Yağışlara bağlı olarak bir tarım arazisinden yüzey veya oluk (parmak) erozyonuyla kaybolabilecek toprak miktarını tahminde kullanılan Ünlversal Denklem eşitlik (Wischmeier ve Smith, 1978);

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (\text{Eşitlik 12})$$

biçiminde gösterilmektedir. Bu eşitlikte;

A: Bir tarım arazisinden oluşması muhtemel toprak kaybı,(ton ha⁻¹yr⁻¹)

R: Yağış erozyon indisi (MJ)

K: Toprakların erozyona duyarlılık faktörü, (t ha saat ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹)

L: Eğim uzunluğu faktörü (m)

S: Eğim derecesi faktörü (%)

C: Bitki yönetim faktörü (

P: Toprak muhafaza tedbirleri faktörü

Oğuz ve ark. (2006) tarafından yapılan ‘Türkiye Universal Denklem Toprak Kaybı Eşitliği Rehberi’ isimli çalışmadaki K,R,P ve C faktör değerleri kullanılarak muhtemel toprak kaybı değeri hesaplanmıştır. L faktörü, eğimin başladığı noktadan sediment birikiminin meydana geldiği noktaya kadar olan düşey mesafe veya yüzey akışın belirli bir yatağa veya mecraya ulaştığı nokta arasındaki mesafedir. Araştırmada eğim uzunluğu faktörü 22.1 m için “1” olarak, S faktörü, %9 eğim için “1” olarak alınmıştır.

3.2.9. Modelin Değerlendirilmesi

Modelin değerlendirme süreçleri simülasyon ve duyarlılık analizleridir. Genellikle WEPP modeli ilk kez kullananlar için, model parametrelerini tahmin etmek oldukça güç olmaktadır. Bu problemin üstesinden gelmek için, bazı önemli parametreler duyarlılık analizi ile tanımlanmakta gözlenen ve simule edilen parametreler arasında bir ilişki kurulabilmektedir.

3.2.9.1. Nash-Sutcliffe Modeli Verim Katsayısı (E_{NS})

Simülasyonların tahmin gücünün değerlendirilmesinde kullanılan etkili bir ölçüm formülüdür (Nash and Sutcliffe, 1970):

$$E_{NS}=1-\frac{\sum(Y-O)^2}{\sum(Y-Q)^2} \quad (\text{Eşitlik 13})$$

Burada, Y ve O gözlenen ve tahmin edilen parametre, Q ise gözlenen parametrelerin aritmetik ortalamasıdır.

Eğer:

$E_{NS} = 1$ ise *Mükemmel uyum*

$E_{NS} = 0$ ise *Gözlenen ortalama yağış doğruluğu kadar iyi ya da kötü uyum*

$E_{NS} < 0$ ise *çok kötü uyum*

3.2.9.2. Ortalama Karekök Hatası (RMSE)

Ortalama karekök hatası (RMSE) kalibrasyon sürecinde kullanılan basit ve etkili bir ölçüm formülüdür. Günlük gözlenen ve simüle edilen miktarların birbirine farkının kareleri toplamının toplam gün sayısına bölümünün karekökü ile elde edilir (Thomann, 1982). İdeal RMSE değeri=0'dır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (\text{Eşitlik 14})$$

Q_i =Simüle edilen parametre değeri

Q_p =Gözlemlenen parametre değeri

3.2.9.3. Standart Hata Katsayısı (SE)

Modelin değerlendirilmesinde bu iki parametrede kullanılmıştır. SE değeri ne kadar küçük ise modelin tahmin etme performansı o kadar yüksek olarak değerlendirilmektedir.

$$SE = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (\text{Eşitlik 15})$$

3.2.9.4. Duyarlılık Analizi

Simüle edilen parametrede, önemli bir değişiklik yaratabilmek için tek bir bağımsız değişkenin değerinde ne kadarlık bir değişiklik yapmak gerektiğini gösteren bir analizdir (McCuen ve Snyder. 1983). Bundan dolayı, duyarlılık analizi modelin değerlendirilmesinde çok önemlidir. Tüm fiziksel süreçlerin çalışma mekanizmasını açıklar ve araştırmalara ışık tutar (Nearing ve ark.. 1990; Mahmoodabadi ve Certa, 2013).

Duyarlılık analizinde kullanılan parametrelerin değerlendirilmesi için aşağıda verilen formül kullanılmıştır.

$$S = [(O_{\text{mak.}} - O_{\text{min.}}) / O_{\text{ort.}}] / [(I_{\text{mak.}} - I_{\text{min.}}) / I_{\text{ort.}}] \quad (\text{Eşitlik 16})$$

$O_{\text{mak.}}$ ve $O_{\text{min.}}$ Simule edilen en küçük ve en büyük değer, $O_{\text{ort.}}$ ise bu değerlerin aritmetik ortalamasıdır.

$I_{\text{mak.}}$ ve $I_{\text{min.}}$ gözlenen en küçük ve en büyük değer olup, I_{ort} ise bu değerlerin ortalamasıdır.

S Duyarlılık parametre katsayısıdır ve gözlemlenen parametrenin modeldeki çıktısına karşılık gelmektedir. Farklı değerlerdeki parametrelerin karşılaştırılması sonucunda elde edilmekte ve doğrusal olmayan bir ilişki sunmaktadır. Gerçek değerden yüksek ya da daha düşük değerler içermektedir (Nearing ve ark., 1990).

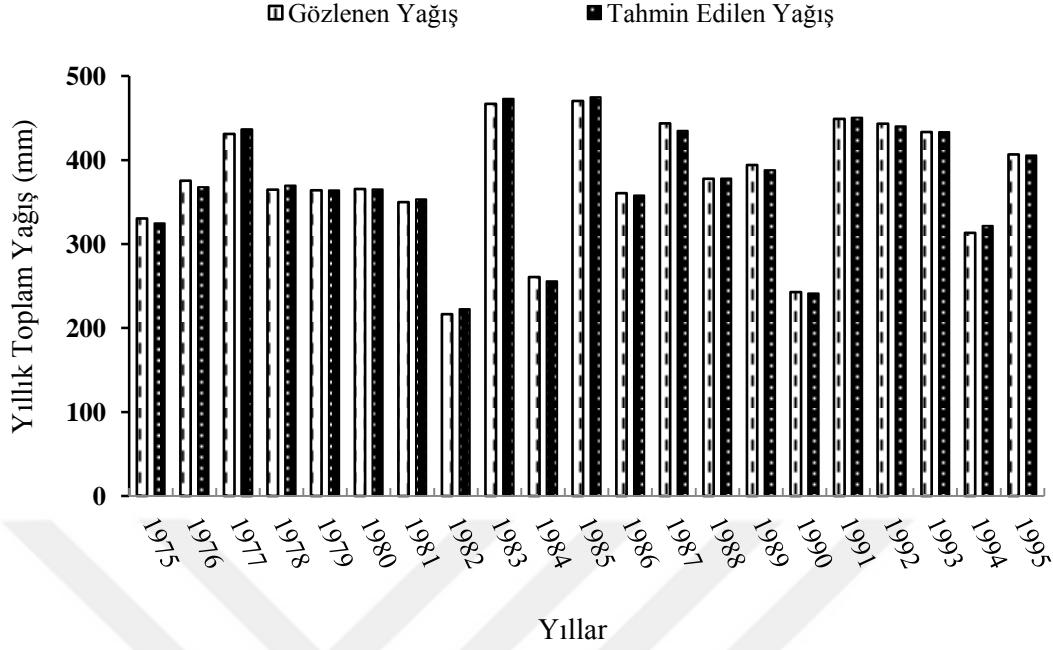
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. CLIGEN İklim Modeli Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4.1.1. Yıllık Toplam Yağışların Değerlendirilmesi

Araştırmanın yürütüldüğü 1975- 1995 yılları arasında gözlenen ve tahmin edilen 21 yıllık yağış toplamları arasındaki ilişki karşılaştırılmış ve bulunan sonuçlar Çizelge 4-1,2 ve 3’de verilmiştir.

Gözlenen 21 yıllık toplam yağış 7861.52 mm ve CLIGEN ile simüle edilen toplam yağış ise 7860.36 mm’dir. CLIGEN 1975-1995 yılları arasında 1975, 1976, 1978, 1984, 1986, 1987, 1989, 1990, 1992 ve 1995 yıllık toplam yağışları gözlenen değerin altında, 1979, 1980 ve 1993 yıllık yağış toplamlarını gözlenen değere eşit ve 1977, 1981, 1982, 1983, 1985, 1988, 1991 ve 1994 yıllık yağış toplamlarını gözlenen değerin üzerinde tahmin etmiştir (Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3) Yıllık toplam yağış verileri arasındaki ilişki (Şekil 4.1) de görüleceği üzere; 1982 yılı, 21 yıllık zaman aralığında en düşük yıllık yağış toplam değerine sahiptir. Simüle edilen yıllık toplam yağış 216.50 mm ve gözlenen ise 222.56 mm olarak belirlenmiştir. 1985 yılında ise, en yüksek yıllık yağış toplam değeri belirlenmiştir. Bu yılda simüle edilen yıllık toplam yağış 470.60 mm ve gözlenen yıllık toplam yağış ise 474.86 mm olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3). Görüleceği üzere 1975-1995 yılları arasındaki gözlenen ve tahmin edilen yıllık toplam yağış değerlerinin birbirine çok yakın seyrettiği belirlenmiştir (Şekil 4.1). Elde edilen bu bulgular, Kou ve ark. (2007) tarafından 1971-2000 yılları arasındaki 30 yıllık yağış verilerini kullanarak yaptıkları çalışmaya uyum göstermiştir.



Şekil 4.1. Gözlenen ve CLIGEN ile simüle edilen yıllık toplam yağış arasındaki ilişki

İklim modellerinde, ekstrem yağışları tanımlamak için eşik değerler kullanılmaktadır (Lobo ve ark., 2015). Bu eşik değerler, çok yüksek ve düşük yağış verilerini dengelemektedir. WEPP Hillslope model de yüksek ve düşük yağışlar, ıslak/kuru gün olarak tanımlanmaktadır (Ascough II ve ark., 2013). Aylık yağış dağılımı arasında denge oluşturmak için çok yüksek yağışlarda %75 ve düşük yağışlarda ise %25 eşik değeri esas alınmaktadır (Karabulut, 2015).

Scheele ve ark. (2001), dağlık alanlarda görülen iklim değişikliğini WEPP ve PRISM model ile değerlendirdikleri çalışmada, ıslak gün olma ihtimalinin tahmin edilmesinin çok önemli olduğu ve WEPP modelin tahmin etme başarısının oldukça yüksek olduğunu ifade etmişlerdir.

Tokat.c1ı. dosyası kullanılarak, WEPP Hillslope model ile yıllık ortalama yağışlar tahmin edilmektedir (Bin ve ark., 2012). Yıl içerisinde yağışlı günlere karşılık gelen değerler yağış simülasyonunda kullanılan en önemli parametrelerdir. Gözlenen ve model ile tahmin edilen yıllık ortalama yağışlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Her yıla ait ortalama, standart sapma, çarpıklık ve t testi belirlenmiştir. Standart sapma değeri, ortalama etrafında serilerin dağılımı hakkında bilgi vermektedir. Değer büyüdükçe veriler ortalamadan uzak, küçüldükçe ortalamaya yakın bir dağılım

göstermektedir. Çarpıklık, verilerin normal dağılım gösterip göstermediğini açıklayan bir istatistiksel analizdir (Basinger ve ark. 2010; Turan, 2011). Gözlenen ve tahmin edilen yıllık ortalama yağışların birbirinden farklı olup olmadığını analiz etmek için t-testi yapılmıştır.

1975-1995 yılları arasındaki gözlenen toplam yıllık yağışların ortalaması 374.36 mm/21yıl olup, simülasyon sonucunda ise 375.88 mm/21yıl olarak tahmin edilmiştir (Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3). 21 yıllık zaman periyodunda gözlenen yıllık ortalama yağış verileri 3.86 mm ile 2.46 mm aralığında değişirken; tahmin edilen yıllık ortalama yağış verileri ise 3.63 mm ile 2.13 mm arasında değerler almaktadır (Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3). Gözlenen yıllık ortalama yağış verilerinin standart sapma değerleri ise 0.34 mm ve 1.60 mm arasında olup; tahmin edilen yıllık ortalama yağış verilerinin standart sapma değerleri 0.57 mm ile 1.54 mm olup, veriler arasındaki nisbi hata 0.39 ile 0.01 aralığında yer almaktadır (Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3). Tahmin edilen değerlerin standart sapması, gözlenen değerlerden daha düşük çıkmıştır. Bu durum, gözlenen günlük yağış verilerinin oldukça değişken olmasından kaynaklanmaktadır.

Vaghefi ve Yu (2011) 3 mevsimde iklimsel değişikliklerin etkisini CLIGEN kullanarak araştırdıkları çalışmada, tahmin edilen değerlerin standart sapmalarının gözlenen değerden daha düşük çıktığını belirlemiştir. Bulunan bu sonuçlar, bizim çalışmamızda elde edilen bulguları desteklemektedir.

Yıllık yağış verilerinin normal dağılım gösterip göstermedikleri Kolmo_S testi ile belirlenmiştir. 1975-1995 yılları arasında 1977, 1980, 1985, 1989, 1991 ve 1994 yıllarına ait yıllık yağış verileri normal dağılım göstermezken; diğer yıllar normal dağılım göstermektedir. 21 yıllık gözlenen yağış verileri normal dağılım göstermektedir (Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3).

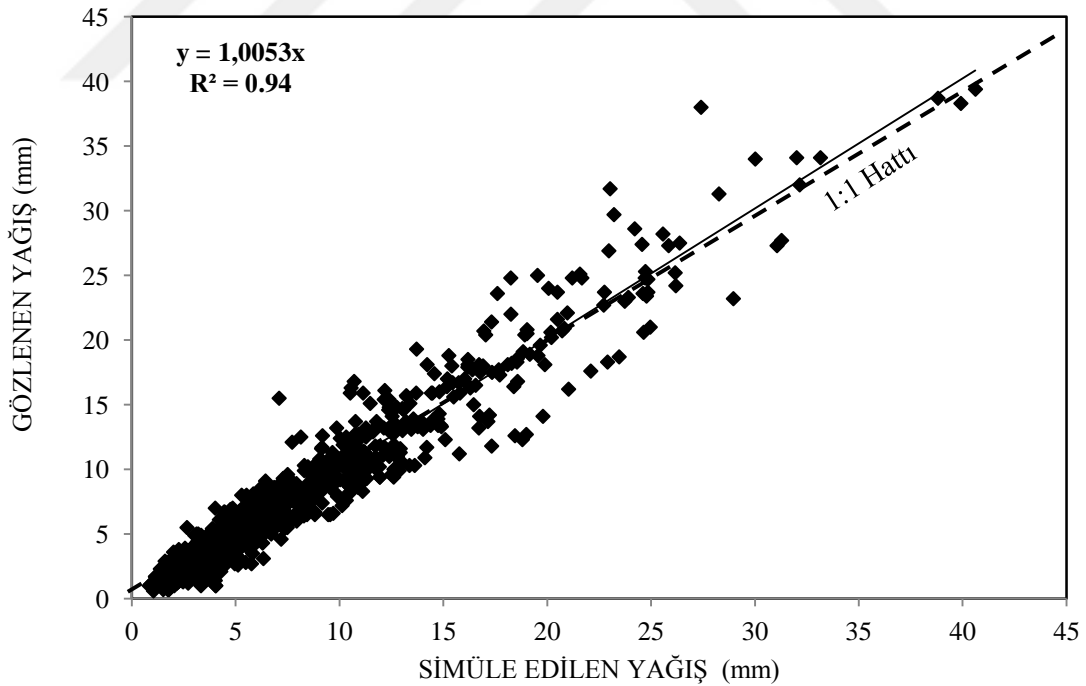
En yüksek korelasyon katsayısı 1988 yılı için $r=0.88$, en düşük korelasyon katsayısı ise 1995 yılında $r=0.14$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3).

Gözlenen ve tahmin edilen yıllık yağış verileri arasındaki ilişki grafiksel olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4.2). Tanımlama katsayısı $R^2:0.94$ olarak belirlenmiştir. Veriler 1:1 hattının altında ve üstünde üniform olarak dağılım göstermektedir. Bu

durum, gözlenen ve tahmin edilen yıllık ortalama yağış verilerinin birbirine yakın değerler olduğunu göstermektedir.

Chen ve ark. (2009) tarafından Amerika Birleşik Devletinde yapılan çalışmada, iklim verileri CLIGEN v5-22564 versiyonu ile MARE kullanılarak karşılaştırılmıştır. çalışmanın sonucunda, CLIGEN ile tahmin edilen yıllık ortalama yağış dağılımının gözlenen değerlere çok yakın olduğunu belirtmişlerdir.

Caviglione ve ark. (2013) Parana Tarımsal Araştırma Enstitüsünde 1975-2009 yılları arasındaki iklim verilerini kullanarak CLIGEN ile yıllık yağışların simülasyonunu yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda, gözlenen ve tahmin edilen değerler birbirine çok yakın çıkmıştır. Amorim ve ark. (2010), Brezilya'da gözlenen yağış verilerini CLIGEN 4.3 versiyonunda hazırlamışlar ve elde edilen sonuçları USLE, RUSLE, WEPP model ile karşılaştırmışlardır. 3 erozyon modeli içerisinde en yüksek performansı WEPP model göstermiştir.



Şekil 4.2. Simüle edilen ve gözlenen yağış arasındaki ilişki

Çizelge 4.1. Gözlenen ve CLIGEN ile simüle edilen yıllık yağışların tanıtıcı istatistiksel analizleri (1.)

| YILLAR | ÖZELLİKLER | TOPLAM | ORTALAMA | STANDART SAPMA | ÇARPIKLIK | t | K-S | r |
|--------|---------------|--------|----------|----------------|-----------|------|-------|------|
| 1975 | CLIGEN (mm) | 330.7 | 2.68 | 079 | 0.33 | 0.00 | 0.200 | 0.88 |
| | GÖZLENEN (mm) | 324.9 | 2.60 | 0.90 | 0.43 | | 0.200 | |
| 1976 | CLIGEN (mm) | 399.2 | 2.37 | 0.70 | 0.10 | 0.33 | 0.162 | 0.77 |
| | GÖZLENEN (mm) | 381.66 | 2.20 | 1.06 | 0.29 | | 0.200 | |
| 1977 | CLIGEN (mm) | 431 | 2.86 | 0.88 | 0.58 | 0.00 | 0.07 | 0.61 |
| | GÖZLENEN (mm) | 436.49 | 2.91 | 0.92 | 0.45 | | 0.200 | |
| 1978 | CLIGEN (mm) | 364.7 | 3.10 | 1.22 | 0.71 | 0.14 | 0.05 | 0.60 |
| | GÖZLENEN (mm) | 362.56 | 2.78 | 0.87 | 0.07 | | 0.18 | |
| 1979 | CLIGEN (mm) | 364.22 | 3.15 | 1.14 | 0.49 | 0.08 | 0.130 | 0.70 |
| | GÖZLENEN (mm) | 364.22 | 2.84 | 1.11 | 0.12 | | 0.200 | |
| 1980 | CLIGEN (mm) | 365.6 | 3.04 | 0.79 | 1.40 | | 0.00 | 0.73 |
| | GÖZLENEN (mm) | 365.27 | 2.75 | 1.11 | 0.70 | | 0.200 | |
| 1981 | CLIGEN (mm) | 349.9 | 3.40 | 0.87 | 0.89 | 0.24 | 0.200 | 0.85 |
| | GÖZLENEN (mm) | 350.56 | 3.24 | 1.41 | 1.17 | | 0.05 | |

Çizelge 4.2. Gözlenen ve CLIGEN ile simüle edilen yıllık yağışların tanıtıcı istatistiksel analizleri (2.)

| YILLAR | ÖZELLİKLER | TOPLAM | ORTALAMA | STANDART SAPMA | ÇARPIKLIK | t | K-S | r |
|--------|---------------|--------|----------|----------------|-----------|------|-------|------|
| 1982 | CLIGEN (mm) | 216.5 | 3.14 | 0.88 | 1.51 | 0.90 | 0.110 | 0.80 |
| | GÖZLENEN (mm) | 222.56 | 2.93 | 0.91 | 0.90 | | 0.200 | |
| 1983 | CLIGEN (mm) | 466.9 | 2.82 | 0.78 | 0.59 | 0.88 | 0.200 | 0.66 |
| | GÖZLENEN (mm) | 473.04 | 2.84 | 1.24 | 0.29 | | 0.200 | |
| 1984 | CLIGEN (mm) | 260.9 | 2.99 | 1.03 | 0.20 | 0.17 | 0.200 | 0.68 |
| | GÖZLENEN (mm) | 255.98 | 2.70 | 0.92 | 0.34 | | 0.200 | |
| 1985 | CLIGEN (mm) | 470.6 | 3.17 | 0.95 | 0.53 | | 0.00 | 0.73 |
| | GÖZLENEN (mm) | 474.86 | 2.73 | 0.99 | 0.79 | | 0.200 | |
| 1986 | CLIGEN (mm) | 360.5 | 3.23 | 1.26 | 0.16 | 0.28 | 0.100 | 0.84 |
| | GÖZLENEN (mm) | 357.81 | 3.05 | 1.00 | 0.28 | | 0.200 | |
| 1987 | CLIGEN (mm) | 443.7 | 3.06 | 0.66 | 0.98 | 0.15 | 0.200 | 0.59 |
| | GÖZLENEN (mm) | 434.87 | 2.99 | 0.92 | 0.45 | | 0.157 | |
| 1988 | CLIGEN (mm) | 377.9 | 3.63 | 1.54 | 1.43 | 0.12 | 0.200 | 0.85 |
| | GÖZLENEN (mm) | 378.25 | 3.86 | 1.63 | 1.38 | | 0.118 | |

Çizelge 4.3. Gözlenen ve CLIGEN ile simüle edilen yıllık yağışların tanıtıcı istatistiksel analizleri (3.)

| YILLAR | ÖZELLİKLER | TOPLAM | ORTALAMA | STANDART SAPMA | ÇARPIKLIK | t | K-S | r |
|--------|---------------|--------|----------|----------------|-----------|------|-------|------|
| 1989 | CLIGEN (mm) | 394.2 | 3.27 | 1.28 | 0.96 | | 0.00 | 0.69 |
| | GÖZLENEN (mm) | 388.08 | 2.81 | 1.19 | 0.30 | | 0.200 | |
| 1990 | CLIGEN (mm) | 243 | 2.82 | 0.69 | 0.43 | 0.17 | 0.200 | 0.80 |
| | GÖZLENEN (mm) | 241.21 | 2.64 | 1.02 | 0.85 | | 0.200 | |
| 1991 | CLIGEN (mm) | 449.2 | 3.24 | 0.79 | 0.67 | | 0.02 | 0.48 |
| | GÖZLENEN (mm) | 450.44 | 2.95 | 0.34 | 0.53 | | 0.200 | |
| 1992 | CLIGEN (mm) | 443.3 | 2.13 | 0.63 | 0.18 | 0.20 | 0.200 | 0.75 |
| | GÖZLENEN (mm) | 440.15 | 2.52 | 0.70 | 0.04 | | 0.200 | |
| 1993 | CLIGEN (mm) | 433.3 | 3.21 | 0.57 | 0.54 | 0.21 | 0.150 | 0.80 |
| | GÖZLENEN (mm) | 433.48 | 3.07 | 0.92 | 0.49 | | 0.140 | |
| 1994 | CLIGEN (mm) | 313.3 | 3.27 | 0.97 | 0.04 | | | 0.26 |
| | GÖZLENEN (mm) | 321.77 | 2.54 | 0.80 | 0.02 | | | |
| 1995 | CLIGEN (mm) | 406.7 | 2.87 | 0.89 | 1.74 | 0.09 | 0.200 | 0.14 |
| | GÖZLENEN (mm) | 405.76 | 2.46 | 0.69 | 0.41 | | 0.200 | |

4.1.2. Aylık Yağışların Değerlendirilmesi

WEPP Hillslope model ile araştırma alanına ait ıslak gün olma ihtimalleri hesaplanmış ve bulunan sonuçlar Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Orta Karadeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğünün 1975-1995 yılları arasındaki aylık ortalama ıslak gün sayıları 1.31 ile 7.11 mm arasında tahmin edilmiştir. Gözlenen değerleri ise 1.17 ile 6.96 mm arasında yer almaktadır. Ocak, Haziran, Temmuz ve Eylül ayları için WEPP Hillslope model, aylık ortalama ıslak gün sayısını gözlenen değer üzerinde tahmin etmiştir. Şubat, Nisan Mayıs ve Ekim aylarında gözlenen ortalama ıslak gün sayılarını gözlenen değer altında tahmin ederken; Mart ve Aralık aylarındaki ortalama ıslak gün sayısı ise gözlenen değere yakındır. Kasım ayından Mart ayına kadar görülen aylık ıslak gün sayısı, Nisan ve Eylül ayından daha fazladır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. 1975-1995 Aylık yağışlı gün sayısı ortalaması

| Yağış (mm) | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık |
|------------|------|-------|------|-------|-------|---------|--------|---------|-------|------|-------|--------|
| G | 6.91 | 4.85 | 4.90 | 6.70 | 6.99 | 5.87 | 1.17 | | 0.81 | 5.91 | 6.96 | 5.96 |
| W | 6.94 | 4.72 | 4.90 | 6.68 | 6.84 | 6.09 | 1.31 | | 1.19 | 5.74 | 7.11 | 5.95 |

Türkiye, kurak ve yarı kurak iklimin egemen olduğu ülkelerden birisidir. Sıcaklık ve yağış ülkenin tüm bölgesinde birbirinden farklılıklar göstermektedir. Bu bölgelerde, ıslak günlerin belirlenmesinde yağışın miktarı ve yağışlı mevsimler çok önemlidir (Elliot ve Arnold, 2001; Zhang ve ark., 2012). Islak gün belirlenirken kullanılan eşik değer, ortalama ile çok yakından ilişkilidir. Standart sapma ve ortalama arttıkça ıslak gün artarken, kuru gün azalmaktadır. Yu (2005) Sidney’de, 1949-1991 yılları arasındaki iklim verilerini kullanarak yapmış olduğu çalışmada, ıslak gün sayısının artmasına bağlı olarak aylık ortalama yağışın %22 arttığını ve Kasım ayından Mart’a kadar ıslak gün sayısının arttığını çalışmanın sonucunda belirtmişlerdir. Bu sonuçlar, çalışmada elde edilen bulguları desteklemektedir.

1975-1995 yılları arasında aylık toplam yağış değerleri ilkbahar ve kış aylarında oldukça yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek aylık toplam yağış değeri 310.10 mm ile Mayıs ayında gözlenmiş ve yine bu ay için 310.44 mm ile en yüksek aylık toplam yağış değeri model ile tahmin edilmiştir (Çizelge 4.5).

Sonbahar ve yaz aylarında ise yıllık toplam yağış miktarında azalma görülmektedir. Ağustos ayın içerisinde 21 yıllık zaman içerisinde yağış olmamıştır. En düşük aylık toplam yağış 5.30 mm ile Temmuz ayında gözlenirken, bu ay için model 4.18 mm aylık toplam yağış tahmininde bulunmuştur (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. 1975-1995 Yılları arasındaki aylık toplam yağış

| Yağış (mm) | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|-------|-------|--------|--------|
| G | 175.00 | 195.30 | 163.40 | 242.80 | 310.10 | 85.70 | 5.30 | | 32.20 | 83.00 | 133.30 | 179.70 |
| W | 195.31 | 206.93 | 185.38 | 248.72 | 310.44 | 101.63 | 4.18 | | 32.88 | 89.17 | 148.41 | 202.49 |

Gözlenen ve tahmin edilen aylık yağışların tanıtıcı istatistiksel özellikleri ile $P(W/W)$ ve $P(D/W)$ değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir. Aylık gözlenen ortalama yağış 260 ile 3.19 mm ve tahmin edilen ise 2.74 ile 3.43 mm arasında değişmektedir. Aylık ortalama yağışlar tüm aylar için gözlenen değer üzerinde tahmin edilmiştir. Özellikle ıslak gün olma ihtimalini gösteren $P(W/W)$ değerlerinin yüksek olduğu Ocak ayı için model yağış değerlerini 0.10 mm ve Ekim ayı için ise 0.24 mm üzerinde tahmin etmiştir. Ekim ayında gözlenen yağışlar art arda yağmasından dolayı model daha yüksek tahminde bulunmuştur.

Gözlenen yıllık standart sapma değerleri 0.67 ile 1.44 ve tahmin edilen ise 0.89 ile 1.25 arasında değişmektedir (Çizelge 4.6). Gözlenen yıllık yağış çarpıklık katsayısı 0.40 ile 1.56 ve tahmin edilen ise 0.15 ile 1.54 arasındadır. Standart sapma Ocak, Kasım ve Aralık aylarında hesaplanan standart sapma değerleri oldukça düşük çıkmıştır. Bu aylara ait yağış verileri çok değişkenlik göstermeyip normale yakın bir dağılım göstermektedir. Bu durum çarpıklık katsayısında da görülmektedir. Her iki ay içinde çarpıklık katsayısı 0 ile 0.5 arasında dağılmaktadır (Çizelge 4.6). Evans ve Olson (2002), çarpıklık katsayısı ≥ 1 olduğunda dağılımın oldukça çarpık, 0-0.5 arasında normale yakın ve ≤ 0.5 ise normal dağılım gösterdiğini ifade etmiştir. Özellikle, Mayıs ayında yağış verileri oldukça azalan ve artan şeklinde değişiklik göstermektedir. Bunun sonucu olarak, ortalama ve standart sapma artmıştır. Çarpıklık katsayısının >1 değerler almakta ve bu aylardaki veriler ortalamadan uzak dağılım göstermektedir. Model, Haziran ayındaki yağış değerlerini, ortalamanın üzerinde tahmin etmiştir. Haziran ayı oldukça kurak bir aydır ve standart sapma değerleri oldukça yüksektir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Aylık gözlenen ve simüle edilen yağışların tanıtıcı istatistikleri

| AYLAR | YAĞIŞ (mm) | ÖZELLİKLER | | | | |
|---------|------------|------------|------|------|--------|--------|
| | | ORT. | SS. | Ç | P(W/W) | P(D/W) |
| OCAK | Gözlenen | 2.69 | 0.52 | 0.06 | 0.37 | 0.53 |
| | Clıgen | 2.72 | 0.98 | 1.39 | | |
| ŞUBAT | Gözlenen | 2.29 | 0.80 | 0.28 | 0.44 | 0.56 |
| | Clıgen | 2.29 | 0.87 | 0.23 | | |
| MART | Gözlenen | 7.01 | 3.19 | 0.26 | 0.38 | 0.62 |
| | Clıgen | 7.08 | 3.48 | 0.54 | | |
| NİSAN | Gözlenen | 10.55 | 6.14 | 0.90 | 0.47 | 0.53 |
| | Clıgen | 11.52 | 6.78 | 1.88 | | |
| MAYIS | Gözlenen | 6.34 | 4.71 | 1.73 | 0.37 | 0.63 |
| | Clıgen | 6.34 | 4.71 | 1.32 | | |
| HAZİRAN | Gözlenen | 10.23 | 3.69 | 0.72 | 0.40 | 0.60 |
| | Clıgen | 9.90 | 5.06 | 0.63 | | |
| TEMMUZ | Gözlenen | | | | | |
| | Clıgen | | | | | |
| AĞUSTOS | Gözlenen | | | | | |
| | Clıgen | | | | | |
| EYLÜL | Gözlenen | | | | | |
| | Clıgen | | | | | |
| EKİM | Gözlenen | 2.49 | 0.91 | 1.02 | 0.35 | 0.65 |
| | Clıgen | 2.35 | 0.90 | 1.01 | | |
| KASIM | Gözlenen | 5.48 | 3.21 | 1.23 | 0.33 | 0.67 |
| | Clıgen | 5.17 | 2.96 | 1.23 | | |
| ARALIK | Gözlenen | 7.25 | 7.71 | 2.26 | 0.40 | 0.60 |
| | Clıgen | 7.67 | 7.64 | 2.07 | | |

4.1.3. Yağışların Mevsimsel Olarak Değerlendirilmesi

4.1.3.1. Islak Gün Ortalamalarına Göre Değerlendirilmesi

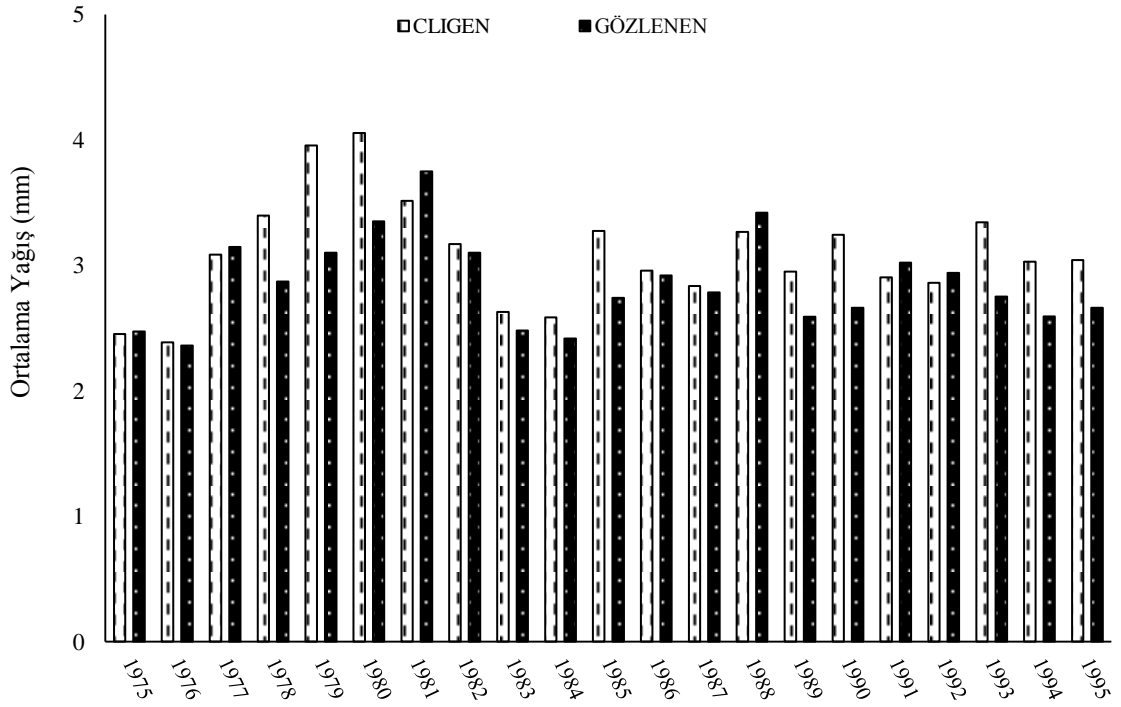
CLIGEN ile tahmin edilen ve gözlenen mevsimsel ortalama yağış değerleri karşılaştırılmış ve sonuçlar Çizelge 4.7’de verilmiştir. Model, 1975-1995 yılları arasında en yüksek mevsimsel ortalama değerlerini kış ve ilkbahar mevsimlerinde tahmin etmiştir (Çizelge 4.7). Bu mevsimlerde tahmin edilen günlük yağış değerleri ile gözlenen değerler birbirine yakın olduğu görülmektedir. Kış mevsimi Aralık-Ocak-Şubat; ilkbahar mevsimi ise Mart-Nisan-Mayıs aylarından oluşmaktadır. Bu aylar, ıslak günlerin en fazla olduğu aylardır (Çizelge 4.7). WEPP Hillslope model, sıcaklık 0 °C

altında ya da toprak yüzeyi kar ile örtülü ise kış mevsimi olarak kabul etmektedir. Ayrıca, modelin tanımlandığı Bölüm 3'te açıklandığı üzere model en fazla ilkbahar yağışlarına duyarlıdır. Bu mevsimde görülen yağışlar, yüzey akış ve toprak kaybı meydana getiren yağışlar olarak model çıktısında görülmektedir.

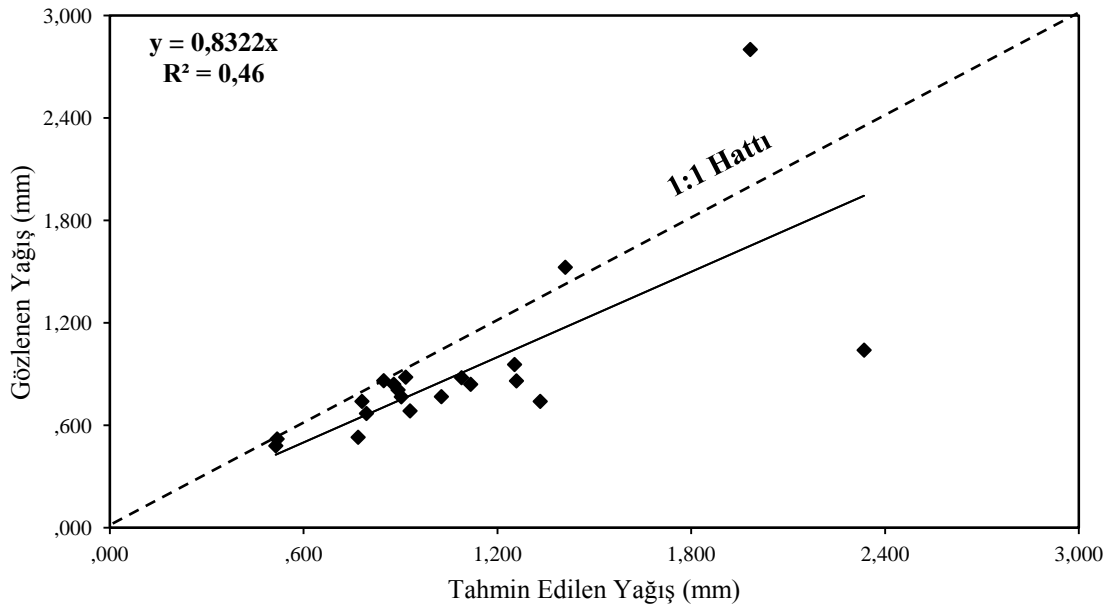
Kış mevsimi için, gözlenen ve tahmin edilen ıslak gün ortalama yağış değerleri 1975-1995 yıllarını kapsayan 21 yıllık süre için ayrı ayrı hesaplanmıştır (Çizelge 4.7). Gözlenen ve tahmin edilen toplam yağış 60.13 ve 64.93 mm olup; ortalama yağış ise 2.86 ve 3.09 mm olarak belirlenmiştir. Kış mevsimine ait yağış verileri arasındaki ilişki grafiksel olarak karşılaştırılmıştır (Şekil 4.3). Ortalama değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu 21 yıllık süre içinde, CLIGEN 1979-1980 yılları için ortalamanın üzerinde tahminde bulunmuştur (Şekil 4.3). Her iki yıla ait günlük yağış verileri oldukça değişkenlik göstermektedir. Ortalama ve standart sapma değeri arttıkça, ıslak gün ortalama yağış değeri de artmaktadır. Gözlenen ve tahmin edilen kış mevsimi ıslak gün ortalama yağış verileri arasındaki tanımlayıcı ilişki Şekil 4.4 Çizelge 4.7'de verilmiştir. Şekil 4.4 incelendiğinde, aralarındaki ilişkinin çok yüksek olmadığı regresyon katsayısından görülmektedir ($R^2 = 0.46$). Veriler 1:1 hattının altında dağılmaktadır ki; bu durum CLIGEN ile tahmin edilen yağış ortalamalarının yüksek olduğunu göstermektedir. Ayrıca, kış mevsimine ait günlük yağış verilerinde model yüksek değerleri düşük, düşük değerleri yüksek tahmin ettiği görülmektedir.

Çizelge 4.7. Mevsimlere ait gözlenen ve tahmin edilen ıslak yağış verilerine ait tanıttıcı istatistikler

| YILLAR | KIŞ | | İLKBAHAR | | YAZ | | SONBAHAR | |
|----------------------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|----------|-------|
| | C | G | C | G | C | G | C | G |
| 1975 | 2.45 | 2.47 | 3.76 | 3.45 | | | 2.47 | 2.30 |
| 1976 | 2.38 | 2.36 | 2.29 | 2.10 | | | | 2.25 |
| 1977 | 3.08 | 3.15 | 2.45 | 2.80 | 3.61 | 2.00 | 3.78 | 3.37 |
| 1978 | 3.40 | 2.87 | 2.76 | 2.62 | | | 2.67 | 2.43 |
| 1979 | 3.96 | 3.10 | 2.61 | 2.65 | | | 2.25 | 2.00 |
| 1980 | 4.05 | 3.35 | 2.79 | 2.48 | 2.36 | 2.02 | 3.49 | 2.60 |
| 1981 | 3.51 | 3.75 | 3.37 | 3.37 | | | 2.44 | 5.08 |
| 1982 | 3.17 | 3.10 | 3.12 | 2.85 | | | | |
| 1983 | 2.63 | 2.48 | 2.71 | 3.08 | | | 3.13 | 1.67 |
| 1984 | 2.59 | 2.42 | 3.27 | 2.89 | | | | |
| 1985 | 3.27 | 2.74 | 2.96 | 2.57 | | | 3.28 | 1.90 |
| 1986 | 2.96 | 2.92 | 3.48 | 3.54 | 4.05 | 3.10 | 4.76 | 2.76 |
| 1987 | 2.84 | 2.78 | 3.25 | 3.43 | 2.67 | 2.20 | 2.73 | 3.20 |
| 1988 | 3.27 | 3.42 | 4.14 | 4.36 | 4.23 | 3.63 | 3.28 | 3.62 |
| 1989 | 2.95 | 2.59 | 2.60 | 2.32 | 6.33 | 3.10 | 3.06 | 2.32 |
| 1990 | 3.24 | 2.66 | 2.83 | 2.91 | 2.55 | 2.00 | 1.80 | 2.97 |
| 1991 | 2.90 | 3.02 | 3.40 | 2.97 | 3.14 | 2.80 | 2.80 | 2.05 |
| 1992 | 2.86 | 2.94 | 2.67 | 2.21 | 2.31 | 2.33 | 2.40 | 1.90 |
| 1993 | 3.34 | 2.75 | 3.17 | 3.17 | 3.16 | 3.63 | 2.60 | 2.00 |
| 1994 | 3.03 | 2.59 | 3.47 | 2.10 | | | 2.96 | 2.10 |
| 1995 | 3.04 | 2.66 | 2.85 | 2.17 | 2.00 | 2.33 | 2.63 | 2.13 |
| Ortalama (mm) | 3.09 | 2.86 | 3.05 | 2.86 | 3.31 | 2.65 | 2.91 | 2.56 |
| Toplam (mm) | 64.93 | 60.13 | 63.96 | 60.04 | 36.41 | 29.14 | 55.28 | 48.64 |
| t testi | 0.68 | | 0.25 | | 0.13 | | 0.153 | |
| K-S | 0.20 | | 0.20 | | 0.11 | | 0.155 | |

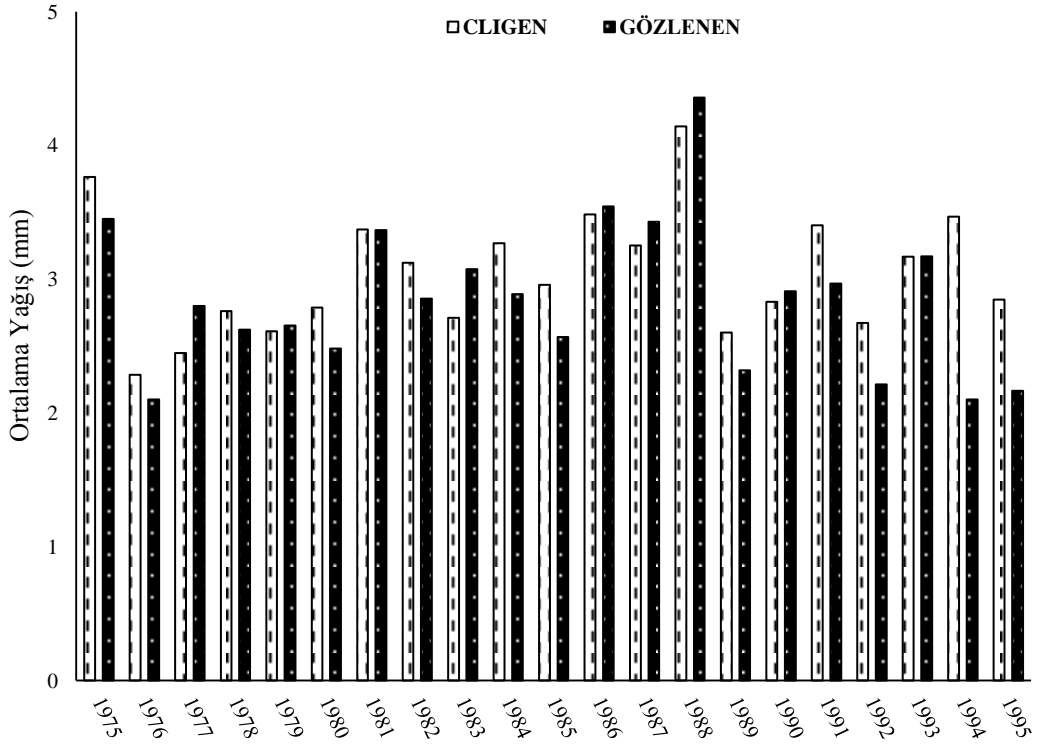


Şekil 4.3. Kış mevsimi yağış ortalamaları

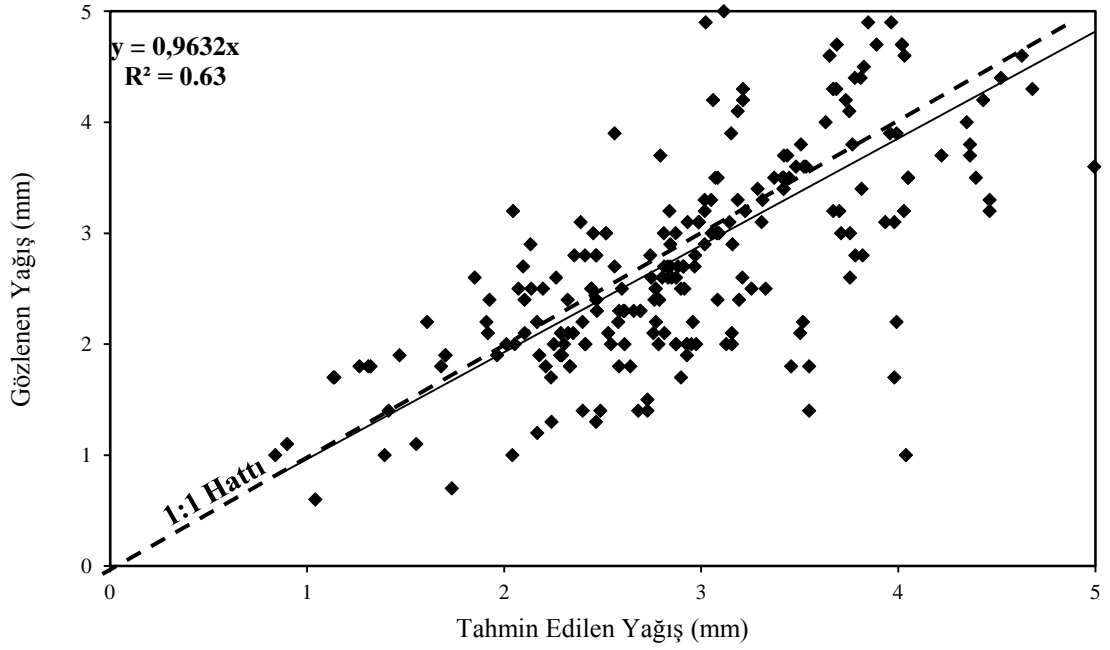


Şekil 4.4. Kış mevsimi yağış arasındaki regresyon ilişkisi

WEPP Hillslope model, birçok parametreyi kullanarak yağış miktarını hesaplamaktadır. Kinetik enerji modelin en hassas olduğu yağış özelliğidir. Özellikle ilkbahar ayında meydana gelen yağışların, kinetik enerjileri oldukça yüksek olmakta ve model bu yağışları gözlenen değer üzerinde tahmin etmektedir. İlkbahar mevsiminde görülen toplam yağış 60.04 ve tahmin edilen ise 63.9 mm olup; bu yağışların ortalaması sırasıyla 2.86 ve 3.05 mm'dir (Çizelge 4.7). Çizelge 4-5 incelendiğinde, ıslak yağış ortalamalarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Gözlenen ve tahmin edilen en yüksek ıslak yağış ortalaması 1982 yılına ait olup 4.36 ve 4.14 mm'dir. En düşük ortalama ise 2.10 ve 2.29 mm ile 1976 yılında görülmüştür (Çizelge 4.7). İlkbahar mevsimi yağışları arasındaki ilişki grafiksel olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4.5). Şekil 4.5'e göre, CLIGEN'in 21 yıllık ilkbahar mevsimi ıslak yağışları için gözlenen değer çok üzerinde tahminde bulunmadığı ve bu mevsim için performansının yüksek olduğu ifade edilebilir. İlkbahar ıslak yağışları arasındaki regresyon ilişkisi karşılaştırılmış ve Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Bu mevsimde görülen, bireysel yağış olayları artan ve azalan bir dağılım, günlük verilerin dağılımında görülmektedir. Veriler 1:1 hattının altında dağılmaktadır. Bu durum, modelin 1 mm altındaki yağışları üzerinde tahmin ederken, üzerindeki verileri ise altında tahmin ettiği şeklinde yorumlanmıştır. İlkbahar ıslak yağış verilerinin ortalama değeri 2 civarında olması modelin tahminlerinden kaynaklanmaktadır. Tanımlama katsayısı $R^2:0.63$ olup, model en yüksek başarıyı bu mevsimde gösterdiği bulunan sonuçlardan görülmüştür (Şekil 4.6).



Şekil 4.5. İlkbahar mevsimi yağış ortalamaları



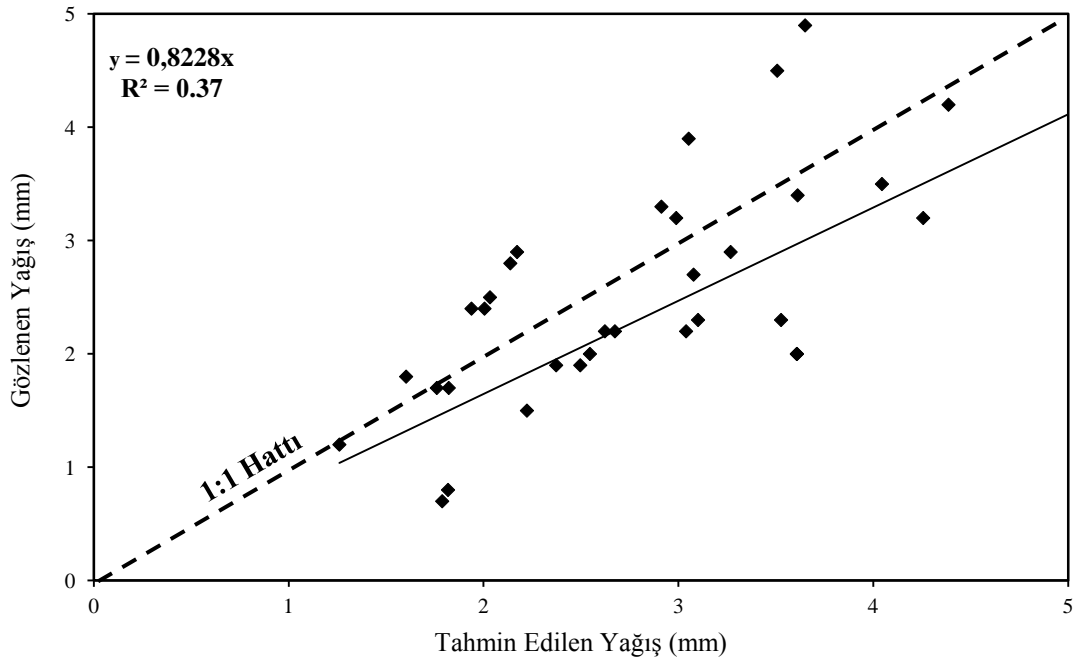
Şekil 4.6. İlkbahar mevsimi yağış arasındaki regresyon ilişkisi

Yaz mevsimi, CLIGEN iklim modelinin performansının düşük olduğu mevsimdir. Model, ıslak günleri dikkate alarak çalışmaktadır. Gözlenen ve tahmin edilen toplam yağış 29.14 ve 36.41 mm olup, ortalaması ise 2.65 ve 3.31 mm olarak bulunmuştur (Çizelge 4.7). Modelin performansının çok yüksek olmadığı, aralarındaki ilişkiyi grafiksel olarak gösterildiği Şekil 4.8'da görülmektedir. Model, ıslak gün yağış değerlerini gözlenenenden yüksek tahmin etmiştir. Yaz aylarında kurak günlerin peşinden görülen yağışlar, ekstrem yağışlar olarak kabul edilmekte ve şiddeti yüksek olmaktadır. Yağışın şiddetinin artması, CLIGEN modelinde yağış değerini artırmaktadır. Model, hiç yağış kaydedilmediği yıllar için yağış tahmininde bulunmamıştır. 1989 yılında çok yüksek ortalama değeri tahmin etmiştir. Bu yılın; Temmuz ve Ağustos aylarında hiç yağış görülmemiştir. Yaz mevsiminde 8 Haziranda yağış görülmüştür. Gözlenen ve tahmin edilen yağış ortalaması arasındaki ilişki Şekil 4.7'de grafiksel olarak gösterilmiştir. Modelin özellikle 1mm'nin altındaki yağışları tahmin etmediği görülmektedir. Ayrıca yağış verileri 1:1 hattının hem altında hem üzerinde dağılmaktadır. Çünkü yaz mevsiminde görülen ıslak yağış verilerini model altında, üstünde ve hemen hemen eşit tahmin etmiştir. Aralarındaki tanımlama katsayısı $R^2 = 0.37$ olup, yüksek değildir (Şekil 4.8).

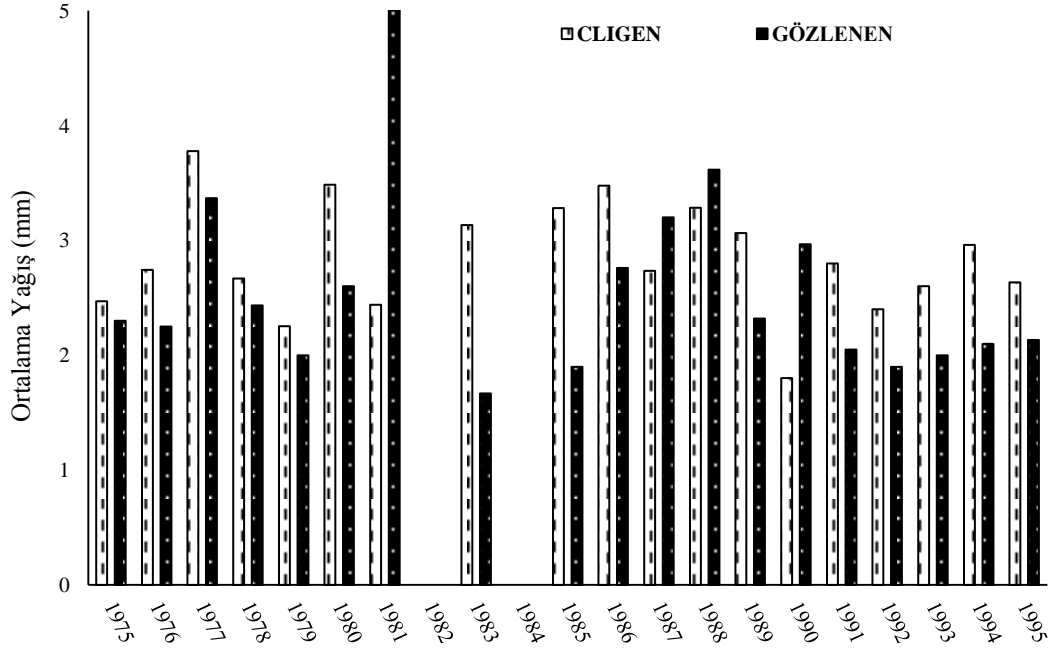
CLIGEN, sonbahar mevsimi için kışa göre daha yüksek bir performans göstermiştir. Toplam gözlenen yağış 48.64 ve 54.00mm olup, ortalama yağışlar ise 2.56 ve 2.84mm olarak bulunmuştur (Çizelge 4.7). Bu mevsimde tahmin edilen ve gözlenen ıslak yağış ortalamaları birbirine oldukça yakındır. Ancak, 1981 ve 1986 yıllarında durum farklıdır. 1981 yılında, gözlenen ortalama değerleri yüksektir. CLIGEN, Ekim ve Kasım aylarında görülen yağışlara çok duyarlı olduğu model çıktılarında görülmektedir. 1981 yılında Ekim ayında peş peşe yağış meydana gelmiştir (Çizelge 4.7). Markow zincirine göre hesaplanan ıslak gün yağış miktarı azalmıştır. Gözlenen ve tahmin edilen sonbahar ıslak yağış ortalaması arasındaki ilişki grafiksel olarak incelenmiş ve Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Veriler 1:1 Hattının üzerinde, altında ve çizgi boyunca dağılım göstermektedir. Tanımlama katsayısı R^2 değeri 0.47 olarak bulunmuştur (Şekil 4.10). Aralarındaki ilişkinin düşük çıkmasının nedeni, bu mevsimde yağışların çok değişkenlik göstermesidir. Islak ve kuru gün sayıları, bu mevsim için ya yüksek ya da düşük hesaplanmıştır.



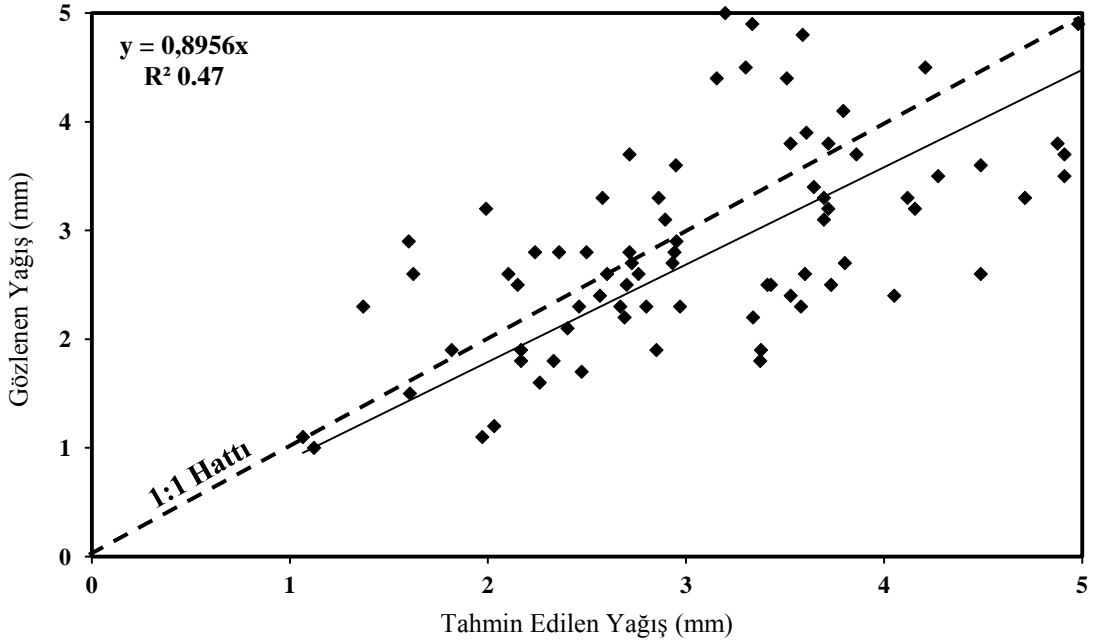
Şekil 4.7. Yaz mevsimi gözlenen ve tahmin edilen yağış ortalamaları



Şekil 4.8. Yaz mevsimi yağış arasındaki regresyon ilişkisi



Şekil 4.9. Sonbahar mevsimi yağış ortalamaları



Şekil 4.10. Sonbahar mevsimi yağış arasındaki regresyon ilişkisi

Mevsimlere göre, gözlenen ve tahmin edilen ıslak yağış ortalama değerleri Student t testine göre %95 önem seviyesinde önemsiz bulunmuş olup yağış ortalamaları arasında fark olmadığı sonucuna varılmıştır. K-S testinde ise, verilerin normal dağılım göstermediği görülmüştür (Çizelge 4.7). Yağış verileri çok değişkenlik göstermesinden dolayı, çoğunlukla normal dağılım göstermemektedir.

4.1.3.2. Kuru Gün Ortalamasına Göre Değerlendirilmesi

İki aşamalı Markov zinciri kullanılarak hesaplanan kuru gün ortalama yağışları Çizelge 4.8’de verilmiştir. CLIGEN, tüm mevsimler için yağış değerlerini gözlenenin üzerinde tahmin ettiği görülmektedir.

