# Ergene Havzasının Taudem Algoritmasına Göre Modellenmesi ve Ova Çay'ın DSİ Sentetik ve Mockus Yöntemlerine Göre Taşkın Debilerinin Hesaplanarak Sonuçlarının Karşılaştırılması

**H. İbrahim ÇETİNER**[1]
*Netcad Yazılım A.Ş. Teknik Grup Yöneticisi, Ankara, Türkiye*
ibrahim.cetiner@netcad.com.tr

## Özet

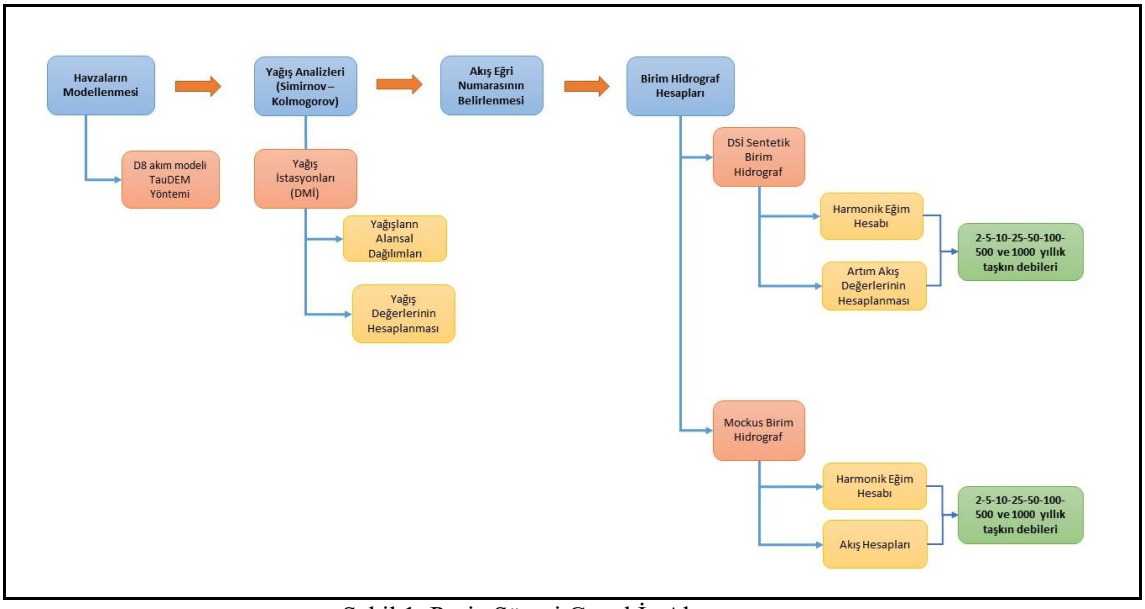
Taşkın debi hesapları, modellenen her havza üzerinde birçok parametrenin değişkenlik gösterdiği, farklı yaklaşımlar içerisindeki tek bir parametredeki değişikliğin bile çok farklı sonuçların ortaya çıkmasına sebep olan bir proje sürecidir. Yapılan çalışma; bu durumun bilgisayar yazılımları kullanılarak, ilgili mühendisin yorumları ile çok daha hızlı, kontrollü ve güvenilir bir şekilde hesaplandığının gösterilmesini amaçlamaktadır. Örnek projede; Yaklaşık olarak 11.000 $km^2$ büyüklüğünde olan Ergene Havzası ve içerisinde yer alan Ova Çayını oluşturan 632 $km^2$ lik üst havza modellenmiş, drenaj ağının ise 61.2 km uzunluğunda olduğu gözlenmiştir. Drenaj ağının 50 parça üzerinden harmonik eğimleri belirlenmiştir. Yağış analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için; en az 15 yıl kesintisiz veri toplamış meteroloji istasyonlarının etki alanları, bölgenin topoğrafyası da dikkate alınarak Thiessen yöntemine göre hesaplanmıştır. Hesaplanan etki alanlarına göre Uzunköprü, Malkara, Tekirdağ ve Lüleburgaz istasyonlarının bu havzaya etki ettiği gözlenmiştir. Bu istasyonların noktasal yağış verilerinin alansal dağılımları için 6 farklı olasılık hesap yöntemine göre yağış hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Her bir istasyon için en uygun yöntem Kolmogorov-Smirnov testi ile belirlenmiştir. DSİ Sentetik ve Mockus yöntemlerine göre taşkın debileri hesaplanmıştır. DSİ Sentetik yöntemde, modellenen üst havza yağışın zaman içindeki dağılımında A bölgesinde olduğundan, yağışın zaman içindeki dağılım oranı bu bölgedeki katsayı dikkate alınarak belirlenmiş ve artım akışlar hesaplanmıştır. Havzaya yakınlığı ve temsil oranı büyüklüğü sebebiyle Lüleburgaz istasyonuna ait 1-2-3-4-6-8-12 ve 24 saatlik PLV değerleri kullanılmıştır. Ova Çayı üzerinden DSİ Sentetik ve Mockus yöntemlerine göre farklı tekerrür aralıklarında hesaplanan taşkın debi sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın tüm aşamalarında Netcad GIS yazılımının Nethydro modülünden yararlanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler**: Havza, DSİ Sentetik, Mockus, Kolmogorov- Smirnov, Nethydro

