

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İSTANBUL YILLIK YAĞIŞLARININ KURAKLIK  
ANALİZİ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
M. Kemal ERKUŞ  
(511971056)**

101373

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Haziran 2001  
Tezin Savunulduğu Tarih : 25 Haziran 2001**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Zekai ŞEN**  
**Diğer Jüri Üyeleri: Doç. Dr. Levent ŞAYLAN**  
**Prof.Dr. Mahmut Celal BARLA (İ.Ü.)**

**HAZİRAN 2001**

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada bana yardımları olan tez danışmanım Prof. Dr. Zekai Şen'e, arkadaşlarıma ve çalıştığım kurumlarda bana yardımları olan herkese teşekkür ederim.

Haziran, 2001

M. Kemal Erkuş



## İÇİNDEKİLER

|                                                         |           |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                                    | <b>v</b>  |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                    | <b>vi</b> |
| <b>SEMBOL LİSTESİ</b>                                   | <b>ix</b> |
| <b>ÖZET</b>                                             | <b>x</b>  |
| <b>SUMMARY</b>                                          | <b>xi</b> |
| <b>1.GİRİŞ</b>                                          | <b>1</b>  |
| 1.1 Genel                                               | 1         |
| 1.2 Konum                                               | 2         |
| 1.3 İklim                                               | 2         |
| 1.4 Çalışmanın Amacı                                    | 3         |
| <b>2. KURAKLIK</b>                                      | <b>4</b>  |
| 2.1. Kuraklık                                           | 4         |
| 2.2 Yağış Verileri                                      | 5         |
| 2.3 Kuraklık Büyüklükleri                               | 6         |
| 2.3.1 Kurak Süre                                        | 6         |
| 2.3.2 Yıllık En Büyük Yağış Eksikliği                   | 6         |
| 2.3.3 Toplam Yağış Eksikliği                            | 6         |
| 2.4 Kuraklığın Etkileri                                 | 7         |
| <b>3. ÇOK İSTASYONLU MODEL</b>                          | <b>10</b> |
| 3.1 Genel                                               | 10        |
| 3.2 Periyodik Olmayan Çok İstasyonlu Model              | 10        |
| 3.2.1 Model Yapısı                                      | 10        |
| 3.2.2 Model Parametreleri                               | 12        |
| 3.2.3 Veri Üretim Modeli                                | 13        |
| 3.2.4 Model Kabulleri                                   | 14        |
| <b>4. UYGULAMA</b>                                      | <b>15</b> |
| 4.1. Gözlenmiş Verilerin Parametreleri                  | 15        |
| 4.2. Sentetik Verilerin Üretilmesi                      | 17        |
| 4.3 Kuraklık Analizleri                                 | 20        |
| 4.3.1 Kurak Süre Analizi                                | 20        |
| 4.3.2. Yıllık En Büyük Yağış Eksikliği                  | 20        |
| 4.3.3. Toplam Yağış Eksikliği                           | 21        |
| 4.4. Genel Yorumlar ve Gelecekteki Kuraklık İhtimalleri | 21        |
| <b>5. SONUÇ VE TAVSİYELER</b>                           | <b>26</b> |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                        | <b>28</b> |

|                      |           |
|----------------------|-----------|
| <b>EKLER</b>         | <b>32</b> |
| <b>EK-A ŞEKİLLER</b> | <b>32</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>      | <b>67</b> |



## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                                                      | <u>Sayfa No</u> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Tablo 4.1. :</b> Gözlenmiş verilerin istatistik parametreleri.....                                                                | 15              |
| <b>Tablo 4.2. :</b> Gözlenmiş verilerin istasyonlar arası karşılıklı korelasyonları.....                                             | 16              |
| <b>Tablo 4.3. :</b> Gözlenmiş verilerin istasyonlar arası bir adımlı karşılıklı korelasyonları.....                                  | 16              |
| <b>Tablo 4.4. :</b> Normal dağılıma uygun hale getirmek için gerekli transformasyonlar yapılmış verilerin çarpıklık katsayıları..... | 17              |
| <b>Tablo 4.5. :</b> Gözlenmiş ve sentetik olarak üretilmiş verilerin istatistiki parametreleri .....                                 | 18              |
| <b>Tablo 4.6. :</b> Gözlenmiş ve sentetik olarak üretilmiş verilerin istasyonlar arası karşılıklı korelasyonları.....                | 19              |
| <b>Tablo 4.7. :</b> Gözlenmiş ve sentetik olarak üretilmiş verilerin istasyonlar arası bir adımlı karşılıklı korelasyonları.....     | 19              |
| <b>Tablo 4.8. :</b> Üretilmiş sentetik serilerin kuraklık özellikleri.....                                                           | 22              |
| <b>Tablo 4.9. :</b> İstasyonlarda 20, 50, 100 ve 500 yıllık dönemlerde % 10 risk ile oluşabilecek kuraklık büyüklükleri.....         | 24              |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                                                            | <u>Sayfa No</u> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Şekil 2.1 : Kuraklık büyüklükleri: (a) Yıllık en büyük yağış eksikliği; (b) En uzun kurak süre; (c) En büyük toplam yağış eksikliği.....                   | 7               |
| Şekil A.1a : Bahçeköy istasyonunun gözlenmiş verilerine ait korelogramı.....                                                                               | 32              |
| Şekil A.1b : Kumköy istasyonunun gözlenmiş verilerine ait korelogramı.....                                                                                 | 32              |
| Şekil A.1c : Kireçburnu istasyonunun gözlenmiş verilerine ait korelogramı.....                                                                             | 33              |
| Şekil A.1d : Florya istasyonunun gözlenmiş verilerine ait korelogramı.....                                                                                 | 33              |
| Şekil A.1e : Kartal istasyonunun gözlenmiş verilerine ait korelogramı.....                                                                                 | 34              |
| Şekil A.2a : Bahçeköy istasyonu için üretilmiş sentetik verilere ait korelogram....                                                                        | 34              |
| Şekil A.2b : Kumköy istasyonu için üretilmiş sentetik verilere ait korelogram.....                                                                         | 35              |
| Şekil A.2c : Kireçburnu istasyonu için üretilmiş sentetik verilere ait korelogram...                                                                       | 35              |
| Şekil A.2d : Florya istasyonu için üretilmiş sentetik verilere ait korelogram.....                                                                         | 36              |
| Şekil A.2e : Kartal istasyonu için üretilmiş sentetik verilere ait korelogram.....                                                                         | 36              |
| Şekil A.3a : Bahçeköy'de 20 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.....                      | 37              |
| Şekil A.3b : Kumköy'de 20 yıllık periyot içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin oluşma ihtimalleri.....              | 37              |
| Şekil A.3c : Kireçburnu'nda 20 yıllık periyot içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin oluşma ihtimalleri.....         | 38              |
| Şekil A.3d : Florya'da 20 yıllık periyot içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin oluşma ihtimalleri.....              | 38              |
| Şekil A.3e : Kartal'da 20 yıllık periyot içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin oluşma ihtimalleri.....              | 39              |
| Şekil A.4a : Bahçeköy'de 20 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.....              | 39              |
| Şekil A.4b : Kumköy'de 20 yıllık periyot içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin oluşma ihtimalleri.....      | 40              |
| Şekil A.4c : Kireçburnu'nda 20 yıllık periyot içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin oluşma ihtimalleri..... | 40              |
| Şekil A.4d : Florya'da 20 yıllık periyot içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin oluşma ihtimalleri.....      | 41              |
| Şekil A.4e : Kartal'da 20 yıllık periyot içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin oluşma ihtimalleri.....      | 41              |
| Şekil A.5a : Bahçeköy'de 20 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.....                                                         | 42              |
| Şekil A.5b : Kumköy'de 20 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.....                                                           | 42              |
| Şekil A.5c : Kireçburnu'nda 20 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.....                                                      | 43              |
| Şekil A.5d : Florya'da 20 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.....                                                           | 43              |

|                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil A.5e</b> : Kartal'da 20 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.....                                                   | 44 |
| <b>Şekil A.6a</b> : Bahçeköy'de 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.....              | 44 |
| <b>Şekil A.6b</b> : Kumköy'de 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.....                | 45 |
| <b>Şekil A.6c</b> : Kireçburnu'nda 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.....           | 45 |
| <b>Şekil A.6d</b> : Florya'da 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.....                | 46 |
| <b>Şekil A.6e</b> : Kartal'da 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.....                | 46 |
| <b>Şekil A.7a</b> : Bahçeköy'de 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.....      | 47 |
| <b>Şekil A.7b</b> : Kumköy'de 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.....        | 47 |
| <b>Şekil A.7c</b> : Kireçburnu'nda 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.....   | 48 |
| <b>Şekil A.7d</b> : Florya'da 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.....        | 48 |
| <b>Şekil A.7e</b> : Kartal'da 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.....        | 49 |
| <b>Şekil A.8a</b> : Bahçeköy'de 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.....                                                 | 49 |
| <b>Şekil A.8b</b> : Kumköy'de 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.....                                                   | 50 |
| <b>Şekil A.8c</b> : Kireçburnu'nda 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.....                                              | 50 |
| <b>Şekil A.8d</b> : Florya'da 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.....                                                   | 51 |
| <b>Şekil A.8e</b> : Kartal'da 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.....                                                   | 51 |
| <b>Şekil A.9a</b> : Bahçeköy'de 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.....             | 52 |
| <b>Şekil A.9b</b> : Kumköy'de 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.....               | 52 |
| <b>Şekil A.9c</b> : Kireçburnu'nda 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.....          | 53 |
| <b>Şekil A.9d</b> : Florya'da 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.....               | 53 |
| <b>Şekil A.9e</b> : Kartal'da 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.....               | 54 |
| <b>Şekil A.10a</b> : Bahçeköy'de 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.....    | 54 |
| <b>Şekil A.10b</b> : Kumköy'de 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.....      | 55 |
| <b>Şekil A.10c</b> : Kireçburnu'nda 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri..... | 55 |
| <b>Şekil A.10d</b> : Florya'da 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.....      | 56 |

|                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil A.10e</b> : Kartal'da 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.....         | 56 |
| <b>Şekil A.11a</b> : Bahçeköy'de 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.....                                                  | 57 |
| <b>Şekil A.11b</b> : Kumköy'de 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.....                                                    | 57 |
| <b>Şekil A.11c</b> : Kireçburnu'nda 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.....                                               | 58 |
| <b>Şekil A.11d</b> : Florya'da 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.....                                                    | 58 |
| <b>Şekil A.11e</b> : Kartal'da 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.....                                                    | 59 |
| <b>Şekil A.12a</b> : Bahçeköy'de 500 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.....               | 59 |
| <b>Şekil A.12b</b> : Kumköy'de 500 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.....                 | 60 |
| <b>Şekil A.12c</b> : Kireçburnu'nda 500 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.....            | 60 |
| <b>Şekil A.12d</b> : Florya'da 500 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.....                 | 61 |
| <b>Şekil A.12e</b> : Kartal'da 500 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.....                 | 61 |
| <b>Şekil A.13a</b> : Bahçeköy'de 500 yıllık periyot içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.....    | 62 |
| <b>Şekil A.13b</b> : Kumköy'de 500 yıllık periyot içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.....      | 62 |
| <b>Şekil A.13c</b> : Kireçburnu'nda 500 yıllık periyot içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri..... | 63 |
| <b>Şekil A.13d</b> : Florya'da 500 yıllık periyot içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.....      | 63 |
| <b>Şekil A.13e</b> : Kartal'da 500 yıllık periyot içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.....      | 64 |
| <b>Şekil A.14a</b> : Bahçeköy'de 500 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.....                                                  | 64 |
| <b>Şekil A.14b</b> : Kumköy'de 500 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.....                                                    | 65 |
| <b>Şekil A.14c</b> : Kireçburnu'nda 500 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.....                                               | 65 |
| <b>Şekil A.14d</b> : Florya'da 500 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.....                                                    | 66 |
| <b>Şekil A.14e</b> : Kartal'da 500 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.....                                                    | 66 |



## SEMBOL LİSTESİ

|                    |                                                                        |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------|
| $A, B, a, b$       | : Model parametreleri                                                  |
| $f$                | : Transformasyon fonksiyonu                                            |
| $M_1, M_0$         | : Bir ve sıfır adımlar için korelasyon matrisleri                      |
| $P_t$              | : Normal dağılıma uygun hale getirilmiş yıllık toplam yağış miktarları |
| $Y$                | : İstasyonlarda gözlenmiş yıllık toplam yağış miktarları               |
| $Z, z$             | : Standartlaştırılmış normal dağılıma uygun yağış verileri             |
| $\mu$              | : Ortalama                                                             |
| $\rho$             | : Standart sapma                                                       |
| $\Sigma, \epsilon$ | : Bağımsız ve normal dağılıma uygun rastgele değişken                  |



## ÖZET

Kuraklık etkileri bakımından en büyük doğal afettir. Kuraklığın engellenmesi çok zor olmakla birlikte oluşabilecek kuraklıkları belirleyerek buna göre önlemler almak mümkün olabilir ve yaşanabilecek kuraklıklar en az kayıpla atlatılabilir. Kuraklığın temelinde su eksikliği vardır. Kullanılabilir tatlı suların tek kaynağı yağış olduğuna göre kuraklıklar yağışta meydana gelecek eksiklikler ile başlayacak ve su kaynaklarını farklı büyüklük ve zaman ölçekleriyle etkileyecektir. Su kullanıcıları kuraklık büyüklüklerine bağlı olarak etkilenirler. Farklı su kullanıcıları, oluşacak kuraklığın süresi, bir kurak süredeki toplam en büyük yağış eksikliği ve en kurak yıldaki ortalamadan olan yağış eksikliği büyüklüklerinden herhangi birinden daha fazla etkilenecektir. Bu nedenle bu büyüklüklerin herbirinin ayrı ayrı önemi vardır. Bu çalışmada, İstanbul'da bulunan beş adet meteoroloji istasyonuna ait yıllık toplam yağış verilerinin stokastik modellenmesiyle elde edilen sentetik değerler kullanılarak kuraklık analizi çalışması yapılmıştır. Öncelikle istasyonlara ait verilerin istatistik parametreleri elde edilmiş, elde edilen bu parametrelere göre istasyonların yıllık toplam yağışları çok istasyonlu otoregresiv modelle modellenmiş ve bu model ile herbir istasyona ait sentetik yıllık toplam yağış değerleri üretilmiştir. Bu sentetik veriler 20, 50, 100 ve 500 yıllık standart dönemlere ayrılmış, verilerin ortalamaları kuraklık için sınır kabul edilerek kuraklık analizleri yapılmıştır. Bu standart dönemlerde oluşması muhtemel en uzun kurak süre, en kurak yıldaki ortalamadan olan yağış eksikliği ve bir kurak süredeki toplam en büyük yağış eksikliği değerleri ihtimalleri ve riskleriyle birlikte belirlenmiştir.

## ANALYSES OF DROUGHT OF ANNUAL RAINFALL IN ISTANBUL

### SUMMARY

Drought is the biggest disaster because of its effects. However it is more difficult to prevent drought, it is possible to be decreased its effects by determining droughts. Droughts are based on water deficiencies. The water source is only precipitation, so droughts will be started by decreasing in the rainfall and this will effect the water sources by time scales and their largeness. The people who are using the water are effected by droughts size. Different water users will be effected by depending on period of drought, the biggest rainfall deficiency in a dry period and the rainfall deficiency from avarage of the most dry year. For this reason, all these parameters are important for droughts. In this study, it is done for drought analyses by using synthetic values which are made by stochastic models for annual total rainfall values of 5 meteorological stations in Istanbul. First of all, Statistical parameters for values of stations are gained, the annual total rainfall are used for making a model by autoregressive model for many stations, then values of synthetic annual total rainfall for these stations are produced by this model. These synthetic values are divided into annual standart terms for 20, 50, 100 and 500; the avarage of the values is accepted as limit values for drought and analyses of drought is done. The longest dry term in these standart period is determined with risks and probabilities of the rainfall deficiency from avarage of the most dry year and values of the biggest total rainfall deficiency in a dry period.

## 1.GİRİŞ

### 1.1 Genel

Kuraklıklar çok çeşitli özelliklerle karakterize edilirler. Yağış, akış gibi kuraklığa etki eden değişkenlerin değerlerinden elde edilen toplam su eksikliği, en büyük eksiklik gibi kuraklık indisleri geliştirilmiştir. Wilhite ve Glantz (1985) birçok kuraklık tanımını incelemiş ve kuraklıkları meteorolojik, hidrolojik, klimatolojik, atmosferik, tarımsal ve su yönetimi olarak altı kategoride gruplandırmışlardır. Bununla birlikte bütün bu kategoriler için ortak olan nokta; bir zaman periyodu boyunca oluşan su eksikliğidir.

Kullanılabilen su kaynakları, toprak nemi, yeraltı suyu, kar depolaması, akarsular ve depolama tesislerindeki sulardan oluşmaktadır. Kuraklığın etkilerinden herhangi birisi, su arzını aşan su talebiyle ilgili olarak bu beş kullanılabilir su kaynağından birisi, birkaçı veya hepsi ile ilgili olur. Yağıştan itibaren suyun bu su kaynaklarında elde edilebilir hale gelinceye kadar geçen zaman süresi yukarıda sayılan her kullanılabilir su kaynağı için çok farklıdır. Aynı zamanda su kullanımı faaliyetleride farklı zaman ölçeklerine sahiptir. Dolayısıyla su eksikliğinin etkileri su kaynağı ve su kullanımının karmaşık bir fonksiyonudur. Farklı kuraklık tipleri için yağış eksikliklerinin önemli zaman ölçekleri birbirlerinden çok farklıdır. Örneğin, tarımsal (toprak nemi) kuraklık, hidrolojik (yeraltı suyu, akarsu ve depolama) kuraklıktan tipik olarak çok daha kısa zaman ölçeğine sahiptir (Mckee ve diğ. 1993).

Kullanılabilen su depolamalarının tek kaynağı yağıştır. Yukarıda da bahsedildiği gibi yağıştan itibaren suyun su kaynaklarında elde edilebilir hale gelmesi için geçen süreç birbirinden çok farklı olmasına rağmen, yağışta meydana gelen eksiklikler su kaynaklarını farklı olsa da mutlaka etkileyecektir. Bunun için su kaynaklarında meydana gelen kuraklıkların temeli yağışta meydana gelen eksikliklerden kaynaklanır. Bu nedenle yağışta oluşan veya oluşabilecek eksiklerin bilinmesi faydalı olacaktır.

## 1.2 Konum

Birçok bakımdan Türkiye'nin en önemli ili olan İstanbul, konumu açısından da dünyanın en önemli şehirlerinden birisidir. İstanbul, Asya ve Avrupa'yı birbirinden ayıran ve Karadeniz ile Marmara Denizi'ni birleştiren İstanbul Boğazı'nın çevresinde konumlanmıştır.  $28^{\circ} 01'$  ve  $29^{\circ} 55'$  doğu boylamları ile  $41^{\circ} 33'$  ile  $40^{\circ} 28'$  kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan İstanbul, nüfus ve ekonomik büyüklük bakımından ülkenin en büyük şehridir.

İstanbul'da akarsular platoları, İstanbul Boğazı, Marmara Denizi ve Karadeniz yönlerinde derin şekilde yarıklarından dolayı, dağlık alanlar fazla yer kaplamaz. İstanbul'un en yüksek yerleri, Boğazın doğusunda kalır. Bu tepelerin en yükseği Aydos Dağıdır (537 m). Bunun dışındaki diğer yükseltiler, Anadolu Hisarı doğusundaki Alemdağ (442 m), Kadıköy'ün doğusundaki Kayışdağ (438 m), Çataldağ (400 m), Karlıdağ (329 m), Göztepe (285 m), Üsküdar'ın doğusunda bulunan Büyük Çamlıca (262 m) ve Küçük Çamlıca (229 m) tepeleridir. Batıda ise Istranca Dağlarının son tepeleri İstanbul'un kuzeybatısına sokulur.

İstanbul'da büyük akarsular yoktur. Başlıca akarsular; Karadeniz'e dökülen Riva ve Uludere, Küçük Çekmece Gölü'ne dökülen Sazlıdere, Büyük Çekmece Gölü'ne dökülen Karasu deresi, Terkos Gölü'ne dökülen Istranca dereleridir. İstanbul civarında 3 doğal göl vardır. Bunlar; Büyük Çekmece, Küçük Çekmece, ve Terkos gölleridir.

## 1.3 İklim

İstanbul yıl boyunca çok çeşitli hava kütlelerinin etkisi altında kalır. Bunun nedeni ise, hava kütleleri açısından bir geçiş bölgesinde bulunmasıdır. İstanbul iklimi genel karakteri ile Akdeniz makro iklimi içindedir. Kalan kısımlar Karadeniz iklimi özelliklerini taşıırken, Marmara Denizi tarafında kalan güney kısımları daha çok Akdeniz iklimine benzerlik göstermektedir. İstanbul'a genellikle üç hava sistemi etki etmektedir. Bunlardan en çok etkili olanları kuzeyden gelen hava sistemleridir. Balkanlar'dan gelen ve bahar aylarında soğuk havayla etkili olan ve Britanya Adaları'nın güney doğusunda oluşan sistemler diğer etkili hava sistemleridir. Akdeniz'e inen sistemler Genova Körfezi'nde parçalanırlar ve iki kola ayrılırlar.

Bunlardan birisi, Ege ve Akdeniz diğeri ise Marmara ve Karadeniz kıyılarını etkiler. İstanbul'un sıcaklıklarına bakıldığında etkili hava sistemlerinin çeşitliliğine bağlı olarak İstanbul dahilinde az da olsa farklılıklar görülmektedir. İstanbul'un uzun yıllar ortalama sıcaklığı 14 °C civarındadır ve kuzey kısımlarında sıcaklıklar güney kısımlarındaki sıcaklıklardan biraz daha düşüktür.

İstanbul'un yağış değerleri Türkiye ortalamasının üzerindedir. İstanbul istasyonlarının uzun yıllar ortalama yıllık toplam yağış değerleri yaklaşık 640 ile 1090 mm arasında değişmekte iken Türkiye'nin geneli için bu değer 600 mm civarındadır. İstanbul'da bütün aylarda yağış olması nedeni ile Karadeniz yağış rejimiyle benzerlik vardır. Bununla birlikte yağışın mevsimlik dağılışı incelendiğinde yazın aldığı yağış dikkate alınmazsa Akdeniz yağış rejimi ile benzerlik göstermektedir.

#### **1.4 Çalışmanın Amacı**

Kuraklık bütün afetler arasında en çok etkiye sahip doğal afettir (Bryant, 1993). Bu en etkili doğal afetin yaşanması durumunda en çok etkilenecek yerlerden birisi, çok yoğun insan barındıran, Türkiye'nin en kalabalık ve ekonomik olarak en büyük şehri olan İstanbul'dur. Kuraklığın temeli su eksikliğidir. İnsanların kullandığı yinelenen bütün tatlı su kaynaklarının tek kaynağı yağıştır. Belirli bir zaman dilimi içerisinde beklenenden daha az düşecek yağış miktarları değişik zaman ölçekleri içerisinde su kaynaklarına etki edecektir. Bu nedenle, yağışta meydana gelebilecek eksiklikleri bilmek, gelecekte yaşanması muhtemel kuraklıklar için planlamalar yaparak gerekli önlemlerin alınması için temel bilgi teşkil edecektir. Bununla birlikte, farklı su kullanıcıları için farklı kuraklık büyüklükleri daha çok önem taşır. Bu kuraklık büyüklüklerinin oluşma ihtimalleri alınacak risklerin bilinmesi bakımından önemlidir. Çalışmadaki amaç bu farklı kuraklık büyüklükleri için analizler yaparak İstanbul'daki bazı meteoroloji istasyonları için risk değerlerini belirlemektir.

## 2. KURAKLIK

### 2.1. Kuraklık

Meteorolojik ve hidrolojik kuraklık tanımları uzun süredir tartışılmaktadır. Kuraklık açıklamalarının çoğunun tanımının içinde yağış meteorolojik parametresi vardır. Hoyt (1938) yağışın ortalamasının yüzde 85'i ve daha azı kadar yağışı kuraklık olarak ifade etmiştir. McGuire ve Palmer (1957) yıllık veya aylık yağışın normalin belirli bir yüzdesinden daha az olması halini kuraklık olarak tanımlamışlardır. Thomas (1965) belirli bir zaman aralığında oluşan yağışın aynı zaman aralığı için hesaplanan uzun yıllar ortalamasından daha az olmasını kuraklık tanımı olarak kullanmıştır. Belkide en çok bilinen Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksinde (PKŞİ) ise kuraklık yağış ve evapotranspirasyon arasındaki farkların toplamıyla ilgili olarak tanımlanmıştır (Palmer, 1965). Bununla birlikte PKŞİ daha çok tarımsal kuraklıkla ilgilidir. Warrick (1975) bu indeksin kullanımının kuraklığın toplum üzerindeki etkisinin bir miktar göstergesi olabileceğini ifade etmiştir. Booth ve Voeller (1967) doğal çevrenin etkilerini azaltmakta başarılı olan gelişmiş toplumlarda bile PKŞİ ile belirlenen kuraklıkların şiddeti arttıkça toplumun kuraklıktan etkilenen kesimlerinin de arttığını tesbit etmişlerdir. Diğer yanda Russell ve diğ. (1970) PKŞİ tarafından çok kuvvetli bir meteorolojik kuraklık tesbit edilse bile bu kuraklığın ilgilenilen sisteme bağlı olarak tesbit edilen kuraklığın sisteme etkisinin olabileceğini veya hiç bir etkisinin olamayacağını ifade etmişlerdir. Bu bakış farklılıkları bütün kuraklık şartları ve su kullanıcıları için tek bir tanımın mümkün olmadığını ortaya koymaktadır.

Kuraklık problemlerine klasik yaklaşım, ekstremler teorisiyle ani en küçük değeri bulmaktır (Gumbel, 1963). Bu yaklaşım kuraklığın süresi ve etkilediği alan ile ilgili bir fikir vermez. Zira, taşkınların aksine kuraklıklarda süre ve alan önemli büyüklüklerdir (Tase, 1976). Bununla birlikte kuraklığın alansal kapsamıyla ilgili çalışmaların pek azı elde edilebilir durumdadır ve kuraklığın alansal

karakteristiklerini belirlemek için belirli bir yöntem geliştirilmemiştir (Frick ve diğ. 1990). Sonraki yıllarda daha çok istatistiki yöntemler kullanılarak Saldariga ve Yevjevich (1970), Milan ve Yevjevich (1971), Guerrero ve Yevjevich (1975), Gupta ve Duckstein (1975), Şen (1976, 1980), Santos (1981), Chander (1981), Santos ve diğ. (1983), Correia ve diğ. (1985) tarafından kuraklık çalışmaları yapılmıştır.

Türkiye’de ise Erdoğan (1989) klasik yaklaşımla ekstremler teorisini kullanarak bir çalışma yapmıştır. Kadioğlu ve Topçu (1997), çeşitli yağış indeksleri ile Marmara Bölgesi kuraklıklarını, Türkeş (1996) standartlaştırılmış yağış indeksi ile 1930-1993 arası yağışları incelemişlerdir. Özer ve diğ. (1998) kuraklığın alansal dağılımı üzerine çalışmışlar ve Güner ve diğ. (1998) PKŞİ’ni kullanarak geçmiş dönem kuraklıklarını incelemişlerdir.

## 2.2 Yağış Verileri

Çalışmada İstanbul civarındaki meteoroloji istasyonlarına ait yağış verileri kullanılmıştır. Bu meteoroloji istasyonları Bahçeköy, Kumköy, Kireçburnu, Florya ve Kartal’dır. Çalışmada bu meteoroloji istasyonlarına ait yıllık toplam yağışlar kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu meteoroloji istasyonlarından Bahçeköy, Kireçburnu, Florya ve Kartal istasyonlarının 1950 ve 2000 yıllarını kapsayan yıllık toplam yağış verileri mevcut iken, Kumköy meteoroloji istasyonunun verileri 1951 ve 2000 yılları arasındadır. Burada kullanılan model için tüm istasyonların verilerinin aynı sürede olması gerekmektedir. Bu nedenle Kumköy meteoroloji istasyonu yıllık toplam yağışları ile diğer dört istasyonun yıllık toplam yağışları arasında korelasyon yapılmış ve en yüksek korelasyon katsayısı Bahçeköy ile bulunmuştur. Buna göre Kumköy meteoroloji istasyonunun 1950 yılına ait yıllık toplam yağışı Bahçeköy meteoroloji istasyonu ile arasındaki regresyon bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçta kullanılan bütün meteoroloji istasyonlarına ait yıllık toplam yağış verileri 1950 ve 2000 yılları arasına ait 51 yıllık, yıllık toplam yağış verileridir.