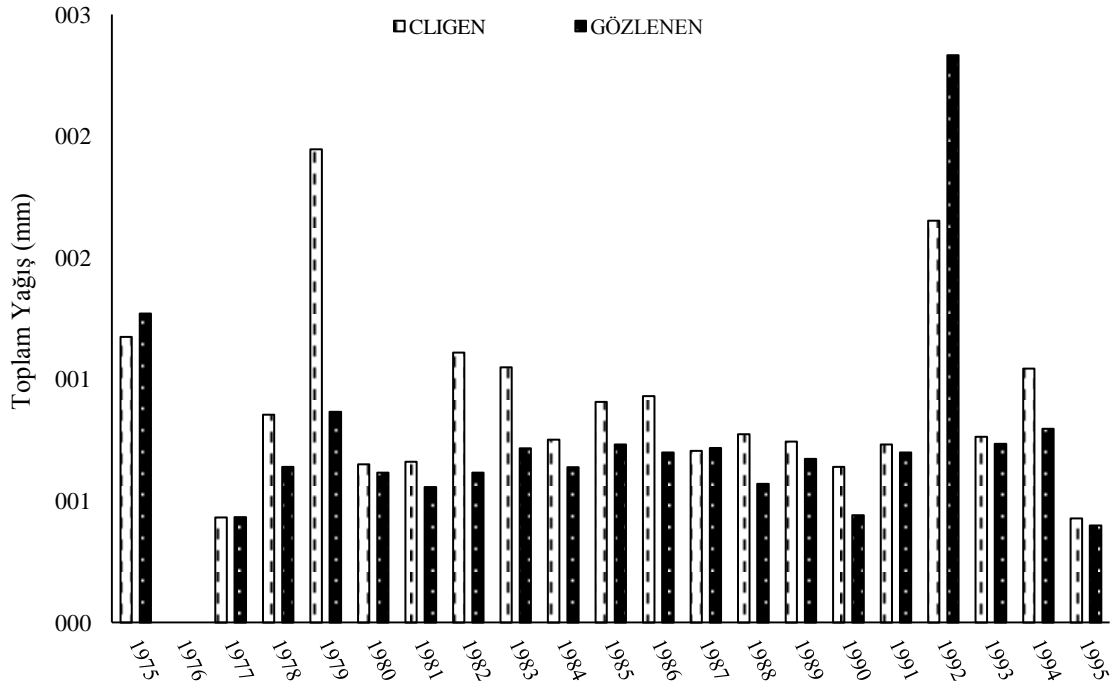
Kış mevsimi için, gözlenen ve tahmin edilen kuru gün yağış toplamı 18.19 ve 21.55 mm olup, ortalaması ise 0.91 ve 1.80 mm olarak bulunmuştur (Çizelge 4.8). Model, en uzun ıslak gün ortalamasının görüldüğü kış mevsiminde olduğu gibi, kurak yağış ortalamalarını da üzerinde tahmin etmiştir. Bu durum, modelin algoritmasıyla yakından ilişkilidir. Kışın yağış miktarını toprak yüzeyinde bulunan kar örtüsü, sıcaklığın sıfırın altına düşmesi, solar radyasyon yakından etkilemektedir. Aralarındaki ilişki grafiksel olarak karşılaştırılmış ve Şekil 4.12’te gösterilmiştir. 1979 yılında yağışlar oldukça yüksek tahmin edildiği ve kış mevsiminde çok fazla yağış olmadığı Şekil 4.11’de görülmektedir. 1992 yılında ise; 1979 yılının aksine çok yağışlı bir kış mevsimi görülmüştür. Islak günlerin sayısı artmış ve dolayısıyla ortalama yağış değeri düşmüştür (Şekil 4.11).

Kış mevsimi kuru yağış ortalamaları arasındaki tanımsal ilişki Şekil 4.12’de grafiksel olarak değerlendirilmiştir. Tanımlama katsayısı $R^2:0.46$ olup, ıslak gün ortalamalarında bulunan değer ile aynıdır. Yağış verileri 1:1 hattının altında ve X eksenine yakın olarak dağılmaktadır ki; bu durum modelin gözlenen ortalamadan daha yüksek ortalama tahmininde bulunduğunu göstermektedir. 1 mm’nin üzerindeki yağışları oldukça yüksek tahmin etmektedir.

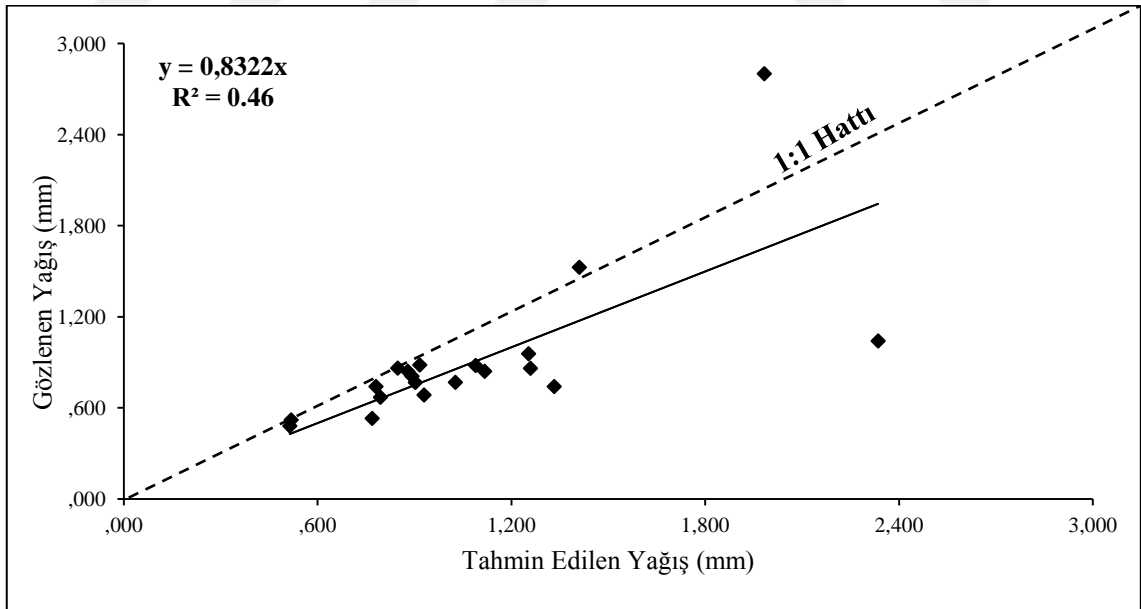
Student t testine göre, gözlenen ve tahmin edilen kuru yağış ortalamaları arasında %95 önem seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. K-S testinde verilerin normal dağılım göstermediği görülmüştür (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Mevsimlere ait gözlenen ve tahmin edilen kuru yağış verilerine ait tanıttıcı istatistiksel parametreler

| YILLAR | KIŞ | | İLKBAHAR | | YAZ | | SONBAHAR | |
|----------------------|-------|-------|----------|-------|-------|------|----------|-------|
| | C | G | C | G | C | G | C | G |
| 1975 | 1.41 | 1.53 | 0.64 | 0.62 | | | 0.62 | 0.54 |
| 1976 | | | 0.30 | 0.30 | | | 0.42 | 0.39 |
| 1977 | 0.52 | 0.52 | 0.90 | 0.71 | 0.47 | 0.48 | 0.61 | 0.69 |
| 1978 | 1.03 | 0.77 | 0.95 | 0.80 | | | 2.05 | 1.26 |
| 1979 | 2.34 | 1.04 | 0.70 | 0.73 | | | 0.40 | 0.44 |
| 1980 | 0.78 | 0.74 | 0.84 | 0.72 | | | 0.52 | 0.52 |
| 1981 | 0.79 | 0.67 | 1.00 | 0.91 | 1.51 | 1.13 | 0.70 | 0.60 |
| 1982 | 1.33 | 0.74 | 0.75 | 0.66 | 0.89 | 0.50 | 1.19 | 0.86 |
| 1983 | 1.26 | 0.86 | 0.79 | 0.68 | 0.80 | 0.60 | | |
| 1984 | 0.90 | 0.77 | 0.83 | 0.75 | 1.33 | 1.05 | 0.35 | 0.34 |
| 1985 | 1.09 | 0.88 | 0.24 | 0.25 | 0.57 | 0.41 | 1.39 | 1.05 |
| 1986 | 1.12 | 0.84 | 0.93 | 0.92 | | | 1.03 | 1.08 |
| 1987 | 0.85 | 0.86 | 0.89 | 0.71 | | | 0.88 | 0.70 |
| 1988 | 0.93 | 0.68 | 0.78 | 0.72 | | | 0.67 | 0.59 |
| 1989 | 0.89 | 0.81 | 1.00 | 0.69 | 0.28 | 0.28 | 1.19 | 1.20 |
| 1990 | 0.77 | 0.53 | 0.88 | 0.71 | 0.81 | 0.59 | 0.57 | 0.53 |
| 1991 | 0.88 | 0.84 | 0.84 | 0.76 | 0.00 | 0.00 | 1.17 | 0.68 |
| 1992 | 1.98 | 2.80 | 2.24 | 1.96 | 1.93 | 2.38 | | |
| 1993 | 0.92 | 0.88 | 0.56 | 0.50 | | | 0.93 | 0.77 |
| 1994 | 1.25 | 0.96 | 0.39 | 0.40 | | | 0.72 | 0.58 |
| 1995 | 0.51 | 0.48 | 0.91 | 0.63 | | | 0.64 | 0.55 |
| Ortalama (mm) | 1.08 | 0.91 | 0.83 | 0.72 | 0.96 | 0.82 | 0.85 | 0.70 |
| Toplam (mm) | 21.55 | 18.19 | 17.39 | 15.12 | 8.60 | 7.41 | 16.06 | 13.35 |
| t testi | 0.238 | | 0.348 | | 0.649 | | 0.18 | |
| K-S | | | 0.81 | | | | | |



Şekil 4.11. Kış mevsimi kuru gün yağış ortalamaları

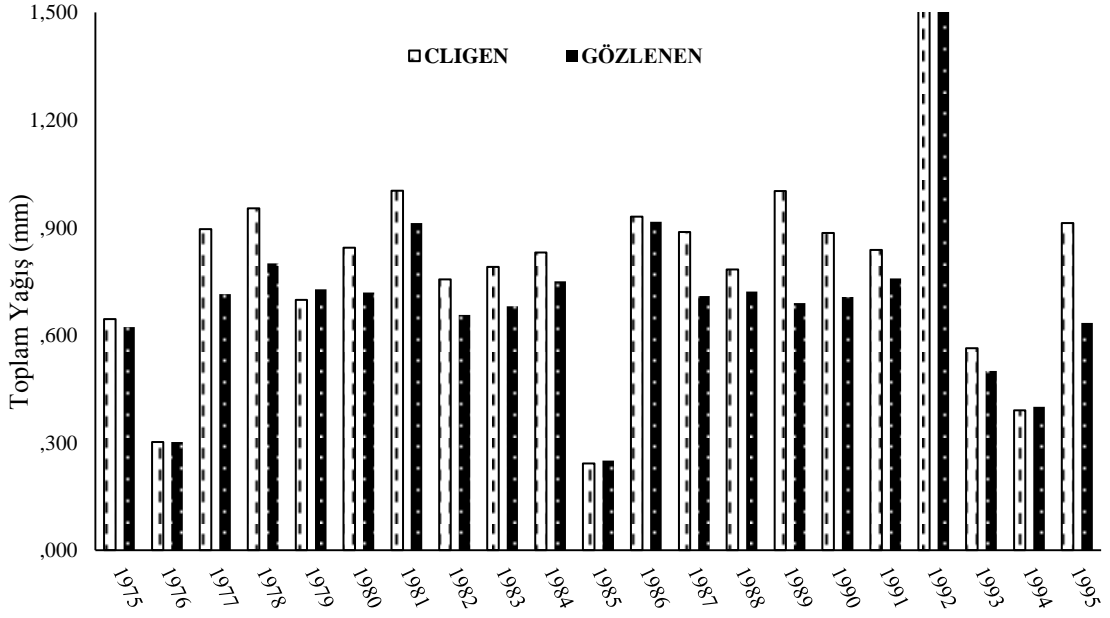


Şekil 4.12. Kış mevsimi kuru gün yağış arasındaki ilişki

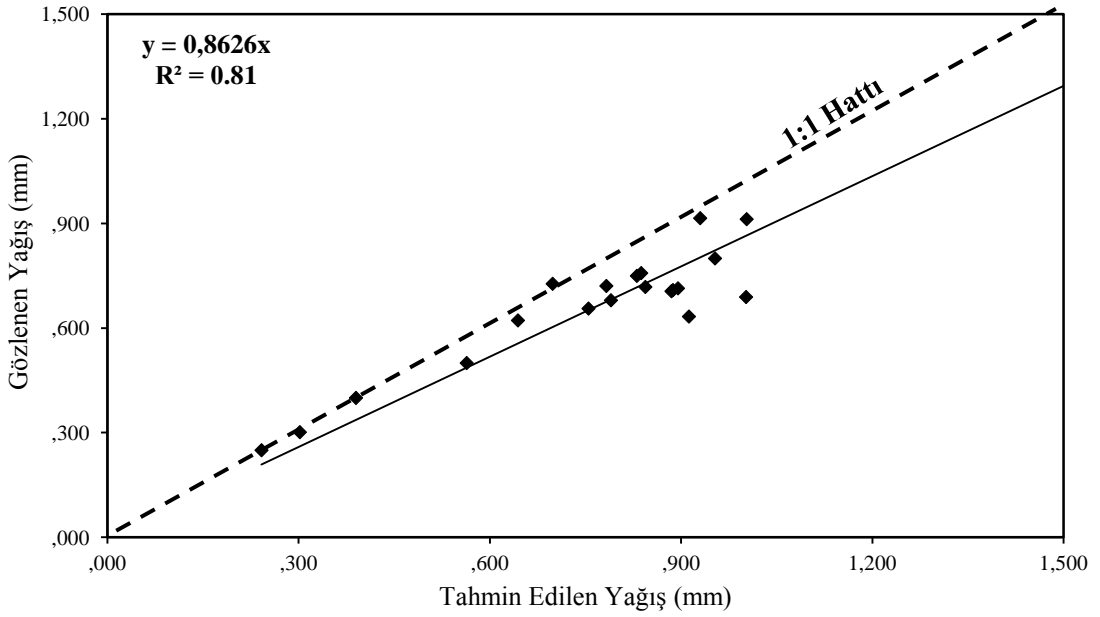
İlkbahar mevsimi için gözlenen ve tahmin edilen kuru gün ortalama yağış 15.12 ve 17.39 mm olup; ortalama ise 0.72 ve 0.83 mm olarak bulunmuştur. Ortalama yağış verileri birbirine oldukça yakın ya da çok az üzerinde tahmin ettiği Şekil 4.13'de görülmektedir. En yüksek ortalama 1992 yılında gözlenmiştir. 1989 yılında ise, modelin tahmin ettiği ortalama değerleri oldukça yüksektir (Çizelge 4.8). Model, bu mevsim de 0.40 mm'nin üzerindeki yağışları oldukça yüksek tahmin etmiştir. Gözlenen ve tahmin edilen kuru gün yağış ortalamaları arasındaki ilişki grafiksel olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4.14). Tanımlama katsayısı $R^2:0.81$ olup, bulunan bu değer ilkbahar mevsiminde kuru gün yağışlarını tahmin etmede modelin başarılı olduğu şeklinde yorumlanabilir. Yağış verileri 1:1 hattının altında ya da bu hatta çok yakın dağılmaktadır. 0.30mm'nin altındaki yağışları tahmin etmede başarılı değildir.

Student t testinde, veriler arasındaki ilişki %95 önem seviyesinde önemsiz bulunmuştur. K-S testine göre normal dağılım göstermedikleri görülmüştür (Çizelge 4.8).

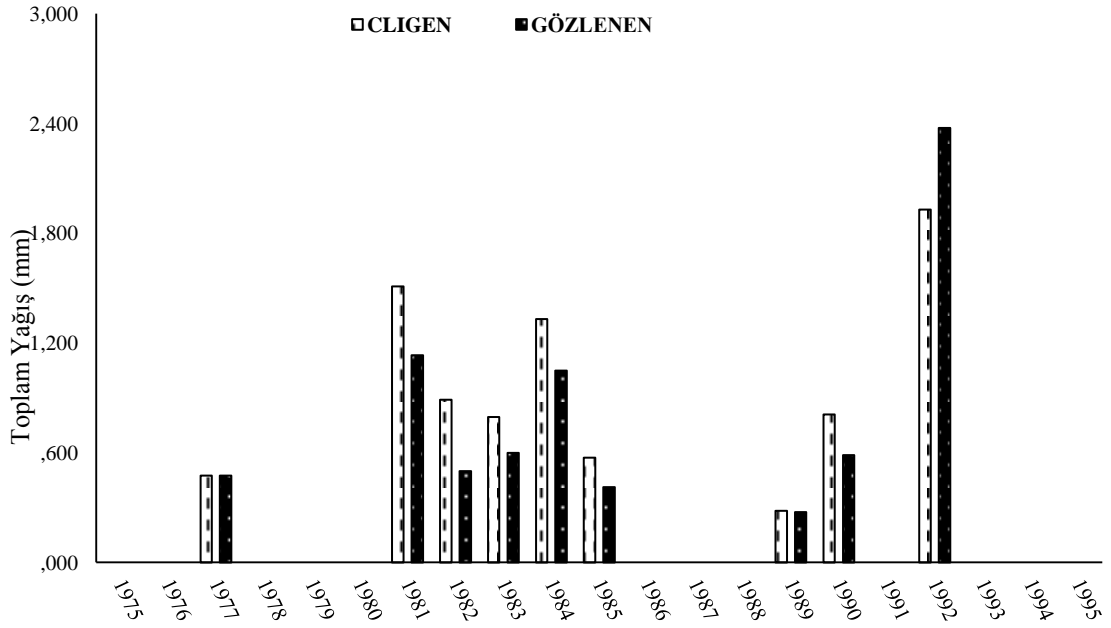
Yaz mevsimi için, gözlenen ve tahmin edilen kuru gün toplam yağış 7.41 ve 8.60mm olup, ortalama ise 0.82 ve 0.96 mm olarak bulunmuştur (Çizelge 4.8). En uzun kuru gün ortalamasının olduğu yaz mevsiminde, model ortalamayı gözlenen değerlerin çok hafif üzerinde ya da hemen hemen eşit tahmin etmiştir (Şekil 4.15). 1992 yılında ise, ortalamaları gözlenen yağış ortalamasının altında bulmuştur. Bu yılın yaz ayında görülen günlük yağış değerleri 2 mm'nin üzerindedir. Peş peşe oluşan yağışlardan dolayı, ıslak gün sayısı artmış ve ortalama değer düşmüştür. CLIGEN, yaz mevsimi ıslak gün ortalamasında gösterdiği başarısızlığı, kuru gün ortalamasında göstermemiştir. Aralarındaki ilişkiyi gösteren regresyon katsayısı oldukça yüksek olup, tanımlama katsayısı $R^2: 0.81$ olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.16). Modelin temelini Markov zincirine göre hesaplanan ıslak/kuru gün periyotları oluşturmaktadır. Kurak gün uzunluğu arttıkça, ortalama yağış değeri azalmaktadır. Ayrıca, kuru gün uzunluğunun artmasıyla ıslak gün azalmaktadır. Islak gün yağış ortalamalarının değerlendirildiği yaz mevsiminde, ıslak gün az olduğu için model ortalamaların üzerinde yağış miktarı tahmin etmiştir (Şekil 4.16). Ayrıca, yaz mevsiminde tahmin edilen günlük yağış verileri K-S testine göre normal dağılım göstermektedir. Bu durum, verilerin çok fazla değişken olmadığını da ifadesidir. Student t testine göre, gözlenen ve tahmin edilen yağış verileri arasında %95 seviyesinde önemli bir ilişki bulunamamıştır (Çizelge 4.8).



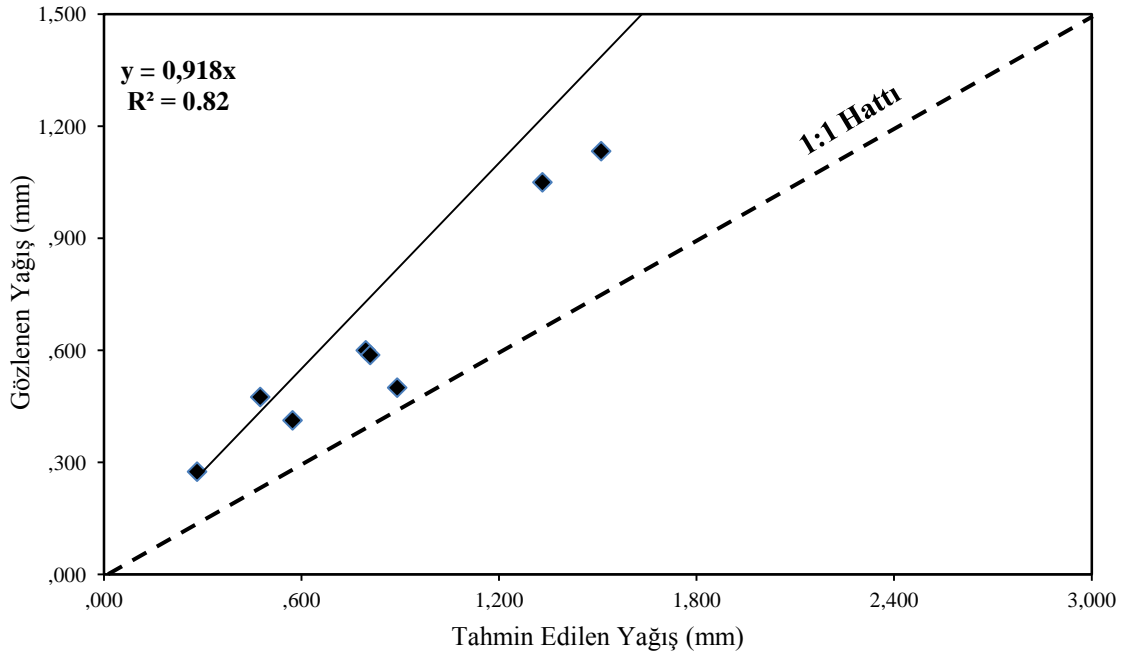
Şekil 4.13. İlkbahar mevsimi kuru gün yağış ortalamaları



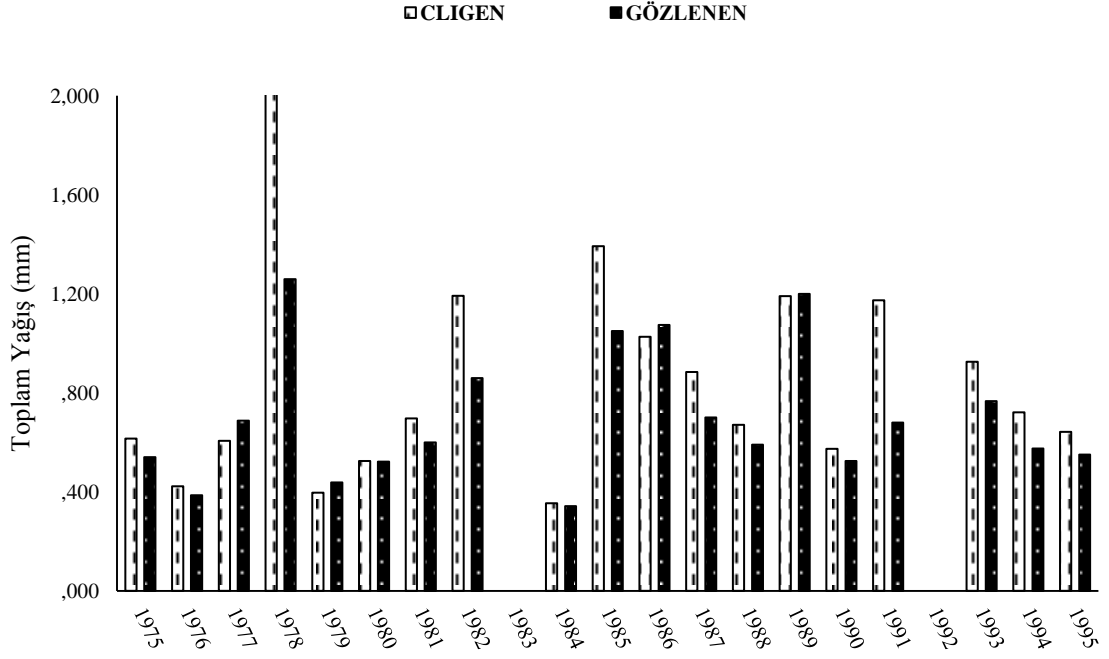
Şekil 4.14. İlkbahar mevsimi kuru gün yağış arasındaki regresyon ilişkisi



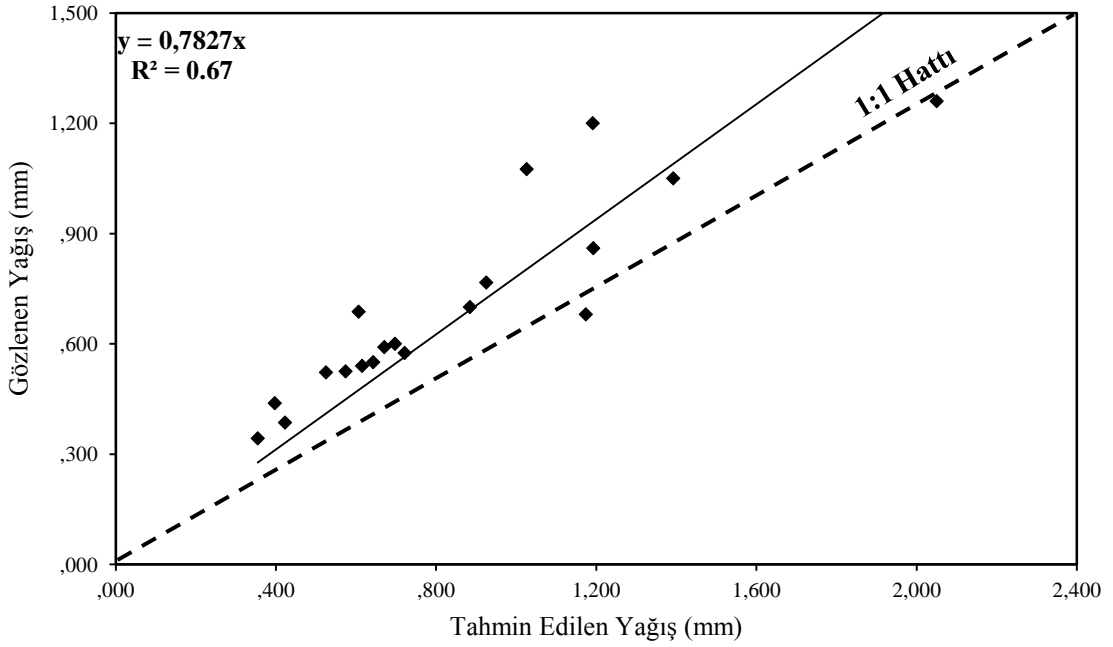
Şekil 4.15. Yaz mevsimi kuru gün yağış ortalamaları



Şekil 4.16. Yaz mevsimi kuru gün yağış arasındaki regresyon ilişkisi



Şekil 4.17. Sonbahar mevsimi kuru gün yağış ortalamaları



Şekil 4.18. Sonbahar mevsimi kuru gün yağış arasındaki regresyon ilişkisi

Sonbahar mevsimi için, kuru gün yağış toplamı gözlenen ve tahmin edilen yağış verileri için hesaplanmıştır. Gözlenen kuru gün toplam yağış 13.35 ve 16.05 mm olup, ortalamaları ise 0.70 ve 0.85 mm olarak bulunmuştur (Çizelge 4.8). Sonbahar kuru gün yağış verilerini model, 3 yıl hariç ortalamaya yakın ya da çok hafif üzerinde tahmin etmiştir. 1978, 1982, 1985 ve 1991 yılları arasında gözlenen günlük kuru yağış verileri 0.2-0.5mm arasında değişen küçük değerlerdir. Model, hem ıslak hem de kuru gün yağış hesaplamasında bu değerleri çok üzerinde tahmin etmektedir. Bu durum, yağış ortalamasının yüksek çıkmasının nedeni olarak gösterilebilir (Şekil 4.17 **Hata! Başvuru aynağı bulunamadı.**). Şekil 4.18, gözlenen ve tahmin edilen kuru günler yağış ortalaması arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Tanımlama katsayısı $R^2:0.67$ olup, gözlenen ve tahmin edilen kuru yağış verilerinin birbirini yakından etkilediği söylenebilir. Student t testinde, gözlenen ve tahmin edilen yağış verileri arasındaki ilişki %95 önem seviyesinde önemsiz bulunmuştur. K-S testinde, verilerin normal dağılım göstermedikleri görülmüştür (Çizelge 4.8).

CLIGEN 4.3v kullanılmak suretiyle, 1975-1995 yılları arasında yağışların simülasyonu yapılmıştır. Yağışlar yıllık, aylık ve mevsimlere göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir. CLIGEN, yıllık toplam yağışları tahmin etmede oldukça başarılı olduğu simülasyon sonucunda görülmüştür. Tahmin edilen ve gözlenen yıllık yağış toplamları birbirine yakın bulunmuştur. Model, %1.97 hata ortalaması ile yağışları tahmin etmiştir. Benzer sonuçlar, Kou ve ark. (2009) tarafından da bulunmuştur. Bu araştırmacıların yapmış oldukları çalışmalarında ortalamalar %2 hata ortalaması ile tahmin edilmiştir.

Aylık tahmin edilen ve gözlenen yağış ortalamaları karşılaştırıldığında, modelin yıllık yağışları tahmin etmedeki başarısını devam ettirdiği görülmektedir. Aylara göre yağışların tanıtıcı istatistik sonuçları bu durum destekler niteliktedir. Model, herhangi bir yılın ocak ayında çok yüksek ortalama tahmin ederken; başka bir yılın ocak ayında daha düşük ortalama tahmininde bulunmuştur. Bu durum, tamamen ıslak/kuru gün uzunluğu ile ilişkilidir. Islak gün artar ya da kuru gün azalır, tahmin edilen yağışların ortalaması ve standart sapması artmaktadır. CLIGEN, ekstrem yağışları tolere etme özelliğine sahip değildir. Dolayısıyla, bu yağışları çok yüksek tahmin etmektedir. Chen ve ark. (2009), Tayvan'da 30 yıllık iklim verilerini simüle ettikleri çalışmada, yağış verilerinin değişkenliğinin artması ortalamayı yakından etkilediğini göstermiştir.

Gözlenen verilerin değişkenliği, aylık ortalama ve standart sapmayı yakından etkilemektedir. Çünkü bu değişkenlik göz önünde tutularak ıslak/kuru gün hesaplaması yapılmaktadır. Aylık ortalama yağışların çarpıklığı ve ıslak gün sayıları gözlenen değerlere oldukça yakın bulunmuştur.

Islak ve kuru gün yağış ortalamaları hesaplanarak, mevsimlere göre değerlendirilmiştir. Tahmin edilen ve gözlenen ortalama yağış değerleri karşılaştırılmıştır. Model, ilkbahar aylarında görülen ıslak ve kuru yağışları simüle etmede başarılıdır. En uzun ıslak gün döneminin olduğu ilkbahar aylarında tahmin edilen ortalama değerler ile gözlenen değerler birbirine çok yakın ya da hafif üzerindedir. Benzer durum, kuru gün ortalama yağışları içinde geçerlidir. Model ilkbahar aylarında, hem kuru hem de ıslak gün ortalama yağışını tahmin etmede bir farklılık göstermemektedir. Kış mevsimi ise, en uzun ıslak gün dönemi olmasına rağmen, bu dönemde modelin performansı iyi değildir. Model kuru gün yağış ortalamasında, kış mevsiminde görülen yağışları tahmin etmede ıslak güne göre daha başarılıdır. Tokat yöresinde nisan, mayıs, haziran ve temmuz ayları en fazla toprak kayıplarının görüldüğü aylardır. Bu aylarda modelin CLIGEN verilerinin oldukça başarılı bulunması, bu model ile yörede toprak kayıplarını tahminde de başarılı sonuçlara yol açacağı kanısını oluşturmuştur.

Yaz mevsiminde; en uzun kuru gün dönemi görülmektedir. Bu dönemde, kuru gün sayısı artarken, ortalama ve standart sapma azalmaktadır. Model, kuru gün dönemi yağışları tahmin etmede en yüksek performansı göstermiştir. Islak gün yağış tahmininde ise performansı düşmüştür. Bu sonuç, modelin Tokat ili iklim şartlarına uygun olduğunu göstermektedir.

Sonbahar mevsiminde ise; CLIGEN ıslak gün yağış tahmininde başarısız olurken; kuru gün yağış tahmininde oldukça başarılıdır. Çünkü bu mevsimde yağışlar pek fazla değildir. Kuru gün dönemi uzun geçmektedir.

Tokat ili, ilkbahar yağışlarının etkili olduğu bir bölgedir. Dolayısıyla, bu bölgedeki yağışları simüle etmek için WEPP Hillslope model ile bulunan sonuçlar bölgeyi temsil etmek için kullanılabilir niteliktedir.

4.2. WEPP Model Simülasyon Sonuçları

Water Erosion Prediction Project (WEPP) Hillslope model fiziksel sürece dayalı bir model olup, günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır (Pandey ve ark., 2008;2009; Shen ve ark., 2009; Bagarello ve Fero, 2012). Özellikle, yüzey akış ve toprak kayıplarını tahmin etmek için modelin etkinliğinin artırılması yönünde yapılan çalışmalar her geçen gün artmaktadır (Bowen ve ark., 1997; Bjorneberg ve Trout, 1999; Elliot ve ark., 2001).

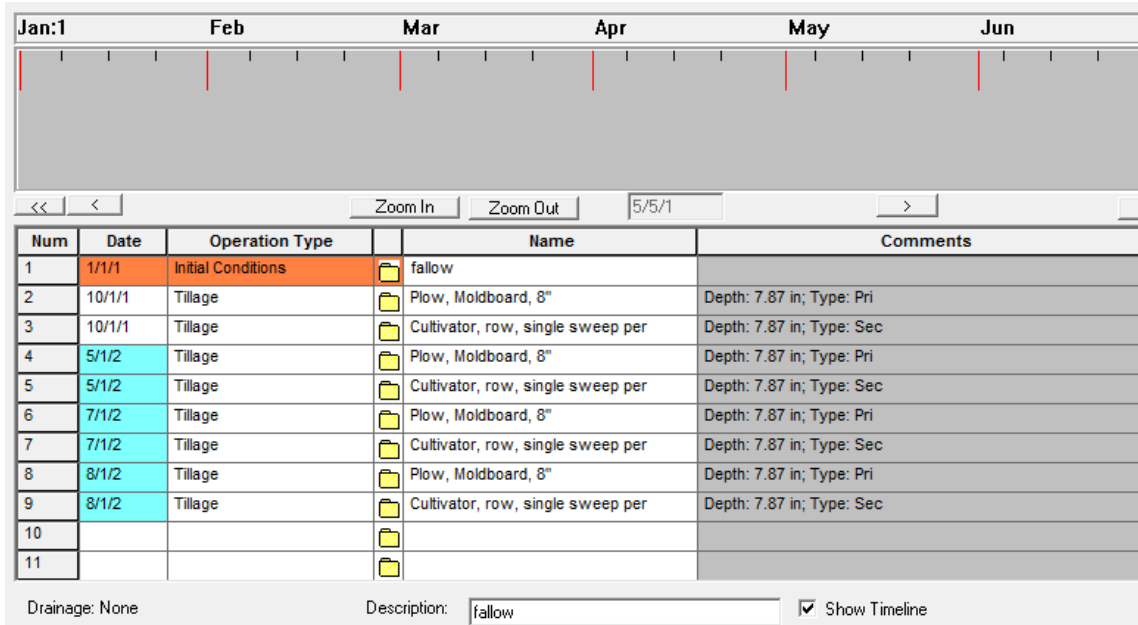
Çalışmada, 1975-1995 yılları arasındaki Universal Denklemin K, R, C ve P faktör değerlerini Tokat koşullarında belirlemek amacıyla yürütülmüş parsel çalışmaları bulguları olan erosiv yağışların meydana getirdiği toprak kaybı ve yüzey akış verileri WEP Hillslope model çıktıları ile karşılaştırılmıştır. Bu amaç için, eğim doğrultusunda sürekli nadas (K parseli), bitki yönetim faktörü (buğday, tütün ve mercimek ekim nöbeti tarımı altında için C faktörü) ve toprak koruma önlemleri faktörü (eğime dik sürüm için P faktörü) parsellerinde, arazi çalışmaları ile gözlemlenmiş gerçek yüzey akış ve toprak kayıpları verileri değerlendirilmiştir. Ölçülmüş ve WEPP Hillslope modeli ile gerçek arazi koşullarında elde edilmiş olan veriler tahmin edilen değerler karşılaştırılmıştır.

4.2.1. Eğim Doğrultusunda Sürekli Nadas (K Parseli) Koşullarında Simülasyon Sonuçları

Gözlenen ve tahmin edilen toprak kaybı ve yüzey akış verileri, olay esaslı ve yıllık ortalamalar olmak üzere ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Elde edilen araştırma bulguları, grafiksel ve istatistiksel olarak çizelge halinde verilmiştir. WEPP Hillslope modelinde K parseli simülasyonu için yalnızca amenajman dosyasında sürekli nadas koşulları oluşturulmuştur (Çizelge 4.9). USLE çalışmaları kapsamında K parseli sürekli sürülü nadas halde tutulmuş ve en fazla % 25 oranında otlanmaya müsaade edilmiştir. Bu nedenle çalışmamızda WEPP Hillslope modelin amenajman dosyası içerisinde bu koşula en uygun seçenek olan nadas koşulları seçilmiştir (Şekil 4.19). K parseli için seçilen amenajman koşulları Çizelge 4.9 da verilmiştir.

Çizelge 4.9. K parseli ve WEPP Hillslope model arazi uygulamalarının karşılaştırılması

| ARAZİ OPERASYONLARI | | WEPP Hillslope | |
|---------------------|--|----------------|---------------------------------|
| Operasyon Tarihi | Operasyon Şekli | Date | Operation Type |
| 10/01/1. | 0-20 cm derinliğinde bel ile toprak işleme | 10/01/1 | Plow Moalboard |
| 10/01/1 | El Markörü ile toprak işleme | 10/01/1 | Cultivatör row single swepp per |
| 05/01/2 | 0-20 cm derinliğinde bel ile toprak işleme | 05/01/2 | Plow Moalboard |
| 05/01/2 | El Markörü ile toprak işleme | 05/01/2 | Cultivatör row single swepp per |
| 07/01/3 | 0-20 cm derinliğinde bel ile toprak işleme | 07/01/3 | Plow Moalboard |
| 07/01/3 | El Markörü ile toprak işleme | 07/01/3 | Cultivatör row single swepp per |
| 08/01/4 | 0-20 cm derinliğinde bel ile toprak işleme | 08/01/4 | Plow Moalboard |
| 08/01/4 | El Markörü ile toprak işleme | 08/01/4 | Cultivatör row single swepp per |



Şekil 4.19. K parseli amenajman dosyası

4.2.1.1. Olay Bazlı Simülasyon Sonuçları

K parselinde ölçülmüş toprak kaybı ve yüzey akış verileri bireysel olayların gözlemlenmesi sonucu elde edildiğinden modelin bireysel yağışlara bağlı olarak yöre koşullarında tahmin başarısını test etme imkanı vermiştir. Bu amaçla, CLIGEN ile 1975-1995 yıllarına ait yağışların simülasyonu yapılarak, %9 eğim ve 21 m uzunluğundaki yamaç boyunca meydana gelen toprak kaybı ve yüzey akış verileri model yardımıyla tahmin edilmiştir.

Modelin ölçülmüş bireysel olayları simüle etmedeki başarısı incelendiğinde, çalışma döneminde gerçekleşmiş 121 erosiv nitelikteki yağışı, 100 erosiv olay olarak tahmin ettiği görülmüştür (Çizelge 4.10). Gözlenen ve tahmin edilen ortalama olay bazlı erosiv yağış değerleri sırasıyla; 11.18 ve 18.94 mm'dir. Model peş peşe gözlenen yağışlı günden sonra gelen gerçekte erosiv nitelikte olmayan, kuru günü de yağışlı olarak tahmin etmiştir. USLE çalışmasında bireysel yağışlar oluş zamanına göre tarihlendirilirken modelde ise günlük yağışlar dikkate alınmaktadır. Böylelikle gerçek ölçüm değerlerinde bir yağış saat 24 ten önce başlamış ve bitmiş ise USLE proje çalışmasında bir önceki güne yağış olarak kaydedilirken günlük yağış olarak ise sabah 7' den önce yağmış olduğu için o güne kaydedilmektedir. Ayrıca, miktar olarak 10 mm altındaki yağışlar Wischmeier erosiv yağış kriterlerine göre erosiv nitelikte olmamakla birlikte model değerlendirmesinde ise birkaç müstakil yağışın günlük olarak gerekli koşulları sağlaması halinde toprak kaybı ve yüzey akış üretiminde hesaplamalara dahil edilebilmektedir. Bu durum, yağışın daha fazla ve daha sık olduğu ilkbahar aylarının model performansının yüksek olmasına yol açmaktadır. Özellikle sonbahar aylarına göre erosiv yağışları tahmin etmede pek daha başarılı olduğu düşünülmektedir. Model uzun yıllar bireysel yağış olay sayısını gözlenen değer altında tahmin etmiştir. CLIGEN, ay içerisinde ıslak gün sayısında azalma olursa, yağışı gözlenen değerlere yakın tahmin etmektedir. Ancak, ıslak gün sayısında artış olursa gözlenen değer üzerinde simülasyon yapmaktadır (Zhang ve Garbrecht, 2003; Lobo ve ark., 2015). CLIGEN, yağışları aylık ortalama değere göre değerlendirmekte ve ortalamanın altındaki verileri tahmin etmede pek başarılı olamamaktadır (Çizelge 4.10).

WEPP Hillslope modelin simülasyonunda topoğrafya, toprak, bitki ve amenajman ile iklim verilerinden oluşan veri seti kullanılmıştır. Ayrıca 21 yıllık süre içinde görülen,

yağış olayını karakterize etmek için toprak nemi, tekstür, rill ve interill gibi özelliklerde girilmiştir. Yüzey akış, birden çok faktör tarafından kontrol edilmektedir. Bunlar yağış karakteristikleri, toprak tekstürü, şevin eğimi, agregat stabilitesi, başlangıçtaki nem içeriği ve yüzey pürüzlülüğüdür.

1975-1995 yıllarına ait gözlenen ve simüle edilen olay bazlı yüzey akış ortalamaları arasındaki ilişki grafiksel olarak verilmiştir (Şekil 4.20). 121 gözlenen yüzey akış olayına karşılık, model çok daha sık ve küçük şiddette 100 olay tahmin etmiştir. Ortalama gözlenen yüzey akış 2.43 mm ve tahmin edilen ise 4.98 mm'dir. Model 2.55mm veya %48 daha yüksek tahminde bulunmuştur. K parselinde, olay bazlı yağışlar sonucu meydana gelen yüzey akış değerleri çok küçük değerdedir (Çizelge 4.10). Model, bu küçük değerleri yüksek ve yüksek değerleri ise düşük tahmin etme eğilimindedir. Yine 10 mm'nin altındaki erosiv yağışları yüksek, 10-15 mm arasındaki yağışları ise genellikle kısmen yüksek ve 15 mm'den büyük yağışları ve 1 mm'den küçük yüzey akış değerlerini ise sıfır ya da sıfıra yakın tahmin etmektedir (Şekil 4.20).

Gözlenen ve tahmin edilen yüzey akış verileri arasındaki ilişki grafiksel olarak incelenmiştir (Şekil 4.21). Bu ilişkinin tanımlama katsayısı $R^2:0.49$ olup, aralarındaki ilişki yüksek değildir. Ancak, toprak su koruma çalışmalarında, %20-50 altında ya da üzerinde tahminde bulunan model başarılı olarak kabul edilmektedir. Gözlenen ve simüle edilen veriler 1:1 hattı boyunca, X eksenine yakın dağılmaktadır. Bu durum modelin, gözlenen değerlerden daha düşük tahminlerde bulunduğunu göstermektedir. Ayrıca X ekseninde sıfır ya da sıfıra yakın değerlerin bulunması modelin yüzey akışını tahmin etmedeki başarısızlığının da göstergesidir. Benzer sonuçlar Kramer ve Alberts, 1995; Risse ve ark., 1995 ve Zhang ve ark., 1996 ile Xie ve ark., 2003'ün yapmış oldukları çalışmalarda da bulunmuştur.

Çizelge 4.10. K parseli olay esaslı simülasyon sonuçları

| YIL | GÖZLENEN | | | TAHMİN EDİLEN | | |
|------------|------------------|-------------------|---------------|------------------|-------------------|---------------|
| | Yağış Miktarı | Toprak Kaybı | Yüzey Akış | Yağış Miktarı | Toprak Kaybı | Yüzey Akış |
| | mm | kg/m ² | mm | mm | kg/m ² | mm |
| 27.04.1975 | 18.2 | 0.787 | 8.33 | 16.3 | 0.21 | 4.1 |
| 28.04.1975 | 12.1 | 0.363 | 8.04 | 18.6 | 0.39 | 7.1 |
| 30.04.1975 | | | | 20.7 | 0.52 | 9.9 |
| 11.05.1975 | 2.5 | 0.01 | 0.45 | 14.7 | 0.08 | 1.9 |
| 10.06.1975 | 15.1 | 0.004 | 0.89 | 14.5 | 0.06 | 2.1 |
| 12.06.1975 | | | | 15.2 | 0.1 | 3 |
| 26.06.1975 | 8.5 | 0.017 | 0.72 | | | |
| 07.03.1977 | 6.4 | 0.003 | 2.68 | | | |
| 23.04.1977 | 13.2 | 0.002 | 3.49 | 19.6 | 0.07 | 4.8 |
| 14.05.1977 | 8.6 | 0.014 | 2.52 | 22.1 | 0.14 | 7.8 |
| 17.05.1977 | 1.7 | 0.052 | 9.61 | 23.5 | 0.19 | 9 |
| 30.05.1977 | 9.3 | 0.143 | 30.64 | 19.8 | 0.11 | 6.1 |
| 05.06.1977 | 2.7 | 0.010 | 12.26 | 8.3 | 0.02 | 0.8 |
| 13.06.1977 | 13.6 | 0.077 | 15.87 | 8.1 | 0.02 | 1 |
| 18.06.1977 | 7.3 | 0.25 | 26.5 | 14.2 | 0.72 | 7.8 |
| 26.07.1977 | 10.6 | 0.002 | 8.38 | 24.6 | 2.07 | 14.1 |
| 06.04.1978 | | | | 17.7 | 0.07 | 3.6 |
| 24.04.1978 | | | | 17.1 | 0.07 | 3.8 |
| 20.04.1979 | | | | 11.7 | 0.03 | 2.3 |
| 14.05.1979 | | | | 9.8 | 0.01 | 1 |
| 15.05.1979 | | | | 10.7 | 0.04 | 2.3 |
| 06.07.1979 | | | | 12.9 | 0.02 | 2.2 |
| 16.07.1979 | | | | 12.8 | 0.03 | 2.6 |
| 30.07.1979 | | | | 25.8 | 0.26 | 11.2 |
| 06.01.1980 | | | | 20.5 | | 0.7 |
| 27.01.1980 | | | | 19.9 | 0.07 | 3.2 |
| 13.03.1980 | | | | 20.2 | 0.08 | 5.2 |
| 05.05.1980 | | | | 21.7 | 0.17 | 7.9 |
| 31.10.1980 | 5.5 | 0.0002 | 0.12 | | | |
| 20.11.1980 | 5.9 | 0.0005 | 0.26 | | | |
| 10.12.1980 | 6.7 | 0 | 0.17 | | | |
| 07.01.1981 | 15.2 | 0.0009 | 0.45 | 20.5 | 0.09 | 4.8 |
| 21.02.1981 | 5.7 | 0.0002 | 0.19 | 15.8 | 0.03 | 2.6 |
| 06.03.1981 | 22.6 | 0.0009 | 0.16 | 11.7 | | 0.1 |
| 07.03.1981 | 6 | 0.0001 | 0.29 | 10.6 | | 0 |
| 13.03.1981 | 10.1 | 0.0001 | 0.12 | 32.1 | 2.22 | 18 |
| 04.04.1981 | 21.1 | 0.0001 | 0.31 | 14 | 0.02 | 1.6 |
| 05.05.1981 | 14 | 0.0163 | 0.17 | 12.8 | 0.02 | 1.3 |

Çizelge 4.11. Devamı

| YIL | GÖZLENEN | | | TAHMİN EDİLEN | | |
|------------|------------------|-------------------|---------------|------------------|-------------------|---------------|
| | Yağış Miktarı | Toprak Kaybı | Yüzey Akış | Yağış Miktarı | Toprak Kaybı | Yüzey Akış |
| | mm | kg/m ² | mm | mm | kg/m ² | mm |
| 13.09.1981 | 12.1 | 0.0011 | 0.12 | | | |
| 14.10.1981 | 3.9 | 0.0015 | 0.29 | | | |
| 16.11.1981 | 20.2 | | 0.14 | | | |
| 17.12.1981 | 35.3 | 0.0011 | 0.17 | | | |
| 08.01.1982 | 5.1 | 0 | 0.17 | | | |
| 11.01.1982 | 33.1 | 0 | 0.17 | | | |
| 01.04.1982 | 13.8 | 0.0001 | 0.14 | | | |
| 11.04.1982 | 12.1 | 0.0002 | 0.24 | 15.4 | 0 | 0.1 |
| 25.04.1982 | 10.8 | 0.0002 | 0.12 | | | |
| 03.05.1982 | 17 | 0.0112 | 0.3 | | | |
| 07.06.1982 | 8.9 | 0.006 | 0.13 | | | |
| 21.01.1983 | 9.7 | 0.0014 | 0.14 | | | |
| 17.02.1983 | 6.9 | 0.0001 | 0.71 | | | |
| 28.03.1983 | 6.8 | 0.0448 | 0.61 | | | |
| 02.05.1983 | 11.5 | 0.0162 | 1.11 | | | |
| 03.05.1983 | 8 | 0.4561 | 8.24 | 23.9 | 0.03 | 1.7 |
| 07.05.1983 | 10.6 | 0.0011 | 0.26 | | | |
| 22.05.1983 | 6.5 | 0.7987 | 0.97 | 18.8 | 0.04 | 3.4 |
| 28.05.1983 | 6.4 | 1.9315 | 13.72 | 23 | 0.13 | 7.4 |
| 30.05.1983 | 23.9 | 0.4934 | 2.82 | 19 | 0.07 | 4.6 |
| 01.06.1983 | 13 | 0.822 | 15.92 | 21.2 | 0.15 | 7.6 |
| 04.10.1983 | 6 | | 0.29 | | | |
| 14.10.1983 | 12.6 | 0.001 | 0.5 | | | |
| 15.10.1983 | | | | 21 | 0.13 | 8.5 |
| 17.11.1983 | 19.4 | 0.0002 | 0.42 | | | |
| 18.11.1983 | 10.2 | 0.0001 | 0.39 | | | |
| 01.03.1984 | 5.6 | 0.0001 | 0.12 | | | |
| 09.04.1984 | 7 | 0.231 | 8.64 | 23 | 0.13 | 7.5 |
| 11.04.1984 | 12 | 0.172 | 6.29 | | | |
| 19.04.1984 | 13.5 | 0.06 | 2.6 | | | |
| 21.04.1984 | 5.1 | 0.017 | 2.53 | | | |
| 07.05.1984 | 5.7 | 0.033 | 2.45 | 16.2 | 0.05 | 2.8 |
| 13.05.1984 | 6.2 | 0.047 | 1.71 | | | |
| 27.05.1984 | 11.3 | 0.046 | 0.45 | | | |
| 02.06.1984 | 9.5 | 0.002 | 0.17 | | | |
| 30.07.1984 | 8.6 | 0.0002 | 0.13 | | | |
| 12.12.1984 | 11.1 | 0 | 0.5 | | | |
| 10.01.1985 | 5.2 | 0 | 0.14 | | | |
| 05.05.1985 | 17.4 | 0.0782 | 9.99 | | | |

Çizelge 4.12. Devamı

| YIL | GÖZLENEN | | | TAHMİN EDİLEN | | |
|------------|------------------|-------------------|---------------|------------------|-------------------|---------------|
| | Yağış Miktarı | Toprak Kaybı | Yüzey Akış | Yağış Miktarı | Toprak Kaybı | Yüzey Akış |
| | mm | kg/m ² | mm | mm | kg/m ² | mm |
| 06.05.1985 | 24.6 | 0.19 | 8.5 | | | |
| 15.05.1985 | | | | 14 | 0.01 | 0.9 |
| 21.10.1985 | 10 | 0.0627 | 8.02 | 22.9 | 0.18 | 8.4 |
| 12.10.1985 | 5 | | 0.4 | 38.8 | 2.49 | 22.7 |
| 18.10.1985 | | | | 14.6 | 0.03 | 2.3 |
| 20.10.1985 | 12 | 0.03 | 1.63 | 12.8 | 0.03 | 2.4 |
| 26.10.1985 | 19.7 | 0.024 | 0.95 | | | |
| 08.01.1986 | 38.4 | | 0.33 | | | |
| 17.01.1986 | 30.9 | | 0.24 | | | |
| 22.04.1986 | | | | 16.7 | 0.04 | 3 |
| 02.05.1986 | 7.8 | 0.389 | 3.27 | 13.6 | | 0.3 |
| 04.06.1986 | 11.2 | | 0.33 | | | |
| 12.06.1986 | 5.8 | | 0.21 | | | |
| 01.01.1987 | 7.9 | | 0.37 | | | |
| 09.01.1987 | 6.7 | 0.00035 | 0.29 | | | |
| 29.01.1987 | | | | 24.6 | 0.05 | 2.1 |
| 03.02.1987 | 17.5 | 0.0002 | 0.14 | | | |
| 16.04.1987 | 14.7 | | 0.17 | | | |
| 01.06.1987 | 8 | | 0.03 | | | |
| 02.06.1987 | 5.5 | | 0.04 | 16.6 | 0.03 | 2.6 |
| 18.06.1987 | 6 | | | | | |
| 19.06.1987 | 11.5 | 0.0705 | 2.94 | | | |
| 28.10.1987 | 5.5 | | 0.15 | | | |
| 02.11.1987 | 5.5 | | 0.08 | 19.2 | 0.39 | 4.2 |
| 12.11.1987 | | | | | | |
| 05.12.1987 | 5.8 | | 0.01 | | | |
| 10.12.1987 | 5.1 | | 0.08 | | | |
| 12.12.1987 | 9.8 | | 0.07 | 33.1 | 4.38 | 16.7 |
| 28.01.1988 | | | | 12.6 | | 0.1 |
| 28.02.1988 | 5.5 | | 0.21 | | | |
| 02.03.1988 | 25.4 | | 0.04 | | | |
| 18.04.1988 | | | | 13.9 | 0.02 | 1.1 |
| 22.04.1988 | | | | 12.9 | | 0.4 |
| 03.05.1988 | 4.9 | 0.0085 | 0.81 | | | |
| 31.05.1988 | 13 | 0.0591 | 0.84 | | | |
| 03.06.1988 | 4.9 | 0.0151 | 0.7 | | | |
| 29.10.1988 | | | | 17.2 | 0.05 | 1 |
| 18.11.1988 | | | | 6.3 | 0.03 | 0.4 |
| 25.04.1989 | 23 | | 0.29 | | | |

Çizelge 4.13. Devamı

| YIL | GÖZLENEN | | | TAHMİN EDİLEN | | |
|------------|------------------|-------------------|---------------|------------------|-------------------|---------------|
| | Yağış Miktarı | Toprak Kaybı | Yüzey Akış | Yağış Miktarı | Toprak Kaybı | Yüzey Akış |
| | mm | kg/m ² | mm | mm | kg/m ² | mm |
| 30.05.1989 | | | | 24.8 | 0.22 | 10.1 |
| 05.06.1989 | | | | 18.2 | 0.07 | 4.9 |
| 15.06.1989 | | 1.218 | 9.47 | 40.6 | 3.09 | 24.6 |
| 22.06.1989 | 9 | 0.6806 | 3.84 | 17.7 | 0.07 | 4.3 |
| 02.10.1989 | | | | 17.3 | 0.07 | 4.5 |
| 17.11.1989 | 14.7 | | 8.96 | 0 | 0 | 0 |
| 08.11.1990 | 27.9 | | 0.82 | | | |
| 18.02.1991 | 9.3 | | 0.19 | | | |
| 22.03.1991 | 6.5 | 0.0292 | 0.11 | | | |
| 15.04.1991 | 7.6 | 0.0017 | 0.9 | 28.3 | 0.25 | 9.8 |
| 20.04.1991 | 7 | 0.0875 | 1.74 | 30 | 1.61 | 14.7 |
| 01.05.1991 | 18.7 | | 0.05 | 18.8 | 0.09 | 4.9 |
| 16.05.1991 | | | | 26.2 | 0.26 | 10.8 |
| 20.05.1991 | 22.5 | 0.003 | 0.14 | 19 | 0.11 | 5.4 |
| 22.05.1991 | | | | 19 | 0.13 | 6.3 |
| 10.10.1991 | | | | 18.6 | 0.07 | 4.4 |
| 29.10.1991 | | | | 12.6 | 0.01 | 0.7 |
| 12.04.1992 | 19 | 0.0042 | 0.05 | | | |
| 05.07.1992 | 13.3 | 0.0854 | 1.17 | | | |
| 25.10.1992 | 9.3 | 0.0279 | 0.86 | | | |
| 23.11.1992 | 10.7 | 0.0031 | 0.64 | | | |
| 26.03.1993 | | | | 11.1 | | 1.1 |
| 19.04.1993 | | | | 14.8 | 0.01 | 1.2 |
| 02.05.1993 | | | | 13.4 | 0.02 | 1.4 |
| 03.05.1993 | | | | 12.2 | 0.01 | 0.8 |
| 30.05.1993 | 12.7 | 0.1183 | 0.91 | | | |
| 02.06.1993 | | | | 15.3 | 0.03 | 2.2 |
| 03.06.1993 | | 0.08256 | 2.74 | 26.2 | 0.32 | 13 |
| 27.06.1993 | | | | 18.4 | 0.09 | 5.2 |
| 18.11.1993 | | | | 16.2 | 0.2 | 0.7 |
| 26.04.1994 | | | | | | |
| 09.05.1994 | | | | | | |
| 12.05.1994 | | | | | | |
| 13.05.1994 | | | | | | |
| 08.09.1994 | | | | | | |
| 13.10.1994 | | | | | | |
| 01.04.1995 | 2.5 | | 0.17 | | | |
| 18.04.1995 | | | | 24.2 | 0.17 | 8.9 |
| 28.04.1995 | | | | 23.7 | 0.17 | 8.6 |

Çizelge 4.14. Devamı

| YIL | GÖZLENEN | | | TAHMİN EDİLEN | | |
|------------|------------------|-------------------|---------------|------------------|-------------------|---------------|
| | Yağış Miktarı | Toprak Kaybı | Yüzey Akış | Yağış Miktarı | Toprak Kaybı | Yüzey Akış |
| | mm | kg/m ² | mm | mm | kg/m ² | mm |
| 20.11.1995 | | | | 31.1 | 0.65 | 9.3 |
| 22.11.1995 | | | | 18.3 | 0.22 | 4.6 |

Modelin bu şekilde gözlenen değerlerin altında veya üstünde tahmin etmesinin en önemli nedeni yüzey hidrolojisidir. Model hidrolik iletkenliği, modifiye edilmiş *Green-Ampt-Mein-Larson* (Mein ve Larson, 1973; Kidwell ve ark., 1997; Risse ve ark., 1995) denklemini kullanarak hesaplamaktadır. Bu denklem, sürekli yağışlar sonucunda yüzeyde oluşan göllenmelere bağlı olarak meydana gelen infiltrasyonu dikkate almaktadır. İnfiltrasyonu iki aşamada hesaplamaktadır. İlkinde, yağışın şiddeti toprağın infiltrasyonunu aştığında su ya da yüzey akış yüzeyde bir noktada göllenmektedir. Diğerinde ise, yüzeyde herhangi bir göllenme olmamakta ve tüm yağışlar toprağa infiltre olmaktadır (Guilherme ve ark., 2014). CLIGEN ile 1975-1995 yılları arasında gözlenen ve tahmin edilen yağış verileri oldukça değişkendir. Bazı yıllarda model, yağış olmayan günlerde yağış olayını tahmin ederken; olan günlerde de tahminde bulunmamıştır. Özellikle kuru bir günden sonra yağış olayı tahmininde bulunmazken, ıslak günden sonra da yağış olmasa dahi yağış tahmininde bulunmuştur. WEPP model, gözlenen su içeriğini yeniden profilde eşit olarak dağıtmakta ve yağışlara bağlı olarak su bütçesini güncellemektedir (Prasuhn, 2012). Bu durum, toprağın su içeriğini çok yakından etkilemektedir. Su içeriği, yüzey akışın çok yüksek ya da düşük çıkmasına neden olan en önemli hidrolojik özelliktir. Çalışmada kullanılan hidrolik iletkenlik, 1.86 mm/saat olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu değer, yüzey akışın gözlenen değerden yüksek çıkmasına neden olmuştur. Ancak, yapılan duyarlılık analizi sonuçlarından modelin pik değerinden sonra, hidrolik iletkenliğe karşı daha az duyarlı hale geldiği sonucuna varılmıştır.

Croke ve ark. (2006), Avustralya’da yaptıkları çalışmada RUSLE, WEPP ve TOPOG modellerini kullanarak yüzey akışı değerlendirmişlerdir. Model 52 gözlenen değere karşılık, 27 yüzey akışı tahmin etmiştir. Düşük şiddetteki yağışlar için çok değişken tahminlerde bulunurken, orta ve yüksek şiddetteki yağışlar için ise gözlenenden daha

yüksek tahminlerde bulunmuştur. Albaredia ve ark. (2011) ise, 2003-2005 yılları arasındaki iklim verilerini kullanarak yaptığı çalışmada WEPP model kullanarak yüzey akışı tahmin etmiştir. Çalışmanın sonucunda, modelin yüzey akışı gözlenen değerden daha düşük tahmin ettiğini görmüşlerdir.