# 1. GİRİŞ

Hidrolojik çalışmalar, doğadaki olayları konu alan bir bilim olduğundan, çalışmaların konusuna göre birçok farklı yaklaşımla farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Farklı tekerrür aralıklarına göre taşkın debi hesaplarının belirlenmesinde birçok önemli yaklaşım bulunmaktadır. Elde edilen taşkın debi hesapları sonuçları; arazi toplulaştırması projelerinde blok yol şarampol kesitlerinin belirlenmesi, taşkın koruma tesislerinde taşkın koruma tipinin belirlenmesi ve duvar boyutlandırmaları, yol projelerinin drenaj aşamalarında menfez boyutlandırmaları, kentsel planlamaların taşkın riskli alanların tespit edilmesi gibi farklı mühendislik disiplinlerince kullanılmaktadır.

Yapılan bu çalışmada; sentetik yöntemler olan Mockus ve DSİ Sentetik (süperpozeli) metotlarına göre; meteorolojik yağış istasyonlarının yağış değerleri, havza üzerindeki etki oranı, yağış analizleri ve akış eğri numarası kullanılarak, farklı frekanslarda taşkın debi hesapları gerçekleştirilmiştir.



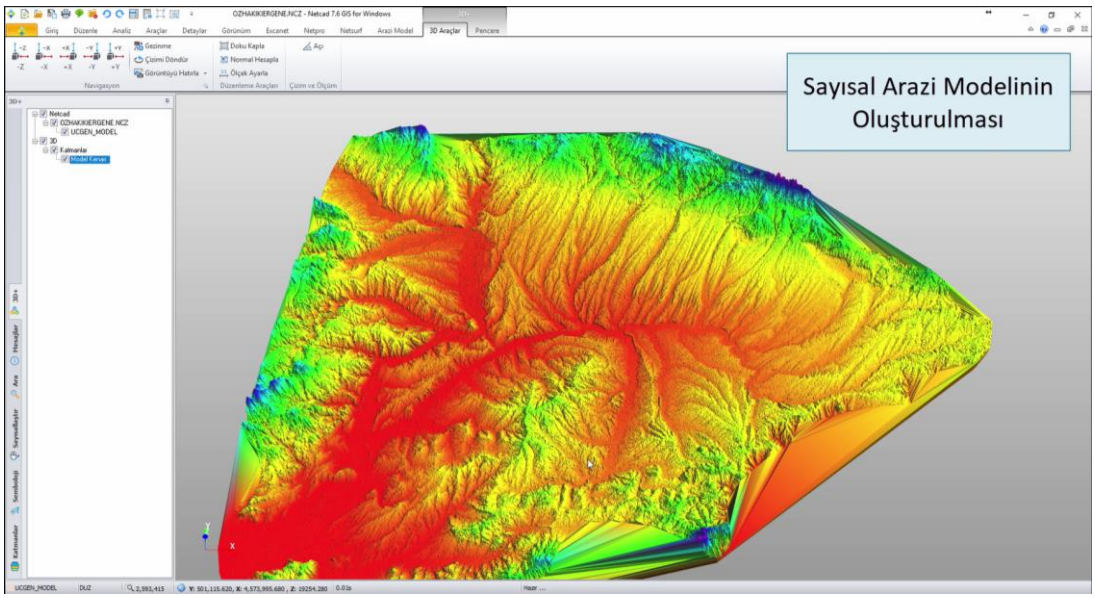

Şekil.1. Proje Süreci Genel İş Akışı

# 2. TAŞKIN DEBİ HESABI

## 2.1. Havzaların Modellenmesi

Yüzeysel suların toplandığı alanlar olan havzalarda, çalışma sahasında öncelikle Meriç havzanın önemli bir bölümünü oluşturan Ergene havzası modellenmiştir. (Şekil 5.) Bu havza içerisinde yer alan Ova çayının mansap noktasını besleyen havza bulunmuş, taşkın debi hesapları bu mansap noktasını besleyen havza üzerinden gerçekleştirilmiştir. (Şekil 6.)

Havzaların modellenmesi öncesinde sayısal yükseklik modeli üretilmiştir. Üretilen bu model üzerinde yükseklik ve rölyef haritaları ile topoğrafik analizleri gerçekleştirilmiştir.