## 2.3 Kuraklık Büyüklükleri

Çalışmanın başlangıcında kuraklığın nasıl tanımlanacağına ve buna göre hangi kuraklık büyüklüklerinin kullanılarak analizler yapılacağına karar verilmesi gerekir. Bu çalışmada yıllık toplam yağışlar kullanılacağı için buna göre bir tanım ve büyüklüklerin seçilmesi gerekir. Belirlenen bir seviyenin altında oluşmuş yağışları kuraklık olarak kabul eden tanım seçilmiş ve bu referans seviyesi de yağışların uzun yıllar ortalaması olarak alınmıştır. Böylece bir kurak süre, yıllık yağışın uzun yıllar ortalamasının altına düşmesiyle başlar ve yıllık yağışın uzun yıllar ortalamasının üzerine çıkmasıyla son bulur. Eğer yıllık yağış iki kurak süre arasında tek bir yıl için dahi uzun yıllar ortalamasının üzerinde ise bu iki kurak süre iki ayrı kurak periyot olarak alınır. Bu tanımlamalara göre; kurak süre, toplam yağış eksikliği ve yıllık en büyük yağış eksikliği olmak üzere üç farklı kuraklık büyüklüğü belirlenebilir.

### 2.3.1 Kurak Süre

Kurak süre, herhangi bir yıllık toplam yağış zaman serisinde yıllık toplam yağışın uzun yıllar ortalaması altında kalmasıyla başlayan ve uzun yıllar ortalaması üzerine çıkmasıyla sona eren sürenin uzunluğudur. Burada yıllık yağışlar kullanıldığı için bu süre arada kalan yıl sayısına eşittir. Şekil 2.1.'de herhangi bir yağış zaman serisi için en büyük kurak süre gösterilmiştir.

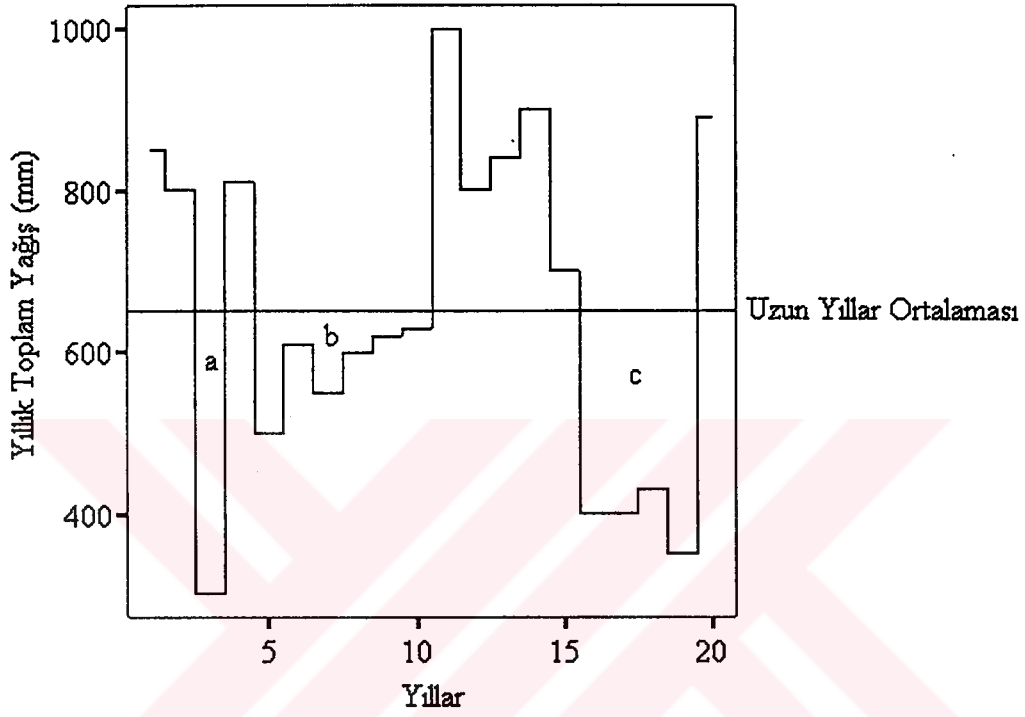
### 2.3.2 Yıllık En Büyük Yağış Eksikliği

İlgilenilen yağış zaman serisindeki en düşük yıllık toplam yağış, en kurak yılı göstermektedir. Yıllık toplam yağışların uzun yıllar ortalamasının bu en düşük toplam yağıştan olan farkı ise en kurak yıldaki kuraklığın büyüklüğünü ifade eder. Şekil 2.1'de herhangi bir yıllık toplam yağış zaman serisi için yıllık en büyük yağış eksikliği gösterilmiştir.

### 2.3.3 Toplam Yağış Eksikliği

Bir kurak süre yıllık toplam yağışın uzun yıllar ortalamasının altında kalması ile başlayacaktır ve yıllık toplam ilk yıldan itibaren uzun yıllar ortalaması ve yıllık toplam yağış arasında bir fark oluşacaktır. Kurak süre sonuna kadar her yıl için

oluşan bu farkların toplamı bu kurak süredeki toplam yağış eksikliğini verir. Şekil 2.1.'de herhangi bir yıllık toplam yağışın zaman serisi için en büyük toplam yağış eksikliği verilmiştir.



Şekil 2.1 Kuraklık büyüklükleri: (a) Yıllık en büyük yağış eksikliği; (b) En uzun kurak süre; (c) En büyük toplam yağış eksikliği.

## 2.4 Kuraklığın Etkileri

Su, insan faaliyetlerindeki en gerekli maddedir. Bununla birlikte çoğu zaman suyun varlığının farkına bile varılmadan kullanılır. İnsan hayatının üretim ve tüketim safhalarında tamamen içine girmiş bu maddenin değeri, ancak kıtlığı hissedildiği zaman anlaşılabilir. Su kıtlığını ise, arzın talebi karşılamaması olarak tanımlayabiliriz. Genel olarak, talep suyun normal arzına göre oluşmuştur. Eğer su arzı normalin altına düşerse, bu düşüş miktarına göre su kıtlığı yaşanabilir, bu da kuraklıktır. Bununla birlikte dünya nüfusunun artışı ve kişi başına düşen su taleplerinin özellikle gelişmiş ülkelerde artmasıyla birlikte sınırlı olan su kaynakları üzerindeki baskı giderek artmaktadır.

Kuraklığın etkileri direk ve dolaylı olarak iki şekilde ortaya çıkmaktadır. Tarımsal ürün, otlak ve orman ürünlerinde azalma; yangın tehlikesinin artması; su seviyelerinin azalması; hayvanların ölmesi, vahşi hayatın ve balıkların zarar görmesi doğrudan etkilere birkaç örnektir. Bu etkiler sonucu dolaylı etkiler de oluşacaktır. Örneğin; tarımsal ürün, otlak ve orman ürünlerindeki azalma; çiftçiler ve tarımla ilgili alanlarda çalışanların gelirlerinin azalmasına, yiyecek, orman ürünlerinin, fiyatlarının ve işsizliğin artmasına, azalan harcamalar nedeniyle devletin vergi gelirlerinin azalmasına, suçun, iş adamlarının ve çiftçilerin ödemediği senetlerin, göçün ve yardım programlarının artışına neden olacaktır. Kuraklığın doğrudan ve birincil etkileri genellikle biyofizikseldir. Kavramsal olarak, etkiler sebepten uzaklaştıkça, bu etkilerin sebeple olan bağlantıları da o kadar karmaşık hale gelir. Gerçekte, kuraklığın etkilerinin uzantıları ne kadar yaygın olursa, kuraklığın maddi zararlarını hesaplamak o kadar zordur (National Drought Mitigation Center, 1998).

Doğadan kullanılan suların üçte ikisi yiyecek üretimi için kullanılmaktadır. Dünyadaki tarımsal üretimde kullanılan alanların % 16'sı sulanabilir durumdadır ve bu alanların üretimi dünya tarımsal üretiminin üçte birinin karşılamaktadır (Postel ve diğ., 1993). Bunlarla birlikte tarımsal üretimin doğrudan olarak yağışa ve yüzey suyuna bağlı olduğu düşünülürse, kuraklığın en büyük etkilerinin tarımsal üretim üzerinde olacağı açıktır. Bitkilerin zarar görmesi, üretim kalitesinin azalması ve tarımsal üretim miktarının azalması, kuraklığın tarımsal etkileridir. Kuraklığın bitkiler üzerindeki etkileriyle birlikte hayvan beslenmesinin etkileneceği için hayvansal üretim miktarında bir azalma ve ürünlerin fiyatlarında artışlar oluşur. Su kıtlığı, hava nemi ve bitkiler ile topraktaki suyun azalmasına neden olacağı için meydana gelen orman yangınlarının sayısında ve yanan orman miktarında artışlar olacaktır.

Ayrıca kuraklığın bitki ve hayvanlar üzerindeki etkileri ekolojik çevre üzerinde hasarlar meydana getirebilir. Su yetersizliği nedeniyle bazı bitki türleri yok olabilir. İçecek su ve besin yetersizliği nedeniyle doğada yaşayan hayvanlar zarar görürler. Su azlığından su kalitesinde olumsuz değişimler görülür. Suyun asitlik derecesinin değişmesi, tuz oranının artması bunlardan bazılarıdır. Bitkilerde meydana gelebilecek zararlar nedeniyle erozyon artar ve buna bağlı olarak havadaki toz miktarında artışlar olabilir. Kuraklığın ekolojik hayat üzerindeki sayılan bu

etkilerinden bazıları kuraklığın sona ermesiyle birlikte belirli bir zaman içinde etkilerini kaybeder fakat bazı etkiler kalıcı hasarlara yol açar.

Şehirlerin içme ve kullanma suyu temininde özellikle uzun süre devam eden kurak süreler problemlere yol açabilir. Sınırlı su kaynakları üzerinde, nüfus artışı ve yaşam standartlarının artmasıyla su talebi baskısı sürekli artmaktadır. Bu artan su talebi baskısıyla kuraklıkların birleşmesiyle oluşacak su temini yetersizliği, yaşam kalitesinin düşmesine ve daha da önemlisi şehir sakinlerinde çeşitli sağlık problemlerine yol açabilecektir. Su teminindeki yetersizliklere ilaveten, kurak zamanlardaki su kalitesinin azalması da sağlık sorunlarına neden olabilecektir. Endüstride kullanılan suların azalması su kullanımına dayanan endüstriyel üretimde azalmalara yol açabilir. Kurak dönemlerde içme ve kullanma suyunun hayati önemi olması dolayısıyla su yöneticilerinin kısıtlı olan suyu sadece içme ve kullanma suyuna yöneltmesiyle birlikte kuraklığın endüstri üzerindeki etkileri çok şiddetli olarak hissedilebilir. Yüzey sularının azalması, bazı endüstriyel faaliyetlerde atıkların bu yüzey sularına deşarj edilmesi sebebiyle, suların içerisindeki kirletici madde miktarı oranının artmasına yol açacaktır. Hidroelektrik enerji üretiminin azalmasına bağlı olarak enerji fiyatlarında ve özellikle petrol fiyatlarında artışlar meydana gelebilir.

Sonuç olarak, kuraklığın etkileri toplum davranışlarına yansımaktadır. Bu etkiler arasında şüphesizki en büyüğü su ve yiyecek yetersizlikleri nedeniyle insan hayatı kayıplarıdır. Toplum güvenliği ve sağlığı, su hakkı anlaşmazlıkları ve yaşam kalitesi seviyesinin azalması sayılabilecek diğer sosyal etkilerdir. Kurak bölgelerden, su ve yiyecek temininin daha kolay olduğu diğer bölge ve ülkelere olan toplumsal göçler yeni yerleşim bölgelerinde su eksikliği ile ilgili sorunlar ortaya çıkaracak, suyla ilgili sorunlar oluşmasa bile, sadece göçten kaynaklanan sosyal sorunlar yaratabilecektir. Tarihte Orta Asya'dan kuraklık nedeniyle yapılan büyük göçün tarihi ne kadar çok etkilediği ortadadır.

### 3. ÇOK İSTASYONLU MODEL

#### 3.1 Genel

1960'lerden başlayarak hidrolojik zaman serilerinin stokastik karakteristiklerini analiz etmek ve zaman serilerini modelleyerek çoğaltmak için yöntemler geliştirilmeye çalışılmıştır. Zamanla araştırmalar tek zaman serisinden, çoklu zaman serilerine yönelmiştir. Bu yönde Fiering (1964), Matalas (1967), Matalas ve Wallis (1971), Mejia (1971), Valencia ve Schaake (1973) ve O'Connell (1974) gibi araştırmacılar çalışmalar yapmışlardır. Genelde akım zaman serileri üzerinde çalışmalar yapılmışsa da Franz (1970), Tase (1976) gibi araştırmacılar yağış verilerinin stokastik modellenmesi üzerine çalışmışlardır. Salas ve Pegram (1978) tek adımlı modeli geliştirerek periyodik ve çok adımlı model halinde uygulamışlardır.

#### 3.2 Periyodik Olmayan Çok İstasyonlu Model

Aylık yağış verilerinde periyodiklikler gözlenmektedir. Bu nedenle kullanılacak modelde bir periyodik bileşen olması gerekir. Bununla birlikte yıllık yağış verilerinde tam olarak tanımlanabilecek bir periyodiklik gözlenmez. Bu verileri modellemek için periyodik olmayan model kullanılır.

##### 3.2.1 Model Yapısı

Burada kullanılacak model, Matalas (1967) tarafından önerilen ve Young ve Pisano (1968) tarafından geliştirilen tek adımlı ve çok değişkenli modeldir.

Yıllık yağış serilerini  $Y_z^i$  olarak gösterelim. Burada  $n$  tane istasyon olduğu farzederek;  $i$ , 1'den  $n$ 'ye kadar olan istasyonları  $z$  ise, zamanı yani yılları göstermektedir.  $Y_z^i$  ile gösterilen değerler normal dağılıma uygun olabilir veya

uygun olmayabilirler. Eğer bu veriler normal dağılıma uygun değillerse dönüşümler yapılarak çarpıklıklarının sıfıra yaklaştırılarak mümkün olduğu kadarı ile normal dağılıma uydurulmaları gerekir. Bu dönüşüm fonksiyonlarını  $f$  ile gösterirsek;

$$P_t = f(Y_t) \quad (3.1)$$

veya

$$\begin{bmatrix} P_t^{(1)} \\ P_t^{(2)} \\ . \\ . \\ P_t^{(n)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f^{(1)}, 0, \dots, 0 \\ 0, f^{(2)}, \dots, 0 \\ \dots \\ \dots \\ 0, 0, \dots, f^{(n)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_t^{(1)} \\ Y_t^{(2)} \\ . \\ . \\ Y_t^{(n)} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

buradaki  $f$  dönüşüm fonksiyonları her istasyon için farklı olacaktır. Eğer  $Y$  değerleri normal ise, dönüşüme gerek olmayacaktır. Burada kullanılan  $f$  dönüşüm fonksiyonu doğal logaritmik ise  $P = \ln(Y)$  şeklinde bir dönüşüm olacaktır. Aynı şekilde bu dönüşümler karakök, üstel ve logaritmik dönüşümler olabilir.

Dönüşüm yapılmış (normal dağılıma uygun hale getirilmiş  $P_t$  verilerinin genel modeli şu şekilde gösterilebilir:

$$\begin{aligned} P_t^{(1)} &= \mu^{(1)} + \rho^{(1)} z_t^{(1)} \\ . & \quad . \quad . \quad . \\ . & \quad . \quad . \quad . \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$P_t^{(n)} = \mu^{(n)} + \rho^{(n)} z_t^{(n)}$$

Burada  $\mu^{(i)}$  ve  $\rho^{(i)}$  ler sırasıyla ortalama ve standart sapmalar,  $z_t^{(i)}$  ler ise standartlaştırılmış değerlerdir. (3.3) ifadesinin genel olarak matris formu;

$$P_t = \mu + \rho Z_t \quad (3.4)$$

şeklindedir. Burada  $\mu$  (nx1) matris ,  $\rho$  (nxn) diagonal matris ve  $P_t$  ile  $Z_t$  de (nx1) matrislerdir. Sonuçta elde edilen  $Z_t$  serileri bir adımlı çok istasyonlu otoregresiv modele uygun olarak ;

$$Z_t = A Z_{t-1} + B \Sigma_t \quad (3.5)$$

şeklinde modellenir. Burada A ve B (nxn) boyutunda matris parametreleri ve  $\Sigma_t$  (nx1) boyutunda bağımsız ve normal dağılıma uygun rastgele değişkendir.

### 3.2.2 Model Parametreleri

$Y^{(i)}_1, Y^{(i)}_2, \dots, Y^{(i)}_N$  N yıl ve i istasyonları için yapılmış gözlemler olsun. Bu veriler normal dağılıma uygundur veya normal dağılıma uygun hale getirilmek için tranformasyonlar yapılacaktır. Normal dağılıma uygun seriler şu şekilde olacaktır:

$$P_t^{(i)} = (P_1^{(i)}, P_2^{(i)}, \dots, P_N^{(i)}), i=1, \dots, n \quad (3.6)$$

Buradaki n tane istasyonun verilerinin uzunluğu bütün istasyonlar için aynı N yıl uzunluğuna sahip olmalıdır. Eksik veriler doldurulmalı ve kısa seriler N seri uzunluğuna uzatılmalıdır. Bu şart matris parametrelerinin hesabı için gereklidir. Daha sonra;

$$\mu^{(i)} = (1/N) \sum_{t=1}^N p_t^{(i)}, i=1, \dots, n \quad (3.7)$$

$$\rho^{(i)} = \left[ (1/N) \sum_{t=1}^N (p_t^{(i)} - \mu^{(i)})^2 \right]^{1/2}, i=1, \dots, n \quad (3.8)$$

$$Z_t^{(i)} = (P_t^{(i)} - \mu^{(i)}) / \rho^{(i)}, i=1, \dots, n \quad (3.9)$$

şeklinde ortalamalar, standart sapmalar hesaplanır ve bunların yardımıyla standartlaştırılmış seriler elde edilir.

Bir adımlı çok istasyonlu otoregresiv model için Matalas'ın (1967) önerdiği biçimde A ve B parametreleri aşağıdaki gibi:

$$A = M_1 M_0^{-1} \quad (3.10)$$

$$BB^T = M_0 - A_1 M_1^T \quad (3.11)$$

Burada  $M_0$  ve  $M_1$  sırasıyla sıfır adım ve bir adım için  $Z_t$ 'ye ait korelasyon matrisleridir.

### 3.2.3 Veri Üretim Modeli

Verileri üretmek için kullanılacak model; (3.5) numaralı formülde verilen

$$Z_t = A Z_{t-1} + B \epsilon_t$$

modelidir. Bu modeli daha açık olarak,

$$\begin{aligned} Z_t^1 &= a^{11} z_{t-1}^1 + \dots + a^{1n} z_{t-1}^n + b^{11} \epsilon_t^1 + \dots + b^{1n} \epsilon_t^n \\ Z_t^2 &= a^{21} z_{t-1}^1 + \dots + a^{2n} z_{t-1}^n + b^{21} \epsilon_t^1 + \dots + b^{2n} \epsilon_t^n \\ &\vdots \\ Z_t^n &= a^{n1} z_{t-1}^1 + \dots + a^{nn} z_{t-1}^n + b^{n1} \epsilon_t^1 + \dots + b^{nn} \epsilon_t^n \end{aligned} \quad (3.12)$$

şeklinde yazabiliriz. Buradaki  $a$ 'lar ve  $b$ 'ler sırasıyla  $A$  ve  $B$  matrislerinin elemanlarıdır. Ayrıca  $\epsilon_t$ 'ler ise ortalaması sıfır ve standart sapması bir olan bağımsız ve normal dağılmış rastgele değişkenlerdir.

Böylece  $Z_t$  verileri için üretme işlemi tamamlandıktan sonra modelleme için yapılan işlemlerin tersi yapılarak üretilmiş yıllık yağış verileri elde edilir. Öncelikle

$$P_t^i = \mu^i + \rho^i z_t^i, i = 1, \dots, n \quad (3.13)$$

işlemleri yapılarak standart veriler normal hale uydurulmuş veriler elde edilir. Bu verileri son olarak üretilmiş doğal verilere dönüştürmek için;



$$Y_t^i = f^{(-1i)} P_t^i, i = 1, \dots, n \quad (3.14)$$

işlemi uygulanır. Burada gösterilen  $f^1$  gözlenmiş verileri normal hale getirmek için kullanılan transformasyon fonksiyonlarının tersini ifade eder.

### 3.2.4 Model Kabulleri

Çok istasyonlu otoregresiv modellerdeki en önemli özellik, gözlenen verilerin istatistik parametreleri ve çoğaltılan verilerin parametrelerinin birbirine yakın olmasının gerekmesidir. Üretilen verilerin ortalamaları, standart sapmaları, sıfır ve bir adım için karşılıklı korelasyon katsayıları gözlenen verilerin aynı parametrelerine yakın olmalıdır. Bütün bunlarla birlikte veriler içindeki bağımlılığın gözlenmiş verilerde olduğu gibi korunması gerekmektedir. Bunun için hem gözlenen hem de üretilen veriler için otokorelogramlar çizilerek kontroller yapılmalıdır.

Diğer taraftan modelde kullanılacak verilerin gerekli dönüşümler yapılarak mümkün olduğu kadar normal dağılıma uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Ayrıca kullanılan bütün istasyonların verilerinin sürelerinin aynı olması gerekir.

## 4. UYGULAMA

### 4.1. Gözlenmiş Verilerin Parametreleri

Yıllık gözlenmiş istatistiklerin parametreleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Gözlenmiş verilerin istatistik parametreleri

|                                      | Bahçeköy | Kumköy | Kireçburnu | Florya | Kartal |
|--------------------------------------|----------|--------|------------|--------|--------|
| Ortalama (mm)                        | 1091.74  | 766.67 | 781.30     | 639.85 | 647.72 |
| Minimum (mm)                         | 694.0    | 470.6  | 574.2      | 327.2  | 330.5  |
| Maksimum (mm)                        | 1656.3   | 1229.8 | 1215.2     | 935.6  | 971.9  |
| Standart sapma (mm)                  | 201.99   | 156.87 | 138.66     | 116.84 | 133.45 |
| Çarpıklık katsayısı                  | 0.600    | 0.735  | 0.753      | 0.187  | 0.243  |
| Otokorelasyon katsayısı (bir adımlı) | 0.122    | 0.129  | 0.161      | -0.163 | -0.015 |

Bütün istasyonlara ait gözlenmiş verilerin çarpıklık katsayıları pozitifdir. Kartal ve Florya'ya ait çarpıklık katsayıları sifıra yakın değerlerdir. Bununla birlikte diğer üç istasyonun çarpıklık katsayıları çok büyük olmasa da sifirdan uzak değerlerdir. Bu da değerlerin normal dağılıma yakınlığını gösterir. Yıllık toplam yağış serilerinde bir adımlı otokorelasyon katsayısının, yıllar arasındaki bağımsızlıktan dolayı sifıra yakın değerler alması beklenebilir. Bahçeköy, Kumköy, Kireçburnu istasyonlarında bir adımlı otokorelasyon katsayısı sifıra yakın ve pozitif değerler olmasına rağmen

Florya ve Kartal istasyonlarındaki değerler yine sifıra yakın, bununla birlikte negatif değerlerdir. Bu negatif değerler yıllar arasındaki değişkenlik nedeniyle doğaldır. Tablo 4.2’de gösterilen çapraz korelasyon katsayıları istasyonların yıllık yağış toplamaları arasında iyi ilişkiler olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte istasyonların birbirlerine olan uzaklıkları ve coğrafi konumları nedeniyle farklılıklar gözlenmektedir. İstasyonlar arası bir adımlı karşılıklı korelasyon katsayıları (Tablo 4.3) sifıra yakın değerlerdir. İstasyonlara ait korelogramlara (Şekil A.1a-A.1e) bakıldığında ikinci adımdan itibaren bağımsızlığın olduğu görülmektedir.

Tablo 4.2 Gözlenmiş verilerin istasyonlar arası karşılıklı korelasyonları.

|            | Bahçeköy | Kumköy | Kireçburnu | Florya | Kartal |
|------------|----------|--------|------------|--------|--------|
| Bahçeköy   | 1.00     | 0.818  | 0.813      | 0.669  | 0.685  |
| Kumköy     | 0.818    | 1.00   | 0.802      | 0.596  | 0.547  |
| Kireçburnu | 0.813    | 0.802  | 1.00       | 0.592  | 0.572  |
| Florya     | 0.669    | 0.596  | 0.592      | 1.00   | 0.533  |
| Kartal     | 0.685    | 0.547  | 0.572      | 0.533  | 1.00   |

Tablo 4.3 Gözlenmiş verilerin istasyonlar arası bir adımlı karşılıklı korelasyonları.

|            | Bahçeköy | Kumköy | Kireçburnu | Florya | Kartal |
|------------|----------|--------|------------|--------|--------|
| Bahçeköy   | 0.122    | 0.185  | 0.072      | 0.026  | 0.182  |
| Kumköy     | 0.005    | 0.129  | 0.021      | -0.130 | 0.025  |
| Kireçburnu | 0.167    | 0.217  | 0.161      | -0.023 | 0.082  |
| Florya     | -0.217   | -0.191 | -0.288     | -0.163 | -0.195 |
| Kartal     | -0.006   | 0.051  | -0.038     | 0.006  | -0.015 |

#### 4.2. Sentetik Verilerin Üretilmesi

Verilerin modellenmesi ve sentetik verilerin üretilmesinde Matalas (1967) tarafından verilen, Young ve Pisano'nun (1968) geliştirdiği model kullanılmıştır. Lane ve Frevert (1990) tarafından bu model için hazırlanan LAST bilgisayar programı çalıştırılarak model kullanılmıştır. Model için verilerin normal dağılıma yakın olması gerekmektedir. Bu nedenle Tablo 4.1'de görülen çarpıklık katsayıları yüksek olduğu için gerekli transformasyon işlemleri yapılmıştır. Bu işlemlerde Bahçeköy, Kumköy ve Kireçburnu istasyonları için doğal logaritmik transformasyon, Florya ve Kartal istasyonlarına ait veriler için de üstel transformasyonlar uygulanmıştır. Bu işlemlerden sonra elde edilen verilere ait çarpıklık katsayıları Tablo 4.4'te verilmiştir. Kullanılan modelin temel kabulü ve hedefi gözlenen verilere ait istatistik parametreler ile üretilen sentetik verilere ait istatistik parametrelerin aynı olması gereğidir. Bu nedenle gözlenmiş ve sentetik olarak üretilmiş verilere ait parametrelerin karşılaştırarak kontrol edilmesi gerekir.

Gözlenmiş ve üretilmiş sentetik verilerin ortalamaları birbirine çok yakındır. Bu ortalamaları aynı kabul edebiliriz. Bütün istasyonlar için üretilen sentetik verilerin minimum değerleri gözlenmiş minimum değerlerden daha küçük, üretilen sentetik verilerin maksimum değerleri gözlenmiş verileri maksimum değerlerinden ise daha büyüktür. Gözlenen verileri serilerinin uzunluğu 51 ve üretilen sentetik serilerin uzunluğu 5000 olduğu için bu doğaldır. Gözlenen ve üretilen sentetik serilerin standart sapmaları arasında hemen hemen hiç fark olmadığı için istatistiki olarak verilerin ortalamadan sapmaları arasında bir fark yoktur. Gözlenen verilerin çarpıklık katsayıları bütün istasyonlar için üretilen sentetik verilerin çarpıklık katsayılarından daha küçüktür fakat aralarında büyük farklar yoktur. Bir adımlı

Tablo 4.4 Normal dağılıma uygun hale getirmek için gerekli transformasyonlar yapılmış verilerin çarpıklık katsayıları.

|                     | Bahçeköy | Kumköy | Kireçburnu | Florya | Kartal |
|---------------------|----------|--------|------------|--------|--------|
| Çarpıklık Katsayısı | 0.024    | -0.013 | 0.003      | -0.07  | 0.002  |

otokorelasyon katsayıları gözlenmiş ve üretilen sentetik veriler için hemen hemen aynıdır. Genel olarak, gözlenmiş veriler ile sentetik olarak üretilmiş verilerin istatistik parametreleri arasında önemli ölçüde farklar yoktur. Tablo 4.5'te gözlenmiş verilere ait istatistiki parametreler karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 4.5 Gözlenmiş ve sentetik olarak üretilmiş verilerin istatistiki parametreleri .

|                                            |           | Bahçeköy | Kumköy | Kireçburnu | Florya | Kartal |
|--------------------------------------------|-----------|----------|--------|------------|--------|--------|
| Ortalama<br>(mm)                           | Gözlenmiş | 1091.74  | 766.67 | 781.30     | 639.85 | 647.72 |
|                                            | Üretilmiş | 1089.98  | 764.15 | 780.33     | 640.74 | 647.32 |
| Minimum<br>(mm)                            | Gözlenmiş | 694.0    | 470.6  | 574.2      | 327.2  | 330.5  |
|                                            | Üretilmiş | 615.2    | 425.0  | 488.5      | 250.7  | 213.6  |
| Maksimum<br>(mm)                           | Gözlenmiş | 1656.3   | 1229.8 | 1215.2     | 935.6  | 971.9  |
|                                            | Üretilmiş | 2318.0   | 1709.0 | 1819.0     | 1089.0 | 1185.0 |
| Standart<br>Sapma<br>(mm)                  | Gözlenmiş | 201.99   | 156.87 | 138.66     | 116.84 | 133.45 |
|                                            | Üretilmiş | 203.76   | 159.89 | 142.29     | 117.93 | 133.61 |
| Çarpıklık<br>Katsayısı                     | Gözlenmiş | 0.600    | 0.735  | 0.753      | 0.187  | 0.243  |
|                                            | Üretilmiş | 0.759    | 0.95   | 1.125      | 0.205  | 0.293  |
| Otokorelasyon<br>Katsayısı<br>(bir adımlı) | Gözlenmiş | 0.122    | 0.129  | 0.161      | -0.163 | -0.015 |
|                                            | Üretilmiş | 0.113    | 0.068  | 0.189      | -0.173 | -0.021 |

Tablo 4.6 ve 4.7' de gösterilen gözlenmiş ve sentetik olarak çoğaltılmış verilerin sıfır adım ve bir adımlı karşılıklı korelasyonlarında gözlenen ve sentetik olarak çoğaltılan verilere ait değerler arasında büyük yakınlıklar görülmektedir.