Yüzey akış üzerine ürün sistemi ve toprak işlemenin etkisi oldukça fazladır. Aynı toprak ve topoğrafik şartlar altında mevsimsel yağışlar ve bitki büyüme periyodu yüzey akışın şiddetini belirleyen anahtar bir faktördür. Geleneksel toprak işlemenin yapıldığı alanlarda WEPP hillslope model en az iki katı fazla yüzey akış tahmin etmektedir (Pieri ve ark., 2007; Ahmadi ve ark., 2011). K parselinde toprak yüzeyinde bitki örtüsü bulunmamakta ve eğime paralel toprak işleme yapılmaktadır. Bu durum, yüzey akışın gözlenen değerden yüksek çıkmasına neden olmaktadır. Zhang ve ark. (1996), yüzey akış verilerini WEPP Hillslope model kullanarak tahmin etmişler ve bulunan sonuçları gözlenen değer ile karşılaştırmışlardır. Toprak su koruma ile ilgili çalışmalarda, 5 mm'nin üzerindeki yağışlar erosiv yağış olarak kabul edilmektedir. Zhang ve ark., (1996), çalışmanın sonucunda modelin 5 mm'nin altındaki yağışların meydana getirdiği yüzey akışı çok yüksek tahmin ettiğini görmüşlerdir. K parselinde de benzer sonuç bulunmuştur. Model, özellikle 5 mm'nin altındaki çok küçük yağışların meydana getirdiği yüzey akışı tahmin etmede başarılı değildir. Benzer durum, CLIGEN ile tahmin edilen yağışlarda da görülmüştür. Zeleke ve ark. (2001) ve Risse ve ark. (1994 ve 1995b) yapmış oldukları çalışmada benzer sonuçlar bulmuşlardır. Ayrıca USLE çalışmalarında 5 mm altında yağış miktarına sahip düşük intensiteli yağışları erosiv olarak kabul etmeyerek ihmal ederken; WEPP model bu yağışları ve bu yağışın oluşturduğu nemi bir sonraki yağışta değerlendirmektedir. USLE ve WEPP çalışmalarında var olan bu farklılığın bir nedeni olarak ta 5 mm'den düşük erosiv nitelikte olmayan yağışların USLE'de doğrudan dikkate alınmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

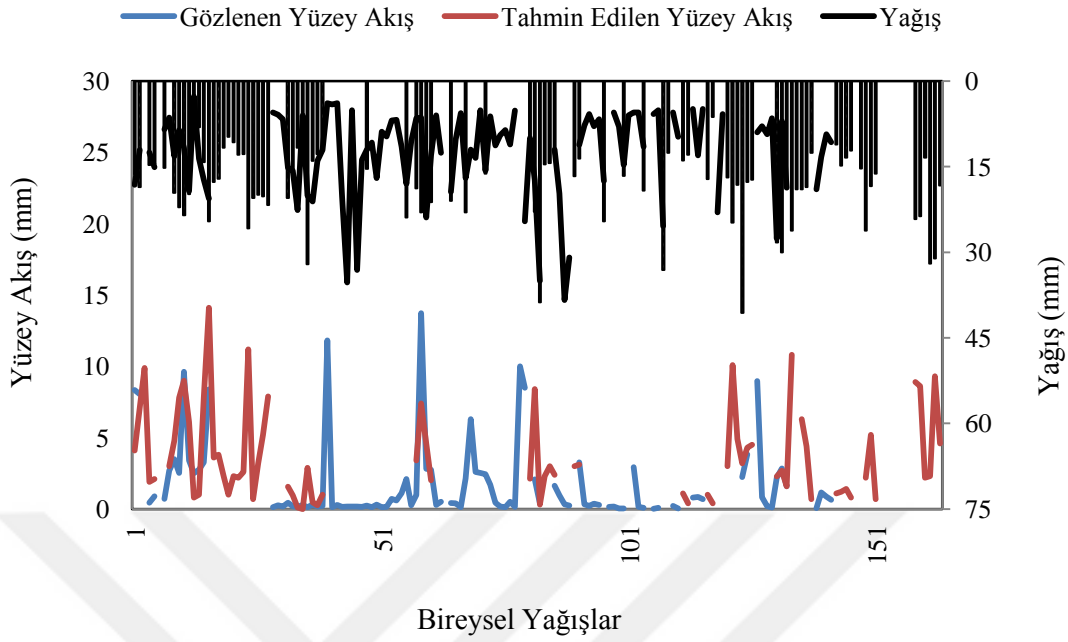
Yamaç arazilerinin ortalama, standart sapma ve değişkenlik katsayısı, yamacın yüksekliğine ve toprak özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. OFE (Yamaç arazisi) sayısındaki artışa bağlı olarak standart sapma ve değişim katsayısı azalmaktadır (Brunner ve ark., 2004). Tek bir OFE için değişim katsayısı %50'nin üzerinde bulunurken; beşten fazla OFE için bu değer %2-22 arasında değişmektedir (Brunner ve

ark., 2004). Ayrıca, değişim katsayısındaki azalma yamaç arazisinde yüksek oranda belirsizlikleri ifade etmektedir. K parseline ait 1975-1995 yılları arasındaki olay esaslı yüzey akışa ait tanımlayıcı istatistiksel hesaplamalar (Çizelge 4.15)'da verilmiştir. Gözlenen ve tahmin edilen yüzey akış değerleri karşılaştırıldığında olay bazlı olarak modelin yüzey akışı daha yüksek değerlendirdiği görülmektedir. Yamaç arazisinde tek bir OFE üzerinde çalışıldığından değişim katsayısı değerleri 86.9 ile 158 arasında oldukça yüksek değişiklik göstermektedir. Bu nedenle, WEPP modelin simülasyon çıktısının daha güvenilir olması için daha fazla sayıda OFE üzerinde çalışılması gerekmektedir. Gözlenen ve tahmin edilen ortalama yağış sırasıyla 1.72 ile 3.50 mm ve standart sapma ise 2.72 ve 3.13 mm'dir. Standart sapmanın yüksek çıkması, yüzey akış verilerinin ortalamadan uzak bir dağılım gösterdiği şeklinde yorumlanabilir. Basıklık ve çarpıklık katsayısına göre gözlenen yüzey akış verileri normal bir dağılım göstermediği söylenebilir (6.06 ve 2.49). 0.80 ile 1.20 basıklık ve çarpıklık değerlerine sahip WEPP Hillslope model verileri için ise, normal dağılıma yakın bir dağılım gösterdiği düşünülmektedir. Çünkü değerler sıfıra yakın bulunmuştur (Çizelge 4.15).

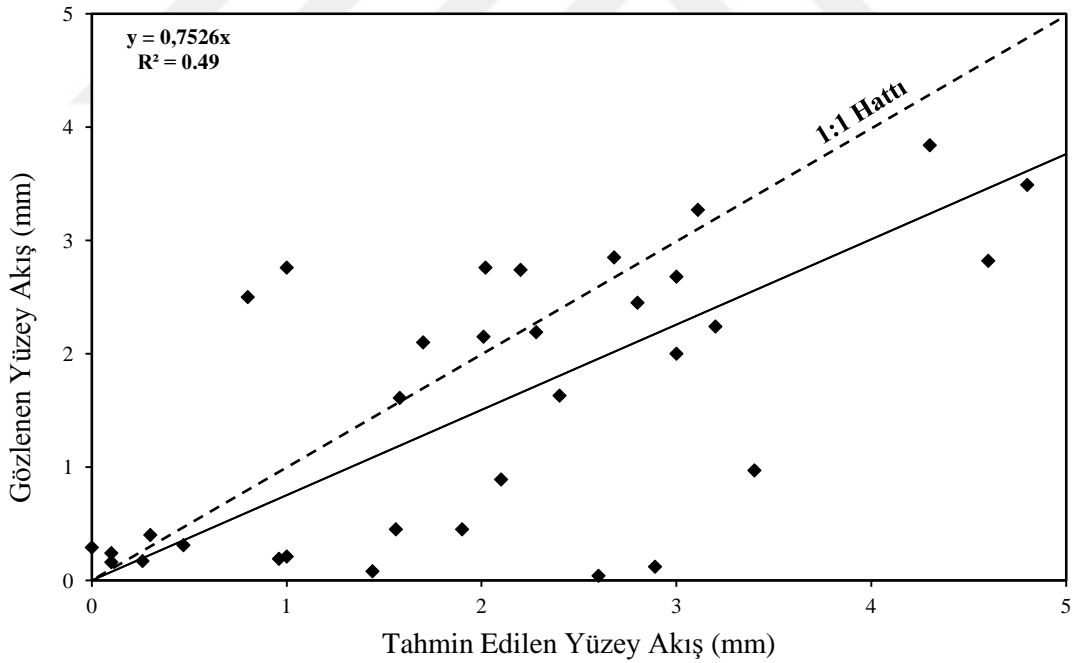
Model etkinliğin değerlendirilmesi için RMSE, ENS ve SE değerleri kullanılmıştır. RMSE değeri 4.09 bulunmuştur. Ünliform toprak özellikleri, topoğrafya ve toprak işleme altında RMSE'nin daha düşük dolayısıyla model etkinliğinin yüksek olması toprağın hidrolojik özelliklerinin ayarlanmasıyla ilgilidir. RMSE'nin yüksek çıkması yamaç üzerinde meydana gelen küçük kırılmalar boyunca gözlenen yüzey akışın, pik değerine ulaşmasından kaynaklanmaktadır. K parselinde RMSE değeri oldukça yüksek çıkmıştır. E_{NS} değeri 0.93 olarak bulunmuştur. E_{NS} değeri 1'e yaklaştıkça, modelin tahmin etme başarısı artmaktadır. SE değeri ise 0.94 olup, model yüzey akışı tahmin etmede orta derecede başarılı olduğu söylenebilir (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.15. K parseli olay esaslı tanımcı istatistikler

| ÖZELLİKLER | Ort. | SS | Basıklık | Çarpıklık | DK | RMSE | E_{NS} | SE |
|-----------------------|------|------|----------|-----------|------|------|----------|------|
| Gözlenen | 1.72 | 2.72 | 6.06 | 2.49 | 158 | 4.09 | 0.93 | 0.94 |
| WEPP Hillslope | 3.60 | 3.13 | 0.80 | 1.20 | 86.9 | | | |



Şekil 4.20. K parseli olay esaslı yağış ve yüzey akış arasındaki ilişki

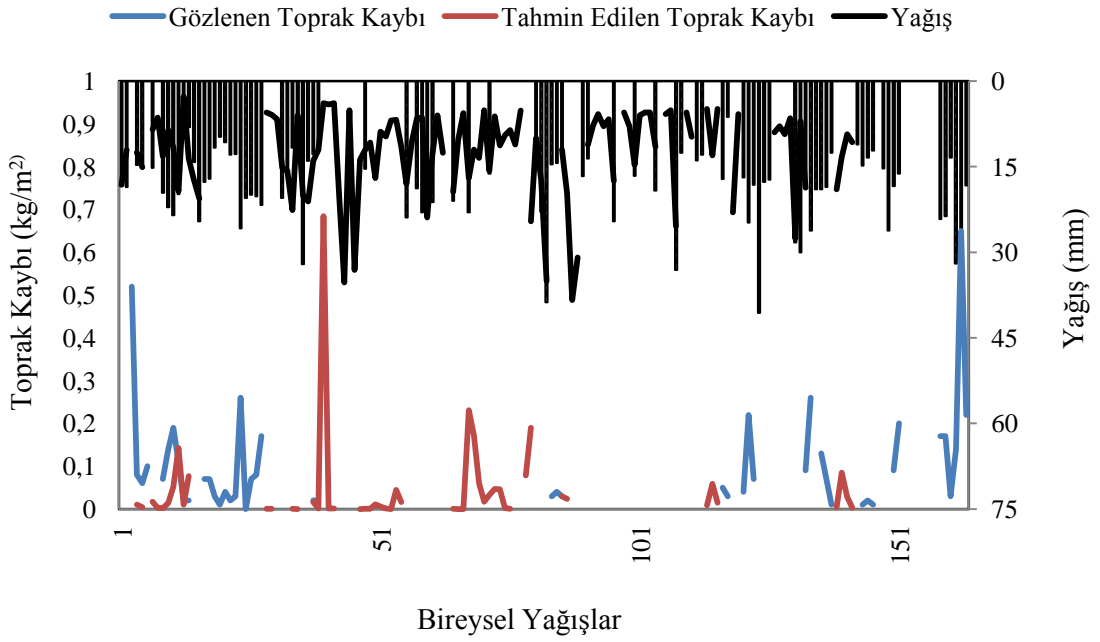


Şekil 4.21. K parseli olay esaslı yüzey akış verileri arasındaki tanımlama ilişkisi

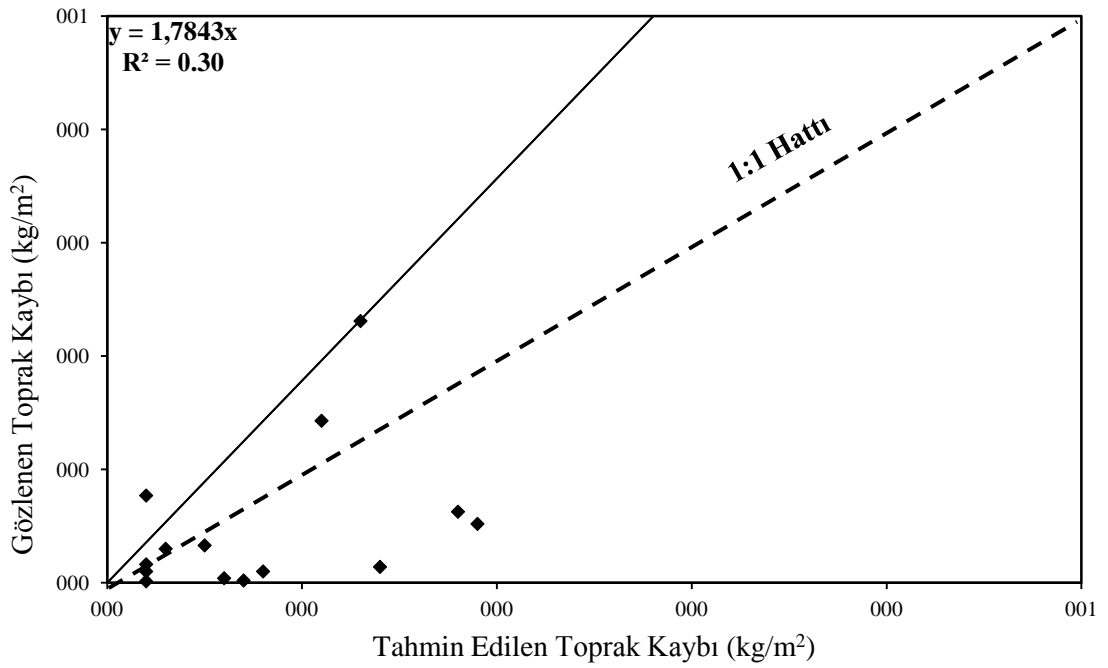
WEPP Hillslope model ile 21 yıllık erosiv yağışlar sonucunda meydana gelen toprak kayıpları ile arazide gözlenen toprak kayıpları arasındaki ilişki değerlendirilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.10'da verilmiştir. 121 gözlenen toprak kaybı olayına karşılık, model 100 toprak kaybı olayı tahmininde bulunmuştur. Olay esaslı gözlenen ve tahmin edilen toprak kayıp ortalamaları sırasıyla 0.09 kg/m^2 ve 0.28 kg/m^2 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.10). Model ortalama toprak kaybını gözlenen değer üç kat fazlası olacak şekilde tahmin etmiştir. Ortalama gözlemlenen toprak kaybının oldukça az olmasına karşın, çeşitli amaçlara yönelik yapılacak çalışmaları karşılayabilir ortalama toprak kaybı tahmininde bulunacak kadar yeterli olduğu düşünülmektedir.

Gözlenen ve tahmin edilen olay esaslı toprak kaybı arasındaki ilişki grafiksel olarak değerlendirilmiştir. K parselinde, şiddetli toprak kayıpları ilkbahar aylarında görülmektedir (Şekil 4.22). Peş peşe görülen yağışların sonucu olarak, toprak kayıpları da artmaktadır. Bu durum, toprak erozyon sürecinin çok kompleks olmasıyla ilişkilendirilmektedir. Gözlenen toprak kayıp değerleri çok küçük değerlerdir. Model, sıfıra yakın veriler için tahminde bulunmazken; büyük değerleri daha küçük ve küçük değerleri ise daha yüksek tahmin üretmiştir. (Şekil 4.22).

Gözlenen ve tahmin edilen toprak kayıp verileri arasındaki ilişkiyi belirlemek için; tahmin edilen toprak kayıp değerleri X eksenine ve gözlenen değerler ise Y eksenine yerleştirilmiş ve aralarındaki tanımlama katsayısı $R^2:0.30$ olarak belirlenmiştir (Şekil 4.23). Toprak kayıp verileri 1:1 hattının altında dağıldığı görülmektedir. Bu durum, modelin gözlenen değerden yüksek tahminde bulunduğunu göstermektedir. WEPP Hillslope modelde toprak kaybı, yağış süresi ve yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir (Heckrath ve ark., 2006). Özellikle, Eylül ve Mart ayları gibi kurak mevsimlerde WEPP Hillslope model toprak kaybı tahmininde bulunmazken; ıslak mevsimlerde ise gözlenen değer altında tahminlerde bulunmaktadır. Wilk (1992), Zhang ve Garbrecht (2002) yapmış oldukları çalışmada, aylık yağış sayısının artmasına karşılık modelin tahmin ettiği toprak kayıplarının azaldığı sonucuna varmışlardır.



Şekil 4.22. K parseli olay esaslı yağış ve toprak kayıpları arasındaki ilişki



Şekil 4.23. K parseli olay esaslı toprak kayıp verileri arasındaki tanımlama ilişkisi

Son yıllarda yapılan çalışmaların çoğunda modelin toprak kayıplarını normalin altında (Pieri ve ark., 2007; Singh ve ark.,2011; Yu ve ark., 2000), bazılarında ise normalin üzerinde tahmin ettiği bulunan sonuçlardan görülmektedir (Yu ve Rosewell, 2001; Zhang ve ark.,1996; Brooks ve ark., 2016). Avustralya'da Yu ve ark. (2000), 3 yıl boyunca ananas yetiştirilen bir tarım arazisinde WEPP model kullanmak suretiyle meydana gelen toprak kaybını değerlendirmişlerdir. Çalışmanın sonucunda, modelin, gözlenen değerden daha düşük toprak kaybını tahmin ettiğini görmüşlerdir. Zhang ve ark. (1996) ise, tarla şartlarında WEPP modelin performansını denemişlerdir. Küçük yağış olaylarında modelin daha yüksek toprak kaybı değerleri tahmin ettiğini belirlemişlerdir. Çalışmamızda kullanılan gözlenen erosiv yağış değerleri 2.5 ile 38.4 mm arasında değişmektedir.

Modelin toprak kaybını gerçek değerden daha yüksek tahmin etmesinin bir nedeni, düşük miktarda ki yağışların yeterince doğru simüle edilememesinden kaynaklanmaktadır. Model 5 mm altında yeterince enerjiye sahip olmayan yağışlardan toprak kaybı üretirken, gerçek ölçüm koşullarında ise 5 mm altındaki yağışlar ancak enerjisinin yüksek olması durumunda toprak kayıpları ve yüzey akışa yol açtığı varsayımı söz konusudur. Gerçek koşullarda yürütülen arazi çalışmaları bulgularına göre yüksek intensiteye sahip 5 mm'nin altındaki yağışlar olay olarak oldukça az gerçekleşmiştir. Oysa model 5 mm' nin altında gerçek koşullarda oluşmayacağı varsayılan toprak kayıplarını gerçekleştirmiş ve oluşan ilave katkı simülasyon toprak kayıplarının gerçek değere göre daha yüksek olmasına neden olmuştur. Arazi çalışmalarının yürütüldüğü Akış Serisi toprakları erozyona pedogenetik özelliklerinden dolayı oldukça dayanıklı oluşu gerçek ölçüm değerlerinin model tahminlerine göre düşük olmasının bir diğer nedenidir.

Erosiv yağışlar, 1975-1995 yılları arasında özellikleri bakımından oldukça çok farklılık göstermektedir. Bir yıl içerisinde meydana gelen erosiv yağış dağılımı çok düzensizdir. Model özellikle, yaz aylarında görülen toprak kayıplarını tahmin etmede oldukça başarılıdır (Çizelge 4.20). Bu sonuç, CLIGEN'in yaz aylarında kuru yağış ortalamalarına göre tahmin etmedeki başarısıyla yakından ilişkilidir.

Modelin değerlendirmesi Eşitlik 1,2,3, ve 4'e göre yapılmıştır. Gözlenen ve tahmin edilen değerler arasındaki tanımlayıcı istatistiksel sonuçlar Çizelge 4.16'da verilmiştir. Değişim katsayısı, gözlenen toprak kayıpları için 244, tahmin edilen değerler için ise 109 olarak belirlenmiştir. Değişim katsayısındaki bu yüksek varyasyon toprak kaybı ve yüzey akışa yol açan yağışlarda görülen yüksek varyasyondan kaynaklanmaktadır. CLIGEN ile üretilen yağışlara bağlı olarak modelin hesaplamış olduğu toprak kayıpları üzerinde ıslak günler belirleyicidir. Toprağın su içeriği, toprak aşınması özelliklerini yakından etkilemektedir. Yamacın topuk, orta ve tepe bölgesinde su içeriği farklı dağılım göstermektedir. Su bütçesinin farklı dağılım göstermesinden dolayı, model 10. m'den sonra toprak kayıplarını tahmin etmektedir. Çünkü tepe bölgesinde su içeriği düşüktür. Özellikle 20 m'den sonra tahmin edilen toprak kaybı değerleri oldukça yüksektir (20.m'de 3.27 kg/m² olarak en yüksek toprak kayıp değeri bulunmuştur). Gözlenen ve tahmin edilen olay esaslı toprak kayıpları 0.09 ila 0.11 ve standart sapmaları ise 0.22 ila 0.11 arasında değişmektedir. Basıklık katsayısı 13.44 ile 8.25 ve çarpıklık ise 3.40 ile 2.56 arasındadır. Toprak kaybı verilerindeki düzensiz dağılım istatistiksel sonuçlardan da görülmektedir.

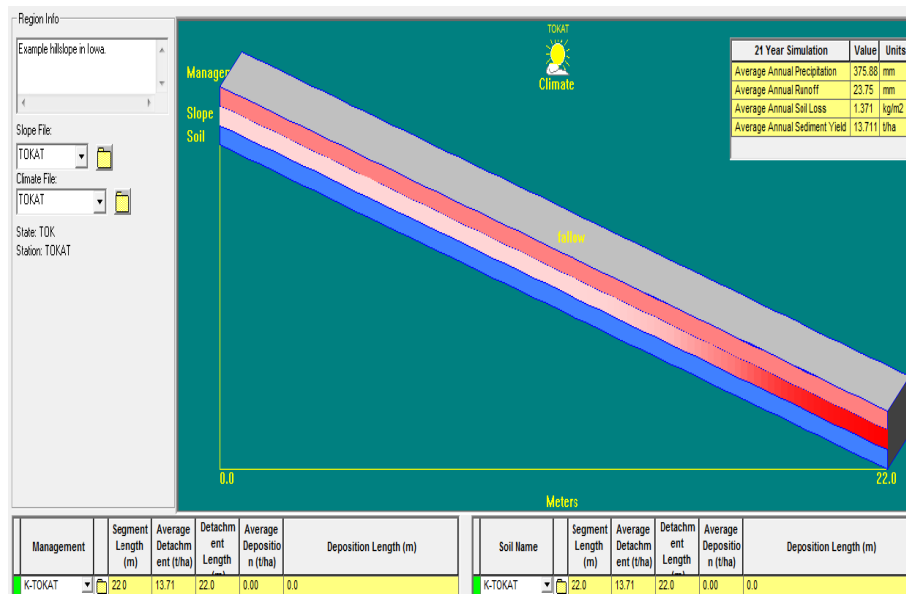
Gözlenen ve tahmin edilen toprak kayıplarının RMSE 0.26, E_{NS} değeri 0.04 ve SE ise 0.94 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.16). Mahmoodabadi ve ark. (2013), kalibrasyon öncesi ve sonrasında toprak kayıpları üzerine modelin performansını değerlendirmişlerdir. Kalibrasyon öncesinde E_{NS} ve R² -2.46 ile 0.0007 arasında değişirken; kalibrasyon sonrasında ise 0.31 ile 0.33 olmuştur. R² (Belirleme Katsayısı), yüzey akış tahmin edilen değerlerle çok yakından bir ilişki göstermemektedir (Perez-Bidegain, 2007). Söz konusu bu durum, modeli değerlendirme parametrelerin hesaplanma şeklinden kaynaklanmaktadır. E_{NS} değeri ölçülen tek olayın ortalamasını kullanırken, tanımlama katsayısı iki olayın verilerini kullanmaktadır. Dolayısıyla sonuçlar birbirleriyle çok yakından ilişkili olsalar da farklı düzeyde etkilenmişlerdir. Ortalama hatalar, olay esaslı olarak değerlendirilirken, pozitif olması durumunda, toprak kayıp değerlerini gözlenen değerlerin altında tahmin ettiğini göstermektedir (Zelege, 2001).

Çizelge 4.16. K parseli olay esaslı toprak kayıpları arasındaki tanıttıcı istatistikler

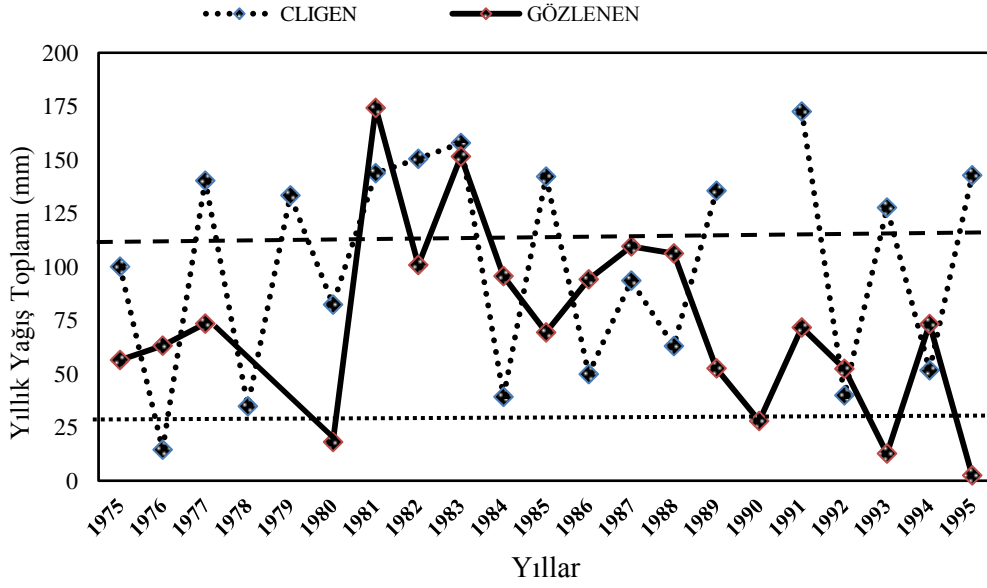
| ÖZELLİKLER | Ort. | SS | Basıklık | Çarpıklık | DK | RMSE | E _{NS} | SE |
|----------------|------|------|----------|-----------|-----|------|-----------------|------|
| Gözlenen | 0.09 | 0.22 | 13.44 | 3.60 | 244 | 0.26 | 0.04 | 0.94 |
| WEPP Hillslope | 0.11 | 0.12 | 8.25 | 2.56 | 109 | | | |

4.2.1.2. Yıllık Simülasyon Sonuçları

WEPP Hillslope model ile CLIGEN ara yüzü kullanılarak tahmin edilen toprak kaybı ve yüzey akış model çıktısı Şekil 4.24’de verilmiştir. Arazide gözlenen ve WEPP Hillslope model ile tahmin edilen toprak kaybı ve yüzey akış yıllık ortalama verileri Çizelge 4.17’de sunulmuştur. Gözlenen ve tahmin edilen yıllık toplam erosiv yağışlar 66.9 ve 89.40 mm olarak hesaplanmıştır. Kurak ve yarı kurak iklimin hakim olduğu çalışma alanında yıllık yağışlarda önemli değişiklikler gözlenmektedir. Yıllık yağış toplamı 2.5 ile 174.2 mm arasında değişmektedir. Bu yağışların yaklaşık olarak %40-70 Nisan-mayıs arasında meydana gelmektedir. WEPP Hillslope model ise, erosiv yağışları 14.5 ila 172.5 mm arasında tahmin etmiştir. Model ile tahmin edilen yağışlar ilkbahar aylarındadır. Model, erosiv yağış gözlenmeyen yıl içinde yağış tahmininde bulunmaktadır. 1981, 1982 ve 1983 yılları en yüksek erosiv yağış toplamına sahip iken; model 1991 yılında en yüksek yağış toplamı tahmininde bulunmuştur. (Çizelge 4.17).



Şekil 4.24. K parseli WEPP Hillslope model çıktısı



Şekil 4.25. K parseli erosiv yağışlara göre ıslak, normal ve kuru yıllar

K parseli erosiv yağışlara göre ıslak, /kuru ve normal yıllar belirlenmiştir. 1981 ve 1983 yılları ıslak; 1980, 1990, 1993 ve 1995 yılları ise kuru yıl olarak tahmin edilmiştir (Şekil 4.25). 1981 yılı için model erosiv yağışları altında tahmin ederken, toprak kaybı ve yüzey akışı üzerinde tahmin etmiştir. 1983 yılında ise, gözlenen değerlere yakın tahminde bulunmuştur. 1978 ve 1979 yıllarında yağış gözlenmezken model bu yıllar için tahminde bulunmuştur (Çizelge 4.17). 1980 yılı kurak bir yıl olup, model bu yıl için yüksek yağış tahmininde bulunmuştur. Yüzey akışın gözlenmediği bu yılda model tahminde bulunduğu Çizelge 4.17’de gözlenmektedir.

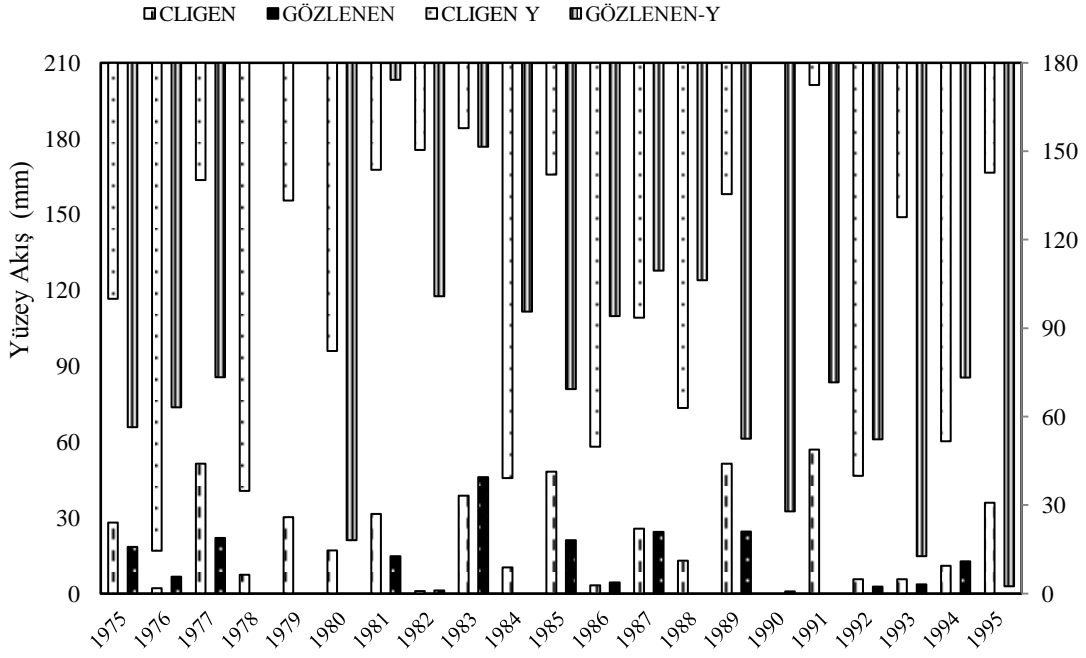
Erosiv yağışlara bağlı olarak meydana gelen yüzey akış ile tahmin edilen yüzey akış verileri yıllık düzlemde karşılaştırılmıştır. Gözlenen yüzey akış 15.25 mm/yıl iken, tahmin edilen ise 23.50 mm/yıl olarak gerçekleşmiştir. Model, yıllık ortalama yüzey akışı gözlenen değer 8.25 mm ya da %64 üzerinde tahmin etmiştir. Bu durum, yıllık yağışlardaki farklılıktan kaynaklanmaktadır. 1989 yılında 52.5 mm yağışın 24.56 mm yüzey akışa geçerken, 1982 yılında ise 100.8 mm yağışın yalnızca 1.27 mm yüzey akış olarak gözlenmiştir (Çizelge 4.17). Yüksek yıllık yağış toplamına sahip yılların bazılarında ise, yüzey akış gözlenmemiştir. Pierri ve ark. (2007), Sicilya adasında yaptığı çalışmada 1999-2005 yılları arasındaki yağışları değerlendirmiştir. 2002 yılında en yüksek yıllık yağış ortalamaları görülürken; 2005 yılında en yüksek yüzey akışı meydana gelmiştir.

Kurak ve yarı kurak bölgelerde yüzey akış, hidrolojik özelliklere bağlı olarak değişmektedir (Faures ve ark., 1995; Vaezi ve ark., 2014). Bir yamaç ya da havzada yağışın yüzey akışa dönüşmesi oldukça kompleks olup; alan ve zamana bağlı olarak değişmektedir (ASCE, 1993). Bu bölgelerde, yağışın şiddeti infiltrasyon kapasitesini aştığında yüzey akış meydana gelmektedir. Yamaç arazilerinde, sıg üst toprak ve bitki örtüsünün olmamasından dolayı yüzey akış hızlı bir şekilde meydana gelmektedir (Greenbaum ve ark., 2006). Yine bu bölgelerde yüzey kabuklanması ve kaya parçacıkları yüzey akışı kontrol eden karakteristiklerdir (Elliot ve ark., 1996; Sole-Benet ve ark., 1997).

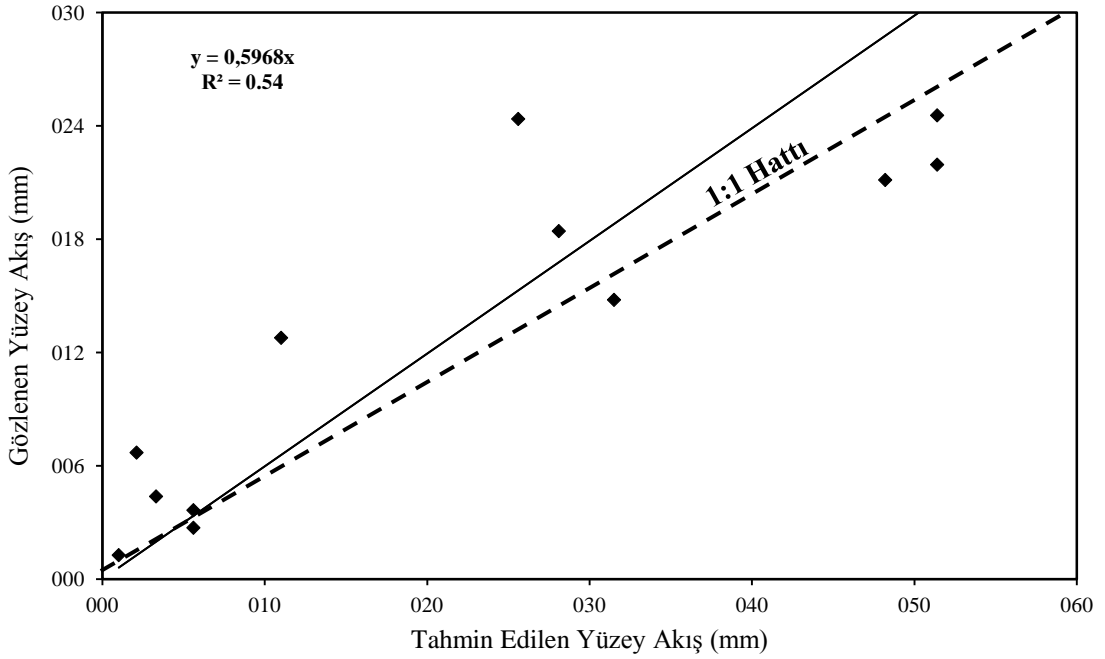
Eğime paralel sürümün yapıldığı K parselinde, gözlenen ve tahmin edilen yüzey akış değerleri arasındaki ilişki grafiksel olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4.26). Model, 10 mm'nin altındaki yağışları yüksek, üzerindeki yağışları ise düşük tahmin etmektedir. Aralarındaki ilişkiyi gösteren tanımlama katsayısı $R^2:0.54$ olarak bulunmuştur (Şekil 4.21). Model, yıllık ortalama yüzey akış verilerini, olay esaslı yüzey akış verilerine göre daha iyi tahmin etmiştir. Veriler oldukça fazla değişkenlik göstermektedir. Yüzey akış verileri 1:1 hattının hem altında hem de üstünde yer almaktadır. Bu durum, modelin gözlenen verileri hem üstünde hem de altında tahmin ettiğini ifade etmektedir. Çizelge 4.17'de bulunan sonuçlar ile bu durum desteklenmektedir.

Çizelge 4.17. K parseli yıllık ortalama yağış, yüzey akış ve toprak kayıp verileri

| Yıllar | Yağış Miktarı mm | Toprak Kaybı kg/m ² | Yüzey Akış Mm | Toplam Yağış mm | Toprak Kaybı toplam | Yüzey Akış mm |
|-----------------|------------------|--------------------------------|---------------|-----------------|---------------------|---------------|
| 1975 | 56.4 | 1.181 | 18.43 | 100.00 | 1.360 | 28.10 |
| 1976 | 63.1 | 0.337 | 6.7 | 14.50 | 0.060 | 2.10 |
| 1977 | 73.4 | 5.53 | 21.95 | 140.20 | 3.340 | 51.40 |
| 1978 | | | | 34.80 | 0.140 | 7.40 |
| 1979 | | | | 133.30 | 0.490 | 30.20 |
| 1980 | 18.1 | 0.7 | | 82.30 | 0.320 | 17.00 |
| 1981 | 174.2 | 0.708 | 14.79 | 143.70 | 2.430 | 31.50 |
| 1982 | 100.8 | 0.0177 | 1.27 | 150.40 | | 1.00 |
| 1983 | 151.5 | 0.66 | 46.1 | 157.80 | 0.620 | 38.70 |
| 1984 | 95.6 | 0.6083 | | 39.20 | 0.180 | 10.30 |
| 1985 | 69.3 | 1.9 | 21.139 | 142.10 | 2.970 | 48.20 |
| 1986 | 94.1 | 0.389 | 4.38 | 49.80 | 0.040 | 3.30 |
| 1987 | 109.5 | 0.071014 | 24.37 | 93.50 | 4.850 | 25.60 |
| 1988 | 106.2 | 0.3 | | 62.90 | 0.100 | 13.00 |
| 1989 | 52.5 | 1.8986 | 24.56 | 135.50 | 3.560 | 51.40 |
| 1990 | 27.9 | 0 | 0.82 | | | |
| 1991 | 71.6 | 1.2 | | 172.50 | 2.530 | 57.00 |
| 1992 | 52.3 | 0.12052 | 2.72 | 39.90 | 3.270 | 5.60 |
| 1993 | 12.7 | 0.2009 | 3.65 | 127.60 | 0.680 | 5.60 |
| 1994 | 73.2 | 0.46922 | 12.7 8 | 51.60 | 0.160 | 11.00 |
| 1995 | 2.5 | 0 | | 142.70 | 1.380 | 35.90 |
| TOPLAM | 1404.90 | 13.42 | 320.26 | 493.40 | 28.48 | 493.40 |
| ORTALAMA | 66.90 | 0.64 | 15.25 | 23.50 | 1.36 | 23.50 |



Şekil 4.26. K parseli yıllık ortalama yağış ve yüzey akış verileri arasındaki ilişki



Şekil 4.27. K parseli yıllık ortalama yüzey akış verileri tanımlama ilişkisi

Modelin yüzey akışı yüksek tahmin etmesinin en önemli nedeni kurak ve yarı kurak bölgelerde hakim süren kurak hava şartlarıdır. Ran ve ark. (2012), kurak ve yarı kurak bölgelerde yüzey akışı etkileyen en önemli faktörün, yağış şiddeti olduğunu ve aralarında kuvvetli bir ilişkinin bulunduğunu yaptıkları çalışmada ifade etmişlerdir. Kuru günden birkaç gün sonra şiddetli yağışların meydana gelmesi modelin yüzey akışı yüksek tahmin etmesine neden olmaktadır. Toprak doymun koşullarda değildir. Ayrıca toprağın doymunluk seviyesinde alana bağlı değişimleri model tamamen algılayamamaktadır (Ramsankaran ve ark., 2009).

WEPP Hillslope model, yüzey akışı tahmin ederken toprak işleme ve ürün sisteminden oldukça etkilenmektedir. Eğime paralel geleneksel toprak işlemenin yapıldığı K parselinde bitki örtüsü bulunmamaktadır. Toprak yüzeyi şiddetli yağışlara karşı korumasızdır. Dolayısıyla; toprak partikülleri yağmur damlalarının etkisiyle hızlıca ayrışmakta ve yavaş yüzey akış ile taşınmaktadır. Özellikle Tokat ili gibi kurak- yarı kurak bölgelerde yüzeydeki kaya parçaları infiltrasyonu artırmakta ve yüzey akışı azaltmaktadır (Poesen ve Lavee, 1991; Ruiz, 2009; Zavala ve ark., 2010; Mahmobadi ve ark., 2013). Buna karşılık bazı çalışmalarda ise, bu kaya parçalarının yüzey akışı artırdığı da bulunmuştur (Abrahams ve Parsons, 1991). Moffet ve ark. (2007), bitki örtüsü olan ve yanmış 3 arazide yüzey akışı değerlendirmişlerdir. Bitki örtüsü yanmış alanlarda yüzey akışın çok hızlı bir şekilde meydana geldiğini ve modelin yüzey akışı daha yüksek tahmin ettiğini görmüşlerdir.

Gözlenen ve simüle edilen yıllık yüzey akış ortalamalarına ait tanıtıcı istatistikler Çizelge 4.21’de verilmiştir. Gözlenen ve tahmin edilen yüzey akış verilerinin ortalama değerleri 14.55 ile 23.72 mm ve standart sapma ise 12.70 ile 18.59’dur. basıklık katsayısı 1.47 ile -1.20 ve çarpıklık ise 1.08 ile 0.43 arasında değişmektedir (Çizelge 4.18). Yüzey akış verileri normal çarpık dağılım göstermektedir. Değişim katsayısının çok yüksek olması, yamaç arazisi üzerindeki özelliklerin çok değişken olduğunu ve önlem alınması gerektiğini göstermektedir. Çizelge 4.21’de görüldüğü üzere RMSE değeri 9.06’tir. Bu değer yüksek olması modelin gözlenen değerden yüksek tahmin ettiğini göstermektedir. Yine E_{NS} değerinin -0.79 SE değeri ise 1.16’dır. SE değerinin sıfırdan çok yüksek olması modelin etkinliğinin çok iyi olmadığını göstermektedir.

Çizelge 4.18. K parseli yıllık ortalama yüzey akış tanıtıcı istatistikler

| ÖZELLİKLER | Ort. | SS | Basıklık | Çarpıklık | DK | RMSE | E _{NS} | SE |
|---------------------------|-------|-------|----------|-----------|-------|------|-----------------|------|
| Gözlenen | 14.55 | 12.7 | 1.47 | 1.08 | 87.28 | | | |
| WEPP Hillslope | 23.72 | 18.59 | -1.2 | 0.43 | 78.38 | 9.06 | 0.79 | 1.16 |

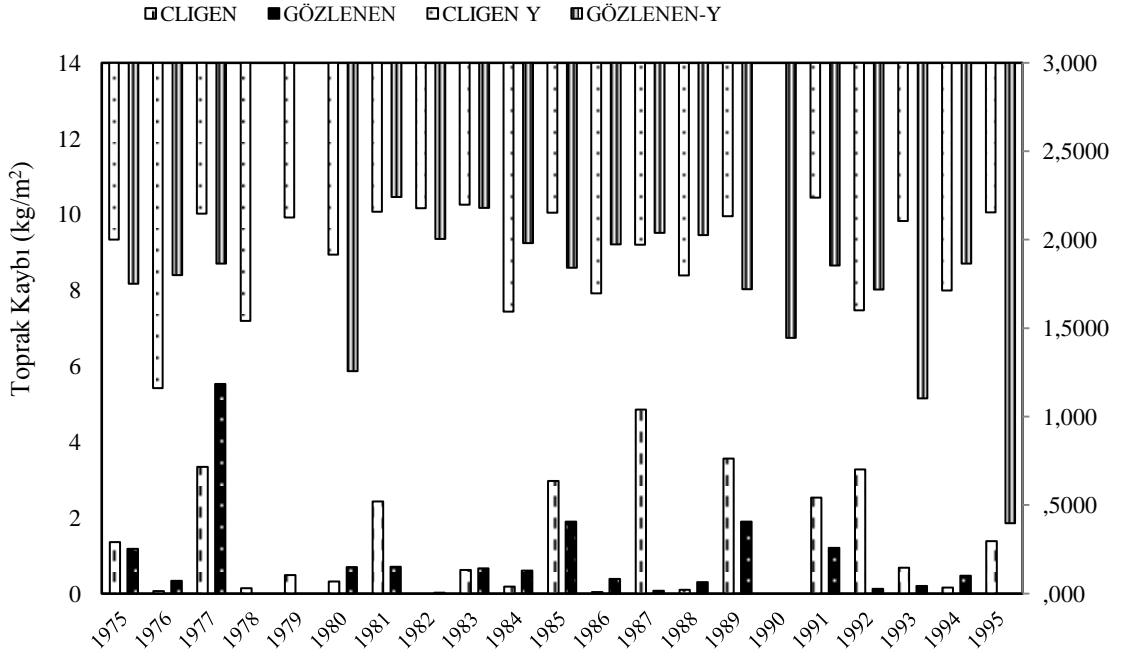
Dünyanın pek çok bölgesinde yılın ancak birkaç ayında toprak kayıplarının önemli bir kısmının meydana geldiği günümüzde yapılan çalışmalarla ispatlanmıştır (Koçman ve ark., 1995). Yıllık yağışlar yaz ve sonbahar mevsimlerinde %7-18 oranında azalmaktadır. Yaz ve sonbaharda yağışların belirgin bir şekilde azalması, ilkbaharda tahmin edilen yağışların artmasına neden olmaktadır. Kışın yağışların artmasına bağlı olarak meydana gelen toprak kayıpları çok önemli olmayıp, erozyon oranına etkisi önemsizdir. İlkbaharda meydana gelen toprak kayıpları önemlidir. Tokat yöresinde yürütülen bir çalışmada erosiv niteliği yüksek ilkbahar yağışlarının artarken, kış yağışlarının azalma eğiliminde olduğu ortaya konulmuştur (Oğuz ve Öztekin,). Tohum yatağının hazırlanması ve bitki büyüme periyodunun ilk aşaması ilkbahar aylarında olmaktadır. Bu aylarda görülen ağır yağışlar bu iki özellik ile birleşince toprak kaybı hızlanmaktadır (Klık ve ark., 2010). Kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde, yıllık yağış miktarı ve süresi azalmış olmasına rağmen meydana gelen toprak erozyonu azalmamaktadır.

Gözlenen ve tahmin edilen toprak kaybı değerleri karşılaştırıldığında oldukça değişken olduğu görülmektedir (Çizelge 4.17). 1978, 1979 ve 1995 yıllarında gözlenen toprak kaybı verisi olmamasına rağmen modelin kendisi tahmin etmiştir. K parseli için gözlenen toprak kaybı verileri birkaç yıl için sıfır ya da sıfıra yakın değerdir. 46.1 mm gibi çok yüksek yüzey akışı 0.66 kg/m² değerinde düşük toprak kaybı meydana getirirken; 2.72 mm yüzey akış ise 0.12 kg/m² toprak kaybına neden olmaktadır. Tahmin edilen toprak kaybı değerlerinde de benzer durum söz konusudur.

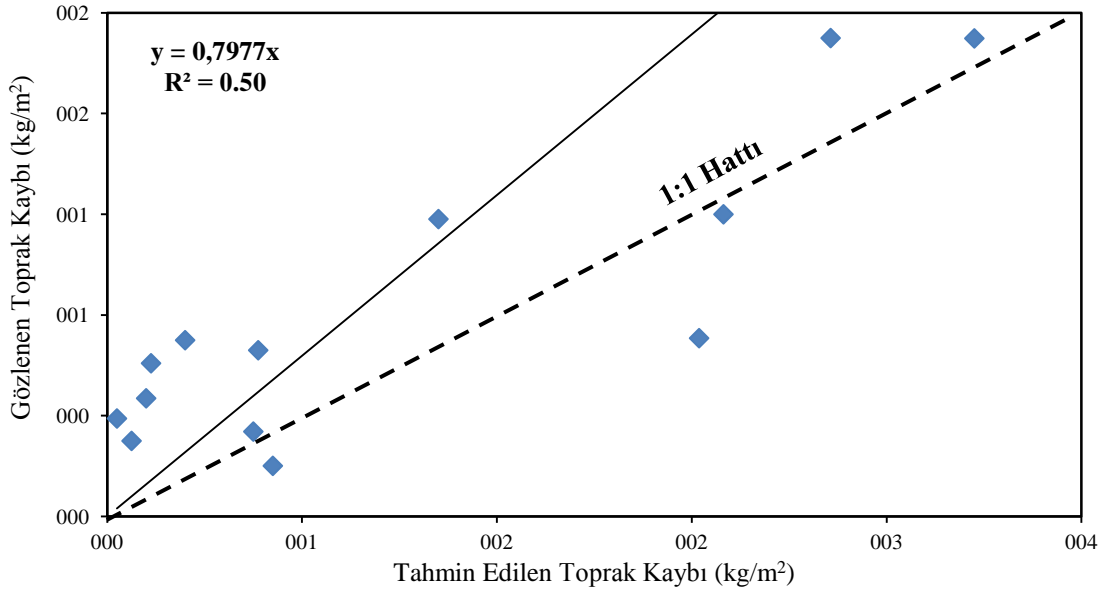
Gözlenen ve tahmin edilen toprak kaybı verileri arasındaki ilişki Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'de verilmiştir. Hemen hemen tüm yıllar için model oldukça yüksek değerler tahmin etmiştir. WEPP model çok küçük değerdeki toprak kaybı verilerini (<0.02 kg/m²) çok yüksek; 1 kg/m² den büyük yağışlar için ise daha düşük değer olarak tahmin

etmektedir (Şekil 4.28) Gözlenen ve tahmin edilen toprak kaybı verileri arasındaki ilişki $R^2:0.49$ olarak belirlenmiştir. Veriler 1:1 hattının altında ve üstünde yer almaktadır. Orta şiddetteki yağışları çoğunlukla yüksek tahmin etmiştir (Şekil 4.29). Gözlenen ve tahmin edilen toprak kaybı değerleri sırasıyla 0.63 kg/m^2 ve ortalama tahmin edilen toprak kayıpları ise 1.35 kg/m^2 'dir. Son 20 yıl boyunca yapılan çalışmalarda, WEPP model ile tahmin edilen toprak kaybı değerlerinin gözlenen değerlerin %40 altında veya üzerinde olması halinde, modelin performansının iyi olarak değerlendirilebileceği ifade edilmiştir (Nearing,1998). Çalışmamızdan elde edilen sonuçlar bu değer aralığında yer almaktadır. Akış Serisi toprak kaybı tolerans değeri 11.2 ton/ha/yıl olup gerek gözlemlenen toprak kayıpları ve gerekse model tahmini değerleri bu kritik değer in altındadır. Böylelikle model çıktıları erozyon planlamalarında kullanılabilir bulunmaktadır.

WEPP model ile toprak kayıpları gözlenen değer in üzerinde bulunmuştur. Bu durum model in geleneksel toprak işleme mekanizmasını tam olarak algılayamamasından kaynaklanmaktadır (Pandey ve ark., 2008). Benzer sonuçlar Pandey ve ark. (2008); Nearing (1998) tarafından da bulunmuştur. Ghidry and Alberts (1996), 11 yıl boyunca geleneksel toprak işleme yapılan yamaç arazisinde toprak kayıplarını WEPP model kullanarak tahmin etmişlerdir. Model in toprak kayıplarını gözlenen değer in %13 altında tahmin ettiğini bulmuşlardır. Tıpkı, yüzey akış ortalamalarında olduğu gibi model yıllık ortalama toprak kayıplarını olay esaslı verilere göre tahmin etmede daha başarılıdır.



Şekil 4.28. K parseli yıllık ortalama toprak kayıpları arasındaki ilişki



Şekil 4.29. K parseli yıllık ortalama toprak kayıpları arasında tanımlayıcı ilişki

Gözlenen ve tahmin edilen yıllık ortalama toprak kayıplarına ait tanımlayıcı istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.19’de verilmiştir. Çizelge 4.19 incelendiğinde, gözlenen ve tahmin edilen toprak kayıp ortalamaları 0.86 ile 1.42 kgm² ve standart sapma 1.27 ile 1.52’dir. Standart sapmanın büyük olduğu görülmektedir. Bu durum, hem gözlenen hem de tahmin edilen toprak kaybı verilerinin ortalama değeri uzak dağılım gösterdiğini ifade etmektedir. Basıklık 10.74 ile 0.57 ve çarpıklık ise 3.05 ile 0.84 olarak tahmin edilmiştir. Yağışların değişken olmasının yanı sıra toprakların aşınımına duyarlılık değerinin zamansal olarak değişken olması oluşan toprak kaybı ve yüzey akış değerlerinde yüksek değişkenlik olmasına yol açmaktadır. Basıklık ve çarpıklık katsayısının -1 ve +1 aralığında dağılım göstermesinden dolayı, CLIGEN ile tahmin edilen toprak kaybı verileri normal dağılım gösterirken, gözlenen toprak kaybı verileri normal dağılım göstermemektedir. RMSE 1.53 ve E_{NS} 0.20 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.19). RMSE değerinin sıfırdan büyük ve E_{NS} değerinin 0 yakın olması modelin performansının çok iyi olmadığını göstermektedir. Yine SE 4.44’dür. Bu değerinde çok yüksek olması, model etkinliğinin başarılı olmadığını ifade ettiği düşünülmektedir.

Çizelge 4.19. K parseli yıllık ortalama toprak kayıpları tanıtıcı istatistikler

| ÖZELLİKLER | Ort. | SS | Basıklık | Çarpıklık | DK | RMSE | E _{NS} | SE |
|----------------|------|------|----------|-----------|--------|------|-----------------|------|
| Gözlenen | 0.86 | 1.27 | 10.74 | 3.05 | 148.27 | 1.53 | 0.20 | 4.44 |
| WEPP Hillslope | 1.42 | 1.52 | 0.57 | 0.84 | 106.44 | | | |

4.2.1.3. Duyarlılık (Sensitivite) Analizi

WEPP Hillslope model, simülasyon için çok geniş veri aralığı kullanmaktadır. Simülasyonun doğruluğu, verilerin kalitesine bağlı olarak değişmektedir. Öncelikle kullanıcı verileri bilirse, modelin performansını artırmak için yapılan kalibrasyon daha doğru sonuçlar vermektedir. Bundan dolayı; duyarlılık analizi yapmak için bu parametreler hakkında bilgi sahibi olmamız gerekmektedir. Ayrıca modelin duyarlılığı yüksek olan girdileri kullanıldığında özen gösterilmesi model başarısını artırmak bakımından önemlidir. Bu verilerdeki çok küçük değişiklik, modelin çıktılarında çok yüksek değer olarak yansımaktadır. Duyarlılık analizi, hem etkilenen parametreler

hakkında bilgi sahibi olmamızı hem de model çıktıları üzerine etkilerini sayısal olarak değerlendirmemizi sağlamaktadır. Modelin çalıştırma amacına uygun olarak; duyarlılık analizi ya doğruluk testi yapar ya da doğru parametrelerin seçilmesinde yol gösterici olmaktadır. Örneğin; eğer model su kaynaklarındaki gelişimi değerlendirmek için çalıştırılmışsa, hidrolik iletkenlik ve toprak erodibilitesi doğru bir şekilde belirlenebilmektedir. Seçilen parametrelerle yüzey akış ve toprak kaybı arasındaki ilişki Çizelge 4.20’de verilmiştir. Toprakla ilişkili parametrelerden özellikle tekstür, yüzey akış ve toprak kaybını çok yakından etkilediği görülmektedir. Bundan dolayı, modele girilecek tekstür değerlerinin hesaplanmasında çok titiz davranılmalıdır. Toprak tekstürü ile yüzey akış ve toprak kayıpları arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Model, kum içeriğinin %25 az olması durumunda gözlenen verilere daha yakın tahmin ettiği Çizelge 4.20’de verilen diğer bir sonuçtur. Erozyona karşı çok hassas olan yamaç arazilerin tekstürü genellikle kaba taneli fraksiyonlardan meydana gelmektedir. Ancak, birikmenin çok fazla olduğu yamacın alt bölümlerinde toprak tekstürü daha ince fraksiyonları içermektedir. Bu durum yüzey akışla beraber ince partiküllerin taşınması şeklinde açıklanmaktadır. Model çıktıları üzerinde organik madde ve katyon değişim kapasitesinin çok fazla etkisi olmamıştır. Gözlenen değer üzerinde tahmin etmiştir. Brunner ve ark. (2004), yapmış olduğu çalışmada; toprak yüzeyinden 20 cm derinlikte organik madde, katyon değişim kapasitesi ve kaya parçacıklarının toprak kaybı ve yüzey akışa çok fazla etkili olduğunu ancak 60 cm’den sonra etkisini yitirdiğini belirlemişlerdir. Çalışmada kullanılan toprak örnekleri 0-30 cm derinlikten alınmıştır. Dolayısıyla organik madde ve katyon değişim kapasitesinin etkisi çok fazla olmamaktadır. Yine, yüzey akış ve toprak kaybı üzerine rill ve interillin çok fazla duyarlı olmadığı da görülmektedir.

Hidrolik iletkenliğin en etkin toprak özelliği olduğu duyarlılık analizi sonuçlarından görülmektedir. Hidrolik iletkenlik, hacim ağırlığı, erodibilite gibi toprak özelliklerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Yüzey akış, yağış miktarı toprağın infiltrasyon oranını aştığında meydana gelmektedir. Eğimli bir arazide aşırı yağışlarda bu oran doğru bir şekilde tahmin edilmeyebilir. Bundan dolayı, hidrolik iletkenliğin toprak kaybından çok yüzey akış üzerine daha duyarlı olduğu görülmektedir (Çizelge 4.20). Hidrolik iletkenliğin %25 fazla olması durumunda, gözlenen değere yakın sonuçların tahmin edildiği duyarlılık analizi sonuçlarından görülmektedir. Toprak tekstür değerinde de bu

değerin bulunması, çalışma alanında yapılacak kalibrasyon çalışmasında gözlenen değerlerin %25 fazlasının girilmesi sonucunda, model tarafından daha doğru tahmin yapılacağını göstermektedir. Bulunan tüm sonuçlar, önceki çalışmaların sonuçlarıyla uyum içinde olduğu görülmektedir (Nearing ve ark., 1990; Baffaut ve ark., 1997; Bhuyan ve ark., 2002; Brunner ve ark., 2004; Pandey ve ark., 2008).

Çizelge 4.20. K parseli duyarlılık analiz sonuçları

| Toprak Özellikleri | | DUYARLILIK ORANI | | | | | | | |
|---------------------------|----|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | -100 | -75 | -50 | -25 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| Kil (%) | TK | 2.85 | 0.47 | 0.76 | 1.22 | 1.39 | 1.57 | 1.81 | 0.13 |
| | YA | 0.27 | 5.19 | 9.05 | 18.93 | 25.27 | 28.53 | 32.2 | |
| Kum (%) | TK | 0.3 | 0.34 | 0.69 | 0.96 | 1.6 | 1.73 | 1.4 | 1.33 |
| | YA | 3.8 | 5.61 | 10.23 | 15.12 | 31.48 | 43.58 | 58.34 | 74.18 |
| Şev Uzunluğu (m) | TK | | 0.01 | 0.02 | 0.2 | 1.12 | 1.67 | 2.21 | 2.69 |
| | YA | | 21.32 | 21.3 | 21.27 | 21.25 | 21.23 | 21.23 | 21.2 |
| Şev Eğimi (%) | TK | | 0.01 | 0.01 | 0.07 | 1.72 | 3.48 | 5.43 | 2.69 |
| | YA | | 15.88 | 17.45 | 19.26 | 23.62 | 26.47 | 29.1 | 30.01 |
| Organik Madde (%) | TK | | 1.55 | 1.39 | 1.32 | 1.26 | 1.25 | 1.24 | 1.24 |
| | YA | | 23.05 | 22.14 | 21.84 | 21.63 | 21.72 | 21.88 | 22.05 |
| Kation Değişim Kapasitesi | TK | 1.51 | 1.51 | 1.34 | 1.28 | 1.22 | 1.23 | 1.2 | 1.17 |
| | YA | 25.88 | 25.88 | 23.74 | 22.53 | 22.05 | 22.45 | 21.78 | 21.26 |
| Rill | TK | 0.53 | 2.38 | 2.47 | 2.5 | 2.53 | 2.54 | 2.55 | 2.56 |
| | YA | 21.26 | 21.26 | 21.26 | 21.26 | 21.26 | 21.26 | 21.26 | 21.26 |
| İnterrill | TK | 0.84 | 0.75 | 0.76 | 0.78 | 0.8 | 0.81 | 0.81 | 0.81 |
| | YA | 21.26 | 21.26 | 21.26 | 21.26 | 21.26 | 21.26 | 21.26 | 21.26 |
| Hidrolik İletkenlik | TK | 0.09 | 2.06 | 1.32 | 0.95 | 0.57 | 0.47 | 0.39 | 3.8 |
| | YA | 3.99 | 61.92 | 39.8 | 22.95 | 16.4 | 12.89 | 10.33 | 8.54 |

4.2.2. Toprak Koruma Önlemleri Faktörü (Eğime Dik Sürüm) P Faktörü Parseli Sonuçları

Orta Karadeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Orta Karadeniz arazisinde yer alan Akış Serisi topraklarının erozyon özelliklerini belirlemek amacıyla yürütülmekte olan bu doktora tez çalışmasında; WEPP Hillslope modelin korumalı toprak işleme yapılan arazide, toprak kayıpları ve yüzey akışı tahmin etmedeki başarısı P parselinde ölçülmüş verilerle karşılaştırmak suretiyle belirlenmeye çalışılmıştır. Olay esaslı ve yıllık ortalamalara göre, toprak kayıpları ve yüzey akış verileri değerlendirilmiştir.