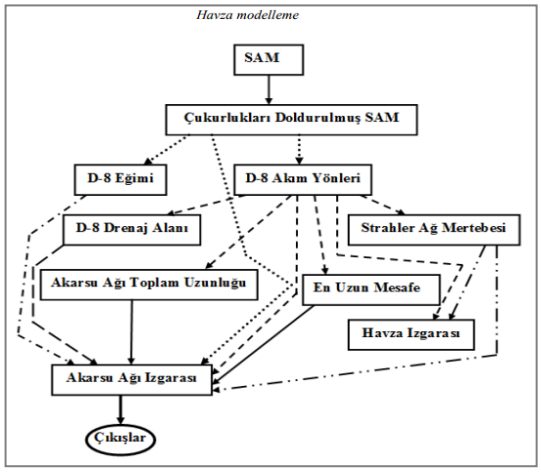



Şekil.2.Çalışma sahasının Sayısal Arazi Modeli

### 2.1.1. Havza sınırlarının belirlenmesi için kullaınlan algoritma

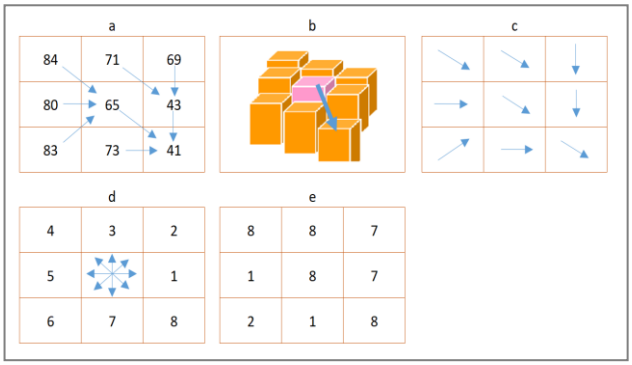
Havza sınırlarının belirlenmesi için Tarboton (1997) tarafından geliştirilmiş olan TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models) algoritması kullanılmıştır. (Şekil 3.)

Bu algoritma sayısal arazi modeli girdi verisi olarak kullanarak çeşitli analizler sonucunda havza sınırlarını tespit etmektedir.



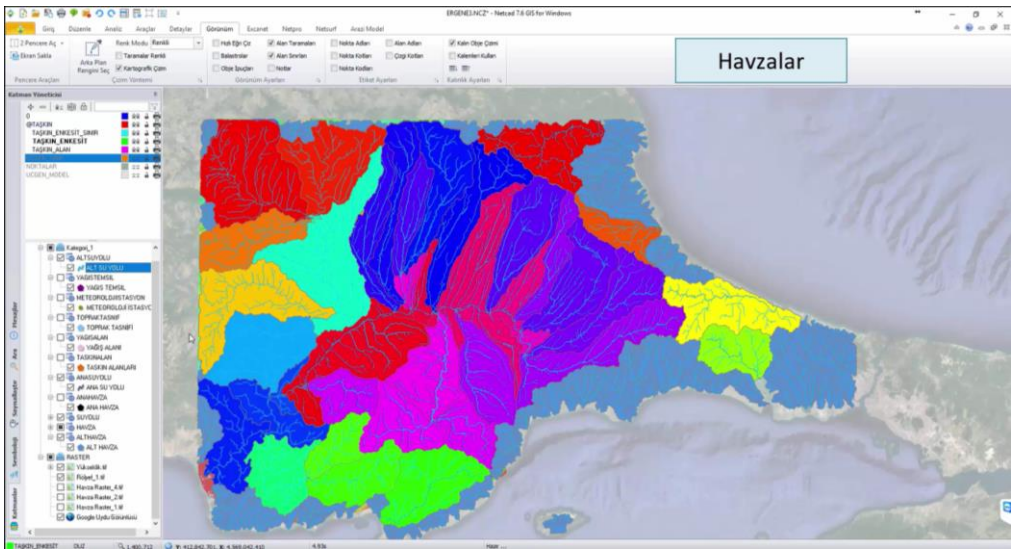

Şekil.3.TauDEM Algoritması

1. Şekil 4. üzerindeki (a) bölümünde yer alan yüksekliklerin topoğrafik gösterimidir.
2. Akışı ağını belirlemek için her bir hücreden itibaren, komşu 8 hücre arasında en düşük kotlu hücreye doğru olan akım yönleri belirlenmiştir. (c)

