

**METEOROLOJİK KURAKLIK MODELLEMESİ VE
TÜRKİYE UYGULAMASI**

T-127212

727272

DOKTORA TEZİ
Y. Müh. SEVİNÇ SİRDAŞ
(511962030)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Temmuz 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Kasım 2002

Tez Danışmanı :

Prof.Dr. Zekai ŞEN

Diğer Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Mehmetçik BAYAZIT (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Nilgün HARMANCIOĞLU (D.E.Ü.)

Prof.Dr. Beyhan OĞUZ (İ.T.Ü.)

Doç.Dr. Levent ŞAYLAN (İ.T.Ü.)

KASIM 2002

127212

ÖNSÖZ

Dünyanın farklı bölgelerinde geniş alanlarda ortaya çıkan kuraklık beraberinde açlığı, kıtlığı ve işsizliği getirdiğinden toplum üzerinde kalıcı etkileri olan meteorolojik karakterli en büyük doğal afettir. Kuraklık, eğer izlenebilirse etkileri en aza indirilebilir. Kuraklığın alansal ve zamansal değişimi takip edilebilir. Ülkemiz, dünya üzerinde yarı kurak bir bölgede yer almaktadır. Bu durum kuraklığın farklı dönemlerde büyük felaketlerle karşımıza çıkacağını göstermektedir. Bu nedenle, ülkemiz için maksimum kuraklık süresi, genliği ve şiddetinin alansal olarak belirlenmesi, kuraklık meydana gelirken, yağışla birlikte diğer meteorolojik değişkenlerde gözlenen değişimlerin nasıl etkilendiğinin tesbit edilmesi gerekmektedir. Araştırmacılar tarafından kullanılan indisler birçok fayda ve sakıncayı da beraberinde getirmektedir. Kuraklık sınıflandırmasında, şiddetli ve hafif kurak alanlarda aynı referans seviyelerinin kullanılmasından dolayı bazı sorunlarla karşılaşmıştır. Bu nedenle, farklı alanlar için yağıştaki değişimi ölçüm yapılan istasyona bağlı olarak tanımlayan ve özelliklerini yansıtan kuraklık referans seviyesinin belirlenmesine ait yeni yaklaşım geliştirilmiştir. Bu çalışma, yavaş yavaş gelen sinsi ve en yıkıcı doğal afet olan kuraklığın ülkemiz için önemli elemanlarının tesbit edilip zamansal ve alansal izlenmesi ile kuraklığın etkilerinin en aza indirilmesi için yeni yaklaşımların geliştirildiği kapsamlı bir araştırmadır.

Bu çalışmada biz öğrencilerini daima bilimsel ufuklarda görmek için gece-gündüz çalışan ve bizi en iyi şekilde yetiştiren Sayın Hocam Prof. Dr. Zekâi ŞEN'e sonsuz şükranlarımı ve saygılarımı sunuyorum.

Tezde kullanılan veriyi sağlayan Sayın Doç. Dr. Mikdat KADIOĞLU'na teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmasında sürekli fikir tartışmalarında bulunduğum, büyük destek ve yardımını gördüğüm kardeşim Dr. Ahmet Duran ŞAHİN'e teşekkür ediyorum. Yine manevi desteğini ve yardımını gördüğüm kardeşim Yük. Müh. Ahmet ÖZTOPAL'a ve moral desteği için oda arkadaşım Yük. Müh. Barış ÇALDAĞ'a teşekkür ediyorum.

Doktora öğrenimim boyunca ve her zaman desteğini gördüğüm büyük sabır gösteren eşim Ömür SİRDAŞ'a ve biricik oğlum Ahmet Talha SİRDAŞ'a, emekleri hiçbir zaman unutulmayacak olan anneme, babama ve kardeşlerime şükranlarımı sunarım.

Temmuz, 2002
İstanbul

Sevinç SİRDAŞ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	xiv
ÖZET	xvi
SUMMARY	xx

1. GİRİŞ

1.1 Tarihsel Bakış ve Türkiye	1
1.2 Kuraklık Çeşitleri ve Etkileri	5
1.3 Literatür Özeti	8
1.4 Kuraklığa Neden Olan Meteorolojik Etmenler	21
1.5 Kurak İklim Kuşaklarının Oluşumu ve Dünya Üzerindeki Dağılışı	23
1.6 Türkiye'yi Etkileyen Sinoptik Sistemler ve Kuraklık	25
1.7 Tezin Amacı	30

2. KURAKLIK İNDİSLERİ

2.1 Genel Bilgi	34
2.2 Kuraklık İndisleri	35
2.2.1 Yaygın İndisler	35
2.2.2 Normal Yüzde İndisi	39
2.2.3 Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi	41
2.2.4 Yüzey Su Sağlama İndisi	43
2.2.5 Ürün Nemi İndisi	45
2.2.6 Erinç İndisi	45
2.3 Yağış İndisleri	46
2.4 Standart Yağış İndisi (SYİ)	48
2.5 SYİ'nin Faydaları	57

3. ALANSAL ZAMANSAL KURAKLIK MODELİ

3.1 Genel Bilgi	59
3.2 Kurak Devrelerin İstatistik Analizi	61
3.2.1 Gidişler Analizi	63
3.4 Alansal Değerler Teorisi	64
3.4.1 Yarıvaryogramların Modellenmesi	68
3.4.2 Noktasal Toplam Yarıvaryogram (NTYV)	70
3.4.3 Kriging Yöntemi	72

4. TÜRKİYE UYGULAMASI

4.1 Genel Bilgi	77
4.2 Türkiye Topoğrafyası ve İklimi	78

4.3 Yağışın Alansal-Zamansal Özellikleri	80
4.4 Kuraklık Zamanı, Genliği ve Şiddetinin Elde Edilmesi	83
4.5 Kuraklık için Geliştirilen Yeni Üçlü-Değişken İlişki Yaklaşımı	90
4.6 Üçlü-Değişken Yaklaşımı ile M ve L'nin Nem ve Sıcaklık Değişimi	95
4.7 Kuraklık Oranı (KO)	100
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	112
KAYNAKLAR	118
EKLER	126
ÖZGEÇMİŞ	237



KISALTMALAR

AWC	: Available Water Content
BMKİ	: Bhalme-Mooley Kuraklık İndeksi
BD	: Bölgesel Değişkenler
CMİ	: Crop Moisture Index
CP	: Circulation Pattern
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
DP	: Drought Proportion
ENSO	: El Nino, Güneyli Salınım
GDM	: Genel Dolaşım Modeli
KO	: Kuraklık Oranı
KP	: Kritik Periyot
NTYV	: Noktasal Toplam Yarı Varyogram
PDSİ	: Palmer Drought Severity Index
PKŞİ	: Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi
PJ	: Polar Jet
SAB	: Standart Alan Bağımlılık Fonksiyonu
SIMWASER	: Su ve Verim Simulasyon Modeli
SYİ	: Standart Yağış İndisi
SOI	: Southern Oscillation Index
SPI	: Standardized Precipitation Index
STJ	: Subtropikal Jet
SWSI	: Surface Water Supply Index
ÜNİ	: Ürün Nemi İndisi
YSİİ	: Yüzey Suyu İhtiyacı İndisi
YSYİ	: Yeni Standart Yağış İndisi
YV	: Yarı Varyogram

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1 Dünya ikliminin tarihsel dönemleri	3
Tablo 2.1 Frekans sınıflandırması	38
Tablo 2.2 Budyko sınıflandırması	38
Tablo 2.3 Kuraklık sınıflandırılması	39
Tablo 2.4 Kurak ve ıslak periyotlar için ondalık sınıfları	40
Tablo 2.5 Sulak ve kurak periyotlar için PKŞİ	42
Tablo 2.6 Erinç sınıflandırması	46
Tablo 2.7 SYİ'nin toplam olasılığa karşılık gelen değerleri	54
Tablo 2.8 SYİ değerleri	56
Tablo 4.1 Kullanılan istasyonların bazı özellikleri	79
Tablo 4.2 İstanbul için KS=0, -1, -2'de kuraklık süresi, genliği ve şiddetinin istatistiksel özellikleri	87
Tablo 4.3 Çalışma alanındaki kuraklık oran değerleri	110

ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1	Polar Jet (PJ) ve Suptropikal Jet (STJ)'in Ocak ve Temmuz aylarındaki ortalama pozisyonları	26
Şekil 1.2	Türkiye'yi etkileyen tipik Aralık-Şubat siklon yörüngeleri	26
Şekil 1.3	Mart-Mayıs aylarındaki yörüngeler	27
Şekil 1.4	Kasım ayındaki yörüngeler	27
Şekil 2.1	Gamma dağılımından standart normal dağılıma eşit olasılıkla dönüşümün örneği	50
Şekil 2.2	SYİ "0" ortalama ve "1" standart sapma ile standart normal dağılım	53
Şekil 2.3	1911'den 1995'e kadar olan periyotta Mc Pherson, Kansas için hesap edilen SYİ değerleri	54
Şekil 2.4	Standartlaştırılmış Yağış indisi	56
Şekil 3.1	Kurak ve sulak gidişler	63
Şekil 3.2	Kesilen serinin karakteristik özelliklerini yansıtan büyüklükler	67
Şekil 3.3	İdealleştirilmiş yarı varyogramlar (a) parabolik (b) doğrusal, (c) yatay, orjinden sıçrama etkisi	69
Şekil 3.4	Yarıvaryogramın küresel modeli, a, aralığı yarıvaryogramın varyansa eşit olduğu mesafedir	69
Şekil 4.1	Çalışılan istasyonların konumları	77
Şekil 4.2	Kuraklık büyüklükleri	83
Şekil 4.3	Rize için farklı kesim seviyeleri için M ve L değerleri	85
Şekil 4.4	İstanbul için farklı kesim seviyelerinde M ve L değerleri	86
Şekil 4.5	Diyarbakır için farklı seviyelerde M ve L değerleri	88
Şekil 4.6	SYİ zaman serisi (1931-1991) (a) aylık (b) 3 aylık ortalama	89
Şekil 4.7	Standart yağış, nem ve sıcaklık verileri zaman serileri	90
Şekil 4.8	Kuraklık süre ve genliğinde ortalama (maksimum) nem ve sıcaklık değişimi.	95
Şekil 4.9	Ocak ayı için Kuraklık Oranı (a) ve KO + SYİ dağılımı (b)	103
Şekil 4.10	Nisan ayı için Kuraklık Oranı (a) ve KO + SYİ dağılımı (b)	105
Şekil 4.11	Temmuz ayı için Kuraklık Oranı (a) ve KO + SYİ dağılımı (b)	108
Şekil 4.12	Ekim ayı için Kuraklık Oranı (a) ve KO + SYİ dağılımı (b)	109
Şekil A.1a	Kış mevsimi ortalama yağış (mm) dağılımı	127
Şekil A.1b	İlkbahar mevsimi ortalama yağış (mm) dağılımı	127
Şekil A.1c	Yaz mevsimi ortalama yağış (mm)	128
Şekil A.1d	Sonbahar mevsimi ortalama yağış (mm)	128
Şekil A.2a	Kış mevsimi ortalama maksimum yağış (mm) dağılımı	129
Şekil A.2b	İlkbahar mevsimi maksimum yağış (mm) dağılımı	129
Şekil A.2c	Yaz mevsimi maksimum yağış (mm) dağılımı	130

Şekil A.2d	Sonbahar mevsimi maksimum yağış (mm) dağılımı	130
Şekil A.3a	Kış mevsimi minimum yağış (mm) dağılımı	131
Şekil A.3b	İlkbahar mevsimi minimum yağış (mm) dağılımı	131
Şekil A.3c	Yaz mevsimi minimum yağış (mm) dağılımı	132
Şekil A.3d	Sonbahar mevsimi minimum yağış (mm) dağılımı	132
Şekil A.4a	Kış mevsimi yağış (mm) standart sapma değerleri dağılımı	133
Şekil A.4b	İlkbahar mevsimi yağış (mm) standart sapma değerleri dağılımı	133
Şekil A.4c	Yaz mevsimi yağış (mm) standart sapma değerleri dağılımı	134
Şekil A.4d	Sonbahar mevsimi yağış (mm) standart sapma değerleri dağılımı	134
Şekil A.5a	Kış mevsimi maksimum standart yağış değerleri	135
Şekil A.5b	İlkbahar mevsimi maksimum standart yağış değerleri	135
Şekil A.5c	Yaz mevsimi maksimum standart yağış değerleri	136
Şekil A.5d	Sonbahar mevsimi maksimum standart yağış değerleri	136
Şekil A.6a	Kış mevsimi minimum standart yağış değerleri	137
Şekil A.6b	İlkbahar mevsimi minimum standart yağış değerleri	137
Şekil A.6c	Yaz mevsimi minimum standart yağış değerleri	138
Şekil A.6d	Sonbahar mevsimi minimum standart yağış değerleri	138
Şekil A.7a	Kış mevsimi yağış (mm) çarpıklık değerleri dağılımı	139
Şekil A.7b	İlkbahar mevsimi yağış (mm) çarpıklık değerleri dağılımı	139
Şekil A.7c	Yaz mevsimi yağış (mm) çarpıklık değerleri dağılımı	140
Şekil A.7d	Sonbahar mevsimi yağış (mm) çarpıklık değerleri dağılımı	140
Şekil B.1	Rize yağış miktarı (mm) histogramı	142
Şekil B.2	İstanbul yağış miktarı (mm) histogramı	142
Şekil B.3	İzmir yağış miktarı (mm) histogramı	143
Şekil B.4	Konya yağış miktarı (mm) histogramı	143
Şekil B.5	Diyarbakır yağış miktarı (mm) histogramı	144
Şekil B.6	Antalya yağış miktarı (mm) histogramı	144
Şekil B.7	Trabzon yağış miktarı (mm) histogramı	145
Şekil B.8	Edirne yağış miktarı (mm) histogramı	145
Şekil B.9	Erzurum yağış miktarı (mm) histogramı	146
Şekil B.10	Kars yağış miktarı (mm) histogramı	146
Şekil B.11	Ankara yağış miktarı (mm) histogramı	147
Şekil B.12	Van yağış miktarı (mm) histogramı	147
Şekil B.13	Urfa yağış miktarı (mm) histogramı	148
Şekil B.14	Adana yağış miktarı (mm) histogramı	148
Şekil B.15	Zonguldak yağış miktarı (mm) histogramı	149
Şekil B.16	Uşak yağış miktarı (mm) histogramı	149
Şekil C.1	Rize için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri	151
Şekil C.2	İstanbul için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri	152
Şekil C.3	İzmir için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri	153
Şekil C.4	Konya için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri	154
Şekil C.5	Diyarbakır için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri	155
Şekil C.6	Antalya için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri	156
Şekil C.7	Trabzon için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri	157
Şekil C.8	Edirne için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri	158
Şekil C.9	Erzurum için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri	159
Şekil C.10	Kars için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri	160
Şekil C.11	Ankara için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri	161
Şekil C.12	Van için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri	162

Şekil C.13	Urfa için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri	163
Şekil C.14	Adana için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri	164
Şekil C.15	Zonguldak için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri	165
Şekil C.16	Uşak için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri	166
Şekil D.1a	Rize için aylık nem, sıcaklık ve yağış arasındaki üçlü ilişki	168
Şekil D.1b	Rize için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	168
Şekil D.2a	İstanbul için aylık nem, sıcaklık ve yağış arasındaki üçlü ilişki	169
Şekil D.2b	İstanbul için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	169
Şekil D.3a	İzmir için aylık nem, sıcaklık ve yağış arasındaki üçlü ilişki	170
Şekil D.3b	İzmir için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	170
Şekil D.4a	Konya için aylık nem, sıcaklık ve yağış arasındaki üçlü ilişki	171
Şekil D.4b	Konya için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	171
Şekil D.5a	Diyarbakır için aylık nem, sıcaklık ve yağış arasındaki üçlü ilişki	172
Şekil D.5b	Diyarbakır için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	172
Şekil D.6a	Antalya için aylık nem, sıcaklık ve yağış arasındaki üçlü ilişki	173
Şekil D.6b	Antalya için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	173
Şekil D.7	Trabzon için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	174
Şekil D.8	Edirne için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	174
Şekil D.9	Erzurum için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	175
Şekil D.10	Kars için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	175
Şekil D.11	Ankara için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	176
Şekil D.12	Van için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	176
Şekil D.13	Urfa için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	177
Şekil D.14	Adana için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	177
Şekil D.15	Zonguldak için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	178
Şekil D.16	Uşak için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	178
Şekil D.17	Sinop için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	179

Şekil D.18	Samsun için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	179
Şekil D.19	Gresun için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	180
Şekil D.20	Rize için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	180
Şekil D.21	Tekirdağ için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	181
Şekil D.22	İzmit için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	181
Şekil D.23	Bolu için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	182
Şekil D.24	Kastamonu için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	182
Şekil D.25	Çorum için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	183
Şekil D.26	Sivas için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	183
Şekil D.27	Erzincan için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	184
Şekil D.28	Ağrı için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	184
Şekil D.29	Çanakkale için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	185
Şekil D.30	Bursa için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	185
Şekil D.31	Yozgat için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	186
Şekil D.32	Balıkesir için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	186
Şekil D.33	Kütahya için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	187
Şekil D.34	Bitlis için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	187
Şekil D.35	Kahramanmaraş için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	188
Şekil D.36	Afyon için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	188
Şekil D.37	Nevşehir için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	189
Şekil D.38	Kayseri için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	189
Şekil D.39	Malatya için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	190
Şekil D.40	Elazığ için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	190
Şekil D.41	Batman için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	191
Şekil D.42	Siirt için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	191