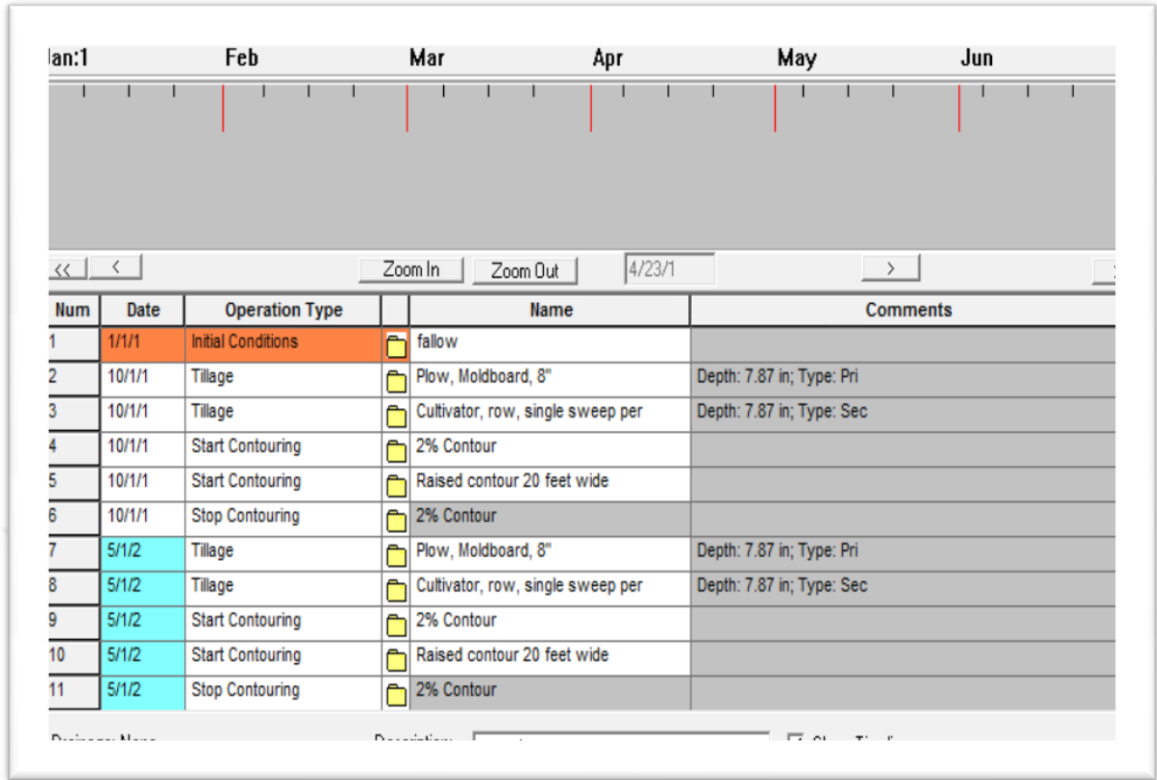
4.2.2.1. Olay Bazlı Simülasyon Sonuçları

P parselinde, 1975-1995 yıllarına ait giriş verilerinin oluşturduğu dosyalardan, K parsel dosyasından farklı olarak yalnızca amenajman dosyasında değişiklik yapılmıştır (Çizelge 4.21). Aynı yamaç ve toprak serisi üzerinde çalışıldığından iklim ve toprak özelliklerinin değişmediği düşünüldüğü için bu dosyalar aynı alınmıştır. Amenajman dosyasında ise, K parselinde girilen tüm işlemler aynı olmakla beraber toprak işleme olarak eğime dik sürüm girilmiş ve %2 kontor atılmıştır (Şekil 4.30) Modele girilen erosiv yağışların sayısı 67 olup, toplam yağış 1156.9mm ve ortalama yağış ise 17.27mm'dir. Model ise, 22 erosiv yağış olayını simüle etmiş, toplam yağış 574.5mm ve yağışların ortalaması ise 26.11m'dir. Model sonuçlarının verildiği Çizelge 4.22 incelendiğinde, özellikle ilkbahar aylarında görülen yağışları gözlenen değere yakın tahmin ederken, diğer yağışları gözlenen değerden yüksek tahmin ettiği ve yağış olmamasına rağmen yağış tahmininde bulunduğu görülmektedir. Bu durum, tamamen o yıla ait, aylık ıslak/kuru gün periyodu ile ilgili olabileceği düşünülmektedir. Çünkü erosiv yağışların yıllara göre dağılımı çok değişkendir. Kurak ve yarı kurak bölgelerde, yağışın alana bağlı olarak dağılımı çok önemlidir. Özellikle küçük yağışların toplanma bölgesi, modelin su bütçesi için ayrı bir önem taşımaktadır. P parseli model sonuçlarından birisi de, bazı yıllarda ilkbaharda erosiv yağış görülürken, diğer yıllarda sonbaharda erosiv yağış olduğudur (Çizelge 4.22). Zhang and Garbrecht (2003), yapmış oldukları çalışmada küçük yağışlar için yüksek ve yüksek yağışlar için ise modelin düşük değerler olacak şekilde tahminde bulunduğunu görmüşlerdir.

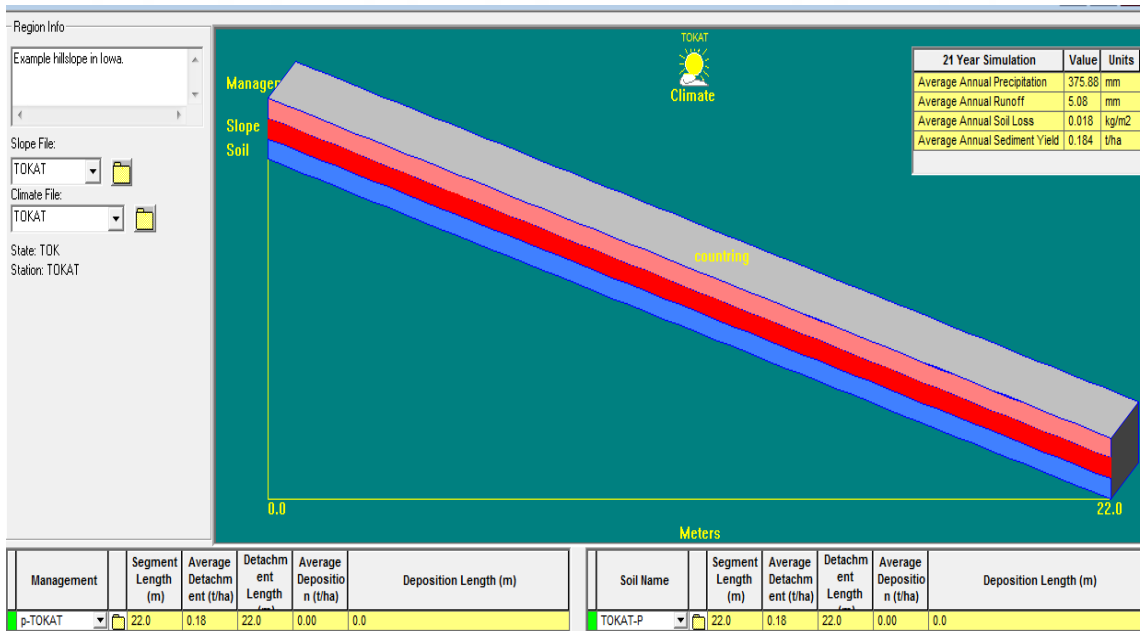
Çizelge 4.21. P parseli ve WEPP Hillslope model arazi uygulamalarının karşılaştırılması

| ARAZİ OPERASYONLARI | | WEPP Hillslope | |
|---------------------|---|----------------|---------------------------------|
| Operasyon Tarihi | Operasyon Şekli | Date | Operation Type |
| 10/01/1. | 0-20 cm derinliğinde bel ile toprak işleme | 10/01/1. | Plow Moalboard |
| 10/01/1 | El Markörü ile toprak işleme | 10/01/1 | Cultivatör row single swepp per |
| 10/01/1 | 20 cm genişliğinde %2 kontour oluşturulmuştur | 10/01/1 | 20 feet wide and %2 contour |
| 05/01/2 | 0-20 cm derinliğinde bel ile toprak işleme | 05/01/2 | Plow Moalboard |
| 05/01/2 | El Markörü ile toprak işleme | 05/01/2 | Cultivatör row single swepp per |
| 05/01/2 | 20 cm genişliğinde %2 kontour oluşturulmuştur | 05/01/2 | 20 feet wide and %2 contour |
| 07/01/3 | 0-20 cm derinliğinde bel ile toprak işleme | 07/01/3 | Plow Moalboard |
| 07/01/3 | El Markörü ile toprak işleme | 07/01/3 | Cultivatör row single swepp per |
| 07/01/3 | 20 cm genişliğinde %2 kontour oluşturulmuştur | 07/01/3 | 20 feet wide and %2 contour |
| 08/01/4 | 0-20 cm derinliğinde bel ile toprak işleme | 08/01/4 | Plow Moalboard |
| 08/01/4 | El Markörü ile toprak işleme | 08/01/4 | Cultivatör row single swepp per |
| 08/01/4 | 20 cm genişliğinde %2 kontour oluşturulmuştur | 08/01/4 | 20 feet wide and %2 contour |

Model çıktısı Şekil 4.31’de verilmiştir. Model ekranında atılan kontörlerden dolayı meydana gelen renk değişimi görülmektedir.



Şekil 4.30. P parseli amanjman dosyası



Şekil 4.31. P parseli model çıktısı

Çizelge 4.22. P parseli gözlenen ve tahmin edilen veriler

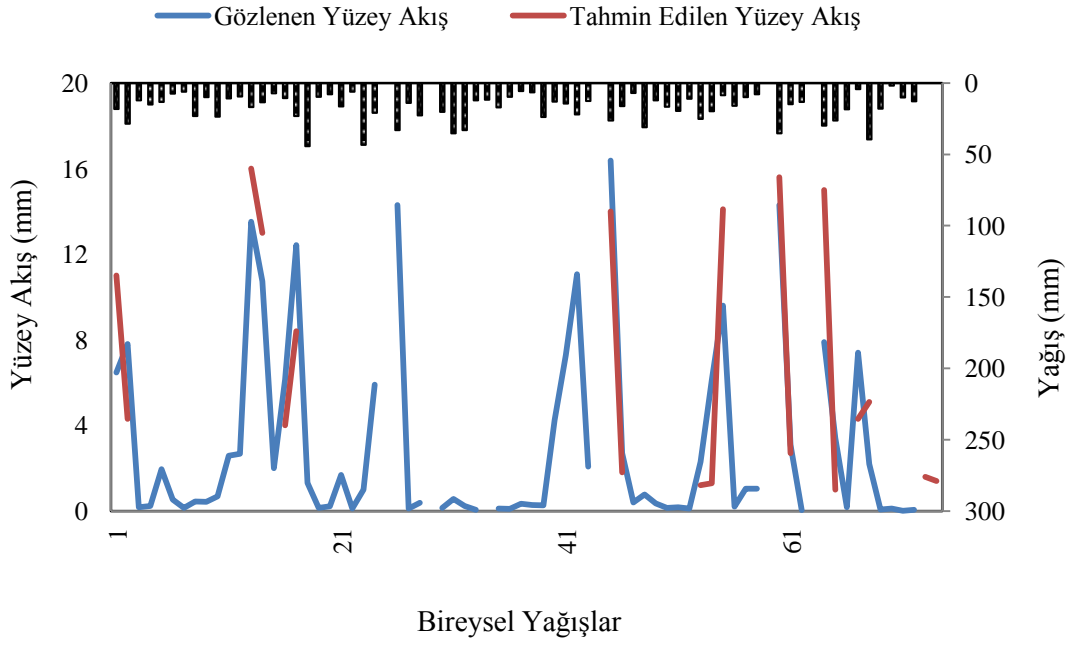
| YIL | GÖZLENEN | | | TAHMİN EDİLEN | | |
|------------|------------------|-----------------------------------|---------------|------------------|-----------------------------------|---------------|
| | Yağış Miktarı | Toprak Kaybı kg/m ² | Yüzey Akış | Yağış Miktarı | Toprak Kaybı kg/m ² | Yüzey Akış |
| | mm | | mm | mm | | mm |
| 27.04.1975 | 18.2 | 0.396 | 6.47 | 18.6 | 0.3 | 11 |
| 29.04.1975 | 28.6 | 0.1422 | 7.8 | 20.7 | 0.29 | 4.3 |
| 11.05.1975 | 12.1 | 0.0005 | 0.18 | | | |
| 10.06.1975 | 15.1 | 0.0004 | 0.23 | | | |
| 23.04.1976 | 13.3 | 0.125 | 1.96 | | | |
| 06.05.1976 | 7.4 | 0.006 | 0.53 | | | |
| 15.05.1976 | 6.1 | 0.001 | 0.14 | | | |
| 10.06.1976 | 23.2 | 0.001 | 0.44 | | | |
| 11.06.1976 | 10 | 0.004 | 0.43 | | | |
| 22.08.1976 | 23.6 | 0.015 | 0.69 | | | |
| 09.12.1976 | 10.9 | 0.002 | 2.59 | | | |
| 03.03.1977 | 9.4 | 0.002 | 2.68 | | | |
| 17.05.1979 | 16.8 | 0.002 | 13.52 | 22.1 | 0.01 | 16 |
| 18.05.1977 | 13.6 | 0.0013 | 10.73 | 23.5 | 0.03 | 130 |
| 05.06.1977 | 7.3 | 0.001 | 2 | | | |
| 13.06.1977 | 10.6 | 0.021 | 6.14 | 14.2 | 0.15 | 4 |
| 18.06.1977 | 23.2 | 0.0011 | 12.43 | 24.6 | 0.39 | 8.4 |
| 03.01.1977 | 44.3 | 0.0004 | 1.31 | | | |
| 19.04.1979 | 9.7 | 0.0001 | 0.14 | | | |
| 13.01.1979 | 8 | 0.0022 | 0.22 | | | |
| 14.04.1979 | 16.4 | 0.0243 | 1.69 | | | |
| 05.07.1979 | 6 | 0.0001 | 0.11 | | | |
| 30.07.1979 | 43.4 | 0.0065 | 1 | 25.8 | 0.07 | 3.6 |
| 17.08.1979 | 20.9 | 0.4862 | 5.91 | | | |
| 03.05.1980 | 33.1 | 0.2 | 14.3 | 21.7 | 0.34 | 9 |
| 31.10.1980 | 13.9 | 0.0001 | 0.12 | | | |
| 6.01.191 | 22.6 | 0.45 | 0.38 | 32.1 | 0.31 | 11.4 |
| 13.03.191 | | | | | | |
| 15.06.1981 | 20.2 | 0.002 | 0.14 | | | |
| 11.09.1981 | 35.3 | 0.0037 | 0.57 | | | |
| 11.01.1982 | 11.8 | 0.0001 | 0 | | | |
| 11.04.1982 | 17 | 0.0001 | 0.12 | | | |
| 30.05.1982 | 9.7 | 0.0094 | 0.1 | | | |
| 17.02.1983 | 5.7 | 0.0001 | 0.34 | | | |
| 28.03.1983 | 6.5 | 0.0159 | 0.28 | | | |
| 02.05.1983 | 23.9 | 0.0019 | 0.26 | | | |
| 03.05.1983 | 13 | 0.1475 | 4.25 | | | |
| 22.05.1983 | 14.5 | 0.4069 | 7.28 | | | |

Çizelge 4.23. Devamı

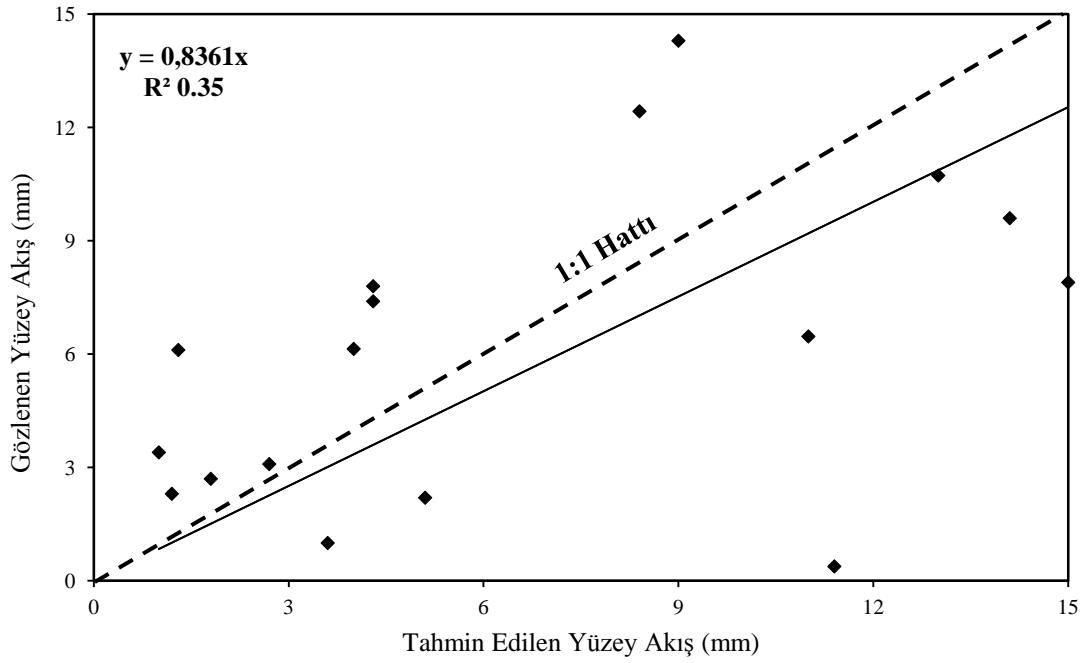
| YIL | GÖZLENEN | | | TAHMİN EDİLEN | | |
|--------------------|------------------|-----------------------------------|----------------|------------------|-----------------------------------|---------------|
| | Yağış Miktarı | Toprak Kaybı kg/m ² | Yüzey Akış | Yağış Miktarı | Toprak Kaybı kg/m ² | Yüzey Akış |
| | mm | | mm | mm | | mm |
| 31.05.1983 | | | | | | |
| 01.06.1983 | 26.2 | 0.8863 | 16.38 | 21.2 | 0.34 | 14 |
| 14.10.1983 | 16.1 | 0.01 | 2.7 | 21 | 0.03 | 1.8 |
| 17.11.1983 | 7 | 0.01 | 0.4 | | | |
| 09.04.1984 | 31.1 | 0.004 | 0.77 | | | |
| 11.04.1984 | 12.2 | 0.003 | 0.36 | | | |
| 21.04.1984 | 16.6 | 0.0001 | 0.15 | | | |
| 07.05.1984 | 19.5 | 0.0003 | 0.17 | | | |
| 13.05.1984 | 11.1 | 0.0003 | 0.12 | | | |
| 05.05.1985 | 25.1 | 0.0207 | 2.300 | 24.6 | 0.03 | 1.2 |
| 20.06.1985 | 19.7 | 0.0425 | 6.11 | 22.9 | 0.033 | 1.3 |
| 26.04.1986 | 16 | 0.0001 | 0.21 | | | |
| 2.05.1987 | 10 | 0.02 | 1.04 | | | |
| 14.04.1988 | 7.9 | 0.048 | 1.05 | | | |
| 15.06.1989 | 35.3 | 0.34 | 14.3 | 40.6 | 0.532 | 15.6 |
| 22.06.1989 | 14.8 | 0.05 | 3.09 | 24.8 | 0.058 | 2.7 |
| 22.03.1991 | 13.3 | 0.001 | 0.04 | 0 | 0.000 | 0 |
| 16.04.1991 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.000 | 0 |
| 21.04.1991 | 30 | 0.245 | 7.9 | 35 | 0.210 | 15 |
| 16.05.1991 | 26.2 | 0.102 | 3.4 | 28.3 | 0.200 | 1 |
| 25.10.1992 | 18.4 | 0.0009 | 0.18 | 0 | 0.000 | 0 |
| 23.11.1992 | 4.2 | 0.0012 | 7.4 | 39.9 | 0.277 | 4.3 |
| 03.06.1993 | 39.5 | 0.0262 | 2.2 | 26.2 | 0.138 | 5.1 |
| 26.04.1994 | 18.1 | 0.0015 | 0.07 | | | |
| 09.05.1994 | 1.9 | 0.0004 | 0.12 | | | |
| 13.05.1994 | 10.2 | 0.0003 | 0.01 | | | |
| 13.10.1994 | 12.9 | 0.0191 | 0.05 | | | |
| TOPLAM | 1156.9 | 4.66601 | 201.054 | 574.5 | 4.225 | 159.8 |
| ORTALAMA | 17.26 | 0.07 | 3.04 | 26.11 | 0.19 | 7.26 |
| OLAY SAYISI | 67 | 66 | 66 | 22 | 22 | 22 |

CLIGEN, iklimdeki değişimlerin etkisini tahmin etmek için geliştirilmiş stokastik hava tahmin ara yüz dosyasıdır (Nicks ve ark., 1995; Xu, 1999; Leys ve ark., 2007; Liu ve ark., 2015). Günlük simülasyonları yapmak için on parametre kullanmak suretiyle yüzey akış ve toprak kaybını tahmin etmektedir (Madarasz ve ark., 2011). Özellikle peş peşe yağışın olduğu aylar için, ortalama yağış miktarını tahmin ederken hatalı tahminlerde bulunabileceği ifade edilmektedir (Elsebaie, 2012). Zhang (2005), yağışlı günlerdeki muhtemel değişimleri tahmin etmek için ortalama aylık yağış ile yüzey akışa dönüşme ihtimallerini sayısal bir denklem kullanarak açıklamıştır. Günlük yağışların standart sapmasına göre, modele girilen yağışların ayarlanması gerektiğini ifade etmiştir. Çünkü aylık yağış ortalama ve standart sapma, ait olduğu yılın ıslak ya da kurak yıl olduğunu göstermektedir.

P parselinde, 1975-1995 yılları arasındaki iklim verileri kullanılarak tahmin edilen ve gözlenen olay esaslı yüzey akış verilerine ait sonuçlar Çizelge 4.22’de verilmiştir. 66 yüzey akış olayı, toplam 201.05 mm erosiv yağışların sonucu olarak kaydedilmiştir. Yüzey akış olayların ortalaması ise 3.05 mm’dir. Model çıktısında ise, 22 yüzey akış olayının toplamı 159.8 mm olup, ortalaması ise 7.26 mm’dir. Model, yüzey akışı 4.21 mm daha yüksek tahmin ettiği bulunan sonuçlardan görülmektedir. Gözlenen ve tahmin edilen yüzey akış verileri arasındaki ilişki grafiksel olarak gösterilmiştir (Şekil 4.32). Model, özellikle 0.01 mm ile 0.1 mm arasında değişen yüzey akışı oldukça yüksek, 5 mm’den büyük yüzey akışları hiç tahmin etmemiş ya da düşük tahmin ettiği ve hiç yüzey akış tahmin edilmeyen günler içinde simülasyon yaptığı Şekil 4-32’de görülmektedir. Gözlenen ve tahmin edilen yüzey akış verilerinin birbiriyle olan tanımsal ilişkisi, Şekil 4.33’de grafiksel olarak değerlendirilmiştir. $R^2:0.35$ değeri, modele girilen veriler ile tahmin edilen veriler arasında çok önemli bir ilişkinin olmadığını göstermektedir. Yüzey akış verileri 1:1 hattının hem altında hem de üzerinde dağılmaktadır. Çalışmada kullanılan yüzey akış verileri, oldukça düşük değerler ve model sifıra yakın değerleri tahmin etmemiştir. Değişkenliğin çok yüksek olması, model çıktılarına yüksek yüzey akış verisi olarak yansımıştır. Yair and Raz-Yassif (2004), kurak ve yarı kurak bölgede, korumalı toprak işleme altında özellikle küçük yağışlara bağlı olarak meydana gelen yüzey akışı değerlendirmişler ve gözlenen değerden yüksek tahmin etmişlerdir.



Şekil 4.32. P parseli olay esaslı yüzey akış verileri arasındaki ilişki



Şekil 4.33. P parseli olay esaslı yüzey akış verileri arasındaki tanımsal ilişki

Son yıllarda toprak su koruma ile ilgili yapılan çalışmalarda özellikle, tınlı tekstüre sahip yamaç arazilerinde, eğime dik sürümün yüzey akıştan ziyade toprak kayıpları üzerinde daha etkili olduğu ifade edilmektedir (Armand ve ark., 2009; Mohamoud, 2012). P parselinde yapılan model simülasyon sonuçlarında da benzer durum söz konusudur. C ve K parseline göre, eğime dik sürüm, toprak kayıplarını %50 azaltırken yüzey akışı %60 artırmıştır. Gözlenen ve tahmin edilen yüzey akış, toprağın su ve nem içeriği, bireysel yağışların miktarı ve şiddeti gibi yağış özellikleri ile maksimum ve minimum sıcaklık yüzey akışı etkileyen önemli parametrelerdir (Tuset ve ark., 2016). Özellikle sıcaklık anahtar bir parametredir. Çünkü WEPP Hillslope modelde donma ve kar yağış sıcaklığı model tarafından yüzey akış tahmininde kullanılmaktadır. Toprağın infiltrasyon kapasitesi yüzey akış üzerine doğrudan bir etkiye sahiptir. Eğime dik sürüm ile oluşturulan sırtlar, yüzey akışın yavaşlamasına ve aralarda birikmesini sağlamak ve toprağın infiltrasyon kapasitesini geliştirmektedir (Schmengler ve ark., 2011). Yamacın en üst bölgesinden aşağıya doğru yüzey akış hızlanmakta ve topuğa yakın bölgelerde hızlı bir şekilde infiltre olmaktadır. Eğime dik sürüm, özellikle yüzey pürüzlülüğü başta olmak üzere birçok toprak özelliklerinin değişmesine neden olduğu yapılan çalışmalardan görülmektedir. WEPP Hillslope model gibi, yüzey pürüzlülüğünü dikkate alan modellerde, yüzey pürüzlülüğü çok önemlidir ve yüzey akışın azalmasına neden olmaktadır (Leys ve ark., 2016). WEPP Hillslope model, yüzey pürüzlülüğünün artmasıyla birlikte erozyonu daha az tahmin ettiği görülmektedir. Yüzeyin oldukça pürüzlü olmasının, yüzey akış ve toprak kayıpları üzerinde azaltıcı bir etkiye sahip olması beklenen bir sonuçtur. Çünkü pürüzlü yüzeyler çok fazla gerilme depoları ve bariyerleri bünyelerinde bulundurmaktadır. Bu depo ve bariyerler, yüzey akışın şiddetini azaltmakta ve toprak partiküllerinin ayrışma ve buldukları yerden başka yere taşınmasını yavaşlatmaktadır (Dorboux ve Huang, 2003). Dorboux ve Huang (2004), WEPP ve USLE modellerinin yüzey akış ve toprak kaybı algoritmasını kullanmak suretiyle, pürüzlülüğe bağlı olarak meydana gelen yüzey akış ve toprak kayıplarını değerlendirmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün hem yüzey akış hem de toprak kayıpları üzerinde çok baskın bir rol oynadığı çalışmanın sonunda görülmüştür.

Olay bazlı gözlenen ve tahmin edilen yüzey akış verilerinin ortalama, standart sapma varyasyon katsayısı, çarpıklık, basıklık katsayısı gibi tanımlayıcı istatistikleri univariate analizi (SPSS 23 version) kullanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.24). Ortalama değerleri

7.15 ile 7.84, standart sapmalar ise 4.93-5.46 arasında değişmektedir. Çarpıklık katsayıları 0.39-0.21, basıklık katsayıları -1.07 ile -1.67 arasında değişmektedir. Bulunan bu sonuçlardan, tahmin edilen olay esaslı yüzey akış verilerinin ortalamadan küçük değerleri olduğu, homojen dağılmadığı, çarpık bir dağılım gösterdiği ve standart sapmaların yüksek olduğu ifade edilebilir (Çizelge 4.24). Eğime dik sürümünden dolayı, yamaç arazisi boyunca toprak özellikleri değişmektedir. RMSE değeri 6.16 olup, yüksek bir değer çıkmıştır. Bu durum, modelin gözlenen değer üzerinde simülasyon yapmakta ve yüzey akışı tahmin etmede başarılı olmadığını göstermektedir. E_{NS} değeri ise, 0.77 ve SE 0.41 olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu sonuçlara göre, model olay bazlı yüzey akış verilerini tahmin etmede orta düzeyde bir performans gösterdiği görülmektedir (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.24. P parseli olay esaslı yüzey akış verileri tanımlayıcı istatistikleri

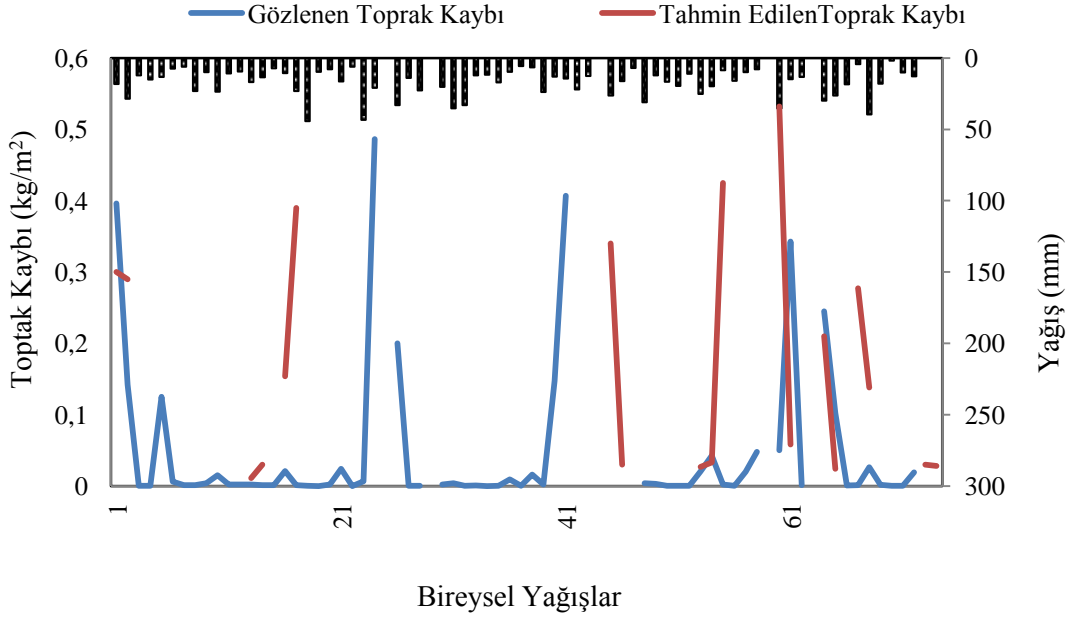
| ÖZELLİKLER | Ort. | SS | Basıklık | Çarpıklık | DK | RMSE | E_{NS} | SE |
|-----------------------|------|------|----------|-----------|-------|------|----------|------|
| GÖZLENEN | 7.15 | 4.93 | -1.07 | 0.39 | 68.95 | | | |
| WEPP Hillslope | 7.84 | 5.46 | -1.64 | 0.21 | 69.64 | 6.16 | 0.77 | 0.41 |

P parseline ait gözlenen ve tahmin edilen toprak kayıp verileri karşılaştırılmıştır ve bulunan sonuçlar Çizelge 4.22’de verilmiştir. 67 toprak kaybı olayı gözlenmiş ve toplam toprak kaybı 7.22 kg/m^2 olup, ortalaması ise 0.1 kg/m^2 ‘dır. Model ise, 22 olayı tahmin etmiş ve toplam 5.91 kg/m^2 ve ortalamasını ise 0.26 kg/m^2 olarak tahmin etmiştir. Toprak kaybı verileri sıfır ya da sıfıra yakın değerler olduğu, model 2 mm’den küçük yüzey akış ya da 0.2 kg/m^2 ’den küçük toprak kayıplarını tahmin etmede başarısız olduğu Çizelge 4.22’de görülen diğer bir sonuçtur.

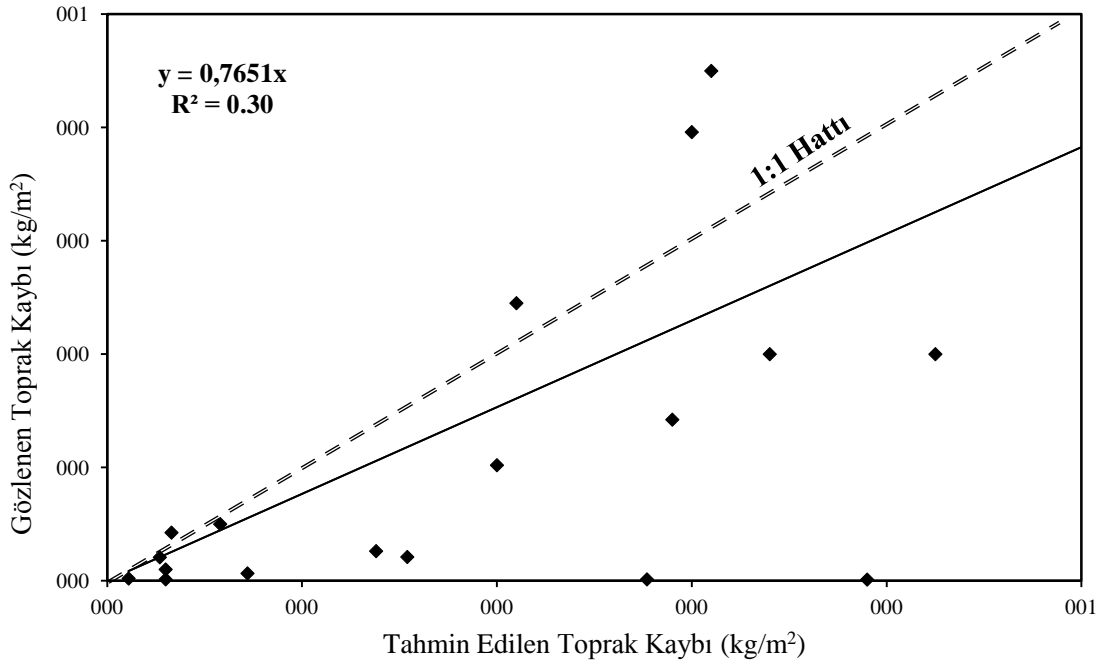
Toprak özellikleri arasındaki ilişki grafiksel olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4.22). Yıllık erosiv yağış toplamının 50 mm’nin altında olduğu P parseli simülasyon sonucunda, modelin toprak kaybını tahmin etmede başarılı olmadığı verilerin dağılımından görülmektedir (Şekil 4.22). Model, birçok olayı tahmin etmemiştir. Bu duruma, gözlenen toprak kaybı değerlerinin ($0.0001-0.05 \text{ kg/m}^2$ arasında) çok küçük değerler olması neden olduğu söylenebilir. Ayrıca model, erosiv yağış 25 mm’yi

aştığında toprak kayıplarını tahmin etmede pek başarılı olmadığı Şekil 4.22’de görülen diğer bir sonuçtur.

Gözlenen ve tahmin edilen toprak kayıpları arasındaki tanımsal ilişkisi grafiksel olarak verilmiştir (Şekil 4.40). Tanımlama katsayısı $R^2:0.30$ olarak bulunmuştur. Verilerin, X ekseninde dağılması modelin performansının başarılı olmadığı şeklinde açıklanabilir. Ayrıca, veriler 1:1 hattı boyunca üniform dağılmayıp, altında dağılmaktadır ki, bu durum modelin üzerinde tahmin ettiğini göstermektedir. Modelin toprak kayıplarını gözlenen değerlerin üzerinde tahmin etmesi, P parselinde interill ve rill erozyonun etkili olmadığını göstermektedir. Toprak kayıpları üzerinde, yağmur damlalarının neden olduğu sıçrama erozyonunun çok önemli rol oynadığı söylenebilir (Qinjuan ve ark., 2008; Defersa ve ark., 2011). Yağmur damlalarının toprak yüzeyine çarpması sonucu, yüzeydeki partiküller ayrışmakta ve sıçramanın etkisiyle buldukları yerden başka yere taşınmaktadırlar. Sıçrama erozyonu yağmur damlalarının çarpması, toprak partiküllerinin sıçraması ve kabuk oluşumu gibi süreçleri içermektedir (Blanco ve Lal, 2008; Parlak ve Parlak, 2010). Yağmurun şiddeti çok önemli bir faktördür ve yağmur damlalarının sıçramasında oldukça etkilidir (Wie ve ark., 2013). Yağışın kinetik enerjisi, yağmur damlalarının şekil ve büyüklüğü ile sıçrama erozyonu arasında doğrusal bir ilişki söz konusudur. Yağış süresine bağlı olarak, sıçrama miktarı azalmaktadır (Gao ve ark., 2011; Qinjuan ve ark., 2015). Özellikle, miktarı ve şiddeti çok yüksek olan kısa süreli yağışlar sıçrama erozyonu üzerinde çok fazla etkiye sahip yağış karakteristikleridir. Wei ve ark. (2000), mera arazisinde kısa süreli yağışların meydana getirdiği sıçrama erozyonu ile toprak kayıpları arasındaki ilişkiyi WEPP model ile değerlendirmiştir. Modele yeni bir denklem girerek toprak kayıplarını simüle ettiği çalışmada, toprak kayıplarının gözlenen değere yakın çıktığı görülmüştür. Neyshabouri (2011), toprağın mekaniksel özellikleri, strüktür ve organik madde içeriği, toprak kayıplarını belirleyen en önemli toprak özellikleri olduğunu ifade etmiştir.



Şekil 4.34. P parseli olay bazlı toprak kayıpları arasındaki ilişki



Şekil 4.35. Toprak kayıpları arasındaki regresyon ilişkisi

Model, 4 ile 6 saat süren yağışlar için çok yüksek toprak kaybı tahmin ederken, 8 saat süren yağışlarda ise hiç tahminde bulunamadığı iklim verilerinden görülmektedir. Bu nedenden dolayı, yağış şiddeti ve hidrolojik parametrelerin WEPP Hillslope modele doğru bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Bayley ve ark. (2010), WEPPCAT (The Water Erosion Prediction Project Climate Assessment Tool) ara yüzünü kullanmak suretiyle iklimdeki değişikliklere bağlı olarak meydana gelen toprak kayıplarını değerlendirmişlerdir. Yağış şiddeti ve miktarına bağlı olarak toprak kayıplarının arttığı, ancak şiddetinden çok miktarının daha fazla rol oynadığını ifade etmişlerdir. USLE faktörlerini belirlemek amacıyla Tokat ili koşullarında yürütülen çalışmaya göre ise, toprak kayıpları ile yağış miktarı arasında ilişki bulunmamış ancak yağışın şiddeti ile toprak kaybı arasında doğrusal bir ilişki bulunmuştur (Oğuz, ve ark., 2006).

Toprak işlemenin yönü, toprağın bulunduğu yerden başka yere taşınmasını çok fazla etkileyen tarımsal faaliyetlerden birisidir. Son zamanlarda, toprak işleme ile ilgili yapılan çalışmalarda; yamaç arazisi eğime paralel olacak şekilde işlenirse, yamacın sırt tarafı düzleşeceğinden dolayı, toprak kayıplarının artacağı; ancak, eğime dik olarak işlenirse, eğime dik sırtlar oluşturacağından toprak kayıplarını azaltacağı belirtilmiştir (USDA-ARS, 2008b; Q, J,Liu, 2014). Eğime dik sürümde, toprak yukarıda tutulmakta ve yer değiştirmesi azalmaktadır. Yağışlar, eğime dik olarak oluşturulan sırtlar arasında toplanmakta, yağmur suyunun infiltrasyonu artmaktadır. Bunun sonucunda, yüzey akış ve toprak kayıpları azalmaktadır (Stevens ve ark., 2009; Q. J. Liu., 2014). Eğime paralel toprak işleme ile karşılaştırıldığında, toprak kayıplarını %75-80 azalttığını ifade etmektedir (Zhang ve ark., 2004b; Williams, 2016). Toprak işlemenin bu çeşidi, eğimi %10'dan daha az olan yamaç arazilerde toprak kaybını %30 azaltacağı ifade edilmekte ve önerilmektedir (Schmengler, 2011; Tao ve ark., 2012) Eğimi yüksek yamaç arazilerinde yapılan bu toprak işleme sonucunda, yağmur suyu daha alt bölümlerde birikmektedir. Bunun sonucunda daha dik sırtlar meydana gelmekte ve rill oluşumu gözlenmektedir. Yüzey akış aşağıya doğru hızlanarak artmaktadır. Bundan dolayı, bu yamaç arazilerinde, yanall rill ve gully oluşumunu engellemek için çim şeritler halinde kontör sürüm önerilmektedir (Schmengler, 2011). Ayrıca, WEPP Hillslope model sırtların eğimi, uzunluğu ve genişliğini su depolama miktarının hesaplamasında kullandığından amenajman dosyasında bu özellikler mutlaka belirtilmelidir. Schmengler ve ark. (2011), yapmış olduğu doktora tez çalışmasında, WEPP Hillslope modeli

kullanarak yamaç arazisi üzerinde kontör sürüm toprak işleme ile meydana gelen toprak kayıplarını tahmin etmiştir. Tüm yamaç arazilerinde modelin, kontör toprak işleme ile toprak kayıplarını %4 ve özel konumdaki yamaç arazilerinde ise %55 daha düşük tahmin ettiğini bulmuştur.

Olay bazlı toprak kayıplarının tanımlayıcı istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.25’de verilmiştir. Ortalama yağış 0.11-0.27 ve standart sapma 0.29-0.45 arasında değişmektedir. CLIGEN ortalama ve standart sapma değeri, gözlenen verilere göre yüksek tahmin etmiştir. Ayrıca verilerin değişim katsayısı 263-167 olup oldukça yüksektir. Bu durum, yamaç arazisinin toprak özelliklerinin iklim ve amenajman özelliklerine bağlı olarak oldukça değişkenlik gösterdiğini ifade etmekte olduğunu, önlemlerin alınması gerektiğini göstermektedir (Çizelge 4.25). Basıklık ve çarpıklık katsayısının çok yüksek olması, verilerin sivri ve ortalamadan gittikçe uzaklaşan bir dağılım gösterdiğini ifade etmektedir. RMSE değeri, 0.42 ve SE değeri 0.41 ve E_{NS} değerinin ise 0.37 olarak belirlenmiştir. Bulunan bu sonuçlar, modelin olay bazlı esaslı toprak kayıplarını tahmin etmede başarılı olmadığını göstermektedir (Çizelge 4.25).

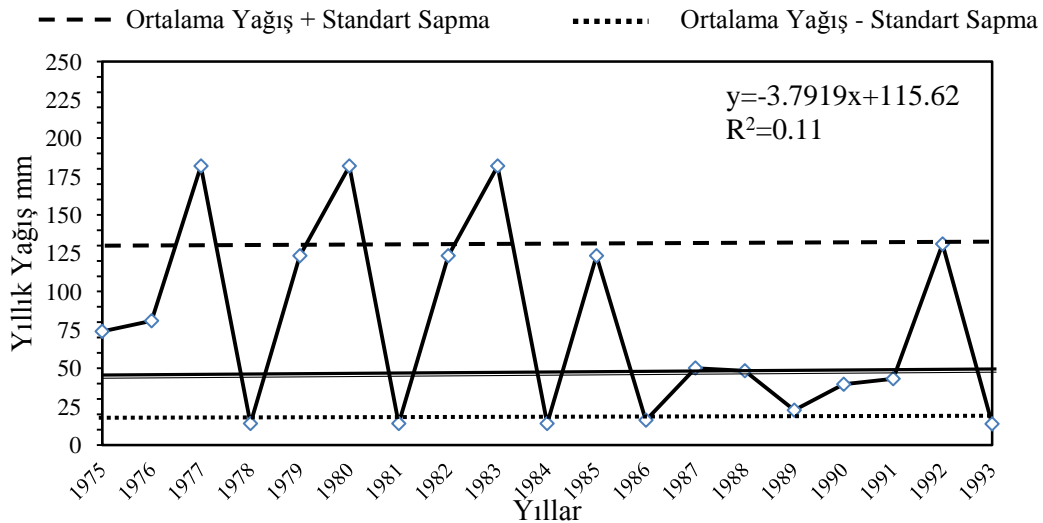
Çizelge 4.25. Olay esaslı toprak kayıpları tanımlayıcı istatistikleri

| ÖZELLİKLER | Ort. | SS | Basıklık | Çarpıklık | DK | RMSE | E_{NS} | SE |
|-----------------------|------|------|----------|-----------|-----|------|----------|------|
| GÖZLENEN | 0.11 | 0.29 | 12.84 | 3.44 | 263 | 0.42 | 0.37 | 0,41 |
| WEPP Hillslope | 0.27 | 0.45 | 16.38 | 3.83 | 167 | | | |

4.2.2.2. Yıllık Simülasyon Sonuçları

P parseline ait, günlük yağış verileri kullanılarak yapılan simülasyon sonucunda toprak kaybı ve yüzey akış verileri yıllık ortalamalara göre değerlendirilmiştir (Çizelge 4.26) Modele girilen toplam erosiv yağış 1151.8 mm ve ortalaması ise 54.85 mm’dir. Model çıktısında ise, yağışların toplamını 628.8 mm ve ortalama ise 29.94 mm olarak görülmüştür. Model, erosiv yağışları yaklaşık % 50 altında %45 hata ortalaması ile tahmin etmiştir. Yağışların ay içerisindeki şiddeti ve sıklığı bu durumu etkileyen önemli faktörlerdir. Yıllık ortalama standart sapma eklenip-çıkarılması ile ıslak ve kuru yıllar belirlenmiştir (Şekil 4.36). 1977, 1980,1983 yılları yağışlı iken; 1981, 1986, 1989, 1990

ve 1991 ise daha düşük yağışlar meydana gelmiştir. Model, 1983 yılı için yüzey akış ve toprak kaybı tahmininde bulunmamıştır. 1991 yılı kurak bir yıl olmasına rağmen, model tarafından oldukça yüksek yağış tahmininde bulunduğu Çizelge 4.26'de görülmektedir. Yağışların dağılımı alana ve zamana bağlı olarak değişmesinden dolayı, oldukça kompleks olduğu kabul edilmektedir. Özellikle, mevsimlerdeki yağışların dağılımı bu durumu yakından etkilemektedir. Çalışma alanında, ilkbahardaki yağış sayısı artarken, kış mevsimi oldukça kurak geçmektedir. Maksimum yağışlar ilkbahar ve yaz aylarının sonlarında görülmektedir. Yine temmuz, ağustos ve kasım ayları oldukça kurak geçmektedir. 21 yıllık yağış verileri oldukça kısa süreli yağışlardır. Yağışın dağılımındaki bu değişkenlik, modelin su bütçesini çok yakından etkilemektedir. Groisman ve ark. (2001), ilkbahar, yaz ve sonbaharda yağış miktarının artmasına karşılık, kış aylarında meydana gelen yağış miktarında değişiklik olmadığını 1901-1991 yıllarını kapsayan çalışmanın sonucunda bulmuşlardır. Yine, Licciardello ve ark. (2006), WEPP model ile yüzey akışı gözlenen değerlerin altında tahmin etmiştir. Bu duruma, yağışların alana ve zamana bağlı olarak dağılımının neden olduğunu ve modelin bu dağılımı tam olarak algılayamadığı sonucuna ulaşmışlardır. Yağmur-kar karışımı ya da yağmurun baskın olduğu kış ve ilkbahar aylarında sediment oluşumunu artırırken; yaz aylarında görülen yağışlar ise toprak kayıplarını hızlandırmaktadır (Gould ve ark., 2016).



Şekil 4.36. P parseli erosiv yağışlara göre ıslak, normal ve kuru yıllar

Çizelge 4.26. P parsel yıllık ortalama gözlenen ve tahmin edilen model parametreleri

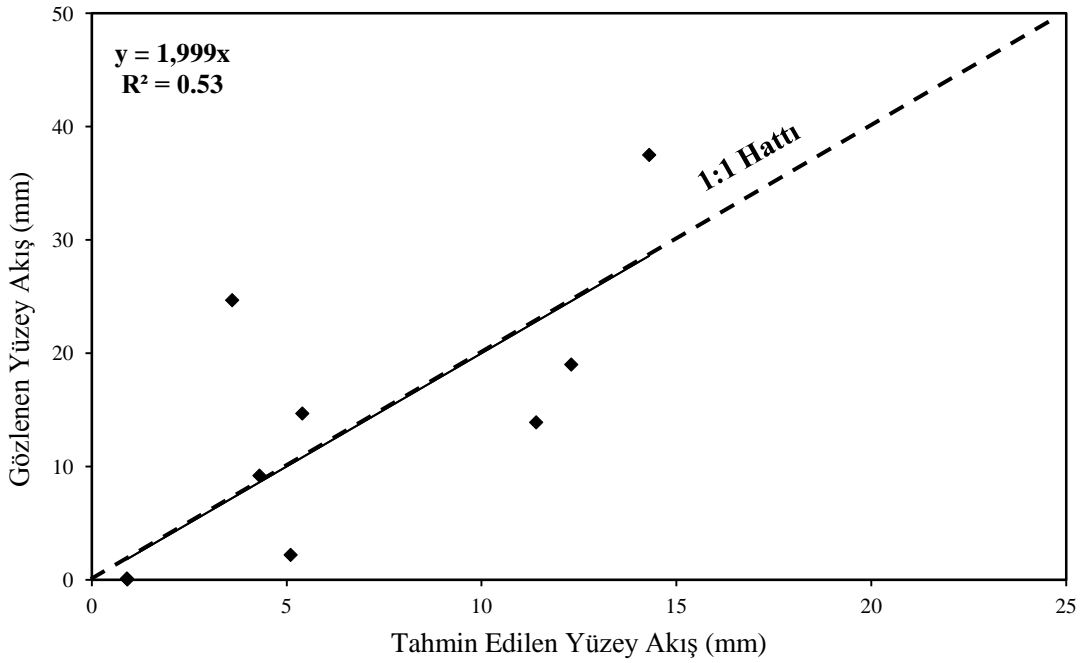
| Yıllar | Yağış Miktarı mm | Toprak Kaybı kg/m ² | Yüzey Akış mm | Toplam Yağış mm | Toprak Kaybı toplam | Yüzey Akış mm |
|-----------------|------------------|--------------------------------|---------------|-----------------|---------------------|---------------|
| 1975 | 74.0 | 0.5391 | 14.68 | 39.3 | 0.32 | 5.4 |
| 1976 | 0.0 | 0.1540 | 6.78 | 0.0 | 0.00 | 0.0 |
| 1977 | 80.9 | 0.2000 | 37.50 | 84.4 | 0.00 | 14.3 |
| 1978 | 0.0 | 0.0000 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 |
| 1979 | 181.8 | 0.3300 | 24.68 | 25.8 | 0.072 | 3.6 |
| 1980 | 13.9 | 0.0100 | 0.12 | 21.7 | 0.02 | 0.9 |
| 1981 | 123.3 | 0.7000 | 13.9 | 32.1 | 0.31 | 11.4 |
| 1982 | 0.0 | 0.0000 | 0.22 | 0.0 | 0.00 | 0.0 |
| 1983 | 147.5 | 0.3700 | 42.61 | 42.2 | 0.00 | 0.0 |
| 1985 | 69.3 | 0.6000 | 9.58 | 86.3 | 0.49 | 0.0 |
| 1987 | 16.1 | 0.6400 | 0.03 | 33.1 | 0.53 | 0.9 |
| 1989 | 50.1 | 0.1700 | 17.39 | 65.4 | 0.00 | 0.0 |
| 1991 | 48.3 | 0.3150 | 19.00 | 84.5 | 0.37 | 12.3 |
| 1992 | 22.6 | 0.2080 | 9.20 | 39.9 | 0.28 | 4.3 |
| 1993 | 39.5 | 0.2600 | 2.20 | 26.2 | 0.14 | 5.1 |
| 1994 | 43.1 | 0.0213 | 2.50 | 0.0 | 0.00 | 0.0 |
| 1995 | 0.0 | 0.0000 | 0.00 | 47.9 | 0.00 | 3.0 |
| TOPLAM | 1151.8 | 6.87 | 160.22 | 628.80 | 3.82 | 106.60 |
| ORTALAMA | 54.84 | 0.32 | 7.62 | 29.94 | 0.18 | 5.07 |

Gözlenen ve tahmin edilen yıllık ortalama yüzey akış verilerine ait model çıktısı Şekil 4.31’de verilmiştir. Gözlenen ortalama yüzey akış 7.62 mm ve tahmin edilen ise 5.07 mm’dir. P parseli 1975-1995 yıllarına ait, yıllık toprak kaybı verileri Çizelge 4.26’de verilmiştir. Çalışma alanında görülen erosiv yağışların, büyük bir kısmının yüzey akışa geçtiği Çizelge 4.26’de görülmektedir. Gözlenen ve tahmin edilen yüzey akış verileri grafiksel olarak karşılaştırılmıştır (Şekil 4.32). Değerler oldukça yüksek olduğu Şekil 4.32’de görülmektedir. Model, bu değerleri gözlenen değerler altında tahmin etmiştir. WEPP Hillslope modelin yüksek değerdeki yüzey akış değerlerini gözlenen değerler altında tahmin etmesinin birkaç nedeni bulunmaktadır. Öncelikle, şiddetli yağışların zamana bağlı değişiminden kaynaklanmaktadır. Tokat ilinde, özellikle ilkbahar aylarında bu yağışlar oldukça sık görülmektedir. 1977 yılında yağış dağılımı ile 1995

yıldaki yağış dağılımı oldukça farklıdır. Özellikle 1980 yıllarından sonra yağış belirgin şekilde azalmaktadır. Diğer bir neden ise, en baskın süreç olan hidrolojik süreçtir (Mavromatis, 2012). Kumar ve ark. (2002), WEPP model ile düşük ve normal şiddetteki yağışların meydana getirdiği yüzey akışı tahmin etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda, modelin özellikle normal şiddetteki yağışları tahmin etmede çok başarılı; ancak, yüksek şiddetteki yağışların oluşturduğu yüzey akışı tahmin etmede başarısız olduğu görülmüştür. Ayrıca model hiç yüzey akış gözlenmeyen yıllar içinde tahmin yapmıştır. P parselinde de aynı durum söz konusudur. 1995 yılında gerçekte toprak kayıplarına yol açan hiç yağış gözlenmezken, model tahminde bulunmuştur (Çizelge 4.26). Gözlenen ve tahmin edilen yıllık ortalama yüzey akış verileri arasındaki ilişki grafiksel olarak gösterilmiştir. Yukarıda verilen benzer sonuçlar Şekil 4.33'de görülmektedir. Veriler arasındaki tanımsal ilişkiyi gösteren tanımlama katsayısı $R^2:0.53$ olarak belirlenmiştir (4.33). Yüzey akış verileri 1:1 hattının altında ve üstünde dağılım göstermektedir. Model, özellikle 0.1 mm'den küçük, gözlenen yüzey akış verilerini tahmin etmede başarısızdır (4.33). Çalışma alanında gözlenen yüzey akış verileri çok küçük değer olup, model simülasyonda bu değerleri dikkate almamıştır. Benzer sonuçlar, Soto ve Diaz-Fierros (1998) tarafından da bulunmuştur. Modelin 5mm'nin üzerindeki değerleri düşük tahmin ederken, 1 mm'nin altındaki verileri ise yüksek tahmin ettiği görülmek ve en iyi tahminlerin normal değerler arasında yapıldığı Şekil 4.33'de gözlenen diğer bir sonuçtur.



Şekil 4.37. P parseli yıllık ortalama yüzey akış verileri arasındaki ilişki



Şekil 4.38. P parseli yıllık ortalama yüzey akış verileri arasındaki tanımsal ilişki

Model simülasyonunun daha doğru değerlendirilmesi için, arazide gözlenen veriler ile karşılaştırılması gerektiği yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Nunes, 2011). Bowen ve ark. (1997), WEPP model kullanarak yapmış olduğu çalışmada yüzey akışı değerlendirmişlerdir. Toprak özellikleri, iklim, amenajman faktörlerini göz önünde bulundurdıkları çalışmanın sonunda; modelin yüzey akışı gözlenen değer üzerinde tahmin ettiğini ve mutlaka gözlenen değerler ile karşılaştırılması gerektiğini ifade etmişlerdir. Çalışma alanında yapılan simülasyon için gözlenen yağış ve yüzey akış verileri kullanılmıştır. Bu durum, modelin performansının artmasına neden olmaktadır. Nisan ve Mayıs aylarında gözlenen yağışlar çok önemlidir. Özellikle, yağışın şiddetindeki değişimler yüzey akışı oldukça yakından etkilemektedir (Pruski ve Nearing., 2002), Etkin hidrolik iletkenlik, infiltrasyon ve yüzey akışı kontrol eden anahtar bir parametredir. Yağışlara bağlı olarak değişen bu parametreler, başlangıçta Green and Ampt denklemi ile hesaplanmakta ve WEPP modelin kendisi şartlara uygun olarak yeniden ayarlanmaktadır (Green ve Ampt, 1911). Çalışmada kullanılan hidrolik iletkenlik 1.86 mm.h^{-1} olarak bulunmuştur. Bu değer, Clapp ve Hornberger (1978) tarafından killi topraklar için modelde kullanılması gereken 2 mm.h^{-1} değerine yakın olup uymaktadır. Bu durum, hesaplanan hidrolik iletkenliğin kabul edilebilir doğru olduğunu göstermektedir. Yüksek hacim ağırlığı ve yüksek kil içeriği, toprakların hidrolik iletkenliğinin azalmasına neden olmaktadır. Çalışma alanındaki topraklar, %35 kil içeriği sahiptir. Bu değerlere bağlı olarak hidrolik iletkenlik normal değer sınırında çıkmıştır. Ayrıca, kil içeriğinin artması topraklarda yüzey akışın artmasına neden olmaktadır ki, bu durum çalışma alanımızda görülmemektedir.

Kontör sürüm, yüzey akışın gerilme depolarındaki su miktarını aştığında ya da yüzey akışın şiddeti azaltmak istendiğinde uygulanan bir yöntemdir (Strudley, 2008; Mohammod ve ark., 2012). Etkin bir toprak ve su koruma yöntemidir. Ancak şiddetli yağışlardan hemen sonra sırtların bozulması ve sürekli kalmaması bu yöntemin dezavantajıdır. Buna rağmen kurak ve yarı kurak alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Düşük infiltrasyon kapasitesine sahip ekili alanlar ile çok dik yamaç arazilerde kullanımı önerilmemektedir. Şiddetli yağışlardan sonra, gerilme depolarındaki suyu drene etmek ve sırtların çökmesini engellemek için hafif eğimli

sırtların oluşturulması önerilmektedir. Ancak, bu durum sonucunda rill erozyon ve hemen arkasından da gully oluşumu gözlenmektedir (Helming ve ark., 2001).

Yağışın yarısı gerilme depolarında birikmiş ise, kontör sürüm yüzey akış ve toprak kayıplarını azaltmada başarılı olarak kabul edilmektedir. Kontör toprak işleme, özellikle yüksek şiddette ve kısa süreli yağışlar için tercih edilmektedir. 21 yıllık iklim verileri arasında 13 Kasım 1983 yılı bu özelliklere uymaktadır. Yine bu verilerin yaklaşık %50'den fazla yüksek şiddette ve kısa süreli yağışlar olarak meydana gelmektedir. Li ve ark. (2014), iklimdeki değişimler ve farklı toprak işlemenin yüzey akış ve toprak kayıpları üzerine etkisini WEPP model kullanarak değerlendirmişlerdir. Çin'de yapılan çalışmada, geleneksel ve kontör sürüm ile beş farklı iklim senaryosu karşılaştırılmıştır. Kontör sürüm altında, bütün iklim değişikliklerinde toprak kaybı ve yüzey akışın azaldığı çalışmanın sonucunda görmüşlerdir.

Yüzey akış verilerinin tanımlayıcı istatistiksel analizler yapılmıştır (Çizelge 4.27). Ortalama ve standart sapma gözlenen verilerde oldukça yüksek iken WEPP Hillslope model ile tahmin edilen verilerde daha düşük değerler aldığı Çizelge 4.31'de görülmektedir. Bu durum, 21 yıllık yüzey akış verilerinin çok yüksek ve çok düşük değerler arasında olduğunu açıklamaktadır. Değişim katsayısının yüksek olması bu durumu destekler niteliktedir. Basıklık ve çarpıklık sıfıra yakın değerler olup, yatık dağılım göstermektedir. RMSE değeri 0.79'dur. Yine E_{NS} değerleri 0.98'tir. SE değerleri sırasıyla 0.15 olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu değerlere göre model, yıllık ortalama yüzey akış verilerini olay esaslı ortalamalara göre daha iyi tahmin etmiştir.