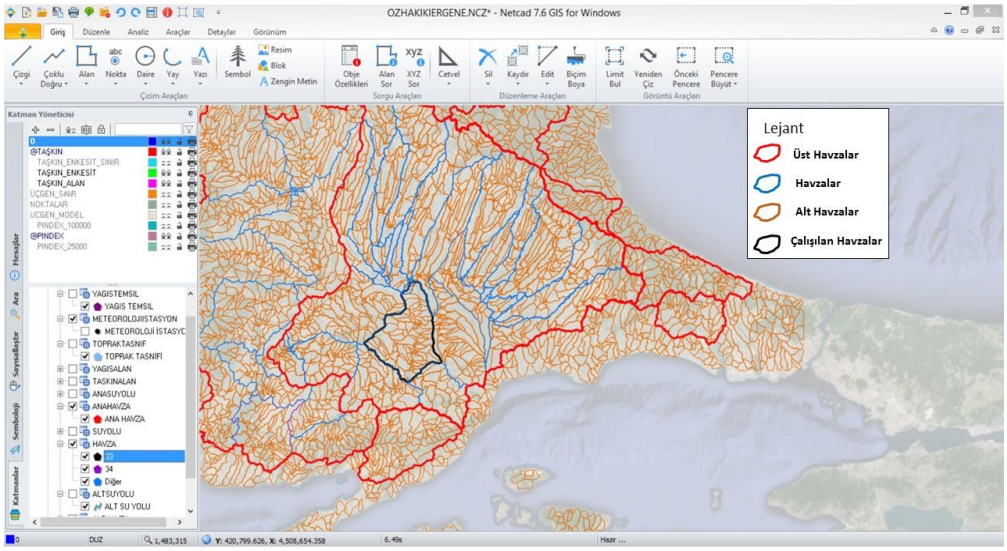



Şekil 4. 8 yönlü akım modeli

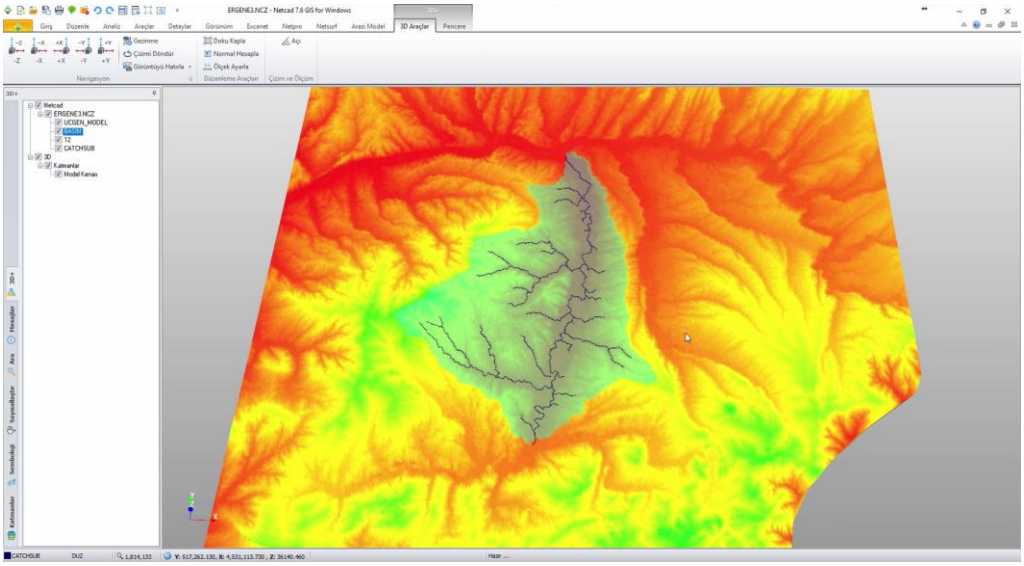
3. Akım yönleri için her bir hücreye bir yönü gösterecek şekilde rakamsal değerler atanmıştır. (1-Doğu, 2-Kuzeydoğu, vb.) (d)
4. Bu rakamsal değerlerin Şekil 1. üzerindeki (a) bölümünde yer alan yüksekliklere göre gerçek akım yönleri tespit edilmiştir. (e)




Şekil 5. Havzaların modellenmesi sonucu ortaya çıkan havza alanları ve akış kolları




Şekil 6. Havzaların Modellenmesi



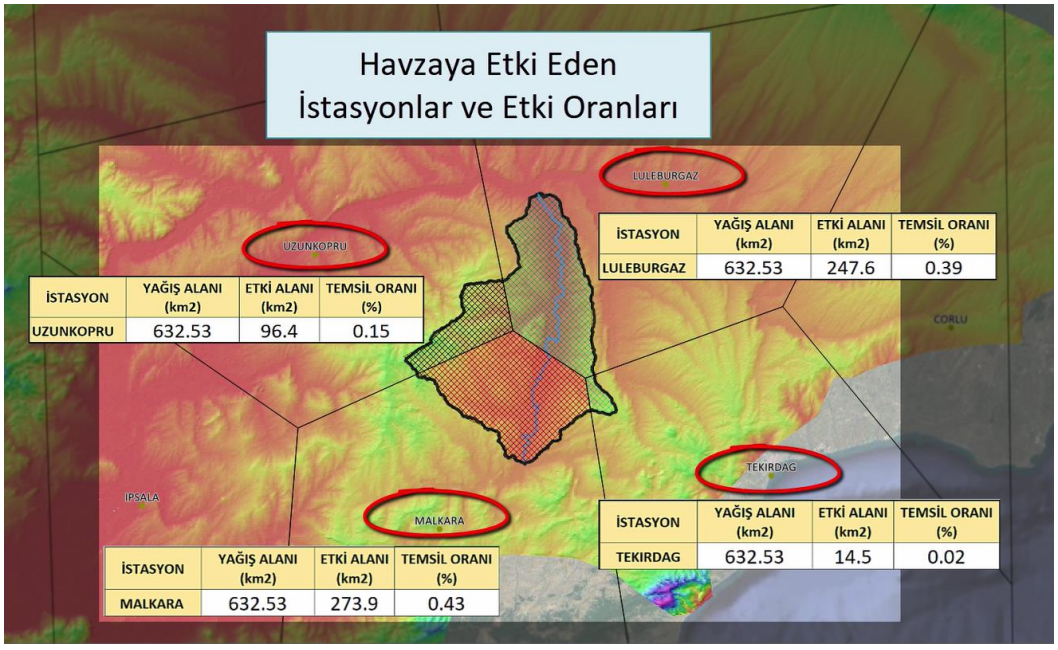
Şekil 7. Çalışma Alanına Ait Alt Havza

## 2.2. Harmonik Eğim Hesaplamaları

Birim hidrograf yöntemlerinin hesaplanması sırasında kullanılan temel girdi verilerinden biri olan harmonik eğim; 62 km.lik drenaj ağı üzerinde 50 parça üzerinden hesaplanmış ve 0.056 değeri bulunmuştur.