Şekil D.43	Niğde için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	192
Şekil D.44	Aydın için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	192
Şekil D.45	Denizli için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	193
Şekil D.46	Isparta için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	193
Şekil D.47	Gaziantep için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	194
Şekil D.48	Mardin için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	194
Şekil D.49	Muğla için aylık nem, sıcaklık ve yağış arasındaki üçlü ilişki	195
Şekil D.50	Mersin için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	195
Şekil D.51	Antakya için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	196
Şekil D.52	Adıyaman için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	196
Şekil D.53	Kırklareli için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	197
Şekil D.54	Aksaray için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	197
Şekil D.55	Amasya için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	198
Şekil D.56	Bingöl için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	198
Şekil D.57	Eskişehir için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	199
Şekil D.58	Hakkari için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	199
Şekil D.59	Muş için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	200
Şekil D.60	Tunceli için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki	200
Şekil E.1a	Kesim seviyesi -0.5 ve -1'de Rize için maksimum nem ve sıcaklıkta kuraklık genliği (M) değişimi	202
Şekil E.1b	Kesim seviyesi -1.5 ve -2'de Rize için maksimum nem ve sıcaklıkta kuraklık genliği (M) değişimi	203
Şekil E.1c	Kesim seviyesi -0.5 ve -1'de Rize için maksimum nem ve sıcaklıkta kuraklık süresi (L) değişimi	204
Şekil E.1d	Kesim seviyesi -1.5 ve -2'de Rize için maksimum nem ve sıcaklıkta kuraklık süresi (L) değişimi	205
Şekil E.1e	Kesim seviyesi -0.5 ve -1'de Rize için ortalama nem ve sıcaklıkta kuraklık genliği (M) değişimi	206
Şekil E.1f	Kesim seviyesi -1.5 ve -2'de Rize için ortalama nem ve sıcaklıkta kuraklık genliği (M) değişimi	207
Şekil E.1g	Kesim seviyesi -0.5 ve -1'de Rize için ortalama nem ve sıcaklıkta kuraklık süresi (L) değişimi	208

Şekil E.1h	Kesim seviyesi -1.5 ve -2'de Rize için ortalama nem ve sıcaklıkta kuraklık süresi (L) değişimi	209
Şekil E.2a	İstanbul için KS -2'de Rize için maksimum nem ve sıcaklıkta kuraklık süresi ve genliği değişimi	210
Şekil E.2b	İstanbul için KS -2'de Rize için ortalama nem ve sıcaklıkta kuraklık süresi ve genliği değişimi	211
Şekil E.3a	İzmir için KS -2'de Rize için maksimum nem ve sıcaklıkta M ve L değişimi	212
Şekil E.3b	İzmir için KS -2'de Rize için ortalama nem ve sıcaklıkta M ve L değişimi	213
Şekil E.4a	Konya için KS -2'de Rize için maksimum nem ve sıcaklıkta kuraklık süresi ve genliği değişimi	214
Şekil E.4b	Konya için KS -2'de Rize için ortalama nem ve sıcaklıkta kuraklık süresi ve genliği değişimi	215
Şekil E.5a	Diyarbakır için KS -1'de Rize için maksimum nem ve sıcaklıkta kuraklık süresi ve genliği değişimi	216
Şekil E.5b	Diyarbakır için KS -1'de Rize için ortalama nem ve sıcaklıkta kuraklık süresi ve genliği değişimi	217
Şekil E.5c	Diyarbakır için KS -2'de Rize için maksimum nem ve sıcaklıkta kuraklık süresi ve genliği değişimi	218
Şekil E.5d	Diyarbakır için KS -2'de Rize için ortalama nem ve sıcaklıkta kuraklık süresi ve genliği değişimi	219
Şekil E.6a	Antalya için KS -2'de Rize için maksimum nem ve sıcaklıkta kuraklık süresi ve genliği değişimi	220
Şekil E.6b	Antalya için KS -2'de Rize için ortalama nem ve sıcaklıkta kuraklık süresi ve genliği değişimi	221
Şekil F.1a	Kesim seviyesi -0.5'te maksimum kuraklık genliği (M) dağılımı	223
Şekil F.1b	Kesim seviyesi -1'de maksimum kuraklık genliği (M) dağılımı	223
Şekil F.1c	Kesim seviyesi -1.5'ta maksimum kuraklık genliği (M) dağılımı	224
Şekil F.1d	Kesim seviyesi -2'de maksimum kuraklık genliği (M) dağılımı	224
Şekil F.2a	Kesim seviyesi -0.5'te maksimum kuraklık süresi (L; ay) dağılımı	225
Şekil F.2b	Kesim seviyesi -1'de maksimum kuraklık süresi (L; ay) dağılımı	225
Şekil F.2c	Kesim seviyesi -1.5'ta maksimum kuraklık süresi (L; ay) dağılımı	226
Şekil F.2d	Kesim seviyesi -2'de maksimum kuraklık süresi (L; ay) dağılımı	226
Şekil F.3a	Kesim seviyesi -0.5'te maksimum kuraklık şiddeti (I) dağılımı	227
Şekil F.3b	Kesim seviyesi -1'de maksimum kuraklık şiddeti (I) dağılımı	227
Şekil F.3c	Kesim seviyesi -1.5'ta maksimum kuraklık şiddeti (I) dağılımı	228
Şekil F.3d	Kesim seviyesi -2'de maksimum kuraklık şiddeti (I) dağılımı	228
Şekil F.4a	Kesim seviyesi -0.5 için maksimum kuraklıkta nem (%) dağılımı	229
Şekil F.4b	Kesim seviyesi -1 için maksimum kuraklıkta nem (%) dağılımı	229
Şekil F.4c	Kesim seviyesi -1.5 için maksimum kuraklıkta nem (%) dağılımı	230

	dağılımı	
Şekil F.4d	Kesim seviyesi –2 için maksimum kuraklıkta nem (%) dağılımı	230
Şekil F.5a	Kesim seviyesi –0.5 için maksimum kuraklıkta sıcaklık (°C) dağılımı	231
Şekil F.5b	Kesim seviyesi –1 için maksimum kuraklıkta sıcaklık (°C) dağılımı	231
Şekil F.5c	Kesim seviyesi –1.5 için maksimum kuraklıkta sıcaklık (°C) dağılımı	232
Şekil F.5d	Kesim seviyesi –2 için maksimum kuraklıkta sıcaklık (°C) dağılımı	232
Şekil F.6a	Kesim seviyesi –1’de minimum kuraklık süresi (L; ay) dağılımı	233
Şekil F.6b	Kesim seviyesi –2’de minimum kuraklık süresi (L; ay) dağılımı	233
Şekil F.7a	Kesim seviyesi –1’de minimum kuraklık şiddeti (I) dağılımı	234
Şekil F.7b	Kesim seviyesi –2’de minimum kuraklık şiddeti (I) dağılımı	234
Şekil F.8a	Kesim seviyesi –2 için minimum kuraklıkta nem (%) dağılımı	235
Şekil F.9a	Kesim seviyesi –1 için minimum kuraklıkta sıcaklık (°C) dağılımı	236
Şekil F.9b	Kesim seviyesi –2 için minimum kuraklıkta sıcaklık (°C) dağılımı	236

SEMBOL LİSTESİ

X_n	: n elemanlı yağış zaman serisi
x_i	: Standartlaştırılmış yağış zaman serisi
$\bar{X}$	: Verilen serinin aritmetik ortalaması
S_x	: Standart sapma
L	: Kuraklık süresi
m	: Kurak periyot sayısı
X_0	: Kesme seviyesi
M_m	: Yağış eksikliklerinin toplamı (Kuraklık genliği)
L_m	: Kurak periyot
I_m	: Kuraklık şiddeti
M_j	: j-inci kuraklık genliği
L_j	: j-inci kurak periyot
I_j	: j-inci kuraklık şiddeti
M_r	: Gerçek kuraklık genliği
$\bar{X}_M$	: Genlik dizisinin aritmetik ortalaması
S_M	: Genlik dizisinin standart sapması
$L_{\max}$	: En uzun kurak süre
$L_{\min}$	: En kısa kurak süre
$M_{\max}$	: En büyük kuraklık genliği
$M_{\min}$	: En küçük kuraklık genliği
$I_{\max}$	: En büyük kuraklık şiddeti
$I_{\min}$	: En küçük kuraklık şiddeti
KO	: Kuraklık Oranı
DP	: Drought proportion
m_t	: Standart talep parametresi
α_t	: Yıllık talep
CV	: Değişim katsayısıdır (standart sapmanın ortalamaya oranı)
Q	: Akışa geçen su
V	: Derine sızma
E	: Buharlaşma+terleme
W	: Toprak suyu içeriğindeki değişim
B	: Bitki içindeki su birikimi
P	: Milimetre cinsinden yıllık yağışı
p	: cm olarak yıllık yağış
T	: (t) °C cinsinden yıllık ortalama sıcaklık
$\bar{I}$	: Kuraklık indisini (yıllık)
I_{nem}	: Nemlilik indisi
s	: Aylık su fazlasının yıllık toplamı

d	: Aylık su noktasının yıllık toplamı
n	: Potansiyel evapotranspirasyonun yıllık değeri
D	: Kuraklık miktarı
R_t	: Yeryüzünde yıllık ortalama net ışınlam
L_b	: Su için buharlaşma gizli ısısı
α	: Şekil parametresi
β	: Ölçek parametresi
$\Gamma(\alpha)$	: Gamma fonksiyonu
$H(x)$	: Toplam olasılık
q	: Sıfır olasılık
m_0	: Yağış zaman serisinde sıfırların sayısı
$G(X)$	: Eksik Gamma fonksiyonu
k	: Yağış verisi genliği
l	: Örnek büyüklüğü
D_I	: Ölçüm yapılmayan nokta etrafındaki ölçüm değerleri
D_E	: Ölçüm yapılmayan alan değişkeninin tahmin edilen değeri
$W(r_{i,E})$	: i-inci nokta ile tahmin edilen nokta arasındaki ağırlık fonksiyonu
$r_{i,E}$	: i-inci nokta ile tahmin edilen nokta arasındaki mesafe
R	: Tesir mesafesi
$1/r_{i,E}$	: Ters mesafe
$1/r_{i,E}^2$	: Ters mesafe kareleri
Δ	: Bir doğru boyunca örnekler arasındaki mesafe
γ	: Yarıvaryogram
h	: Mesafe
a	: Eşik değeri
X_r	: Referans noktası değeri
X_T	: Tahmin değeri
α	: NTYV'da iki doğru arasındaki açı
Γ	: Genel Gamma fonksiyonu
A_H	: Arazi üzerine dağılmış olan yatay kesit alanı
ψ	: Kararlılık-bağımlılık fonksiyonu
σ_0	: Yarıvaryogram modellemesinde kullanılan bir katsayı
Y'_P	: Kriging yönteminde hesaplanan değer
Y_P	: Kriging yönteminde ölçülen değer
ε_P	: Kriging yönteminde hesaplama hatası
S_ε^2	: Kriging yönteminde hata varyansı
S_ε	: Kriging yönteminde hesaplanan standard hata
λ	: Lagrange çarpanı

METEOROLOJİK KURAKLIK MODELLEMESİ VE TÜRKİYE UYGULAMASI

ÖZET

Kuraklık canlı yaşam ve ekonomisi için en büyük etkiye sahip, farklı meteorolojik ve çevresel şartlar altında gelişen en önemli doğal afettir. Yıkıcı sonuçlara sahip olan kuraklığın başlangıcını kesinlikle tanımlamak mümkün değildir. Kuraklık su eksikliği ile ilgili bir olaydır. Devam etmesi halinde depolanan su, talep edilen miktara yetmez. Tarımsal üretimde azalma ve kayıplar, sosyal olarak, toplumda moral çöküntüsü ile olumsuz ekonomik sonuçlar meydana getirir. Su toplama havzalarındaki eksiklikler yağıştaki azalmaya bağlıdır. Kuraklığın sonuçları çok karmaşıktır. Bu nedenle, kuraklığın kesin tanımını vermek kolay değildir. Bu yüzden her analizde araştırmacının amacına bağlı olarak bir çok tanım vardır.

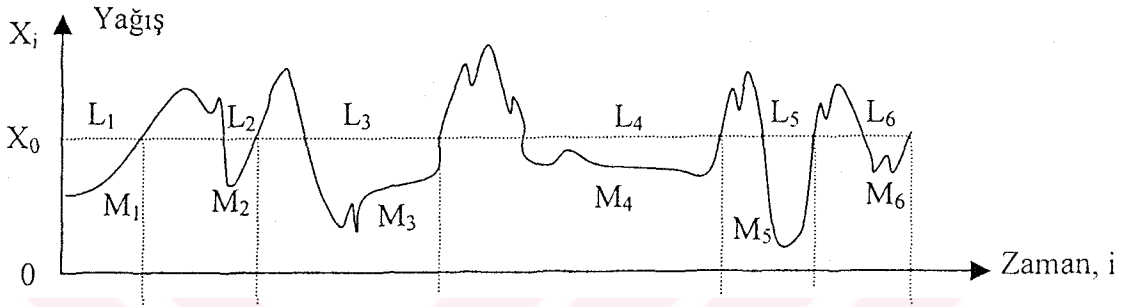
Meteorolojik kuraklık yağış esaslıdır. Herhangi bir zamandaki yağış eksikliğinin meydana gelmesine bağlıdır. Örneğin hidrolojik tasarım ve planlamada, hidrolojik esaslı kuraklıktan bahsedilir. Önemli hidrolojik değişken akıştır ve kuraklık tanımı ile su talebi akış eksikliğine bağlıdır. Tarımsal kuraklıkta, kuraklık toprak nemindeki eksiklik ile başlar. Farklı tipteki kuraklıkların tümünde yaygın olan görüş, yağışla akış veya toprak neminin karşılaştırılmasına dayanır. Kuraklık alansal ve zamansal olarak meydana gelebilir. Kuraklık analizi, çoğunlukla zamansal olarak düşünüldüğünden bir zaman serisi (yağış, akış ve toprak kayıpları) göz önüne alınır ve çeşitli kuraklık karakteristikleri kuraklık süresi, şiddet, genliği vb. hesaplanır. Bu büyüklüklerin tahmini için istatistiksel, olasılık veya stokastik temelli farklı modeller geliştirilebilir. Yaygın olarak kuraklık analizi, seçilen bir bölgede zamansal değişimin olduğu nokta analizinde yoğunlaşır. Bu yöntem, kuraklığın süresi veya alansal büyüklüğü ile ilgili olmaksızın sadece meydana gelecek maksimum kuraklık genliğinin değeri hakkında bilgi verir.

Kuraklığın alansal davranışı, alansal analiz olarak geliştirilmiş olan Kriging yöntemi ile yapılır. Alansal – zamansal kuraklık analiz yöntemleri de olmasına rağmen, bunlar çok sınırlayıcı ve basitleştirilmiş bir çok yaklaşıma sahiptir. Kuraklığın tanımı ilgilenilen konuya ve amaca bağlı olarak değişir. Yağışa ilave olarak, akış, toprak nemi, hava nemi, buharlaşma, sıcaklık gibi değişkenlerle ilgili bilgilere ihtiyaç vardır. Bugüne kadar yaygın olarak yapılan çalışmalarda kuraklık tanımlamasında yağıştaki değişim üzerinde durulmuştur. Yağış miktarı, suyla ilgili çoğu faaliyetin (su temini, yeraltı suyu ve su biriktirme haznesi, toprak nemi, kar yığını ve akış) en önemli temel girdi değişkenidir. Zamansal kuraklık değerlendirmesinin basit bir yöntemi, ortalama zaman periyotlarında değişik zaman ölçekleri için yağış kayıplarının miktarını belirlemede kullanılan Standart Yağış İndisi (SYİ)'dir.