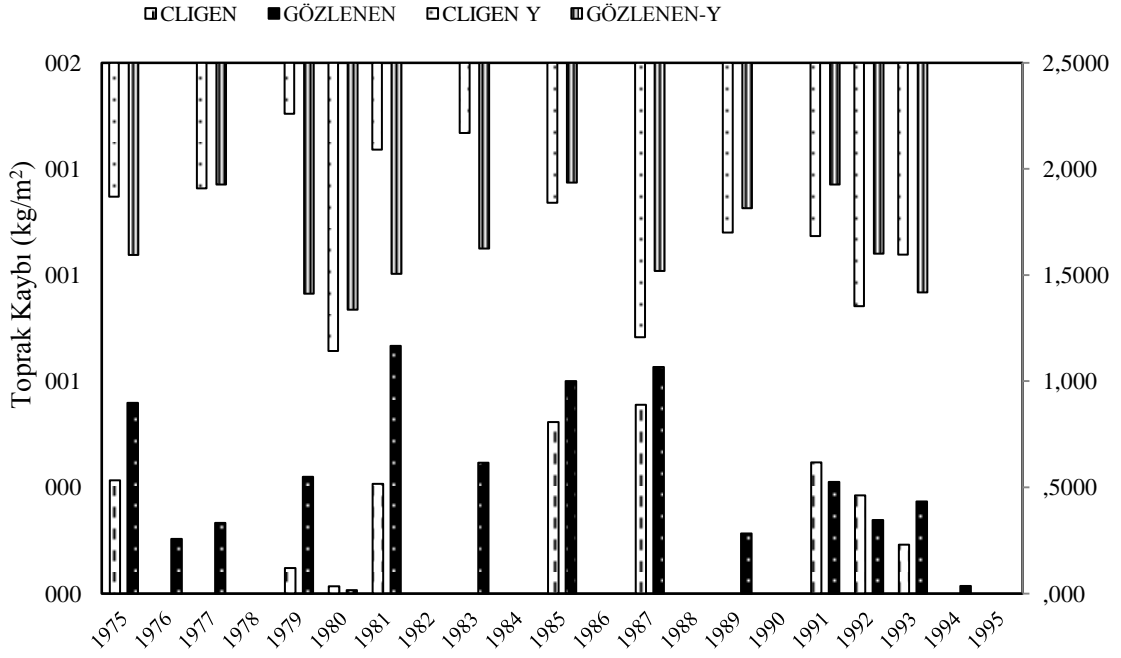
Çizelge 4.27. P parseli yıllık ortalama yüzey akış verileri tanımlayıcı istatistikler

| ÖZELLİKLER | Ort. | SS | Basıklık | Çarpıklık | DK | RMSE | E_{NS} | SE |
|-----------------------|-------------|-----------|-----------------|------------------|-----------|-------------|----------------------------|-----------|
| Gözlenen | 12.00 | 12.97 | 0.93 | 1.25 | 108 | | | |
| WEPP Hillslope | 6.12 | 4.81 | -0.94 | 0.74 | 78.59 | 0.79 | 0.98 | 0.15 |

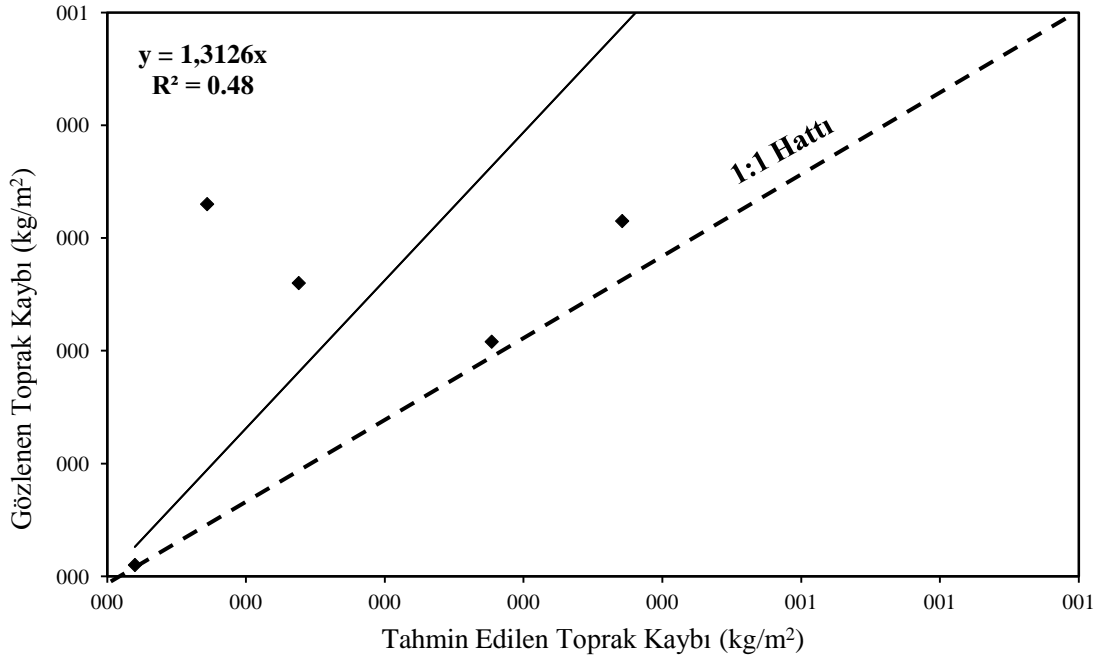
WEPP Hillslope model ile 1975-1995 yılları arasındaki yıllık ortalama toprak kayıpları tahmin edilmiş ve bulunan sonuçlar Çizelge 4.26'de verilmiştir. 1995 yıllı oldukça yağışlı olup, yıl içerisinde 33 yağış olayı meydana gelmiş olmasına rağmen hiç toprak kaybı gözlenmemiştir (Çizelge 4.26). Model, bu yıl için sadece 2 toprak kaybı olayı tahmin etmiştir. Tahmin edilen değerler oldukça düşüktür. 1977 yılı ise, ıslak bir yıldır ve model bu yıl için 6 adet yağış ve 6 adet toprak kaybı tahminde bulunmuştur (Çizelge 4.26). 1976 yılında toprak kaybı gözlenirken, model simülasyon yapmamıştır. Çalışma alanında bulunan bu sonuçlar, birçok literatürde bulunan sonuçlar ile desteklenmektedir. Al Mukhtar ve ark. (2014), Almanya'da 310 m²'lik bir havzada yüzey akış ve toprak kayıplarını, olay bazlı ve aylık ortalamalara göre değerlendirmişlerdir. Çalışmanın sonunda, özellikle kurak aylarda modelin toprak kayıpları üzerinde tahmin ederken, ıslak ve normal aylarda tahmin etmede daha başarılı olduğunu bulmuşlardır. P parselinde normal yıllarda toprak kayıplarının simülasyonunun daha başarılı olduğu görülmektedir (Çizelge 4.26).

Yıllık ortalama toprak kayıpları arasındaki ilişki grafiksel olarak değerlendirilmiş ve Şekil 4.39'da gösterilmiştir. WEPP Hillslope model ile yapılan simülasyon sonucunda, gözlenen ve tahmin edilen yıllık ortalama toprak kayıpları sırasıyla 0.32 kg/m² ve 0.18 kg/m²'dir. 1975-1995 yılları arasında yıllık ortalama toprak kayıpları gözlenen değer altında tahmin edilmiştir. Modelin toprak kayıplarını altında tahmin etmesinin birçok nedeni bulunmaktadır. Öncelikle model, yüzey akışı gözlenen değer altında simüle etmiştir (Çizelge 4.26). Yamaç arazisi üzerinde 8-10 cm yüksekliğinde ve 18-20 cm genişliğinde kontör sırtları oluşturulmuştur. Kontörlü toprak işlemede toprak kayıpları yüzey pürüzlülüğü, sırtların geometrisi ve yağış şiddetine bağlı olarak değişmektedir (Qiangh ve ark., 2016). Sırtların yüksekliği, toprak kayıplarını çok fazla etkilemektedir. Sırtların yüksekliğinin artmasıyla toprak kayıpları artmaktadır. WEPP Hillslope model, toprak kayıplarını tahmin ederken sırtların yüksekliğini dikkate almakta, genişliğini göz önünde bulundurmamaktadır. Çünkü şiddetli yağışlar sonrasında sırtlar çökmekte ve üzerlerinde rill erozyonu meydana gelmektedir. Ayrıca model, bu yüksekliği dikkate alarak su depolama miktarını hesaplamaktadır (Qiangh ve ark., 2016). Toprak kayıpları, toprak özellikleriyle özellikle de tekstür ile yakından ilişkilidir. Model, hacim ağırlığı, porozite, su tutma kapasitesi ve hidrolik özelliklerin hesaplamasında tekstür sınıfını dikkate almaktadır (Flanagan and Livingstone, 1995). P parselinde, girilen dosyalardan

yalnızca amenajman dosyasında değişiklik yapılmıştır. Yine, modelin toprak kayıplarını altında tahmin etmesi çalışma alanında sıçrama erozyonunun baskın olduğunu göstermektedir. Ancak *WEPP model soil file dosyasında*, rill ve interill erozyon mutlaka girilmektedir. Model sıçrama erozyonunu göz önünde tutmayıp, rill ve interill erozyonu dikkate aldığından toprak kayıpları gözlenen değerin altında tahmin edilmiştir. Acharya (2011), WEPP-SLIP model ile toprak kayıpları ve yüzey akışı tahmin ettiği doktora tez çalışmasında benzer sonuçlar bulmuştur. Modelin, özellikle toprak özellikleri ve amenajman uygulamalarına karşı çok duyarlı olduğunu, etkin hidrolik iletkenliğin baskın bir parametre olduğunu belirlemiştir. Toprak kayıpları WEPP model ile gözlenen değerin altında bulunmuştur. Schmengler (2011), WEPP model ile 137 Cs yöntemini karşılaştırarak toprak kayıplarını tahmin ettiği doktora tez çalışmasında, WEPP modelin çok kompleks olduğunu ve çok fazla parametreden etkilendiğini belirlemiştir. Çalışmanın sonunda WEPP modelin toprak kayıplarını, gözlenen değerin üzerinde tahmin ettiği gözlenmiştir.



Şekil 4.39. P parseli yıllık ortalama toprak kayıpları arasındaki ilişki



Şekil 4.40. P parseli yıllık ortalama toprak kayıpları arasındaki tanımsal ilişkisi

Gözlenen ve tahmin edilen yıllık ortalama toprak kayıpları arasındaki tanımsal ilişkisi Şekil 4.40'da gösterilmiştir. $R^2:0.48$ olup, veriler 1:1 hattının üzerinde dağılması, modelin altında tahmin ettiğinin göstergesidir. Gözlenen ve tahmin edilen toprak kaybı verileri, çok küçük değer olduğu için grafikte gösterilmemiştir (Çizelge 4.26). WEPP model, diğer iki parselde olduğu gibi P parselinde de küçük değerleri yüksek ve yüksek değerleri düşük tahmin etme eğilimindedir. Modele girilen parametreler ile modelin çok kompleks olması bu duruma yol açtığı yapılan çalışmalarda gözlenmiştir (Tiwari ve ark., 2000; Acharya ve ark., 2011).

Gözlenen ve tahmin edilen yıllık ortalama toprak kayıpları arasındaki ilişki istatistiksel olarak değerlendirilmiştir (Çizelge 4.28). Standart sapma, ortalamaya yakın değer olarak bulunması modelin toprak kayıplarını gözlenen değerlere yakın tahmin ettiğini göstermektedir. Normal çarpık dağılım gösteren veriler arasındaki değişim katsayısı oldukça yüksektir. Toprak kayıpları arasındaki değişkenlik çok fazla olduğu için bu durumla üç parselde de karşılaşılmıştır. RMSE değeri 1.63, $E_{NS}=0.37$ ve $SE=0.32$ olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.28). Modelin yıllık ortalama toprak kayıplarını tahmin etme başarısı olay esaslı toprak kayıplarına göre yüksek olduğu, modelin değerlendirme kriterlerinden de anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.28. P parseli yıllık ortalamalara göre toprak kaybı tanıtıcı istatistikleri

| ÖZELLİKLER | Ort. | SS | Basıklık | Çarpıklık | DK | RMSE | E_{NS} | SE |
|-----------------------|------|------|----------|-----------|-------|------|----------|------|
| Gözlenen | 0.32 | 0.22 | -0.92 | 0.38 | 62.75 | | | |
| WEPP Hillslope | 0.55 | 0.88 | 9.04 | 2.95 | 68.85 | 1.63 | 0.37 | 0.32 |

4.2.2.3. Duyarlılık (Sensitivity) Analizi

Duyarlılık analizi modelin performansını artırmaya katkı sağlamak amacıyla yapılmaktadır. Analiz sonuçları dikkate alınarak modele parametre girişinin yapılması, tahmin etme performansını artırmaktadır. P parseli duyarlılık analizinde kullanılan parametreler ve duyarlılık oranı Çizelge 4.29'de verilmiştir. Toprağın kum içeriği, hem yüzey akışı hem de toprak kayıplarını yakından etkilemektedir. Her iki parametre de

kum içeriğinin azalmasıyla azalırken, artmasıyla artmaktadır (Çizelge 4.29). Hidrolik iletkenlik, yüzey akışı etkilemektedir. Hidrolik iletkenlik ile yüzey akış arasında ters bir ilişki görülmektedir. Şev uzunluğunun %75 azalması, yüzey akış ve toprak kayıplarının artmasına neden olurken; diğer duyarlılık seviyesinde her iki parametrenin de azalmasına yol açmıştır. Şevin eğimindeki artış ise, hem toprak kaybının hem de yüzey akışın artmasına neden olmuştur. Şevin azalan duyarlılık seviyesi toprak kaybı ve yüzey akış değerlerinin değişmesine neden olurken; artan seviyede herhangi bir değişim gözlenmemiştir (Çizelge 4.29). K ve C parsellerinde olduğu gibi, toprak parametrelerindeki değişim modelin tahmin etme başarısını etkilemektedir.



Çizelge 4.29. P parseli duyarlılık analiz sonuçları

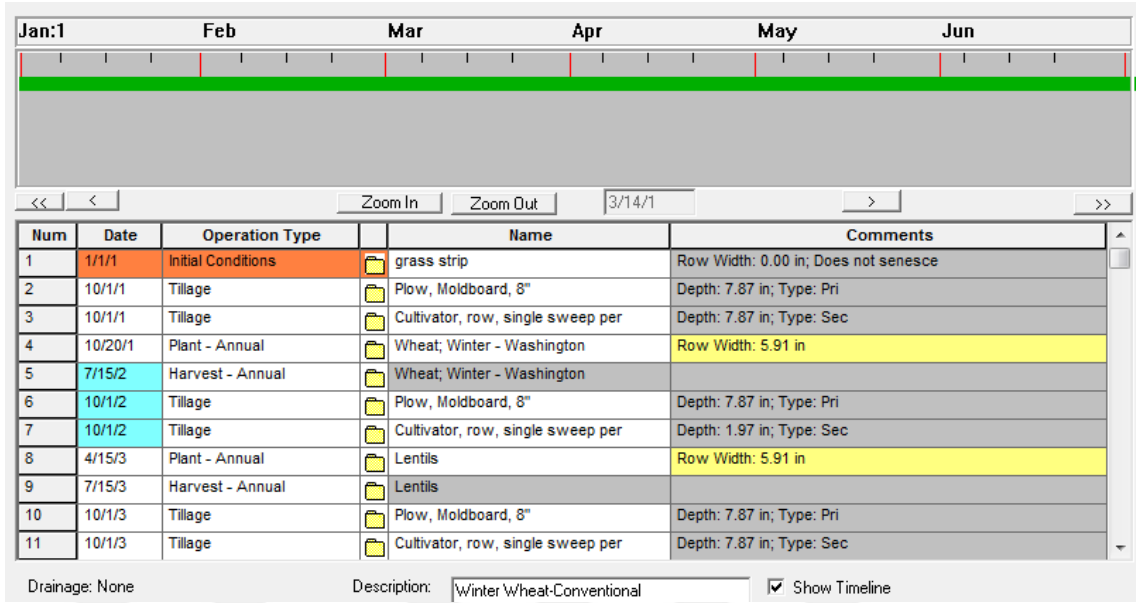
| Toprak Özellikleri | | DUYARLILIK ORANI | | | | | | |
|---------------------------|----|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | -75 | -50 | -25 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| Kil (%) | YA | 5.08 | 1.03 | 2.22 | 5.93 | 6.91 | 8.02 | 8.79 |
| | TK | 0.16 | 0.05 | 0.09 | 0.17 | 0.18 | 0.20 | 0.20 |
| Kum (%) | YA | | 0.93 | 2.54 | 10.05 | 18.02 | 28.69 | 40.05 |
| | TK | | 0.04 | 0.09 | 0.26 | 0.29 | 0.29 | 0.41 |
| Organik Madde (%) | YA | 5.29 | 5.09 | 5.05 | 5.16 | 5.22 | 5.16 | 4.82 |
| | TK | 0.20 | 0.18 | 0.17 | 0.17 | 0.16 | 0.16 | 0.15 |
| Kation Değişim Kapasitesi | YA | 5.98 | 5.26 | 5.10 | 5.11 | 4.95 | 4.81 | 4.71 |
| | TK | 0.21 | 0.18 | 0.17 | 0.17 | 0.16 | 0.16 | 0.15 |
| Rill | YA | 5.08 | 5.08 | 5.08 | 5.08 | 5.08 | 5.08 | 5.08 |
| | TK | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 |
| İnterrill | YA | 5.08 | 5.08 | 5.08 | 5.08 | 5.08 | 5.08 | 5.08 |
| | TK | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.04 |
| Hidrolik İletkenlik | YA | 33.05 | 15:60 | 8.42 | 3.26 | 2.31 | 1.71 | 1.19 |
| | TK | 0.08 | 0.04 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| Şevin Uzunluğu | YA | 26.09 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.13 |
| | TK | 0.92 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Şev Eğimi (%) | YA | 25.14 | 26.09 | 27.04 | 31.81 | 31.81 | 31.81 | 31.81 |
| | TK | 0.71 | 0.92 | 1.02 | 1.33 | 1.35 | 1.36 | 1.36 |

4.2.3. Buğday, Tütün ve Mercimek Tarımı Altında Bitki Yönetim C Faktörü Sonuçları

1975-1995 yılları arasındaki verilerin kullanıldığı çalışmada simülasyon, olay bazlı ve yıllık ortalamalara göre yapılmıştır. Buğday, tütün ve mercimek yetiştirilen C parselinde toprak kayıpları ve sediment verimi WEPP hillslope model kullanılarak belirlenmiştir (Çizelge 4.30). Simülasyon yapılırken, diğer parsellerde olduğu gibi yalnızca amenajman dosyası değiştirilmiştir (Şekil 4.41).

Çizelge 4.30. C parseli ve WEPP Hillslope model arazi uygulamalarının karşılaştırılması

| ARAZİ OPERASYONLARI | | WEPP Hillslope | |
|---------------------|--|----------------|---------------------------------|
| Operasyon Tarihi | Operasyon Şekli | Date | Operation Type |
| 10/01/1. | 0-20 cm derinliğinde bel ile toprak işleme | 10/01/1 | Plow Moalboard |
| 10/01/1 | El Markörü ile toprak işleme | 10/01/1 | Cultivatör row single swepp per |
| 10/20/1 | Kışlık buğday ekim | 10/20/1 | Wheat Winter |
| 07/15/2 | Kışlık buğday hasatı | 05/01/2 | Plow Moalboard |
| 10/01/2 | El Markörü ile toprak işleme | 05/01/2 | Cultivatör row single swepp per |
| 10/01/2 | 0-20 cm derinliğinde bel ile toprak işleme | 07/01/3 | Plow Moalboard |
| 10/01/2 | El Markörü ile toprak işleme | 10/01/2 | Cultivatör row single swepp per |
| 04/15/3 | Mercimek ekimi | | Lentils |
| 07/15/3 | Mercimek hasatı | | Lentils |
| 10/01/3 | El Markörü ile toprak işleme | 07/01/3 | Cultivatör row single swepp per |
| 10/01/3 | 0-20 cm derinliğinde bel ile toprak işleme | 08/01/4 | Plow Moalboard |
| 05/20/4 | Tütün ekimi | | Tobacco |
| 08/20/4 | Tütün hasatı | | Tobacco |
| 10/01/4 | El Markörü ile toprak işleme | 08/01/4 | Cultivatör row single swepp per |
| 10/01/4 | 0-20 cm derinliğinde bel ile toprak işleme | | |



Şekil 4.41. C parseli amenajman dosyası

4.2.3.1. Olay Bazlı Simülasyon Sonuçları

Geleneksel toprak işleme ile buğday, tütün ve mercimek yetiştirilen C parselinde 21 yıl boyunca, gerçekleşen 111 erosiv bireysel yağış olayına karşılık, model 85 olay tahmin etmiştir. Gözlenen yağış ortalaması 12.83 mm iken; tahmin edilen yağış ise 17.31 mm olarak bulunmuştur (Çizelge 4.31). Bu değerler birbirleriyle karşılaştırıldığında modelin gerçekleşmiş olayları 4.48 mm üzerinde tahmin ettiği görülmektedir. Bütün hidrolojik modellerde görülen bu durum, modelin ya formül hesaplamasından ya da girilen parametrelerden kaynaklanmaktadır. Günümüzde yapılan çalışmaların birçoğunda, bu durum ile karşılaşılmakta ve literatürlerle bu durum desteklenmektedir (Lafren ve ark., 2004; Alkharabsheh, 2013). Yine, bir önceki bölümde K parselinde tartışıldığı üzere, eğer yağış olayı 15 mm'den az ise CLIGEN olay bazlı yağış ortalamalarını kendisi hesaplamaktadır (Lobo ve ark., 2015). C parselindeki erosiv yağış olayının büyük bir kısmı 15 mm'nin altındadır. Model, bu değerlerin altındaki yağışları oldukça yüksek tahmin etmiştir (Çizelge 4.31).

Gözlenen ve tahmin edilen olay esaslı yüzey akış verileri arasındaki ilişki grafiksel olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4.42). Simülasyonun yapıldığı 1975-1995 yılları arasında, hiç yüzey akış gözlenmeyen günler olmasına rağmen; model 46 olay gerçekleşmemiş olay tahmin etmiştir. Örneğin, 1978 yılının 1. ayından 10. ayına kadar hiç

yüzey akış gözlenmemiş, ancak model bu aylar için 0.2 mm ile 11 mm arasında değişen yüzey akış tahminlerinde bulunmuştur. (Şekil 4.42). Bu durum, yağış ve infiltrasyon oranı ile yakından ilişkilidir (Conroy, 2005). Yamaç arazi ya da havzada görülen yağışlar toprak içine sızdığı anda infiltrasyon meydana gelmektedir. Bu yağışların miktarı infiltrasyon oranını belirlemektedir (Hillel, 1980). Eğer yağışın şiddeti infiltrasyonu aşarsa o zaman toprak yüzeyinde boşluklar meydana gelmektedir (Holland, 2004; Armand ve ark., 2009). C parselinde simülasyon sonuçlarına göre gözlenen yüzey akış 1.67 mm ve tahmin edilen ise 3.97 mm dir (Şekil 4.42) Model bu süreçte 2.30 mm gözlenen değerden daha fazla tahminde bulunmuştur. Büyük yağış miktarı içeren olayları tahmin etmedeki başarısızlığı, girilen parametreler arasındaki ilişkinin belirsizliğinden kaynaklanmaktadır (Zhang ve ark., 2013). Ayrıca, Licciardello ve ark. (2006) otsu bitkiler, fundalık ve kışlık buğday yetiştirilen tarım arazisinde WEPP model kullanarak yüzey akış ve toprak kayıplarını tahmin etmişlerdir. Modelin gözlenen değer altında tahmin ettiği sonucuna ulaşmışlardır. Zhang ve ark. (2005), soya fasulyesi ekili tarım arazisinde, yüzey akışı WEPP model ile değerlendirmiştir. CLIGEN ile oluşturulan yağış örneklerinin kullanıldığı çalışmada, modelin yüzey akış verilerini gözlenen değer üzerinde tahmin ettiği görülmüştür. Bu sonuçlar, CLIGEN ile oluşturulan kısa süreli ve büyük şiddetteki yağışların arasında hata olduğunu işaret etmektedir.

Çizelge 4.31. C parseli olay bazlı simülasyon sonuçları

| YIL | GÖZLENEN | | | TAHMİN EDİLEN | | |
|------------|---------------|-------------------|------------|---------------|-------------------|------------|
| | Yağış Miktarı | Toprak Kaybı | Yüzey Akış | Yağış Miktarı | Toprak Kaybı | Yüzey Akış |
| | mm | kg/m ² | mm | mm | kg/m ² | mm |
| 27.04.1975 | 18.2 | 0.1291 | 2.53 | 0 | 0 | 0 |
| 29.04.1975 | 28.6 | 0.0033 | 1.51 | 20.7 | 0 | 8.4 |
| 06.05.1976 | 7.4 | 0.053 | 0.66 | 0 | 0 | 0 |
| 15.05.1976 | 6.1 | 0.007 | 0.37 | 0 | 0 | 0 |
| 02.06.1976 | 1.67 | 0.001 | 0.16 | 0 | 0 | 0 |
| 22.08.1976 | 2.36 | 0.002 | 0.09 | 0 | 0 | 0 |
| 09.12.1976 | 1.09 | 0.009 | 0.2 | 0 | 0 | 0 |
| 18.02.1977 | 21 | 0.004 | 5.33 | 0 | 0 | 0 |
| 16.03.1977 | 43 | 0.008 | 7.69 | 0 | 0 | 0 |
| 18.03.1977 | 8.8 | 0 | 0 | 8.7 | 0 | 0.3 |
| 17.04.1977 | 13.2 | 0 | 0 | 19.6 | 0 | 4.1 |
| 02.05.1977 | 5.1 | 0.001 | 3.19 | 0 | 0 | 0 |
| 18.05.1977 | 14 | 0.002 | 2.46 | 22.1 | 0.01 | 6.8 |
| 25.05.1977 | 9.3 | 0.031 | 12.03 | 23.5 | 0.03 | 8.3 |
| 30.05.1977 | 27 | 0 | 0 | 19.8 | 0 | 4.1 |
| 06.06.1977 | 0 | 0 | 0 | 8.3 | 0 | 0.4 |
| 07.06.1977 | 7.3 | 0 | 0 | 8.1 | 0 | 0.6 |
| 13.06.1977 | 10.3 | 0.02 | 16.02 | 14.2 | 0.05 | 5.3 |
| 18.06.1977 | 23.2 | 0.004 | 6.18 | 24.6 | 0.03 | 4.5 |
| 10.09.1977 | 24.9 | 0.006 | 12.43 | 0 | 0 | 0 |
| 06.04.1978 | 19.7 | 0 | 0 | 17.7 | 0 | 3.6 |
| 06.04.1978 | 19.7 | 0 | 0 | 17.7 | 0 | 3.6 |
| 23.04.1978 | 161 | 0 | 0 | 17.1 | 0 | 4 |
| 23.09.1978 | 11.4 | 0 | 0 | 12.3 | 0 | 0.8 |
| 27.10.1978 | 5.5 | 0 | 0 | 13.1 | 0 | 0.7 |
| 28.10.1978 | 5.6 | 0.0001 | 0.14 | 0 | 0 | 0 |
| 08.12.1978 | 12 | 0 | 0 | 4.4 | 0 | 0.2 |
| 31.01.1979 | 6.2 | 0.0004 | 1.25 | 0 | 0 | 0 |
| 03.01.1979 | 0 | 0 | 0 | 24.8 | 0 | 0.4 |
| 04.01.1979 | 0 | 0 | 0 | 24.8 | 0 | 3.6 |
| 12.05.1979 | 3.8 | 0.00008 | 0.12 | 0 | 0 | 0 |
| 23.06.1979 | 6.8 | 0.0022 | 0.17 | 0 | 0 | 0 |
| 05.07.1979 | 6 | 0.0004 | 0.27 | 0 | 0 | 0 |
| 31.08.1979 | 4 | 0.01 | 1.75 | 0 | 0 | 0 |
| 09.09.1979 | 33.1 | 0.5055 | 5.78 | 0 | 0 | 0 |
| 23.10.1979 | 12.4 | 0.9938 | 7.57 | 0 | 0 | 0 |
| 17.01.1980 | 5.9 | 0 | 0 | 19.9 | 0 | 3.5 |
| 12.03.1980 | 20.3 | 0 | 0 | 20.2 | 0 | 3.9 |

Çizelge 4.26. Devamı

| YIL | GÖZLENEN | | | TAHMİN EDİLEN | | |
|------------|---------------|-------------------|------------|---------------|-------------------|------------|
| | Yağış Miktarı | Toprak Kaybı | Yüzey Akış | Yağış Miktarı | Toprak Kaybı | Yüzey Akış |
| | mm | kg/m ² | mm | mm | kg/m ² | mm |
| 06.01.1981 | 22.6 | 0 | 0.19 | 20.5 | 0 | 1.5 |
| 20.02.1981 | 15.5 | 0.0004 | 0.43 | 0 | 0 | 0 |
| 06.03.1981 | 21.1 | 0.0001 | 0.24 | 0 | 0 | 0 |
| 12.03.1981 | 29.5 | 0 | 0.19 | 32.1 | 0.31 | 16.7 |
| 14.03.1981 | 5.6 | 0.0001 | 0.24 | 0 | | 0 |
| 04.04.1981 | 5 | 0 | 0 | 14 | | 2.4 |
| 24.04.1981 | 5.9 | 0.0001 | 0.31 | 0 | 0 | 0 |
| 05.05.1981 | 12.1 | 0 | 0 | 12.8 | 0 | 1.6 |
| 27.05.1981 | 4 | 0.005 | 0.18 | 0 | 0 | 0 |
| 15.06.1981 | 20.2 | 0 | 0 | 12.2 | 0 | 0.7 |
| 13.09.1981 | 5.1 | 0.0002 | 0.18 | 0 | 0 | 0 |
| 14.10.1981 | 3.31 | 0.0021 | 0.71 | 0 | 0 | 0 |
| 16.11.1981 | 7 | 0.0002 | 0.32 | 0 | 0 | 0 |
| 08.01.1982 | 1.38 | 0 | 0.17 | 0 | 0 | 0 |
| 11.01.1982 | 1.18 | 0.001 | 0.11 | 0 | 0 | 0 |
| 13.01.1982 | 0.55 | 0 | 0.17 | 0 | 0 | 0 |
| 02.02.1982 | 1 | 0 | 0.2 | 0 | 0 | 0 |
| 17.04.1982 | 0.9 | 0 | 0.12 | 0 | 0 | 0 |
| 19.04.1982 | 10 | 0.0002 | 0.24 | 0 | 0 | 0 |
| 17.06.1982 | 0.7 | 0.0006 | 0.1 | 0 | 0 | 0 |
| 02.07.1982 | 0.7 | 0 | 0.1 | 0 | 0 | 0 |
| 17.02.1983 | 0.6 | 0.0009 | 0.14 | 0 | 0 | 0 |
| 07.04.1983 | 1 | 0.0002 | 0.38 | 0 | 0 | 0 |
| 17.04.1983 | 6.4 | 0.016 | 0.26 | 2.2 | 0 | 5 |
| 07.05.1983 | 1.7 | 0.0076 | 0.99 | 0 | 0 | 0 |
| 21.05.1983 | 0.9 | 0.3174 | 6.77 | 0 | 0 | 0 |
| 22.05.1983 | 1.5 | 0 | 0.14 | 0 | 0 | 0 |
| 27.05.1983 | 2.2 | 0.578 | 8.6 | 0 | 0 | 0 |
| 31.05.1983 | 2.6 | 0.5457 | 10.98 | 0 | 0 | 0 |
| 14.10.1983 | 16.1 | 0 | 0.24 | 0 | 0 | 0 |
| 29.10.1983 | 0.56 | 0.0001 | 0.29 | 0 | 0 | 0 |
| 30.10.1983 | 7 | 0 | 0 | 21 | 0 | 0.4 |
| 19.11.1983 | 13.5 | 0.0001 | 0.42 | 12.6 | 0 | 2.6 |
| 20.11.1983 | 0 | 0 | 0 | 15.4 | 0 | 10.1 |
| 21.11.1983 | 0 | 0 | 0 | 6.1 | 0 | 1.5 |
| 22.11.1983 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 2.2 |
| 29.02.1984 | 7.1 | 0.0002 | 0.33 | 5.3 | 0 | 2.3 |
| 01.03.1984 | 5.1 | 0 | 0 | 10.5 | 0 | 6.8 |
| 11.03.1984 | 5.7 | 0 | 0 | 4.9 | 0 | 2.1 |

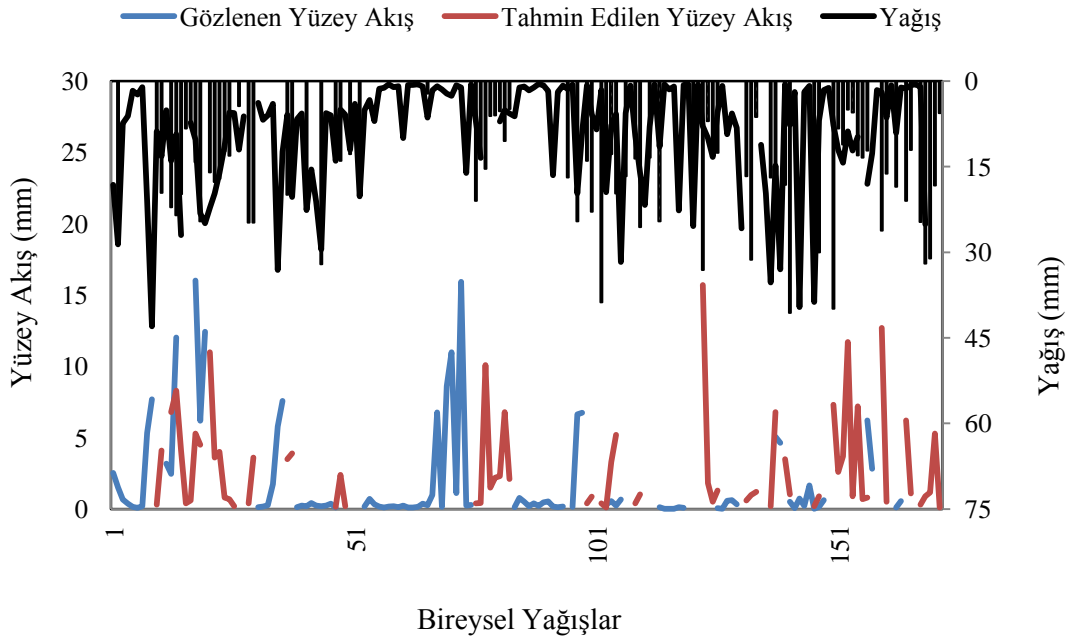
Çizelge 4.26. Devamı

| YIL | GÖZLENEN | | | TAHMİN EDİLEN | | |
|------------|---------------|-------------------|------------|---------------|-------------------|------------|
| | Yağış Miktarı | Toprak Kaybı | Yüzey Akış | Yağış Miktarı | Toprak Kaybı | Yüzey Akış |
| | mm | kg/m ² | mm | mm | kg/m ² | mm |
| 19.04.1984 | 1 | 0.006 | 0.52 | 0 | 0 | 0 |
| 21.04.1984 | 1.7 | 0.0002 | 0.19 | 0 | 0 | 0 |
| 13.05.1984 | 1.1 | 0.0002 | 0.4 | 0 | 0 | 0 |
| 18.05.1984 | 0.5 | 0.0001 | 0.21 | 0 | 0 | 0 |
| 05.01.1985 | 0.7 | 0 | 0.475 | 0 | 0 | 0 |
| 20.01.1985 | 1.7 | 0 | 0.523 | 0 | 0 | 0 |
| 13.02.1985 | 16.5 | 0 | 0.166 | 0 | 0 | 0 |
| 18.02.1985 | 1.9 | 0 | 0.118 | 0 | 0 | 0 |
| 24.03.1985 | 0.8 | 0 | 0.17 | 0 | 0 | 0 |
| 03.04.1985 | 1.4 | 0 | 0 | 16.9 | 0 | 0.3 |
| 26.04.1985 | 0.6 | 0 | 0.142 | 0 | 0 | 0 |
| 01.06.1985 | 9 | 0.1268 | 6.743 | 0 | 0 | 0 |
| 05.08.1985 | 0.8 | 0 | 0 | 14 | 0 | 0.4 |
| 19.10.1985 | 5.8 | 0 | 0.21 | 22.9 | 0.01 | 7.2 |
| 20.10.1985 | 8.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26.10.1985 | 1.6 | 0 | 0 | 38.8 | 0 | 0.4 |
| 08.11.1985 | 19.5 | 0 | 0.3 | 14.4 | 0 | 0.1 |
| 30.11.1985 | 7.8 | 0.0007 | 0.55 | 12.8 | 0 | 3.3 |
| 27.02.1986 | 5.8 | 0 | 0.24 | 19.7 | 0 | 5.2 |
| 25.05.1986 | 31.7 | 0.021 | 0.67 | 0 | 0 | 0 |
| 31.05.1986 | 5.6 | 0 | 0 | 16.7 | 0 | 3.1 |
| 04.06.1986 | 0.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 09.06.1986 | 9.6 | 0 | 0 | 13.6 | 0 | 0.4 |
| 09.01.1987 | 16.1 | 0 | 0.11 | 25.6 | 0.09 | 10.4 |
| 28.01.1987 | 21.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02.02.1987 | 8 | 0.000144 | 0.18 | 13.4 | 0 | 6.3 |
| 05.03.1987 | 0.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25.03.1987 | 11.5 | 0.000051 | 0.13 | 24.6 | 0 | 4.8 |
| 18.06.1987 | 0.6 | 0 | 0.01 | 0 | 0 | 0 |
| 19.06.1987 | 1.5 | 0 | 0.01 | 0 | 0 | 0 |
| 22.10.1987 | 1 | 0 | 0.02 | 0 | 0 | 0 |
| 04.11.1987 | 22.7 | 0 | 0.13 | 0 | 0 | 0 |
| 20.11.1987 | 0.7 | 0 | 0.08 | 0 | 0 | 0 |
| 10.12.1987 | 0.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 29.12.1987 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25.01.1988 | 7.9 | 0 | 0 | 33.1 | 0.82 | 15.7 |
| 27.01.1988 | 10 | 0 | 0 | 7 | 0 | 1.8 |
| 28.02.1988 | 13.3 | 0 | 0 | 10.9 | 0 | 0.5 |
| 11.03.1988 | 5.5 | 0 | 0.06 | 12.6 | 0 | 1.3 |

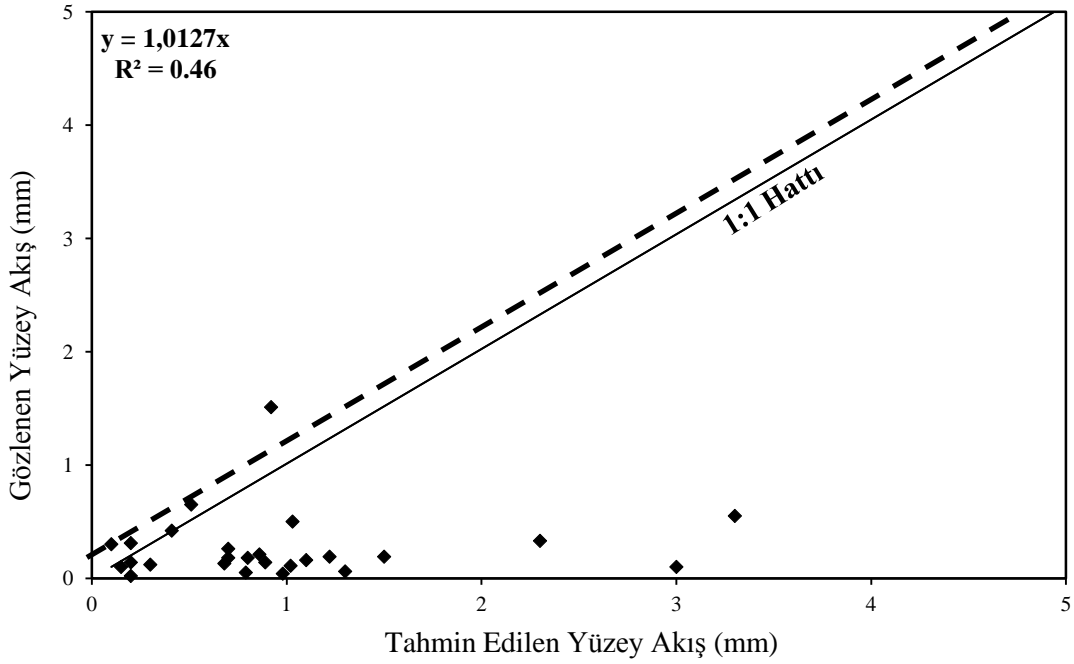
Çizelge 4.26. Devamı

| YIL | GÖZLENEN | | | TAHMİN EDİLEN | | |
|------------|------------------|-------------------|---------------|------------------|-------------------|---------------|
| | Yağış Miktarı | Toprak Kaybı | Yüzey Akış | Yağış Miktarı | Toprak Kaybı | Yüzey Akış |
| | mm | kg/m ² | mm | mm | kg/m ² | mm |
| 13.06.1988 | 5.7 | 0.0686 | 0.62 | 0 | 0 | 0 |
| 18.06.1988 | 8.2 | 0.00597 | 0.34 | 0 | 0 | 0 |
| 07.11.1988 | 25.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18.11.1988 | 0 | 0 | 0 | 16.7 | 0 | 0.6 |
| 17.02.1989 | 20.3 | 0 | 0.04 | 31.3 | 0 | 9.5 |
| 24.05.1989 | 0 | 0 | 0 | 6.3 | 0 | 1.2 |
| 03.06.1989 | 11.2 | 0 | 1.02 | 0 | 0 | 0 |
| 04.06.1989 | 19.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15.06.1989 | 35.3 | 0 | 0 | 16.9 | 0 | 0.2 |
| 22.06.1989 | 14.8 | 0 | 5.06 | 24.8 | 0 | 6.8 |
| 30.09.1989 | 33 | 0.10618 | 4.64 | 0 | 0 | 0 |
| 01.10.1989 | 0.5 | 0 | 0 | 18.2 | 0 | 3.5 |
| 02.12.1990 | 7.7 | 0 | 0.5 | 40.6 | 0.08 | 10.7 |
| 08.04.1991 | 1.9 | 0 | 0.06 | 0 | 0 | 0 |
| 15.04.1991 | 39.6 | 0.03721 | 0.74 | 0 | 0 | 0 |
| 01.05.1991 | 1.9 | 0.00289 | 0.22 | 0 | 0 | 0 |
| 14.12.1992 | 1.6 | 0.00114 | 0.62 | 0 | 0 | 0 |
| 17.12.1992 | 1.18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26.02.1993 | 7.7 | 0 | 0 | 39.9 | 0.11 | 7.3 |
| 09.03.1993 | 12.1 | 0 | 0 | 8.3 | 0 | 2.6 |
| 19.03.1993 | 14.3 | 0 | 0 | 11.1 | 0 | 3.7 |
| 01.04.1993 | 8.8 | 0 | 0 | 5 | 0 | 11.7 |
| 09.04.1993 | 12.2 | 0 | 0 | 5.5 | 0 | 0.9 |
| 30.05.1993 | 9.8 | 0 | 0 | 13 | 0 | 7.2 |
| 02.06.1993 | 0 | 0 | 0 | 13.4 | 0 | 0.7 |
| 27.06.1993 | 18 | 0.1117 | 6.2 | 12.2 | 0 | 0.8 |
| 12.08.1993 | 12.7 | 0.08925 | 2.82 | 0 | 0 | 0 |
| 10.11.1993 | 1.56 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13.12.1993 | 2 | 0 | 0 | 26.2 | 0.1 | 12.7 |
| 09.05.1994 | 6.4 | 0.00409 | 0.65 | 16.2 | 0.47 | 3.2 |
| 10.05.1994 | 0.73 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17.06.1994 | 9.1 | 0.0022 | 0.1 | 18.5 | 0 | 3 |
| 08.09.1994 | 1.14 | 0.0035 | 0.56 | 0 | 0 | 0 |
| 13.10.1994 | 1.29 | 0 | 0 | 21 | 0 | 6.2 |
| 26.10.1994 | 0.76 | 0.0126 | 0.16 | 12.1 | 0 | 1.1 |
| 29.01.1995 | 0.55 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13.04.1995 | 1.04 | 0 | 0.12 | 24.7 | 0 | 2 |
| 18.11.1995 | 25.1 | 0 | 0 | 32 | 0 | 0.9 |
| 20.11.1995 | 0 | 0 | 0 | 31.1 | 0.19 | 14.7 |

Yüzey akış verileri arasındaki tanımsal ilişki Şekil 4.43'de grafiksel olarak değerlendirilmiştir. Bulunan değere göre her ne kadar veriler arasında çok yüksek bir ilişki görülmesi de, erozyon modelleri için başarılı bir sonuç olarak düşünülebilir. Tanımsal ilişki $R^2:0.46$ olup, model yüksek yağış olaylarını gözlenen miktarın altında tahmin ederken; küçük yağış olaylarını biraz üzerinde tahmin etmektedir ve aralarında pozitif bir ilişki olduğunu göstermektedir. Gözlenen değerlere karşılık modelin tahmin ettiği yüzey akış verileri 1:1 hattının üzerinde altında ve üstünde dağılım göstermektedir (Şekil 4.43). Yine model sıfır ya da sıfıra yakın tahminler de bulunmuştur. Başlangıçtaki toprak su içeriği, toprak yüzeyinde meydana gelen pürüzlülük ve infiltrasyon olayı modelin yüzey akışı yüksek tahmin etmesinin başlıca nedenleridir (Gilley ve ark., 1995). Gerilme depoları olarak isimlendirilen bu boşluklar yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir (Kay ve Rasiah, 1995). Yüzey pürüzlülüğü yüzey akışı etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Toprak işleme ve yağışlardan önemli ölçüde etkilenmektedir (Gilley ve ark., 1995). Çok ıslak ya da kuru işlenen bir toprak tarla kapasitesinde işlenen topraktan çok daha fazla yüzey pürüzlülüğü oluşmasına neden olmaktadır (Delaune ve Sij, 2012). Toprak işlemenin çeşidi de pürüzlülük üzerine önemli etkiye sahiptir. Şerit halinde dikim ve sabanın kökleri arasında şerit ve sırt şeklinde pürüzlülük meydana gelmektedir (Ell ve ark., 2013). Pulluk ile yapılan toprak işleme yüzey pürüzlülüğünü artırırken, disk ya da tırmıkla yapılan toprak işleme ise azaltmaktadır. Ayrıca tohum yatağının hazırlama süreci de pürüzlülüğün artmasına neden olmaktadır. Toprak işlemenin etkisiyle artan yüzey pürüzlülüğü infiltrasyonu dolayısıyla toprağın gözenekliliği ve su içeriğini önemli ölçüde etkilemektedir. Mazilli ve ark. (2016), toprak işlemenin yüzey pürüzlülüğü ve poroziteye olan etkisini değerlendirdikleri çalışmada; pulluk ile sürüm yapılan alanlarda yüzey pürüzlülüğü yüzey akışı önemli ölçüde etkilerken, pulluk-disk ve şerit vari yapılan işleme pürüzlülüğü çok fazla etkilememiştir. C parselinde geleneksel toprak işleme ile beraber pulluk- tırpan kullanılmıştır. Bitki örtüsünün bulunmasına rağmen yüzey akışın gözlenen değerden yüksek çıkması uygulanan toprak işlemedir.



Şekil 4.42. C parseli olay esaslı yağış ve yüzey akış verileri arasındaki ilişki



Şekil 4.43. C parseli olay bazlı yüzey akış verileri arasındaki tanımsal ilişki

Yüzey akışın gözlenen değerden yüksek çıkmasının diğer bir nedeni ise, ürün rotasyonudur. Kışlık buğday- tütün ve soya fasulyesi şeklinde ürün yetiştirme periyodu izlenmiştir. Toprak, yağışlı mevsimlerde yüzeyi çıplak bırakılmış ve buğday tohumları için kış mevsiminin sonunda sürülmüş ve arazi ekilmiştir. Bu yapılan işlemler arazi yüzeyini yüzey akış için uygun hale getirmiştir. Bu problem, ikinci ürün rotasyonunda artmaktadır. Buğday hasatından 2 ay sonra Haziranda, Eylül ayı için tekrar toprak işlenmekte ve yüzeyinde bitki örtüsü bulunmamaktadır. WEPP Hillslope model bu amenajman dosyasında yüzey akışı yüksek tahmin etmektedir.

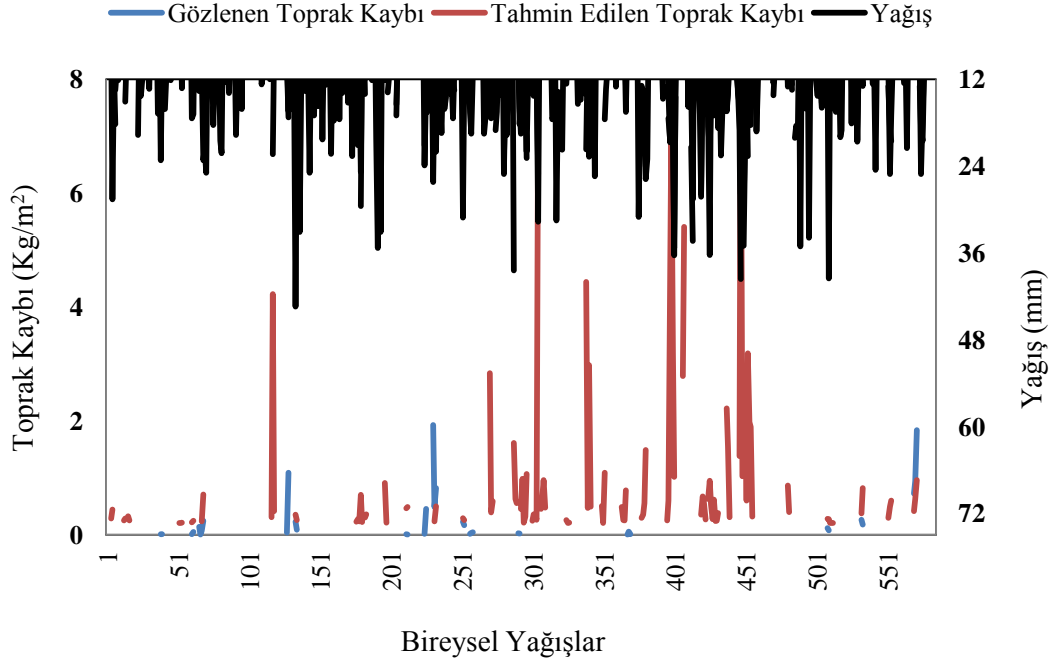
Wei ve ark. (2014), buğday ve bezelye yetişen bir tarım arazisinde yüzey akış ve toprak kayıplarının değerlendirmişlerdir. Özellikle buğday+deniz dikenli, buğday+ kontur sürüm, buğday+minimum toprak işleme, buğday+aşağı doğru ekim yüzey akış ve toprak kayıplarını azalttığını görmüşlerdir. Yine Jakab ve ark. (2013), olay bazlı yağışlarda toprak işlemenin yüzey akış ve toprak kaybı üzerine olan etkisini araştırmışlardır. Tohum yatağı hazırlama şartları altında olay bazlı yağışlarda; infiltrasyon oranı %36 azalırken, yüzey akış %5 ve toprak kaybı da %13 artmıştır.

Yüzey akış verilerinin istatistiksel özellikleri ortalama, standart sapma, basıklık, çarpıklık ve değişim katsayısı olarak değerlendirilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.32’de verilmiştir. Tahmin edilen veri ortalamadan uzakta yayılmışlarsa standart sapma büyük; ortalamaya daha yakın olarak dağılım göstermişlerse standart sapma küçük çıkmaktadır. Ayrıca, standart sapma ne kadar küçük ise modelin tahmin etmedeki başarısı o kadar yüksektir. Gözlenen ve tahmin edilen yüzey akış verilerinin standart sapması 3.28-3.27’dir. Değişim katsayısı oldukça yüksektir. Bu durum, yüzey akışın alana ve zamana bağlı olarak meydana gelen değişimden oldukça etkilendiğini göstermektedir. RMSE 33.47 ve E_{NS} 0.27 ve 0.20’dir. RMSE büyük ve E_{NS} ’nin küçük olması modelin etkinliğinin yüksek olmadığını göstermektedir.

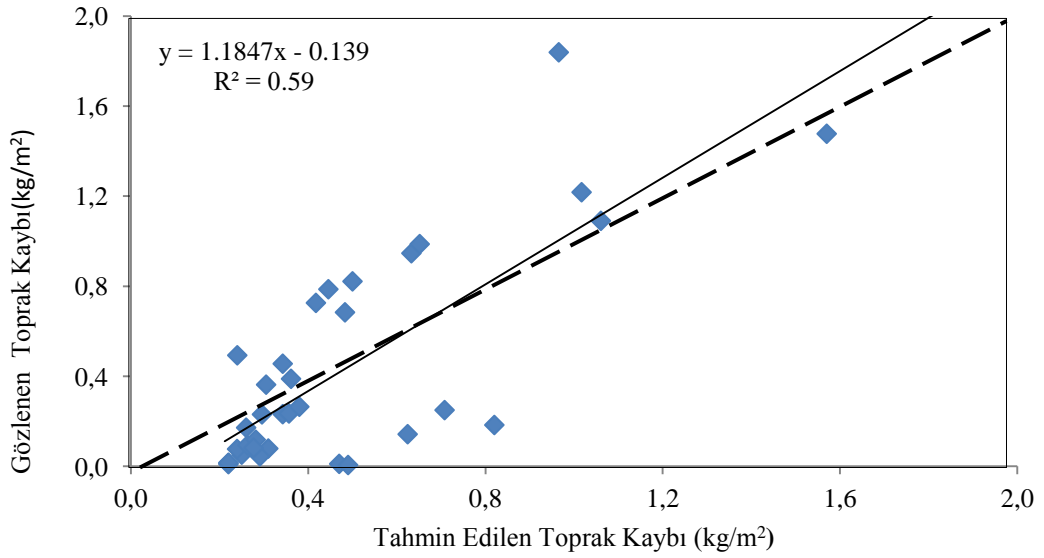
Çizelge 4.32. C parseli olay esaslı yüzey akış verileri tanıtıcı istatistikleri

| ÖZELLİKLER | Ort. | SS | Basıklık | Çarpıklık | DK | RMSE | E_{NS} | SE |
|-----------------------|-------------|-----------|-----------------|------------------|-----------|-------------|----------------------------|-----------|
| GÖZLENEN | 1.68 | 3.28 | 7.28 | 2.70 | 195.18 | | | |
| WEPP Hillslope | 2.80 | 3.27 | 3.43 | 1.84 | 116.98 | 33.47 | 0.27 | 0.32 |

C parseline ait olay esaslı toprak kaybı verileri karşılaştırılmış ve bulunan sonuçlar Çizelge 4.31’de verilmiştir. Gözlenen 78 olay ve toplamda 4.87 kg/m^2 toprak kaybı ve ortalama olarak 0.06 kg/m^2 iken tahmin edilen olay sayısı ise 14 ve toplam toprak kaybı 2.54 kg/m^2 ve ortalaması ise 0.18 kg/m^2 ‘dir. Toprak kaybı verileri arasındaki ilişki grafiksel olarak değerlendirilmiş ve Şekil 4.32’de verilmiştir. Gözlenen verilerin, sıfır ve sıfıra yakın, çok küçük değerler olduğu ve Modelin bu değerleri tahmin etmede başarılı olmadığı görülmektedir. . Model gözlenen değerlerin üzerinde tahmin etmiştir (Şekil 4.32). Benzer sonuçlar, son 20 yıl boyunca yapılan birçok çalışmada bulunmuştur. Licciordello ve ark. (2006), WEPP ve GeoWEPP kullanarak toprak kayıplarını karşılaştırdıkları çalışmada; WEPP modelin toprak kayıpları gözlenen değerlerin üzerinde tahmin ettiğini bulmuşlardır. Çalışmada kullanılan toprak kayıpları 0.001 ile 0.99 kg/m^2 arasında değişen değerlere sahiptir. Model bu değerleri üzerinde tahmin etmiştir. Aynı şekilde Liu ve ark. (1997), 3 farklı havzada yaptıkları çalışmada 0.004 ve 0.6 t/ha arasında değişen toprak kayıplarını yüksek tahmin etmiştir. Çalışmamızda kullanılan toprak kayıpları 0.00001 ile 0.74 kg/m^2 arasında değişmektedir. Toprak kaybı ile ilgili bulunan sonuçlar literatürlerde bulunan sonuçlar ile desteklenmektedir (Nearing, 1998, 2005; Tiwari ve ark., 2000; Santoro ve ark., 2002).



Şekil 4.44. C parseli olay esaslı toprak kaybı verileri arasındaki ilişki



Şekil 4.45. C parseli olay esaslı toprak kaybı verileri arasındaki tanımsal ilişki

Gözlenen ve tahmin edilen toprak kayıpları arasındaki tanımsal ilişki grafiksel olarak karşılaştırılmıştır (Şekil 4.43). $R^2:0.59$ olup, X ekseninde verilerin dağılması, modelin olay bazlı toprak kayıplarını tahmin etmedeki başarısızlığını göstermektedir. Veriler 1:1 hattının altında X eksenine yakın dağılmaktadır ki bu durum, modelin gözlenen değerden yüksek tahmin ettiğinin göstergesidir (Şekil 4.43). Zhang ve ark. (1996), 208 doğal yüzey akış olayına karşılık 1700 toprak kaybı verilerini analiz etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda, modelin toprak kayıplarını tahmin etmede oldukça başarısız olduğunu görmüşlerdir. Risse ve ark. (1993) ise, gözlenen ile tahmin edilen toprak kayıpları arasında %32-35 farklılık olabileceğini ifade etmişlerdir. Özellikle bireysel olaylar ile yıllık ortalamaları karşılaştırıldığında, bireysel olayları tahmin etmede oldukça başarısız olduğu görmüşlerdir.

Bu durum, gerçekte toprak erozyonunun çok kompleks bir olay olması ile açıklanabilir (Hüseyin ve ark., 2007). Bir yamaç arazisinde, toprak kayıpları gözlenen değerden yüksek tahmin ediyorsa, bu durum rill ve interrill süreçlerinin baskın olduğunu göstermektedir. Yamaç arazisinde rill, interrill ve gully erozyon çok sık görülen erozyon çeşididir (Dakhalla ve ark., 2016). Rill erozyon, yağmur damlalarının çarpma etkisiyle meydana gelen ayrışma ve yavaş yüzey akışla taşınması sonucu ortaya çıkan baskın bir süreçtir. Rill erozyon, WEPP Hillslope model gibi sürece dayalı modellerde, toprak kayıplarını tahmin etmede girilmesi gerekli önemli parametrelerden birisidir. Yüzey akışla meydana gelen ayrışmaya karşı toprağın gösterdiği dayanım gücünü ifade etmektedir. Rill erozyon toprak özellikleri, kök gelişimi ve toprak işleme ile yakından ilişkilidir (Parsons ve Stone, 2006; Dakhalla ve ark., 2016). WEPP modelde, rill erodibilite killi topraklarda daha düşük tahmin edilmektedir (Flanagan & Nearing, 1995). Schillinger ve Papendick (1997), kil içeriğinin rill erodibilite değerini azalttığını ifade etmiştir. Reichert (2013), üç farklı toprak üzerinde gelişen rill erozyonunun toprak kayıplarına olan etkisini WEPP model kullanarak araştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda, modelin toprak kayıplarını gözlenen değer altında tahmin ettiğini bulmuşlardır. Grace (2004), 24 orman arazisi yolu üzerinde meydana gelen toprak kayıplarını WEPP model kullanarak tahmin ettiği doktora tez çalışmasında, modelin toprak kayıplarını tüm alan için üzerinde tahmin ettiğini bulmuştur. WEPP model, özellikle killi tekstüre sahip tarım alanlarında rill erozyonu tahmin etmekte başarısız olduğu yapılan çalışmalarda bulunmuştur. Çünkü, bu olay çok karmaşıktır ve modelin

bu karmaşıklığı tam anlamıyla kavrayıp çözecek denklemleri bulunmamaktadır (Jetten ve ark., 2006). Toprak kayıpları şevin eğimi %0-10 arasında artarken, pek çok durumda %10'nun üzerinde ise azalmaktadır. WEPP model gibi hidrolojik modeller, şevin eğimine bağlı olarak yamaç arazisi üzerinde meydana gelen rill erozyonunu tam olarak algılayamadığından, toprak kayıplarını yüksek tahmin etmektedir. Özellikle toprak işlemeye bağlı olarak rill gelişimi olduğu düşünüldüğünde, tarım alanlarında bu durum daha ön plana çıkmaktadır (Maalim ve ark., 2013).

Toprak kayıplarının yüksek değişkenlik göstermesi, yağışlı mevsimlerin başlangıcındaki toprak su içeriği, toprak-yüzey şartları ve toprak özellikleriyle yakından ilişkilidir. Bu özelliklerin mevsimlere bağlı olarak az değişkenlik göstermesi, toprak kayıplarının tahminindeki hataları azaltmaktadır (Hüseyin ve ark., 2007). Bu yüzden WEPP model, yıllık ortalama toprak kayıplarını, olay bazlı toprak kayıplarına göre daha iyi simüle etmektedir (Siepel ve ark., 2002).

Toprak kayıplarını etkileyen toprak özellikleri tekstür, hacim ağırlığı, kohezyon, agregat stabilitesi ve organik madde içeriğidir (Simanton ve ark., 1991). Toprak organik maddesi, toprak kayıplarıyla çok yakından ilişkilidir (Le Bissonnais ve ark., 2007; Fattet ve ark., 2011). Şiddetli yağışlar sırasında, yağmur damlalarının sıçramasıyla toprak agregatları parçalanır ve aralarındaki bağ kopar. Bunun sonucunda taşınabilir partiküller ve mikro agregatlar meydana gelmektedir. Bu partiküller ve mikro agregatlar infiltrasyon, seal ve crust gelişimini dolayısıyla toprak kayıplarını yakından etkilemektedir (Martinez-Mena ve ark., 1999; Legout ve ark., 2005; Ferreira ve ark., 2015). Bu küçük partiküller, toprak yüzeyinde hidrolik iletkenliğin azalmasına neden olmaktadır. Bu noktalarda, yağışın şiddeti infiltrasyon şiddetine eşit oluncaya kadar yüzeyde göllenmeler meydana gelmektedir. Bunun sonucunda toprak kayıpları ortaya çıkmaktadır (Kim ve ark., 1996; Wang ve ark., 2015). Yu ve ark. (2005), iki tarım arazisinde bir noktada oluşan infiltrasyon ve toprak kayıpları arasındaki ilişkiyi WEPP model ile tahmin etmişlerdir. Çin'de yapılan çalışmada, bu ilişkinin yüzey toprağın özellikleri ve yağışa bağlı olarak değişiklik gösterdiğini bulmuşlardır. Toprak organik maddesi ile toprak kayıpları arasındaki ilişkisi, günümüzde birçok çalışmada değerlendirilmiştir (Polyakov and Lal, 2004; Li ve ark., 2006, 2007; Mabit and Bernard, 2009; Conforti ve ark., 2013). Toprak organik maddesi, toprak yüzeyinde yoğunlaştığı

için hacim ağırlığı düşüktür ve büyük gözenekli strüktür yapısı ile ilişkilendirilmektedir. Bundan dolayı, rüzgar ya da su ile kolayca taşınmaktadır (Lal ve ark., 2005). Organik madde içeriğinin azalması sonucunda, ortaya çıkan erozyonun şiddeti ve derinliği artmaktadır. Agregat stabilitesini azaltmakta, bunun sonucunda toprak yüzeyinde kabuk bağlama olayı görülmektedir (Mabit and Bernard, 2009). Ayrıca, su tutma kapasitesi, porozite ve kation değişim kapasitesini etkileyerek, yüzey akışın artmasına ve dolayısıyla daha fazla toprak kaybının oluşmasına neden olmaktadır (Ries and Hirt, 2008). Organik madde içeriği %2'den az olan arazilerde toprak kayıpları oldukça yüksek olmaktadır ve daha çok meyilli arazilerde bozulmaya yol açmaktadır (Fullen and Catt, 2004). Whang ve ark. (2015) çıplak arazi ve tarım yapılan alanlara kompost uygulaması yaparak meydana gelen erozyonu WEPP model ile tahmin etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda, çıplak arazide daha fazla toprak kayıpları meydana geldiği görülmüştür. C parseli için yapılan organik madde analizi sonuçları %0.99, %1.28 ve %2.20 olup; bulduğumuz bu değerler %2'den küçüktür. Toprak kayıplarının gözlenenden yüksek çıkması, literatürde açıklanan sonuçlar ile desteklenmektedir.