## 2.3. Noktasal Yağış Verilerinin Alansal Dağılımlarının ve Yağış Değerlerinin Hesaplanması

Taşkın debi hesapları için girdi verileri olarak yağış istasyonları kullanılmıştır. Noktasal olan bu yağış verilerinin havza üzerindeki alansal dağılımı hesaplanmıştır. (Şekil 7.) Mansap noktasına göre belirlenen havza üzerindeki alansal dağılımların hesaplanması için Thiessen poligonları kullanılmıştır. Thiessen poligonlarına göre sırasıyla istasyon numaraları 17608, 17634, 17056 ve 17631 olan Uzunköprü, Malkara, Tekirdağ ve Lüleburgaz istasyonlarının havza üzerinde alansal etkileri olduğu gözlenmiştir.




Şekil 8. Yağış İstasyonlarının Havza Alanı Üzerindeki Alansal Dağılımları

Bu istasyonların, havza alanı üzerindeki poligon alanının, toplam havza alanına oranı ile her bir istasyonun temsil oranı (yağış alanı, etki ağırlığı) hesaplanmıştır. (Tablo 1.)

Tablo 1. Yağış istasyonlarının havza üzerindeki etkisi

| METEOROLOJİ İSTASYONU | YAĞIŞ ALANLARI (km2) | İST.TEMSİL ORANI (%) |
|---|---|---|
| MALKARA | 273.9 | 0.43 |
| LULEBURGAZ | 247.6 | 0.39 |
| UZUNKOPRU | 96.4 | 0.15 |
| TEKIRDAG | 14.5 | 0.02 |
| PROJE YAĞIŞ ALANI (km2) | 632.53 | 1.00 |

Kullanılan istasyonların topladıkları yağış verilerine ait bilgiler aşağıdadır.

Tablo 2. Kullanılan yağış istasyonlarına ait ölçüm aralıkları

| İstasyon Adı | Veri Topladıkları Yıllar |
|---|---|
| **MALKARA** | 1990 - 2014 yılları arasında 35 yıl boyunca aralıksız veri toplamıştır. |
| **LULEBURGAZ** | 1954-2014 yılları arasında, 60 yıl boyunca aralıksız veri toplamıştır. |
| **UZUNKOPRU** | 1962 - 2014 yılları arasında 51 yıl boyunca aralıksız veri toplamıştır. |
| **TEKIRDAG** | 1954-2014 yılları arasında, 61 yıl boyunca aralıksız veri toplamıştır. |

Her bir istayonun havza üzerindeki poligon alanına düşen toplam yağış verilerinin hesaplanması için Normal dağılım, Log-Normal (2 parametreli), Log-Normal (3 parametreli), Pearson Tip-3 (Gama Tip-3), Log-Pearson Tip-3 ve Gumbel yöntemleri ile yağış analizleri gerçekleştirilmiştir. Her bir istasyon için bu olasılık yöntemleri arasındaki en uygun sonuç Kolmogorov-Smirnov sınaması ile belirlenmiştir. İstasyonların yukarıdaki dağılım tiplerine göre sonuçları aşağıdadır.

Tablo 3. Yağış istasyonlarına ait farklı tekerrür aralıklarındaki en uygun dağılım sonuçları

| METEOROLOJİ İSTASYONU | TEMSİL ORANI (%) | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **MALKARA** | **0.43** | 54.05 | 76.66 | 92.74 | 114.27 | 131.14 | 148.79 |
| **LULEBURGAZ** | **0.39** | 47.88 | 65.88 | 78.31 | 94.58 | 107.07 | 119.94 |
| **UZUNKOPRU** | **0.15** | 53.49 | 74.81 | 89.70 | 109.30 | 124.38 | 139.88 |
| **TEKIRDAG** | **0.02** | 48.50 | 68.94 | 82.91 | 100.45 | 113.30 | 125.86 |

Tablo 4. Yağış istasyonlarına ait farklı tekerrür aralıklarındaki yağış analizleri

| METEOROLOJİ İSTASYONU | ALAN (km2) | İST.TEMSİL ORANI (%) | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **MALKARA** | **273.9** | **0.43** | 23.41 | 33.20 | 40.16 | 49.49 | 56.79 | 64.44 |
| **LULEBURGAZ** | **247.6** | **0.39** | 18.74 | 25.79 | 30.66 | 37.03 | 41.92 | 46.96 |
| **UZUNKOPRU** | **96.4** | **0.15** | 8.15 | 11.40 | 13.67 | 16.66 | 18.96 | 21.32 |
| **TEKIRDAG** | **14.5** | **0.02** | 1.12 | 1.59 | 1.91 | 2.31 | 2.61 | 2.89 |
| **PROJE YAĞIŞ ALANI (km2)** | **632.53** | **1.00** | | | | | | |
| **24 saatlik havza yağışı** | | | **51.42** | **71.98** | **86.40** | **105.49** | **120.27** | **135.61** |

## 2.4.DSİ Sentetik Birim Hidrograf ile Taşkın Debi Hesapları

DSİ Sentetik yöntemde birim akış yüksekliğini veren 2 saat süreli bir yağışın birim alandan getireceği akış verimi (q,lt/sn/mm/km2) hesaplanır. Süperpozeli DSİ sentetik birim hidrograf yöntemi için gereken materyaller havzaların modellenmesi aşamasında elde edilmiştir. Çalışma sahasına ait bu değerler aşağıdadır.