Kuraklık analizinde, verilmiş olan zaman serisi $X_1, X_2, \dots, X_n$ ise standart yağış serisi;

$$x_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S_x}$$

şeklinde tanımlanır. Burada, $\bar{X}$, verilen serinin aritmetik ortalamasını, S_x ise standart sapmasını göstermektedir. Aşağıdaki şekilde gösterildiği üzere, gidişler analizi kullanılarak elde edilen kurak periyotlar $L_1, L_2, \dots, L_m$ 'dir. Burada m verilen bir kesme seviyesi X_0 için kurak periyot sayısıdır. Genlik ise her kurak periyodun altındaki eksikliklerin toplamı olarak elde edilecek şekilde $M_1, M_2, \dots, M_m$ dizisi olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Kurak ve sulak gidişler (M_j : kurak alan; L_j : kurak süre).

j -inci kuraklık genliği M_j , kurak periyot altındaki eksikliklerin toplamı olarak tanımlanmıştır.

$$M_j = \sum_{i=1}^m |X_0 - x_i|$$

Burada m kuraklık periyodu boyunca kuraklık sayısı ve X_0 'da her bir kuraklık tanımı için standart kesim seviyesidir. Diğer taraftan, kuraklık şiddeti, kuraklık genliğinin kuraklık süresine oranından aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$I_j = \frac{M_j}{L_j}$$

Her kesme seviyesi ekstremeleri $L_{\max}, L_{\min}, M_{\max}, M_{\min}, I_{\max}$ ve $I_{\min}$ kuraklık özelliklerinin değerleri bulunabilir. L ve M dizileri arasındaki ilişkiyi belirlemek için sırasıyla kartezyen koordinatlarda işaretleme yapılarak, bu iki değişkene uygun fonksiyon elde edilebilir. Buna ilaveten, her bir kuraklık özelliğini anlamak için temel istatistiksel parametreler (ortalama, standart sapma, çarpıklık, kuyruk değeri vs.) bulunabilir. Gerçek genlik, M_r (mm) standartlaştırma işleminin tersi yapılarak

$$M_r = MS_M + \bar{X}_M$$

bağıntısından bulunur. Burada $\bar{X}_M$ ve S_M sırasıyla genlik dizisinin aritmetik ortalama ve standart sapmasını gösterir.

Pratikte çalışmalarda, SYİ sonuçlarında, yağış serisinin normal (Gaussian) dağılıma uyması gerekmektedir. Genellikle yağış serisi normal olmayan dağılıma sahiptir. SYİ'nin faydası ortalama yağışın yüzdesi ve yağış eksiklerinin toplamı gibi geçerli şartların olasılığı hakkında bilgi vermesidir. SYİ'de kurak olay her zaman ölçeği için SYİ'nin negatif ve -1.0 veya daha küçük değerlere ulaştığı durum olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle, kuraklık SYİ'nin ilk önce sıfırın altına indiğinde başlar ve tekrar pozitif olduğu zaman son bulur. Ayrıca, kuraklık şiddeti aşağıdaki tabloda farklı aralıklara göre sınıflandırılmıştır. Bu tablo SYİ için kuraklık kategorileri yaygın olarak farklı standart kesim seviyelerinde süre, genlik ve şiddet gibi çeşitli kuraklık karakteristiklerini tanımlamak için kullanılır.

Tablo 1. SYİ sınıflandırma değerleri.

SYİ değeri	Kuraklık Kategorisi
0.0 – (-0.99)	hafif
(-1.0) – (-1.49)	orta
(-1.5) – (-1.99)	şiddetli
-2 veya daha az	çok şiddetli

Kuraklığın bu özellikleri için temel denklemler verilmiş ve Türkiye için uygulamalar tablo ile şekiller halinde sunulmuştur. Kuraklık süresi ve genliği arasındaki ikili ilişki saçılma grafiklerine en uygun doğrunun geçirilmesi ile sağlanmıştır. Bunlar farklı kesim seviyeleri olan 0, -1, -1.5 ve -2 için elde edilmiştir. Türkiye için işletmeye dayalı kuraklık izlemesi, yaygın olarak bütün yağış istasyonlarında SYİ hesapları ile ifade edilebilir. Ortalama, minimum ve maksimum kuraklık büyüklükleri ile alansal kuraklığın yayılımını tanımlamak için haritalama yapılmalıdır. Kuraklık yaşanan bölgeye hangi sulak bölgeden su transferi sağlanacağı da belirlenmiş olacaktır. Buradan da anlaşılacağı gibi, SYİ yönteminin alansal uygulaması için daha anlaşılır süre, genlik ve şiddet ile zamansal yaklaşımı da içine alan veri toplanabilir. Aylık SYİ zaman serisindeki verinin büyük bir kısmı sıfır seviyenin altında bulunmaktadır. Bu da Türkiye'deki aylık yağış miktarlarının lognormal (veya Gamma) dağılıma sahip olduğunu açıkça göstermektedir. Bununla birlikte yüksek ve düşük değerler simetrik değildir.

Bu tezde temel ve özgün çalışma olarak, bir istasyonun tek bir zaman serisine değil, farklı üç zaman serisine bağlı tamamen farklı yöntemler kullanılarak karşılaştırmalar sunulmuştur. Bu tezin amacı, hidrometeorolojik değişkenler özellikle yağış, sıcaklık ve bağıl nem yardımıyla kuraklık özelliklerine yeni yorumlar geliştirmektir. Bunlar üçlü-değişken kuraklık yaklaşımı grafikleri olarak tanımlanır. Yağış, kuraklık tanımlamada esastır, fakat burada sıcaklık ve nem zaman serilerinin ilavesiyle üçlü değişken olarak genişletilmiştir. Aylık yağış, sıcaklık ve nem tanımlayıcısı sıcaklık ve nem değerlerine karşılık gelen bir istasyonda standart yağış eş çizgilerinin bulunması mümkündür. Bu tür eş çizgiler herhangi bir yağış kesim seviyesi için hazırlanabilir. Bu çalışmada, ortalama yağış değerleri kesim seviyesi olarak kullanılmıştır.

Üçlü değişken kuraklık tanımlayıcısı yalnızca yağışta fazlalıklar (sulak gidişler) veya eksiklikler (kurak gidişler veya kuraklıklar) hakkında bilgi edinmemize değil, aynı zamanda onların diğer iki veya daha fazla değişkenle (sıcaklık ve bağıl nem gibi)

aralarındaki ilişki hakkında bilgi edinmemize yardımcı olur. Üçlü-değişken kuraklık ilişki yaklaşımı uygulamaları, Türkiye'nin farklı iklim bölgelerindeki 60 istasyon için sunulmuştur. Aylık yağış, sıcaklık ve nemin 1930 ve 1990 yılları arasındaki kayıtları bu çalışmadaki uygulamada kullanılmıştır.

Ayrıca bu çalışmada, SYİ'nin her istasyonun kesim seviyesinin 0, -1, -1.5, -2 olmasından kaynaklanan sorunlar bulunmaktadır. Bu nedenle, SYİ'ye ilave yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu kuraklık oranı yaklaşımı olarak tanımlanmıştır. Kuraklık oranı (KO) yaklaşımı aşağıdaki ifade ile temsil edilir.

$$KO = \frac{X_{\min}}{S_x}$$

Burada, $X_{\min}$ yağış zaman serisinin en küçük değerini ve S_x standart sapmasını gösterir.

Kuraklık oranı ve KO + SYİ'nin Türkiye'nin farklı klimatolojik bölgelerindeki haritaları Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim ayları için elde edilmiştir. Bunların yanında yağışla ilgili ortalama, standart sapma, çarpıklık, maksimum, minimum, standart maksimum ve minimum değerlerinin Türkiye'deki 60 meteoroloji istasyonu için haritaları elde edilmiştir. Bununla birlikte, maksimum nem ve sıcaklıkla, minimum nem ve sıcaklıkta meydana gelen M ve L değerlerinin hem üçlü şekilleri hem de Türkiye genelindeki dağılımlarını gösteren haritalar hazırlanmıştır.



METEOROLOGICAL DROUGHT MODELLING AND APPLICATION TO TURKEY

SUMMARY

Droughts are among the most significant natural hazards that might damage human life and property under different meteorological and environmental conditions. It is not easily possible to identify the initiation of drought because its occurrence starts as a creeping phenomenon which is felt after some major and quantifiable effects. Droughts are water deficit related phenomena and their continuation for extended periods leads to water shortages in demand meeting, agricultural food deterioration concerning both quantity and quality aspects, social disruptions in addition to economically undesirable consequences. The deficits or shortages in water resources depend on reduction in precipitation. Since drought consequences are multiple, it is not possible to give definition of droughts and, therefore, there are many definitions each depending on the purpose of the analysis.

Meteorological droughts are of precipitation origin and they are defined whenever precipitation deficit occurs. For instance, in hydrological design and planning, droughts of hydrological origin are considered and, since the most significant hydrological variable is the runoff, drought definition is based on the runoff deficit relative to water demand. From agricultural point of view, droughts appear whenever the soil deficit starts, i.e. the plant water demand is greater than the soil moisture availability. A common point to all these different types of droughts is that, there is a base value for the comparison of either the precipitation, runoff or soil moisture amounts. Of course, amounts smaller than the adopted base level may occur temporally and spatially, and hence, temporal and spatial drought characteristics come into the picture for the drought characteristics analysis. On this basis, drought analysis are mostly temporal where the time series of concerned variables (precipitation, runoff or soil deficit) are considered and, thereof, various drought characteristics such as drought duration, intensity, magnitude, etc. are calculated and for their predictions different models are established on the basis of statistics, probability theory and stochastic processes. Majority of drought analysis have concentrated on point analysis which yields the temporal variations at a specific site only. This method gives information on the instantaneous maximum value of drought magnitude only, without any elaboration on either its duration or areal extent.

Spatial treatment of the droughts are mostly achieved by either probabilistic modelling or spatial analysis such as Kriging, multiple regression or trend surface analysis. Although there are also spatio-temporal drought analysis methodologies, they are rather restrictive and have many assumptions in order to simplify the analysis. So far, there is not a single definition of drought or drought index that has been suitable for all interests and purposes. Perhaps, the main lack in such a common definition arises from the fact that there are several kinds of information needed for

drought monitoring. Hence, in addition to precipitation, runoff, soil moisture, weather relative humidity, evaporation, temperature, etc., variables are also necessary as basic information. Most of the studies are concentrated on the precipitation shortages as drought implications because precipitation is the most significant input variable for many water related activities such as water supply, groundwater and reservoir storages, soil moisture, snowpack and streamflow. The simplest methodology of temporal drought assessment is the standardized precipitation index (SPI) which is used to quantify the precipitation deficit for several time scales, i.e. time averaging periods.

This is simply standardization of a given time series, $X_1, X_2, \dots, X_n$ and the standardized precipitation series, x_i is defined as,

$$x_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S_x}$$

where $\bar{X}$ is the arithmetic mean and S_x is the standard deviation of the series. Drought periods $L_1, L_2, \dots, L_m$ are obtained using run analysis as shown in the figure below. Here, m is the number of drought periods for truncation level X_0 of a given time series. M is taken as the magnitude which represents the summations of deficits series ($M_1, M_2, \dots, M_m$) under the truncation level X_0 .

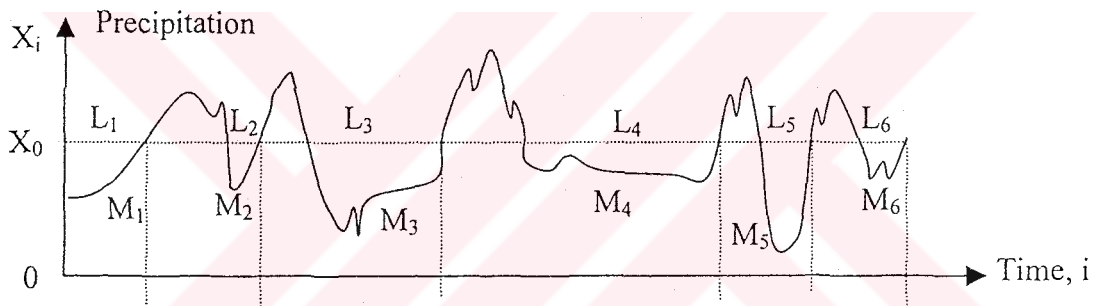


Figure 1. Dry and wet spells (M_j :drought magnitude; L_j : Drought duration).

Drought magnitude M_j of j -th that the summation of deficits under dry period, is defined as,

$$M_j = \sum_{i=1}^m |X_0 - x_i|$$

where m is the number of deficits during a drought period and X_0 is the standardized truncation level for each drought description. On the other hand, drought intensity I_j of j -th dry period is defined as the ratio of drought magnitude over drought duration L_j as:

$$I_j = \frac{M_j}{L_j}$$

At each standard truncation level, extreme values of the above- mentioned drought properties are referred to notationally as $L_{\max}$, $L_{\min}$, $M_{\max}$, $M_{\min}$, $I_{\max}$ and $I_{\min}$. In order to get a relationship between M and L , all data are plotted in cartesian

coordinate system and, as a result, the optimal function can be evaluated. In addition, in order to understand the property of each drought period, the statistical parameters such as mean, standard deviation, kurtosis, skewness, etc. can be determined.

The real magnitude, M_r in mm can be calculated from the reverse relationship in first equation as

$$M_r = MS_M + \overline{X_M}$$

for any given station location with the standard deviation, S_M and the arithmetic average value, $\overline{X_M}$.

In practical studies, in order to generalise SPI results, it is necessary that the precipitation series should abide with a normal (Gaussian) distribution, but in general precipitation sequences have non-Gaussian frequency distributions. The usefulness of SPI is that it gives information concerning probability of prevailing conditions, percentage of average precipitation and accumulation of precipitation deficits. On the basis of SPI, a drought event is defined for each time scale as a period in which the SPI is continuously negative and the SPI reaches a value of -1.0 or less. On the other hand, a drought begins when the SPI first falls below zero and ends when it becomes positive. Furthermore, drought intensity is arbitrarily defined according to the categories in the following Table. The SPI is commonly used for the identification of various drought characteristics such as the duration, magnitude, and intensity at different standard truncation levels.

Table 1. Drought categorisation by SPI

SPI value ranges	Drought categories
0.0 - (-0.99)	mild
(-1.00) - (-1.49)	moderate
(-1.50) - (-1.99)	severe
(-2.00) <	extreme

Basic formulations are given for these drought features and their applications are presented in the table and figure forms for Turkey. The relationships between the drought duration and magnitude are provided in the form of scatter diagrams with the best straight-line fits. These are obtained for different truncation levels as 0, -1, -1.5, and -2. In real-time drought monitoring across Turkey, all the major precipitation stations should be treated with the SPI calculations and later the averages, minima and maxima of these drought descriptors should be mapped in order to identify areal drought stricken and wet areas so as to transfer water from wet to dry regions. For this purpose, the data can be collected in a timely fashion for the regional application of the SPI methodology with meaningful duration, magnitude and intensity. It is obvious that all monthly SPI time series have more values above zero level as if there appears to be a bottom limit to the values. This is due to the fact that Turkish monthly precipitation amounts are lognormally (or Gamma) distributed and therefore, high and low values are not symmetrical.

In all the previous assessments and analysis of droughts invariably quantitative methodologies are employed and various analytical expressions are obtained for the prediction purposes on the basis of mostly one description variable as either precipitation, runoff or soil moisture. In this thesis, a completely different

methodology is presented by considering not only a single time series, but at a single site triple time series as well. It is the main purpose of this thesis to develop a new concept of drought features assessments based on triple drought related hydrometeorological variables, namely, rainfall, temperature and relative humidity. Equal standard rainfall lines are drawn on a map with two reference variables as runoff and relative humidity. These are referred to as the triple drought indicator graphs. Precipitation based drought description has been extended to triple-variable additionally including temperature and humidity time series. It is possible to find the precipitation-temperature-humidity descriptor at a site through standard precipitation index contour lines based on temperature and humidity values. Such contours can be prepared for any base precipitation value, but in this study the average precipitation value is adopted as the truncation level. The triple-variable drought descriptors provide information about the drought occurrences for different combinations of temperature and humidity.

Triple variable drought descriptors help to identify not only precipitation surplus (wet spells) or deficits (dry spells, droughts), but also their variations with two more meteorological variables as temperature and relative humidity. The application of triple variable drought approach is presented for sixty sites each from different climatological region of Turkey. Monthly precipitation, temperature and humidity records between 1930 and 1990 are considered for the application in this thesis.

In addition, the SPI has some problems caused by standardized precipitation index series and 0, -1, -1.5, -2 truncation levels of each studied stations. Therefore, a new approach is developed. This approach, called "Drought Proportion", adds to the SPI truncation levels (0, -1, -1.5, -2). Drought Proportion, DP, is defined as,

$$DP = \frac{X_{\min}}{S_x}$$

where $X_{\min}$ is the minimum value of precipitation time series and S_x is the standard deviation of same time series.

The maps of drought proportion (DP) and DP + SPI are obtained in January, April, July and October all sites each from different climatological region of Turkey. Besides, the seasonal maps of precipitation statistical features that average, standard deviation, skewness, maximum, minimum, standardized maximum and minimum are prepared for sixty meteorological stations of Turkey. In addition to this, maps and triple figures of M and L variables which are evaluated for minimum and maximum values of temperature and humidity are prepared.

1. GİRİŞ

1.1 Tarihsel Bakış ve Türkiye

Günümüzden milyonlarca yıl öncesine gittiğimizde, dünya ikliminin ilkel zamanlarda bugünkünden çok daha farklı bir yapıya sahip olduğunu görmekteyiz. Milyonlarca yıl önce güneşteki çekirdeklerin ortalama kütleindeki artış, güneşin iç kısımlarında artan basınç ve sıcaklık, güneşteki nükleer tepkimelerin daha hızlı enerji üretmesi, dolayısıyla güneşin parlaklığının yavaş yavaş artması sonucunu verdi. Kuramsal hesaplamalar, güneşin bugünkünden %30 daha parlak olduğunu göstermektedir. Güneşin parlaklığı, güneş sistemi tarihinin başlarında daha az ise, dünyanın da daha soğuk olduğu düşünülebilir, çünkü güneş bir gezegenin yüzeyindeki sıcaklığın sürekliliğini sağlar. Gerçekten de atmosferin bileşimi zamanla değişmemiş olsaydı, dünya o kadar soğuk olurdu ki, yeryüzündeki bütün sular donardı. Sabit atmosfer bileşimi üzerinde yapılan hesaplamalar dünyanın 2 milyon yıl önce tamamen donmuş olduğu sonucunu verdi. Bu kuram, Isua' da (Grönland) bulunan ve 3,8 milyar yıl önce oluşmuş kayalara dek uzanarak, tortul kayaların her çağda suyun altında biriktiğini gösteren jeolojik kayıtlarla çelişmektedir (Walker, 1996).