Kışlık buğday yetiştirilen alanlar, düşük yağış ve yüksek hava sıcaklığına sahip kurak ve yarı kurak alanlardır (Convertini ve ark., 1996; Wozniak ve ark, 2013). Kışlık buğdayın büyüme mevsimi boyunca, yağışın erositivitesi düşüktür. Erosiv yağışlar, kurak ve yarı kurak bölgelerde mayıs, ağustos ve ekim aylarında olmaktadır. Soya fasulyesi için, arazi ekim ayında işlenmekte ve ürün temmuzda hasat edilmektedir. Tütün ise, mayıs başlarında ekilmekte ve temmuz başlarında hasat edilmektedir. Kışlık buğday için, yağışın bol olduğu dönemde toprak işlenmektedir ve bu durum toprak kayıplarını hızlandırmaktadır. Soya fasulyesinin büyüme mevsiminin kısmen başlarında erosiv yağışlar oluşmakta ve toprak yüzeyinde aralıklı olduğu için ciddi toprak kayıpları meydana gelmektedir (Zhang ve ark., 2001; Qian ve ark., 2015). Buna karşılık tütün, yoğun yağışların olduğu dönemde büyüme döneminde olduğundan toprak yüzeyini daha fazla örttüğünden hem kışlık buğdaydan hem de soya fasulyesinden daha az toprak kaybı oluşmasına neden olmaktadır. Wischmeier and Smith (1978), buğday-nadas-mısır-mısır ürün rotasyonunu kullanarak yaptığı çalışmada oluşan toprak kayıplarını değerlendirmişler ve azaldığını bulmuşlardır.

Toprak kayıpları arasındaki ilişki istatistiksel olarak değerlendirilmiştir (Çizelge 4.33). Gözlenen ve tahmin edilen toprak kayıplarının standart sapması 0.21 ve 0.22; değişim katsayısı 166.11 ve 137.32; çarpıklık ise 2.17 ve 2.63'tir. Standart sapmanın yüksek olması verilerin homojen dağılmadığını göstermektedir (Çizelge 4.33). Değişim katsayısının oldukça yüksek olması, toprak özelliklerindeki değişimin yüksek olduğunu ifade etmektedir. Bu durum yağış şiddeti ve toprak işleme ile yakından ilişkilidir.

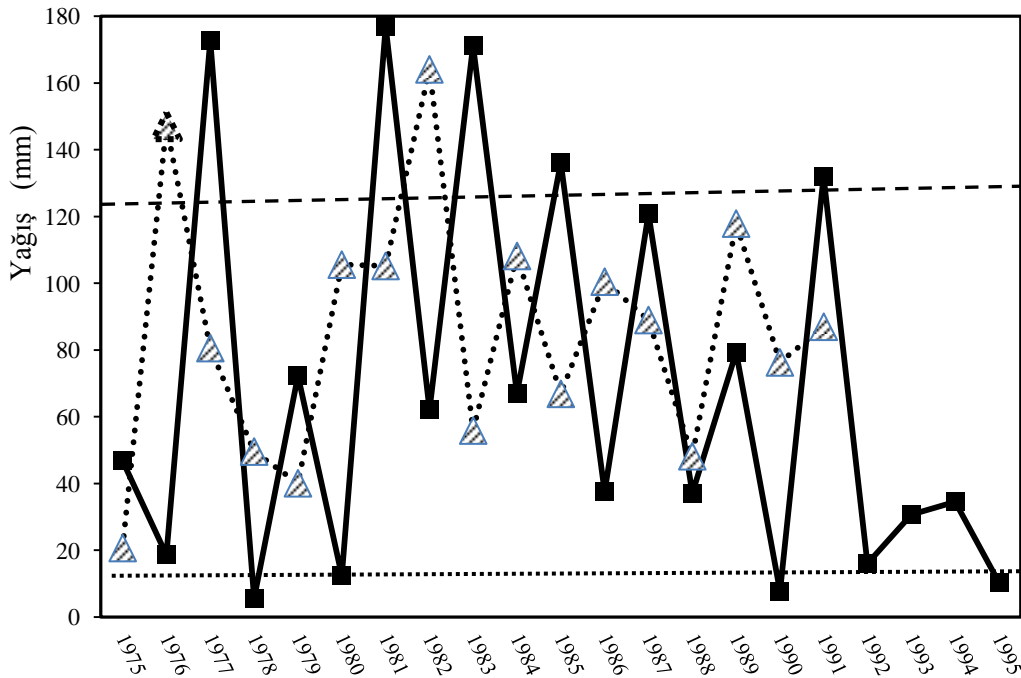
Çizelge 4.33. C parseli olay esaslı toprak kaybı verileri tanıtıcı istatistikleri

| ÖZELLİKLER | Ort. | SS | Basıklık | Çarpıklık | DK | RMSE | E_{NS} | SE |
|-----------------------|-------------|-----------|-----------------|------------------|-----------|-------------|-----------------------|-----------|
| GÖZLENEN | 0.12 | 0.21 | 3.60 | 2.17 | 166.11 | | | |
| WEPP Hillslope | 0.16 | 0.22 | 7.71 | 2.63 | 137.32 | 0.21 | 0.08 | 0.03 |

RMSE değerleri 0.21, E_{NS} değeri 0.08 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.33). RMSE değeri, sıfır olduğunda modelin etkinliğinin mükemmel olduğu söylenmektedir. RMSE bu değerden yüksek çıkmasının nedeni, 21 yıllık süre içinde toprak işlemeye bağlı olarak, aşınmış toprak materyali kolay bir şekilde yamaç boyunca taşınması ve WEPP modelin bu süre içinde meydana gelen gerçek toprak kayıplarını doğru bir şekilde hesaplayamamasıdır (Grace ve ark., 2004). Yine E_{NS} değerinin düşük çıkmasına toprak işleme ve yetiştirilen ürün rotasyonu da neden olmaktadır. Çünkü yetiştirilen ürünlerin kök yatağı hazırlama süreci modele doğru bir şekilde tanıtılamamaktadır. SE değeri oldukça düşük çıkmıştır. RMSE ve SE değerinin, sıfıra yakın çıkması modelin olay esaslı toprak kayıplarını değerlendirmedeki etkinliğinin orta düzeyde olduğu düşünülmektedir.

4.2.3.2. Yıllık Simülasyon Sonuçları

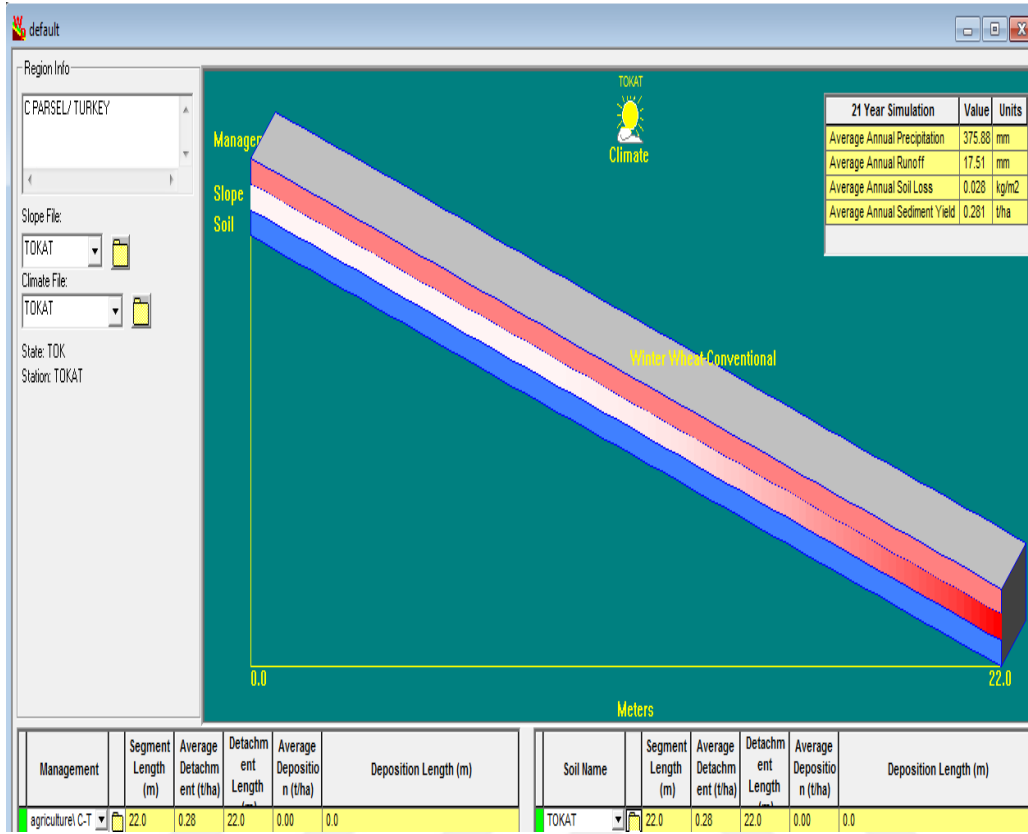
C parseli için gözlenen günlük erosiv yağışların dağılımının çok değişken olduğu, bir önceki bölümde olay bazlı sonuçların değerlendirilmesinde görülmüştür. Benzer sonuçlar, yıllık toplam erosiv yağışların dağılımı içinde geçerlidir. Bu yağışların 21 yıllık süre içinde 5.6 ile 176.9 1 mm arasında değişen değer aralığında dağılmaktadır. Model ise, bu yağışları 20.7 ile 164.1 mm arasında tahmin etmiştir. Gözlenen ve tahmin edilen erosiv yağışlar sırasıyla 66.72 ve 69.67 mm'dir (Çizelge 4.34). Erosiv yağış ortalamaları, oldukça yakın değerdir. Model, erosiv yağış gözlenen bazı yıllar için yağış tahmininde bulunmamıştır. Çalışma aralığı olan 1975-1995 yılları arasındaki erosiv yağışlara göre, ıslak ve kuru yıllar belirlenmiştir. Aralarındaki ilişki grafiksel olarak gösterilmiştir (Şekil 4.46). Kurak yıllarında görülen erosiv yağışları tahmin etmede çok başarılı değildir. Özellikle normal yıllar için model oldukça başarılı tahminler yapmaktadır (Şekil 4.46). Ancak, ıslak yıllarda yağış miktarının artmasına bağlı olarak, model gözlenen değerden daha düşük tahminlerde bulunmaktadır. Bu durum özellikle Haziran ayında görülmektedir. Benzer sonuçlar Zhang and Garbrech (2003) ve Kou ve ark., (2007) Lobo ve ark., 2015 tarafından da bulunmuştur.



Şekil 4.46. C parseli erosiv yağışlara göre ıslak, normal ve kuru yıllar

WEPP Hillslope ile tahmin edilen model çıktısı Şekil 4.47’te görülmektedir. Erosiv yağışlara bağlı olarak meydana gelen yüzey akış arasındaki ilişki karşılaştırılmış ve sonuçlar hem Çizelge 4.34’da hem de Şekil 4.48’de verilmiştir. Gözlenen ve tahmin edilen veriler sırasıyla 8.67 ile 17.51 mm’dir. Model, 8.41 mm gözlenen değerden yüksek tahmin etmiştir. Tahmin edilen yüzey akış verileri 4 ile 43.10 mm arasında değişmektedir. Bu durum, çalışma alanı olarak seçilen C parselinin önceden çok fazla yüzey akış ve toprak kayıplarına maruz kaldığını göstermektedir. Model K parselinde olduğu gibi yüksek yüzey akış verilerini düşük ve düşük verileri ise yüksek tahmin etmekte ve model 5 mm’den küçük yağışları düşük tahmin etmektedir (Şekil 4.48). Yüzey akış, yağışın şiddetli olduğu zamanlarda meydana gelmektedir. Model, 1993 yılında 117.90 mm yağışa karşılık 43.10mm ile en yüksek yüzey akışı tahmin etmiştir. 1985 yılında ise; 164.10 mm en yüksek erosiv yağışa karşılık 22.70 mm ve 1979 yılında ise 49.60 mm yağışa 4mm ile 21 yılın en düşük yüzey akışını tahmin etmiştir. Model 1978 ve 1995 yıllarındaki çok küçük yüzey akış için çok yüksek değer tahmininde bulunmuştur (Şekil 4.48).

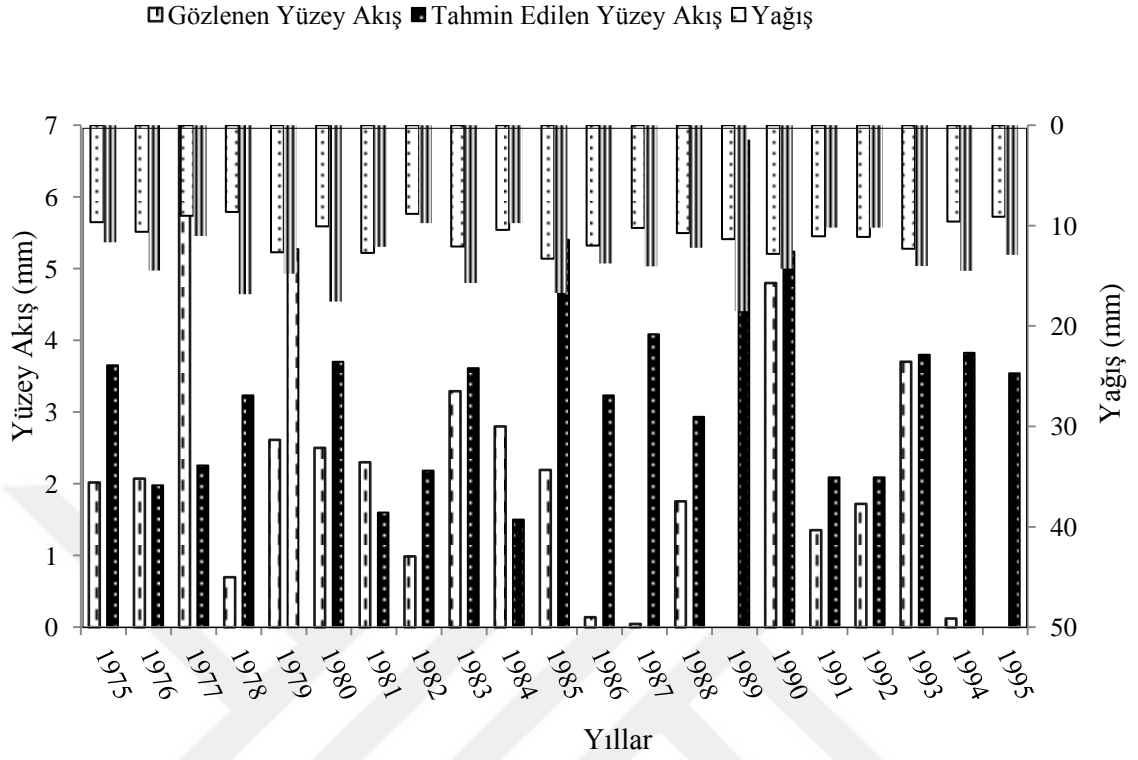
Gözlenen ve simüle edilen 21 yıllık ortalama yüzey akış verileri arasındaki regresyon ilişkisi grafiksel olarak sunulmuştur (Şekil 4.49). $R^2= 0.51$. Şekil 4.49’da verilerin 1:1 hattının altında dağılması, modelin gözlenen değer üzerinde tahmin ettiğini göstermektedir. Gözlenen verilerin, her yıl oldukça değişkenlik gösterdiği ve bu durumun model tarafından algılanamadığı yüzey akış verilerinin dağılımından da görülmektedir (Şekil 4.49). Yu (2000), 42 farklı istasyondan aldığı break-point verileri kullanarak yüzey akışı tahmin etmiştir. Modelin kalibre edilmeden önce 41 veriyi hatalı tahmin ettiği, kalibre ettikten sonra gözlenen değer %2 altında tahmin ederek performansının yükseldiğini bulmuştur. Kumar ve ark. (2004), 7 alt birime ayırdığı pirinç ve mısır ekili küçük bir havzada WEPP model kullanarak meydana gelen yüzey akışı tahmin etmişlerdir. Validasyonda, gözlenen ve tahmin edilen yüzey akış verileri arasındaki ilişki $R^2=0.25$ olup, kalibrasyonda $R^2=0.69$ olarak belirlenmiştir. Modelin kalibre edildikten sonra performansının yükseldiği ve gözlenen değer altında tahmin ettiği çalışmanın sonucudur.



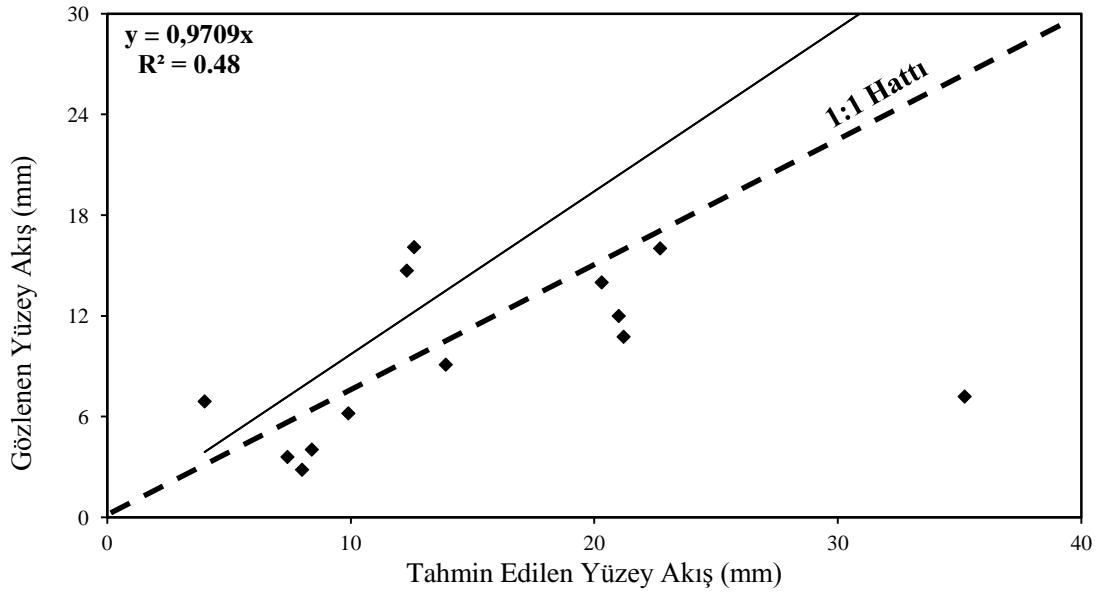
Şekil 4.47. C parseli model çıktısı

Çizelge 4.34. C parseli yıllık yağış, yüzey akış ve toprak kaybı verileri

| TARİH | GÖZLENEN | | | TAHMİN EDİLEN | | |
|-------|----------|------------|--------------|---------------|------------|--------------|
| | Yağış | Yüzey Akış | Toprak Kaybı | Yağış | Yüzey Akış | Toprak Kaybı |
| 1975 | 46.80 | 0.1324 | 4.04 | 20.70 | 0.00 | 8.40 |
| 1976 | 18.62 | 0.072 | 1.48 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1977 | 172.80 | 0.076 | 65.33 | 147.20 | 0.12 | 34.20 |
| 1978 | 5.60 | 0.0001 | 0.14 | 80.60 | 0.00 | 20.30 |
| 1979 | 72.30 | 1.51238 | 16.91 | 49.60 | 0.00 | 4.00 |
| 1980 | 12.40 | 0.0002 | 0.36 | 40.10 | 0.00 | 7.40 |
| 1981 | 176.91 | 0.0082 | 3.46 | 105.60 | 0.31 | 24.30 |
| 1982 | 62.08 | 0.0018 | 1.21 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1983 | 171.20 | 2.2359 | 46.24 | 105.20 | 0.00 | 39.20 |
| 1984 | 66.90 | 0.0078 | 2.54 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1985 | 136.20 | 0.2763 | 16.03 | 164.10 | 0.01 | 22.70 |
| 1986 | 37.50 | 0.021 | 0.91 | 55.90 | 0.09 | 13.90 |
| 1987 | 120.80 | 0.000195 | 0.72 | 108.20 | 1.06 | 35.20 |
| 1988 | 37.10 | 0.08042 | 1.61 | 66.90 | 0.00 | 12.60 |
| 1989 | 79.30 | 0.10618 | 10.76 | 100.50 | 0.08 | 21.20 |
| 1990 | 7.70 | 0 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1991 | 132.10 | 0.11645 | 2.84 | 89.00 | 0.00 | 8.00 |
| 1992 | 16.00 | 0.00114 | 0.62 | 48.20 | 0.11 | 9.90 |
| 1993 | 30.70 | 0.20095 | 9.02 | 117.90 | 0.57 | 43.10 |
| 1994 | 34.50 | 0.02239 | 1.47 | 76.30 | 0.00 | 12.30 |
| 1995 | 10.40 | 0 | 0.12 | 87.00 | 0.19 | 21.00 |



Şekil 4.48. C parseli yıllık ortalama yağış ve yüzey akış verileri arasındaki ilişki



Şekil 4.49. C parseli yıllık ortalama yüzey akış verileri arasındaki tanımsal ilişki

WEPP Hillslope model yüzey akışı yağış, infiltrasyon ve gerilme depolarına bağlı olarak tahmin etmektedir. Green-Ampt Mein-Larson denklemini (Chu, 1978) kullanarak, verilen bir yağış şiddeti ve süresine bağlı olarak infiltrasyonu hesaplamaktadır. Aşırı yağışlar, toprağı doygun hale getirdiğinde ve gerilme depoları dolmaya hazır duruma ayarlandıktan sonra zamana bağlı olarak yağışları yüzey akışa dönüştürmektedir (Jon van Lier ve ark., 2005). Maksimum gerilme depoları ve infiltrasyon oranı toprağın özelliklerine amenajman uygulamalarına bağlı olarak değişmektedir. WEPP Hillslope model yüzey akışı, yamacın tepesinden topuğa kadar olan tüm uzunluğu dikkate alarak hesaplamaktadır. Yamaç üzerindeki herhangi bir noktada yüzey akış hesaplarken bu uzunluk dikkate alınmaktadır. Bu durum modelin yüzey akışı tahmin etmesinde hatalara yol açmaktadır. Çünkü yamacın eğimi yüzey akışı etkileyen çok önemli bir faktördür. Ayrıca, yağışların yamaç üzerinde üniform dağılmasını sağlayarak arazinin nem içeriğini kontrol etmektedir (Western and Blösch, 1999; Wei ve ark., 2010). Zhang ve ark. (2015), WEPP model kullanarak, yamacın eğimine ve arazi kullanım türüne bağlı olarak meydana gelen yüzey akış ve toprak kaybı verilerini karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda, yüksek eğime sahip tarım arazilerinde modelin yıllık yüzey akışı yüksek tahmin ettiği ve toprak kayıplarını tahmin etmede daha başarılı olduğu görülmüştür. Yine, Lal ve ark. (2015), aynı arazi kullanımı ve toprak özelliklerine sahip yamaç arazisinde eğimi %1-5 arasında değişen alanlarda yüzey akışı WEPP model kullanarak değerlendirmişleridir. Yamaç arazisinde şeker pancarı-mısır-çay yetiştirilmektedir. Çalışmanın sonucunda eğimin artmasına bağlı olarak yüzey akışın arttığı ifade etmişlerdir.

Modelin yüzey akışı yüksek tahmin etmesinin birçok nedeni bulunmaktadır. Toprağın ilk zamanlarda, toprak su içeriğinin fazla olduğunda şiddetli yağışların başlamasıyla birlikte sıçrama erozyonu baskın olmaktadır. Toprak yüzeyinde sealing ve crust adı verilen özellikler ortaya çıkmaktadır. Sealing yüzey akış ve toprak kayıplarını oldukça yakından etkilemektedir. Yağmur damlalarının etkisinden dolayı toprak yüzeyi sıkışmakta, gözenekler kapanmakta bunun sonucu olarak infiltrasyon azalmaktadır ve kil partikülleri yüzeyde birikmeye başlamaktadır (Zejun ve ark., 2002). C parselindeki topraklar killi tınlı tekstüre sahip olduğundan dolayı şiddetli yağışlardan oldukça etkilenmektedir. WEPP Hillslope model sealing ve crust oluşumlarını tam olarak kavrayamamaktadır. Bundan dolayı, şiddetli yağışlar süresince meydana gelen yüzey

akışın şiddeti zamanla artmaktadır. Yüzey akış, yamacın tepesinden topuğa inildikçe yetiştirilen ürün çeşidine bağlı olarak da artmakta veya azalmaktadır. (Zhao ve ark., 2014). C parselinde önce kışlık buğday ekilmiş daha sonra soya fasulyesi ve tütün olarak devam edilmiştir. Kışlık buğday, şevin eğimine duyarlı bir bitkidir. Çünkü toprağın doymun olduğu zamanlar bu ürün çeşidinin ekim ve hasat dönemine denk gelmekte ki bu durum yüzey akışın hızlanmasına neden olmaktadır. Diğer ürün çeşitlerinde ise, büyüme mevsimleri toprağın su içeriğinin farklı dönemlerine denk geldiğinden yüzey akışın azalmasını sağlamaktadır. Jiang and Huang (1984), yüzey akışın eğime bağlı olarak değişmesini incelemişlerdir. Buğday-alfafa-mera arazisi olmak üzere üç farklı arazide eğimin değişmesiyle meydana gelen yüzey akışı test etmişler ve kışlık buğdayın şevin eğimine karşı daha duyarlı olduğunu görmüşlerdir.

Yüzey akış verilerinin istatistiksel özellikleri Çizelge 4.35’de verilmiştir. Gözlenen ve tahmin edilen ortalama değerleri 15.62 ve 18.41 mm ile standart sapma ise 16.71 ve 10.76 arasındadır. Basıklık 4.14 ile -0.60 ve çarpıklık ise 2.10 ve 0.64’dır. Tahmin edilen veriler sivri olmayıp basık dağılım gösterirken gözlenen veriler sivri ve çarpık dağılım göstermektedir. RMSE değeri 16.28, E_{NS} ve SE değeri ise 1.63’dür (Çizelge 4.35). RMSE ve SE değerinin çok yüksek ve E_{NS} değerinin düşük olması modelin yıllık ortalama yüzey akışı tahmin etmede başarılı olmadığını göstermektedir. Modelin, Tokat ili iklim şartlarında bitki örtüsü bulunan tarım arazisinde yüzey akışı tahmin etmedeki başarısı yüksek değildir.

Çizelge 4.35. C parseli yıllık ortalama yüzey akış verileri tanıtıcı istatistikleri

| ÖZELLİKLER | Ort. | SS | Basıklık | Çarpıklık | DK | RMSE | E_{NS} | SE |
|-----------------------|-------|-------|----------|-----------|--------|-------|----------|------|
| GÖZLENEN | 15.62 | 16.71 | 4.17 | 2.10 | 106.93 | | | |
| WEPP Hillslope | 18.41 | 10.76 | -0.60 | 0.64 | 58.43 | 16.28 | | 1.63 |

C parseli, 21 yıllık toprak kaybı verileri karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.34). Model, toprak kaybı verilerini kg/m^2 olarak tahmin etmektedir. Gözlenen toprak kayıpları $0.22 kg/m^2$ ve tahmin edilen ise $0.03 kg/m^2$ olup, model $10 kg/m^2$ gözlenen değerinin altında tahmin

etmiştir 1975 yılında model hiç toprak kaybı tahmininde bulunmamıştır. Gözlenen değerlere göre belirlenen ıslak yıllardan olan 1977 yılı için model, 0.12 kg/m^2 toprak kaybı tahmin etmiştir. 1981 ve 1983 yıllarında görülen toplam erosiv yağış 105.20mm olup, modelin bu yıllar için tahmin ettiği toprak kaybı değerleri çok farklıdır. 1981 yılında 0.01 kg/m^2 , 1983 yılında ise hiç tahminde bulunmamıştır. En fazla toprak kaybı ise, normal yıl olarak değerlendirilen 1987 yılında 1.06 kg/m^2 'dir (Çizelge 4.34). Model 0.5 kg/m^2 'den küçük toprak kayıplarını yüksek tahmin ederken; 1 kg/m^2 'den büyük toprak kayıplarını ise daha düşük tahmin etmektedir. Tahmin edilen bu değerler, gözlenen değerlerden yüksektir (Şekil 4.50). Bu yıllarda meydana gelen toprak kayıpları, yağışlara bağlı olarak yamaç arazisinde meydana gelen değişiklikleri modelin farklı algılaması sonucu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, WEPP Hillslope model farklı amenajman uygulamalarını tam olarak kavrayamamaktadır (Dun ve ark., 2009). Pieri ve ark. (2014), İtalya'da Apennis dağlarında ekili arazilerde, eğim boyunca toprak işlemeye bağlı olarak meydana gelen toprak kayıplarını WEPP model kullanarak simüle etmişlerdir. 8 yıllık zaman aralığının kullanıldığı çalışma sonucunda modelin toprak kayıplarını gözlenen değerlerin altında tahmin ettiği bulunmuştur. Fashi ve ark. (2015), WEPP model kullanarak tarım arazisi üzerinde toprak kayıplarını değerlendirmiş ve toprak kayıplarını gözlenen değerlerin üzerinde tahmin edildiği çalışmanın sonucunda görülmüştür. Ayrıca, modelin toprak özelliklerine karşı oldukça duyarlı olduğu çalışmanın diğer bir sonucudur.

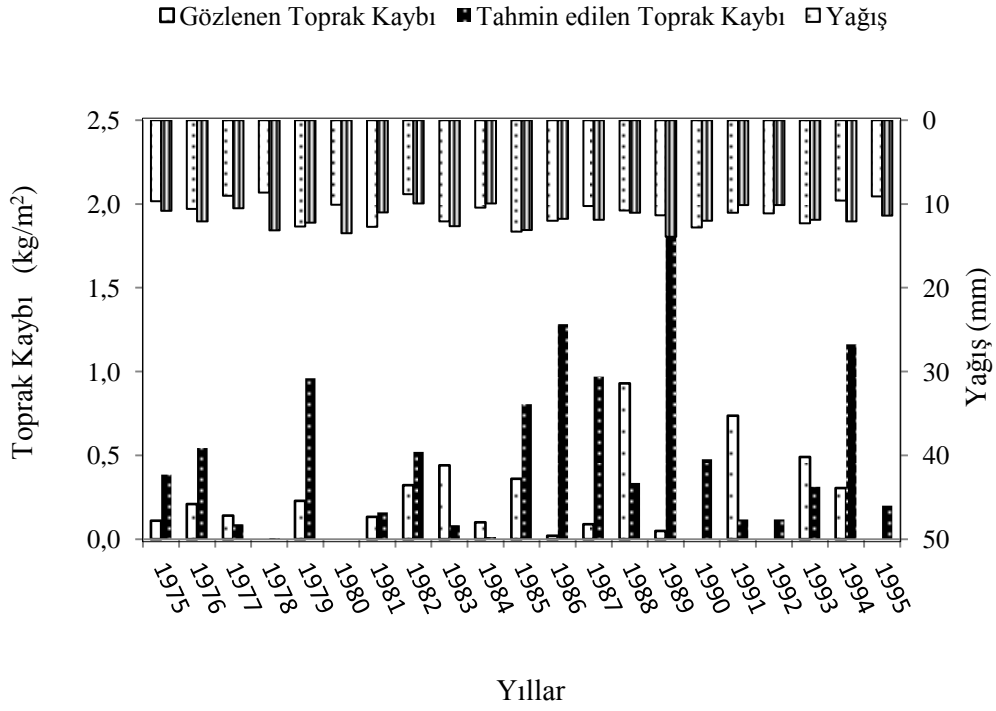
Gözlenen ve tahmin edilen yıllık ortalama toprak kaybı verilerine ait regresyon ilişkisi grafiksel olarak verilmiştir (Şekil 4.51). $R^2=0.69$ olarak belirlenmiştir. Veriler, 1:1 hattı etrafında daha üniform dağılım göstermektedir. Bu durum modelin yıllık ortalama toprak kayıplarını gözlenen değerlere yakın tahmin ettiğini ifade etmektedir (Şekil 4.51). Yıllık ortalamalara göre meydana gelen toprak kayıpları yamacın konumu, bitki örtüsü ve toprak özellikleri ile yakından ilişkilidir. Bu parametreler toprağın erosiv davranışına yön vermektedir (Morgan, 1986; Mohamadi ve Kavian, 2015). Bu özellikler oldukça komplekstir ve birbirini yakından etkilemektedir. WEPP Hillslope model toprak kayıplarını tahmin ederken gözlenen verileri dikkate almaktadır. Söz konusu bu faktörlerde zaman içerisinde meydana gelen değişikliklerden oldukça etkilenmektedir (Gomez ve ark., 2014). Toprak kayıpları arasında yüksek değişkenlik hem gözlem sırasında hem de model tahmin ederken meydana gelmektedir (Boix-Fayos ve ark.,

2006). Bir yamaç ya da havzada ait yağış karakteristikleri, gözlenen değer üzerinde en büyük etkiye sahiptir (Ran, Su, Li ve He, 2012). Yağış karakteristiklerinden olan yağış intensitesi, çok önemli bir faktördür. Yüksek şiddetteki yağmur damlalarının çarpması sonucu toprak partikülleri ayrışmaktadır (Van ve ark., 2000). Bu yağışlar sonucu infiltrasyon oranı yüzey akışı aşar ve süspansiyon halinde taşınan sediment yükü artmaktadır (Rose, 1993). Aynı yağış şiddetine sahip yağışların toprak yüzeyindeki etkisi farklı olmaktadır. Çünkü, bu söz konusu yağışlar yamacın topoğrafik özelliklerine bağlı olarak alana üniform dağılmazlar (Parsons, Stone, 2006). Parsons ve Stone (2006), üç farklı özellikte arazide yağışın etkisini değerlendirdikleri çalışma sonucunda, yağışların %75'ine bağlı olarak meydana gelen toprak kayıplarının oldukça değişkenlik gösterdiğini bulmuşlardır.

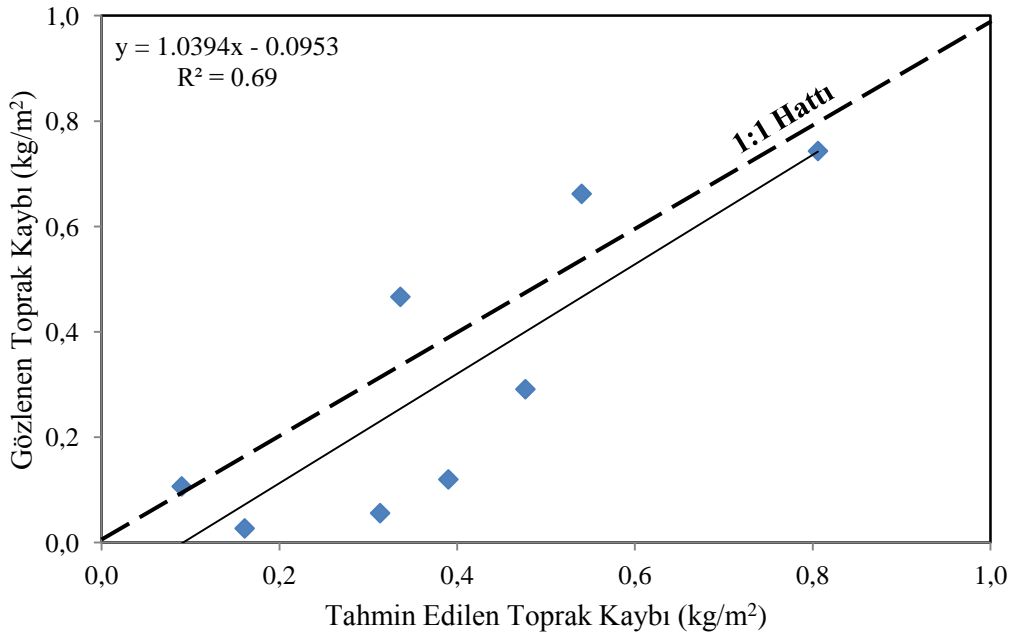
Toprak işleme ve ürün rotasyonu toprak kayıpları üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Geleneksel toprak işleme, şevin üst bölgelerinden aşağılara toprak materyalinin taşınmasında ve toprak özelliklerinin değişmesinde önemli rol oynamaktadır (Wang ve ark., 2015). Bu özellikler toprak strüktürü, porozite, gözenek-büyüklik dağılımı, su tutma kapasitesi ve permeabilite, partikül büyüklük dağılımı gibi toprağın fiziksel özellikleri ile yakından ilişkilidir (Nacinovic ve ark., 2015). Geleneksel toprak işleme, yamaç arazisinin en üst bölgesinde yer alan toprağın ezilmesine ve ufalanmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda toprak kalınlığı azalmakta ve geriye sadece ekili yüzey tabaka kalmaktadır. Bu durum toprak erozyonunu hızlandırmaktadır (Filho ve ark., 2010). Bu tabakalarda sadece küçük yağışlar tutulmaktadır. Moalim ve ark. (2013), tarım, orman ve mera arazisinde geleneksel toprak işleme ve işlemez iki sürüm sonucu meydana gelen toprak kayıplarını WEPP model kullanarak değerlendirmişlerdir. Yıllık ortalama toprak kayıpları 2.72 t/ha olarak geleneksel toprak işleme ile ürün yetiştirilen tarım arazisinde tahmin edilmiştir. Moulborad pulluk ile toprak işleme en fazla toprak kayıplarına neden olan yöntemdir. Bu dezavantajına rağmen tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır (Cox, 1990; Van Muysen ve ark., 2002). Singh ve ark. (2011), moulborad pulluk ile çeltik arazilerinin hazırlanması sırasında meydana gelen toprak kayıplarını WEPP model kullanarak tahmin etmişlerdir. Bu sonucu diğer geleneksel toprak işleme yöntemleri ile karşılaştırmışlar ve en fazla toprak kaybının %21.15 ile çeltik alanlarında meydana geldiğini bulmuşlardır.

Kurak ve yarı kurak bölgelerde kış mevsimi için kışlık buğday ve yaz mevsiminde ise soya fasulyesi tercih edilmektedir. Kışlık buğday, yamaç arazisinde depolanan su miktarına bağlı olarak yetişen bir bitki çeşididir. Topraktaki su içeriğini azaltmaktadır. Bundan dolayı kışlık buğdayın sürüm ve büyüme süreci toprak erozyonunu hızlandırmaktadır. Soya fasulyesi ve tütün ekim zamanı ise haziran ayının son haftasıdır. Bu ürünlerin yetişme döneminde yağışların pik yaptığı dönem olup, bitkiler tarafından arazinin yüzeyi örtülmektedir. Bu durum toprak kayıplarının azalmasına neden olmaktadır.





Şekil 4.50. C parseli yıllık ortalama toprak kayıpları arasındaki ilişki



Şekil 4.51. C parseli yıllık ortalama toprak kayıpları arasındaki tanımsal ilişki

Gözlenen ve tahmin edilen yıllık ortalama toprak kayıpları istatistiksel olarak değerlendirilmiştir (Çizelge 4.36). Toprak kaybı verilerinde, toprak özellikleri ve yıl içindeki yağışın değişimine bağlı olarak yüksek standart sapma ve değişim katsayısı görülmektedir. Basıklık ve çarpıklık değerleri gözlenen ve tahmin edilen değerleri için 6.98 ile 3.45 ve 2.75 ile 1.90 olup, sıfırdan uzaklaşan değerler aldığından çarpık dağılım göstermektedir (Çizelge 4.36). RMSE değeri 0.65 ve SE 0.04, E_{NS} değerinin 1 olması modelin tahmin etmedeki etkinliğinin arttığını ifade etmektedir. Model, yıllık ortalama toprak kayıplarını olay esaslı toprak kayıplarına göre daha iyi tahmin etmiştir.

Çizelge 4.36. C parseli yıllık ortalama toprak kaybı verileri tanıtıcı istatistikleri

| ÖZELLİKLER | Ort. | SS | Basıklık | Çarpıklık | DK | RMSE | E_{NS} | SE |
|-----------------------|------|------|----------|-----------|--------|------|----------|------|
| GÖZLENEN | 0.29 | 0.61 | 6.98 | 2.75 | 211.55 | 0.65 | 1 | 0.04 |
| WEPP Hillslope | 0.28 | 0.34 | 3.45 | 1.90 | 119.17 | | | |

4.2.3.3. Duyarlılık (Sensitivite) Analizi

K ve P parsellerinde olduğu gibi, C parselinde de model toprak tekstüründen oldukça yakından etkilenmektedir. Toprağın kil içeriğinin hem azalması hem de artması toprak kayıplarını artırıcı etki yapmaktadır (Çizelge 4.37). kum içeriği ise, yüzey akışı çok yakından etkilemektedir. Hidrolik iletkenlik, hem toprak kayıplarını hem de yüzey akışı artıran bir toprak özelliği olarak Çizelge 4.37’de görülmektedir. C parselinde, rill miktarının artması toprak kayıpları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

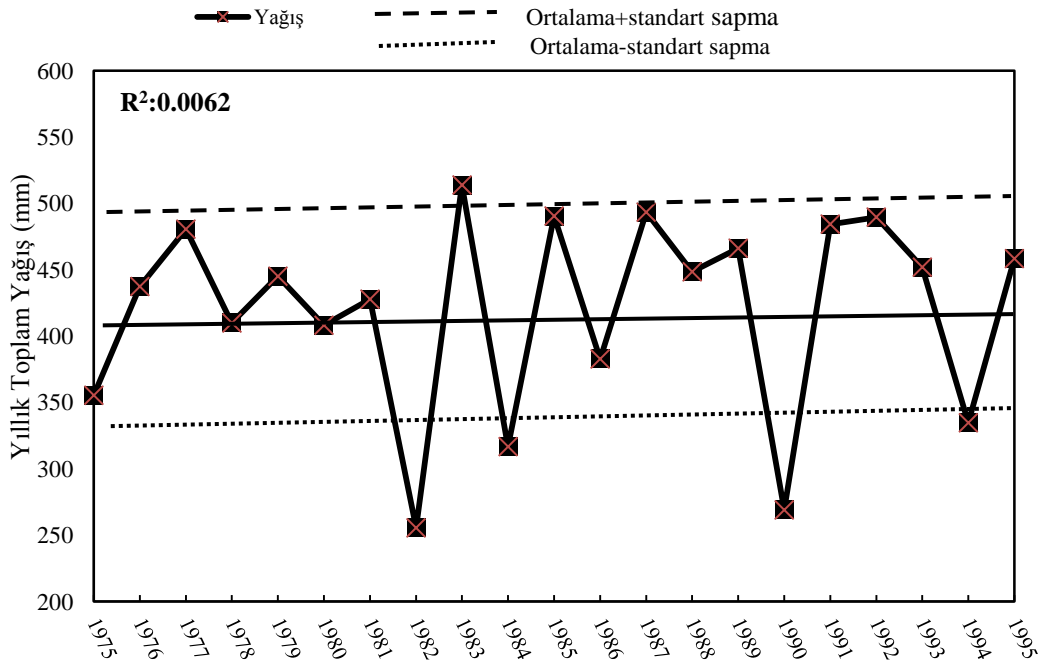
Çizelge 4.37. C Parseli duyarlılık analiz sonuçları

| Toprak Özellikleri | | -100 | -75 | -50 | -25 | 25 | 50 | 75 | 100 |
|---------------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Kil (%) | YA | 10.05 | 2.09 | 4.51 | 7.91 | 12.19 | 12.58 | 12.41 | 12.11 |
| | TK | 0.57 | 0.33 | 0.49 | 0.59 | 0.48 | 0.54 | 0.72 | 1.45 |
| Kum (%) | YA | 8.58 | 0.94 | 2.54 | 6.13 | 16.89 | 26.03 | 38.87 | 54.70 |
| | TK | 0.49 | 0.09 | 0.20 | 0.39 | 0.68 | 0.81 | 0.93 | 0.98 |
| Organik Madde (%) | YA | 6.62 | 6.95 | 6.96 | 6.60 | 6.70 | 6.79 | 6.93 | 7.03 |
| | TK | 0.22 | 0.28 | 0.20 | 0.22 | 0.21 | 0.20 | 0.20 | 0.19 |
| Kation Değişim Kapasitesi | YA | 6.74 | 7.95 | 7.37 | 6.92 | 6.59 | 6.75 | 6.65 | 6.37 |
| | TK | 0.22 | 0.27 | 0.24 | 0.22 | 0.21 | 0.22 | 0.22 | 0.22 |
| Rill | YA | 6.37 | 6.37 | 6.37 | 6.37 | 6.37 | 6.37 | 6.37 | 6.37 |
| | TK | 0.42 | 0.42 | 0.42 | 0.42 | 0.42 | 0.42 | 0.42 | 0.42 |
| İnterrill | YA | 6.37 | 6.37 | 6.37 | 6.37 | 6.37 | 6.37 | 6.37 | 6.37 |
| | TK | 0.19 | 0.05 | 0.10 | 0.16 | 0.26 | 0.32 | 0.37 | 0.42 |
| Hidrolik İletkenlik | YA | 7.42 | 24.48 | 13.80 | 9.25 | 4.53 | 3.19 | 2.31 | 1.68 |
| | TK | 0.47 | 1.21 | 0.81 | 0.57 | 0.30 | 0.22 | 0.17 | 0.13 |
| Şevin Uzunluğu | YA | 10.73 | 10.75 | 10.75 | 10.74 | 10.72 | 10.71 | 10.70 | 10.64 |
| | TK | 0.51 | 0.48 | 0.49 | 0.50 | 0.55 | 0.58 | 0.61 | 0.61 |
| Şev Eğimi (%) | YA | 6.28 | 4.17 | 4.91 | 5.73 | 7.70 | 9.20 | 10.73 | 11.36 |
| | TK | 0.19 | 0.01 | 0.13 | 0.16 | 0.29 | 0.40 | 0.53 | 0.64 |

4.3. Islak Kuru Yıllara Göre Toprak Kaybı ve Yüzey Akışın Değerlendirilmesi

Toprak su koruma çalışmalarında, göz önünde bulundurulması gerekli en önemli faktörlerden biriside yıllık yağış miktarının önceden tahmin edilmesidir. Ancak yağışların çok düzensiz dağılım göstermesi ve uzun süreli verilerin elde edilmesinin oldukça güç olmasından dolayı, iklim ve hidroloji ile ilgili çalışma yapan bilim adamları oldukça zorlanmaktadır (Yoo ve ark., 2006). Buna rağmen, dünyanın pek çok bölgesindeki bilim adamları, yağış verileri üzerinde yoğun bir şekilde çalışmaktadır. Brunetti ve ark. (2004), İtalya'da 100 yıllık iklim verilerini kullanmak suretiyle yağış dağılımını incelemişlerdir. Çalışılan süre içerisinde ekstrem yağışların ve kuru gün periyodunun arttığını çalışmanın sonucunda görmüşlerdir.

Islak, kuru ve normal yıllar ortalama ve standart sapma değerlerine göre belirlenmiş ve aralarındaki ilişki grafiksel olarak gösterilmiştir (Şekil 4.52). Çalışma periyodunu oluşturan 21 yıllık yağışların ortalaması 419.60mm ve standart sapması ise 74.80 olarak belirlenmiştir. Islak-kuru yılların belirlenmesinde en önemli adım eşik değerin seçilmesidir. *Ortalama+standart sapma değerinin* (494.70 mm) üzerinde yer alan yıllar ıslak; *ortalama-standart sapma değerinin* (345.11 mm) altındaki yıllar kuru ve arasında kalan yıllar ise normal yıl olarak belirlenmiştir (Şekil 4.52).



Şekil 4.52. Yıllık Yağış Toplamına Göre Islak, Kuru ve Normal Yıl Dağılımı

Çizelge 4.38’de ıslak yıllar ve çalışma alanında meydana gelen WEPP Hillslope model sonuçları verilmiştir. K parselinde, 151.50 mm toplam yağış gözlenmiş ve bu yağışların 46.1 mm si yüzey akışa geçmiştir. Şev boyunca hareket eden yüzey akış sonunda eğime paralel sürümün yapıldığı K parselinde 4.57 kg/m² toprak kaybı meydana gelmiştir. 1983 yılında, K parselinde 10 bireysel olay gözlenmiş ve bu olaylardan yalnızca bir tanesi toprak kaybına yol açmamıştır. Ayrıca, yağışlar 10 mm’nin üzerinde olup, bu yağışlar 5 ve 10. aylarda meydana gelmektedir. Bu aylar, toprak kayıplarını en fazla meydana geldiği aylardır.

C parselinde ise, 171.20 mm ile en fazla yağış meydana gelmiş olmasına rağmen en az toprak kaybı ve yüzey akış gözlenmiştir. Bu değerler 2.23 kg/m² ve 46.24 mm’dir. Her

biri 15mm'nin üzerinde 14 bireysel olay meydana gelmiştir (Çizelge 4.38). Özellikle, Mayıs ayında peş peşe görülmüştür. Ancak bu olayların meydana getirdiği toprak kayıpları sıfır ya da sıfıra yakın değerlerdir. Çünkü C parselinde bu aylarda toprak yüzeyinde bitki örtüsü bulunmaktadır ve toprak kaybını azaltmaktadır.

P parselinde ise, Mayıs ayında 10 bireysel olay meydana gelmiştir. Bu olaylar sonucunda gözlenen toplam yağış 147.50 mm'dir. Bu yağışın 42.61 mm'si yüzey akışa geçmiş ve 2.35 kg/m² toprak kaybı meydana getirmiştir. P parselinde görülen yağışların şiddeti oldukça yüksektir (Çizelge 4.38).

Çizelge 4.38. Islak yıllara ait yağış, toprak kaybı ve yüzey akış

| Yıllar | Parseller | Yağış (mm) | Yüzey Akış (mm) | Toprak Kaybı (kg/m ²) |
|--------|-----------|------------|-----------------|-----------------------------------|
| 1983 | K | 151.5 | 46.1 | 4.56 |
| | C | 171.2 | 46.24 | 2.23 |
| | P | 147.5 | 42.61 | 2.35 |

Normal yıllarda görülen yağış, yüzey akış ve toprak kayıpları arasındaki değişim K, C ve P parselleri için ayrı ayrı değerlendirilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.39'de verilmiştir. Çizelge 4.49 incelendiğinde, her üç parsel içinde yağış karakteristikleri ve buna bağlı olarak meydana gelen yüzey akış ve toprak kayıplarının oldukça değişken olduğu görülmektedir. Yağış toplamalarının yüksek olmasına karşılık, yıl içerisinde görülen erosiv yağış miktarı oldukça azdır. Yağışlar şiddetli değildir. Bireysel yağış olayının büyük bir kısmı toprak kaybı ve yüzey akış meydana getirmemiştir. K parselinde 1978 ve 1979 yılında görülen yağışlar, erosiv değildir ve bu yıllarda toprak kaybı ve yüzey akış meydana gelmemiştir. Yine 1981 ve 1986 yıllarında yağış değerleri birbirine çok yakındır. Ancak 3 ekstrem bireysel yağış olayı meydana gelmiştir. Bu yağışlardan 1981 yılında 35.30mm'lik yağış 0.0011 kg/m²'lik toprak kaybına neden olurken; 1986 yılında 38.4 ve 30.90mm'lik yağışlar toprak kaybına neden olmamıştır (Çizelge 4.39).

C parselinde de, normal yıllara ait yağış olayları çok değişkendir (Çizelge 4.39). 1.09 ile 39.6 mm arasında değişen bireysel yağış olayları görülmektedir. 1981 yılında 176.91 mm ile en yüksek erosiv yağış gözlenirken bu yağışın 3.46 mm'si yüzey akışa geçmiş ve bunun sonucunda ise 0.0082 kg/m² toprak kayıpları meydana gelmiştir. Bu yılda

görülen yağışların süresi 23 saat ile 42 arasında değişmektedir. 2.1 kg/m² değerindeki maksimum toprak kaybını, 42 dak. ve 0.6 mm/saat şiddetindeki yağış meydana getirmiştir. 23 saat ve 0.02 mm/saat şiddetindeki 20mm'lik yağış ise 0.002 kg/m² toprak kaybına neden olmuştur(Çizelge 4.39) .

K ve C parselinde görülen, yağış karakteristikleri P parselinde de gözlenmiştir (Çizelge 4.39). 1982 ve 1984 yılları oldukça yağışlı olmasına karşılık, meydana gelen toprak kaybı ve yüzey akış değerleri oldukça düşüktür. 1980 yılında görülen erosiv yağışlar sıfır denecek kadar küçük toprak kayıpları meydana getirmiştir. Bu yıla ait yağışların süresi 6 saatin üzerindedir ancak, şiddeti 0.005 mm/saat'ten küçüktür (Çizelge 4.39).

Normal yıllarda yağış dağılımı, önce azalan bir ibre gösterirken birden yükselişe geçmekte ve yağışların dağılımında denge oluşturmaktadır. Her üç parselde görülen yağışlar şiddetli değildir. Peş peşe yağış görülmesinin ardından toprak kayıpları ve yüzey akış meydana gelmektedir.

Çizelge 4.39. Normal yıllara ait yağış, toprak kaybı ve yüzey akış

| NORMAL YILLAR | | | | | | | | | |
|---------------|------------|------------------|-----------------------------------|------------|------------------|-----------------------------------|------------|------------------|-----------------------------------|
| YILLAR | K | | | C | | | P | | |
| | Yağış (mm) | Yüzey akış. (mm) | Toprak Kaybı (kg/m ²) | Yağış (mm) | Yüzey akış. (mm) | Toprak Kaybı (kg/m ²) | Yağış (mm) | Yüzey akış. (mm) | Toprak Kaybı (kg/m ²) |
| 1975 | 56.4 | 18.43 | 1.181 | 46.8 | 4.04 | 0.1324 | 74 | 14.68 | 0.5391 |
| 1976 | 63.1 | 6.7 | 0.337 | 18.62 | 1.48 | 0.072 | 94.5 | 6.78 | 0.154 |
| 1977 | 73.4 | 111.95 | 0.553 | 172.8 | 65.33 | 0.076 | 80.9 | 37.5 | 0.0283 |
| 1978 | 0.0 | 0.00 | 0.000 | 5.6 | 0.14 | 0.0001 | 0.0 | 0.0 | 0.000 |
| 1979 | 0.0 | 0.00 | 0.000 | 72.3 | 16.91 | 1.51238 | 181.8 | 24.68 | 2.12203 |
| 1980 | 18.1 | 0.55 | 0.0007 | 12.4 | 0.36 | 0.0002 | 13.9 | 0.12 | 0.0001 |
| 1981 | 174.2 | 14.79 | 0.708 | 176.91 | 3.46 | 0.0082 | 123.3 | 1.39 | 0.0071 |
| 1985 | 69.3 | 21.139 | 0.1949 | 136.2 | 16.026 | 0.2763 | 69.3 | 9.584 | 0.0653 |
| 1986 | 94.1 | 4.38 | 0.389 | 37.5 | 0.91 | 0.021 | 17.9 | 2.09 | 0.068 |
| 1987 | 109.5 | 4.37 | 0.071014 | 120.8 | 0.72 | 0.000195 | 16.1 | 0.03 | 0.000064 |
| 1988 | 106.2 | 27.16 | 1.98119 | 37.1 | 1.61 | 0.08042 | 0.0 | 0.0 | 0.0000 |
| 1989 | 52.5 | 24.56 | 1.8986 | 79.3 | 10.76 | 0.10618 | 50.1 | 17.39 | 1.46591 |
| 1991 | 71.6 | 3.13 | 0.12137 | 132.1 | 2.84 | 0.11645 | 48.3 | 0.19 | 0.00315 |
| 1992 | 52.3 | 2.72 | 0.12052 | 16 | 0.62 | 0.00114 | 22.6 | 0.92 | 0.00208 |
| 1993 | 12.7 | 3.65 | 0.2009 | 30.7 | 9.02 | 0.20095 | 39.5 | 0.22 | 0.02617 |
| 1995 | 2.5 | 0.17 | 0.000 | 10.4 | 0.12 | 0.0000 | 0.0 | 0.0 | 0.0000 |

Çalışma süresi olarak seçilen 1975-1995 yılları arasındaki kurak yıllara ait yağış, yüzey akış ve toprak kaybı özellikleri karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.42). Bu yıllarda toplam yağış belirgin bir şekilde azalmaktadır. Hulme (2000) yağış karakteristiklerini değerlendirdikleri çalışmada, özellikle 1960 yılından sonra yağışların azaldığını ifade etmişlerdir. En yüksek toprak kaybı ve yüzey akış, her üç parsel için 1984 yılında meydana gelmiştir. 1984 yılında görülen yağışların süresi 4-10 saat arasında değişmektedir. Yağışlar ilkbahar aylarında görülmekte ve miktarı ise azalmaktadır. Sonbahar ayında yağış görülmemektedir. Dolayısıyla, toprak yüzeyi kuru olduğundan çarpan yağmur damlacıklarının etkisi daha fazla olmaktadır (Çizelge 4.40). Zhang ve ark. (2011), Afrika'da yapmış oldukları çalışmada 1948-2005 yılları arasındaki yağış karakteristiklerini çalışmışlardır. Yağışların özellikle, ağustos ve eylül aylarında azaldığını görmüşleridir. Yine yıllık toplam yağışların giderek azaldığı çalışmanın sonunda görülen diğer bir sonucudur. 1990 yılında görülen her üç parsel de yağış miktarı çok azdır. Dolayısıyla yüzey akışa geçen miktarda az olmaktadır. Bu yıla ait yağışlar 5 ile 36 mm arasında değişmekte olup, süresi ise 2 ile 11 saattir. Bu yılda görülen yağışlar peş peşe yağmıştır ve hemen hemen her mevsimde görülmüştür. Ancak şiddeti düşüktür (Çizelge 4.40).

Çizelge 4.40. Kurak yıllara ait yağış, toprak kaybı ve yüzey akış

| KURAK YILLAR | | | | | | | | | |
|--------------|------------|------------------|-----------------------------------|------------|------------------|-----------------------------------|------------|------------------|-----------------------------------|
| YILLAR | K | | | C | | | P | | |
| | Yağış (mm) | Yüzey akış. (mm) | Toprak Kaybı (kg/m ²) | Yağış (mm) | Yüzey akış. (mm) | Toprak Kaybı (kg/m ²) | Yağış (mm) | Yüzey akış. (mm) | Toprak Kaybı (kg/m ²) |
| 1982 | 100.8 | 1.27 | 0.0177 | 62.08 | 1.21 | 0.0018 | 38.5 | 0.22 | 0.00957 |
| 1984 | 95.6 | 25.587 | 0.6083 | 66.9 | 2.54 | 0.0078 | 90.5 | 1.57 | 0.0077 |
| 1990 | 27.9 | 0.82 | | 7.7 | 0.5 | | | | |
| 1994 | 73.2 | 2.78 | 0.46922 | 34.5 | 1.47 | 0.02239 | 43.1 | 0.25 | 0.02126 |

4.4. USLE ve WEPP Hillslope Model Sonuçlarının Karşılaştırılması

Toprak-su koruma ile ilgili modellerin değerlendirilmesinde modelin kullanım kolaylığı, gerekli parametrelerin girilmesi, gözlenen toprak kayıp ve yüzey akış değerlerine yakın tahminlerde bulunması gibi parametreler dikkate alınmaktadır. Çalışmanın amacına uygun olarak parametre seçimi modelin başarısını artırmaktadır (Croke ve ark., 2006).

Oğuz ve ark., (2006) tarafından hazırlanan USLE verileri K, P ve C parselleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. WEPP Hillslope model ve USLE ile tahmin edilen toprak kayıpları karşılaştırılmış ve sonuçlar Çizelge 4.41'de verilmiştir. Yıllık toplam toprak kayıpları dikkate alarak hesaplanmıştır. K, P ve C parsellerinde USLE ile toprak kayıpları daha düşük tahmin edilmiştir. Tiwari ve ark. (2000) USLE ve WEPP Hillslope model ile yıllık toplam toprak kayıplarını tahmin ettikleri çalışmada, USLE daha düşük tahminde bulunduğu görülmüştür (Çizelge 4.41).