Birim hidrograf hesapları için aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

Tablo 5. DSİ sentetik yöntemde kullanılan formüller

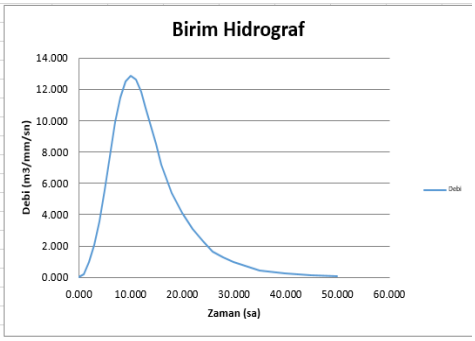
| Sembol ve Açıklama | Formül |
|---|---|
| qp (1mm.lik akış için yağmur verimi, L/s/km2/mm) | $q_p = \frac{414}{A^{0,225}(L.Lc/\sqrt{S})^{0,16}}$ |
| Qp (Pik Debi, m³/sn/mm) | Qp= A x qp x 10^-3 |
| Vb (Birim hidrograf hacmi (m3) | Vb = A x $10^3$ |
| T (Hidrografın devam süresi (saat) | T= 3.65 x Vb / Qp |
| Tp ( Hidrografın pike erişme zamanı (saat) | Tp = T / 5 |

| Değer | Sembol | Sonuç |
|---|---|---|
| Havza Alanı | A(km$^2$) | 13.14 |
| Akış kolu uzunluğu | L(km) | 42621 |
| Havza ağırlık merkezinin akış kolu üzerindeki izdüşümünden mansaba kadar olan mesafe | Lc(km) | 42495 |
| Harmonik Eğim (200 parça) | S | 0.056 |
| Ortlama Akış Eğri Numarası | CNII | 80.847 (ortalama) |

Bu yöntemde artım akışların hesaplanması için; yağışın alansal dağılımları (YAD) hesaplanmıştır. Ülkemizdeki yağışın zaman içerisindeki dağılımı (YZD) grafiğine göre çalışma alanı A bölgesinde kalmaktadır. Bu nedenle A eğrisine ait katsayılar kullanılmıştır. (Şekil 8.)

Havzaya yakınlığı nedeniyle Lüleburgaz istasyonuna ait 2-4-6-8-12-18 ve 24 saatlik plüvyograf değerleri kullanılmıştır.

| Zaman | Debi |
|---|---|
| 0.000 | 0.000 |
| 0.996 | 0.193 |
| 1.992 | 0.966 |
| 2.988 | 2.061 |
| 3.984 | 3.606 |
| 4.980 | 5.538 |
| 5.976 | 7.727 |
| 6.972 | 9.917 |
| 7.968 | 11.462 |
| 8.963 | 12.492 |
| 9.959 | 12.879 |
| 10.955 | 12.621 |
| 11.951 | 11.848 |
| 12.947 | 10.818 |
| 13.943 | 9.659 |
| 14.939 | 8.500 |
| 15.935 | 7.212 |
| 17.927 | 5.409 |
| 19.919 | 4.121 |
| 21.911 | 3.091 |
| 23.903 | 2.318 |
| 25.894 | 1.674 |
| 27.886 | 1.262 |
| 29.878 | 0.966 |
| 34.858 | 0.464 |
| 39.838 | 0.232 |
| 44.817 | 0.116 |
| 49.797 | 0.052 |




Şekil 9. Birim Hidrograf Sonuçları

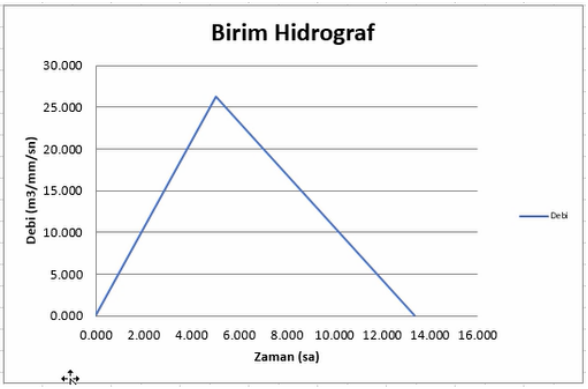
DSİ sentetik yönteme göre çan eğrisi şeklinde olan birim hidrograf sonuçları ve kritik yağış süresine göre 2-5-10-25-50-100-500 ve 1000 yıllık taşkın debileri aşağıdadır.

Tablo 6. DSİ sentetik yöntemin farklı tekerrür aralıklarına göre sonuçları

| Debi. | 2 | 4 | 6 | 8 | 12 | 18 | 24 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Q2 | 14.879 | 54.341 | 94.397 | 106.975 | 115.715 | 120.135 | 123.682 |
| Q5 | 49.843 | 129.812 | 201.267 | 220.855 | 232.204 | 235.107 | 237.383 |
| Q10 | 83.121 | 194.124 | 288.719 | 313.819 | 325.283 | 327.024 | 326.586 |
| Q25 | 135.595 | 289.519 | 416.312 | 447.837 | 458.286 | 457.041 | 456.165 |
| Q50 | 181.474 | 369.479 | 521.568 | 557.707 | 568.301 | 564.028 | 561.420 |
| Q100 | 232.998 | 456.823 | 635.288 | 675.972 | 686.386 | 679.200 | 673.801 |
| Q500 = | **936.268** | m3/s | | | | | |
| Q1000 = | **1043.877** | m3/s | | | | | |

## 2.5. Mockus Birim Hidrografa Göre Taşkın Debi Hesapları

Mockus birim hidrograf yöntemi için gereken materyaller havzaların modellenmesi aşamasında elde edilmiştir. Çalışma sahasına ait bu değerler aşağıdadır. Yağış alan dağılım katsayısı 0.917 olarak hesaplanmış ancak havza büyüklüğünden ötürü 1 olarak alınmıştır. Havza K katsayısı hem 0.208 hem de 0.163 katsayılarına göre çözülmüştür. Akışın toplanması süresi olarak (Tc) bir alt maddedeki formül kullanılarak 8.0 sa. olarak hesaplanmıştır. Bu değere karşılık gelen PLV değeri için Lüleburgaz istasyonu kullanılmıştır.