Paleolitik evre, M.Ö.12000-10000 yıllarına kadar sürer ve jeologların Pleistosen diye adlandırdıkları jeolojik dönemi kapsar. Pleistosen dönemde iklimin yedi defa değiştiği bilinmektedir. Pleistosen'in başında dünya sıcaklığı azalmıştır. Bu çağdan sonra ikinci bir soğuk çağ başlamıştır. Bundan sonrada tekrar üçüncü bir buzul çağı görülmüştür. Bir kere daha sıcaklık azalmış, yağış çoğalmıştır. Bu buzul devrinin sonunda da günümüzdeki buzul çağı meydana gelmiştir (Omay,1978). Buzulların ilerleyip genişlemesi, şüphesiz belli iklim şartlarında yaşayan bitkiler ve hayvanları önemli derecede etkilemiştir. Buzulların ilerlemesinde, sıcak iklim türleri güneye, buzulların geri çekilişinde soğuk iklim türleri kuzeye doğru yönelmiştir. Bazı türler azalmış, bazı türler çoğalmıştır, belli türler ortadan kaybolmuştur. Buzul hareketleri

sırasıyla, buz çöllerinin tundraya, tundraların ormana ve ormanların çöle dönüşmesine neden olmuştur.

İlk polen kayıtlarına göre, küresel sıcaklığın şimdikinden yalnızca 1-2 °C soğuk olduğu ve ağaç olarak ilk büyük orman topluluğunun görüldüğü dönem, M.Ö. 10200-9400 aralığındadır. Günümüzden yıllık ortalama 5°C daha soğuk sıcaklıklar, M.Ö. 9400-8300 aralığındadır. Daha sonra çok hızlı bir ısınma oldu ve yukarı enlemlerde M.Ö. 6200-3300 de günümüzden ortalama 1-2°C daha ılık sıcaklıklar, M.Ö. 7100'den evvel başlayan soğuk salınım yukarı enlemlerde maksimum değere ulaşmıştır. Daha sonraları sıcaklık yukarı enlemlerde kısmen ılıklaşmıştır (Manley, 1953). Yüksek enlemlerdeki yağış değişiklikleri tartışmaya açıktır. Bununla beraber yarı kurak çevrelerde polen kayıtlarında nemlilik salınma hareketleri olduğu görülmüştür. Kuzey Amerika'da, Arizona ve New Meksiko'daki yaz yağış kuşağının nispeten nemli olmasına rağmen, Columbia Platosu'nda, Büyük havza üzerinde M.Ö.6000-2000'de kuru bir periyot vardı. Tropikal Afrika'da kısım kısım polen kayıtları Güney Sahra'nın merkezinde Akdeniz tipi bitkilerde M.Ö. 7500-1500'de kaydedilen bir veya daha fazla ılık, nemli ortamlar olduğunu kanıtlamaktadır. Akdeniz havzası veya Güney Afrika'nın yaz yağış kuşaklarında daha fazla yağış aldığına dair hiç bir delil yoktur. Bu zıtlıklar tropikal ve ekstra-tropikal kuru karalardaki iklimsel eğilimlerin farklılığını göstermektedir. Olağanüstü küçük, radyal ağaç büyümesi M.S. 1273-1283 yılları arasında büyük susuzluğun yaşandığını kanıtlar. Önemli kıtlıklar ayrıca 1573-1593 yılları arasında Colorado Platosu için, 1571-1597 yıllarında Kaliforniya için, 1565-1580 ve 1594-1599 yıllarında Doğu Oregon'da görülmüştür. Colorado Platosu'ndaki diğer ciddi kuraklıkların tarihleri şöyledir: M.S. 517-565-614-844-884-1170-1402-1525-1670; önemli seller ise M.S. 494-688-858-1126-1329-1708-1905 yıllarında rapor edilmiştir (Tablo 1.1).

Atmosfer bileşiminin önemi, belirli gazların yerin yaydığı ışıını soğurarak bir kısmını yere geri göndermesi ile yerin sıcaklığını yükseltebilmesindedir. Yüzey sıcaklığı üzerinde atmosferde ortaya çıkan bu etkiye sera etkisi adı verilir. Karbondioksit basıncının bugünkü değerinin birkaç yüz katı olması koşuluyla, karbondioksitin su buharı ile birlikte gerekli sera etkisini yaratmış olabileceği gösterilmiştir. Güneşin parlaklığının artması önce yüzey sıcaklığında bir artışa yol açar, ama bunun sonucunda ayrışma hızlanır ve bu nedenle karbondioksit basıncında bir düşüş olur. Karbondioksit düşüşü sera etkisinin sıcaklık artışını azaltır ve yerin

yüzeyi tekrar soğur. Güneş sisteminin tarihi boyunca güneşin parlaklığı arttığından bu geri beslenme, yüzey sıcaklığında az miktarda bir artışla birlikte, atmosfer karbondioksitinin önemli ölçüde azalmasına neden olmuş olabilir.

Tablo 1.1 Dünya ikliminin tarihsel dönemleri (Bronovski, 1978).

TARİH (YIL)	BÖLGE	İKLİM
M.Ö. 9000-6000	Güney Arizona	Sıcak ve kurak
M.Ö. 7800-6800	Avrupa	Soğuk ve nemli, M.Ö. 7000'deki buz tabakaları M.Ö. 6840'ta İsviçre'yi terk etti.
M.Ö. 6800-5600	Kuzey Amerika ve Avrupa	Soğuk ve kurak Arizona'da memeli hayvan nesli tükendi
M.Ö. 5600-2500	Her iki yarımküre	Sıcak ve nemli
M.Ö. 2500-500	Kuzey yarımküre	Genelde sıcak ve kuru
M.Ö. 500-M.S. 0	Avrupa	Soğuk ve nemli
M.S. 330	Amerika	Güneydoğuda kuraklık
M.S. 600	Alaska	Buzul ilerlemesi
M.S. 590-645	Yakındoğu ve İngiltere	Soğuk kışların takip ettiği sert kuraklık
M.S. 673	Yakındoğu	Karadeniz dondu
M.S. 673-800	Meksika	Nemli periyodun başlaması
M.S. 800-801	Yakındoğu	Karadeniz dondu
M.S. 829	Afrika	Nil'de buzlanma
M.S. 900-1200	İzlanda	Buzullarda durgunluk
M.S. 1000	Afrika	Nil'de buzlanma
M.S. 1000-1100	Utah	Kar yüksekliği bugünden 300 m. daha yüksek
M.S. 1200	Alaska	Buzul ilerlemesi
M.S. 1000-1215	Amerika	Batıda nemlilik
M.S. 1220-1290	Amerika	Batıda kuraklık
M.S. 1226-1290	Amerika	Güneydoğuda büyük kuraklık
M.S. 1300-1330	Amerika	Batıda nemlilik
M.S. 1500-1900	Avrupa	Genelde soğuk ve kurak
M.S. 1570-1595	Amerika	1573 ile 1593 arası kuzeybatı Amerikada kuraklık
M.S. 1880-1940	Her iki yarımküre	Kış sıcaklıklarında 11 °C artış, buz göllerinde – 5.2 m. düşüş, Arktik buzlarda %40, Alp buzlarında %25 azalma.

Günümüzde dünyada ve ülkemizde büyük sıkıntılara neden olan kuraklık bir iklim anomalisi olarak varlığını sürdürmektedir. Dünyanın hemen her bölgesinde normalin üstünde, ya da altında yağışlar gözlenmektedir. Bunun sonucu olarak, son yıllarda önemli derecede kuraklık geçiren ülkeler ve bölgelere rastlanmıştır. Etkileri son derece önemli olan kuraklık sorunu, dünya genelinde, hızlı bir biçimde algılanmaktadır. Sudan, Somali ve Hindistan'da, 1960'lı yılların sonunda ve 1970'li yılların başında, kuraklıktan dolayı kıtlık ortaya çıkmıştır. 1968-1974 yılları arasında görülen bu kıtlık, Afrika kıtasında on binlerce insanın yaşamını yitirmesine ve Büyük Sahra'nın kuzeye doğru kayma eğilimi göstermesine yol açmıştır.

1860'lı yıllardan beri insanoğlu kömür ve yağları kullanmaya başladığında yeryüzündeki karbondioksit oranı % 30 ve ortalama küresel sıcaklık 0.6 °C yükselmiştir. Bu şekilden görüleceği üzere, yerküre bir ısınma evresine girmiştir. Bu ısınmanın, ülkemizin yer aldığı enlemler diliminde, kış aylarında daha çok kar ve buzulun erimesi sonucu taşkınlarla, yaz aylarında ise kuraklığa yol açacağı beklenebilir (Baykan, 1994).

1971 yılında Avrupa'nın birçok ülkesinde çok önemli boyutlara varan kuraklık hüküm sürmüştür. Örneğin, İspanya'da 30 yıl görülmemiş bir kuraklık meydana gelmiştir. Almanya ve Polonya'da, 1971 yaz mevsimi olağanüstü sıcak ve kurak geçmiştir. Kuraklık etkisiyle, 1818 yılından beri ilk kez, akarsu düzeyleri normallerin altında kalmıştır. İtalya'da hüküm süren kuraklık, orman yangınlarına yol açmıştır. ABD'nde düşük yağış nedeniyle, önemli bir kuraklık tehlikesi yaşanmıştır. 1972 yılında da kuraklık devam etmiştir. Rusya, Yugoslavya, Almanya ve İsviçre'de normallerinden çok az kar yağışları meydana gelmiştir. Diğer taraftan, Endonezya ve Hindistan'da çok etkili olan bir kurak devre yaşanmıştır (Çölaşan, 1960; Tümertekin ve Cöntürk, 1962).

Küresel ölçekte 1982-1984 döneminde çok şiddetli ve geniş dağılımlı kuraklıklar ortaya çıkmıştır. Kuraklığın etkilediği başlıca alanlar Afrika'nın geniş bir bölümü, Batı Afrika, Sudan-Sahel, Doğu ve Güneydoğu Afrika, Asya'nın güney kısmı, Güneydoğu Asya, Batı Pasifik ve Avustralya, Amerika'nın güney kısımları, özellikle kuzey ve kuzeydoğu kesimleridir. Afrika'da kuraklığın süresi ve bu süredeki şiddet artışı büyük zararlara yol açmıştır. 1981 ve 1982 yıllarında birçok bölgede yaygın olarak kurak dönemler görülmeye başlanmıştır. 1972-1973 yıllarında hüküm süren kuraklıktan yaklaşık olarak 10 yıl sonra birçok bölgede kurak dönemlerde artma başlamıştır. Benzer kuraklıklar ülkemizde de görülmüş ve büyük zararlara sebep olmuştur. Ancak, dünyada ve ülkemizde görülen bu kuraklıkların başlıca sebebi, dünya çevresinde görülen geniş ölçekli atmosfer-okyanus dalgalanmalarının etkisinden ortaya çıkmaktadır. Bu olaylar, atmosferdeki normal dolaşımının bir sonucudur (Çölaşan, 1960; Tümertekin ve Cöntürk, 1962). Ülkemiz de bu kuraklıktan önemli ölçüde etkilenmiştir. Örneğin, İç Anadolu Bölgesinde 1945, 1949 ve 1954 yıllarında kuraklık nedeni ile hububatta dekar başına sırasıyla 57 kg, 52 kg, 59 kg'a (normali 100 kg) kadar azalma olduğu saptanmıştır. Kuraklığın olmasında

yağış miktarının azalması tek başına etkili değildir. Birbirine göre farklı yağışlar alan iki merkezden, çok yağış alan az yağış alana göre daha kurak olabilir. Türkiye’de bunun en güzel örneği, Adana ve Kars’da izlenebilmektedir. Türkiye’de kuraklığın ilk hissedildiği ay Nisan’dır. Akdeniz ve Ege bölgesinde hava erken ısınmaya başladığından dolayı, yağışların tatmin edici olmadığı yıllarda, kuraklık kendisini erken göstermeye başlar (Çelenk, 1976; Çölaşan, 1960; Erinç, 1957; Tümertekin ve Cöntürk, 1962). Türkiye’nin büyük bölümünde kurak koşullar yılın önemli bir kısmını kaplamaktadır. Kuraklığın şiddeti ve süresi yönünden Türkiye’de kurak bölgeler; Güneydoğu Anadolu, Akdeniz ve Ege kıyı kuşağı, İç Anadolu, Trakya, Doğu Anadolu’daki etrafi dağlarla çevrili bazı çukurluklardır (Iğdır Ovası gibi).

1.2 Kuraklık Çeşitleri ve Etkileri

Dünya nüfusunun artması, şehirleşme, iklim değişimleri, orman tahribatları, çölleşme sonucunda kuraklık toplum, çevre ve ülkeleri tehdit eder boyutlara ulaşmaktadır. Kuraklıkların ekonomik ve toplumsal boyutları vardır. Toplumun ekonomisi, sağlığı, psikolojisi ve ticareti ile yakından ilgilidir. Kuraklık dünyada etkisini gittikçe arttırmasına rağmen kapsamı henüz tam anlaşılmamış ve etkileri yeterince değerlendirilmemiştir. Bunun doğal sonucu olarak kuraklığın kesin tanımı yapılamamaktadır. Yapılan tanımlar mesleklere göre (hidrolojik, tarımsal, meteorolojik, coğrafik) veya endüstriyel, enerji üretimi, su temini, denizcilik, mesire yerleri bakımından olmaktadır (Şen, 2001). Kuraklık, etkilediği bölgedeki hava, su ve toprağın oluşturduğu yaşam üçgeni üzerinde çok olumsuz sonuçlar bırakan, yavaş yavaş sinsi gelen önemli bir doğal felakettir. Kuraklık, diğer doğal felaketlerden farklı olarak daha fazla insanı etkileyen karmaşık ve en az anlaşılabilen felakettir. Afrika, kuraklıktan en fazla etkilenen kıtadır. Birçok Afrika ülkesi kuraklık gerçeği ile karşı karşıyadır. Burada yaşayan insanların bundan dolayı önlerinde bulunan açlık ve kıtlık ile mücadelelerinde, diğer ülkelerin henüz olumlu çözümleri mevcut değildir. Görüleceği gibi Afrika kıtası denince aklımıza gelen açlık, sefalet ve yoksulluk kuraklığın meydana getirdiği felaketlerdir. Kuraklığın etkileri fiziksel ve sosyal sistemler arasındaki karmaşık etkileşimden ortaya çıkmaktadır.

Genel manada kuraklık, bir değişkende belirli bir referans seviyesine göre görülen eksiklik olarak tanımlanabilir (Sırdaş ve şen, 1999). Ancak bu kavram universal değildir. Çeşitli araştırıcılar tarafından değişik şekilde yorumlanabilir. Bir su biriktirme haznesi için talebin gelen ve mevcut sudan fazla olması, yani talebin tam olarak karşılanamaması halinde kuraklık vardır (şen, 1976a). Kuraklığın açık bir tarifi gidiş (run) uzunluklarını esas alarak Yevjevich (1967) tarafından yapılmıştır. Kuraklık zamanda, alanda ya da her ikisinde de su gereksinmesindeki eksiklik olarak tanımlanır. Tek veya çok gayeli su kaynaklarının plan, inşaat ve özellikle işletilmelerinde ortalama olarak beklenebilecek kurak devrelerden çok daha uzun süreli kuraklıkların önceden objektif olarak belirlenmeleri gereklidir. Çünkü, kritik kuraklık adı verilecek maksimum kurak devrenin bir ülkenin ekonomik sosyal ve politik durumu üzerine etkisi büyük olabilir. Tedbirlerin önceden alınabilmesi için kritik kurak devrelerin süre, şiddet ve etkisi altına aldığı bölgenin tahmin edilmeleri gereklidir (şen, 1980b).

Yağış zaman serisini Yevjevich'in (1967) tanımladığı gibi gidişler serisi olarak adlandırırşak, pozitif gidiş uzunluğu sulak devre, negatif gidiş uzunluğu ise kurak devre uzunluğuna karşılık gelmektedir. Sulak devre süresince biriktirme haznelerinde su toplanır, kurak devrede ise negatif gidişlerin toplamından kurak bölgeye yapılması gereken su taşınması miktarı teSYİt edilebilecektir. Kurak devre başta ve sonda fazlalıklarla sınırlanmış ardışık eksiklikler dizisidir. Benzer olarak, sulak devre sonda ve başta eksikliklerle sınırlı ardışık fazlalıklar dizisidir. Literatürde kuraklıkla ilgili birçok çalışmada her kesme seviyesinde eksiklikler "1" ve fazlalıklar "0" olarak alınıp hesaplanmış ve "autorun katsayısı" ile ilgili çalışmalar yapılmıştır (şen, 1978).