Bunlarla birlikte gözlenen ve sentetik olarak üretilen verilerin zamansal iç bağımsızlıklarının uyuşması gerekir. A.1a-A.1e, şekillerinde verilen gözlenen verilere ait korelogramlar ile A.2a-A.2e, şekillerinde verilen üretilmiş sentetik verilere ait korelogramlar arasında ilk üç, dört adım için iyi bir benzerlik vardır ve verilerin bağımsızlaştığı adımlar aynıdır.

Tablo 4.6 Gözlenmiş ve sentetik olarak üretilmiş verilerin istasyonlar arası karşılıklı korelasyonları

|            |           | Bahçeköy | Kumköy | Kireçburnu | Florya | Kartal |
|------------|-----------|----------|--------|------------|--------|--------|
| Bahçeköy   | Gözlenmiş | 1.00     | 0.818  | 0.813      | 0.669  | 0.685  |
|            | Üretilmiş | 1.00     | 0.819  | 0.801      | 0.644  | 0.658  |
| Kumköy     | Gözlenmiş | 0.818    | 1.00   | 0.802      | 0.596  | 0.547  |
|            | Üretilmiş | 0.819    | 1.00   | 0.790      | 0.584  | 0.507  |
| Kireçburnu | Gözlenmiş | 0.813    | 0.802  | 1.00       | 0.592  | 0.572  |
|            | Üretilmiş | 0.801    | 0.790  | 1.00       | 0.574  | 0.521  |
| Florya     | Gözlenmiş | 0.669    | 0.596  | 0.592      | 1.00   | 0.533  |
|            | Üretilmiş | 0.644    | 0.584  | 0.592      | 1.00   | 0.512  |
| Kartal     | Gözlenmiş | 0.685    | 0.547  | 0.572      | 0.533  | 1.00   |
|            | Üretilmiş | 0.658    | 0.507  | 0.521      | 0.512  | 1.00   |

Tablo 4.7 Gözlenmiş ve sentetik olarak üretilmiş verilerin istasyonlar arası bir adımlı karşılıklı korelasyonları

|            |           | Bahçeköy | Kumköy | Kireçburnu | Florya | Kartal |
|------------|-----------|----------|--------|------------|--------|--------|
| Bahçeköy   | Gözlenmiş | 0.122    | 0.185  | 0.072      | 0.026  | 0.182  |
|            | Üretilmiş | 0.113    | 0.136  | 0.080      | 0.009  | 0.192  |
| Kumköy     | Gözlenmiş | 0.005    | 0.129  | 0.021      | -0.130 | 0.025  |
|            | Üretilmiş | -0.007   | 0.068  | 0.005      | -0.135 | 0.058  |
| Kireçburnu | Gözlenmiş | 0.167    | 0.217  | 0.161      | -0.023 | 0.082  |
|            | Üretilmiş | 0.172    | 0.185  | 0.189      | -0.027 | 0.078  |
| Florya     | Gözlenmiş | -0.217   | -0.191 | -0.288     | -0.163 | -0.195 |
|            | Üretilmiş | -0.211   | -0.171 | -0.235     | -0.173 | -0.202 |
| Kartal     | Gözlenmiş | -0.006   | 0.051  | -0.038     | 0.006  | -0.015 |
|            | Üretilmiş | -0.002   | 0.045  | -0.044     | 0.010  | -0.021 |

### 4.3 Kuraklık Analizleri

Kuraklık analizleri Bölüm 2.3' de anlatılan kurak süre, yıllık en büyük yağış eksikliği ve toplam yağış eksikliğinden oluşan kuraklık büyüklerine göre yapılmıştır.

Daha öncede belirtildiği gibi alınan 5 istasyondan her biri için 51 yıllık gözlemlerine dayanılarak 5000 adet veri üretilmiştir. Elde edilen bu sentetik veriler 20 , 50 , 100 ve 500 yıllık sürelerle ayrılmıştır. Böylece 250 tane 20 yıllık , 100 tane 50 yıllık , 50 tane 100 yıllık ve 10 tane 500 yıllık süre elde edilmiş ve her bir süre için analiz yapılmıştır. Bu analizlerde kullanılan kuraklık sınırları Tablo 4.5'de verilen üretilmiş sentetik verilere ait ortalamalardır.

#### 4.3.1 Kurak Süre Analizi

Üretilmiş serilerden elde edilen herhangi bir istasyon için 20 yıllık dönem göz önüne alındığı zaman bu dönemde büyük bir ihtimalle bu istasyona ait üretilmiş sentetik serilerin ortalamasından daha küçük veriler bulunacaktır. Bu veriler kurak yılları ifade etmektedir. Bunlar ardışık olarak bulunabilir veya aralarında ortalamadan daha büyük verilerin bulunmasıyla parçalı olarak yer alabilirler. Kurak yılların ardışık olarak bulunduğu her bir dönemi kurak süre olarak adlandırabiliriz. Böylece 20 yıllık bir dönem içerisinde bir veya birden fazla kurak süre olabilir. Bu kurak süre kurak sürenin altında kalan veri sayısı kadar yıla denk gelir. Analizlerde kullanılan kurak süreler bu ele alınan periyot içerisinde meydana gelen kurak periyotların sürelerinin en büyüğü olarak alınmıştır. Bundaki amaç 20, 50, 100 ve 500 yıl gibi standart dönemler içerisinde meydana gelebilecek en uzun kurak süreyi belirleyebilmektir. Bu işlemlerde her bir standart dönem için verilerden bir tane en uzun kurak süre değeri belirlenmiştir. Böylece, her istasyon için 20 yıllık dönemlerde 250, 50 yıllık dönemlerde 100, 100 yıllık dönemlerde 50 ve 500 yıllık dönemlerde 10 adet kurak süre değeri elde edilmiştir.

#### 4.3.2. Yıllık En Büyük Yağış Eksikliği

Üretilmiş seriler için oluşturulan 20, 50, 100 ve 500 yıllık her periyot içerisindeki en düşük veri bulunarak, ait olduğu istasyonun Tablo 4.5'te verilen üretilmiş sentetik serilere ait ortalamadan çıkarılarak her bir dönem için en büyük



yağış eksiklikleri bulunmuştur. Bu şekilde her istasyon için 20 yıllık dönemlerde 250, 50 yıllık dönemlerde 100, 100 yıllık dönemlerde 50 ve 500 yıllık dönemlerde 10 adet yıllık en büyük yağış eksikliği değeri elde edilmiştir.

#### **4.3.3. Toplam Yağış Eksikliği**

Kurak süre analizinde belirtildiği gibi istasyonlar için ayrılan 20, 50, 100 ve 500 yıllık dönemler içerisinde bir veya birden fazla kurak periyot olabilecektir. Aynı dönemde bulunan bu kurak periyotların her biri için ayrı ayrı toplam yağış eksikliği değerleri kısım 2.3.3'te açıklanmıştır. Eğer bir dönem içerisinde birden fazla kurak süre varsa bunlara ait en büyük toplam yağış eksikliği bu döneme ait toplam en büyük yağış eksikliği olarak alınır. Böylelikle, her istasyon için 20 yıllık dönemlerde 250, 50 yıllık dönemlerde 100, 100 yıllık dönemlerde 50 ve 500 yıllık dönemlerde 10 adet yıllık en büyük toplam yağış eksikliği değeri elde edilmiştir.

#### **4.4. Genel Yorumlar ve Gelecekteki Kuraklık İhtimalleri**

En uzun kurak süre, yıllık en büyük yağış eksikliği ve en büyük toplam yağış eksikliği için her istasyonda üretilen sentetik verilerden elde edilmiş 20, 50, 100 ve 500 yıllık dönemlere ait olan kuraklık büyüklüklerinin değerlendirilmesi için genelde kullanılan yöntem; bu değerlere ait ortalama, en büyük ve en küçük değerlerin belirlenmesidir. Tablo 4.8'de bu değerler her istasyon için verilmiştir. Bu tabloda verilen ortalamalar belirlenen 20, 50, 200 ve 500 yıllık standart dönemler içerisinde ortaya çıkması muhtemel karakteristik kuraklık değerlerini göstermektedir. Bununla birlikte bu değerler ihtimal veya risk hakkında herhangi bir bilgi sunmaz.

Ortaya çıkabilecek kuraklıkların ihtimallerinin belirlenmesi özellikle planlamalarda alınacak riskler bakımından önem arz eder. Herhangi bir kuraklık büyüklüğü için oluşabilecek herhangi bir değer oluşma ihtimalinden çok, bu ihtimalin kümülatif değeri bizim için daha çok önem taşır. Çünkü ilgilendiğimiz kuraklık olayı ekstrem bir olaydır ve daha küçük değerlere sahip kuraklıklar daha büyük değerlere sahip kuraklıkların ihtimalleri içinde kapsanmalıdır. Bu nedenle, her istasyon ve her kuraklık büyüklüğü için elde edilen 20 yıllık dönemlerde 250, 50 yıllık dönemlerde 100, 100 yıllık dönemlerde 50 ve 500 yıllık dönemlerde 10 adet verinin kümülatif frekans analiziyle kümülatif ihtimaller belirlenerek A.3-A.14



Tablo 4.8 Üretilmiş sentetik serilerin kuraklık özellikleri.

|                                           |          | Bahçeköy | Kurnköy  | Kireçburnu | Florya   | Kartal   |
|-------------------------------------------|----------|----------|----------|------------|----------|----------|
| 20 yıldaki en uzun kurak süre (yıl)       | Ortalama | 4,368    | 4,540    | 4,784      | 3,460    | 3,784    |
|                                           | Minimum  | 1,0      | 2,0      | 1,0        | 1,0      | 1,0      |
|                                           | Maksimum | 11,0     | 19,0     | 14,0       | 9,0      | 10,0     |
| 20 yıldaki en büyük eksiklik (mm)         | Ortalama | 313,316  | 233,380  | 198,461    | 211,80   | 228,607  |
|                                           | Minimum  | 83,980   | 120,753  | 95,539     | 88,545   | 69,625   |
|                                           | Maksimum | 474,780  | 339,153  | 291,839    | 390,045  | 433,725  |
| 20 yıldaki en büyük toplam eksiklik (mm)  | Ortalama | 706,162  | 564,092  | 522,340    | 347,763  | 420,493  |
|                                           | Minimum  | 106,939  | 120,753  | 127,478    | 106,745  | 87,350   |
|                                           | Maksimum | 1726,797 | 2894,299 | 1750,127   | 831,826  | 1196,024 |
| 50 yıldaki en uzun kurak süre (yıl)       | Ortalama | 5,61     | 5,88     | 6,26       | 4,5      | 4,99     |
|                                           | Minimum  | 3        | 3        | 3          | 2        | 2        |
|                                           | Maksimum | 11       | 19       | 14         | 9        | 10       |
| 50 yıldaki en büyük eksiklik (mm)         | Ortalama | 359,3867 | 268,1356 | 224,3088   | 248,4972 | 272,1398 |
|                                           | Minimum  | 249,1797 | 194,2526 | 170,7388   | 112,5452 | 170,4248 |
|                                           | Maksimum | 474,7797 | 339,1526 | 291,8388   | 390,0452 | 433,7248 |
| 50 yıldaki en büyük toplam eksiklik (mm)  | Ortalama | 918,0596 | 739,4055 | 687,07     | 434,6604 | 548,003  |
|                                           | Minimum  | 393,0594 | 249,9578 | 257,2165   | 206,1357 | 277,7497 |
|                                           | Maksimum | 1726,797 | 2894,299 | 1750,127   | 831,8262 | 1196,024 |
| 100 yıldaki en uzun kurak süre (yıl)      | Ortalama | 6,84     | 7,54     | 7,74       | 5,56     | 6,08     |
|                                           | Minimum  | 3        | 4        | 5          | 4        | 3        |
|                                           | Maksimum | 11       | 19       | 14         | 10       | 10       |
| 100 yıldaki en büyük eksiklik (mm)        | Ortalama | 383,9897 | 287,6586 | 235,9908   | 271,8472 | 297,0288 |
|                                           | Minimum  | 296,9797 | 234,2526 | 175,0388   | 197,5452 | 197,7248 |
|                                           | Maksimum | 474,7797 | 339,1526 | 291,8388   | 390,0452 | 433,7248 |
| 100 yıldaki en büyük toplam eksiklik (mm) | Ortalama | 1137,174 | 935,8007 | 874,284    | 505,0405 | 676,2166 |
|                                           | Minimum  | 617,2392 | 478,0104 | 426,9941   | 293,4905 | 334,2745 |
|                                           | Maksimum | 1726,797 | 2894,299 | 1750,127   | 831,8262 | 1196,024 |
| 500 yıldaki en uzun kurak süre (yıl)      | Ortalama | 9        | 12,1     | 11,2       | 7        | 8,4      |
|                                           | Minimum  | 8        | 8        | 8          | 5        | 7        |
|                                           | Maksimum | 11       | 19       | 14         | 10       | 10       |
| 500 yıldaki en büyük eksiklik (mm)        | Ortalama | 443,9597 | 323,5126 | 266,1688   | 320,6452 | 346,6548 |
|                                           | Minimum  | 367,8797 | 297,1526 | 248,5388   | 281,1452 | 286,6248 |
|                                           | Maksimum | 474,7797 | 339,1526 | 291,8388   | 390,0452 | 433,7248 |
| 500 yıldaki en büyük toplam eksiklik (mm) | Ortalama | 1453,302 | 1381,477 | 1320,597   | 697,3879 | 954,9588 |
|                                           | Minimum  | 1142,217 | 1016,621 | 913,5106   | 489,9262 | 676,6994 |
|                                           | Maksimum | 1726,797 | 2894,299 | 1750,127   | 877,8524 | 1291,448 |

şekilleri hazırlanmıştır. Yine bu frekans analizi yardımıyla % 10 risk ile oluşabilecek kuraklık değerleri Tablo 4.9’da gösterilmiştir.

20 yıllık dönemler içerisinde oluşabilecek kuraklıkların ihtimalleri A.5a-A.5e şekillerinde verilmiştir. 20 yıl içerisinde oluşabilecek en uzun kurak periyotlara bakıldığında zaman bu sürenin en uzununu Kumköy’de 119 yıl ile görülmektedir. Bununla birlikte 10 yıldan daha büyük kuraklıkların görülmesi ihtimali oldukça düşüktür. Tablo 4.9’da görülebileceği gibi % 10 risk ile oluşabilecek maksimum kuraklık uzunluğu 7 yıl ile Kireçburnu’nda görülmektedir. Bununla birlikte Kumköy ve Bahçeköy için belirlenen 6,6 ve 6,7 yıl değerleri de bu değere oldukça yakındır. Florya ve Kartal’a ait 4.8 ve 5.5 yıl değerleri ilk üç istasyondan farklılık göstermektedirler. 50 yıllık dönemler içerisinde oluşabilecek kuraklıkların ihtimalleri A.8a-A.8e şekillerinde verilmiştir. Kumköy’de en uzun kurak süre görülmesine rağmen Bahçeköy ve Kireçburnu’yla birlikte bu üç istasyon benzerlik göstermektedir. 50 yıllık dönemde % 10 risk ile oluşabilecek en uzun kuraklık sürelerine bakıldığında en uzun kurak süre 8.3 yıllla Kireçburnu’nda oluşmaktadır. Florya’da 50 yıllık dönemde % 10 risk ile oluşabilecek 5.4 yıllık süre ise istasyonlar arasındaki en kısa en uzun kurak periyot süresidir. 100 yıllık dönemde oluşabilecek en uzun kurak süreler A.11a-A.11e şekillerinde verilmiştir. Aynı şekilde 500 yıllık dönemler içerisinde oluşabilecek en uzun kurak periyot sürelerine ait ihtimaller A.14a-A.14e şekillerinde verilmiştir.

20 yıllık dönemler içerisinde oluşabilecek en kurak yıllarda ortalamadan olan yağış eksikliğine ait ihtimaller A.3a-A.3e şekillerinde verilmiştir. En büyük yağış eksiklikleri, Bahçeköy istasyonunda görülmekte, bununla birlikte ortalama yıllık toplam yağışları Kumköy ve Kireçburnu’ndan daha az olan Florya ve Kartal’da Kumköy ve Kireçburnu’ndan daha büyük yağış eksiklikleri oluşmaktadır. Bunlara rağmen şekillerden ve Tablo 4.9’dan görüleceği gibi bu kıyaslama farklı risk oranları için değişkenlik gösterebilir. 50 yıllık dönemlerde oluşabilecek ortalamadan olan en büyük yağış eksikliklerine ait ihtimaller A.6a-A.6e; 100 yıllık dönemlerde oluşabilecek ortalamadan olan en büyük yağış eksikliklerine ait ihtimaller A.9a-A.9e; 500 yıllık dönemlerde oluşabilecek ortalamadan olan en büyük yağış eksikliklerine ait ihtimaller A.12a-A.12e şekillerinde gösterilmiştir.

20 yıllık dönemlerde oluşabilecek toplam en büyük yağış eksikliklerine ait ihtimaller ihtimaller A.4a-A.4e şekillerinde verilmiştir. Tablo 4.8’de görüldüğü gibi 20 yıllık dönemlerde oluşabilecek toplam en büyük yağış eksikliklerine ait değerler Bahçeköy için 106 mm ile 1726 mm, Kumköy için 120 mm ile 2894 mm, Kireçburnu için 127 mm ile 1750 mm, Florya için 106 mm ile 831 mm ve Kartal için 1196 mm arasında değişmektedir. Kumköy’de görülen en büyük değer diğer istasyonlara ait değerlerden oldukça büyük olmasına rağmen, Tablo 4.9’da verilen

Tablo 4.9 İstasyonlarda 20, 50, 100 ve 500 yıllık dönemlerde % 10 risk ile oluşabilecek kuraklık büyüklükleri.

| İstasyon   | Dönemler | En Kurak Süre (yıl) | Ortalamadan Olan En Büyük Yağış Eksiklikleri (mm) | Toplam En Büyük Yağış Eksiklikleri (mm) |
|------------|----------|---------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Bahçeköy   | 20       | 6.7                 | 384                                               | 1167                                    |
|            | 50       | 7.4                 | 433                                               | 1330                                    |
|            | 100      | 9.0                 | 445                                               | 1490                                    |
|            | 500      | 10.0                | 471                                               | 1716                                    |
| Kumköy     | 20       | 6.6                 | 290                                               | 967                                     |
|            | 50       | 7.8                 | 316                                               | 1065                                    |
|            | 100      | 10.0                | 323                                               | 1246                                    |
|            | 500      | 17.0                | 338                                               | 1407                                    |
| Kireçburnu | 20       | 7.0                 | 247                                               | 844                                     |
|            | 50       | 8.3                 | 254                                               | 1007                                    |
|            | 100      | 11.0                | 261                                               | 1329                                    |
|            | 500      | 13.0                | 282                                               | 1534                                    |
| Florya     | 20       | 4.8                 | 281                                               | 499                                     |
|            | 50       | 5.4                 | 301                                               | 589                                     |
|            | 100      | 7.0                 | 310                                               | 660                                     |
|            | 500      | 9.0                 | 335                                               | 831                                     |
| Kartal     | 20       | 5.5                 | 303                                               | 676                                     |
|            | 50       | 7.0                 | 317                                               | 796                                     |
|            | 100      | 7.9                 | 340                                               | 892                                     |
|            | 500      | 9.5                 | 408                                               | 1196                                    |

% 10 risk ile oluşabilecek değerlere bakıldığında diğer istasyonlara ait değerlerle mertebe olarak yakın olduğu görülmektedir. 50 yıllık dönemlerde oluşabilecek toplam en büyük yağış eksikliklerine ait ihtimaller A.7a-A.7e; 100 yıllık dönemlerde oluşabilecek toplam en büyük yağış eksikliklerine ait ihtimaller A.10a-A.10e; 500

yıllık dönemlerde oluşabilecek toplam en büyük yağış eksikliklerine ait ihtimaller A.13a-A.13e şekillerinde gösterilmiştir.



## 5. SONUÇ VE TAVSİYELER

Çalışmada 20, 50, 100 ve 500 yıllık zaman periyotları içinde oluşabilecek kuraklıkların farklı büyüklükleri için ihtimaller belirlenmiştir. Böyle bir çalışmanın yapılabilmesi için çok uzun süreli verilere ihtiyaç vardır. Bunun için öncelikle çok istasyonlu bir adımlı otoregresiv model kullanılarak, 5 istasyondan her biri için 5000 adet sentetik veri üretilmiş ve kuraklık analizleri bu veriler için yapılmıştır.

Genel olarak İstanbul'da 20 yılda % 10 risk ile meydana gelebilecek en uzun kurak süreler 4.8 ile 7 yıl arasında değişmektedir. Doğal olarak 50, 100 ve 500 yıl gibi dönem uzunlukları arttıkça bu süreler de artmakta; 50 yıl için 5.4 ile 8.3 yıl, 100 yıl için 7 ile 11 yıl, 500 yıl için 9 ile 17 yıl arasında değişmektedir. İstasyonlar arasındaki bu farklılıklarda coğrafya önemli bir etken olarak görülmektedir. İstanbul'un kuzey tarafında Karadeniz'e yakın olan istasyonların en uzun kurak periyot süreleri güneyde Marmara Denizi tarafında bulunan istasyonların değerlerinden daha uzundur.

Ele alınan 5 istasyonun üretilen verileri için en kurak yıllardaki ortalamadan olan yağış eksiklikleri 20, 50, 100 ve 500 yıllık dönemler ve % 10 risk için sırasıyla; 247 ile 384, 254 ile 433, 261 ile 445 ve 282 ile 471 mm arasında değişmektedir. En kurak yılların ortalamadan olan yağış eksiklikleri beklenilebileceği gibi yıllık toplam yağışların standart sapma değerlerinin en yüksek olduğu Bahçeköy istasyonunda en büyük değerlere sahiptir.

Toplam en büyük yağış eksiklikleri % 10 risk ile 20, 50, 100 ve 500 yıllık dönemler için sırasıyla, 499 ile 1167, 589 ile 1330, 660 ile 1490 ve 831 ile 1716 mm arasında değişmektedir. Kuzeydeki istasyonların ortalamadan olan toplam yağış eksiklikleri güneydeki istasyonlara ait değerlerden daha fazladır.

Değerlendirilen üç kuraklık büyüklüğünden her biri için farklı istasyonlar daha kurak gözükmektedir. Ayrıca bu kuraklık büyüklüklerinin her biri farklı su

kullanıcıları ve farklı amaçlar için farklı önemlere sahiptir. Bunlarla birlikte İstanbul'a ait istasyonlarda oluşabilecek en uzun kurak süreler arasında büyük farklar bulunmamaktadır. Genel olarak kuraklık karakteristiklerine bakıldığında istasyonlar arası mesafelerin küçük olmasına rağmen coğrafi durumların etkisinin büyük olduğu söylenebilir. Özellikle, Karadeniz etkisinde olduğunu söyleyebileceğimiz Bahçeköy, Kumköy ve Kireçburnu istasyonları ile Marmara tarafında bulunan Florya ve Kartal arasında farklar belirgindir. Bu farkların, istasyonların yağışları üzerinde etkili olan cephe sistemleri ve istasyonların coğrafi durumlarının bu cephe sistemleri ile etkileşiminden kaynaklandığını söyleyebiliriz.

Çalışmamızda kullanılan kuraklık büyüklüklerini belirlemek için referans seviyesi yıllık ortalama yağış olarak alınmıştır. Fakat bu seviye, kuraklık tarafından etkilenecek herhangi bir su kullanıcısı için önem arz etmeyebilir. Bu nedenle, farklı ihtiyaçlar için kullanılacak farklı referans seviyeleri belirlenmelidir. Açıktır ki, bu seviyelerin değişimiyle bütün kuraklık özellikleri ve olasılık dağılım fonksiyonları değişecektir. Ayrıca daha geniş alanlarda daha çok istasyon için ve zaman aralıkları daha kısa olan verilerle yapılacak çalışmalar yararlı olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Booth, A.W. and Voeller, D., 1967.** Meteorological Drought and its Social Impact in Illionis, Dept. of Geography, Water Resour. Dep., Univ of Illionis, Urbana, III.
- Bryant, E.A., 1993,** Natural Hazards, Cambridge University Press.
- Chander, S., 1981.** Analysis of Surplus and Deficit Using Run Sums, *J. Hydrol.*, **49**, 193-208.
- Coreia, F.N., Santos, M.A.B. and Rodriguez, R.R., 1985.** Engineering Risk in Regional Drought Studies. Paper Presented at Advanced Study Inst on Engrg. Reliability and Risk in Water Resour., Univ. Of Arizona, Tucson, Arizona.
- Erdoğan, F., 1989.** Türkiye’de Yaygın Kuraklıklar., *Meteoroloji Müh. Odası Bülteni*, **1.2**.
- Fiering, M.B., 1964.** Multivariate Techniques for Synthetic Hydrology. *Jour. Hydr. Div. ASCE*, **90**, 43-60.
- Franz, D., 1970.** Hourly Rainfall Synthesis for a Network of Stations, Technical Report 126, Department of Civil Engineering, Stanford University, California.
- Frick, D.M., Bode, D., Salas, J.D., 1990.** Effect of Drought on Urban Water Supplies I: Drought Analysis, *Journal of Hydraulic Engineering*, **116**, 733-753.
- Guerrero and Yevjevich, V.,1975.** Analysis of Drought Characteristics by the Theory of Runs, Hydrol. Paper No.80, Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado.
- Gumbel, E.J., 1963.** Statistical Forecast of Droughts, *Bull. IASH*, Vol. **VIII**, No.1, 5-23.
- Gupta, U.K. and Duckstein,L., 1975.** A Stochastic Analysis of Extreme Droughts, *Water Resources Research*, **11**, 118-221.

- Güner,Ü., Özen,B., Akyer, M.K., Öner, S.S., 1998.** Büyük Menderes Havzasında Kuraklık Çözümlemesi ve Bölgesel Taşkın Frekans Analizi, II. Ulusal Hidroloji Kongresi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul, 114-121.
- Hoyt, J.C., 1938.** Drought of 1936 with Discussion of the Significance of Drought in Relation to Climate, *U.S. Geological Survey Water Supply Paper 820*.
- Kadioğlu, M. ve Topçu, N., 1997.** Mamara Bölgesinde Kuraklık Takibi, Su Kaynaklarının Korunması ve İşletilmesi Sempozyumu, İSKİ, İstanbul.
- Lane, W.L. and Frevert, D.K., 1990.** Applied Stochastic Techniques (Personal Computer Version), Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.
- Matalas, N.C., 1967.** Mathematical Assesment of Synthetic Hydrology, *Journal of Water Resources Research*, 3, 4, 937-945.
- Matalas, N.C., Wallis, J.R., 1971.** Statistical Properties of Multivariate Fractional Noise Processes, *Journal of Water Resources Research*, 7, 6, 1460-1468.
- McGuire, J.K., and Palmer, W.C., 1957.** The 1957 Drought in the Eastern United States, *Monthly Weather Review*, 85, 305-314.
- McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J., 1993.** The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, 9.th. Conf. on App. Climatology, 179-184.
- Mejia, J.M., 1971.** On the Generation of Multivariate Sequences Exhibiting the Hurst Pehonomenon and some Flood Frequency Analysis, Ph. D. Dissertation, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Milan, J. and Yevjevich, V., 1971.** Probablities of Observed Droughts, Hydrol. Paper No.50, Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado.
- National Drought Mitigation Center, 1998.** Impacts of Drought, <http://enso.unl.edu/ndmc/impacts/impacts.htm>.
- O'Connell, P.E., 1971.** A Simple Stochastic Modelling of Hurst's Law, In Mathematical Models in Hydrology, Warsaw Symposium, IAHS Publ. 100. 1974, 169-187.
- Özer, F., Malkoç, Y., Köse,E., Dinçer, A.C., Seyhan, K., Erüz, C., Durukanoğlu, H.F., 1998.** Doğu karadeniz Bölgesinde Kurak Döneme Sahip Yörelerin Belirlenmesi, II. Ulusal Hidroloji Kongresi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul, 209-216.