USLE ve WEPP Hillslope model etkinliği değerlendirilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.42'de verilmiştir. USLE için RMSE değeri 0.01 ile 0.47, E_{NS} 0.72 ile 0.99 arasında ve SE değeri 0.00 ile 0.06 arasındadır. WEPP Hillslope model de ise; RMSE değeri 0.19 ile 1.67, E_{NS} -1.45 ile 0.02 arasında ve SE değeri 0.02 ile 0.64 arasındadır (Çizelge 4.42). USLE, toprak kayıplarını tahmin etmede daha başarılı olduğu bulunan sonuçlardan görülmektedir. RMSE değerinin sıfıra ve E_{NS} değerinin ise 1 yakın, SE değerinin yine sıfır olması bu sonuçları desteklemektedir. Araştırma yerine özgü koşullarda belirlenmiş USLE faktör değerlerini kullanarak elde edilen tahmini toprak kayıplarının, başka toprak ve iklim koşullarında geliştirilmiş WEPP modelle üretilen tahmini toprak kayıplarına göre gerçeğe daha yakın tahminde bulunması beklenen bir durumdur. Bununla birlikte WEPP model simülasyon sonuçlarının anlık olayları da kapsamı ve model çıktılarının göz ardı edilmeyecek bir yakınlıkta toprak kayıplarını tahmin etmesi modelin ülke koşullarında kullanılabilir olduğu kanaatini vermektedir.

Çizelge 4.41. USLE ve WEPP Hillslope model etkinliğinin değerlendirilmesi

| YILLAR | WEPP Hillslope (kg/m ²) | | | USLE (kg/m ²) | | | Gözlenen (kg/m ²) | | |
|-----------------|-------------------------------------|-------------|-------------|---------------------------|-------------|-------------|-------------------------------|--------------|--------------|
| | K | C | P | K | C | P | K | C | P |
| 1975 | 1.36 | 0 | 0.32 | 0.017 | | 0.008 | 0.350 | 0.11 | 0.46 |
| 1976 | 0.06 | 0 | 0 | 0.007 | 0.0001 | 0.003 | 0.270 | 0.21 | 0.45 |
| 1977 | 3.34 | 0.12 | 0.59 | 0.006 | | 0.003 | 0.090 | 0.14 | 0.44 |
| 1978 | 0.14 | 0 | 0 | 0.000 | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1979 | 0.49 | 0 | 0.07 | 0.056 | 0.0001 | 0.023 | 0.440 | 0.229 | 0.409 |
| 1980 | 0.32 | 0 | 0.02 | 0.000 | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1981 | 2.43 | 0.31 | 0.31 | 0.010 | | 0.001 | 0.121 | 0.134 | 0.09 |
| 1982 | 0 | 0 | 0 | 0.000 | | 0.000 | 0.006 | 0.323 | 0.698 |
| 1983 | 0.62 | 0 | 0.06 | 0.060 | 0.0003 | 0.031 | 0.665 | 0.441 | 0.516 |
| 1984 | 0.18 | 0 | 0 | 0.005 | | 0.000 | 0.079 | 0.1 | 0.013 |
| 1985 | 2.97 | 0.01 | 0.49 | 1.942 | | 0.001 | 0.029 | 0.36 | 0.424 |
| 1986 | 0.04 | 0.09 | | 0.022 | | 0.001 | 0.510 | 0.02 | 0.041 |
| 1987 | 4.85 | 1.06 | 0.53 | 0.003 | | 0.000 | 0.099 | 0.09 | 0.001 |
| 1988 | 0.1 | 0 | 0 | 0.004 | 0.0001 | 0.000 | 0.108 | 0.93 | 0.000 |
| 1989 | 3.56 | 0.08 | 0.59 | 0.037 | | 0.028 | 0.216 | 0.05 | 0.772 |
| 1990 | | | | 0.000 | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1991 | 2.53 | | 0.37 | 0.002 | | 0.000 | 0.031 | 0.736 | 0.026 |
| 1992 | 3.27 | 0.11 | 0.28 | 0.003 | | 0.000 | 0.111 | 0.000 | 0.000 |
| 1993 | 0.68 | 0.57 | 0.14 | 0.005 | | 0.001 | 0.065 | 0.49 | 0.124 |
| 1994 | 0.16 | | | 0.004 | 0.0349 | 0.028 | 0.114 | 0.306 | 0.007 |
| 1995 | 1.38 | 0.19 | 0.06 | 0.971 | | 0.000 | 0.025 | 0.000 | 0.104 |
| TOPLAM | 28.48 | 2.54 | 3.83 | 3.15 | 0.04 | 0.13 | 3.329 | 4.669 | 4.575 |
| ORTALAMA | 1.36 | 0.12 | 0.2 | 0.11 | | 0.01 | 0.146 | 0.235 | 0.255 |

Çizelge 4.42. WEPP Hillslope model ile USLE verilerinin karşılaştırılması

| PARSELLER | K | | C | | P | |
|---|------|----------------------------|------|----------------------------|------|----------------------------|
| | USLE | WEPP Hillslope Model | USLE | WEPP Hillslope Model | USLE | WEPP Hillslope Model |
| MODEL DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ | | | | | | |
| RMSE | 0.47 | 1.67 | 0.01 | 0.67 | 0.01 | 0.19 |
| E_{NS} | 0.99 | 0.13 | 0.72 | 0.02 | 0.77 | -1.45 |
| SE | 0.06 | 0.64 | | 0.04 | | 0.02 |

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

WEPP Hillslope model ile iklim verileri kullanılarak toprak kayıpları ve yüzey akış olay esaslı ve yıllık ortalamalara göre değerlendirilmiştir. Yıllık ve aylık yağışları, gözlenen değere oldukça yakın tahmin etmiştir. Modelin, mevsimlere göre başarısı ise ıslak ve kuru yağış ortalamasına göre değerlendirilmiştir. Model ıslak yağışları ilkbaharda, kuru yağışları ise yaz ayında tahmin etkinliği oldukça yüksek çıkmıştır.

K, P ve C parsellerinde erosiv yağışlara bağlı olarak meydana gelen toprak kayıpları ve yüzey akış olay esaslı ve yıllık ortalamalara göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Gözlenen ve tahmin edilen değerler karşılaştırılmıştır. K parseli, gözlenen ve tahmin edilen olay esaslı toprak kayıpları sırasıyla 2.43 ile 4.98 mm ve 0.09 ile 0.28 kg/m² olup; yıllık ortalamaya göre ise 15.25 ve 23.50 mm ile 0.63 ve 1.35 kg/m² olarak bulunmuştur. P parseli, gözlenen ve tahmin edilen olay esaslı toprak kayıpları sırasıyla 3.05 ile 7.26 mm ve 0.1 ile 0.26 kg/m² olup; yıllık ortalamaya göre ise 7.62 ve 5.07 mm ile 0.32 ve 0.18 kg/m² olarak bulunmuştur. K parseli, gözlenen ve tahmin edilen olay esaslı toprak kayıpları sırasıyla 1.67 ile 3.97 mm ve 0.06 ile 0.18 kg/m² olup; yıllık ortalamaya göre ise 8.67 ve 16.08 mm ile 0.22 ve 0.12 kg/m² olarak bulunmuştur. Bulunan sonuçlara göre, model yıllık ortalama toprak kaybı ve yüzey akış verilerini olay esaslı verilere göre tahmin etme başarısının daha yüksek olduğu görülmüştür.

WEPP Hillslope model, fiziksel sürece dayalı bir modeldir. Algoritması oldukça komplekstir. Simülasyon sonuçları modelin kullanıcıya bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Çünkü veri girişi çok önemlidir.

Model simülasyonunun ilk basamağını oluşturan CLIGEN dosyası çok fazla matematik ve istatistik eşitliklerini içermektedir. Dolayısıyla, modeli ilk kez kullanacaklar için bu alt yapının oluşturulması gerekmektedir. CLIGEN iklim modeli yağış, maksimum ve minimum sıcaklık, çığ düşme noktası, solar radyasyon ile rüzgar yönü ve şiddeti gibi iklim karakteristiklerinden oluşmaktadır. Bu karakteristiklerin her biri çok sayıda eşitlik kullanarak hesaplanmış ve veri bankası oluşturulmuştur. Bu verilerin bir araya getirilip, CLIGEN.cli olarak bilgisayara girilmesi için ileri derecede bilgisayar kullanımı gerekmektedir. Çünkü veri girişinin doğru yapılması simülasyon etkinliğini artırdığı, tez çalışması model çıktılarından görülen sonuçlardan birisidir.

WEPP Hillslope model çıktıları, birçok parametrenin bileşiminden oluşmaktadır. Bu sonuçların yorumlanması çok önemlidir. Dolayısıyla, modeli kullananların toprak- su koruma ile ilgili bilgisinin yeterli olması gerekmektedir.

CLIGEN yıllık, aylık ve mevsimlere bağlı olarak değerlendirilmiştir. Yıllık ve aylık tahmin etmedeki performansının çok yüksek olduğu görülmüştür. Mevsimlere bağlı olarak ise, özellikle ilkbahar aylarında toprak kayıpları ve yüzey akışı tahmin etmede başarılıdır. Yaz mevsiminde performansının yüksek çıkması, kuru gün yağışlarını tahmin etmede de başarılı olduğunu göstermiştir. Model, yağış karakteristiklerine bağlı çalışmaktadır. Dolayısıyla, modelin etkinliğinin test edileceği bölgenin iklim özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu bölgenin mevsimlere bağlı yağış dağılımı, süresi, şiddeti çok önemlidir. CLIGEN dosyası, uzun süreli iklim verilerinden oluşmalıdır. Model ıslak günlere bağlı olarak çalışmaktadır. Bu yağışın çok olduğu bölgelerde performansının yüksek olduğu anlamına gelmediği tez çalışmasında görülmüştür. Özellikle ilkbahar ve sonbahar yağışları toprak kayıpları ve yüzey akış simülasyonunda önemli olmaktadır. WEPP Hillslope model, kurak ve yarı kurak iklime sahip Tokat ilinde oldukça başarılı tahminlerde bulunmuştur. Çünkü, bölgede ilkbahar yağışları oldukça etkilidir. Modelin ülkemiz şartlarında farklı bölgeler için model geçerliliğinin sınanması yapılması gerekmektedir. Karadeniz gibi her mevsimin yağışlı ancak toprak kayıplarının az olduğu bir bölge ile Güneydoğu Anadolu gibi yağışın az olduğu ve Doğu Anadolu gibi kar yağışının hakim olduğu bölgelerde modelin kullanılıp, simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması gerekmektedir. Elde edilen sonuçlar, ileride yapılacak olan toprak-su koruma çalışmalarına yol gösterici nitelikte olacağı düşünülmektedir.

WEPP Hillslope modelde, şev dosyasına ait veri girişi çok önemlidir. Yamaç eğimine bağlı olarak ya birikme ya da erozyon meydana gelmektedir. Ortalama ve net toprak kayıplarını doğru bir şekilde tahmin etmek için, çok sayıda yamaç üzerinde çalışılması gerektiği düşünülmektedir. Çünkü, tez çalışmasında tek bir yamaç boyunca meydana gelen değişimler incelenmiş ve karşılaştırma yapılamamıştır. Birkaç değişik pozisyonda bulunan yamaç üzerinde model uygulanırsa, toprak kayıplarının yamacın hangi bölgelerinde daha az ya da fazla olduğu tahmin edilebilir. Böylece modelin etkinliği

daha iyi test edileceği düşünülmektedir. WEPP Hillslope modelin performansı arazinin büyüklüğünden etkilenmektedir. Çok büyük havzalarda uygulanması önerilmemektedir.

Modelde en etkin uygulamalardan biriside arazi kullanımınıdır. Model amenajman dosyasına çok hassastır. Eğime paralel toprak işlemenin yapıldığı arazilerde daha yüksek toprak kayıpları tahmin ederken, tarımsal uygulamaların yapıldığı arazilerde daha düşük toprak kayıpları tahmininde bulunmuştur. Bu arazilerde yüzey akış, gözlenenlerden yüksek çıkmıştır. Model, değişik ürün çeşidi altındaki arazilerde test edilmelidir. Böylece, her ürünün toprak erozyona karşı duyarlılığı test edilmek suretiyle, toprak kayıplarının karşılaştırılması yapılacaktır. Erozyonun çok olduğu bölgelere, bu bitki çeşidi önerilerek toprak kayıplarının azaltılması sağlanacaktır. Türkiye’de model çok yaygın bir şekilde uygulanmadığından, amenajman dosyası ile ilgili veri bankası bulunmamaktadır. Amenajman dosyasına, yapılan tüm tarımsal uygulamalar tarih belirtecek şekilde girilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, modelin uygulanacağı bölge seçilirken tarımsal uygulamaların ayrıntılı bir şekilde yapıldığı alan olmasına dikkat edilmelidir. Tarımsal uygulamaların yoğun bir şekilde yapıldığı ülkemizde, amenajman dosyası ile ilgili veri bankasının oluşturulması gerektiği düşünülmektedir. WEPP model gibi fiziksel sürece dayalı modellerin, ülkemizde daha yaygın bir şekilde kullanılması için bu veri bankalarına ihtiyaç duyulduğu çalışmasının sonucunda görülmüştür.

Yamaç boyunca toprak özelliklerinde meydana gelen değişim, simülasyon sonuçlarını yakından etkilemektedir. Özellikle fiziksel ve hidrolojik özellikler hem toprak kayıplarını hem de yüzey akışın değişmesine neden olmaktadır. Model eşitlikler kullanarak tahminde bulunduğu için; çok yüksek ya da çok düşük yağış, toprak kaybı ve yüzey akışı tolere edememektedir. Tahmin edilen toprak kayıpları gözlenen değerlerden her ne kadar daha yüksek çıksa da, Akış Serisi toprak kaybı tolerans sınırını aşmamaktadır. Yani gözlenen ve simüle edilen toprak kayıpları değerleri izin verilen toprak kayıp sınırları içerisinde yer aldığından planlama çalışmalarında modelin yeterli olduğu söylenebilir. Bu nedenle, WEPP Hillslope model Tokat ili iklim şartlarında kullanılması önerilmektedir. Önceden modelin uygulanacağı alanın toprak özelliklerinin çok iyi bilinmesi ve veri girişinin doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir. Çok fazla değişkenlik gösteren yamaç ya da havzalarda modelin etkinliğinin azaldığı yapılan diğer çalışmalarda bildirilmektedir. Bu tez çalışmasında homojen eğimli bir alanda çalışıldığı

için modelin aynı doğrultuda yer alan, fakat farklı toprak ve eğim özelliklerine sahip yamaç uzunlukları için performansının test edilmesi faydalı olacaktır.

Model rill, interill ve sıçrama erozyonuna karşı oldukça duyarlıdır. Tüm parseller için yapılan duyarlılık analizinde, özellikle interill erozyon toprak kayıpları ve yüzey akışı yakından etkilediği görülmüştür. Bu erozyon çeşidinin yoğun bir şekilde görüldüğü alanlarda model uygulanmalıdır. Bu şekilde meydana gelecek toprak kayıpları tahmin edilecek ve gerekli önlemlerin alınması sağlanacaktır.

Günümüzde çok sayıda erozyon tahmin modelleri bulunmaktadır. Bu modellerin birçoğu Ülkemizde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tez çalışmasında WEPP Hillslope model ile USLE karşılaştırılmıştır. Deneysel olarak elde edilmiş USLE faktör değerlerine göre hesaplanmış toprak kayıplarının, WEPP model ile tahmin edilen toprak kayıplarına göre gerçek ölçüm değerlerine yakın oluşu tespit edilmiştir. Deneysel verilerin bulunmadığı farklı toprak serilerinde USLE ve WEPP modelin karşılaştırılması durumunda, daha fazla veri girişi ve reel toprak özelliklerine bağlı oluşu ile WEPP modelin performansını değerlendirilmesi yararlı olacaktır. Daha az parametreyle kullanılması avantajı dikkate alınacak olursa güncel durumda USLE eşitliğinin kullanılabilir olduğu ve başarılı tahminler yapabildiği söylenebilir.

Mükemmel ve kesin tahmin yapabilecek toprak kaybı tahmin teknolojisi henüz geliştirilememiştir. Muhtemelen hiçbir zaman da kesin bir tahmin yapabilen bir teknoloji mümkün olmayacaktır. Çünkü doğa olayları benzersizdir. Bu yolda yürütülen çabalarda esas amaç, kesin doğrulukta tahmin yapabilmek yerine makul ve teknik personelin planlamalarında kullanabileceği yararlı araçlar geliştirebilmektir. Bu bakışla, çalışma sonucunda ele alınan WEPP model çıktıları dikkate alınarak mükemmel sayılabilecek doğrulukta planlamalar yapılabilir bulunmuştur. Farklı ürün rotasyonları altında oluşabilecek toprak kayıpları başarılı bir şekilde üretilebilir. Bir çiftlik için en uygun toprak yönetimi sistemleri WEPP model yardımıyla sınıyarak karşılaştırılabilir. Sürdürülebilir arazi yönetimi, gölet planlamaları ve bir çok mühendislik çalışmalarında WEPP model kullanılabilir.

Bu çalışmada ele alınan WEPP model yanı sıra bu alanda kullanılan diğer modellerin de ele alınarak gerçek verilerle karşılaştırıldığı çalışmaların yaygınlaştırılması ve hatta

ülkesel verilere dayalı yerel modellerin geliştirilmesi hem hidrolojik hem de erozyon ile ilgili gelecek çalışmalara ışık tutacaktır.



6. KAYNAKLAR

- Abrahams, A.D., Parsons, A.J., 1991. Relation Between İnfiltration and Stone Cover on A Semiarid Hillslope, Southern Arizona. *Journal Hydrology* 122, 49–59.
- Acharya, G., Cochrane, T., Davies, T. ve Bowman, E., 2011. Geomorphology Quantifying and Modeling Post-Failure Sediment Yields from Laboratory-Scale Soil Erosion and Shallow Landslide Experiments With Silty Loess. *Geomorphology*, 129(1-2), Pp.49–58. Available At: [Http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Geomorph.2011.01.012](http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Geomorph.2011.01.012).
- Ahmadi, H., Taheri, S., Feiznia, S., Azarnivand, H., 2011. Runoff And Sediment Yield Modeling Using Wepp İn A Semi-Arid Environment (Case Study: Orazan Watershed). *Desert* 16, 16, Pp.5–12.
- Aksoy, H. ve Kavvas, M.L., 2005. A Review Of Hillslope And Watershed Scale Erosion and Sediment Transport Models. *Catena* 64, 64, Pp.247–271.
- Aladağ, İ.A., 2009. Kahramanmaraş Yöresi Ahır Dağı Meralarında Wepp (Water Erosion Prediction Project) Yöntemiyle Toprak Kayıplarının Belirlenmesi Üzerine Araştırmalar (Keklik Deresi Yağış Havzası Örneği).
- Albaradeyia, I., Hani, A. ve Shahrour, I., 2011. Wepp And Ann Models for Simulating Soil Loss and Runoff in A Semi-Arid Mediterranean Region. *Environ Monit Assess*, 180, pp.537–556.
- Alkharabsheh, M.M., Alexandridisa, T.K., Bilasb, G., Misopolinosb, N. ve Silleosa, N., 2013. Impact Of Land Cover Change On Soil Erosion Hazard İn Northern Jordan Using Remote Sensing And Gİs. *Procedia Environmental Sciences*, 19, Pp.912–921.
- Al-Mukhtar, M., Dunger, V. ve Merkel, B., 2014. Runoff and Sediment Yield Modeling by Means of Wepp in The Bautzen Dam Catchment, Germany. *Environ Earth Sci*, 72, Pp.2051–2063.
- Amore, E., Modica, C., Nearing, M.A., Santoro, V.C., 2004. Scale Effect in USLE and WEPP Application for Soil Erosion Computation from Three Sicilian Basins. *Journal of Hydrology* 293 (1–4), 100–114.
- Amorim, R. S. S.; Silva, D. D. da; Pruski, F. F.; Matos, A.T. de., 2010. Evaluation of the performance of the USLE, RUSLE and WEPP soil erosion models for different edaphoclimatic conditions in Brazil. *Engenharia Agrícola*, v.30, p.1046- 1059.
- Andoh, H.F., Antwi, B.O., T, W. Ve Atakora, E.T., 2012. Estimation Of Soil Erodibility And Rainfall Erosivity Patterns İn The Agroecological Zones Of Ghana. *Ournal Of Soil Science And Environmental Management*, 3(11), Pp.275–279.

- Angulo-Martínez, M., Beguería, S., Navas, A. ve Machin, J., 2012. Geomorphology Splash Erosion Under Natural Rainfall On Three Soil Types In Ne Spain. *Geomorphology*, 175-176, Pp.38–44.
- Anlı, A.S., 2006. Giresun Aksu Havzası Maksimum Akımlarının Frekans Analizi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(1), Pp.99–106.
- Armand, R., Bockstaller, C., Auzet, A. V. ve Van Dijk, P., 2009. Soil & Tillage Research Runoff Generation Related to İntra-Field Soil Surface Characteristics Variability Application to Conservation Tillage Context. *Soil & Tillage Research* 102, 102, Pp.27–37.
- Arnold, J.G., Fohrer, N., 2005. SWAT2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling. *Hydrol. Process.* 19 (3), 563–572.
- ASCE, American Society of Civil Engineers., 1993. Irrigation and Drainage Division, watershed management committee, task committee on definition of criteria for evaluation of watershed models. Criteria for evaluation of watershed models. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.119, p.429-442.
- Ascough II, J. C., Flanagan, D.C., Nearing, M. A., Engel, B. A., 2013. Sensitivity And First-Order/Monte Carlo Uncertainty Analysis Of The Wepp Hillslope Erosion Model. *American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 2151-0032*
- Aydın, M., 2009. Gümüşhane-Torul Barajı Yağış Havzasında Arazi Kullanımına Göre Wepp (Water Erosion Prediction Project) Modeli İle Toprak Kayıplarının Belirlenmesi Ve Alınması Gereken Önlemler. *Kastamonu Üni., Orman Fakültesi Dergisi*, 9(1), Pp.54–65.
- Bacchi, O.O.S., Reichard, K., Sparovek, G. ve Ranieri, S.B.L., 2000. Soil Erosion Valuation in A Small Watershed in Brazil Through 137 Cs Fallout Redistribution Analysis and Con Ventional Models. *Acta Geologica Hispanica*, 35, Pp.251–259.
- Baffaut, C., Nearing, M.A., Ascough, J.C., Liu, B.Y., 1997. The WEPP Watershed Model: II. Sensitivity Analysis and Discretization on Small Watersheds. *Trans. ASAE* 40(4), 935–943.
- Bagarello, V. ve Ferro, V., 2012. Catena Testing The “ Physical Model Concept ” By Soil Loss Data Measured In Sicily. *Catena*, 95, Pp.1–5. Available At: [Http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Catena.2012.02.017](http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Catena.2012.02.017).
- Bahadur, K. C. K., 2008. Mapping Soil Erosion Susceptibility Using Remote Sensing and GIS: A Case of the Upper Nam Wa Watershed, Nan Province. Thailand, *Environmental Geology*, DOI 10.1007/s00254-008-1348-3.

- Baigorria, G.A. ve Romero, C.C., 2007. Assessment Of Erosion Hotspots In A Watershed : Integrating The Wepp Model And GIS In A Case Study In The Peruvian Andes. *Environmental Modelling & Software* 22, 22, Pp.1175–1183.
- Balabanlı, C., Türk, M., Yüksel, O., 2005. Erozyon Ve Çayır-Mera İlişkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 2, Pp.23–34.
- Bartsch, K.P., Van Miegroet, H., Boettinger, J., Bobrowolski, J.P., 2002. Using Empirical Erosion Models And GIS To Determine Erosion Risk At Camp Williams, Utah. *Journal Of Soil And Water Conservation*, 57(1): 29-37.
- Basinger, M., Montalto, F. ve Lal, U., 2010. A Rainwater Harvesting System Reliability Model Based on Nonparametric Stochastic Rainfall Generator. *Journal of Hydrology*, 392(3-4), pp.105–118.
- Batterbury S, Warren A (2001) Viewpoint. The African Sahel 25 years after the great drought: assessing progress and moving toward new agendas and approaches. *Global Environ Chang* 11:1-8.
- Bationo A, Kihara J, Vanlauwe B, Waswa B, Kimetu J (2007) Soil organic carbon dynamics, functions and management in West African agro-ecosystems. *Agr Syst* 94:13-25.
- Bayley, T., Elliot, E. Ve Nearing, M.A., 2010. Modeling Erosion Under Future Climates with The Wepp Model. 2nd Joint Federal Interagency Conference, Las Vegas, NV.
- Beasley, D.B., Huggins, L.F., 1991. ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation) User's Manual. Publication No. 5. Agricultural Engineering Department, University of Georgia-CPES, Tifton, GA.
- Bhuyan, S.J., Kalita, P. K., Janssen, K. A. ve Barnes, P. L., 2002. Soil Loss Predictions With Three Erosion Simulation Models. *Environmental Modelling & Software* 17, 17, Pp.137–146.
- Bin, F.U., Yukuan, W., Pei, X. ve Kun, Y., 2012. Assessment Of The Performance Of Wepp In Purple Soil Area With Simulated Rainfall Experiments. Science Press and Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS and Springer-Verlag Berlin Heidelberg., 9, Pp.570–579.
- Bissonnais, Y. Le, 1996. Aggregate Stability And Assessment Of Soil Crustability And Erodibility : I. *European Journal Of Soil Science*, 47, Pp.425–437.
- Bjorneberg, D.L. ve Trout, T.J., 1999. Evaluating Wepp Predicted On-Field Furrow Irrigation Erosion. 10th International Soil Conservation Organization Meeting, Pp.693–698.

- Blanco-Canqui H, Lal R. 2004. Mechanisms of Carbon Sequestration in Soil Aggregates. *Crit Rev Plant Sci.* 23:481–504.
- Boix-Fayos, C., Martínez-Mena, M., Arnau-Rosalén, E., Calvo-Cases, A., Castillo, V., Albaladejo, J., 2006. Measuring Soil Erosion by Field Plots: Understanding The Sources of Variation. Volume 78, Pages 267–285.
- Bouyoucos, G.J., 1951. Hydrometer Method Improved For Marking Particle Size Analysis of Soils. *Agronomy J.* 54, pp: 464–465.
- Bowen, W., Baigorria, G., Barrera, V., Cordova, J., Muck, P. ve Pastor, R., 1997. A Process-Based Model (Wepp) For Simulating Soil Erosion In The Andes. Cip Program Report 1997-98.
- Boyle M. 2002. Erosion's contribution to greenhouse gases. *Erosion Control. Features.* January / February. P. 21–29.
- Brooks, E.S., Dobre, M., Elliot, W.J., Wu, J.Q. ve Boll, J., 2016. Watershed-Scale Evaluation of The Water Erosion Prediction Project (Wepp) Model In The Lake Tahoe Basin. *Journal Of Hydrology*, 533, Pp.389–402..
- Brunner, A.C. Parka, S. J., Rueckerb, G. R., Dikauc, R. Ve Vleka, P. L. G., 2004. Catenary Soil Development Influencing Erosion Susceptibility Along A Hillslope In Uganda. *Catena* 58, 58, Pp.1–22.
- Bryan, R.B., 2000. Soil Erodibility And Processes Of Water Erosion On Hillslope. *Geomorphology* 32, Pp.385–415.
- Busari, A.M., Kukal, S.S., Kaur, A., Bhatt, R. ve Dulazib, A.A., 2015. Conservation Tillage Impacts On Soil , Crop and The Environment. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(2), Pp.119–129.
- Chen, T., Yang, Z.G., Du, W.M., Wang, Y.J., Lin, L.J., Zhu, X.M., 2009. Study on the soil erosion characteristics of different land use types. *Shaanxi J. Agric. Sci.* 3,99–101 (In Chinese).
- Chu, S.T., 1978. Infiltration during an unsteady rain. *Water Resour.Res* 14(3), 461-466.
- Conforti, M., Buttafuoco, G., Leone, A.P., Aucelli, P.P.C., Robustelli, G. ve Scarciglia, F., 2013. Studying The Relationship Between Water-Induced Soil Erosion and Soil Organic Matter Using Vis – Nir Spectroscopy and Geomorphological Analysis : a Case Study in Southern Italy. *Catena*, 110, Pp.44–58.
- Conroy, W.J., 2005. A Coupled Upland-Erosion, Instream Hydrodynamic-Sediment Transport Model For Assenssing Primary Impacts Of Forest Management Practices On Sediment Yield And Delivery.

- Convertini G, Giorgio D, Rizzo V., 1996. Wheat Yields, Soil Carbon and Nitrogen as Influenced by Soil Tillage Reduction. in: Proceedings of The 4th ESA Congress 1: 234–235.
- Cox, D.J., 1990. Performance Of Hard Red Winter Wheat Cultivars Under Conventional-Till And No-Till Systems. , 1(1), Pp.17–20.
- Croke, J. ve Nethery, M., 2006. Modelling Runoff and Soil Erosion in Logged Forests : Scope and Application of Some Existing Models. Catena 67, 67, Pp.35–49.
- Çelik, V., 2011. Değirmen Deresi Havzası'nda (Bolvadin-Afyonkarahisar) Toprak Erozyonu Risk Analizi. Yüksek Lisans Tezi.
- Çilek, A., 2013. Konumsal Bilgi Sistemleri Yardımıyla Türkiye'nin Erozyon Modellemesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Dakhlalla, A.O., Parajuli, P.B., Ouyang, Y. ve Schmitz, D.W., 2016. Evaluating The Impacts of Crop Rotations on Groundwater Storage and Recharge in An Agricultural Watershed. Agricultural Water Management, 163, Pp.332–343.
- Darboux, F., Reichert, J.M. ve Huang, C., 2004. Soil Roughness Effects on Runoff And Sediment Production. 13th International Soil Conservation Organisation Conference, (116), Pp.1–6.
- De Roo, A.P.J., Wesseling, C.G., Ritsema, C.J., 1996. LISEM: a Single-Event Physically Based Hydrological And Soil Erosion Model for Drainage Basins: I. Theory, Input and Output. Hydrological Processes 10, 1107 – 1117.
- De Roo, A.P.J., Offermans, R.J.E., Cremers, N.H.D.T., 1996b. LISEM: A Single Event Physically-Based Hydrologic and Soil Erosion Model For Drainage Basins: II. Sensitivity Analysis, Validation and Application. Hydrological Processes 10 8 , 1119–1126. Ž .
- Defersha, M.B., Quraishi, S. & Melesse, A., 2011. The Effect Of Slope Steepness and Antecedent Moisture Content on İnterrill Erosion , Runoff And Sediment Size Distribution in The Highlands of Ethiopia. Hydrology And Earth System Sciences, (1), Pp.2367–2375.
- Defersha MB, Melesse AM, McClain M. E., 2012. Watershed Scale Application Of WEPP And EROSION 3D Models For Assessment Of Potential Sediment Source Areas And Runoff Flux İn The Mara River Basin, Kenya. Catena 95:63–72.
- Delaune, P.B. ve Sij, J.W., 2012. Soil & Tillage Research Impact of Tillage on Runoff in Long Term No-Till Wheat Systems. Soil & Tillage Research, 124, Pp.32–35.

- Deng, L., Yan, W., Zhang, Y. ve Shangguan, ., 2016. Forest Ecology And Management Severe Depletion Of Soil Moisture Following Land-Use Changes For Ecological Restoration : Evidence From Northern China. *Forest Ecology And Management*, 366, Pp.1–10. Available At: [Http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Foreco.2016.01.026](http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2016.01.026).
- Desir, G., Marín, C., 2007. Factors Controlling The Erosion Rates In A Semi-Arid Zone (Bardenas Reales, Ne Spain). *Catena* 71, 71, Pp.31–40.
- Darboux, F., Huang, C., 2003. An Instantaneous-Profile Laser Scanner to Measure Soil Surface Microtopography. *Soil Science Society of America Journal* 67, 92–99.
- Duiker, S.W., Flanagan, D.C. ve Lal, R., 2001. Erodibility And Infiltration Characteristics Of Five Major Soils Of Southwest Spain. *Catena* 45, 45, Pp.103–121.
- Dun, S., Wu, J. Q., Elliot, W., Robichaud, P. R., Flanagan, D. C., Frankenberger, J. R., Brown, R. E. ve Xu, A. C., 2009. Adapting The Water Erosion Prediction Project (Wepp) Model for Forest Applications. *Journal Of Hydrology*, 366(1-4), Pp.46–54. Available At: [Http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Jhydrol.2008.12.019](http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.12.019).
- El, H. Et, Zhang, H., Zhang, P.ve Mosand, R., 2013. Soil Erosion And Surface Runoff on Different Vegetation Covers and Slope Gradients : A Field Experiment in Southern Shaanxi Province, China. *Catena*, 105, Pp.1–10.
- Elliot, W.J. ve Arnold, C.D., 2001. Validation of The Weather Generator Cligen with Precipitation Data From Uganda. *Transactions Of The Asae*, 44(1), Pp.53–58.
- Elliot, W., Foltz, R. & Miller, S., 1996. Predicting Effects of Climate, Soil, and Topography on Road Erosion With The Wepp Model 1. *Asae International Winter Meeting*, P.11.
- Elliot, W.J., Robichaud, P.R. ve Hall, D.E., 2001. A Probabilistic Approach to Modeling Erosion for Spatially-Variied Conditions. *The Society for Engineering in Agricultural, Food and Biological Systems*.
- Elrehema, Y.S., 2001. Soil Water Erosion Modeling In Selected Watersheds In Southern Spain. *Ifa, Itc, Enschede*. 42 S.
- Elsebaie, I.H., 2012. Developing Rainfall Intensity – Duration – Frequency Relationship For Two Regions In Saudi Arabia. *Journal Of King Saud University – Engineering Sciences*, 1932, Pp.131–140.
- Fashi, F.H. ve Ejlali, F., 2015. Evaluating Spatial Distribution of Soil Erosion Using Wepp Erosion Model And Gis Tools : A. *Agriculture - Science And Practice*, 3(4), Pp.123–133.
- Fattet, M., Fu, Y., Ghestem, M., Ma, W., Foulonneau, M., Nespoulous, J., Bissonnais, Y.L. ve Stokes, A., 2011. Effects of Vegetation Type on Soil Resistance oo

Erosion : Relationship Between Aggregate Stability and Shear Strength. *Catena* 87, 87, Pp.60–69.

- Faur`Es, J. M., Goodrich, D. C., Woolhiser, D. A. and Sorooshian, S., 1995. Impact of Small-Scale Spatial Rainfall Variability on Runoff Modeling. *J. Hydrol.* 173: 309–326.
- Ferreira, V., Panagopoulou, T., Cakulab, A., Andrade, R. ve Arvelaa, A., 2015. Predicting Soil Erosion After Land Use Changes for Irrigating Agriculture in A Large Reservoir of Southern Portugal. *Italian Oral Surgery*, 4, Pp.40–49.
- Filho, T.H Barbosa, G.M.C.ve Ribon, A.A., 2010. Physical properties of dystrophic Red Latosol (Oxisol) under different agricultural uses. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* vol.34 no.3 Viçosa,
- Folly, A., Quinton, J.N., Smith, R.E., 1999. Evaluation Of The EUROSEM Model Using Data from The Catsop Watershed, The Netherlands. *Catena* 37, 457 – 475.
- Foster, G.R., L.D. Meyer And C.A. Onstad. 1977. An Erosion Equation Derived From Basic Erosion Principles. *Trans. ASAE* 20(4):678-682.
- Foster, G.R., 1982. Modelling the erosion processes. In: C.T. Haan (Editor), *Hydrologic Modelling of Small Watersheds*. ASAE Monograph, pp. 297-380.
- Foster, G.R., Lane, L.J., 1987. User requirements USDA-Water Erosion Prediction Project (WEPP), NSERL Report no. 1, USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, IN 47097-1196.
- Foster, G.R. 2004. Revised Universal Soil Loss Equation Version 2. User reference guide. USDA Natural Resources Conservation Service, Tennessee.
- Flanagan, D. C., and S. J. Livingston, eds. 1995. Water Erosion Prediction Project (WEPP) Version 95.7: User Summary. NSERL Report No. 11. West Lafayette, Ind.: USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory.
- Fullen, M.A., Catt, J.A., 2004. *Soil Management: Problems and Solutions*. Arnold, London (269 pp.).
- Gao, X., Wu, P., Zhao, X., Wang, J., Shi, Y., 2011. Effects of Land Use on Soil Moisture Variations in A Semi-Arid Catchment: Implications for Land and Agricultural Water Management. *Land Degrad. Dev.* [Http://Dx.Doi.Org/10.1002/Ldr.1156](http://Dx.Doi.Org/10.1002/Ldr.1156).
- Garbrecht, J.D. Et Al., 2015. Can Conservation Trump Impacts Of Climate Change On Soil Erosion ? An Assessment From Winter Wheat Cropland In The Southern Great Plains Of The United States. *Weather And Climate Extremes*, 10, Pp.32–39. Available At: [Http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Wace.2015.06.002](http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Wace.2015.06.002).

- Ghidey F, Alberts EE (1996). Comparison of Measured and WEPP Predicted Runoff and Soil Loss for Midwest Claypan Soil. *Transactions of The ASAE* 39(4):1395-1402.
- Gilley, J.E. ve E. R. Kottwitz, 1995. Random Roughness Assessment By The Pin And Chain Method. *Biological Systems Engineering: Papers And Publications*, 12(1), Pp.39–43.
- Gómez, J.A., Vanwalleghemb, T., Hoces, A.D. ve Taguas, E.V., 2014. Hydrological And Erosive Response Of A Small Catchment Under Olive Cultivation In A Vertic Soil During A Five-Year Period: Implications For Sustainability. *Agriculture, Ecosystems And Environment* 188, 188, Pp.229–244.
- Gould, G.K., Liu, M., Barber, M., Cherkauer, K. A., Robichaud, P. Ve Adam, J. C., 2016. The Effects of Climate Change and Extreme Wildfire Events on Runoff Erosion over A Mountain Watershed. *Journal of Hydrology*. Available At: [Http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Jhydrol.2016.02.025](http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Jhydrol.2016.02.025).
- Govers, G., 1987. Rill Erosion: Processes and Significance. *Catena Supplement*, vol. 8. Catena Verlag, Cremlingen. Chap. Spatial and temporal variability in rill development processes at the Huldenberg experimental field, pages 35–54.
- Grace, J.M., 2004. Modeling Erosion from Forest Roads with WEPP. *Forest Operations Research, Southern Research Station, USDA Forest Service G.W. Andrews Forestry Sciences Laboratory, 520 Devall Drive, Auburn, Alabama 36830*
- Greenbaum, N., Ben-Zvi, A., Haviv, I. And Enzel, Y. 2006. The Hydrology and Paleohydrology of The Dead Sea Tributaries. in Enzel, Y., Agnon, A. And Stein, M. (Eds.) *New Frontiers in Dead Sea Paleoenvironmental Research*. Geological Society Of America, Inc., Boulder. Pp. 63–93.
- Green, W.H. And Ampt, G.A., 1911. Studies on Soil Physics: 1. Flow of Air and Water Through Soils. *J. Agric. Sci.*, 4: L-24.
- Grønsten, H.A. ve Lundekvam, H., 2006. Prediction Of Surface Runoff And Soil Loss In Southeastern Norway Using The Wepp Hillslope Model. *Soil & Tillage Research* 85, 85, Pp.186–199.
- Guilherme, M., Nacinovic, G. ve Fernando, C., 2014. Soil & Tillage Research Soil Erosion As A Function Of Different Agricultural Land Use In Rio De Janeiro. *Soil & Tillage Research*, 144, Pp.164–173.
- Gyssels, G., Posesen, J., Nachtergaele, J. Ve Govers, G., 2002. The impact of sowing density of small grains on rill and ephemeral gully erosion in concentrated flow zones. *Soil & Tillage Research* 64, 189–201

- Heckrath, G. Halekoh, U., Djurhuus, J. ve Govers, G. 2006. The Effect Of Tillage Direction On Soil Redistribution By Mouldboard Ploughing on Complex Slopes. *Soil & Tillage Research* 88, 88, Pp.225–241.
- Helming, K., Prasad, S.N. ve Römken, M.J.M., 2001. Soil Erosion Under Different Rainfall Intensities , Surface Roughness , And Soil Water Regimes. *Catena*, 46, Pp.103–123.
- Hillel, D. 1980. *Applications of Soil Physics*. Academic Press, New York. 385 pp.
- Holland, J.M., 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture Ecosystems & Environment* 103, 1–25.
- Huang, X., Shi, Z., Zhu, H.D., Zhang, Z.Y., Ai, L. ve Yin, W., 2016. Soil Moisture Dynamics Within Soil Profile Les And Associated Environmental Controls. *Catena* 136, 136, Pp.189–196.
- Hudson N., 1995. *Soil Conservation*. Third Edition. B.T. Batsford Limited. U.K. pp. 290.
- Hulme, M., Wigley, T. M. L., Barrow, E. M., Raper, S. C. B., Centella, A., Smith, S. & Chipanshi, A. C., 2000. *Using a Climate Scenario Generator for Vulnerability and Adaptation Assessments : Magicc and Scengen Version 2.4 Workbook*. Norwich, Uk: Climatic Research Unit, University Of East Anglia/ NCSP.
- Hunt, A.G. ve Wu, J.Q., 2004. Climatic Influences On Holocene Variations In Soil Erosion Rates On A Small Hill In The Mojave Desert. *Geomorphology* 58, 58, Pp.263–289.
- Hussein, M.H., Kariem, T.H. ve Othman, A.K., 2007. Predicting Soil Erodibility in Northern Iraq Using Natural Runoff Plot Data. *Soil & Tillage Research* 94, 94, Pp.220–228.
- Imeson, A.C. ve Kwaad, F.J.P.M. 1990. The response of tilled soils to wetting by rainfall and the dynamic character of soil erodibility. In Boardman, J., Foster, I.D.L. & Dearing, J.A. (Eds.) *Soil Erosion on Agricultural Land*. Wiley, London, pp.3–14.
- Jakab, G. Németh, T., Csepinszky, B., Madarász, B., Szalai, Z. Ve Kertész, A., 2013. The Influence Of Short Term Soil Sealing And Crusting On Hydrology And Erosion At Balaton Uplands , Hungary. *Carpathian Journal Of Earth And Environmental Sciences*, February 2013, 8(1), Pp.147–155.
- Jankauskas, B., Jankauskienė, G., Fullen, M.A., 2007. Relationships Between Soil Organic Matter Content And Soil Erosion Severity In Albeluvisols Of The Žemaičiai Uplands. *Ekologija*, 53(1), Pp.21–28.

- Jetten, V., Roo, A. De ve Favis-Mortlock, D., 2006. Evaluation of Field-Scale and Catchment-Scale Soil Erosion Models. *Catena* *Ž.37*, 37, Pp.521–541.
- Jiang, D.S., Huang, G.J., 1984. Simulated Study on Effects of Gradient on Soil Infiltration. *Bull. Soil Water Conserv.* 4, 10–13 (In Chinese With English Abstract).
- Jones, D.S., Kowalski, D.G. ve Shaw, R.B., 1995. Calculating Revised Universal Soil Loss Equation (Rusle) Estimates On Department Of Defense Lands : A Review Of Rusle Factors And U . S . Army Land Condition-Trend Analysis (Lcta) Data Gaps Center For Ecological Management Of Military Lands Department. Soil And Water Conservation Society, (703).
- Jong van Liera, Q. D., Sparoveka, G., Flanagan, D. C., Bloem, E. M. ve Schnugc, E., 2005. Runoff Mapping Using Wepp Erosion Model and Gis Tools. *Computers & Geosciences* 31, 31, Pp.1270–1276.
- Johnson, B.E., Julien, P. Y., Molnar, D.K., ve Watson, C.C. (2000). “The Two-Dimensional-Upland Erosion Model CASC2D-SED.” *J. Of The AWRA*, 36(1) , 31-42.
- Julien, P. Y. And Saghafian, B. (1991). “CASC2D Users Manual – A Two Dimensional Watershed Rainfall-Runoff Model.” Civil Eng. Report, CER90-91PYJ-BS-12, Colorado State University, Fort Collins, CO.
- Kadlec, V., Holubík, O. ve Procházková, E., 2012. Soil Organic Carbon Dynamics And Its Influence On The Soil Erodibility Factor. *Soil & Water Res.*, 2012(3), Pp.97–108.
- Kadupıtiya, H.K. 2002. Empirical Evaluation And Comparative Study Of Use Of Erosion Modelling İn Small Catchments İn Naivasha, Kenya. Msc Thesis.Tc, Enschede. 89 S.
- Kakisina, T.J., Anggoro, S. & Hartoko, A., 2015. Analysis Of The Impact Of Land Use On The Degradation Of Coastal Areas At Ambon Bay-Mollucas Province Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, 23(Ictcred 2014), Pp.266–273. Available At: [Http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Proenv.2015.01.040](http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2015.01.040).
- Karabulut, M., 2015. Drought Analysis İn Antakya-Kahramanmaraş Graben, Turkey. *J Arid Land* (2015), 7(6), Pp.741–754.
- Karaş, E., 2005. Küçükemalı Ve Güvenç Havzalarının Su Ve Sediment Verimlerine Göre Sürdürülebilir Yönetimi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı. Doktora Tezi.
- Kay, B.D. ve Rasiah, V., 1995. Runoff and Soil Loss as İnfluenced by Selected Stability Parameters and Cropping and Tillage Practices. *Geoderma* 68, 68, Pp.321–329.

- Kramer, L.A., Alberts, E.E., 1995. Validation of WEPP 95.1 Daily Erosion Simulation. ASAE Paper No. 95-2385, Am. Soc. Agric. Eng. Publ., St. Joseph, MI.
- Kidwell, M.R., Weltz, M.A. ve Phillip, D., 1997. Estimation Of Green-Ampt For Rangelands Hydraulic Conductivity. *Journal Of Range Management*, 50, Pp.290–299.
- Kim, H.S., 2006. Soil Erosion Modeling Using Rusle And Gis On The Imha Watershed, South Korea. Department of Civil Engineering. Master of Science Colorado State University.
- Knisel, W.G. (Ed.), 1980. CREAMS: A Field-Scale Model For Chemicals, Runoff, And Erosion From Agricultural Management Systems. USDA –Conservation Research Report No. 26, P. 640.
- Kisic, I. & Butorac, A., 2000. Soil Erosion Under Different Tillage Methods In Central Croatia. *Die Bodenkultur*, 53(4), Pp.199–206.
- Klik, A. ve Eitzinger, J., 2010. Impact Of Climate Change On Soil Erosion and The Efficiency Of Soil Conservation Practices In Austria. *Journal Of Agricultural Science*, 148, Pp.529–541.
- Koçman A, Işık Ş, Mutluer M. 1995. Rainfall Variability and Drought Problems in The Aegean Plains. *Aegean Geographical Journal*, 8:25–36.
- Kou, X., Ge, J., Wang, Y. ve Zhang, C., 2007. Validation Of The Weather Generator Chgen With Daily Precipitation Data From The Loess Plateau , China. *Journal Of Hydrology*, 347, Pp.347–357.
- Kumar, S., Sterkb, G. ve Dadhwal, V.K., 2002. Process Based Modeling for Simulating Surface Runoff and Soil Erosion at Watershed Basis. Commission V1, Wg V1/4.
- Laflen, J.M., Flanagan, D.C., Engel, B.A., 2004. Soil Erosion and Sediment Yield Prediction Accuracy Using WEPP. *Journal of The American Water Resources Association* 40, 289–297.
- Lal, R., 1993. Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality, and sustainability. *Soil and Tillage Research*. Volume 27, Issues 1–4, Pages 1-8.
- Lal, R., and W. Elliot. 1994. Erodibility and erosivity. In: *Soil Erosion Research Methods*. Ed. By R. Lal. Chapter 8. Second Edition. St. Lucie Press.
- Lal R., 1997a. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating green-house effect by CO₂-enrichment. *Soil Tillage Res* 43:81–107.
- Lal, R. 2005. Soil erosion and carbon dynamics. *Soil ve Tillage Research* 81, 137–142.

- Lal, M., Mishra, S.K., Pandey, A., 2015. Catena Physical Verification of the Effect of Land Features and Antecedent Moisture on Runoff Curve Number. *Catena*, 133, Pp.318–327.
- Lane, L. J., Shirley, E. D. Ve Singh, V. P., 1988. Modelling erosion on hillslopes. In: Anderson, M. G. (Ed). *Modelling Geomorphological Systems*. Wiley, Chichester (Chapter 10).
- Lane, L. J. Ve Nearing, M. A., 1989. Usda - Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile Model Documentation. NSERLReportNo.2.USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory West Lafayette, Indiana 47907.
- Leys, A., Govers, G., Gillijns, K., Poesen, J., 2007. Conservation tillage on loamy soils: explaining the variability in interrill runoff and erosion reduction. *European Journal of Soil Science* 58 (6), 1425–1436.
- Leys, A., Govers, G., Gillijns, K., Berckmoes, E. ve Takken, I., 2010. Scale Effects on Runoff and Erosion Losses From Arable Land Under Conservation and Conventional Tillage : The Role of Residue Cover. *Journal of Hydrology*, 390(3-4), Pp.143–154. Available At: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.06.034>.
- Li, Y., Zhang, Q.W., Reicosky, D.C., Bai, L.Y., Lindstrom, M.J., Li, L., 2006. Using ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb for Quantifying Soil Organic Carbon Redistribution Affected by Intensive Tillage in Steep Slopes. *Soil Tillage Res.* 86, 176–184.
- Li, Y., Zhang, Q.W., Reicosky, D.C., Lindstrom, M.J., Bai, L.Y., Li, L., 2007. Changes in Soil Organic Carbon Induced by Tillage and Water Erosion on A Steep Cultivated Hillslope on The Chinese Loess Plateau From 1898–1954 And 1954–1998. *J. Geophys. Res.* 112, G01021. <http://dx.doi.org/10.1029/2005JG000107>.
- Li, Z., Ma, W., Ding, K., Huang, J., Nie, X., Zeng, G., Wang, S. ve Liu, G., 2014. Sciencedirect Rill Erodibility as Influenced by Soil and Land Use in A Small Watershed of The Loess Plateau , China. *Biosystems b*
- Licciardello, F., Amore, F., Nearing, M. A ve Zimbone, S. M., 2006. Runoff and Erosion Modening by Wepp in An Experimental Mediterranean Watershed. *Measurement Modelling and Management*.
- Liu, Q.J., An, J., Wang, L.Z., Wu, Y. Z. ve Zhang, H. Y., 2015. Soil & Tillage Research In Fl Uence Of Ridge Height , Row Grade , And Fi Eld Slope On Soil Erosion In Contour Ridging Systems Under Seepage Conditions. *Soil & Tillage Research* 147, 147, Pp.50–59.
- Liu, S.L., Dong, Y. H., Li, D., Wang, L. J. ve Zhang, X. L., 2013. Effects Of Different Terrace Protection Measures In A Sloping Land Consolidation Project Targeting Soil Erosion At The Slope Scale. *Ecological Engineering* 53, 53, Pp.46–53.

- Liu, Q.J., Shi, Z. H., Yu, X. X. ve Zhang, H. Y., 2014. Soil & Tillage Research Influence of Microtopography , Ridge Geometry and Rainfall İntensity on Soil Erosion İnduced by Contouring Failure. *Soil & Tillage Research*, 136, Pp.1–8.
- .Lobo, G.P. Frankenberger, J. R., Flanagan, D. C. ve Bonilla, C. A., 2015. Catena Evaluation And İmprovement Of The Clgen Model For Storm And Rainfall Erosivity Generation İn Central Chile. *Catena*, 127, Pp.206–213. Available At: [Http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Catena.2015.01.002](http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2015.01.002).
- Lowery, B., Swan, J., Schumacher, T., Jones, A., 1995. Physical properties of selected soils by erosion class. *J. Soil and Water Cons.* 50, 306±311.
- Lu, H., Moran, C.J. & Ian, P., 2003. Sheet And Rill Erosion And Sediment Delivery To Streams: A Basin Wide Estimation At Hillslope To Medium Catchment Scale,
- Lucas, A.K., 2012. Soil Erosion Analysis Of Watersheds İn Series. the faculty of the Russ College of Engineering and Technology of Ohio University. Master Thessis.
- Maalim, F.K., Melesse, A., Belmont, P. Ve Gran, K.B., 2013. Catena Modeling The Impact of Land Use Changes on Runoff and Sediment Yield in The Le Sueur Watershed , Minnesota Using Geowepp. *Catena*, 107, Pp.35–45.
- Mabit, L., Bernard, C., 2009. Spatial Distribution and Content of Soil Organic Matter in An Agricultural Field in Eastern Canada, as Estimated from Geostatistical Tools. *Earth Surf. Process. Landforms* 35, 278–283.
- Madarász, B., Bádonyi, K. & Csepinszky, B., 2011. Conservation Tillage for Rational Water Management and Soil Conservation. *Hungarian Geographical Bulletin* 60, 60(2), Pp.117–133.
- Mahmoodabadi, M. ve Cerdà, A., 2013. Geoderma Wepp Calibration For İmproved Predictions of İnterrill Erosion in Semi-Arid to Arid Environments. *Geoderma*, 204-205, Pp.75–83. Available At: [Http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Geoderma.2013.04.013](http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.04.013).
- Mahmoodabadi, M. ve Cerda, A., 2014. Evaluation of Guest and Wepp with A New Approach for The Determination of Sediment Transport Capacity. *Journal Of Hydrology*, 513, Pp.413–421.
- Martõã, M., Albaladejo, J. ve Castillo, V.M., 1998. Factors in Uencing Surface Runoff Generation in A Mediterranean Semi-Arid Environment : Chicamo Watershed , Spain. *Hydrological Processes*, 12, Pp.741–754.
- Mavromatis, T., 2012. Changes İn Exceptional Hydrological And Meteorological Weekly Event Frequencies İngreece. *Climatic Change*, 110, Pp.249–267.

- Mazzilli, S.R., Ernst, O., Mello, V.P. ve Perez, C.A., 2016. Yield Losses on Wheat Crops Associated to The Previous Winter Crop : Impact of Agronomic Practices Based on on-Farm Analysis. *European Journal Of Agronomy*, 75, Pp.99–104.
- McCool, D.K., Foster, G.R., and Weesies, G.A. (1997). “Slope length and steepness factors (LS), Chapter 4, pp. 101-141 in Renard et al. (1997).
- McCuen, R.H., Snyder, W.M., 1983. *Hydrologic Modeling: Statistical Methods and Applications*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Min, Y., 2011. Evaluation Of The Weather Generator Clgen with Daily Precipitation Characteristics in Korea. *The Korean Meteorological Society And Springer*, 47(3), Pp.255–263.
- Mitasova, H., Hofierka, J., Zlocha, M., Iverson, L.R., 1996. Modeling Topographic Potential For Erosion And Deposition Using GIS. *International Journal Of Geographical Information Science*, 10(5): 629-641.
- Model, W., 2005. Requirements For Major Factors Affecting Erosion ([Http://Topsoil.Nserl.Purdue.Edu/Nserlweb/Wepmain/Jhtml/Majfac.Html](http://Topsoil.Nserl.Purdue.Edu/Nserlweb/Wepmain/Jhtml/Majfac.Html))
- Moffet CA, Pierson FB, Robichaud PR, et al. (2007). Modeling Soil Erosion on Steep Sagebrush Rangeland Before and After Prescribed Fire. *Catena* 71(2):218-228.
- Mahmoodabadi, M Ve Cerda, A., 2013. WEPP Calibration for Improved Predictions of Interrill Erosion in Semi-Arid to Arid Environments. *Geoderma* 204-205: 75-83.
- Mohamadi, M.A. ve Kavian, A., 2015. Effects of Rainfall Patterns on Runoff and Soil Erosion in Field Plots. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(4), Pp.273–281.
- Moffet CA, Pierson FB, Robichaud PR, Et Al. (2007). Modeling Soil Erosion on Steep Agebrush Rangeland Before and After Prescribed Fire. *Catena* 71(2):218-228.
- Morales, J.R. ve Monterrosas, J.A.A., 2007. The Effect Of Rainfall , Slope Gradient And Soil Texture On Hydrological Processes In A Tropical Watershed. , Pp.8–11.
- Morgan, R.P.C., Quinton, J.N., Smith, R.E., Govers, G., Poesen, J.W.A., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D., Styczen, M.E., 1999. Reply to discussion on bThe European soil erosion model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surface Processes and Landforms* 24, pp. 567–568.
- Nachtergaele, J., Poesen, J., 2002. Spatial and Temporal Variations in Resistance of Loess Derived Soils to Ephemeral Gully Erosion. *Europen Journal of Soil Science* 53, 449-463.

- Nagy, R., Zsófi, Zs., Papp, I., Földvári, M., Kerényi, A. ve Szabó, Sz., 2012. Evaluation of the relationship between soil erosion and the mineral composition of the soil: a case study from a cool climate wine region of Hungary *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 7(1), 223–230.
- Nacinovic, M.G.G., Mahler, C., Avelar, A.D.S., 2014. Soil erosion as a function of different agricultural land use in Rio de Janeiro. *Soil & Tillage* 144; 164-173.
- Nash J, Sutcliffe J (1970). River flow forecasting through conceptual models part I-A discussion of principles. *Journal of hydrology* 10(3):282-290.
- Nearing, A.M., Lane, L.J., & Lopes, V.L. 1994. *Soil Erosion Research Methods*. CRC Press. Chap. Modeling soil erosion, pages 127–156.
- Nearing, M.A., 1998. Why Soil Erosion Models over-Predict Small Soil Losses and Under-Predict Large Soil Losses. *Catena* 32, 32, Pp.15–22.
- Nearing, M.A., Jetten, B., Baffaut, C., Cerdand, O., Couturierd, A., Hernandez, M., Bissonnaise, Y.L., Nicholas, M.H., Nunes, J.P., Renschlerg, C.S., Souche'reh. ve van Oosti, K., 2005. Modeling Response Of Soil Erosion And Runoff To Changes In Precipitation And Cover. *Catena* 61, 61, Pp.131–154.
- Nelson, D.W., Sommers, L.F., 1982. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, Page, A.L., Miller, R.H. Keeney, D.R. (ed) 2nd edition. S.S.S.of America Inc. Publisher, Madison, Wisconsin.
- Neyshabouri, M.R., AHMADI, A., Rouhipour, H., Asadi, H. ve Irannajad, M., 2011. Soil Texture Fractions and Fractal Dimension of Particle Size Distribution as Predictors Of Interrill Erodibility. *Turk J Agric For* 35, 35, Pp.95–102.
- Nicks, A. D.; Lane, L. J.; Gander, G. A. *Weather Generator*, 1995 In: *Water Erosion Prediction Project (WEPP)*. West Lafayette: USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory. Cap. 2, P.2.1-2.19.
- NSW Department of Primary Industries., 2012. Soil erosion solutions. Retrieved from <http://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/resources/soils/erosion>.
- Nunes, A.N., Almeida, A.C. De & Coelho, C.O.A., 2011. Impacts Of Land Use And Cover Type On Runoff And Soil Erosion In A Marginal Area Of Portugal. *Applied Geography*, 31(2), Pp.687–699.
- O'Geen, A.T., Schwankl, L.J., 2006. *Understanding Soil Erosion in Irrigated Agriculture*. Uni-versity of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Publication 8196. Oakland, CA.
- Oğuz, İ.1995. Çekerek Havzası Topraklarının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinden Yararlanarak Havza Topraklarının Su Erozyonuna Duyarlılık

Değerlendirmesinin Yapılması, Köy Hizmetleri Araştırma Projesi, Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Tokat.

Özsoy, G., 2007. Uzaktan Algılama (Ua) Ve Coğrafi Bilgi Sistemi (Cbs) Teknikleri Kullanılarak Erozyon Riskinin Belirlenmesi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı - Doktora Tezi Bursa. 154 s.

Öztaş, T., 1997. Toprak Degradasyonu. Ekoloji Çevre Dergisi, 22(1), Pp.31–33.

Pandey, A., Chowdary, V.M., Mal, B.C. ve Billib, M., 2008. Runoff And Sediment Yield Modeling From A Small Agricultural Watershed in India Using The Wepp Model. Journal Of Hydrology, Pp.305–319.

Pandey A, Chowdary V.M., Mal B.C., Billib M., (2009). Application of The WEPP Model for Prioritisation and Evaluation of Best Management Practises In An Indian Watershed. Hydrological Process 23, 2997-3005.

Parlak, M. ve Parlak, A.Ö., 2010. Measurement Of Splash Erosion In Different Cover Crops. Turkish Journal Of Field Crops, 2010, 15(2), Pp.169–173.

Parsons, J. ve Stone, P.M., 2006. Effects of intra-storm variations in rainfall intensity on interrill runoff and erosion. Volume 67, Issue 1, Pages 68–78

Perez-Bidegain, M., 2007. Modeling Phosphorus Transport Using The Wepp Model. Doctora Iowa State University.

Perrin C, Michel C, Andreassian V (2001) Does A Large Number Of Parameters Enhance Model Performance? Comparative Assessment Of Common Catchment Model Structures On 429 Catchments. J Hydrol 242:275-301

Pieri, L., Bittelli, M., Dun, S., Flanagan, D. C., Pisa, P. R., Ventura, F. Ve Salvatorelli, F., 2007. Using The Water Erosion Prediction Project (Wepp) Model to Simulate Field-Observed Runoff and Erosion in The Apennines Mountain Range , Italy. Journal Of Hydrology, 336, Pp.84–97.

Podmanicky, L., Balazs, K., Belenyesi, M., Centeri, Cs., Kristof, D., Kohlhenn, N., 2011. Modelling Soil Quality Changes In Europe. An Impact Assessment Of Land Use Change On Soil Quality In Europe. Ecological Indicators 11, S 4-5.

Poesen, J.W.A., Lavee, H., 1991. Effects of Size and Incorporation of Synthetic Mulch on Runoff and Sediment Yield from Interrills in A Laboratory Study with Simulated Rain-Fall. Soil and Tillage Research 21, 209–223.

Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G. ve Valentin, C., 2003. Gully erosion and environmental change: Importance and research needs. Catena, 50: 91-113.

Polyakov, V.O., Lal, R., 2004. Soil Erosion and Carbon Dynamics Under Simulated Rainfall. Soil Science 169, 590–599.