Bilimsel ve uygulamalı çalışmalarda kuraklığa farklı görüş açılarından bakıldığında, kuraklığın çeşitli çevrelerce kabul edilmiş uygun tek ortak tanımı bulunmamaktadır. Ancak, kuraklığın birçok tanımında, yeryüzünün herhangi bir yerinde ve belli bir zaman süresince yağışın normalin ya da ortalamanın altında gerçekleşmesi esas alınmaktadır. Kuraklığın saptanmasında yalnızca normalin altındaki yağışlardan yararlanılması tarımsal amaçlar için yeterli olmayabilir. Örneğin, kumlu toprakta yetiştirilen kısa köklü ürünler için zararlı olan yağışsız (kurak) bir hava tipi, killi topraktaki benzer ürün çeşidi için ya da kumlu toprakta yetiştirilen uzun köklü bir ürün için zararlı olmayabilir.

Ayrıca, kuraklığı yağış azalması ile meydana gelen su kıtlığı (eksikliği) olarak da tanımlayabiliriz. Yağışın normal aylık seviyesinin altına inmesi kuraklığa neden olur. İyi giden yağışlar bu durumu engelleyebilir. Hava şartları tek başına kuraklığa neden olmaz. Kuraklık doğal olarak hem uzun süre düşük geçen yağışlar, hem de insan faaliyetlerinden, artan su talebi, nüfus, sulama ve çevresel etkilerin ortaklaşa tetiklemesi ile ortaya çıkar. Kuraklığın derecesini, başlangıcını ve sonunu tanımlamak önemlidir. Bazı araştırmacılar özellikle ekonomistler, kuraklığın sosyo-ekonomik tanımıyla ilgilenerek kuraklığın sosyal ve ekonomik sistem üzerindeki etkilerini incelerler.

Meteorolojik kuraklık normalin altındaki yağış gidişleri ile oluşur ve genellikle bölgesel özelliktedir. Bölgesel klimatoloji davranışlarına göre tahmin edilebilir. Meteorolojik değişkenler farklı zaman ve konum özelliklerini içerirler. Böylece, dünyanın bir çok değişik kısmı için farklı kuraklık çözümleri geliştirilmeye çalışılır. Meteorolojik kuraklık, aşağıda açıklanan diğer kuraklık türlerini de tetikler.

Tarımsal kuraklık, zamanın bir kısmında belirli bir bitkinin ihtiyacı olan toprak neminin yetersiz kalmasıdır. Tarımsal kuraklık meteorolojik kuraklık sonrasında, fakat hidrolojik kuraklığın öncesinde meydana gelir. Tarımsal kuraklık öncelikle ekonomi sektöründe etkilidir.

Hidrolojik kuraklık, hem yüzeysel, hem de yeraltı su kaynaklarındaki eksikliği ifade eder. Akarsular, göller, su biriktirme hazneleri ve yeraltı su seviyeleri ile ölçülür. Yağmur suları ve kar seviyesindeki azalma ile akarsular, dereler, su biriktirme haznelerindeki azalma arasında zaman farkı vardır. Sonuç olarak, hidrolojik ölçümler kuraklığın erken belirleyicisi değildir. Yağıştaki eksiklik uzun zamanda meydana geldiğinde, yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarındaki azalma ile hidrolojik kuraklık meydana gelecektir.

Sosyoekonomik kuraklık, fiziksel olarak meydana gelen su kıtlığının insanları etkilemeye başlaması ile ortaya çıkar. Genellikle, bu tür kuraklık ekonomik mallardaki arz ve taleple ilgilidir.

Kuraklığın yıkım etkileri, Kuraklık yavaşça gelir ve diğer doğal afetlerden daha yıkıcı etkileri olur. Bu etkiler çok uzun sürer ve geniş alanları kapsar. Fırtına,

deprem, taşkın ve kasırgalardan daha yıkıcı ve üzücü etkileri vardır. Kuraklığın doğrudan fiziksel etkileri arasında, ürün ve yiyecek kıtlığı, yangın tehlikesi, toprak, akarsu ve su biriktirme haznelerindeki su miktarının azalması gelir.

Doğrudan olmayan diğer etkileri tarımsal ürünlerden kazanç elde eden kişiler üzerinedir. Kuraklık hidroelektrik santraller, göller ve akarsular, yan ve ana kollar su seviyesindeki azalmalara neden olur. Kuraklığın başlıca etkilerini aşağıdaki noktalar halinde sıralayabiliriz (Şen, 2001).

1. Dünya: Açlık ve toplu ölümler, uluslararası sorunlar ve çatışmalar, toplumsal sistemlerin bozulması, ciddi sağlık sorunları,
2. Ülke: Sağlık sorunları, yiyecek sıkıntısı, fiyat artışları, yabancı sermaye kayıpları, tarımcılara artan hükümet ödenekleri,
3. Bölge: Ekonomik sektörlerin bozularak sekteye uğraması, işsizliğin ve rahatsızlıkların artması,
4. Tarım: Yer değiştirme, iflas etme, artan borç, gelir azalması,
5. Yapay kuraklıklar: İnsanın çeşitli faaliyetleri sonunda plansız, sistemsiz ve akılsız bir biçimde su kaynaklarının sarf edilmesi veya gelecekte kullanılmak üzere korunamaması üzerine yapay kuraklıklar ortaya çıkar, ve
6. Çölleşme: İnsanların doğa ile dengeli hareket etmemeleri sonucunda ortaya çıkan çölleşmenin etkisini arttıran ve etkisi büyük alanlar ve uzun zamanlara uzanan doğal afettir. Bu bakımdan kuraklığın önlenmesi çölleşmenin de önlenmesi anlamına gelir.

1.3 Literatür Özeti

Dünyada ve ülkemizde bugüne kadar çeşitli amaçlara yönelik olarak kuraklık araştırmaları yapılmıştır. Meteorologlar yağışlar, sıcaklık, nem, buharlaşma v.b. büyüklükler açısından; su kaynakları mühendisleri, akarsular, yeraltı suları, su biriktirme hazneleri, göller açısından; tarımcı bitki açısından; ekonomistler insanların yaşamı açısından kuraklığı incelemişlerdir. Kuraklık çalışmalarında özellikle beklenen kuraklık uzunluğunu, büyüklüğünü ve yinleme aralığını bilmek gereklidir.

Bu nedenle kuraklık süresi, şiddeti/büyükülüğü ve kapladığı alan gibi kuraklık özelliklerini belirlemek gereklidir.

İlk alansal kuraklıkla ilgili çalışma Tase (1976) tarafından yapılmıştır. Deneysel olarak seçilen kuraklıkla kaplanmış bir bölgede toplam su eksikliği talep seviyesinin altındadır ve maksimum kuraklık şiddetinin gösterir. Kuraklık karakteristikleri alan-eksiklik-şiddet deneysel olarak (Monte Carlo veya örnek üretimi metotları) Tase (1976) tarafından çalışılmıştır.

Kuraklıkla ilgili ilk temel çalışmalar Yevjevich (1967) tarafından gidişler teorisi ile başlar. Yevjevich (1967), kuraklık özelliklerinin nesnel tanımını sağlamanın yolu olarak “Gidişler Kuramı”nın kullanımını önermiştir. Aynı yazar (1975) yılında negatif gidişleri kullanarak kararlı zaman serilerinin kuraklıklarının analitik araştırılması, kararlı stokastik süreçlerin kuraklık özelliklerini saptamak için deneysel yaklaşım, deneysel sonuçları ile saptanmış sonuçların analizini, periyodik-stokastik süreçlerin yardımıyla gerçekleştirmiştir.

Yevjevich (1976) kuraklıkların alan-eksiklik-şiddet özellikleri incelenmiştir. Özellikle bu çalışmada, kararlı stokastik bileşen aylık yağışın alan-zaman sürecine ilişkin matematiksel bir model geliştirilmiştir. Ayrıca, incelenen alanın büyüklüğünün etkileri de gözönüne alınmıştır.

Gabriel ve Neuman (1962) Tel Aviv yağış verilerini temsilen birinci dereceli Markov zinciri modelinin başarılı olduğunu göstermişlerdir. Haftalık tahmin edilen ve gözlenen değerlerden ıslak günlerin sayısını karşılaştırmak için ki - kare testini kullanmışlardır ve % 5 istatistiksel önem seviyesinde bu iki değer arasında önemli bir fark olmadığını gözlemişlerdir. Daha önceki bir çalışmada, uzun kuru periyotlara sahip serilerde ıslak günlerin olasılığını hesaplamada (% 10 önem seviyesinde) birinci dereceli Markov zinciri modelinin uygun olmadığını belirtmişlerdir. Eğer, Gabriel ve Neuman, % 10 önem seviyesini kullanmış olsalardı, Tel Aviv günlük yağış verilerini temsil etmede birinci dereceli Markov zinciri modelinin yetersiz olduğunu gösterebilirlerdi. Bu modelin verimini elde etmede farklı önem seviyeleri benimsemelerinden kaynaklanmaktadır.

Periyodik - stokastik süreçler olan aylık akış serilerinin matematik modellerinin kurulmasında ARIMA tipi modeller Yevjevich ve Thomas-Fiering modellerine göre

daha ekonomik olmaktadır. Periyodik ARIMA modellerinin aylık akışlara uydurulması Bayazit ve Şen (1976) tarafından incelenmiştir. Kurak devreleri ifade eden gidiş parametrelerinin çeşitli aylık akış modellerindeki dağılımları belirlenmiştir. Markov süreci niteliğindeki modeller için gidiş uzunluklarının ihtimal dağılımı ve parametreleri analitik olarak bulunmuştur. Bu çalışmada aylık akışlardan oluşan stokastik süreçler ele alınmıştır. Bu süreçlerin modellerinin kurulması konusu incelenmiş, parametre sayısı az olan ve yinede sürecin periyodik karakterini koruyan modeller geliştirilmeye çalışılmıştır. Söz konusu modellerde kurak devreleri belirleyen istatistik büyüklüklerin dağılımları incelenmiştir. Elde edilen teorik sonuçların uygulaması Türkiye'nin çeşitli havzalarında ölçülmüş olan aylık akış verileri üzerinde yapılmıştır.

Gidiş özellikleri, periyodik-stokastik süreç için analitik olarak araştırılmıştır. Şen (1976a, b, 1977a, b, 1980a, b, c, 1985, 1989a, 1990, 1991) kuraklık şiddeti ve süresiyle ilgili bir çok çalışmalar yapmıştır. Şen (1976a) gözlemlerin birinci mertebeden lineer bağımlı olmaları halinde, gidiş özelliklerinin çeşitli istatistiksel ve olasılık büyüklükleri hakkında sayısal sonuçlara ulaşmayı olanaklı kılacak analitik bir yaklaşım geliştirmiştir. Gidiş özelliklerinin kesim seviyesi ve birinci mertebeden otokorelasyon katsayısının bir fonksiyonu olacağı anlaşılmıştır. Bu çalışmada geliştirilmiş analitik ifadeler, hidrolojik gözlem serisinin bağımsız mı yoksa bağımlı mı olduğunun incelenmesine yarar. Birinci mertebeden otokorelasyon katsayısının büyümesi ile gidiş uzunlukları büyür ve böylece süreç daha ısrarlı bir hale gelir.

Şen (1976b) kritik kurak ve sulak dönemlerin hesabına yönelik önemli bir çalışma yapmıştır. Uç (ekstrem) değerler özellikle su kaynaklarının planlanması ve işletimi açısından önemlidir. Bu çalışmada klasik süreçler için geçerli genel analitik ifadeler çıkartılmıştır. Analitik ifadelerin verdiği sonuçlar gerçek akış serilerinden elde edilen değerlere çok yakın bulunmuştur.

Hidrolojik değişkenlerin bağımsız bir yapıya sahip olmaları hali için kritik sürelerin dağılım fonksiyonları yaklaşık olarak analitik ifadelerle belirlenmiştir, ancak bağımlı değişkenler için zaman ve bilgi işlem bakımından ekonomik olmayan Monte Carlo tekniği sonuçları vardır (Şen, 1976b). Bu çalışmada klasik süreçler için genel analitik ifadeler çıkarılmıştır. Bulunan sonuçların Monte Carlo sonuçları ile mukayesesinin çok olumlu olduğu görülmüştür. Çalışmada yöntem olarak rastgele sayıdaki

değişkenlerin ekstrem değerleri kullanılmıştır. Analitik ifadelerin verdiği sonuçlar gerçek akış serilerinden elde edilen değerlere çok yakın bulunmuştur. Tedbirlerin önceden alınabilmesi için de kurak devrelerin süre, şiddet ve etkisi altına aldığı bölgenin tahmin edilmeleri gereklidir. Kurak bölgeye su transfer edilebilmesi için iki veya daha fazla sayıdaki bölgenin kurak ve sulak devrelerinin çeşitli özelliklerinin bilinmesi gerekir. Aylık akış serilerinin periyodik stokastik süreç modelleri, parametre ekonomisi ve kurak devre istatistiklerinin korunması bakımından incelenmiştir (Şen, 1976b). Birkaç parametreye sahip ARIMA modellerinin gözlenmiş serilere çok iyi uyduğu bulunmuştur. Mevsimsel ARIMA süreçlerinin otokorelasyon yapısı incelenmiştir. Diğer taraftan, stasyoner birinci mertebeden Markov modellerinin negatif gidiş uzunluklarının ihtimal dağılım fonksiyonunun analitik ifadeleri çıkartılmıştır. Daha sonra, bu ifadeler aylık akış serilerine uygulanacak şekilde genelleştirilmiştir. Sentetik seri ile modelleme daha iyi olmaktadır.

Şen (1977a) yıllık akım serilerinin gidiş toplamaları ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Belirlenmiş bir hidrolojik sürecin çeşitli gidiş-toplam oranlarını saptamak için çok kullanılan genel yöntemi, rastgele değişkenlerin rastgele toplamı temeline göre geliştirmiştir. Bazı bağımsız ve bağımlı süreçler için yöntemin uygulamasını yapmıştır.

Autorun analizi olarak bilinen yeni teknik, hidrolojik zaman serilerinin ardarda gelen olasılıklarını araştırmak için geliştirilmiştir (Şen, 1977b). Autorun analizi otokorelasyon analizinin tamamıyla aynı sonuçları yalnızca normal dağılmış rastgele değişkenler için verir. Bu çalışma, farklı bir çok araştırmacı tarafından açıklanmış olan gidiş özellikleri ile ilgili olan sulak ve kurak devrelere dayanılarak hidrolojik serinin ardarda gelen özelliklerinin araştırılması ile ilgilidir. Autorun analizi dağılım fonksiyonuna bağlı değildir. Orijinal serinin bağımlı yapısını bozmaz. Örneğin, logaritmik dönüşüm autorun fonksiyonunu etkilemez. Bu analiz hidrolojik serinin bağımlı veya bağımsız olup olmadığını araştırır. Autorun analizi doğrudan araştırılan serinin gidiş özellikleri ile de ilgilidir. Autorun katsayısının hesabı klasik autokorelasyon katsayısının hesabından daha kolaydır.

Verilen bir serinin bağımsız olup olmadığına karar vermek için autorun testi kullanılır (Şen, 1979). Autorun testinin analitik formülasyonu çeşitli yıllık ve aylık

akımlara uygulanmıştır. Autorun analizi serinin periyodikliğini de gösterir. Yüksek akım olasılıklarını takip eden yüksek akımlarla doğrudan ilgilidir, bu da hidrolojide ısrarlılığı gösterir. Uzun süren kuraklık olayının tam dağılımını bulmanın genel metodu; herhangi bir sürecin sınırlı örneğinden gidişler teorisine ve sıralama tekniğine dayandırılarak yapılabilir (Şen, 1979). Geliştirilen yöntem Türkiye'nin çeşitli bölgelerindeki aylık nehir akım verileri ile uygulanmış ve bazı varsayımlar denenmiştir. Millan ve Yevjevich (1971) deneysel olarak çok uzun gidişli dağılımlarında Monte Carlo tekniklerini kullanmışlardır. Periyodik ve stokastik süreçte uzun kuraklık süresinin ihtimal yoğunluk fonksiyonu gerçek aylık akışlara bazı varsayılan periyodik-bağımsız uygulamalar yapılarak türetilmiştir. Beklenen değer, varyans, uzun kurak süre gibi parametreler periyodik-stokastik süreçte periyodiktir. Geçiş olasılığının sayısal değerinin, zaman eksenini boyunca etkili olarak uzun dönem kuraklık olasılıkları ve parametrelerinde önemli yeri vardır. Uzun kurak sürede etkili periyodiklik artan örnek büyüklüğü ile azalır.

Şen (1980a) hidrolojik serinin aşırı ıslak ve kurak periyotlarının olasılıklarını elde etmek için sayısal bir metodu, su kaynağı sisteminin yönetim ve planlanmasında kullanılan bağımsız, kararlı ve Markov sürecine dayalı olarak göstermiştir.