- Palmer, W.C.**, 1965. Meteorological Drought, Research Paper No.45, United States Weather Bureau.
- Postel, S.**, 1993. Water and Agriculture in Gleick, PH(Ed.): Water in Crisis, Oxford, NY, 56-66.
- Russell, C.S., Arey, B.G. and Kates, R.W.**, 1970. Drought Water Supply Resources for the Future Inc., John Hopkins Press, Baltimore, Md.
- Salas, J.D., Pegram, G.G.S.**, 1978. A Seasonal Multivariate Multilag Autoregressive Model in Hydrology, In Modeling Hydrologic Processes, Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado.
- Saldarriga, J. and Yevjevich, V.**, 1970. Applications of Run-Lengths to Hydrologic Series, Hydrol. Paper No.40, Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado.
- Santos, M.A.B.**, 1981. On the Stochastic Characterization of Regional Droughts, Proc. N.62/11/7241, Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, Lisbon, Portugal.
- Santos, M.A.B., Coreia, F.N. and DaCunha, L.V.**, 1983. Drought Characterization on Drought Impacts in Portugal. Memoria N.59, Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, Lisbon, Portugal.
- Şen, Z.**, 1976. Wet and Dry Periods of Annual Flow Series, *Journal of the Hydraulics Division*, 102, 1503-1514.
- Şen, Z.**, 1980. Regional Drought and Flood Frequency Analysis: Theoretical consideration, *J. Hydrol.*, 46, 265-279.
- Tase, N.**, 1976. Area-Deficit-Intensity Characteristics of Droughts, Hydrology Paper No. 87, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Thomas, H.E.**, 1962. Meteorological Phenomenon of Drought in the Southwest, U.S. Geological Survey Professional Paper 372-A.
- Türkeş, M.**, 1996. Meteorological Drought in Turkey: A Historical Perspective, 1930-1993, *Drought Network News*, 8, 17-21.
- Valencia, D. and Schaake, J.C.**, 1973. Disaggregation Processes in Stochastic Hydrology, *Journal of Water Resources Research*, 9, 3, 580-585.
- Warrick, R.A.**, 1975. Drought Hazard in the United States: A Research Assessment, NSF-RA-E-75-004, National Technical Information Service, Springfield, Va.

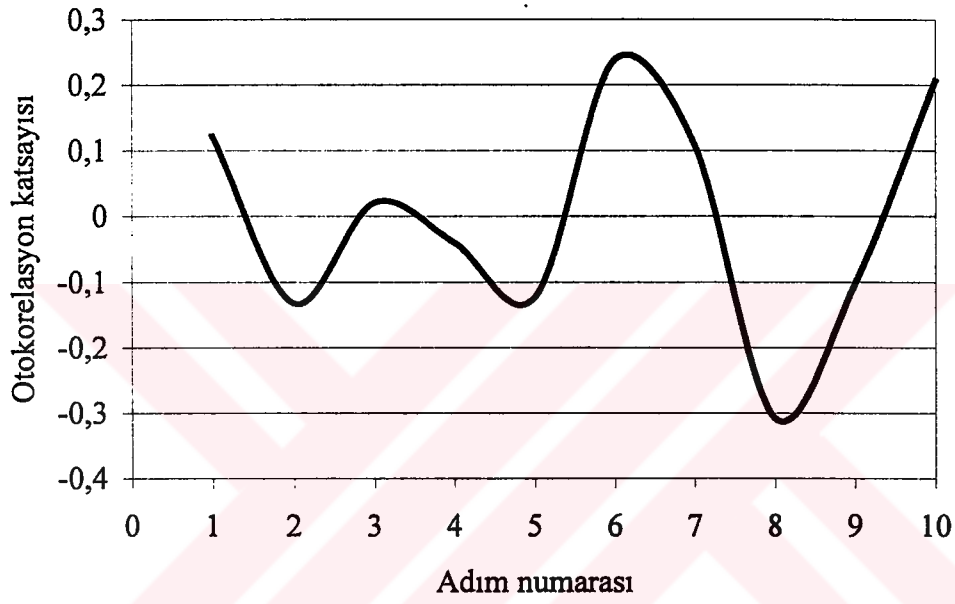
**Wilhite, D.A., and Glantz, M.H., 1985. Understanding the Drought Phenomenon:  
The Role of Definitions, *Water International*, 10, 111-120.**

**Young, G.D. and Pisano, W.C., 1968. Operational Hydrology Using Residuals,  
*Journal of Hydrolics Division ASCE*, 94, 909-923.**

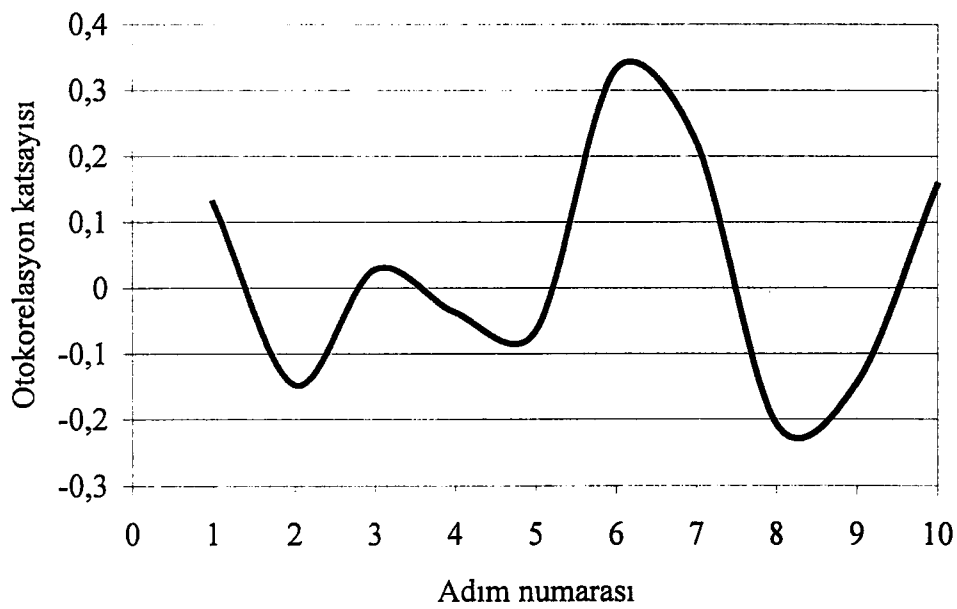


## EKLER

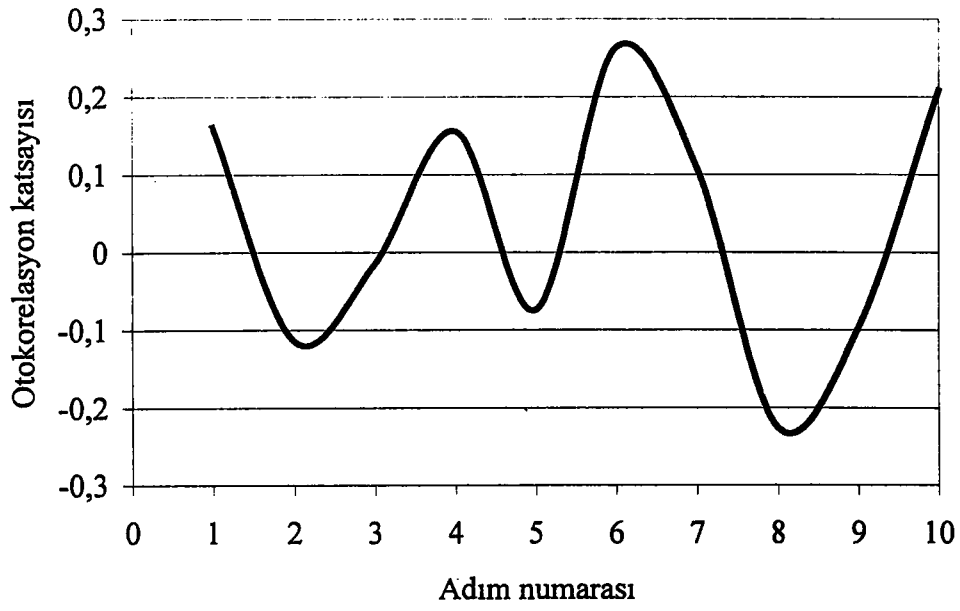
### EK-A ŞEKİLLER



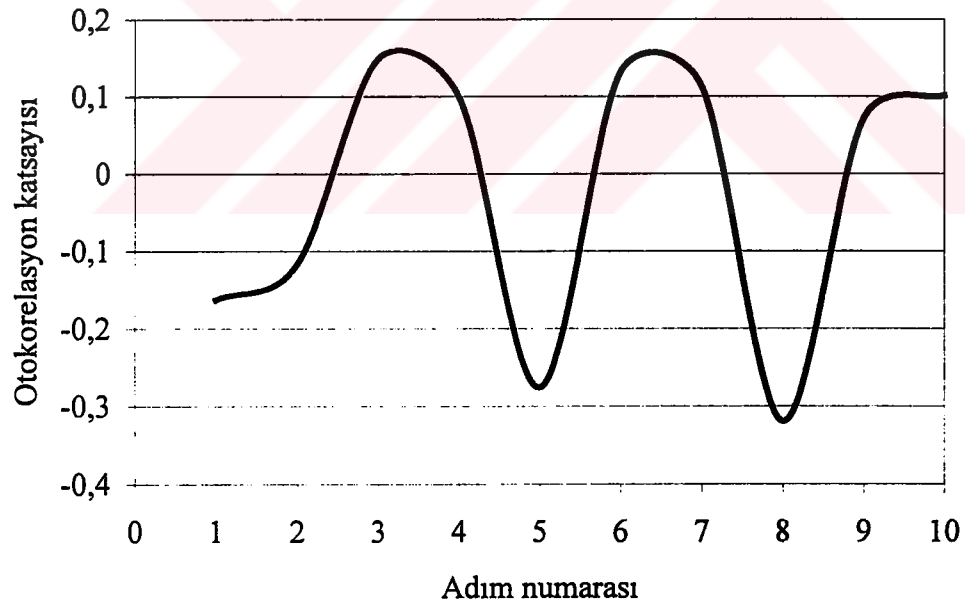
Şekil A.1a Bahçeköy istasyonunun gözlenmiş verilerine ait korelogramı.



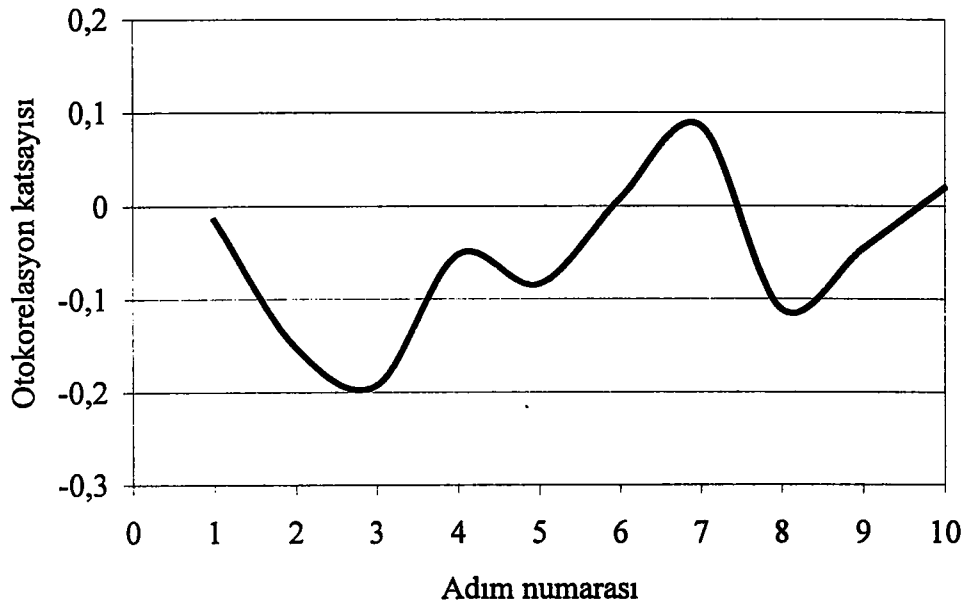
Şekil A.1b Kumköy istasyonunun gözlenmiş verilerine ait korelogramı.



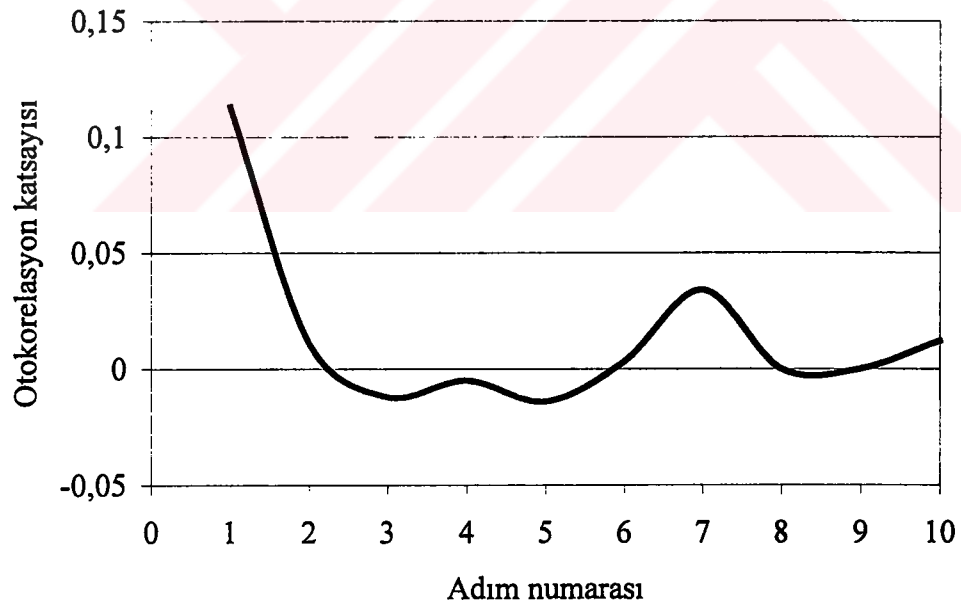
Şekil A.1c Kireçburnu istasyonunun gözlenmiş verilerine ait korelogramı.



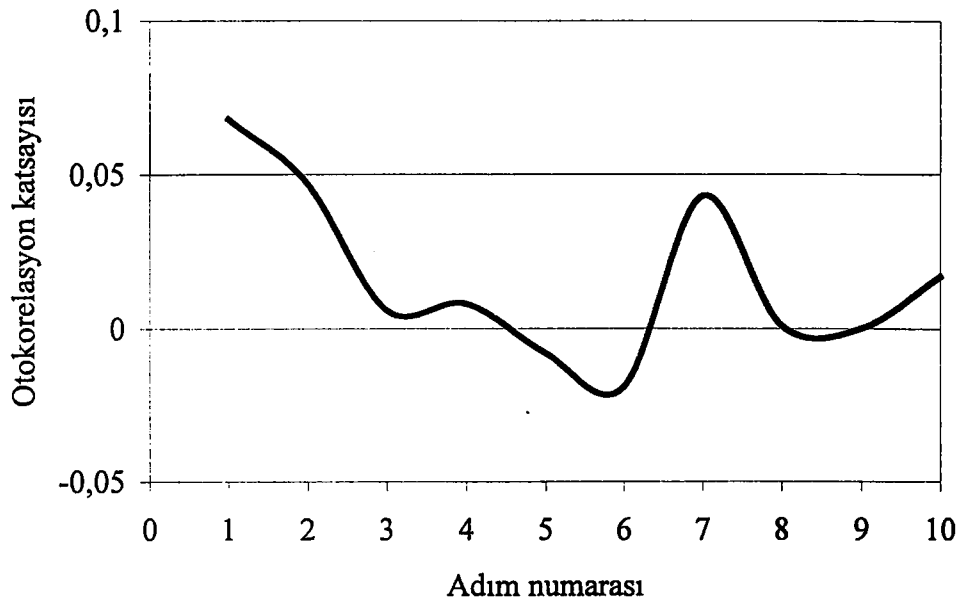
Şekil A.1d Florya istasyonunun gözlenmiş verilerine ait korelogramı.



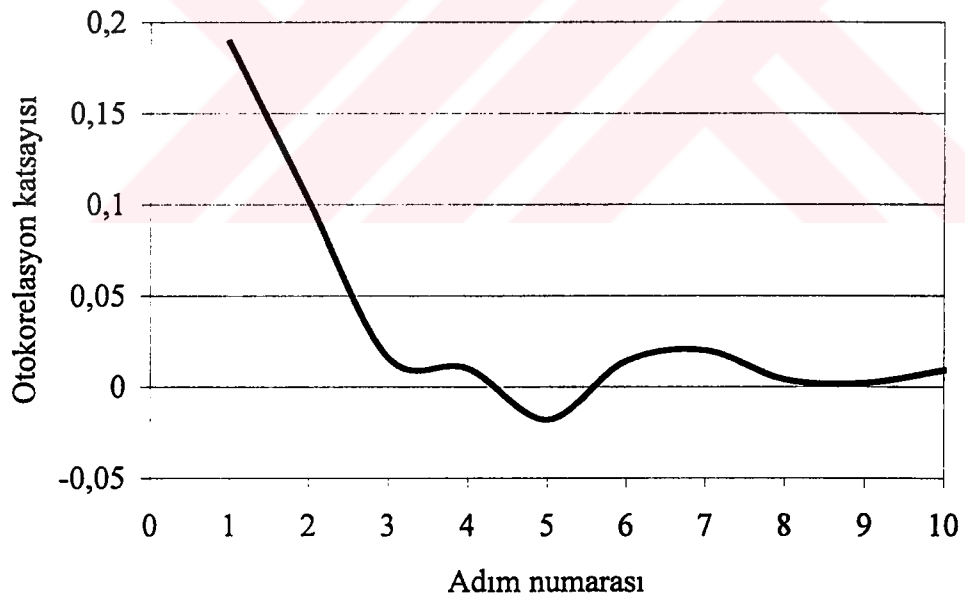
Şekil A.1e Kartal istasyonunun gözlenmiş verilerine ait korelogramı.



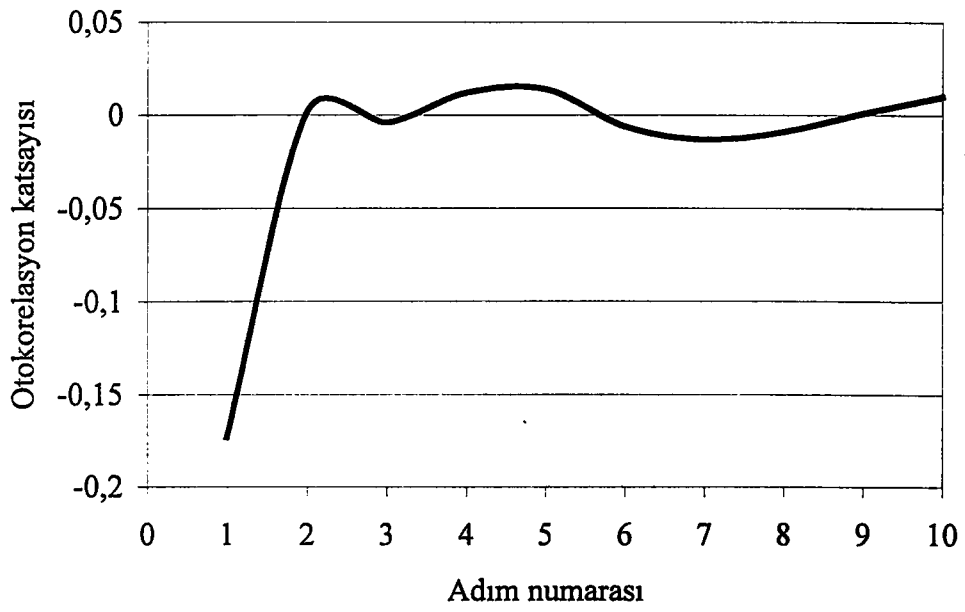
Şekil A.2a Bahçeköy istasyonu için üretilmiş sentetik verilere ait korelogram.



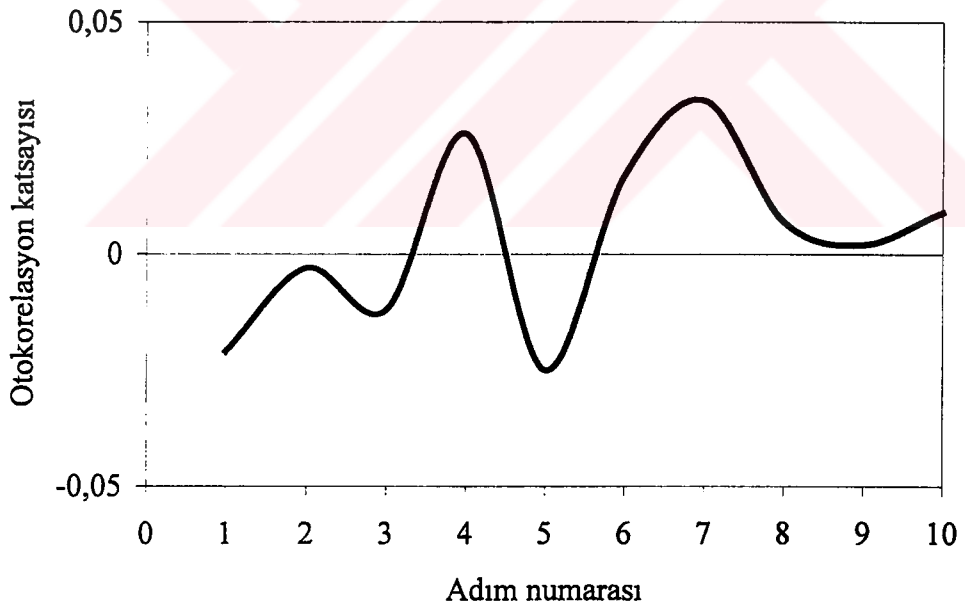
Şekil A.2b Kumköy istasyonu için üretilmiş sentetik verilere ait korelogram.



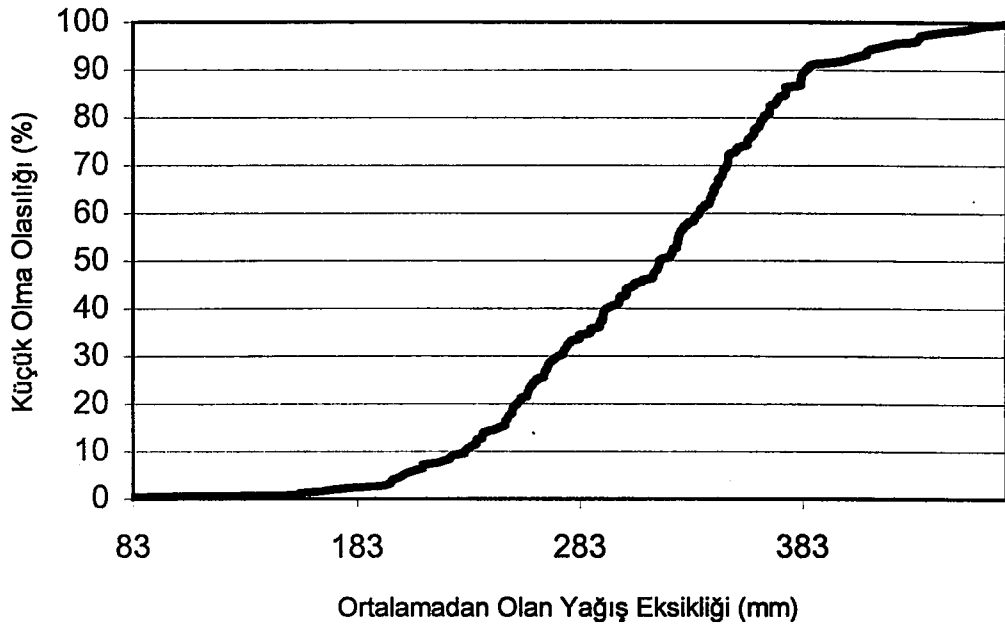
Şekil A.2c Kireçburnu istasyonu için üretilmiş sentetik verilere ait korelogram.



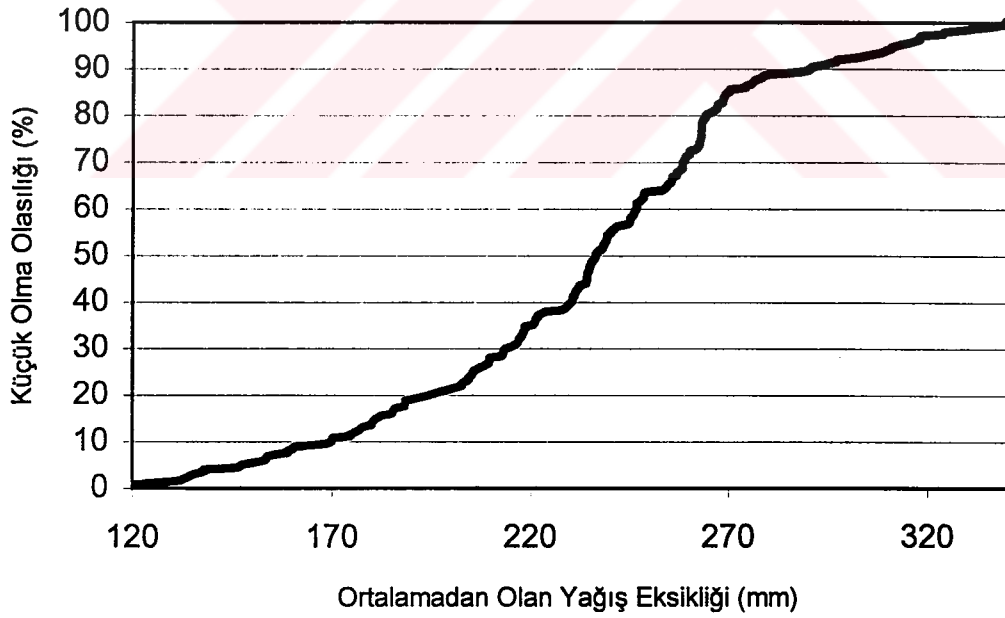
Şekil A.2d Florya istasyonu için üretilmiş sentetik verilere ait korelogram.



Şekil A.2e Kartal istasyonu için üretilmiş sentetik verilere ait korelogram.

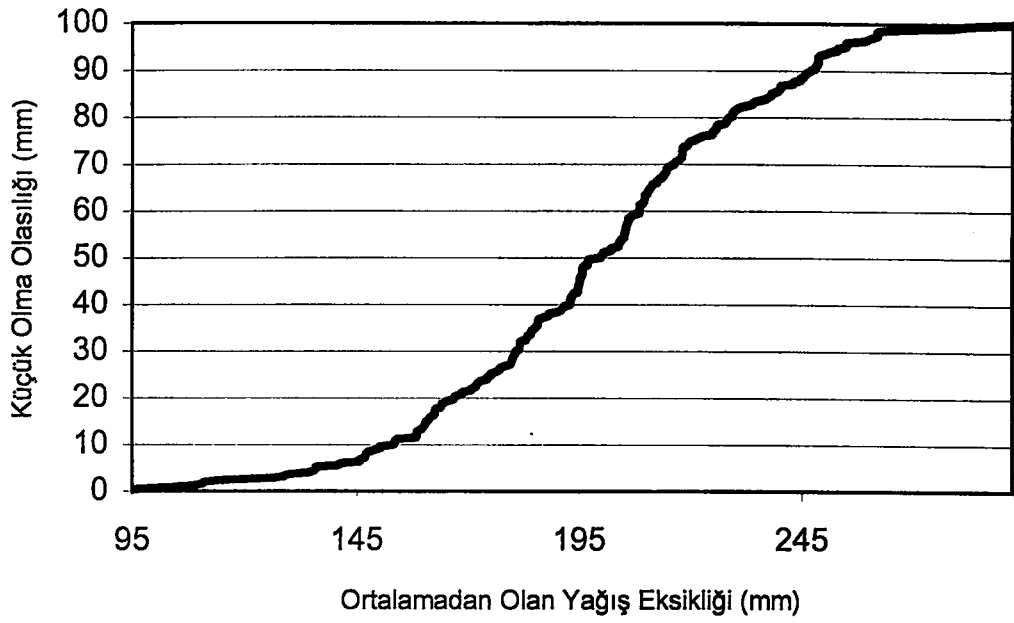


Şekil A.3a Bahçeköy’de 20 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.