*Şekil 10. Birim Hidrograf Sonuçları*

Mockus Birim hidrograf hesapları için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

Tablo 7. Mockus yöntemine ait formüller ve sonuçlar

| Değer | Sembol | Sonuç |
|---|---|---|
| Havza Alanı | A(km$^2$) | 632.534 |
| Akış kolu uzunluğu | L(m) | 61.332 |
| Lc | Lc(km) | 33.349 |
| Harmonik Eğim (50 parça) | S | 0.056 |
| Ortlama Akış Eğri Numarası | CNII | 80.847(ortalama) |

| Formüler ve Açıklamalar | Sonuç |
|---|---|
| (Tc) Toplanma Süresi = 0,00032 (L0,77(m) / S0,385 ) | 4.716 |
| (D) Yağış Süresi = 2*(Tc)1/2 | 4.343 |
| (Tp) Hidroğrafın yükselme zamanı = 0,5D +0,6Tc | 5.0002 |
| (Tr) Hidrografın Alçalma Süresi = Tr = 1.67 x Tp | 8.353 |
| (Tp) Yağış Süresi = Tp + Tr | 13.354 |
| (Qp) Pik Debi (m3/mm/sn) = K*A*ha/TP | 26.305 |

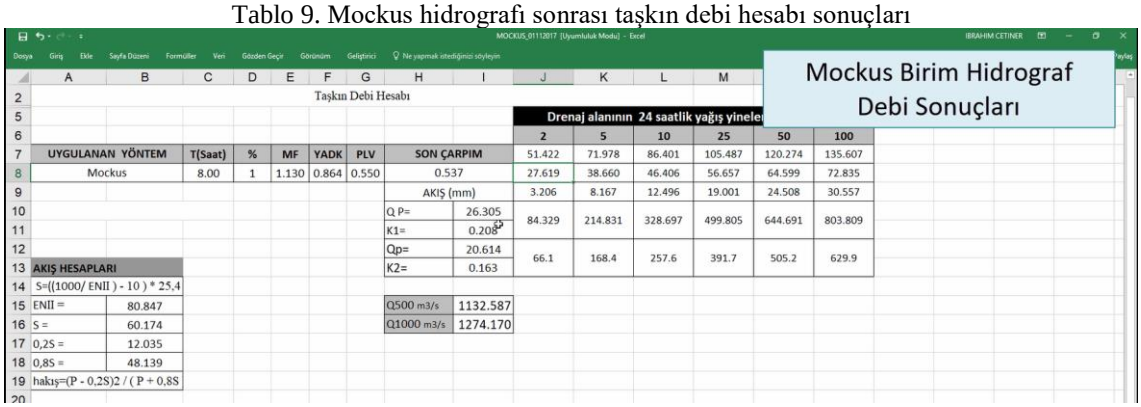
Yağış alan dağılım katsayısı sonuçları aşağıdadır.

Tablo 8. Yağış alan dağılım katsayısı sonuçları

| YAĞIŞ ALAN DAĞILIM KATSAYISI | | |
|---|---|---|
| **SÜRE** | **ARANAN ALAN Km2** | **YÜZDESİ %** |
| 30 dk | 632.534 | 0.547 |
| 1 SAAT | 632.534 | 0.656 |
| 3 SAAT | 632.534 | 0.787 |
| 6 SAAT | 632.534 | 0.847 |
| 24 SAAT | 632.534 | 0.917 |

| ARA SÜRELER | YÜZDESİ % | ARA SEVİYELER |
|---|---|---|
| 1 | 0.656 | |
| 2 | 0.722 | ARA SEVİYELER |
| 3 | 0.787 | |
| 4 | 0.817 | ARA SEVİYELER |
| 5 | 0.844 | ARA SEVİYELER |
| 6 | 0.847 | |
| 8 | 0.864 | ARA SEVİYELER |
| 12 | 0.87 | ARA SEVİYELER |
| 18 | 0.893 | ARA SEVİYELER |
| 24 | 0.917 | |

Tablo 9. Mockus hidrografı sonrası taşkın debi hesabı sonuçları



Taşkın Debi Hesabı

Mockus Birim Hidrograf Debi Sonuçları

| UYGULANAN YÖNTEM | T(Saat) | % | MF | YADK | PLV | SON ÇARPIM |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mockus | 8.00 | 1 | 1.130 | 0.864 | 0.550 | 0.537 |

| Drenaj alanının 24 saatlik yağış yinele | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 51.422 | 71.978 | 86.401 | 105.487 | 120.274 | 135.607 |
| | 27.619 | 38.660 | 46.406 | 56.657 | 64.599 | 72.835 |
| AKIŞ (mm) | 3.206 | 8.167 | 12.496 | 19.001 | 24.508 | 30.557 |
| Q P= 26.305 / K1= 0.208 | 84.329 | 214.831 | 328.697 | 499.805 | 644.691 | 803.809 |
| Qp= 20.614 / K2= 0.163 | 66.1 | 168.4 | 257.6 | 391.7 | 505.2 | 629.9 |