Kuraklığın meydana gelme mekanizması, gözlenmiş zaman serisi ve uç (ekstrem) kuraklıkların olasılık davranışlıklarının basit analitik formülasyonu özetlenmiştir (Şen, 1980c). Bütün formülasyonların geçerliliği geliştirilen bilgisayar benzetimi ile kontrol edilmiştir. Varılan sonuçlar şunlardır,

1. Bir adımlı Markov süreci kurak devre süresinin ve maksimum eksiklik toplamının yeniden üretilmesine uygundur,
2. Kritik kuraklık frekans dağılımı için basit analitik yaklaşımlar geliştirilmiştir. Kuraklığın risk değerlendirilmesi herhangi bir örnek büyüklüğü, kesim seviyesi ve seri korelasyon katsayısı için verilmiştir,
3. Uzun kuraklık süresinin olasılığı korelasyon yapısına bağlıdır. Ancak örnek büyüklüğü ve kesim seviyesine de bağlı olmasına karşılık akımların dağılımından bağımsızdır.

Dracup ve diğ. (1980) stokastik hidro-iklimsel model ile alansal kuraklık tahmini yapmıştır. Bu, geniş ölçekli meteorolojik kuraklık ile ilgili bir çalışmadır. Kuraklık indislerinin istatistiksel özellikleri geniş-ölçek atmosfer dolaşım sistemlerinde (CP; circulation pattern) aylık kuraklık indisleri vasıtasıyla tanımlanabilir. Şiddetli kuraklığın yaşandığı Nebraska'da yapılmış ve Bhalme-Mooley kuraklık indisi (BMKI) kullanılmıştır. CP'in 5 aylık sınıflandırması kümeleme (cluster) analiz ile yapılmıştır. BMKI'nin zaman serisinden aylık CP sınıfları ayarlanmıştır. İklim değişikliği aylık CP sınıflarının yapısında değişebilir; böylece kuraklık üzerinde iklim değişikliğinin etkileri tahmin edilebilir. Bu çalışmada aşağıdaki sorulara cevap aranmaktadır:

1. Stasyonere stokastik süreçler iklim değişikliğine cevap verebilir mi? İklim değişikliğinin etkileri nelerdir?
2. Büyük-ölçek CP tarafından yaz kuraklıkları kontrol edilebilir mi?
3. Geçmiş kurak olayların zaman serileri stokastik hidroklimatolojik model olarak tekrar elde edilebilir mi?, ve
4. Genel sirkülasyon model çıktıları ile iklim değişikliği senaryolarının alansal yerel etkilerini değerlendirmek için kullanılabilir mi?

Günümüzde birkaç klimatolog ve meteorolog, kuraklığı, kurak ve yarıkurak alanlarda görülen normal bir iklim anomalisi olarak kabul ederler (Gbeckor-Kove, 1989). Klugman (1978) A.B.D. orta bölgesinin üst kısmında, kuraklığın yer ve zamanına ilişkin olarak Palmer kuraklık şiddeti indisini uygulamıştır.

Shafer ve Dezman (1982) Yüzey Suyu İhtiyacı İndisini (YSİİ) geliştirmişlerdir. YSİİ, Palmer Kuraklık Şiddeti İndisine (PKŞİ) ilaveten topoğrafik değişiklikleri, akış ve kar birikimini de dikkate almıştır. YSİİ kavramı, hem hidrolojik hem de klimatolojik özellikleri içine almıştır. Havzalar arasında karşılaştırmalar yapabilmek için standartlaştırılmıştır. Yüzey suyu ihtiyacı indisi mevsime bağlıdır.

Alley (1984) PKŞİ'nin sınırları ve varsayımları üzerinde bir çalışma yapmıştır. Bölgesel indis olan PKŞİ'nin yapısını incelemiştir. Farklı yerler ve aylar için PKŞİ'nin değerlerini standartlaştırmak için kullanılmış yöntemin çok sınırlı karşılaştırmalar üzerine kurulduğuna dikkat çekmiştir. Bir ay boyunca devam eden

yağışın birkaç ay önce tahmin edilmiş olan PKŞİ değerleri üzerinde çok geniş etkiye sahip olduğu vurgulanmıştır. PKŞİ yönteminin çeşitli sınırlamalarının ve eksik yanlarının olmasına karşın, yararlı bir kuraklık gözlem aracı olduğunu ve uygun biçimde ele alındığında, itibar edilebilecek sonuçlar verdiğini ortaya konmuştur.

Sentetik akım üretme mekanizması kurak ve ıslak zaman serisinin yardımı ile ortaya konulmuştur (Şen, 1985). İlave olarak, akım serisinin istatistiki parametreleri elde edilmiştir. Mekanizma, alternatif olarak, sulak ve kurak periyotları ve bununla ilgili olan fazlalık ve eksikliklerin miktarlarını da kapsar. Aynı çalışmada sulak ve kurak periyot karakteristikleri ve istatistiksel olarak serinin ortalaması, standart sapması ve serisel korelasyon katsayısı korunur.

Karl (1986) PKŞİ duyarlılığı ve potansiyel evapotranspirasyonu içine alan katsayıların, Palmer'in Z indisine ilişkin kalibrasyonu ile ilgili bir çalışma yapmıştır. ABD'nde birçok bölgede hesaplamalar yapmıştır. Bazı tarım ve orman yangın koruması uygulamalarına önemle değinmiştir. PKŞİ'ne göre anormal sıcak ve kuru dönemleri belirlemiştir. Z indisi, PKŞİ ve Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi'ne göre ABD' de haritalar çıkarmıştır.

Bir adımlı Markov süreçleri ortalama, standart sapma, bir adımlı seri korelasyon katsayısı ve kuraklık sürelerini gerçeğe yakın biçimde stasyonere, iki dereceli (2. mertebe) Markov zincirinden, kritik kuraklıkların olasılık dağılım fonksiyonları sıralama teknikleri yardımı ile sınırlı örnek uzunlukları için türetilir (Şen 1990). Kritik kurak sürelerinin olasılığı tahmininde faydalıdır. Gerekli grafikler kritik kuraklıkların varyansı ve ortalama değeri için elde edilebilir. Geliştirilen metodolojinin uygulaması dünyanın farklı bölgelerinden temsili yıllık akış serileri için verilmiştir. Gözlenmiş kritik kuraklıklar 2. dereceden Markov zinciri ile iyi bir şekilde doğrulanabilir. Küçük örnekler de kritik kurak süreleri 2. dereceden Markov süreçlerinin temellerine dayanılarak ve sıralama tekniği ile analitik olarak araştırılmıştır. Buna göre,

- a) Çok uzun kuraklık süre olasılığı örnek büyüklüğüne, kesme seviyesine ve geçiş olasılığına bağlıdır. Olayın ihtimal yoğunluk fonksiyonundan bağımsızdır. Geçiş olasılığı ilgilenilen olayın bağımlılık yapısını yansıtır,

- b) Analitik formül yardımıyla risk ve kritik kuraklığın oluşumu kolaylıkla elde edilebilir ve
- c) Analitik formülasyon, kullanışsız ve pahalı olan Monte Carlo benzetim tekniklerine başvurmaksızın kritik kuraklığın olasılık ve stokastik özelliklerinin bulunmasını mümkün kılar.

Mc Kee ve diğ. (1993) kuraklığı tanımlamak ve izlemek için Standart Yağış İndisi (SYİ)'ni geliştirdi. Colorado iklim merkezi, Batı bölgesi iklim merkezi ve Ulusal kuraklığı önleme merkezi SYİ ile USA'da kuraklığı izlemektedir. Thom (1966) iklimsel yağış serilerine en uygun dağılımın Gamma olduğunu buldu. SYİ'de de Gamma olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılır. Her yıl için 3, 6, 12, 48 aylık zaman dilimleri için Gamma olasılık yoğunluk fonksiyonu hesap edilmiştir. Araştırma yapılan istasyonlar için verilen ay veya herhangi zaman ölçeği için gözlenmiş yağış olaylarının kümülatif olasılıklarını bulmak gerekir. Mc Kee ve diğ. (1993) toplam olasılık fonksiyonunu belirlemek için Press ve diğ. (1992) çalışmasından faydalanarak analitik yöntem kullandılar. Toplam olasılık, $H(X)$, standart normal rastgele değişkenler Z , ortalaması 0 ve standart sapması 1 olarak dönüştürülür. Kavramsal olarak, SYİ Z - skor veya standart sapması ortalamasının altında ve üstünde salınma durumunu ifade eder. Ancak, orijinal yağış dağılımının çarpık olduğu kısa zaman ölçeklerinde bu doğru değildir. Bu çalışmada, SYİ, 3 ay kısa dönem veya mevsimlik değişim için kullanılmıştır. 12 aylık orta dönem kuraklık için 48 ay, SYİ uzun dönem kuraklık indisi olarak göz önünde tutulmuştur. Böylece, SYİ kayıt periyodunda ay/yıl için zamana bağlıdır. İndis hesaplamak amacıyla, Kasım 1942'den Ocak 1943'e kadar olan toplam yağıştan faydalanılmıştır. 12 aylık SYİ için 1942 Şubat'ından 1943 Ocak'ına kadar olan, 48 aylık için 1939 Şubat'ından 1943 Ocak'ına kadar olan toplam yağıştan faydalanılmıştır.

Stokastik hidroklimatolojik model alansal kuraklıkları karakterize etmek için geliştirilmiştir (Bogardi ve diğ. 1994). Kuraklık indislerinin istatistiksel özellikleri küresel ölçekte atmosferik çevrim paterni (Circulation Pattern; CP) aylık kuraklık indisleri kullanılarak tanımlanmıştır. Bu yöntem, 110000 km² doğu Nebraska alanına uygulanmıştır. ABD'de kurak karasal iklim genellikle şiddetli kuraklığı beraberinde getirir. Burada Bhalme-Mooley kuraklık indisi (BMKİ) kullanılmıştır. Çevrim paterninin (CP) aylık sınıflamasında kümeleme analizi uygulanmıştır. Aylık CP

sınıflarının yapısının değişmesi ile iklim değişebilir; böylece iklim değişimi ile oluşan kuraklık tahmin edilebilir. Bhalme ve Mooley indisi Palmer Kuraklık Şiddeti Indisi (Palmer Drought Severity Index; PDSI) olarak da bilinir. Toplam nem kayıplarının etkilerini içerir. Alansal aylık yağış miktarı gözlem noktaları dikkate alınarak, Thiessen çokgen metodu ile hesap edilmiştir. Jeostatistik teknik olan Kriging yöntemi kullanılmıştır. Gözlemler arasında uzaysal ve çapraz korelasyon hesaplamaları yapılmıştır.

Montaseri ve Adeloey (1999) kritik periyodun (KP) süresini tahmin etmeye çalışmıştır. Su biriktirme haznesinin düzenlenmiş sisteminde akım yılını aşan dönem yıllık zaman-serisi verisi kullanarak analiz edilebilir. Akım yılı döneminde düzenlenmiş sistemde (KP>>12 ay), yalnızca “kritik” 12 ayın kayıt edilmiş olması gerekir. Bu çalışmada, KP’nin akım yılından daha uzun ve daha kısa dönemler için Monte Carlo benzetim teknikleri geliştirilmiştir. Aralarındaki ilişkiler her iki patern için su biriktirme haznesi sisteminde ayrıştırma testleri ile elde edilmiştir. İki farklı iklim bölgesinde, devam edilen testlerde sonuçlar su biriktirme haznesinin depolama-verim-güvenirlik problemlerinin diğer karakteristikleri birleştirmeksizin tamamlanamayacağını göstermiştir. Diğer karakteristikleri birleştirmek için bazı yararlı prosedürler de gösterilmiştir. İleri sürülen fikirler nasıl bir çalışmanın geliştirilmesi gerektiğini göstermiştir. Yüzey sularının su biriktirme haznelerinin planlanmasında depolama hacmi-verim ilişkisi için “Kritik periyot (KP)” metotları olarak bilinen teknikler kullanılır (McMahon ve Mein, 1986). Literatürde yaygın olarak kullanılmakta olan standart talep parametresi “ m_t ” şu şekilde tanımlanmıştır.

$$m_t = \frac{1 - \alpha_t}{CV} \quad (1.1)$$

Burada α_t düzenleme oranı ve CV ise akımların değişim katsayısıdır (standart sapmanın ortalamaya oranı), $m_t < 1$ ise KP >> 12 ay ve $m_t > 1$ ise KP << 12 ay olarak verilir. Bu çalışmaya benzer diğer bir çalışma Oğuz ve Bayazıt (1991) tarafından yapılmıştır. Çalışmalarında (“Kritik periyot” >> 12 ay) su biriktirme haznesi sisteminde KP’un istatistiksel özelliklerini Monte Carlo simülasyon tekniği ile belirlemişlerdir. Bir su sisteminin gereksinimlerine göre en kritik olan süreye kritik kurak dönem denir. Bir biriktirme haznesinde verilen bir akım serisi ve seçilen

bir girdi için en büyük kapasitenin gerekli olduğu dönem kritik dönem olacaktır (Bayazıt, 1997). Yeterli kapasitesi olan bir hazne kritik dönemin dışındaki olaylar kritik dönem içinde haznede su seviyesinin değişimini etkilemeyecektir (Oğuz ve Bayazıt, 1991).

Meteorolojik ve hidrolojik kuraklık olayları zaman ve alan ile rastgele olarak meydana gelir bu yüzden bilimsel olarak olasılık metotlarla çözümler mümkündür (Şen, 1998). Kuraklığın etkili olduğu her alanın kendine özgü yapısından dolayı farklı farklı kuraklık durum olasılıkları meydana gelir. İki türlü alansal-zamansal kuraklık formülü vardır. İlki alansal modeli tanımlar ve eğer herhangi bir alan kuraklıkla ciddi şekilde etkilenmiş ise bütün alan kuraklıkla kaplı kabul edilir. İkinci olarak, çoklu mevsimsel modelin temellendiği yaklaşım ki, etkili kuraklık alanı birden fazla bölgeyi ele alır ve çalışma zamanı esnasında ıslak periyoda sahiptir. Yaklaşık olasılık yöntemi Bernoulli yaklaşım modelidir (Şen, 1998). Kuraklık oldukça kompleks yapıya sahiptir ve diğer hidrolojik olaylarla örneğin yağış, akış, buharlaşma, sızma ve yüzey yeraltı suları gibi etkileşim halindedir. Aynı zamanda bu değişkenler rastgele karakterdedir. Bu nedenle, kuraklık da rastgele karaktere sahiptir. En önemli kuraklık elemanı yağışın alan-zaman değişimi ile ilgilidir.

Palmer kuraklık şiddeti indisi Kanada’da bitkisel üretimin kuraklıktan etkilenmemesi amacıyla incelenmesi ve değerlendirilmesi çalışmalarında kullanılmıştır (Akinremi ve Mc Ginn, 1996). Palmer indisinde, K ağırlık faktörünü hesaplamada nem dengesi ile zayıf ilişkisi olmasından dolayı zorluklar yaşanmaktadır. K ağırlık faktörünü içermeyen yeni bir indis çalışması orijinal Palmer indisinden faydalanarak yapılmıştır.

Kuraklık çalışmalarında bulanık mantığın (Fuzzy Logic) kullanılmasına bir örnek olarak Pesti ve diğ. (1996) verebiliriz. Bu çalışmada atmosferik basınç paterninden alansal kuraklık tahmini için bir yöntem sunulmuştur. Kuraklığın karakteristikleri kuvvetli bir şekilde genel çevrim paterni (Circulation Patern; CP) ile ilgilidir. CP günlük atmosferik veri ile geniş ölçek ve alansal kuraklık arasındaki bağlantı bulanık model kural yaklaşımı ile modellenmiştir. Bulanık kural “EĞER” ve “İSE” terimleri ile temellendirilir, “EĞER” bulanık giriş vektörü ve “İSE” bazı bulanık sonuçları (çıktıları) tanımlar. Bu kurallar CP’nin günlük zaman serisi eğitilerek ve uygun aylık Palmer kuraklık şiddet indisinden (PKŞİ) türetilmiştir. Bu yaklaşım, iklim değişimi,

CO₂'in iki katına çıkmasının kuraklık üzerindeki potansiyel etkilerini tahmin etmede kullanışlıdır.

Woodhouse ve Overpeck (1998) tarafından yapılan çalışmada, ABD için kuraklık analizinde geçmiş yüzyıllara ait zaman serileri incelenerek günümüzde ve gelecekte yaşanacak iklim değişikliği ve buna bağlı olarak kurak şartlara genel bir bakış çalışması yapılmıştır. Kuraklık bugün doğa afetlerin en tehlikelisi olarak ilk sıradadır, çok eski jeolojik devirlerde (Paleo) iklimsel kayıtlardan geçmiş kuraklıkların genliğini ve süresini, tekrarlama periyodunu inceleyerek gelecekteki planlamalarımızı yapmalıyız. Tarihsel dokümanlar, ağaç halkaları, arkeolojik kalıntılar, göl çökelmeleri ve jeomorfik verilerle kuraklığın günümüzdeki durumu hakkında bilgi edinilebilir. 1600 yıllarında dünyada yaşanan kuraklık süresi oldukça uzundur. Bu kaynaklar gelecekte yaşanacak sera etkisinin de göz önünde bulundurulmasına işaret eder. Bütün bu kaynaklar şiddetli kuraklığın mekanizmasını tanımamızı sağlar.