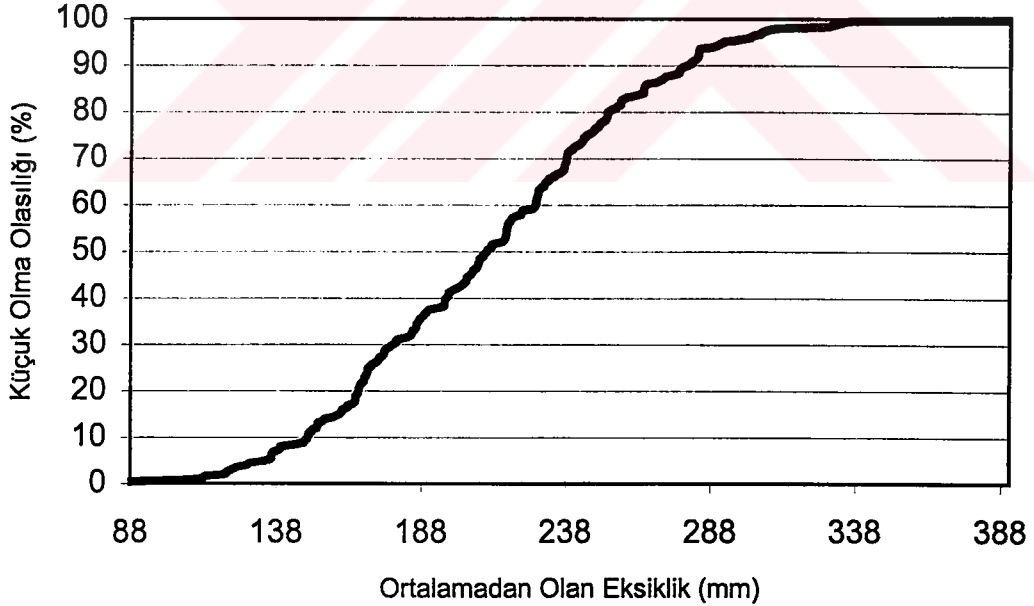


Şekil A.3b Kumköy’de 20 yıllık periyot içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin oluşma ihtimalleri.

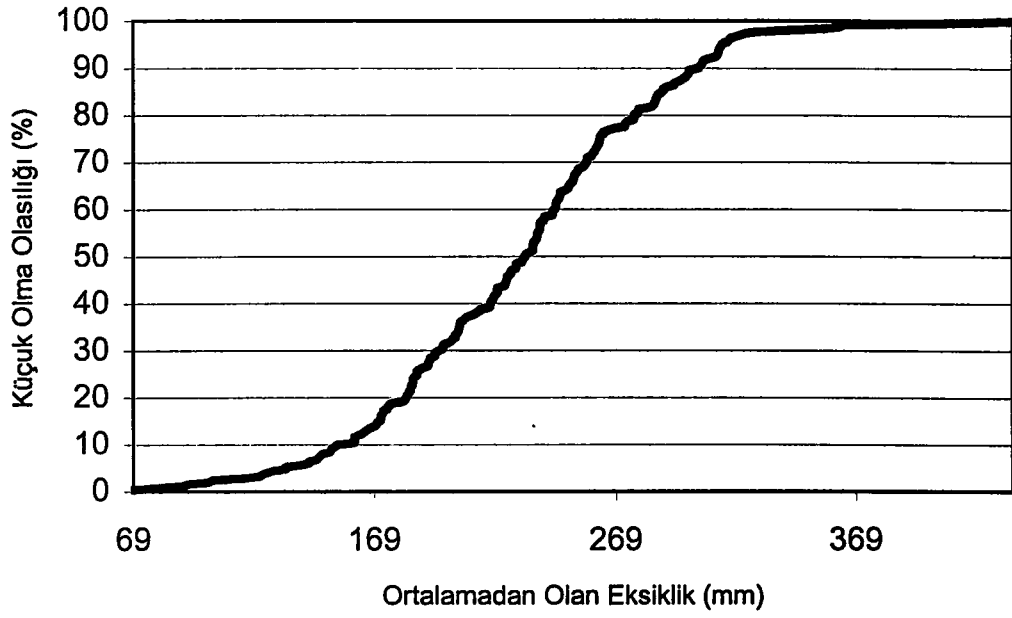




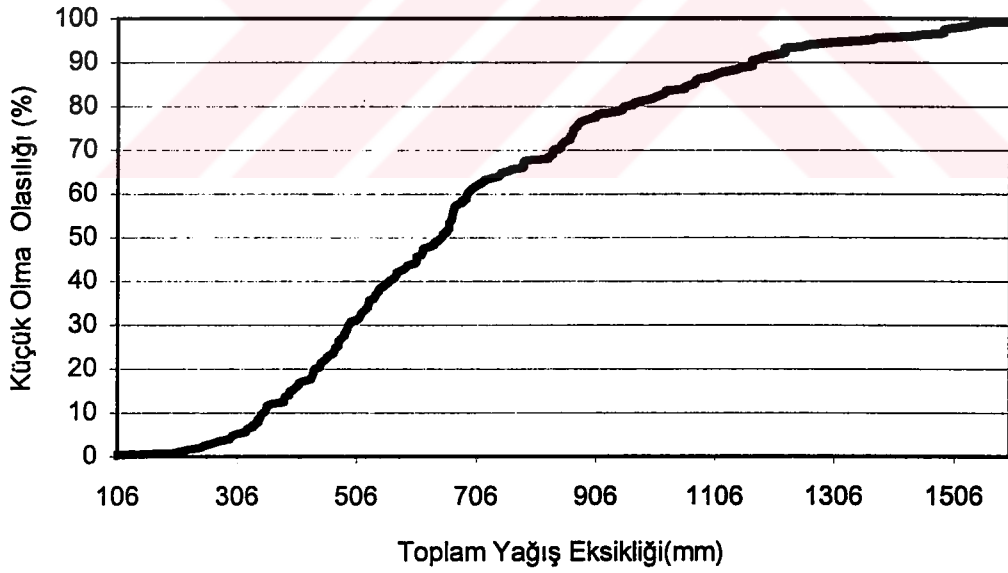
Şekil A.3c Kireçburnu'nda 20 yıllık periyot içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin oluşma ihtimalleri.



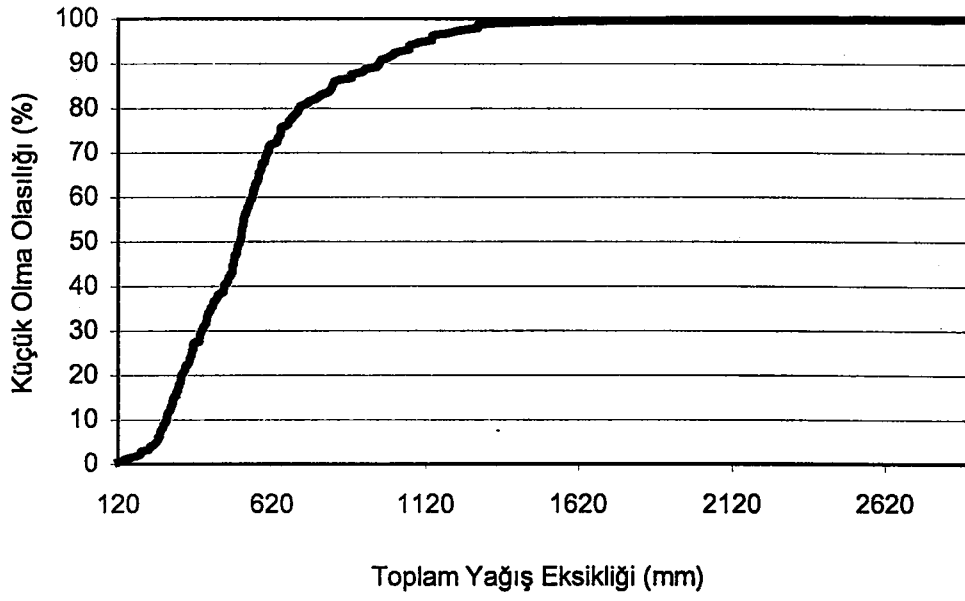
Şekil A.3d Florya'da 20 yıllık periyot içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin oluşma ihtimalleri



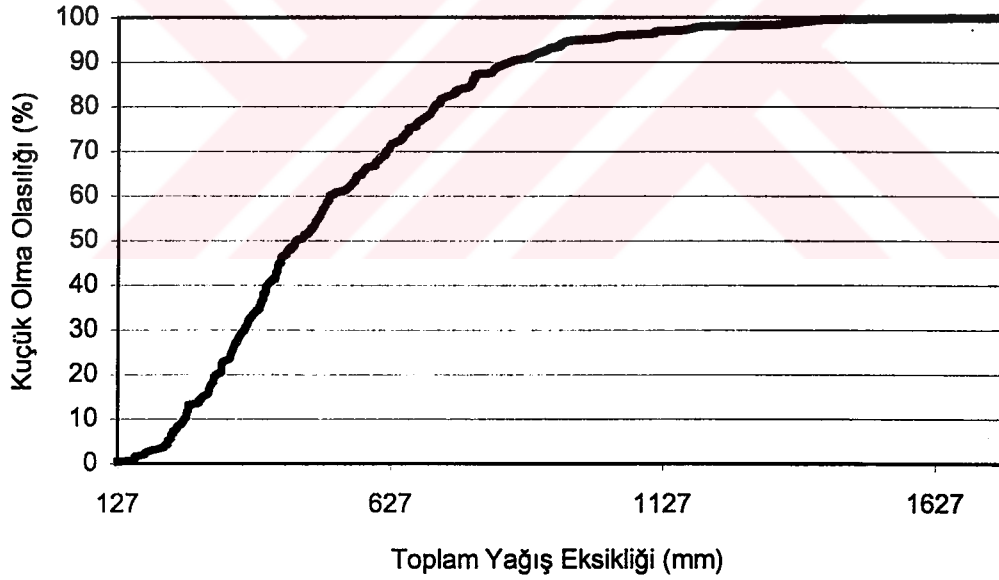
Şekil A.3e Kartal'da 20 yıllık periyot içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin oluşma ihtimalleri



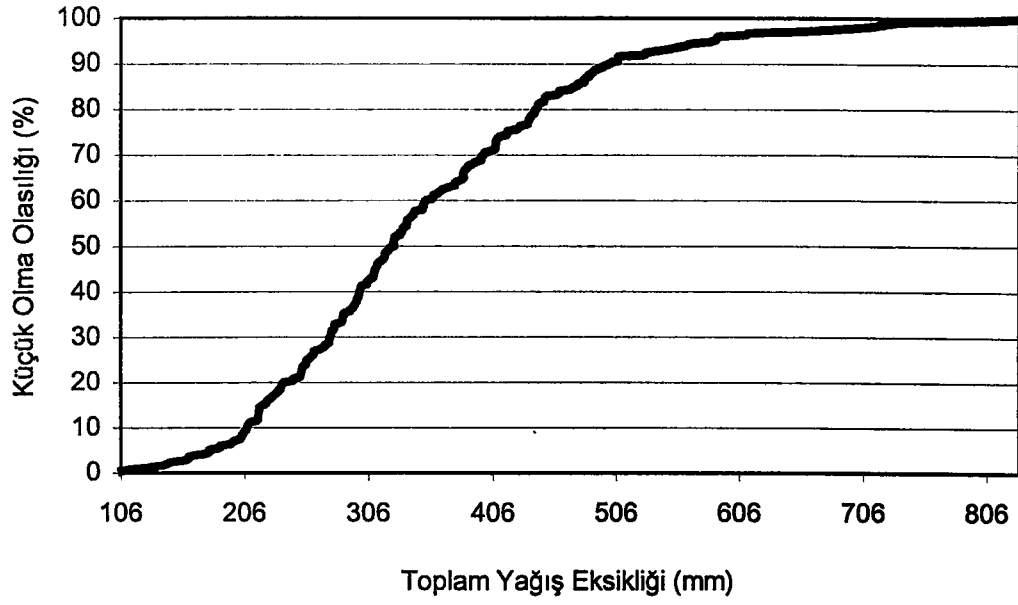
Şekil A.4a Bahçeköy'de 20 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.



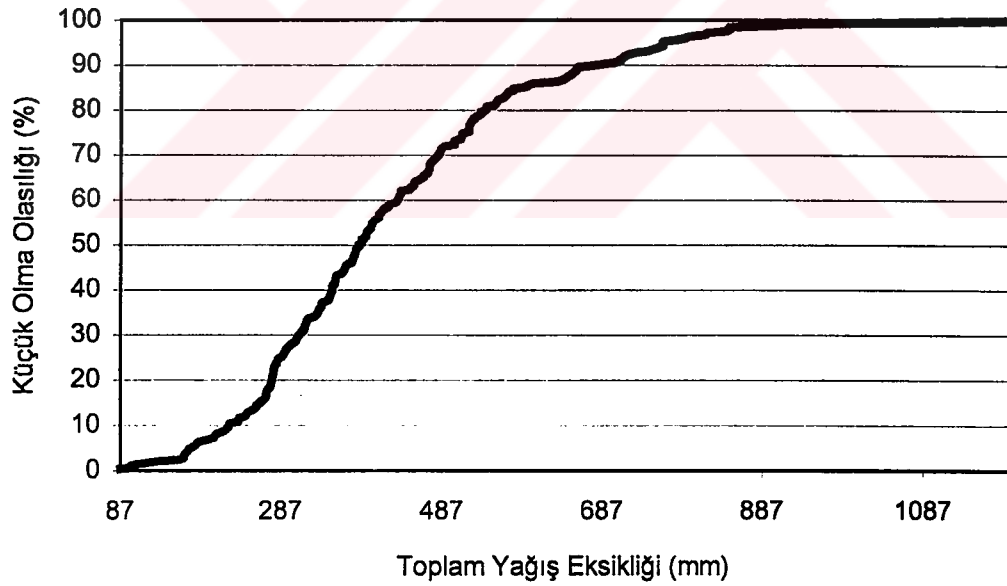
Şekil A.4b Kumköy’de 20 yıllık periyot içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin oluşma ihtimalleri.



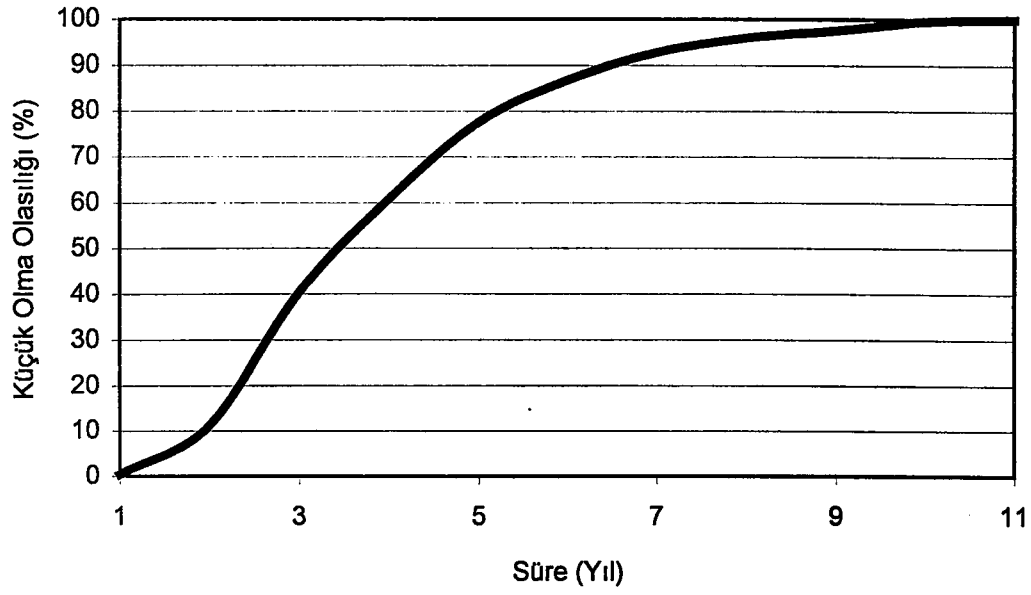
Şekil A.4c Kireçburnu’nda 20 yıllık periyot içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin oluşma ihtimalleri.



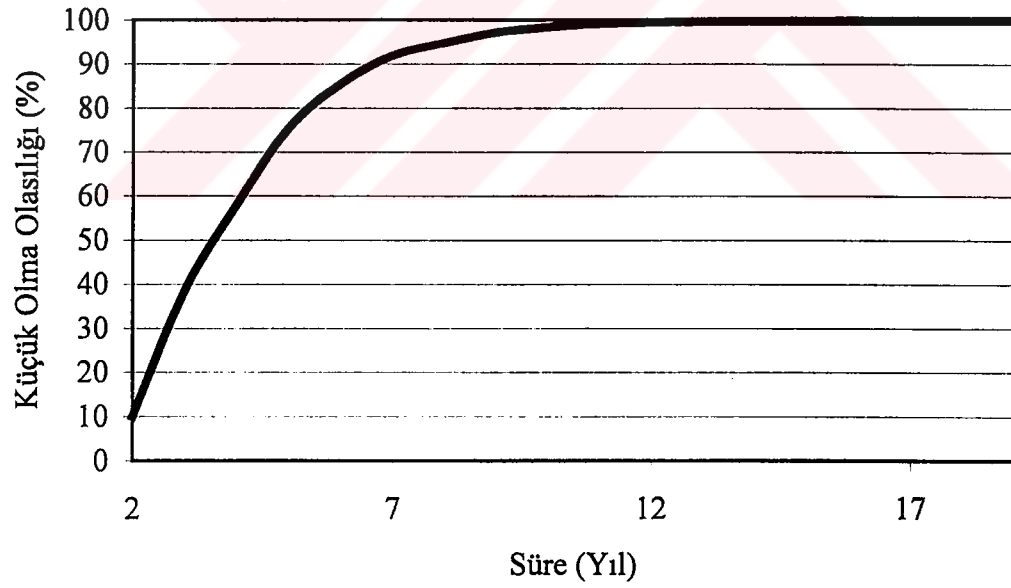
Şekil A.4d Florya'da 20 yıllık periyot içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin oluşma ihtimalleri.



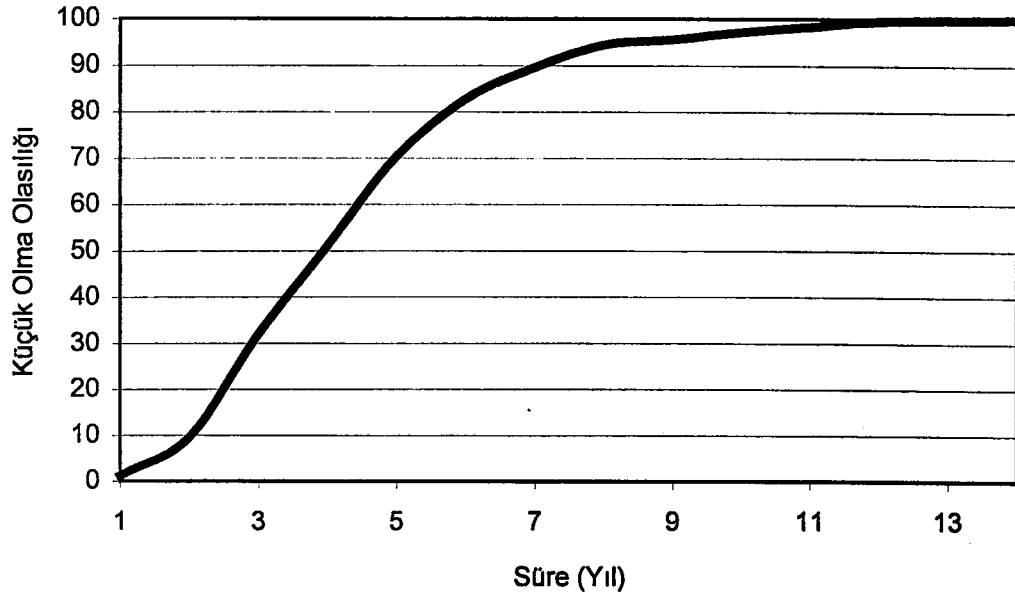
Şekil A.4e Kartal'da 20 yıllık periyot içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin oluşma ihtimalleri.



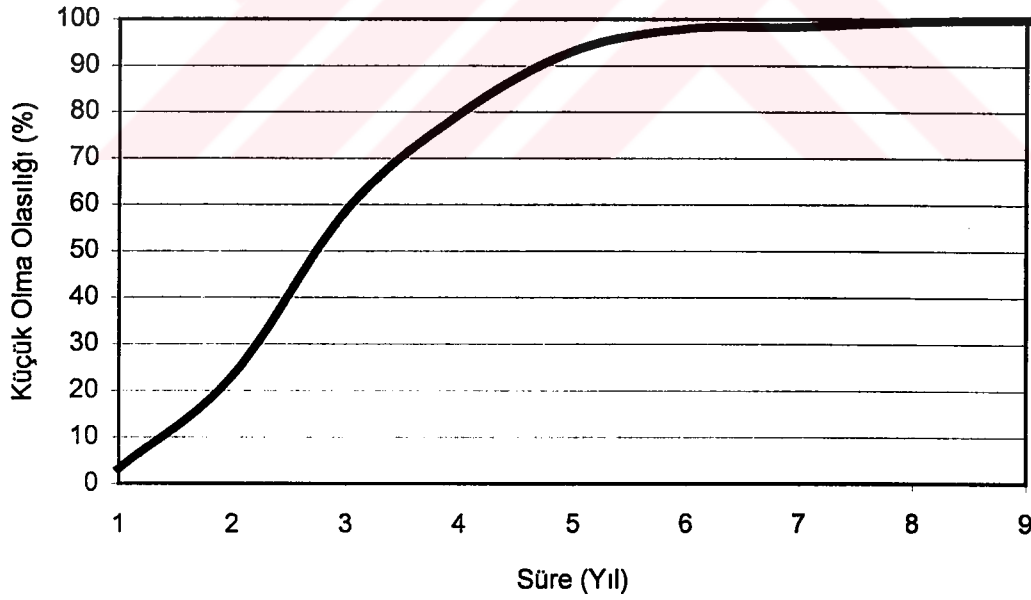
Şekil A.5a Bahçeköy’de 20 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.



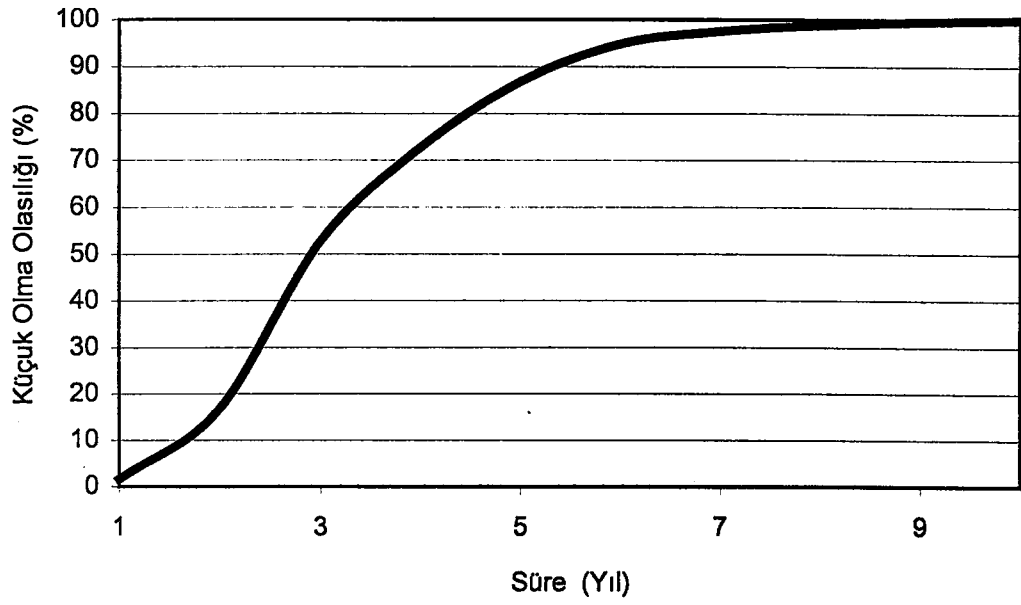
Şekil A.5b Kumköy’de 20 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.



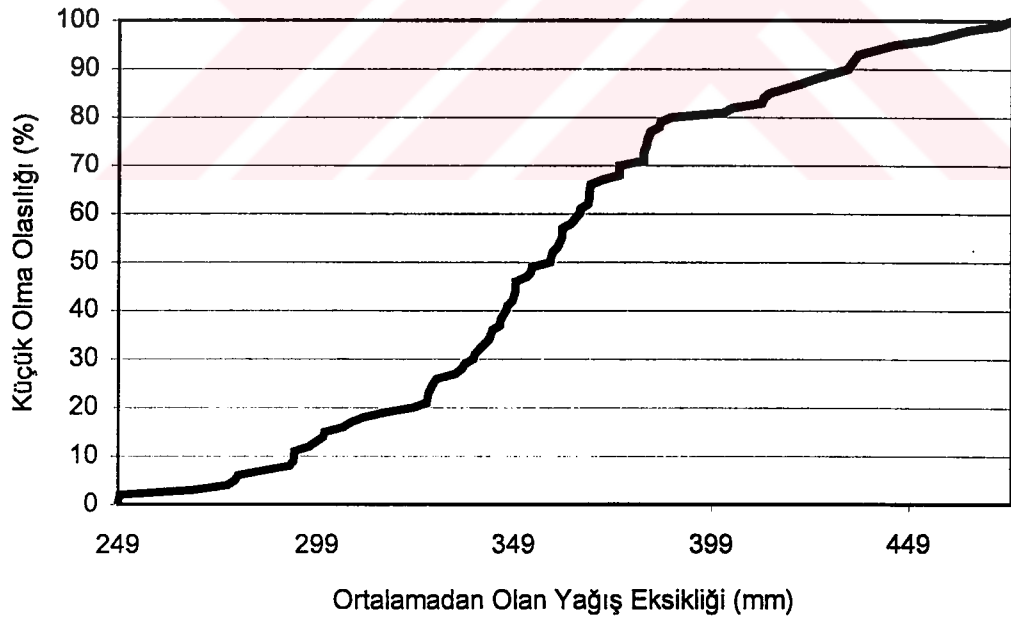
Şekil A.5c Kireçburnu'nda 20 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.



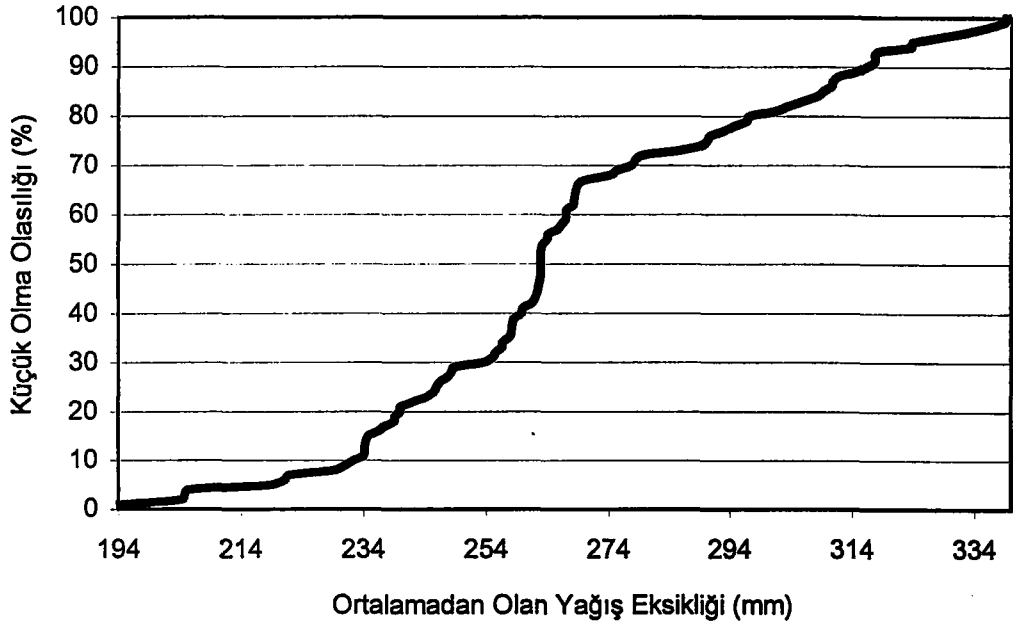
Şekil A.5d Florya'da 20 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.