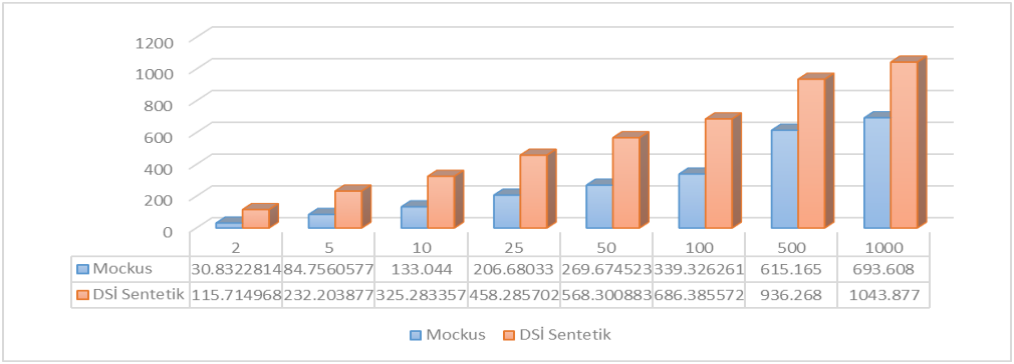
| AKIŞ HESAPLARI | |
|---|---|
| S=((1000/ ENII ) - 10 ) * 25,4 | |
| ENII = | 80.847 |
| S = | 60.174 |
| 0,2S = | 12.035 |
| 0,8S = | 48.139 |
| hakış=(P - 0,2S)2 / ( P + 0,8S | |

| | |
|---|---|
| Q500 m3/s | 1132.587 |
| Q1000 m3/s | 1274.170 |

## 3.Sonuçların Karşılaştırılması

Aşağıdaki şekilde DSİ sentetik ve Mockus birim hidrograf yöntemlerine göre taşkın debi hesap sonuçları sütun grafik üzerinde karşılaştırılmıştır.

Tablo 10. Mockus Hidrografı Sonrası Taşkın Debi Hesabı Sonuçları




| | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | 500 | 1000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mockus | 30.832281 | 84.756057 | 133.044 | 206.68033 | 269.674523 | 339.326261 | 615.165 | 693.608 |
| DSİ Sentetik | 115.71496 | 232.20387 | 325.283357 | 458.285702 | 568.300883 | 686.385572 | 936.268 | 1043.877 |

Yapılan karşılaştırmalar sonucunda artım akışların hesaplandığı DSİ Sentetik yönteminin, Mockus yöntemine göre daha büyük debi değerleri verdiği görülmüştür. Bu farklılık tekerrür aralıklarına göre değişkenlik göstermiştir. DSİ sentetik yöntemde elde edilen taşkın debileri, Mockus yönteminin;

2 yıllık değerinin ; 3. 75 katı,
5 yıllık değerinin ; 2.73 katı,
10 yıllık değerinin ; 2. 44 katı,
25 yıllık değerinin ; 2. 21 katı,
50 yıllık değerinin ; 2. 10 katı,
100 yıllık değerinin ; 2. 02 katı,
500 yıllı kdeğerinin ; 1. 52 katı,
1000 yıllık değerinin ; 1.50 katıdır.

Eğri numarası havzanın hidrometeorolojik özellikleri ve orman bitki örtüsü dikkate alınarak seçilmiştir. Projede Mockus yöntemine göre kullanılan eğri numarası 80.847 yerine 79 olarak seçildiğinde sonuçların anlık olarak değişimi hızlı bir şekilde takip edilebilmektedir. Bu değişim sonucunda; k katsayısının 0.163 olduğu hesaplamalarda;

Q10 değeri, 133 $m^3/s$'den 113 $m^3/s$ değerine
Q100 değeri, 399.3 $m^3/s$;' den 305.5 $m^3/s$ değerine

Q500 değeri, 615.195 $m^3$/s'den 559.759 $m^3$/s değerine
Q1000 değeri ise 693.643 $m^3$/s'den 632.939 $m^3$/s değerine düşecektir.

Bu çalışma, özellikle son yıllarda artan teknolojik gelişmeler ile mühendislik yazılımlarının, karmaşık projelere katkısına vurgu yapmak için hazırlanmıştır.

## 4. REFERANSLAR


Özdemir, H., (1978): Uygulamalı Taşkın Hidrolojisi, DSİ Genel Müdürlüğü Matbası, Ankara, 221 s.

ASLAN, B., "S.C.S. Sentetik Birim Hidrograf Yönteminin Türkiye Şartlarında Uygulanabilirliğinin Araştırılması", İTÜ,Fen Bilimleri Enstitüsü , Yüksek Lisans Tezi,İstanbul Teknik Üniversitesi, 1997

Özer, Z., 1990, Su Yapılarının Projelendirilmesine Hidrolojik ve Hidrolik Esaslar, (Teknik Rehber), Havza Islahı ve Göletler Daire Başkanlığı, KHGM, Ankara, 709s