Bulanık sistem ile ilgili diğer bir çalışma Pongracz ve diğ. (1999) tarafından yapılmıştır. Alansal kuraklığın tahmininde bulanık kural modeli, Palmer indisinin modifiye edilmesi ile uygulanmıştır. El Nino, Güneyli Salınım (ENSO) ve geniş ölçekli atmosferik çevrim paternleri (CP) Great Plains, Nebraska'da denenmiştir. CP ve Southern Oscillation Index (SOI) ve PKŞİ arasında önemli bir ilişki vardır. Aralarındaki korelasyonun zayıflaması tahmin için istatistiksel modelin çok kısa veri kümesine uygulanması ile meydana gelir. Gözlenen PKŞİ bulanık kurallarının tekrar üretilmesinin uygulanması ile geçerliliği kontrol edilmiştir. 8 iklim bölgesine ayrılan Nebraska'da CP ve SOI'nın birleştirilmesi ile bulanık kuralları kurulmuştur. Bunlar yüksek değişkenliği ve PKŞİ'nin ısrarlılığını ve ampirik sıklık dağılımlarının hemen hemen tekrar üretilmesini öğrenmeyi sağlar.

Yine kuraklık süresinin belirlenmesi amacıyla istatistiksel olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılarak sıklık analizinin yapıldığı araştırma Sharma'ya (1997) aittir. Kuraklık için önemli elemanlar uzun kuraklık süresi, geniş etkilere sahip şiddeti ve kuraklığın tekrarlama periyodudur. Yağış ve akış verilerinin ortalaması, standart sapması, varyansı ve bir adımlı serisel korelasyon katsayısı ve olasılık yoğunluk fonksiyonu yaygın olarak bilinen kuraklık değişkenleridir. Bu çalışmada, ekstrem kuraklık süresi ve şiddeti ortalamada kesilen seri ile modellenmiştir. Kesme

seviyesinin belirlenmesi önemlidir. Kuraklık serisi standartlaştırılmış olduğundan dağılım normal dağılımdır. Elde edilen formül ekstrem şiddetin terimlerini ve T-yıl dönüş periyotlarını taşkın sıklık formülünden faydalanarak bulur.

Sıklık analizinde yaygın olan yaklaşım hidrolojik ekstremler (taşkın ve ani aşırı yağışlar) için rastgele süreçlerle genelleştirilir. Bu doğal iklimsel değişkenlerin ekstrem olayların dağılımını değiştirmediğini vurgular. Alansal sıklık analiz yaklaşımı bir saniyeyi aşmayan zaman ölçeğinin hipotez testini önerir (Bradley, 1998). Ekstrem olayların gözlenen alansal oluşumları rastgele süreçlerle karşılaştırılır. Gidişler iklim değişkenliği için rastgele olmayan durumları önemli bir şekilde işaret eder. Güney Plain bölgesinde yapılan yaklaşımın uygulaması yıllık maksimum yağışın rastgele olmadığını gösterir.

Türkiye'yi etkileyen kuraklık özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan ilk bilimsel çalışmalar 1940'lı yıllarda başlamıştır. Bunların bazıları tüm Türkiye'yi, bazıları da yalnızca bir coğrafi bölgeyi, yöreyi ya da çevreyi kapsamıştır. Tümertekin (1955) De Martonne indisini kullanarak, yıllık ortalama indislerin coğrafi dağılışını gösteren bir harita ile 1930-1951 periyodunda her yıl için 22 harita elde etmiştir. Bu haritalarda, kurak alanların yıllık ortalama dağılışı ve yıllar arası alansal değişimleri, De Martonne'ye göre kurak ve nemli bölgelerin sınırını oluşturan 20 indisine göre gösterilmiştir. Tümertekin (1956), Tümertekin ve Cöntürk (1956) De Martonne ve Thorntwaite formüllerine göre hesaplandığı indislerle Türkiye'de kurak aylar sayısını incelemiştir.

Türkiye'de su ihtiyacı ve kuraklık problemi Erinç (1957) tarafından incelenmiştir. Onun tarafından geliştirilen indiste yıllık toplam yağışın sıcaklığa oranından faydalanılır ve kuraklık sınıfları elde edilir. Bu sınıflamalarda, Türkiye'nin tümü için haritalar elde edilmiştir. Kartezyen koordinatlarda çizilen grafiklerde potansiyel buharlaşma+terleme, yağış, su toplam miktarı, su eksiklik miktarı, toprak nemi kullanımı, ve toprak nemi yükü verilmiştir.

Erinç (1965) Türkiye'nin koşullarını en iyi yansıtan kuraklığı, ya da yağış etkinliği formüllerini Türkeş (1990) tez çalışmasında kullanmıştır. Bu indisi 80 meteoroloji istasyonuna uygulayan yazar, yıllık ortalama yağış etkinliği indislerinin dağılışını gösteren bir harita ve Nisan-Ekim arasındaki 7 ay için ortalama dağılış haritaları

hazırlamıştır. Ayrıca, kurak ve yarı kurak koşulların (devrenin) süresini saptamak için kurak ve yarı kurak aylar sayısı ile kurak aylar sayısını gösteren haritalar hazırlamıştır.

Nişancı (1976) yaklaşık 80 istasyonun 1961-1970 periyoduna ait buharlaşma değerlerini ve bunların 0.5 faktörü ile indirgenmiş durumlarını yağış değerleriyle karşılaştırmış ve su bilançosu yönünden pozitif ve negatif değerler elde etmiştir. Nişancı (1977) doçentlik tezinde, 1976 yılında yayımlanan makalede olduğu gibi, yıllık (ve aylık) ortalama yağışlarla yıllık (ve aylık) buharlaşma değerleri karşılaştırılarak kurak ve nemli bölgelerin dağılışı ile kurak aylar sayısına göre Türkiye'nin kurak, yarı nemli ve nemli bölgeleri saptanmıştır.

Erdoğan (1989) Türkiye nehirlerinin yıllık akım gözlemlerinin ortalamadan sapma ölçüsüne göre, Türkiye'de oluşan hidrolojik kuraklık olaylarını incelemiştir. Yıllık akımların ortalamadan en az bir standart sapma kadar az gerçekleşmesini derin kuraklık olarak tanımlamıştır.

Bayazıt ve diğ. (1994) İstanbul için yaptıkları çalışmada 1000 yıllık yağış sentetik verisi üretilerek kurak yıl parametrelerini ve periyot değişkenlerini elde etmişlerdir. Gelecek dönemlerde kuraklık süresi ve su biriktirme haznelerindeki toplam kayıpların tekrar ortaya çıkma periyotları İstanbul için elde edilmiştir. Su biriktirme haznelerinin ortalama ve standart sapmasının gelecek periyotlarda daha büyük değerler aldığı gözlenmiştir. Bu nedenle, uzak su toplama haznelerine su transfer edilirken, bu durumun göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Bu çalışmada, tarımsal kuraklığın soya bitkisinin verimine etkisi SIMWASER bitki gelişimi modeli ile analiz edilmiştir. Model vasıtası ile vejetasyon periyodu boyunca yağış, sıcaklık ve toprak su içeriği değiştirilmiş ve bu değişikliğin soya bitkisinin verimine önemli etkilerde bulunduğu belirlenmiştir. Ancak, bu modelin ülkemiz şartlarında kullanılabilmesi için, bitki parametrelerinin yeniden gözden geçirilmesi gereklidir (Şaylan, 1994).

1994 yılında Türkes tarafından Türkiye'deki yağış paterni ile ilgili çalışma yapılmıştır. 1930-1993 yılları arasındaki yağış zaman serileri ile alansal yağış dağılımı incelenmiştir. Normalleştirilmiş alansal yağış indisi ile Türkiye'nin mevsimlik haritaları elde edilmiştir.

Ayrıca, son yıllarda ülkemizde indisle ilgili yapılan çalışmalardan bazılarında; Kadioğlu ve Topçu (1997) çeşitli yağış indisleri ile Marmara Bölgesi kuraklıklarını, Türkeş (1996) standartlaştırılmış yağış indisi ile 1930-1993 arası yağışları incelemişlerdir, Özer ve diğ. (1998) kuraklığın alansal dağılımı üzerine çalışmışlardır.

1.4 Kuraklığa Neden Olan Meteorolojik Etmenler

Kuraklık, yıllar boyu süren geniş ölçekli atmosferik sübsidansın (alçalma), ya da dağlık bölgelerdeki daha yöresel sübsidans olaylarının etkisiyle oluşur. Ayrıca kuraklık, nemli hava akımları ve yağışa neden olan atmosferik karmaşıklıklarla da ilişkilidir. Açık gökyüzü ve düşük nemlilik, dünyanın pek çok bölgesinde kurak iklimlere çok yüksek güneş ışıınımı (solar radyasyon) girdisi (yıllık ortalama 200 W/m^2) vermektedir. Bu özellik, toprak sıcaklıklarının yükselmesini sağlamaktadır. Kurak yüzeylerin bir çoğundaki yüksek yansıtma özelliği ya da oranı (albedo) ve açık renkler, yansıtmadan kaynaklanan önemli kayıplara neden olmaktadır. Yine böyle yüzeylerde uzun dalgalı soğuma şiddetlidir. Gerçek çöllerin ışıınım gelirleri bu nedenle $80\text{-}90 \text{ W/m}^2$ daha düşüktür (DPT İklim Değişikliği Özel İhtisas Komisyonu, 2000).

Kurak iklimlerin dünya üzerindeki dağılışı, esas olarak subtropikal yüksek basınç kuşaklarıyla ilişkili sübsidans hareketlerine bağlıdır. Subtropikal yüksek basınç kuşakları yazın kutba, kışın ekvatora doğru göç eder. Bu durum, kurak kuşak için üç bölgesel dağılış yapısı oluşturmaktadır. Bunlar:

1. yağışın az ya da hiç olmadığı bir çöl çekirdeği (yaklaşık $20\text{-}30$ enlem derecelik),
2. yağışın çoğunlukla yüksek güneş mevsiminde düştüğü bir tropikal kenar ve,
3. kışları yağışlı Akdeniz iklim kuşağı ya da kutba yönelik bir kenardır.

Bu kuşakların tümünde yağış değişkenliği yüksektir. Ancak, subtropikal alanların her yeri kurak değildir; subtropikal yüksek basınç kuşağı bazı bölgelerin bereketli yağışlar almasını sağlayacak biçimde hücrelere ayrılmaktadır.

Sahel kuraklığı gibi son yıllarda meydana gelen iklim değışiklikleri ya da dalgalanmaları, köken olarak doğal özellik taşımaktadır. Yağışın istatistiksel analizleri, kurak kuşağın bazı bölümlerinde, özellikle Sahel’de anormal nemlilik, ya da kuraklık olaylarının birkaç yıl sürmesi konusunda belirli bir eğilim bulunduğunu göstermektedir (Nicholson, 1980, 1981; Hare, 1983).

Benzer özellikler, Türkiye’nin güneyinde yer alan istasyonların yıllık yağışlarında da bulunmaktadır. 10 yıl ya da daha fazla süren uzamış kuraklıklar, kurak bölgelerde yaygındır ve çoğunlukla beklenmedik biçimde yağışla sona erer. Bu süreklilik geri beslenme (feedback) mekanizmasının çalışmakta olabileceğini ortaya koymaktadır. Şöyle ki, kuraklık kuraklığı, yağmur ise yağmuru beslemektedir. Sonuç olarak normal duruma yeniden dönülmektedir. Bu geri besleme süreçleri, model çalışmaları ile incelenmektedir. Genel dolaşım modelleri (GDM), yer ikliminin bir benzerini yapma eğilimindedir. Geri beslenme hipotezlerini denemek için de kullanılır. Kuru yüzeyler, toprağın aşırı sürülmesi, ya da bilgisizce yapılan tarımsal etkinlikler albedo’yu arttırmaktadır. Birçok GDM deneyimleri, albedo’daki artışın uzun dalgalı soğumayı ve atmosferdeki alçalıcı hareketleri yani sübsidansı arttırdığını, bu olayların da birlikte yağışı azalttığını göstermiştir (Sud ve Smith, 1986). Charney (1975) bu mekanizmayı albedo geri beslenmesi olarak adlandırmıştır. Model çalışmaları, Sahel kuraklığı ile Atlantik üzerindeki deniz yüzeyi sıcaklığı (DYS) anomalileri arasındaki bağlantıları da ortaya çıkarmaktadır. Hare (1983) göre, “Kontrollü arazi kullanımı yüzey mikroklimasının daha iyi olmasını sağlamak için en kesin yol olarak kabul edilmektedir. Yeterli bir bitki örtüsünün varlığı, böyle bir kontrolün anahtarını oluşturmaktadır. Bir kuraklık olayına karşı bir bölgenin kapasitesinin ve sonra üretkenliğinin yeniden oluşması, besinlerin, organik maddelerin ve yüksek süzülme özelliğinin korunmasına bağlıdır”.

Kuraklık çözümleri, iklim-çölleşme bağlantılarının daha ayrıntılı çalışmasını gerektirmektedir. GDM’lere ek olarak, klimatoloji, ekosistem simülasyonu (benzetimi) ve yönetim teknikleri arasındaki boşluğu dolduracak model çalışmaları desteklenmelidir. CO₂ ve kızıl ötesi ışıınım, emici öteki gazların atmosferdeki birikiminin subtropikal ve tropikal alanlar üzerindeki potansiyel etkileri, şimdilik kesinlik kazanmasa da, dikkatli bir gözetlemeyi gerektirmektedir.

1.5 Kurak İklim Kuşaklarının Oluşumu ve Dünya Üzerindeki Dağılışı

Yeryüzüne düşen yağışlar, hemen hemen her zaman nemli havanın (siklonik, cephesel, konveksiyonel ve orografik) yükselmesiyle oluşur. Yağış yokluğu ise, çoğu zaman yükselici hareketlerin bulunmamasının iyi bir kanıtıdır. Hatta, nemli hava akımlarının içinde bile, atmosferik kararlılık yükselmeyi sağlayacak biçimde bozulmadıkça yağış düşmez. Dünyanın pek çok yerinde, yüksek nemlilik zamanlarında bile uzun süreli kuraklıklar oluşabilir. Hare (1983) kuzeybatı Hindistan'ın ve Pakistan'ın kurak ve yarı kurak alanlarının yanı sıra, Texas ve kuzey Avustralya'nın da nemli kuraklıklardan etkilendiğini belirtmektedir.

Çeşitli etmenlerin kombinasyonu kurak ve yarı kurak dünyanın büyük bölümünde atmosferi uzun süreler için kararlı yapar ve bu nedenle yağış oluşmaz. Yükseklikle sıcaklık azalması yavaşsa, hatta yükseklik sıcaklıkla artıyorsa atmosfer kararlıdır. Eğer atmosferin nemli alt katmanları yukarıda ısınır ya da aşağıda soğursa, kararlılık gelişir. Hava aşağıya doğru hareket ettiğinde ya da alçaldığında, yukarıda dinamik (adyabatik) ısınma oluşur. Kararlılık, sıcak hava kütleleri soğuk bir yüzey üzerinden geçtiğinde de artar. Örneğin, kuzey ve güney Afrika'nın batı kıyıları ile kuzey Şili, Peru ve güney Kaliforniya açıklarındaki soğuk su alanlarındaki kurak ya da yarı kurak iklimler bu yolla meydana gelmişlerdir. Daha ayrıntılı olarak aşağıda verilenler, kuraklığın ana nedenleri olarak kabul edilmektedir (Barry ve Chorley, 1976; Lamb, 1972; Hare, 1983).

a. Çökme (Sübsidans) Durumu

Çökme olaylarını; geniş ölçekli veya sürekli atmosferik sübsidans ve yerel ölçekli çökme olarak ayırabiliriz. Geniş ölçekli çökme, atmosferin genel dolaşımına bağlıdır. Şimdiki dolaşım her iki yarımkürenin alttropikal enlemlerinde böyle çökme olaylarını ortaya çıkarma eğilimindedir. Dünyanın Meksika, Sonoran çölü ve Birleşik Devletler' in güneybatısı; Sahra-güneybatı Asya kuşağı; güneybatı Afrika, Kalahari ve Avustralya gibi büyük çöl alanları çökme kuşaklarının altında uzanmaktadır. Türkiye'ninde üzerinde bulunduğu 30-40° enlemleri arasındaki kuşak, çöller kadar kuvvetli olmasa bile, yaz ve kış mevsimlerinde çökme hareketinin etkisinde kalmaktadır. Ortalama koşullarda maksimum çökmenin yıllık ortalama enlem değeri,

her iki yarımkürede yaklaşık 33°'dir. Bu değer, yukarıda adları sayılan çöl kuşaklarına çok yakındır.