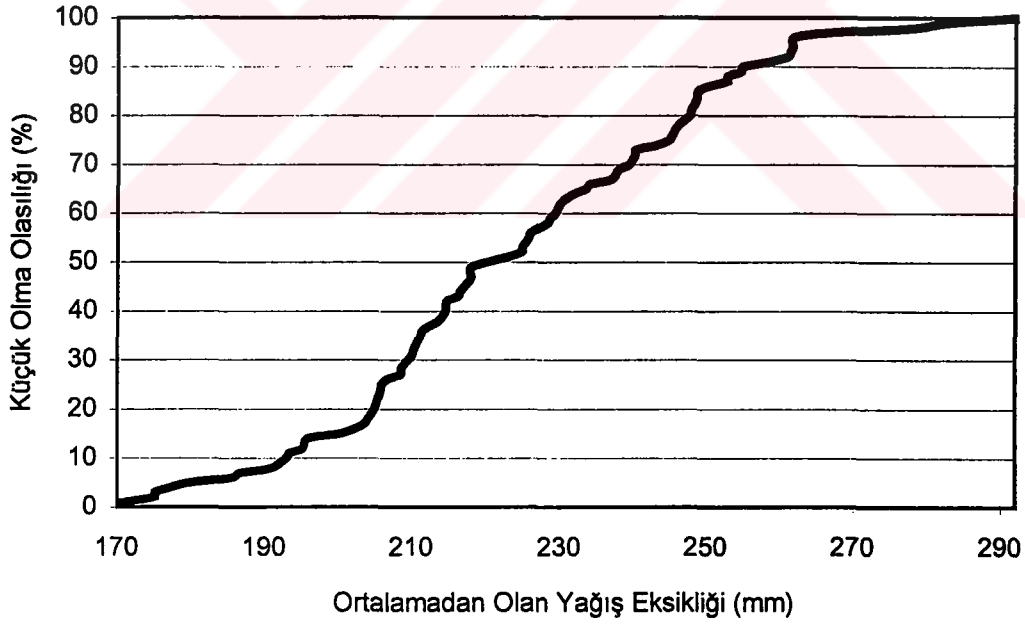
Şekil A.5e Kartal'da 20 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.



Şekil A.6a Bahçeköy'de 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.

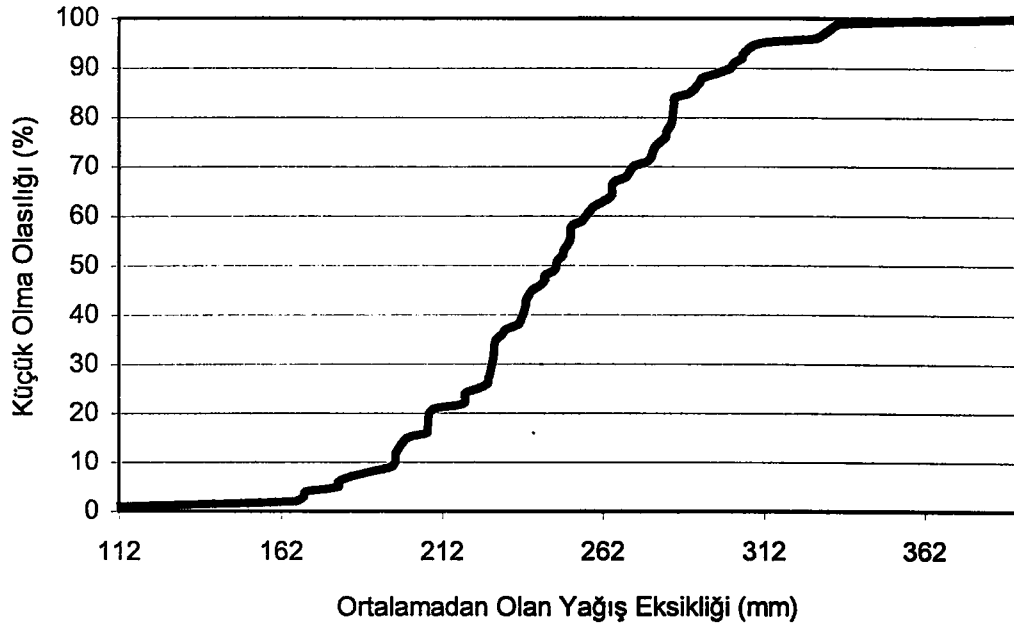


Şekil A.6b Kumköy'de 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.

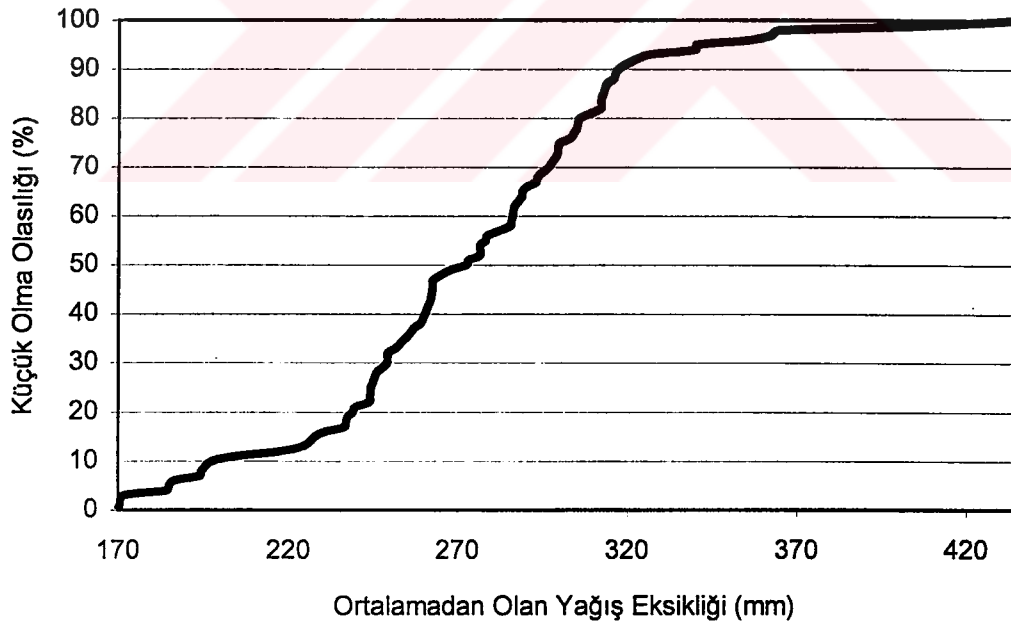


Şekil A.6c Kireçburnu'nda 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.

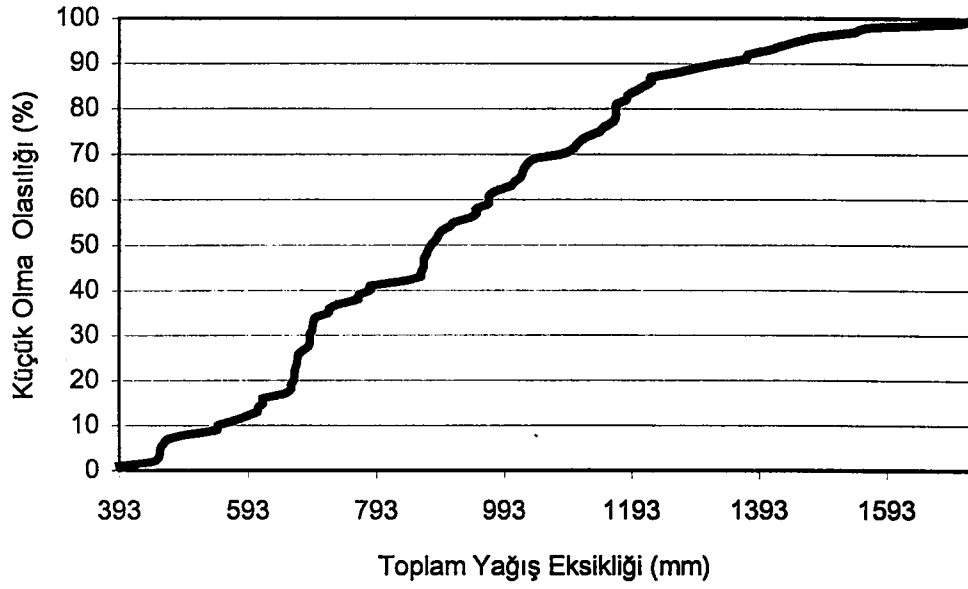




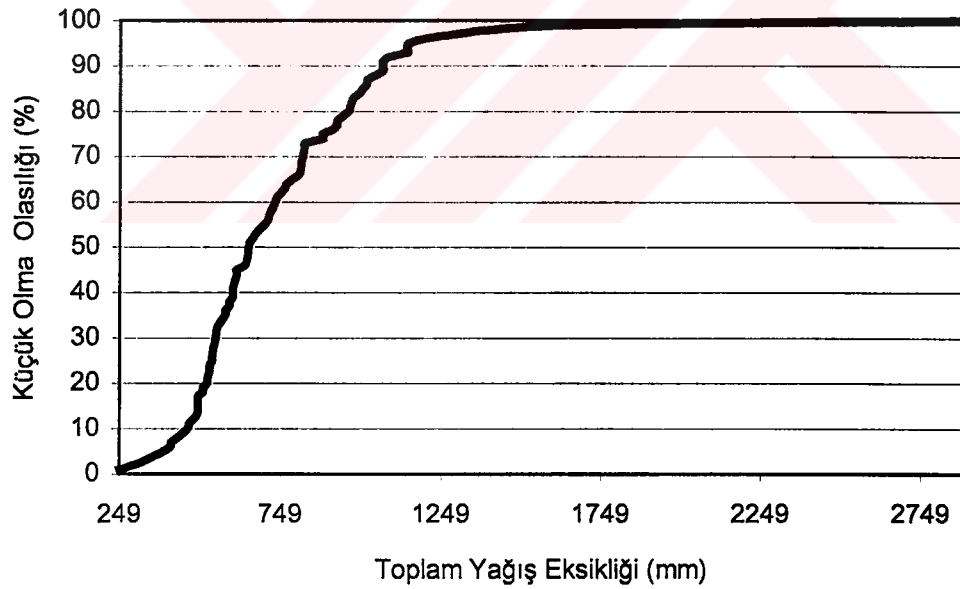
Şekil A.6d Florya'da 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.



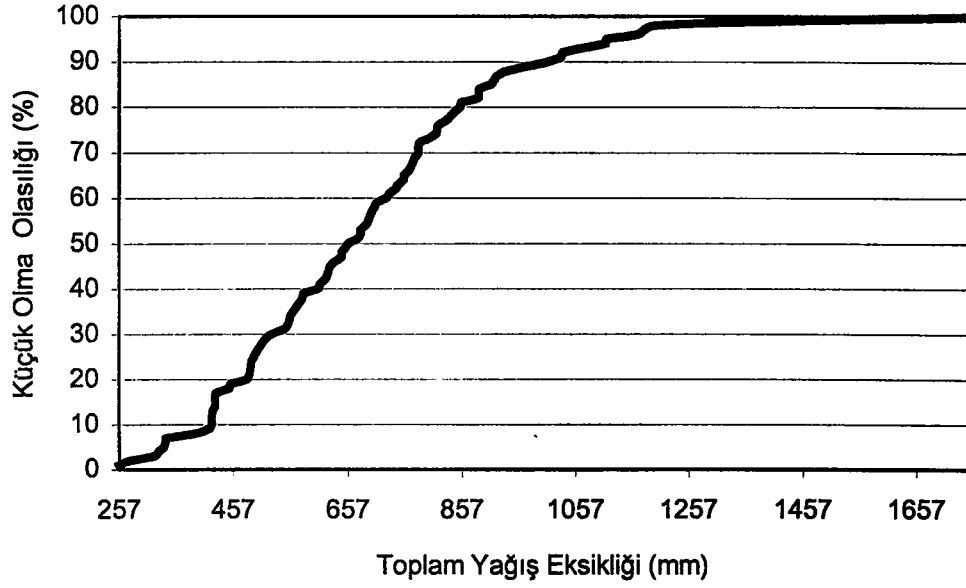
Şekil A.6e Kartal'da 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.



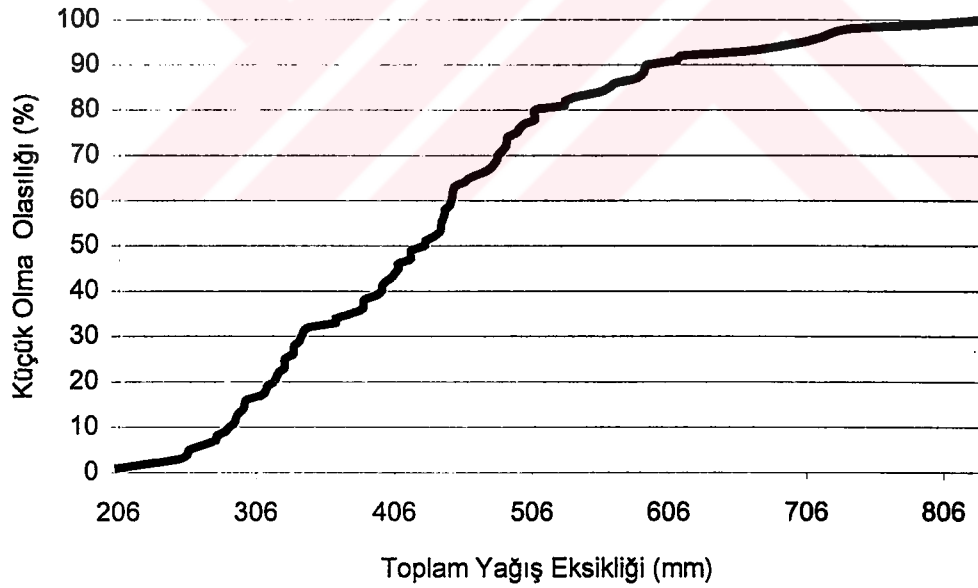
Şekil A.7a Bahçeköy'de 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.



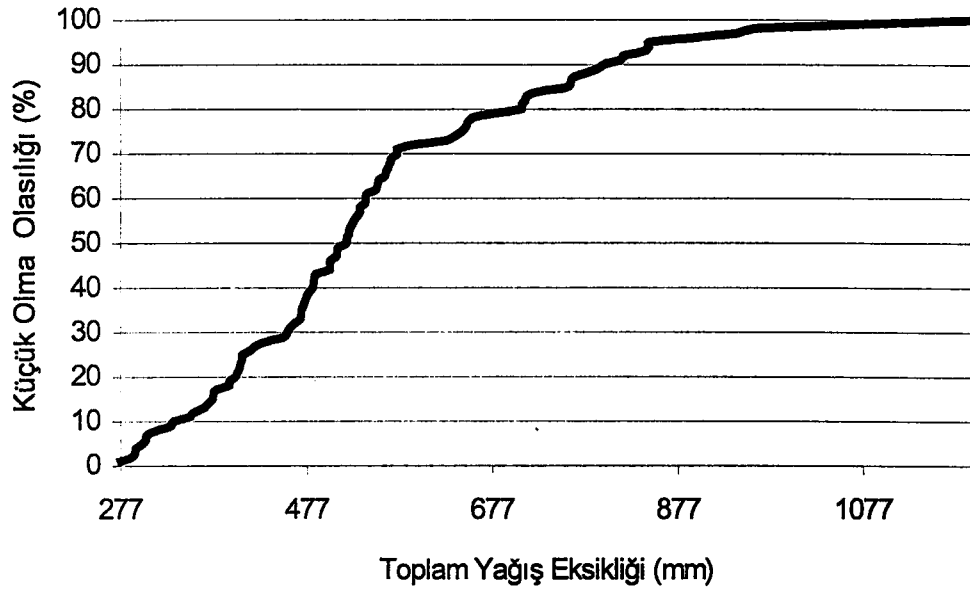
Şekil A.7b Kumköy'de 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.



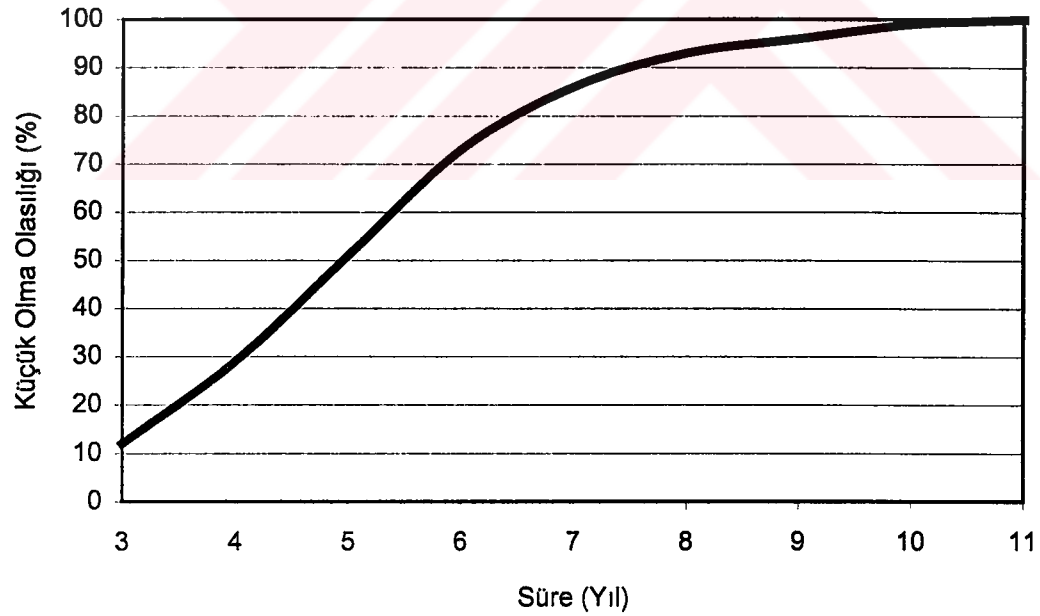
Şekil A.7c Kireçburnu'nda 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.



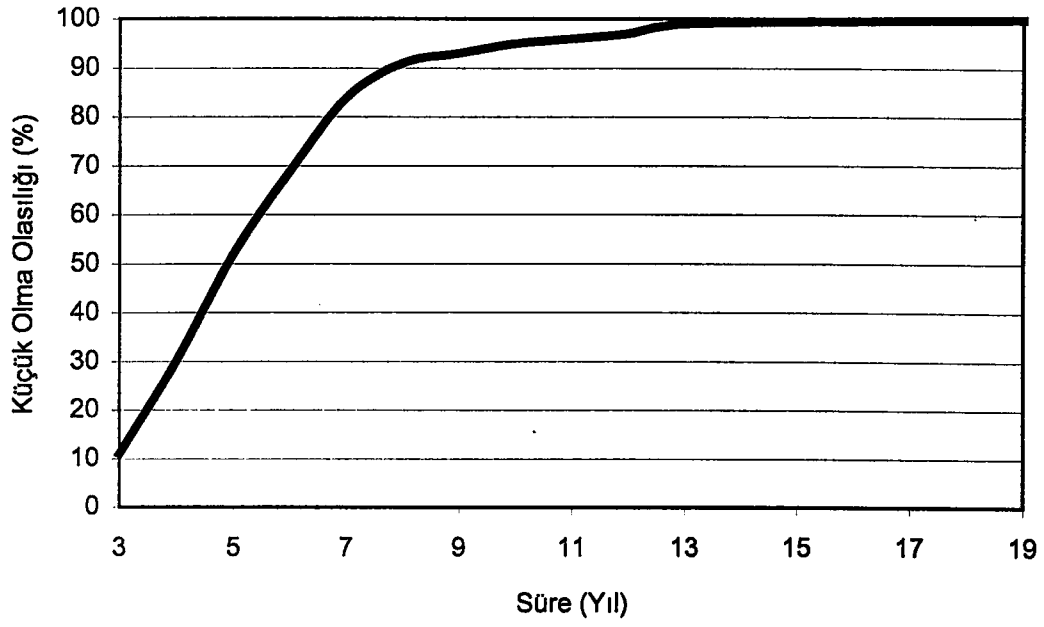
Şekil A.7d Florya'da 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.



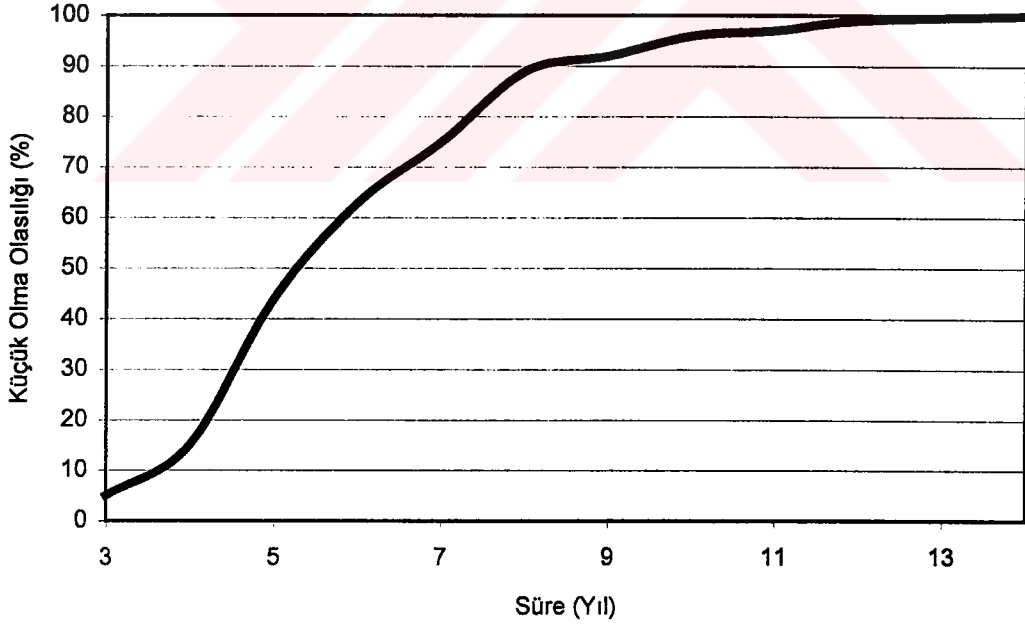
Şekil A.7e Kartal'da 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.



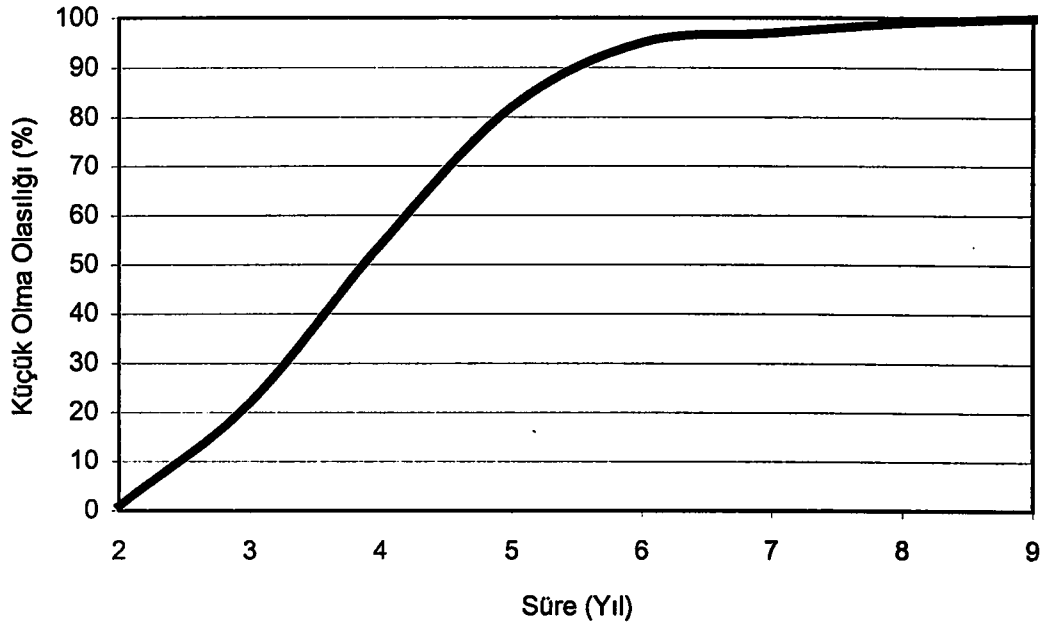
Şekil A.8a Bahçeköy'de 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.



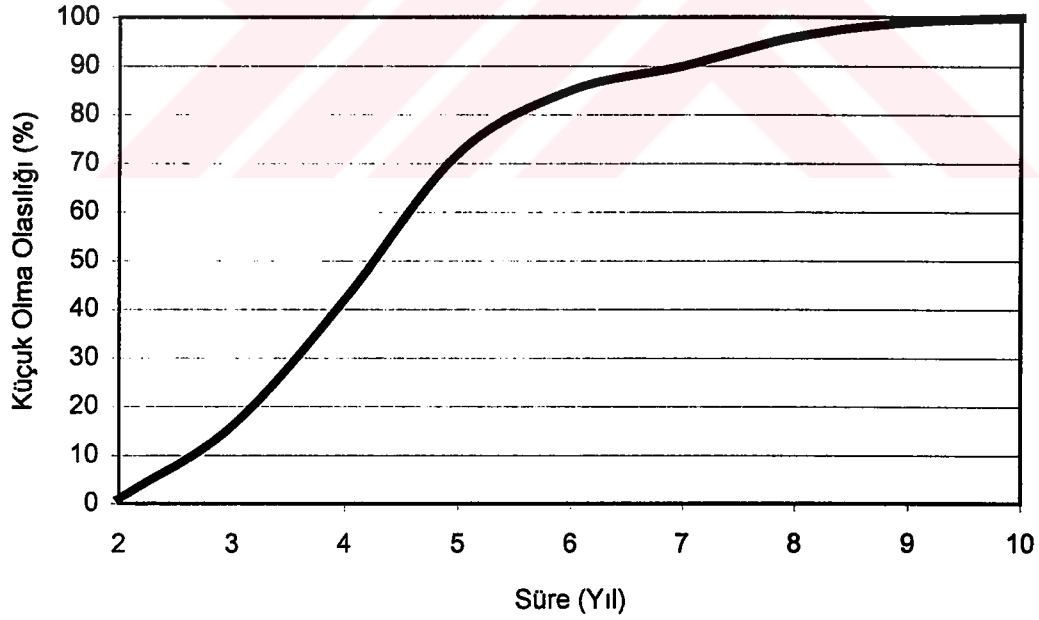
Şekil A.8b Kumköy’de 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.



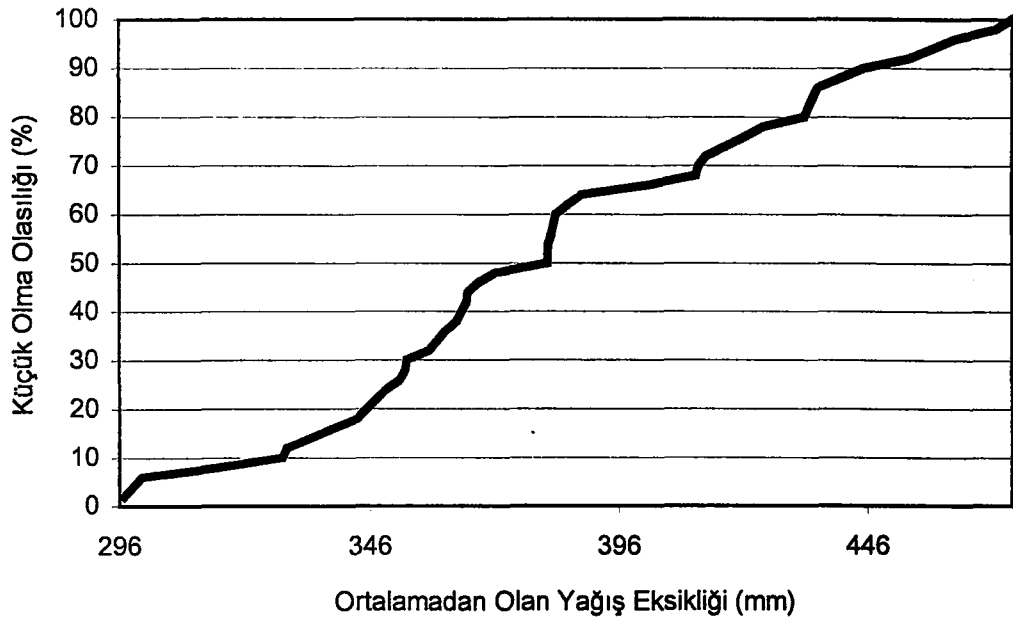
Şekil A.8c Kireçburnu’nda 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.



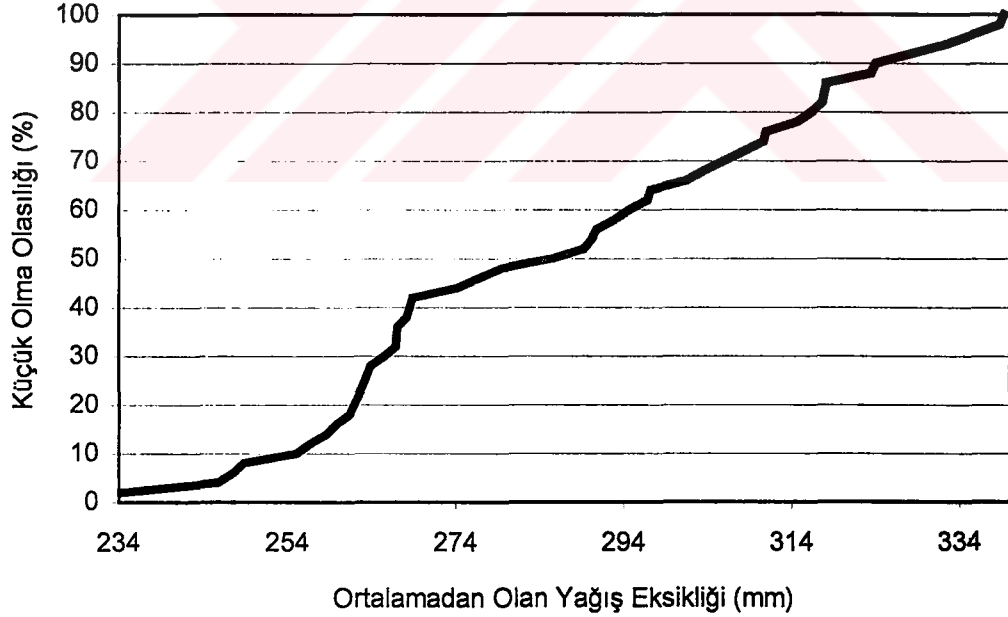
Şekil A.8d Florya'da 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.