- Pullar D, Springer D (2000) Towards integrating GIS and catchment models. *Environ Modell Softw* 15:451-459
- Prasuhn, V., 2012. Soil & Tillage Research On-Farm Effects of Tillage and Crops on Soil Erosion Measured Over 10 Years in Switzerland. *Soil & Tillage Research*, 120, Pp.137–146. Available At: [Http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Still.2012.01.002](http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2012.01.002).
- Prosser, I.P., Rustomji P., Young, W.J., Moran, C.J. and Hughes, A.O. (2001) Constructing river basin sediment budgets for the National Land and Water Resources Audit. CSIRO Land and Water Technical Report 15/01, CSIRO Land and Water, Canberra, Australia.
- Pruski, F.F., and Nearing, M.A. (2002). “Runoff and Soil-Loss Responses to Changes in Precipitation: A Computer Simulation Study,” *J. of Soil and Water Cons.* 57(1) 7-16.
- Qiang, F., Wenwul, Z., Jun, W., Xiao, Z., Mingyue, Z., Lina, Z., Yuanxin, L. ve Xueninig, F., 2016. Effects Of Different Land-Use Types on Soil Erosion Under Natural Rainfall in The Loess Plateau , China. *Pedosphere: An International Journal*, 26(2), Pp.243–256..
- Qian-Kun, G.U.O., Bao-yuan, L., Yun, X., Ying-na, L. ve Shui-qing, Y., 2015. Estimation of Usle Crop and Management Factor Values for Crop Rotation Systems in China. *Journal Of Integrative Agriculture*, 14(9), Pp.1877–1888.
- Qinjuan, C., Qiangguo, C.A.I. ve Wenjun, M.A., 2008. Comparative Study on Rain Splash Erosion Of Representative Soils In China. *Chin. Geogra. Sci.* 2008, 18(2), Pp.155–161.
- Ramsankaran, R.A.A.J., Kothiyari, U.C. ve Rawat, J.S., 2009. Simulation Of Surface Runoff and Sediment Yield Using The Water Erosion Prediction Project (Wepp) Model: A Study in Kaneli Watershed , Himalaya , India / Simulation De Ruissellement De Surface Et D ’ Érosion À L ’ Aide Du Modèle Wepp : Cas Du Bassin Ve. *Hydrological Sciences Journal*, 54(3), Pp.513–525.
- Ran, Q., Su, D., Li, P. ve He, Z., 2012. Experimental Study of The Impact of Rainfall Characteristics on Runoff Generation And Soil Erosion. *Journal Of Hydrology*, 424-425, Pp.99–111.
- Reichert, J.M. ve Norton, L.D., 2013. Rill And Interrill Erodibility and Sediment Characteristics of Clayey Australian Vertosols and A Ferrosol. *Soil Research*, (1989), Pp.1–9.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K. Ve Yader, D. C., 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agriculture Handbook No: 703* Washington D. C: USDA.

- Ries, J.B., Hirt, U., 2008. Permanence of Soil Surface Crusts on Abandoned Farmland in The Central Ebro Basin/Spain. *Catena* 72, 282–296.
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils, U.S.D.A. Handbook, No: 60.
- Risse, L.M. ve Nearing, M.A., 1991. W.E.P.P. Hillslope Erosion Model Predictions for Natural Runoff Plots. Proceedings of The 1991 Georgia Water Resources Conference.
- Risse, L.M., 1994. Validation of WEPP Using Natural Runoff Plot Data. Ph.D. Dissertation, National Soil Erosion Research Laboratory, Purdue University, West Lafayette, IN, 230 Pp.
- Risse, L.M., Nearing, M.A. ve Zhang, X.C., 1995. Variability In Green-Ampt Effective Hydraulic Under Fallow Conditions. *Journal Of Hydrology* 169, 169, Pp.1–24.
- Robichaud, P.R., Elliot, W.J., Pierson, F.B., Hall, D.E., Moffet, C.A., 2007. Predicting Postfire Erosion and Mitigation Effectiveness With A Web-Based Probabilistic Erosion Model. *Catena* 71, 229–241.
- Ruiz-Sinoga, J.D., Martínez-Murillo, J.F., 2009. Effects of Soil Surface Components on Soil Hydrological Behaviour in A Dry Mediterranean Environment (Southern Spain). *Geomorphology* 108, 234–245.
- Saavedra, C., 2005. Estimating Spatial Patterns Of Soil Erosion And Deposition In The Andean Region Using Geo-Information Techniques,
- Sadeghi, S.H.R., Azari, M. ve Ghaderivangah, B., 2008. Field Evaluation of The Hillslope Erosion Model (HEM) In Iran. *Biosystems Engineering* 99, 99, Pp.304–311.
- Shen, Z.Y., Gong, Y.W., Li, Y.H., Hong, Q., Xu, L., Liu, R.M., 2009. A Comparison Of WEPP And SWAT for Modeling Soil Erosion of The Zhangjiachong Watershed in The Three Gorges Reservoir Area. *Agricultural Water Management* 96 (10), 1435–1442.
- Santoro, V.C., Amore, E., Modica, C., Nearing, M.A., 2002. Application of Two Soil Erosion Models to A Large Sicilian Basin, Proceedings of The III International Congress of European Society for Soil Conservation, Valencia.
- Santos, C.A.G., Srinivasan, V.S., Suzuki, K. & Watanabe, M. ,(2003). Application Of An Optimization Technique To A Physically Based Erosion Model. *Hydrol. Processes* 47, 989–1003, Doi:10.1002/Hyp.1176.
- Sole´ -Benet, A., Calvo, A., Cerda`, A., Lazaro, R., Pini, R., Barbero, J., 1997. Influences of Micro-Relief Patterns and Plant Cover on Runoff Related Processes in Badlands from Tabernas (SE Spain). *Catena* 31, 23–38.

- Souksakoun, K., 2008. Soil loss assessment at regional scale for different land use/cover types; Case study in Lomsak district, Phetchabun, Thailand. Yüksek lisans tezi. Science in Geo-information Science and Earth Observation, 82 s.
- Soto, B., Dfaz-Fierros, F., 1998. Runoff and Soil Erosion From Areas of Burnt Scrub: Comparison of Experimental Results with Those Predicted by The WEPP Model *Catena* 31, 257-270.
- Schillinger, W.F. ve Papendick, R.I., 1997. Tillage Mulch Depth Effects During Fallow on Wheat Production and Wind Erosion Control Factors. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61(3), Pp.871–876.
- Schmengler, A.C., 2011. Modeling Soil Erosion And Reservoir Sedimentation At Hillslope And Catchment Scale In Semi-Arid Burkina Faso. *Ecology And Development Series No. 80*, (80).
- Schumacher, T.E. Et Al., 1999. Modeling Spatial Variation In Productivity Due To Tillage And Water Erosion. *Soil & Tillage Research* 51, 51, Pp.331–339.
- Shen, Z., Gong, Y., Li, Y., Liu, R., 2010. Analysis and Modeling of Soil Conservation Measures in The Three Gorges Reservoir Area in China. *Catena*, 81(2), Pp.104–112. Available At: [Http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Catena.2010.01.009](http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Catena.2010.01.009).
- Schmidt, J., Werner, M.V., Michael, A., 1999. Application of The EROSION 3D Model to the CATSOP Watershed, The Netherlands. *Catena* 37, 449 – 456.
- Sidorchuk, A.Y., Golosov, V., 2003. Erosion and sedimentation on the Russian Plain, II: the history of erosion and sedimentation during the period of intensive agriculture. *Hydrol. Process.* 17, 3347–3358.
- Siepel A C; Steenhuis T S; Rose C W; Parlange J Y; McIsaac G F., 2002. A Simplified Hillslope Erosion Model with Vegetation Element for Practical Applications. *Journal of Hydrology*, 258, 111–121
- Simanton, J.R. ve Larsen, H.D., 1991. Rangeland Experiments to Parameterize The Water Erosion Prediction Project Model: Vegetation Canopy Cover Effects. *Journal of Range Management*, 44, Pp.276–281.
- Singh, R.K., Panda, R.K., Satapathy, K.K. Ve Ngachan, S.V., 2011. Simulation of Runoff and Sediment Yield from A Hilly Watershed in The Eastern Himalaya, India Using The WEPP Model. *J Hydrol*, 405, 261-76.
- Smith, R.E., Goodrich, D.C., Quinton, J.N., 1995. Dynamic, Distributed Simulation Of Watershed Erosion: The KINEROS2 And EUROSEM Models. *Journal Of Soil And Water Conservation* 50 (5), 517–520.
- Sivapalan, M. 2003. Prediction in ungauged basins: a grand challenge for theoretical hydrology. *Hydrol Process*, 17(15), 3163–3170.

- Stavi, I. ve Lal, R., 2011. Variability of soil physical quality in uneroded, eroded, and depositional cropland sites. *Geomorphology* 125, 85–91.
- Stevens, C.J., Quinton, J.N., Bailey, A.P., Deasy, C., Silgram, M., Jackson, D.R., 2009. The Effects of Minimal Tillage, Contour Cultivation and In-Field Vegetative Barriers on Soil Erosion and Phosphorus Loss. *Soil and Tillage Research* 106 (1) 145–151.
- Strudley, M.W., Green, T.R. and Ii, J.C.A., 2008. Tillage Effects on Soil Hydraulic Properties in Space and Time : State of The Science. *Soil & Tillage Research* 99, 99, Pp.4–48.
- Summer, W., Klaghofer, E. and Zhang, W., 1998. Modelling Soil Erosion, Sediment Transport and Closely Related Hydrological Process, IAHS-AISH Publication. No 249. IAHS, 453 pp.
- Sun, W., Shao, Q, Liu, J and Zhai, J., 2014. Assessing The Effects Of Land Use And Topography On Soil Erosion On The Loess Plateau In China. *Catena*, 121, Pp.151–163. Available At: [Http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Catena.2014.05.009](http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2014.05.009).
- Symeonakis E, Drake N (2010) 10-Daily soil erosion modelling over sub-Saharan Africa. *Environ Monit Assess* 161:369-387.
- Tammets, T., 2010. Estimation Of Extreme Wet And Dry Days Through Moving Totals In Precipitation Time Series And Some Possibilities For Their Consideration In Agrometeorological Studies. *Agronomy Research* 8, 8, Pp.433–438.
- Tao, W., Bo, Z.H.U. ve Lizhong, X.I.A., 2012. Effects Of Contour Hedgerow Intercropping On Nutrient Losses From The Sloping Farmland In The Three Gorges Area , China. *J. Mt. Sci.* (2012), 9, Pp.105–114.
- Thomann, R.V., 1982. Verification of water quality models. *Journal of the Environmental Engineering Division* 108 (5), 923–940.
- Thorne, P.D. 1991. Measuring suspended sediment concentration using acoustic backscatter devices. *Marine Geology*, 98, 7–16.
- Tiwari, A.K., Risse, L.M. ve Nearing, M.A., 2000. Evaluation Of Wepp And Its Comparison With Usle And Rusle. *Transactions Of The Asae*, 43(5), Pp.1129–1135.
- Toy, T.J., Foster, G.R., & Renard, K.G. 2002. *Soil Erosion*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Turan, İ., 2011. Temel İstatistik Dağılımları, Tanımlayıcı Ölçüler, Dağılım Ölçüleri, Ders Notları.

- Tuset, J., Vericat, D. ve Batalla, R.J., 2016. Rainfall , Runoff and Sediment Transport in A Mediterranean Mountainous Catchment. *Science Of The Total Environment*, 540, Pp.114–132.
- USDA-ARS, 2008b. User's reference guide Revised Universal Soil Loss Equation Version 2..
http://www.ars.usda.gov/sp2UserFiles/Place/64080510/RUSLE/RUSLE2_User_Ref_Guide.pdf (01.03.13).
- Vaezi, A.R., 2014. Modeling Runoff From Semi-Arid Agricultural Lands In Northwest Iran 1. *Pedosphere: An International Journal*, 24(5), Pp.595–604.
- Vaghefi, P. ve Yu, B., 2011. Use Of Cligen To Simulate Climate Change In Southeastern Australia. *Transactions Of The Asabe*, 54(3), Pp.857–867.
- Van Oost, K., Govers, G. and Desmet, P., 2000a: Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landscape Ecology* 15, 577–89.
- Wilson, A.L., Dehaan, R.L., Watts, R.J., Page, K.J., Bowmer, K.H.,ve Curtis, A. (2007). Proceedings of The 5th Australian Stream Management Conference. *Australian Rivers: Making A Difference*. Charles Sturt University, Thurgoona, New South Wales.
- Viney, N.R., Sivapalan, M., 1999. A Conceptual Model of Sediment Transport: Application to The Avon River Basin In Western Australia. *Hydrological Processes* 13, 727 – 743.
- Viney, N.R., Sivapalan, M., Deeley, D., 2000. A Conceptual Model of Nutrient Mobilisation And Transport Applicable At Large Catchment Scales. *Journal of Hydrology* 240, 23 – 44.
- Valentin, C., Bresson, Lm., 1998. Soil Crusting. In: *Methods For Assessment Of Soil Degradation*, Eds R Lal Wh Blum C Valentine & Ba Stewart, Crc Press Boca Raton Fl.
- Wall, O.S.G., 2003. Soil Erosion - Causes and Effects.
<http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/87-040.htm>)
- Wang, G., Fang, Q., Wu, B., Yang, H. ve Xu, Z., 2015. Relationship Between Soil Erodibility and Modeled Infiltration Rate in Different Soils. *Journal Of Hydrology*, 528, Pp.408–418.
- Wei, H. Nearing, M. A., Stone, J. J., Guertin, D. P., Spaeth, K. E., Pierson, F. B., Nichols, M. H. ve Moffet, C. A., 2009. A New Splash And Sheet Erosion Equation For Rangelands. *Soil & Water Management & Conservation*, 73(4), Pp.1386–1392.

- Wei, W., Chen, L., Fu, B. ve Chen, J., 2010. Water Erosion Response to Rainfall and Land Use in Different Drought-Level Years in A Loess Hilly Area of China. *Catena*, 81(1), Pp.24–31.
- Wei, W., Chen, L., Zhang, H., Yang, L., Yu, Y., Chen, J., 2014. Catena Effects of Crop Rotation and Rainfall on Water Erosion on A Gentle Slope in The Hilly Loess Area , China. *Catena*, 123, Pp.205–214.
- Western, A.W., Blöschl, G., 1999. On the spatial scaling of soil moisture. *J. Hydrol.* 217, 203–224.
- Wie, J.B. Van, Adam, J.C. ve Ullman, J.L., 2013. Conservation Tillage in Dryland Agriculture Impacts Watershed Hydrology. *Journal of Hydrology*, 483, Pp.26–38. Available At: [Http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Jhydrol.2012.12.030](http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Jhydrol.2012.12.030).
- Williams, J.R. (1975). “Sediment Yield Prediction With Universal Equation Using Runoff Energy Factor.”Agricultural Research Service Report ARS-S-40. U.S. Department Of Agriculture.
- Williams, J.D., 2016. Contour Planting : A Strategy To Reduce Soil Erosion On Steep Slopes. International Conference On Precision Agriculture.
- Wilks, D.S., 1992. Adapting Stochastic Weather Generation Algorithms for Climate Change Studies. *Clim. Change* 22, 67-84.
- Wischmeier WH, Smith DD (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 282. U.S. Dept. of Agriculture. p. 57.
- Woźniak, A., 2013. The Effect Of Tillage Systems On Yield and Quality of Durum Wheat Cultivars. *Turkish Journal Of Agriculture And Forestry*, 37, Pp.133–138.
- Wu, X. ve Wang, X., 2011. Spatial Influence Of Geographical Factors on Soil Erosion in Fuyang County , China. *Procedia Environmental Sciences* 10, 10, Pp.2128–2133. Available At: [Http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Proenv.2011.09.333](http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Proenv.2011.09.333).
- Xie, C.Y., Chen, X.Y., He, B.H., Wei, C.F., 2003. Evaluation of Soil Erodibility in WEPP Model. *Scientific and Technical Information of Soil and Water Conservation* 4, 6–9 (In Chinese, With English Abstr.).
- Xinxiao Y, Xiaoming Z, Lili N (2009) Simulated Multi-Scale Watershed Runoff and Sediment Production Based on Geowep Model. *Int J Sedim Res* 24(4):465–478
- Yan, Z., Bao-Yuan, L., Qing-Chun, Z. ve Yun, X., 2003. Effect Of Different Vegetation Types On Soil Erosion By Water. *Acta Botanica Sinica*, 45(10), Pp.1204–1209.
- Yair, A., Raz-Yassif, N., 2004. Hydrological Processes in A Small Arid Catchment: Scale Effects of Rainfall and Slope Length. *Geomorphology* (1–2), 155–169.

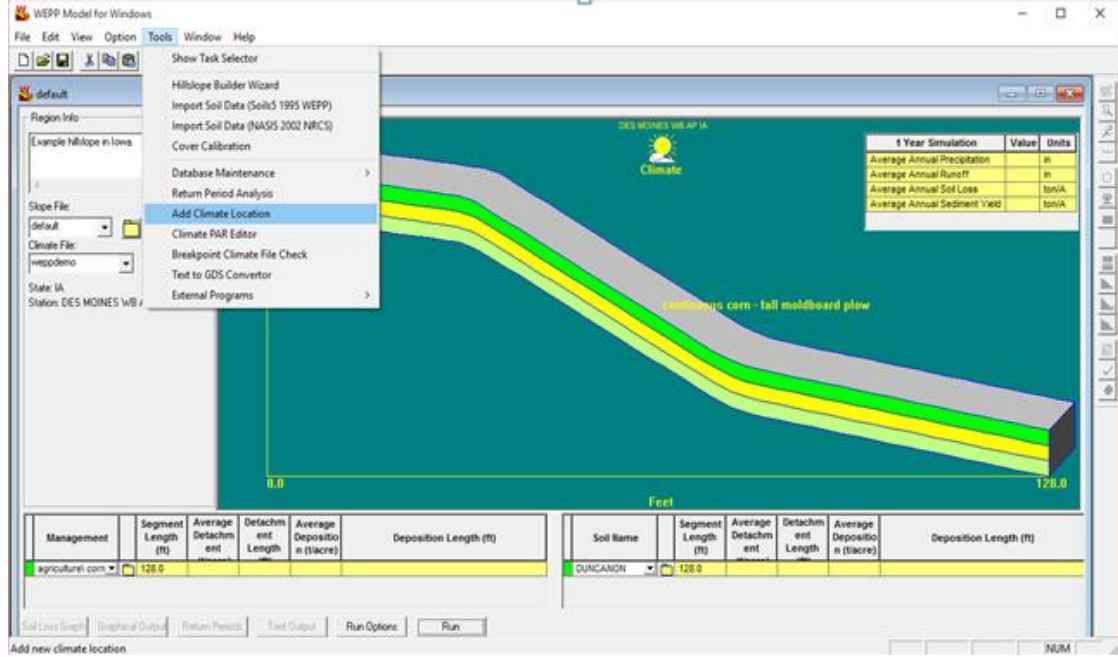
- Yılmaz, E., 2006. Çamlıdere Baraj Havzasında Erozyon Problemi ve Risk Analizi,(Yüksek Lisans Tezi), Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Yoo, C., 2006. Long Term Analysis Of Wet and Dry Years İn Seoul, Korea. *Journal Of Hydrology* 318, 318, Pp.24–36.
- Yu, B., 2000. Improvement And Evaluation Of Cligen For Storm Generation. *Transactions Of The Asae*, 43(2), Pp.301–307.
- Yu, B., 2002. Using Cligen To Generate Rusle Climate Inputs. *Transactions Of The Asae*, 45(4), Pp.993–1001.
- Yu, B., 2003. An Assessment Of Uncalibrated Cligen İn Australia. , 119(May), Pp.131–148.
- Yu, B., 2005. Adjustment Of Cligen Parameters to Generate Precipitation Change Scenarios in Southeastern Australia. *Catena* 61, 61, Pp.196–209.
- Yujra, G.C., 2010. Assessment Of Uncertainties Of Soil Erosion And Sediment Yield Estimates At Two Spatial Scales In The Upper Llobregat Basin (Se Pyrenees , Spain) Gusman Catari Yujra Ph . D . Dissertation Institute Of Environmental Assessment And Water Research - Idae,
- Yüksel, A., Akay, A. E., Gündoğan, R., Reis, M. ve Çetiner, M., 2008. Application Of Geowep For Determining Sediment Yield And Runoff İn The Orcan Creek Watershed İn Kahramanmaraş, Turkey. *Sensors* 2008, 8, Pp.1222–1236.
- Zavala, L.M., Jordán, A., Bellinfante, N., Gil, J., 2010. Relationships Between Rock Fragment Cover and Soil Hydrological Response in A Mediterranean Environment. *Soil Science & Plant Nutrition* 56, 95–104.
- Zejun, T., Tingwu, L., Qingwen, Z. ve Jun, Z., 2002. The Sealing Process And Crust Formation At Soil Surface Under The Impacts Of Raindrops And Polyacrylamide. 12th Isco Conference, Pp.456–462.
- Zeke, G., 2001. Application and Adaptation of Wepp to The Traditional Farming Systems of The Ethiopian Highlands. 10th International Soil Conservation Organization Meeting, Pp.903–912.
- Zhang, X.C.,1996. Evaluation Of Wepp Runoff And Soil Loss Predictions Using Natural Runoff Plot Data. *Transactions Of The Asae*, 39(3), Pp.855–863.
- Zhang Y, Liu B Y, Shi P J, Jiang Z S. 2001. Crop Cover Factor Estimating for Soil Loss Equation. *Acta Ecologica Sinica*, 21, 1050–1056. (In Chinese)
- Zhang, Z.C. ve Garbrecht J. D., 2002. Recipitation Retention And Soil Erosion Under Varying Climate, Land Use, And Tillage And Cropping Systems. *Journal of The American Water Resources Association*. Volume 38, Issue Pages 1241–1253.

- Zhang, X.C., 2004. Calibration, Refinement, And Application Of The Wepp Model For Simulating Climatic Impact On Wheat Production. *Transactions Of The Asae*, 47(4), Pp.1075–1086.
- Zhang, X.-C., 2005. Generating Correlative Storm Variables For Cligen Using A Distribution-Free Approach. *Transactions Of The Asae*, 48(2), Pp.567–575.
- Zhang, X., Li, Z., Tang, Z., Zeng, G., Huang, J., Guo, W., Chen, X. ve Hirsh, A., 2013. Geomorphology Effects Of Water Erosion On The Redistribution Of Soil Organic Carbon In The Hilly Red Soil Region Of Southern China. *Geomorphology*, 197, Pp.137–144..
- Zhang G H, Liu G, Wang G., 2012. Spatial And Temporal Variation Of Precipitation In Sudan And Their Possible Causes During 1948 – 2005. *Stoch Environ Res Risk Assess* (2012), 26, Pp.429–441.
- Zhang, Z., Sheng, L., Yang, J., Chen , X.A., Kong, L. ve Wagan, B., 2015. Effects Of Land Use And Slope Gradient On Soil Erosion In A Red Soil Hilly Watershed Of Southern China. *Sustainability* 2015, 7, Pp.14309–14325.
- Zhen-wei, L., Guang-hui, Z., Ren, G. ve Hao, W., 2015. Rill erodibility as influenced by soil and land use in a small watershed of the Loess Plateau, China. *Sciencedirect* 129, 248-257.
- Zhao J, Li Y. 2005. Effects of soil-drying layer on afforestation in the Loess Plateau of Shaanxi. *J Desert Res* (in Chinese). 25: 370–373.
- Zhao, X., Huang, J., Gao, X., Wu, P., Wang, J., 2014. Runoff Features of Pasture and Crop Slopes at Different Rainfall Intensities , Antecedent Moisture Contents and Gradients On The Chinese Loess Plateau : A Solution of Rainfall Simulation Experiments. *Catena*, 119, Pp.90–96.
- Zhu, T.X. ve Zhu, A.X., 2014. Journal Of Hydrology : Regional Studies Assessment Of Soil Erosion And Conservation On Agricultural Sloping Lands Using Plot Data In The Semi-Arid Hilly Loess Region Of China. *Journal Of Hydrology: Regional Studies*, 2, Pp.69–83.
- Ziegler, A.D., Giambelluca, T.W., Sutherland, R.A., 2001. Erosion Prediction on Unpaved Mountain Roads in Northern Thailand: Validation of Dynamic Erodibility Modeling Using KINEROS2. *Hydrological Processes* 15, 337 – 358.

7. EKLER

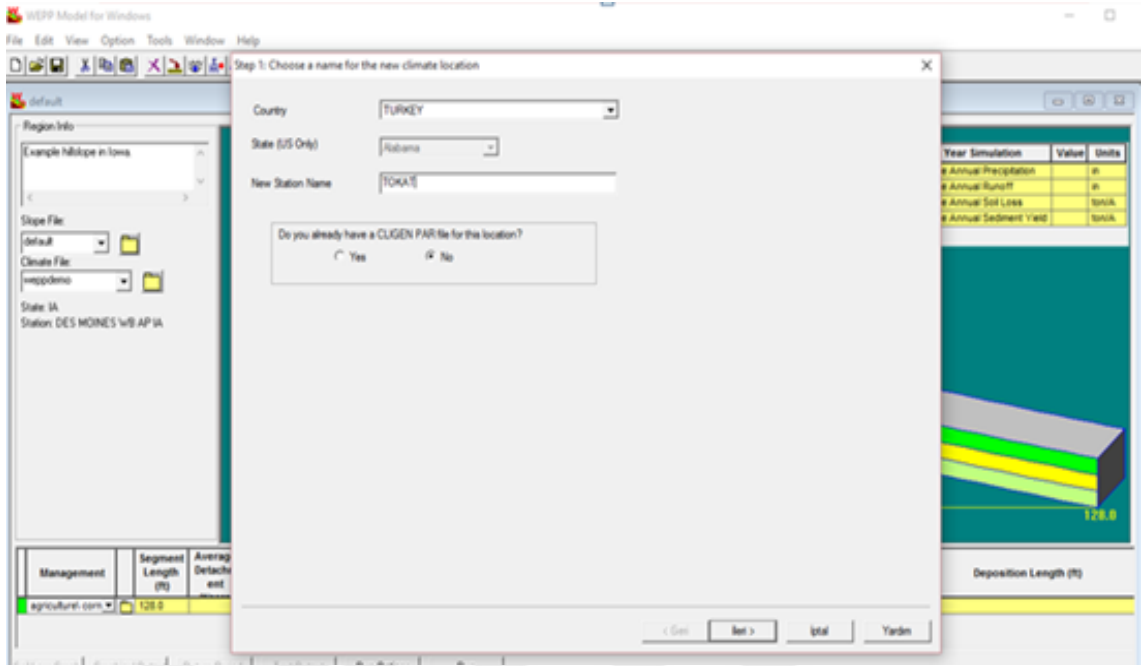
7.1. Ek 1 - Gözlemlenen Verileri Kullanarak İstasyon İlave Edilmesi

Araçlar menüsünden ‘Add Climate Location’ seçilir (Şekil 1).



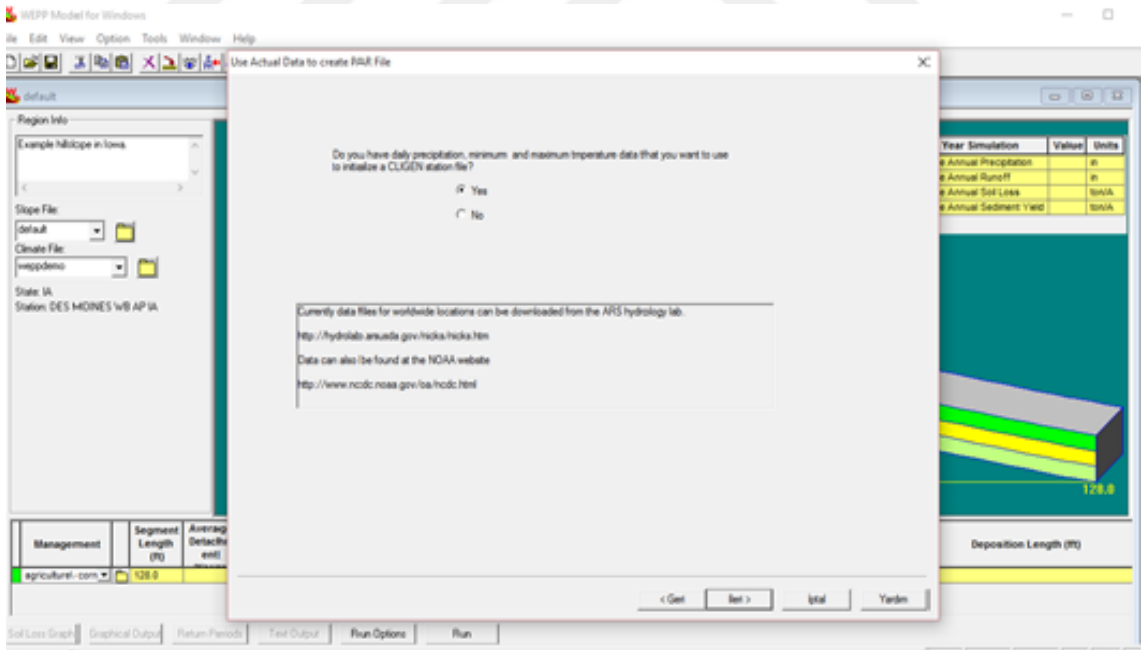
Şekil 7.1. WEPP Hillslope modelin istasyon yüklemesi (1.)

Ekranaya gelen menüden ülke ve çalışılan lokasyonun ismi kaydedilir. Aşağıda modelin sizin için ‘par’ dosyası oluşturmasını istiyor musunuz sorusuna EVET ya da HAYIR olarak cevap verilir ve ileri butonu tıklanır (Şekil 2).



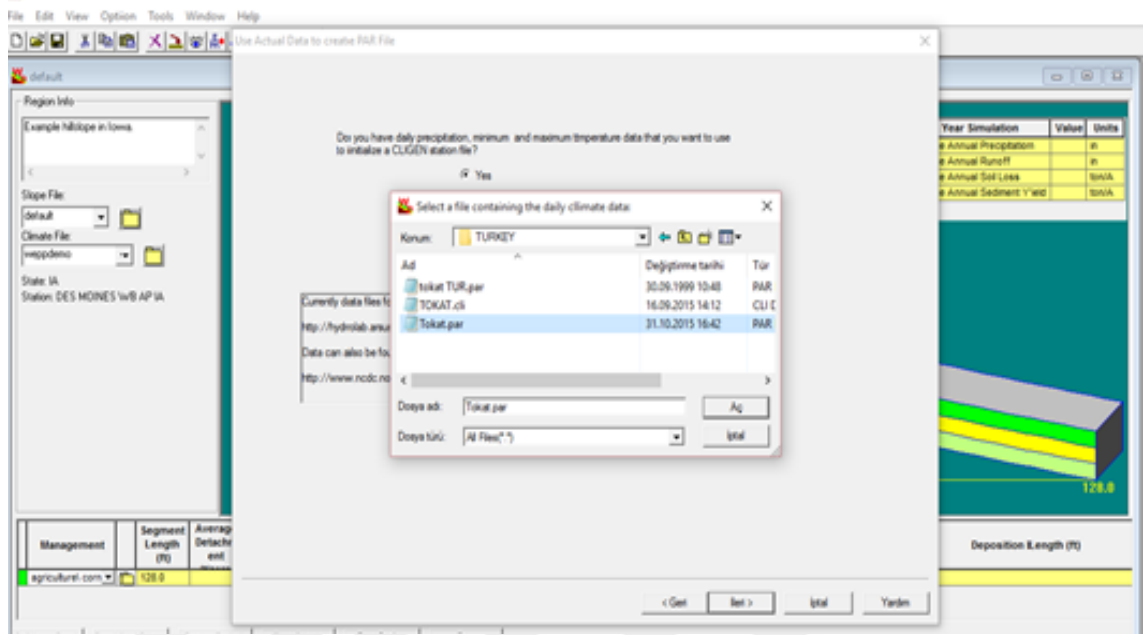
Şekil 7.2. WEPP Hillslope modelin istasyon yüklemesi (2.)

Ekrana gelen menüden Yes olan kutucuk işaretlenir (Şekil 3).



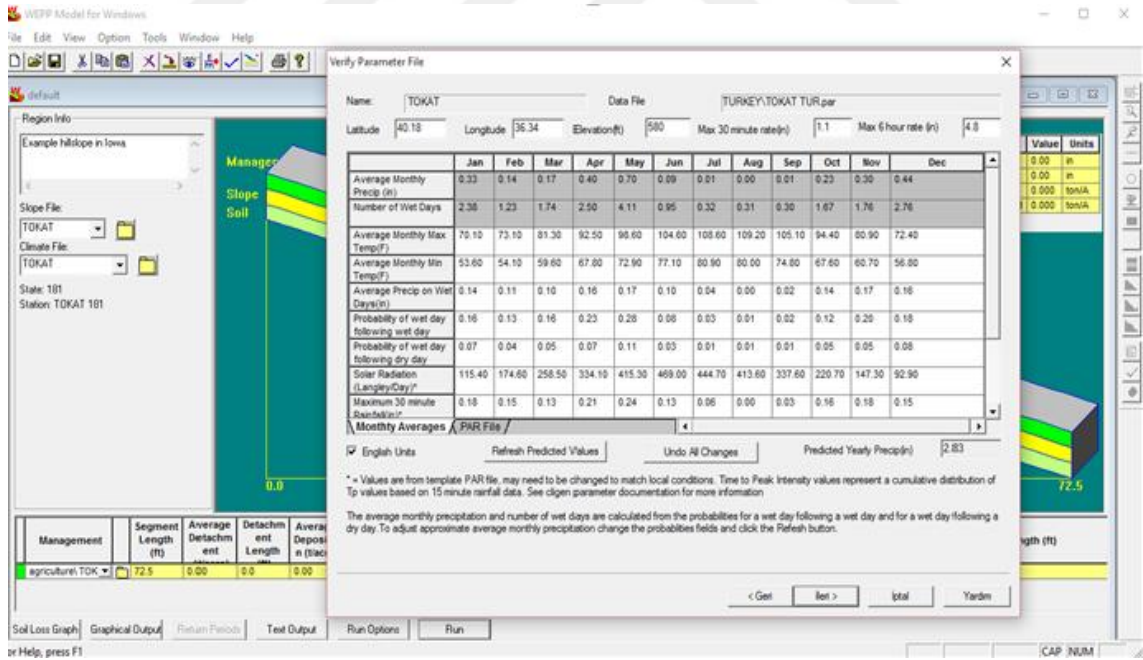
Şekil 7.3. WEPP Hillslope modelin istasyon yüklemesi (3.)

TURKEY dosyasından 'Tokat.par' dosyası seçilir (Şekil 4).



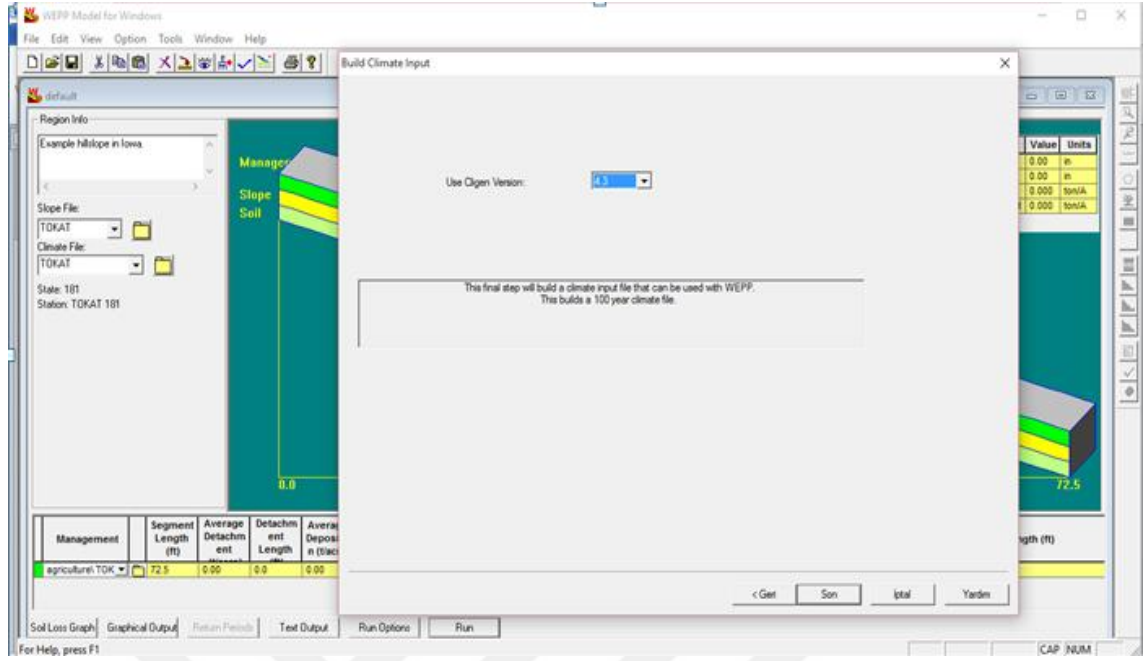
Şekil 7.4. WEPP Hillslope modelin istasyon yüklemesi (4.)

Hazırlanan dosya ekranda görülmektedir (Şekil 5).



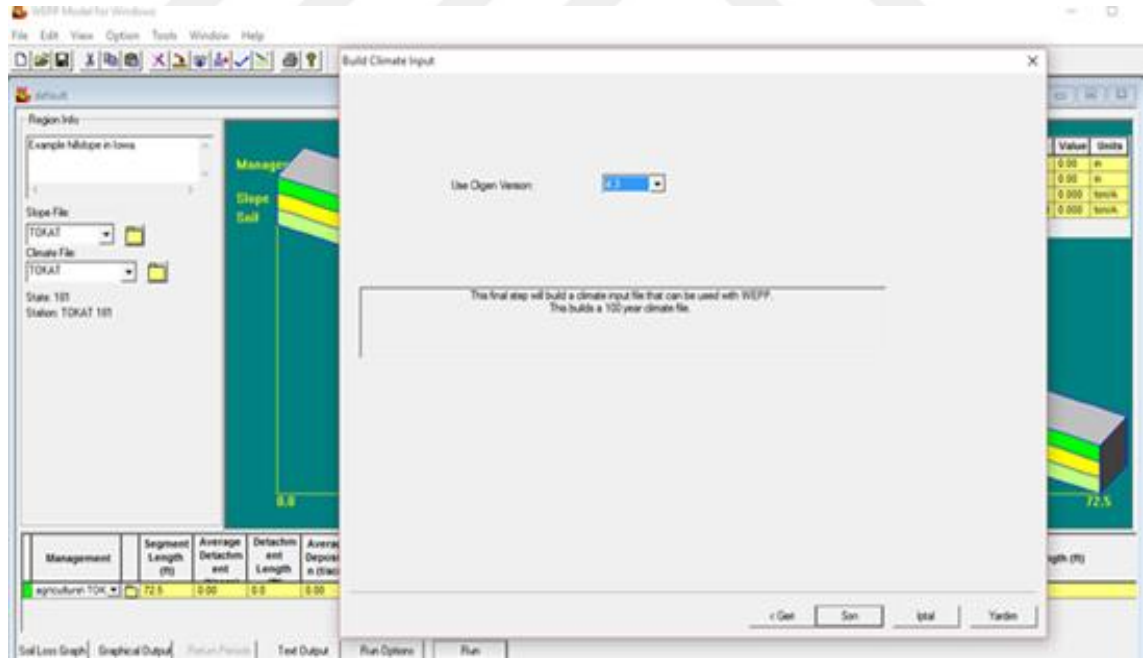
Şekil 7.5. WEPP Hillslope modelin istasyon yüklemesi (5.)

Çıkan menüden SON yazan kutucuk işaretlenir ve böylece yeni bir istasyon eklenmiş olur.(Şekil 6).



Şekil 7.6. WEPP Hillslope modelin istasyon yüklemesi (6.)

Mousun sağ tuşu Climate (Güneş) dosyasının üzerine tıklanır (Şekil 7) ve

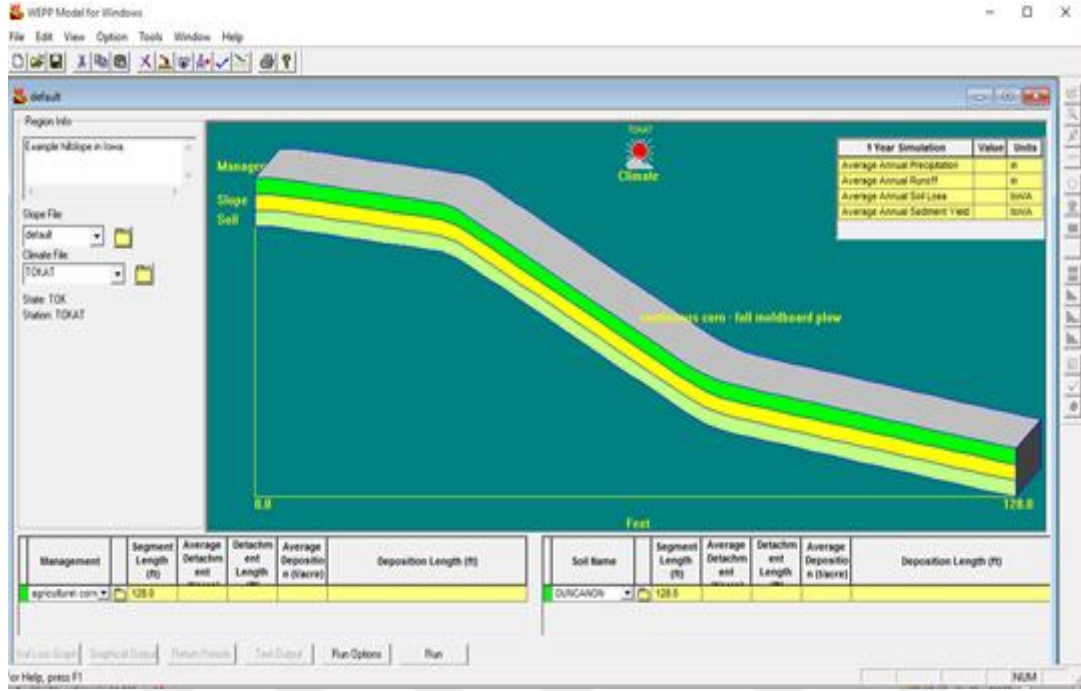


Şekil 7.7. WEPP Hillslope modelin istasyon yüklemesi (7.)

Böylece hazırlanmış olan iklim dosyası modele yüklenmiş olur.

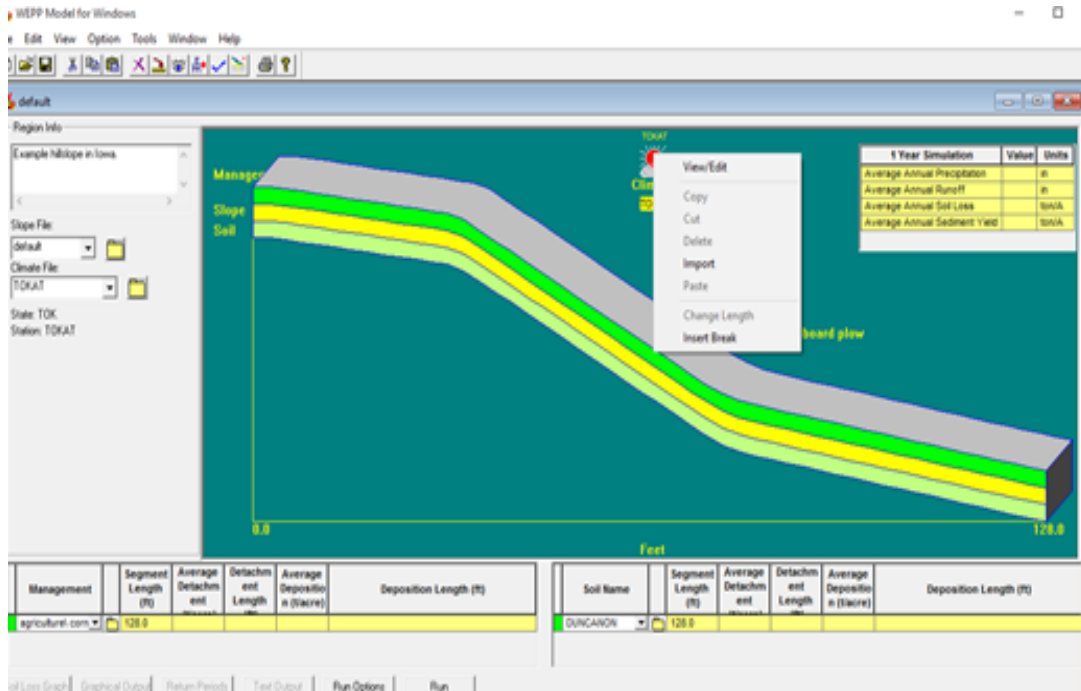
7.2. Ek 2 - WEPP Hillslope Model Çıktı Uygulaması Akış Şeması

Climate file dosyasından istenilen dosyayı seçmek için güneş tıklanır (Şekil 8).

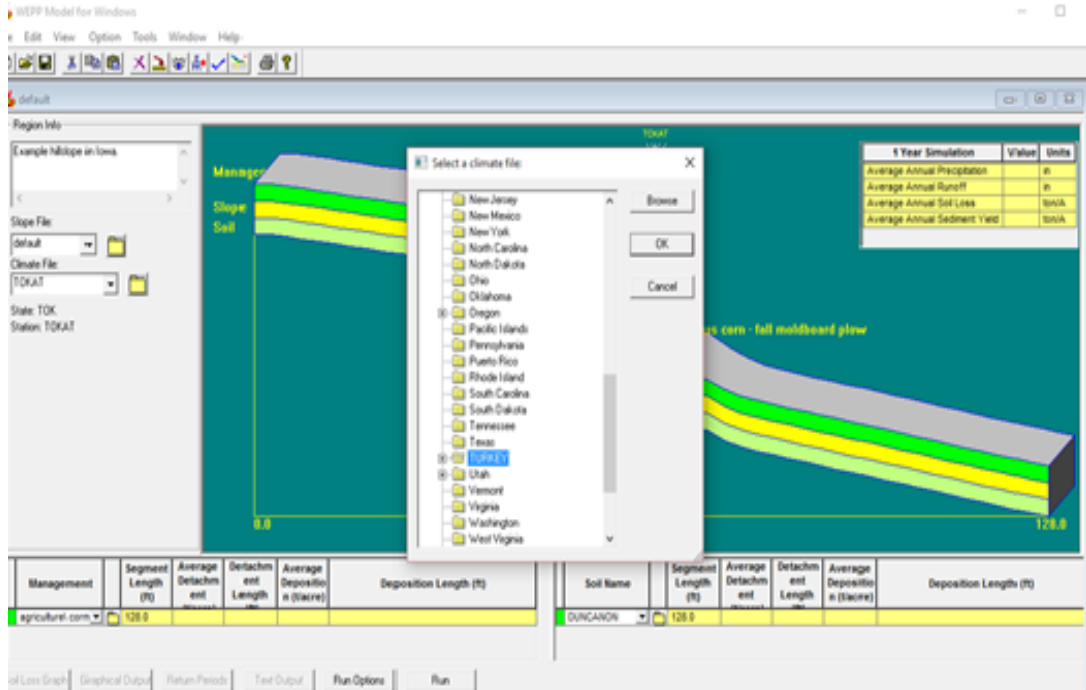


Şekil 7.8. WEPP Hillslope model simülasyon ekranı (1.)

Gelen ekrandan 'Import' ve menüden TURKEY dosyası seçilir (Şekil 3-14).

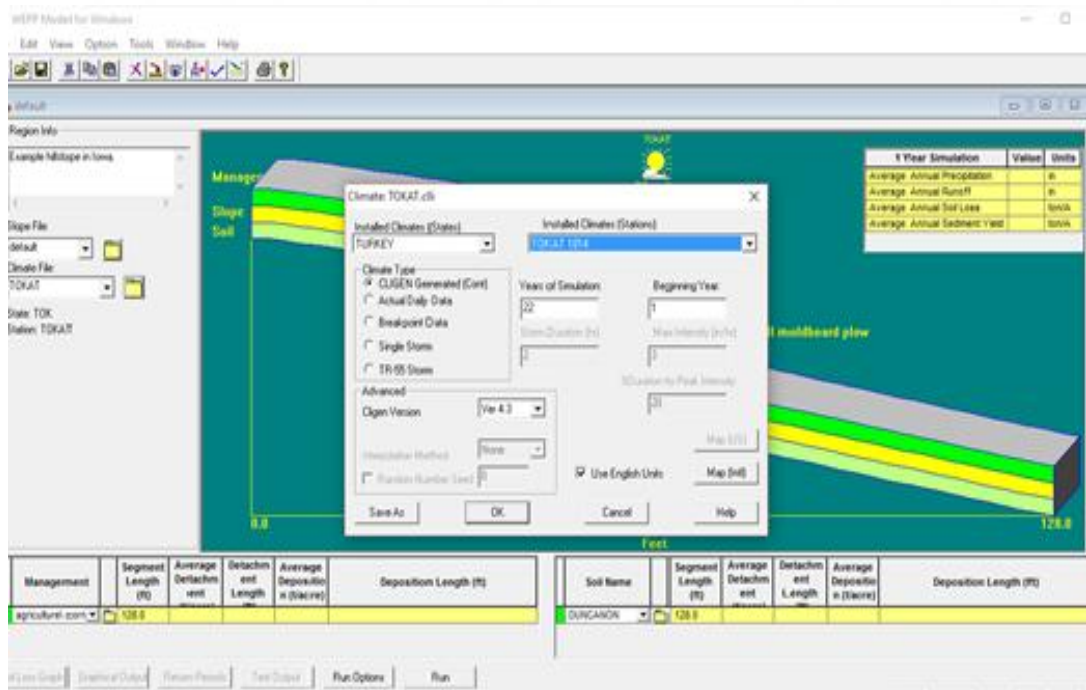


Şekil 7.9. WEPP Hillslope model simülasyon ekranı (2.)



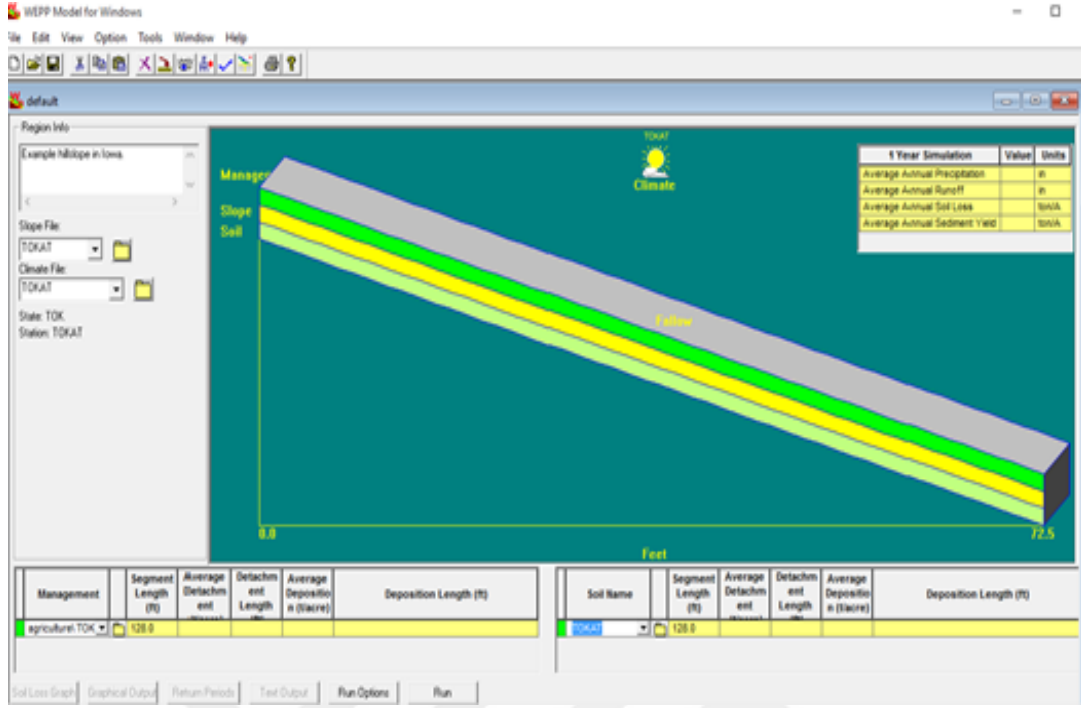
Şekil 7.10. WEPP Hillslope model simülasyon ekranı (3.)

Çıkan menüden daha önceden yüklenmiş olan istasyon 'par' dosyası seçilerek OK tuşuna basılır (Şekli 3-16).



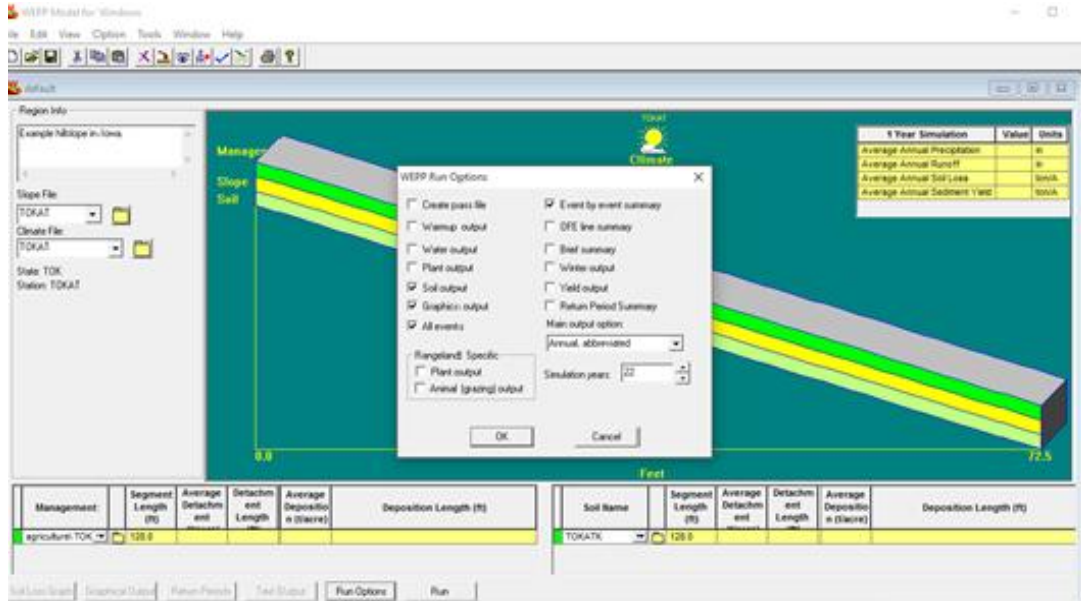
Şekil 7.11. WEPP Hillslope model simülasyon ekranı (4.)

TOKAT iklim dosyası yüklenmiş olur (Şekil 3-17).



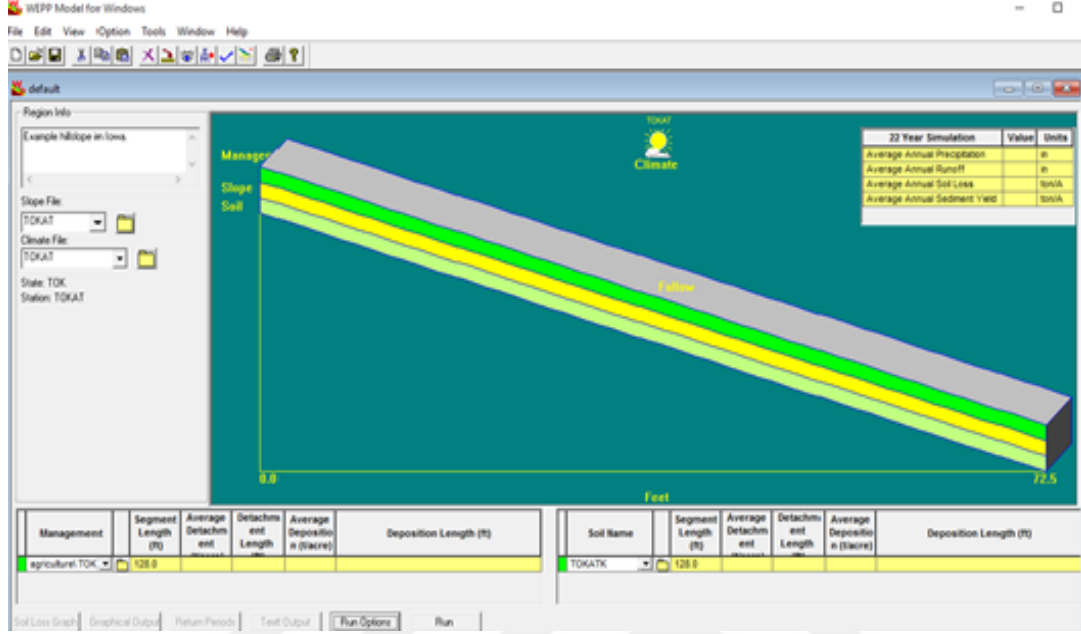
Şekil 7.12. WEPP Hillslope model simülasyon ekranı (5.)

Slope file dosyasının üzeri tıklanarak TOKAT.slp dosyası seçilir. Ortalama toprak kayıplarına göre, slope profilindeki renk de hafif kırmızıdan koyu kırmızıya kadar değişmektedir. Böylece ekranda eğimin artmasına bağlı olarak meydana gelen maksimum toprak kayıplarını da görmek mümkündür (Şekil 3.18).



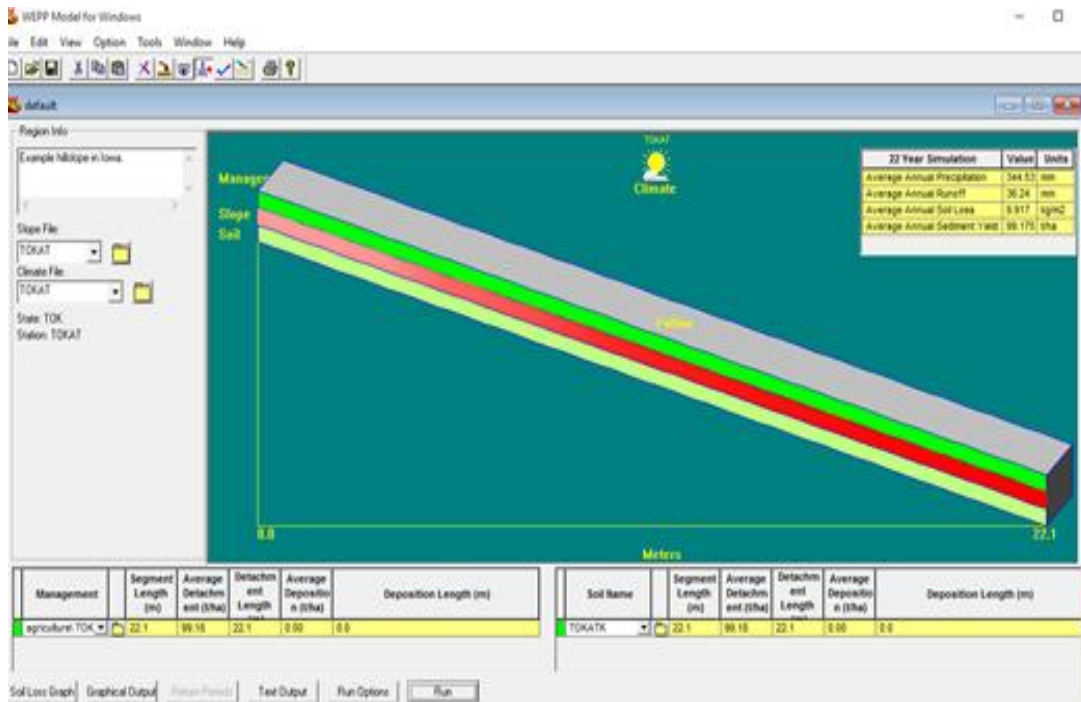
Şekil 7.13. WEPP Hillslope model simülasyon ekranı (6.)

Management dosyasının üzeri tıklanır ve daha önceden hazırlanmış olan TOKAT dosyası tıklanır (Şekil 3.19).



Şekil 7.14. WEPP Hillslope model simülasyon ekranı (7.)

Hazırlanan *Toprak.par* dosyasını ekrana getirmek için. Soil file tıklanır ve dosya seçilir (Şekil 3.20).



Şekil 7.15. WEPP Hillslope model simülasyon ekranı (8.)

Run Option menüsünden istenilen seçenekler seçilir ve RUN tuşuna basılarak model çalıştırılır. Modelin Çıktıları olarak Cligen dosyası olarak ekranda görülmektedir (Şekil 3.21).



8. ÖZGEÇMİŞ

ŞAHSİ BİLGİLERİ

| | |
|---------------|-------------------------|
| Adı Soyadı | Saniye DEMİR |
| Doğum Yeri | Sivas |
| Medeni Durumu | Evli |
| Yabancı Dil | İngilizce (UDS-78.75) |
| E-mail | saniye.demir@gop.edu.tr |

EĞİTİM BİLGİLERİ

| Derece | Alanı | Üniversite | Yıl |
|---------------|----------------------|----------------------------|------|
| Doktora | Toprak | Gaziosmanpaşa Üniversitesi | 2016 |
| Yüksek Lisans | Toprak | Gaziosmanpaşa Üniversitesi | 2012 |
| Lisans | Jeoloji Mühendisliği | Cumhuriyet Üniversitesi | 1997 |

YAYINLARI

DEMİR, S., Kılıç, K., 2012. Erbaa Ovası Yeraltı Suyunun Tuzluluğunun Değerlendirilmesi. Iğdır Univ. J.Inst.Sci&Tech. 2(4):79-86.

DEMİR, S., Karaman, M:K., 2013. Evaluation of Relationship Between Compactibility and Sustainable Fertility of The Soils Under The Straight Tillage. Soil-Water Journal. 2(1). 1159-1166.

DEMİR, S., Kılıç, K. 2013. The Effect of İrrigation on Some Soil Properties. Soil-Water Journal. 2(1). 1209-1216.

DEMİR, S., Kılıç, M.,. 2010. Şişen Zeminlerin Tanımlanması ve Zemin İyileştirme Yöntemleri. GOU. Ziraat Fakültesi Dergisi. 27 (1). 95-104.

DEMİR, S., Kılıç, K, Aydın, M., 2012. Farklı Arazi Kullanımı altındaki Toprakların Kıvam Limitleriyle Bazı Toprak Özellikleri Arasındaki İlişki. GOU. Ziraat Fakültesi Dergisi. 29 (2). 63-71.