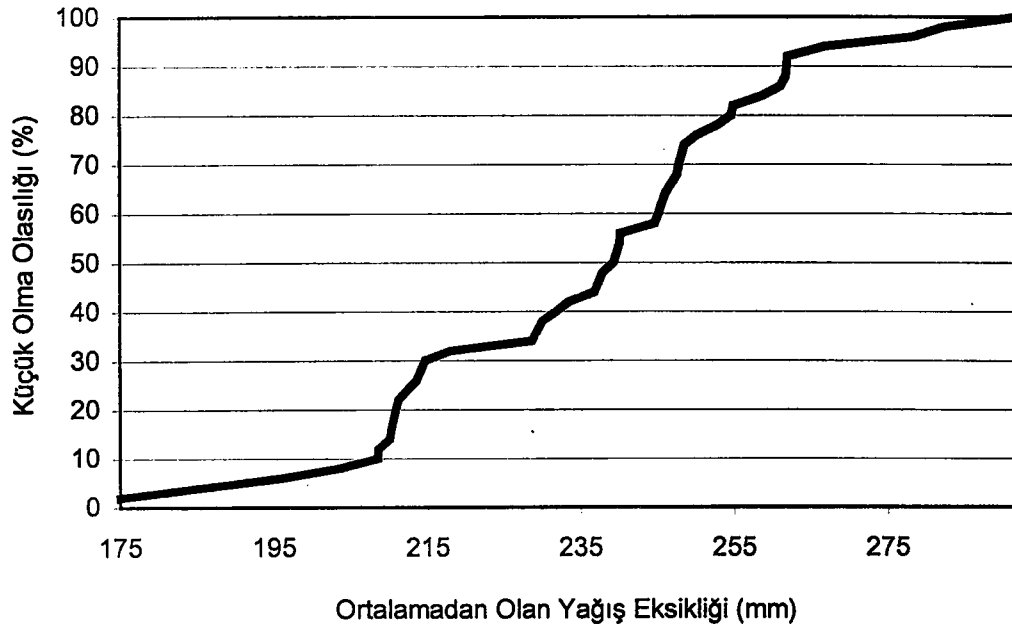
Şekil A.8e Kartal'da 50 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.



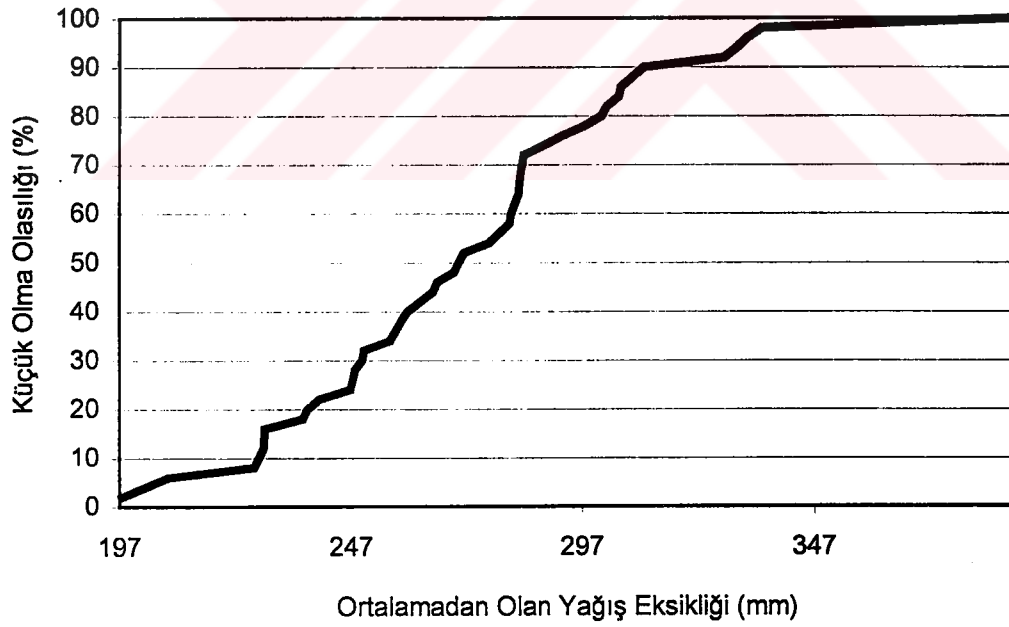
Şekil A.9a Bahçeköy’de 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.



Şekil A.9b Kumköy’de 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.

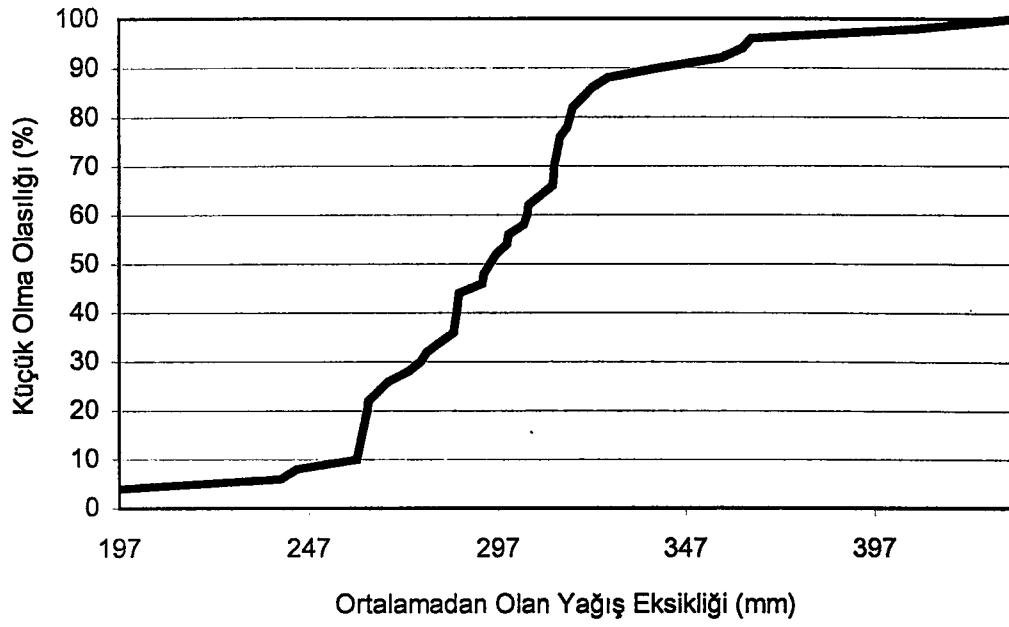


Şekil A.9c Kireçburnu'nda 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.

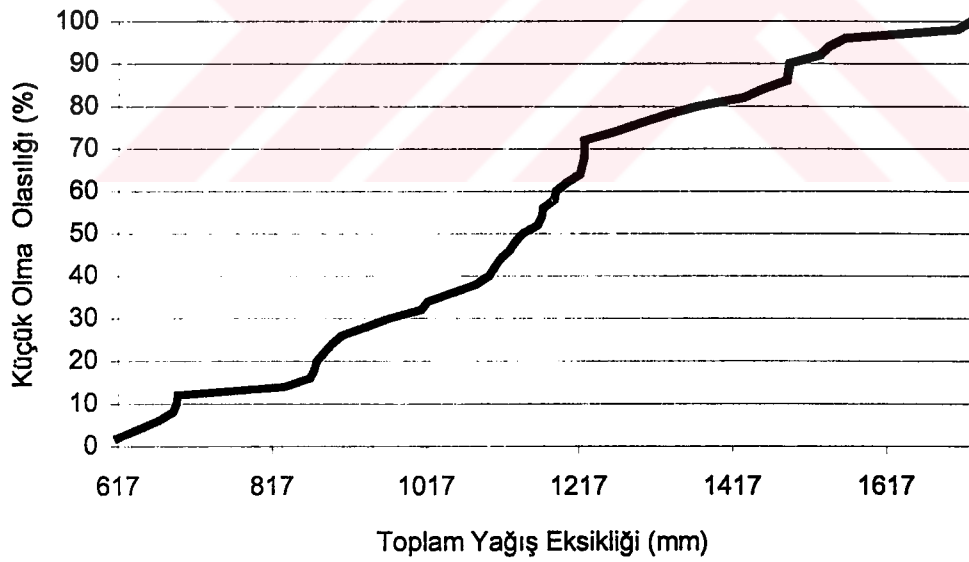


Şekil A.9d Florya'da 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.

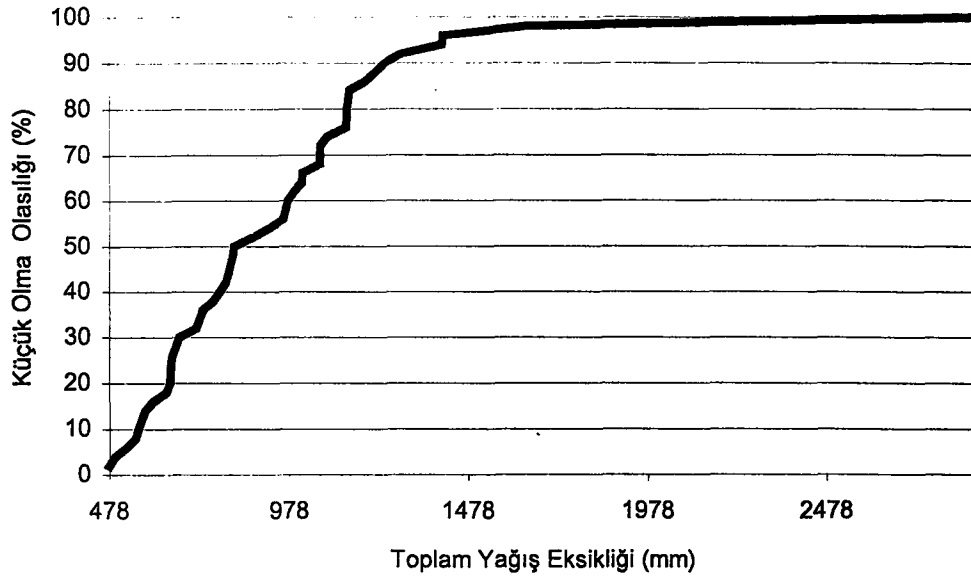




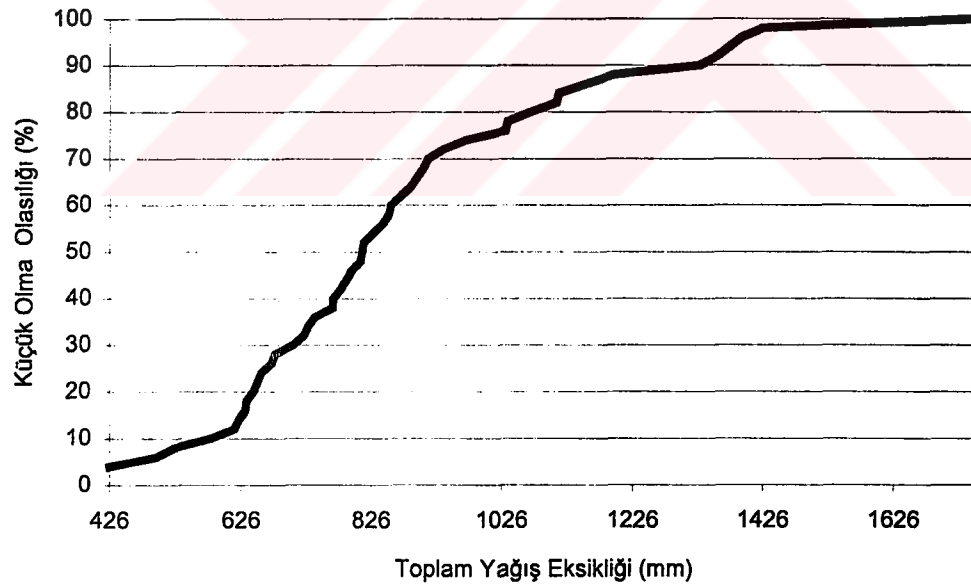
Şekil A.9e Kartal'da 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.



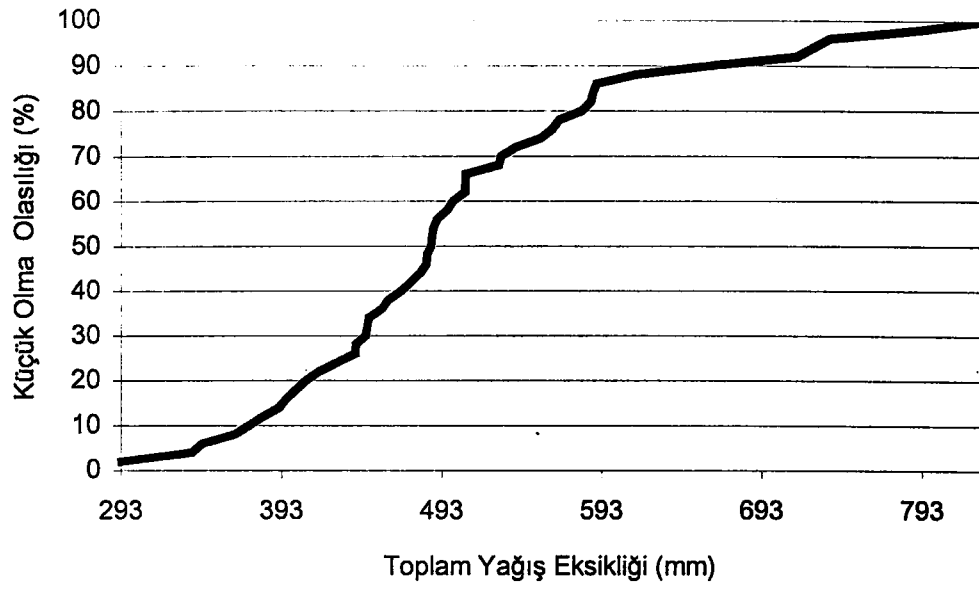
Şekil A.10a Bahçeköy'de 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.



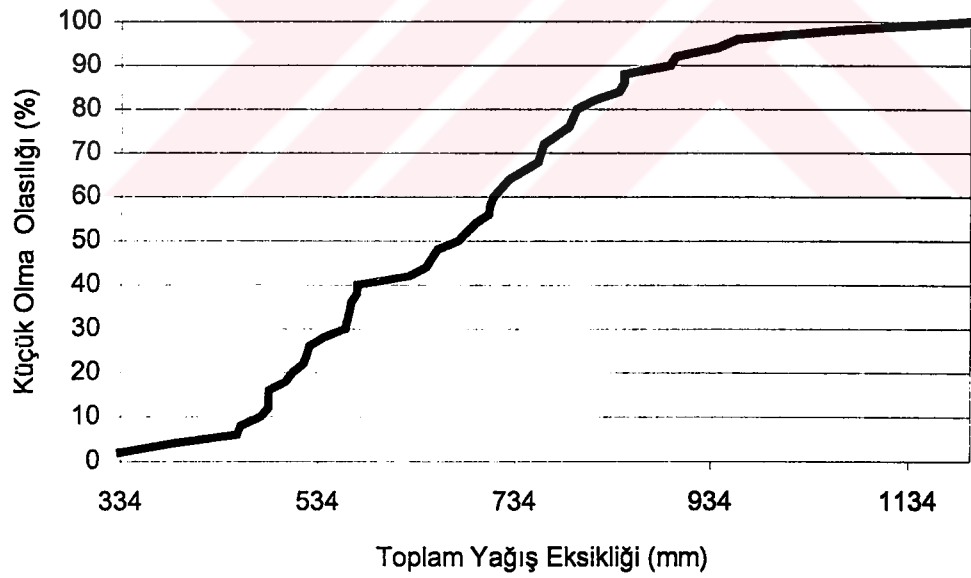
Şekil A.10b Kumköy’de 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.



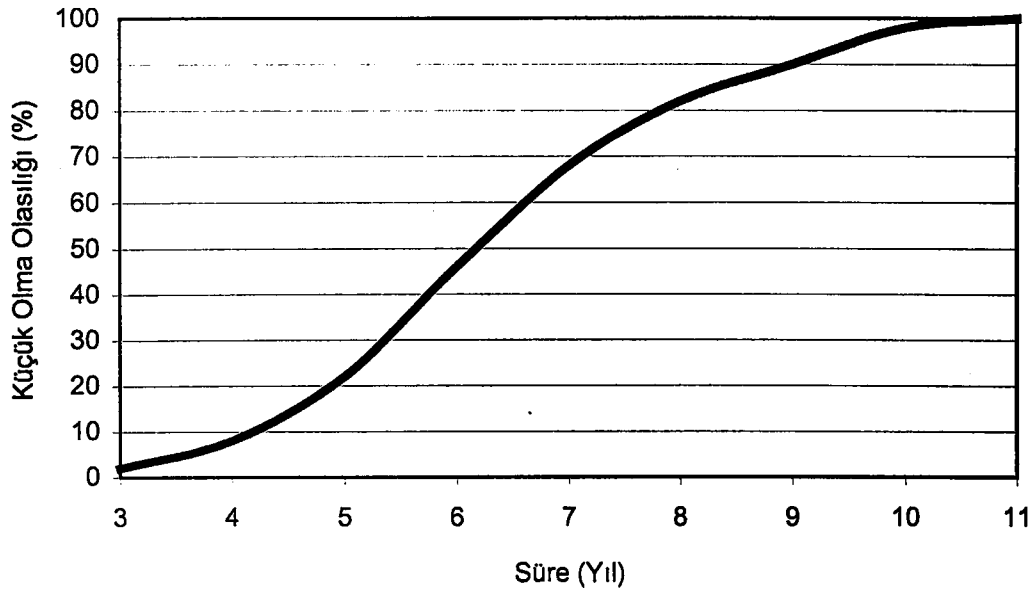
Şekil A.10c Kireçburnu’nda 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.



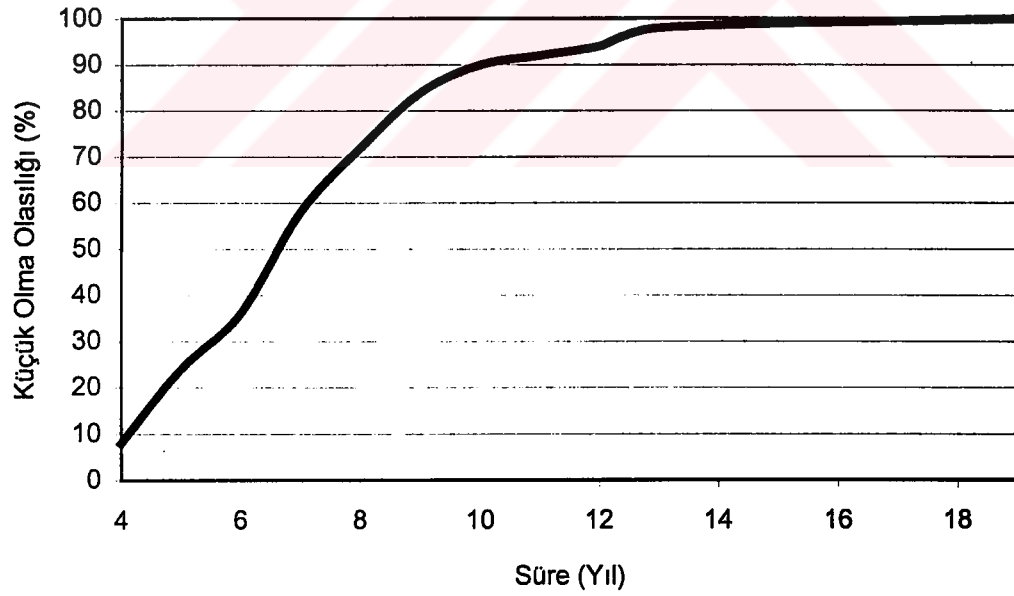
Şekil A.10d Florya'da 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.



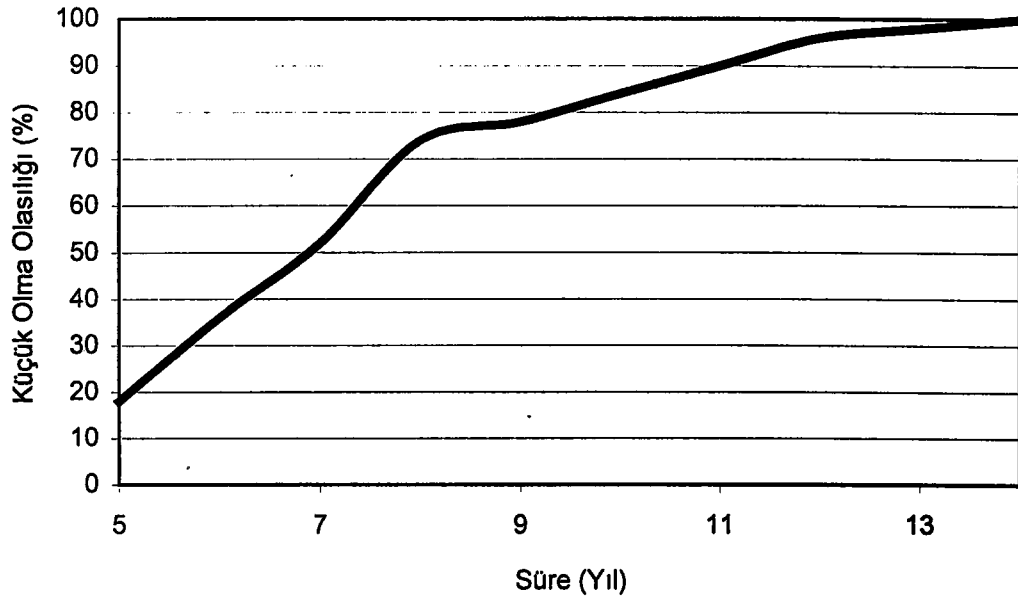
Şekil A.10e Kartal'da 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.



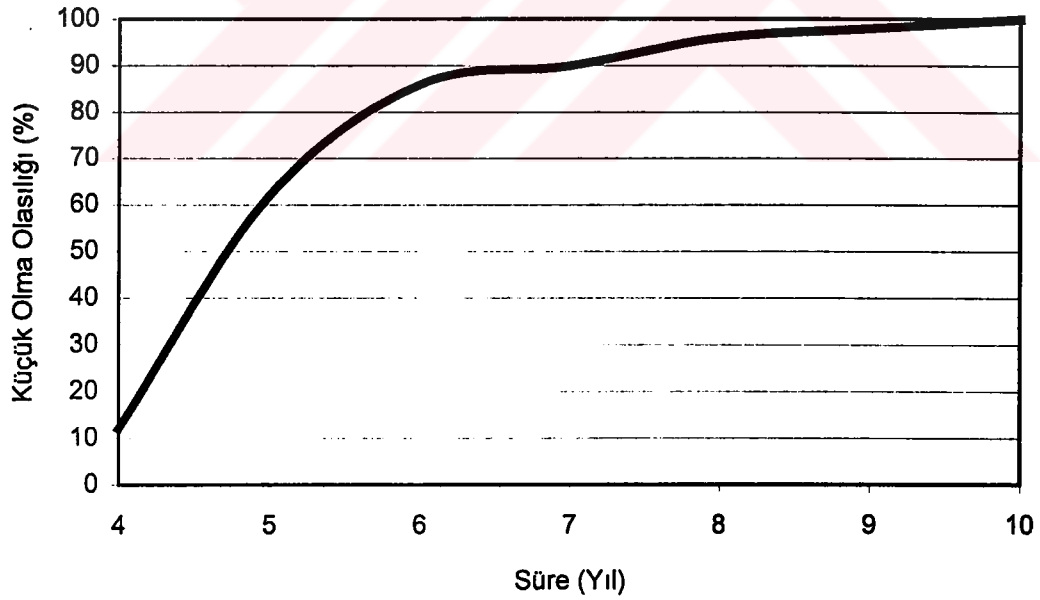
Şekil A.11a Bahçeköy’de 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.



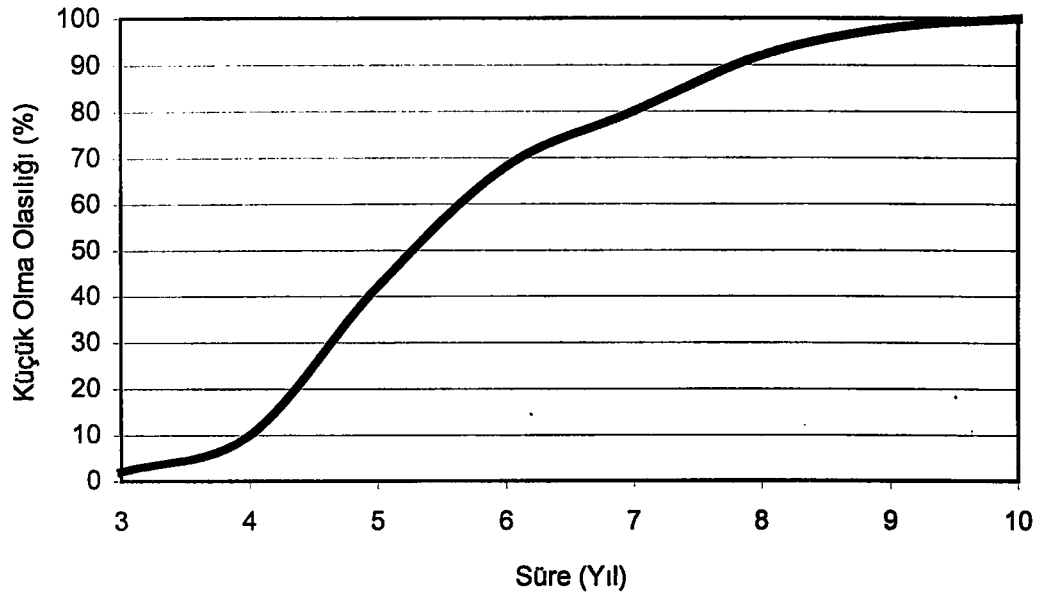
Şekil A.11b Kumköy’de 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.



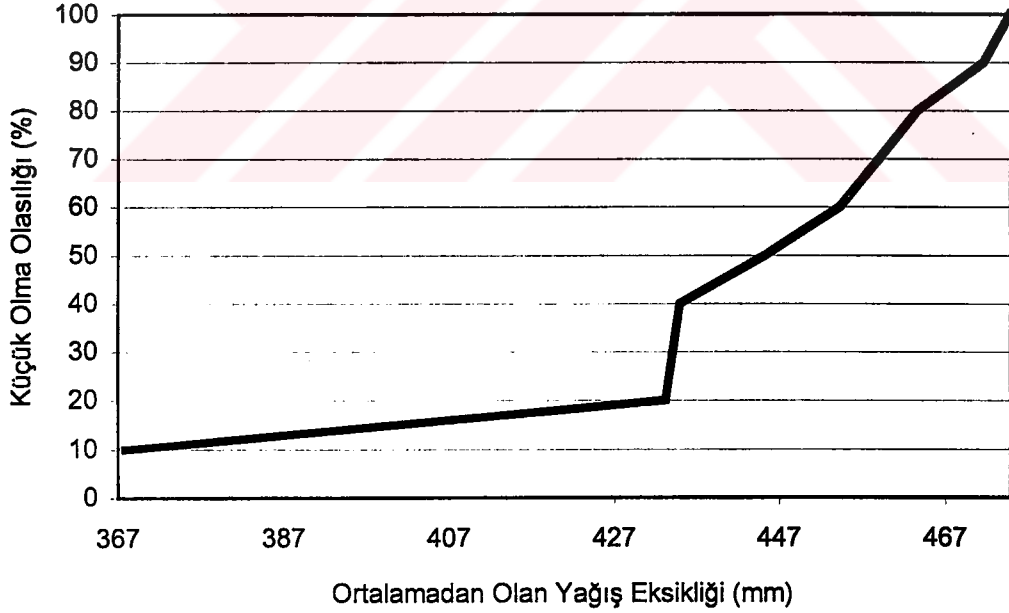
Şekil A.11c Kireçburnu'nda 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.



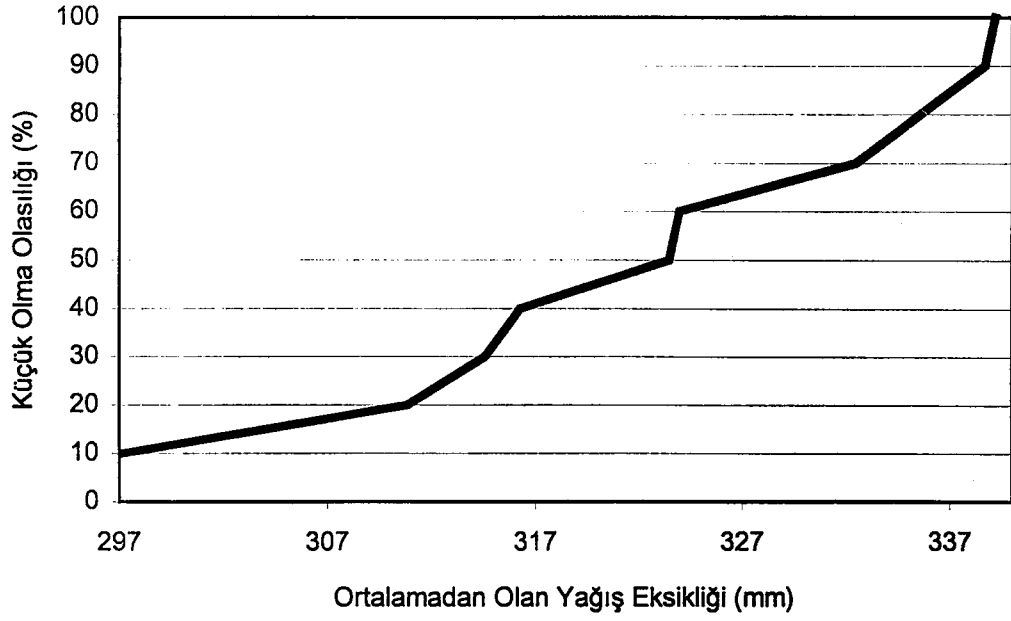
Şekil A.11d Florya'da 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.



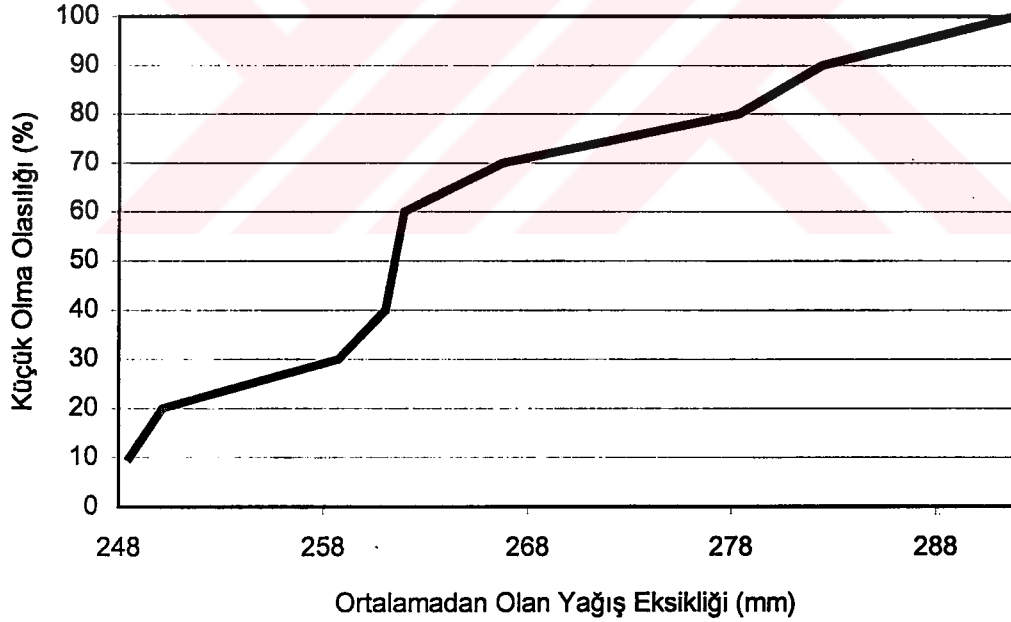
Şekil A.11e Kartal'da 100 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.



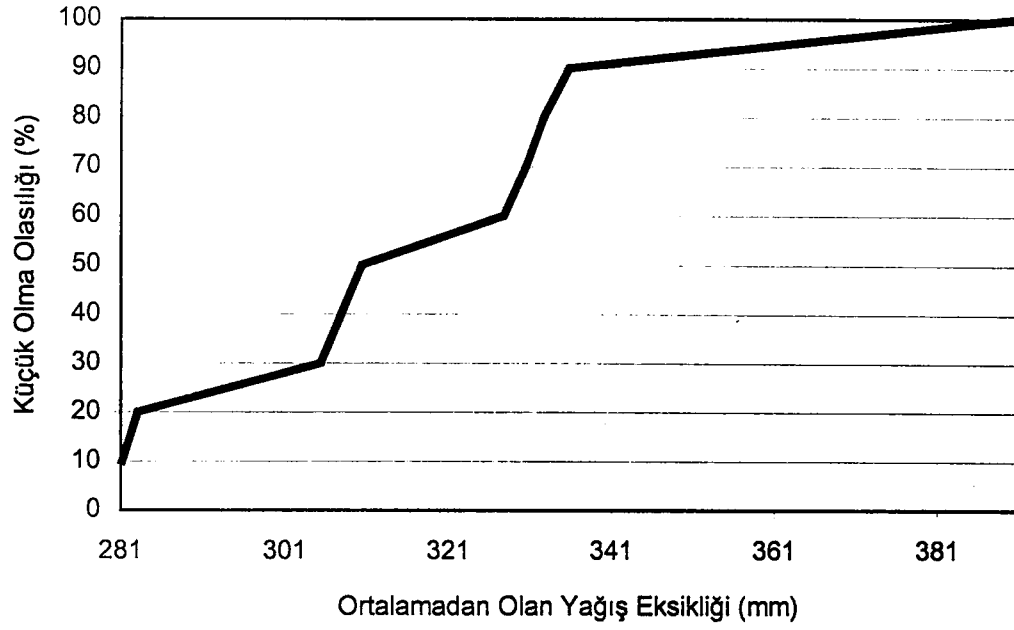
Şekil A.12a Bahçeköy'de 500 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.



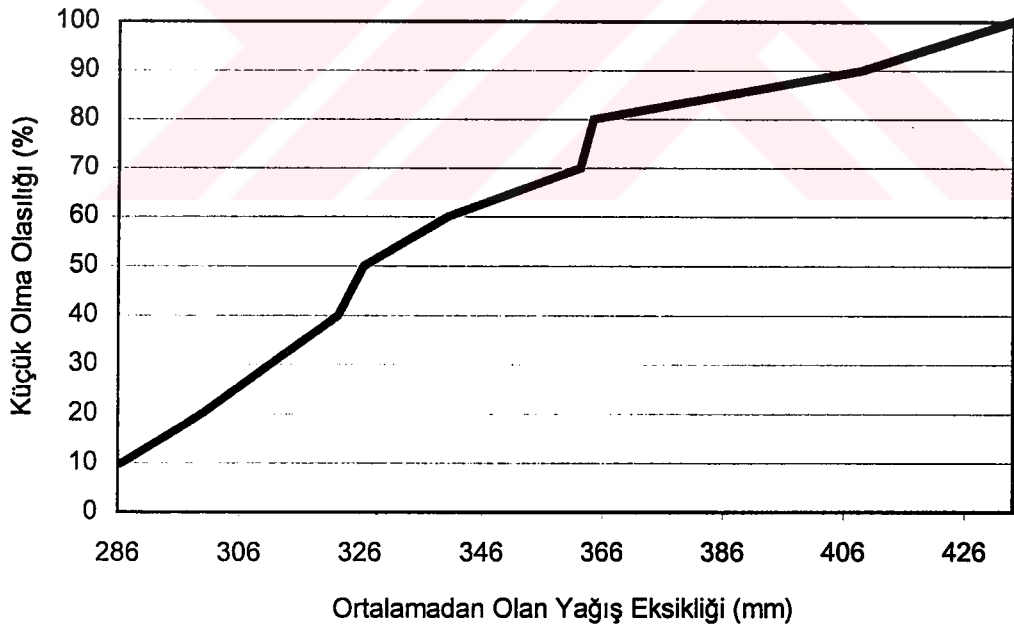
Şekil A.12b Kumköy’de 500 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.



Şekil A.12c Kireçburnu’nda 500 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.

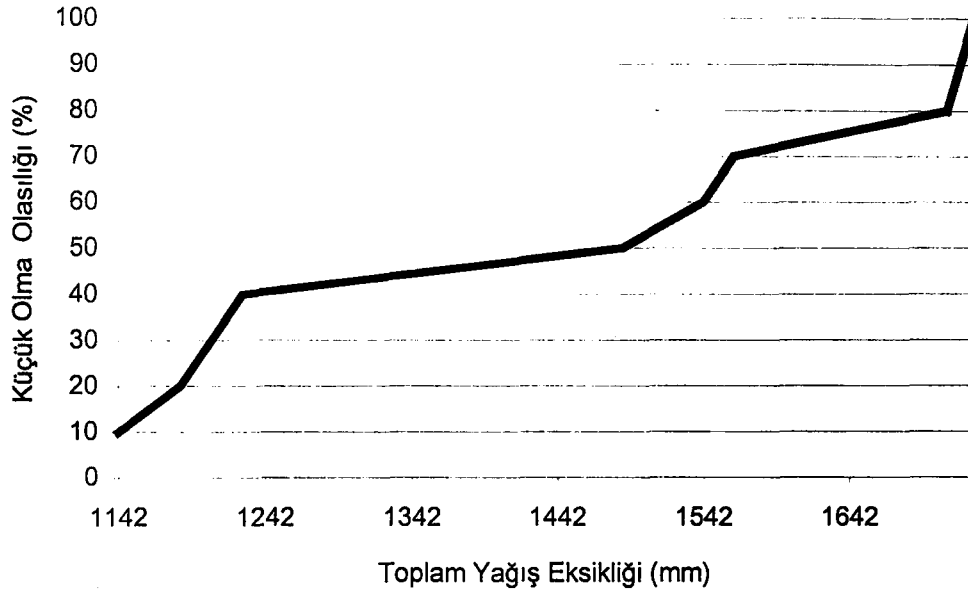


Şekil A.12d Florya'da 500 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.

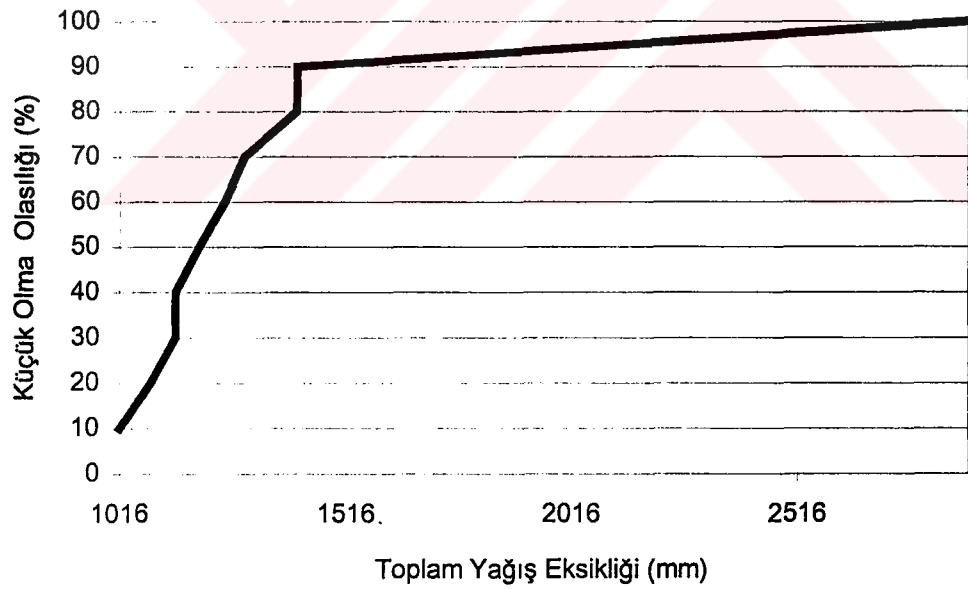


Şekil A.12e Kartal'da 500 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak yıldaki ortalamadan olan su eksikliklerinin ihtimalleri.

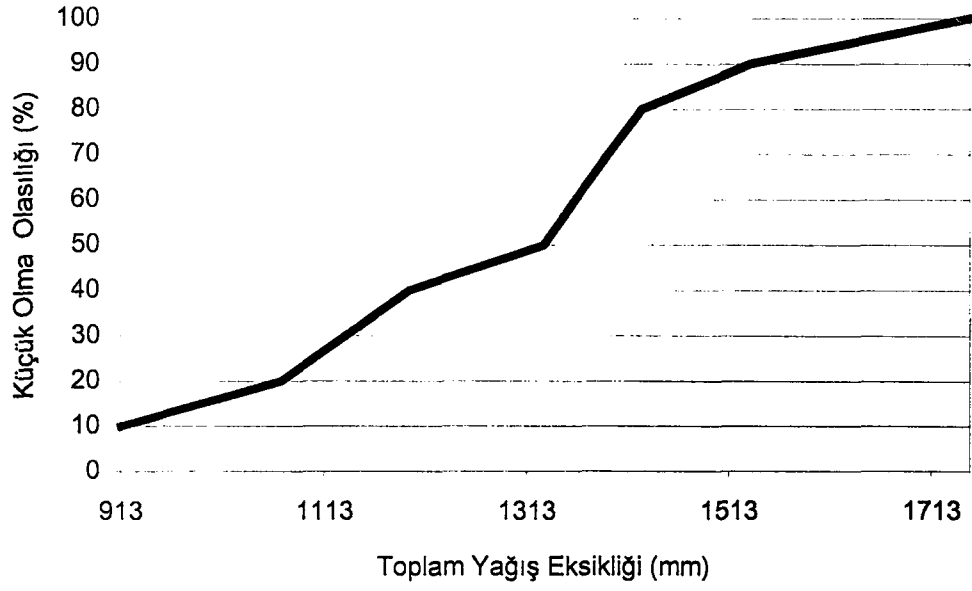




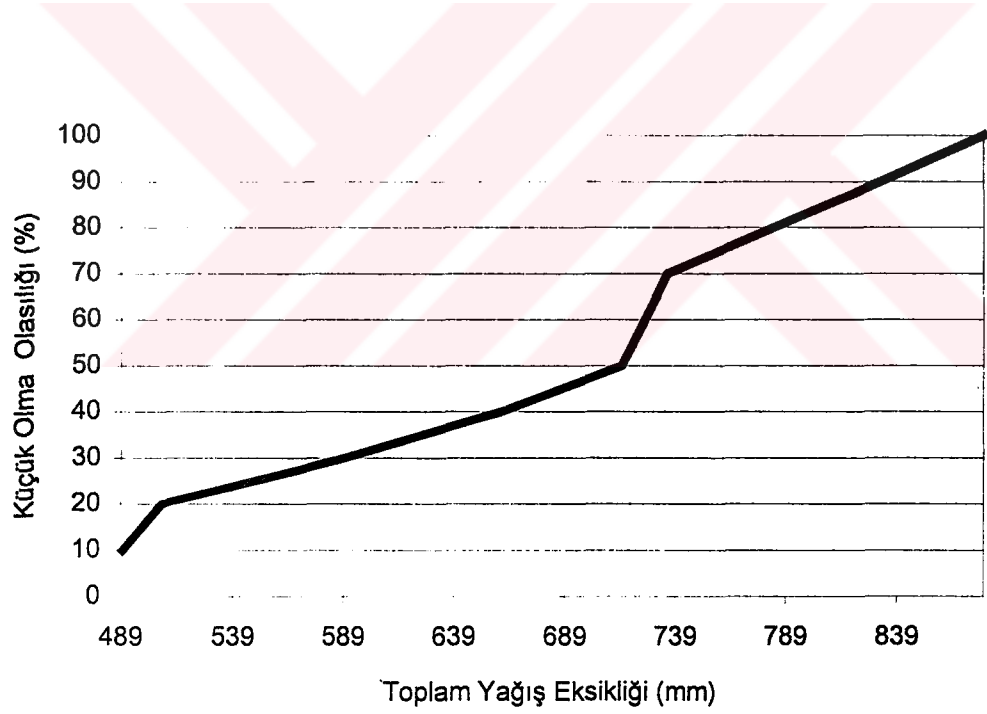
Şekil A.13a Bahçeköy’de 500 yıllık periyot içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.



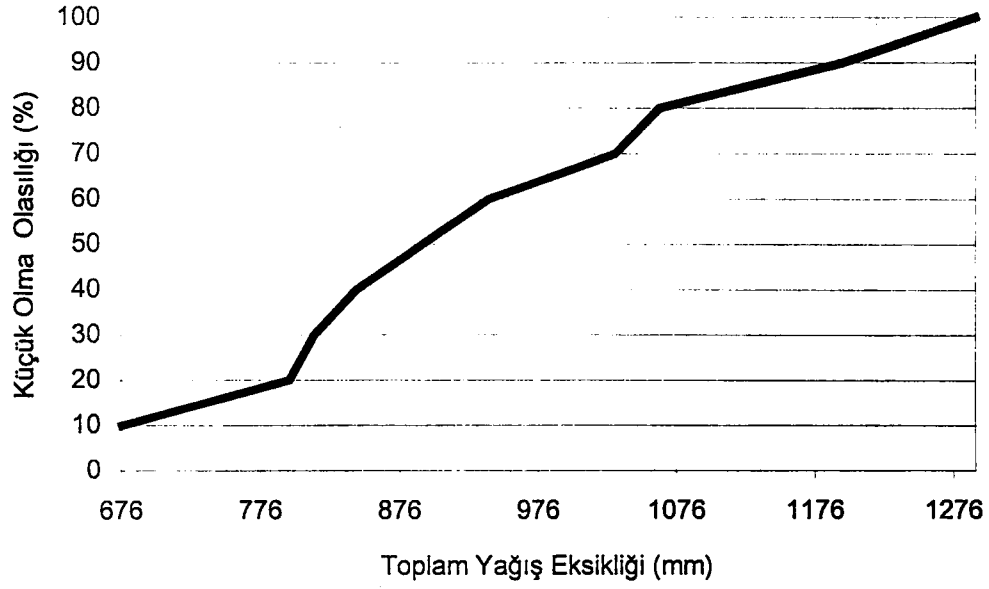
Şekil A.13b Kumköy’de 500 yıllık periyot içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.



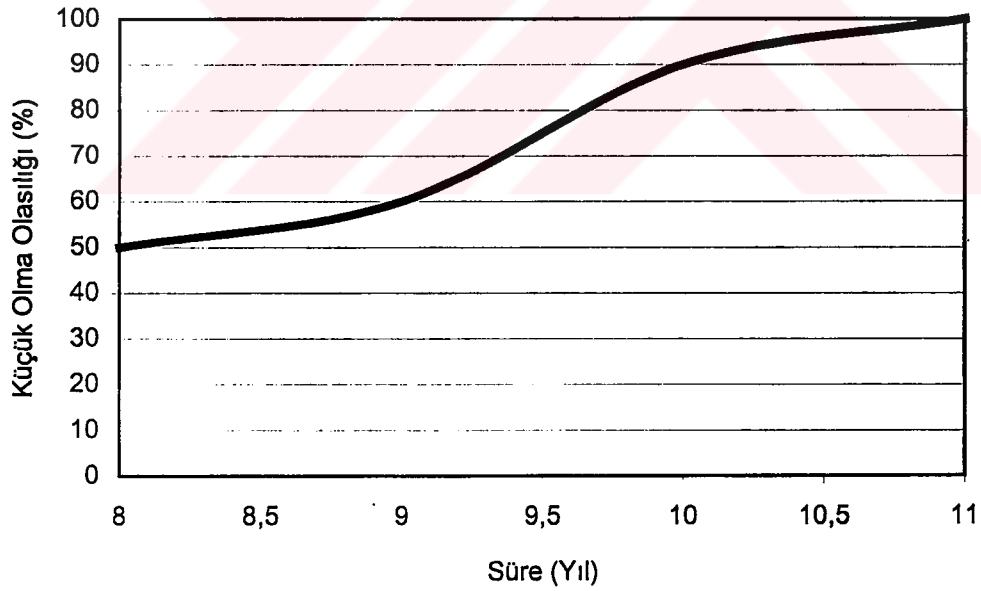
Şekil A.13c Kireçburnu'nda 500 yıllık peryot içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.



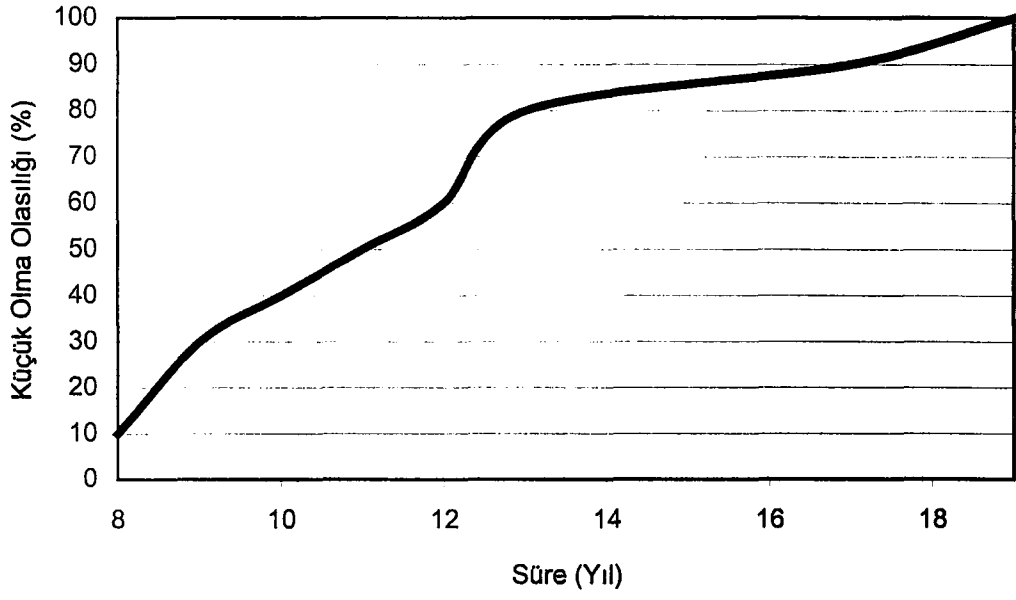
Şekil A.13d Florya'da 500 yıllık peryot içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.



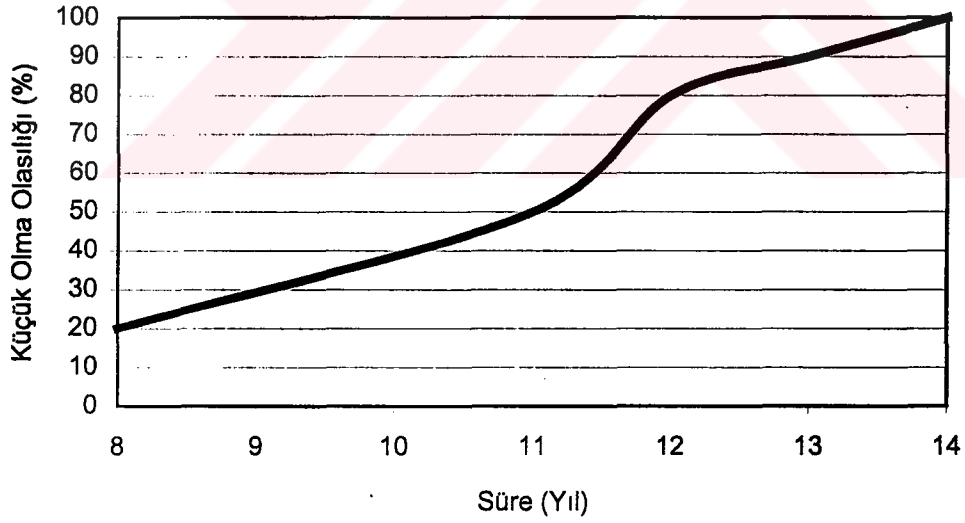
Şekil A.13e Kartal'da 500 yıllık periyot içerisinde oluşabilecek en kurak süredeki ortalamadan olan toplam su eksikliklerinin ihtimalleri.



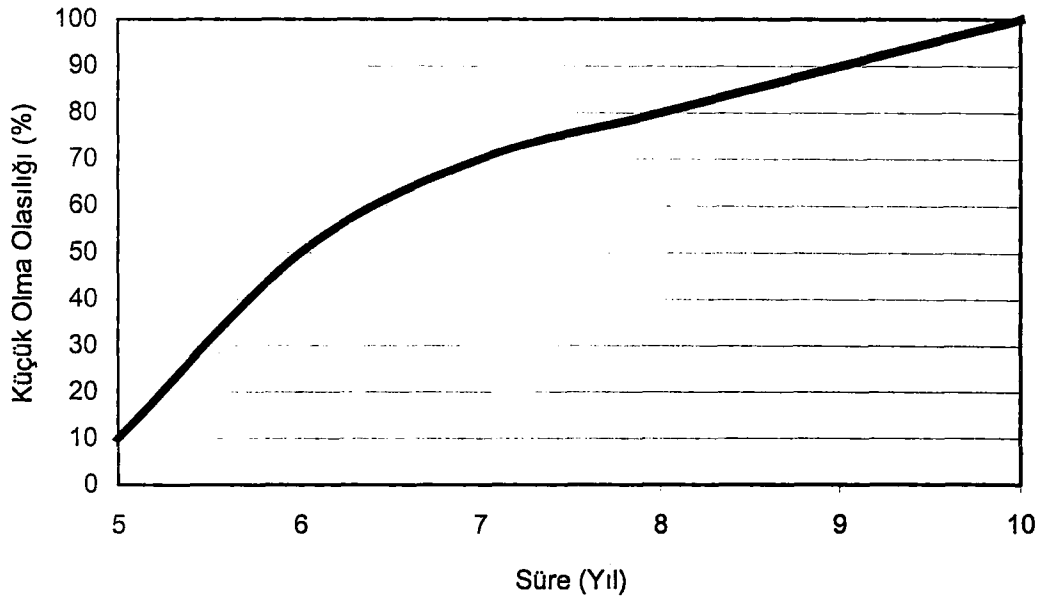
Şekil A.14a Bahçeköy'de 500 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.



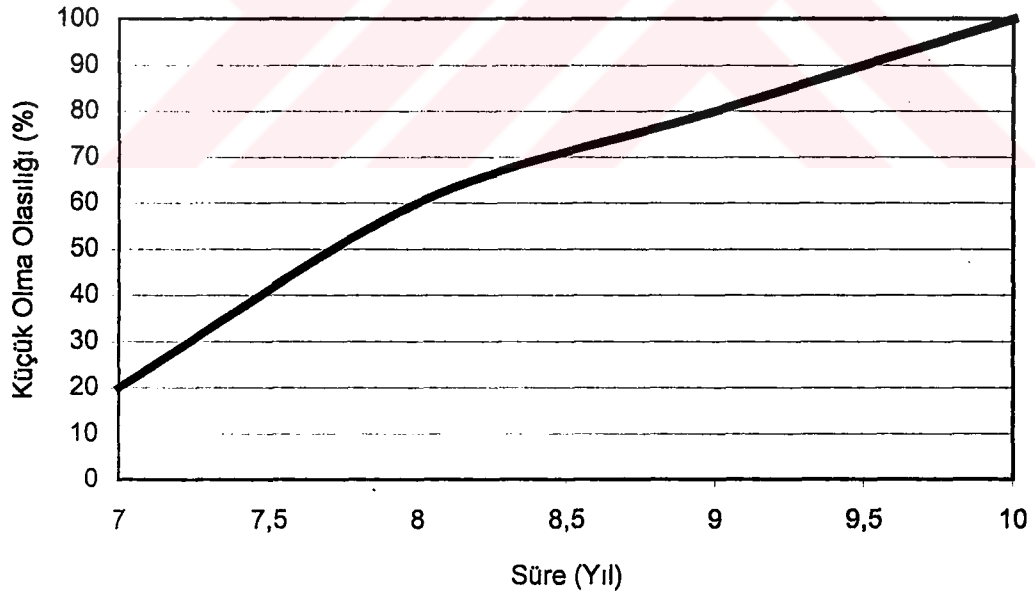
Şekil A.14b Kumköy’de 500 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.



Şekil A.14c Kireçburnu’nda 500 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.



Şekil A.14d Florya'da 500 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.



Şekil A.14e Kartal'da 500 yıllık süre içerisinde oluşabilecek en kurak sürenin olasılıkları.

## ÖZGEÇMİŞ

M. Kemal ERKUŞ, 1975 yılında Keçiborlu-Isparta'da doğdu. 1993'te Anadolu Meteoroloji Meslek Lisesi'nden mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Meteoroloji Bölge Müdürlüğün'de göreve başladı. 1997'de İ.T.Ü. Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Halen DSİ Genel Müdürlüğü Etüd ve Plan Dairesi Başkanlığı'nda çalışmaktadır.