Yerel çökme dağ engellerinin ya da özel fizyografik koşulların etkisiyle ortaya çıkar. Andlar'ın batısında, kuzey Şili ve Peru kıyısı üzerindeki dar bir şeritte sürekli bir çökme vardır ve Atakama çölünü destekler (Miller, 1976; Johnson, 1976). Böyle alanlar genellikle batı rüzgarları kuşağının karşısında kuzey-güney doğrultusunda uzanan dağ sıralarının rüzgar altı yamaçlarında yer alır. Benzer koşullar orta enlemler için de geçerlidir. Batılı akımların dağların doruklarına yükselerek doğuda alçalması kuraklığa neden olur. Kuzey Amerika'nın batısında, batı ve güney Arjantin' de ve orta Asya da yer alan yaygın kurak alanlar esas olarak bu yolla ortaya çıkmıştır. Anadolu platosunun kuzeyinde uzanan dağ sıralarının güney eteklerindeki derin vadi tabanları ve depresyonlarla, Toroslar'ın kuzey eteklerinde yer alan alçak plato ve ovalarda kuytu yamaç çökmelerin (fön etkisi) etkisiyle Türkiye'nin az yağışlı, kurak/yarıkurak alanları olmuştur.

b. Yağış mekanizmasını etkileyen atmosferik akımlar

Yeryüzünün herhangi bir bölgesinde, siklonlar, orta enlem depresyonları, yüksek seviye olukları ya da alçak merkezleri gibi atmosferik karışıklıkların bulunmaması kurak/yağışsız hava koşullarına neden olur. Örneğin, Akdeniz havzasında ve Türkiye'nin büyük bölümünde ortaya çıkan yaz kuraklığı, kısmen çökmenin ve esas olarak da kışın yağış getiren siklonik karışıklıkların bulunmamasının bir sonucudur. Bazan da, havada yeteri kadar nem bulunduğu halde, onu yağışa dönüştürecek yükseltici hareket yoktur.

c. Nem Yetersizliği

Yağış için gerekli nemin varlığı (yağışa dönüştürülen su) ve yağış arasındaki ilişki basit değildir. Daha önce söz edildiği gibi yüksek nemlilik gösteren alanlarda bile, kuru/yağışsız hava koşulları etkili olabilir. Ancak yine de, bereketli yağışlar yalnızca nemli hava akımlarının ulaştığı bölgelerde oluşur. Bazı karasal iç bölgeler böyle kaynaklardan oldukça uzaktır. Orta Asya'nın çöl ve step alanları, Himalayalar ve Tibet platosu gibi engellerle, güneyden gelen nemli muson akımlarında yararlanamazlar. Benzer koşullar, daha dar alanlı olmasına rağmen, İç ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri için de geçerlidir. Kurak ve yarı kurak iklimlerin değişen zaman

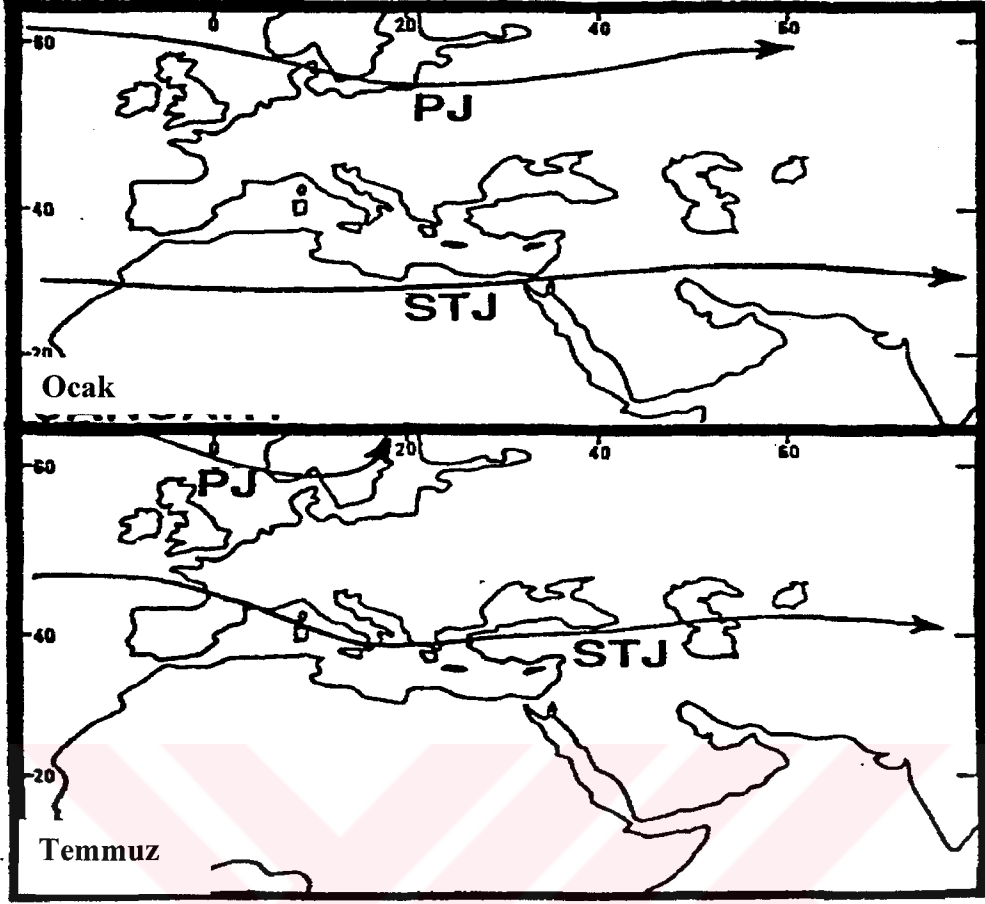
ölçeklerindeki değişebilirlikleri dikkat çekicidir. Mevsimlik ve yıllar arası değişiklikler böyle iklimler için doğaldır. Kurak iklimlerin pek çoğu, her yıl yeniden ortaya çıkan kurak ve nemli mevsimlere sahiptir. Yüksek ve karasal iç yörelerle Karadeniz kıyı kuşağı dışında, Türkiye’de yağışlar esas olarak kışın ve bahar mevsimlerinde ortaya çıkar. Kurak kuzey batı Hindistan ve Pakistan’da yağışlar, çoğunlukla sıcak ve nemli güneybatı Asya Muson alçak basıncının bölgeyi kaplamasıyla Temmuz-Ağustos-Eylül aylarında oluşur. Dünyanın başka bölgelerinde değişik zaman ve mevsimlerde yağışlar oluşmaktadır. Yukarıda açıklanan kontrol elemanları birbirine bağlıdır; ama onların görelî etkisi mevsim ve yere göre değişmektedir. Onları değerlendirirken aralarında genel bir ayırım yapılabilir.

1.6 Türkiye’yi Etkileyen Sinoptik Sistemler ve Kuraklık

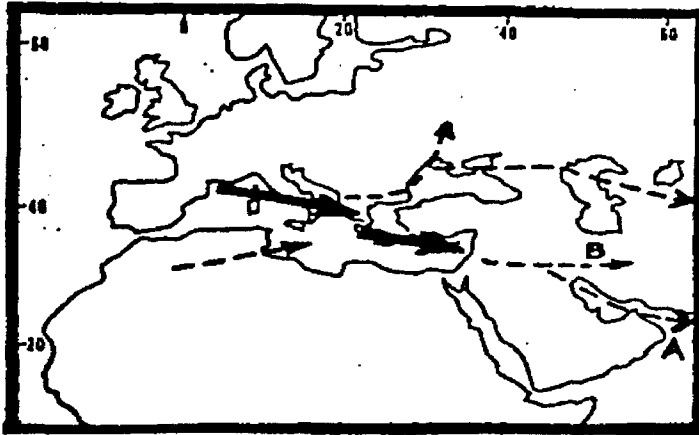
Türkiyeyi etkileyen jet akımlar Polar Jet (PJ) ve Suptropikal Jet (STJ) Akdeniz bölgesinde hava sistemlerinin oluşumu ve hareketleri için önemlidir. Polar jetin pozisyonu ve hareketi Akdeniz siklonlarının gelişmesi için önemli olan soğuk hava adveksiyonunu ve orta-seviyedeki yönünü kontrol ederken, Suptropikal Jetler sürüklenme ve rüzgar shear’i sağlar. Aşağıdaki şekil Ocak ve Temmuz aylarındaki ortalama jet pozisyonlarını göstermektedir (Şekil 1.1).

Şekil 1.2 Türkiye’yi etkileyen tipik Aralık-Şubat siklon yörüngelerini, Şekil 1.3 Mart-Mayıs aylarındaki yörüngeleri, Şekil 1.4 Kasım ayındaki yörüngeleri göstermektedir. Orta-enlemlerde siklonlar Haziran-Ekim ayları arasında da sık görülmezler. Kuvvetli bir yukarı seviye oluşu Türkiye üzerinde ve kuzey İran’da yer yer anormal yağışlara neden olabilir.

Kalın, kısa ve kesiksiz çizgiler ile gösterilen oklar birincil siklon yörüngelerini göstermektedir. Kesikli ve uzun çizgiler ile gösterilen oklar da ikincil siklon yörüngelerini göstermektedir. Önemli (birincil) siklon yörüngesi, doğu Akdeniz üzerinden geçmektedir. İkincil siklon yörüngeleri, Kıbrıs alçağı ve güney Avrupa soğuk cephelere ait oluklar ile ilişkilidir. Bu, (B ile gösterilen) verimli hilal’den daha çok (A ile gösterilen) Basra körfezinden geçen siklonlar için doğrudur (Şekil 1.2).



Şekil 1.1 Polar Jet (PJ) ve Suptropikal Jet (STJ)'in Ocak ve Temmuz aylarındaki ortalama pozisyonları



Şekil 1.2 Aralık, Ocak ve Şubat aylarında Orta-Enlem siklon'larının takip ettiği yörüngeler.



Şekil 1.3 Mart, Nisan ve Mayıs aylarında Orta-Enlem siklonlarının takip ettiği yörüngeler.

X işareti İran'ın güneyini etkileyen önemli kuzey Sahra siklonlarının yörüngelerini göstermektedir. Karadeniz'in kuzeybatısı üzerindeki siklojenesis bölgeye zayıf bir soğuk cephe taşır. Atlas dağlarından kaynaklanan Atlas alçağı oluşturduğu cephesel havayı Nisan ayında ve Mayıs ayının başında Batı Anadolu üzerinde Karadeniz'e kadar taşır. Birçok ikincil yüzey siklon yörüngesi bu periyot süresince oluşur (Şekil 1.3).



Şekil 1.4 Kasım ayında Orta-Enlem siklonlarının takip ettiği yörüngeler.

Kasım ayındaki ortalama yörüngeler normalde, Cenova körfezi dahil Batı Akdeniz'den kaynaklanmakta ve doğuya doğru hareket etmektedir. Bu siklonlar Polar jetin güneye doğru yaptığı hareket nedeniyle gelişir (Şekil 1.4).

Türkiye iklimi için gerekli olan nem, büyük ölçüde Atlas Okyanus'u kökenli mP ve mT hava kütleleri ile mP havanın Akdeniz üzerinde kalarak değişmesiyle oluşan Akdeniz hava kütesinden sağlanmaktadır. Bölgenin herhangi bir bölümünde, yağışın dağılışı ve miktarı, genel atmosfer dolaşımına, özellikle de batı rüzgarları ile gezici orta enlem depresyonlarının gücüne ve etkinlik süresine bağlıdır. İç ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri nemli hava kütlelerinin etkisine daha kapalı olduğu için, kuraklığın en yaygın bulunduğu bölgeler durumundadır.

Türkiye iklimini özellikle yağış açısından etkileyen ana fiziki coğrafya etmenleri,

- a) Karadeniz ve Akdeniz havzaları,
- b) Kuzey ve güneyindeki batı-doğu uzanışlı yüksek dağ sıraları,
- c) Ortalama yüksekliği 1100 m yi aşan yüksek Anadolu platosu, ve
- d) Atlas Okyanusudur. Atlas Okyanusu Türkiye'ye nem taşıyan ve bereketli yağışlar bırakan nemli hava kütlelerinin doğuş bölgesidir.

Sonuç olarak, Karadeniz dağlarının güney eteklerindeki derin vadiler, Toros dağlarının kuzey eteklerinde yer alan alçak plato ve ovalar, kuytu yamaç çökmesi etkisiyle oluşan kurak/yarıkurak alanlardır. Kuzeybatı ve kuzey/kuzeybatılı hava akımlarıyla taşınan Baltık doğuşlu mP hava kütlelerinin sonbahar sonu, kışın ve ilkbahar başında Türkiye'nin kuzey ve batı bölümlerinde kuvvetli yağışlar oluşturduğu iyi bilinmektedir. Ancak, yukarıdaki satırlarda da sözü edildiği gibi, dağlara tırmanmaları ve geçişleri sırasında nem kaybına uğramaları sonucunda, Doğu Karadeniz dağlarının ve batı Karadeniz dağlık alanının (İsfendiyar, Bolu, Ilgaz ve Koroğlu dağları) kuytu güney yamaçlarında ve Kelkit çayı ve Çoruh ırmağı gibi vadi boylarında yağmur gölgesi adı verilen az yağışlı yöreler ortaya çıkmaktadır. Benzer durum Toroslar'ın kuzey yamaçları boyunca ve Konya ovası için de söz konusudur (Türkeş, 1990). Türkiye'de kurak şartların meydana gelişi, şiddeti, sona erişimi bakımından bölgeden bölgeye büyük farklar vardır. Kurak devrenin süresi

bakımından muhtelif bölgelerimizin hususiyetlerini şu şekilde sıralamak mümkündür.

a) Güneydoğu Anadolu, Akdeniz ve Ege kıyılarında ve İç Anadolu'nun merkezi kısmında kurak devrenin süresi en uzun olup 6-7 ay kadardır. Iğdır ve Van depresyonlarında da durum böyledir.

b) İç Anadolu'nun iç kısımları, Marmara bölgesi ve Doğu Anadolu'nun güney kısımlarında kurak devrenin süresi 5-6 aydır.

c) Doğu Anadolu'nun kuzey yarısı, Doğu Karadeniz'in az yağışlı bölgeleri ve Batı Karadeniz kıyılarında kurak devre 2-4 ay arasındadır, ve

d) Hiç kurak ayın olmadığı tek alan, Doğu Karadeniz bölgesinin takriben Of kasabasının doğusunda kalan bol yağışlı kısmıdır (Erinç, 1957).

Yağış etkisi, su ihtiyacı ile yağış miktarı arasındaki değişimle çok yakından ilgilidir. Su ihtiyacı esas itibarı ile sıcaklığın bir fonksiyonudur. Yağış etkisi, bir taraftan sıcaklığa, diğer taraftan yağışta meydana gelen yıllık değişimlere bağlı olarak seneden seneye değişir. Memleketimizde, aylık sıcaklık ortalamalarının bir yıldan diğerine arzettiği değişiklikler nisbeten azdır. Nisan'dan Aralık ayına kadar olan sıcak devrede aylık ortalamaların seneden seneye arzettikleri değişme $\pm 0,7-0,8$ dereceyi aşmaz. Aralık'tan Nisan'a kadar olan soğuk devrede farklar daha büyük olup $\pm 1,5-2,5$ dereceyi bulabilir. Kış devresi nisbeten kısa olduğu gibi daha büyük bir frekans arzeden sapmalar, bu devrede zaten düşük olan su ihtiyacının miktarında geniş ölçüde bir değişiklik meydana getirmez. Olumlu sapmaların tesiri de sınırlı ölçüde kalır. Bu şartlar altında, Türkiye'de su noksanı bakımından en büyük rolü, yağış miktarlarında ve bunların zamana ve mekana göre dağılışında meydana gelen sapmalar oynar. Yağış miktarlarının genel olarak büyük nisbette azaldığı senelerde bütün memleket şiddetli bir su noksanının veya kuraklığın pençesine düşer. Böyle bir durum 1928 ve 1932 yıllarında vuku bulmuştur. O yıllarda, bütün memlekette su noksanı geniş ölçüde artmış, yağış etkisi azalmıştır. Bunun neticesinde, bütün İç Anadolu, hatta kısmen Çukurova, gerçek bir çöl ikliminin hakimiyeti altına girmiştir. Bu sırada, Güneydoğu Anadolu da, Suriye çölünün sınırları içine dahil olmuştur. Aynı zamanda Trakya, güney Ege ve Doğu Anadolu'nun hemen bütün depresyonlarında şiddetli kurak şartlar ortaya çıkmıştır. Ancak, Karadeniz ve

Güneybatı Akdeniz kıyıları kurak şartların tesiri dışında kalmıştır. 1928'den bu yana, mevcut meteorolojik rasatları değerlendirmek amacı ile yağış etkisinin yıldan yıla ne şekilde değiştiğini gösteren haritalar hazırlandığı takdirde, ilginç gözlemler yapmak mümkündür. Bu şekildeki çalışmaların ortaya koyduğu üzere yağış etkisinin en büyük değişime maruz kaldığı sahalarda yarı kurak bölgelerimizdir (Erinç, 1957).

Kuraklığın tekerrürü ve şiddeti bakımından Türkiye'de, iki kurak bölge olduğu meydana çıkmaktadır. Bunlardan biri İç Anadolu, ikincisi ise Güneydoğu Anadolu'dur. Bir çok yıllarda bu iki kurak saha birleşmekte ve adeta Suriye çölünün öncülleri haline gelmektedirler. Kurak şartların en kuvvetle belirdiği yıllarda yarı kurak iklimler genişleyerek memleketin 3/4 ünden fazlasını tesiri altına almaktadır. Bu genişlemenin genel istikameti doğu-batı olup, memleketin genel coğrafyasının ana hatlarını takip etmektedir. Buna mukabil kurak şartlar hiç bir zaman Karadeniz kıyılarına erişmemektedir. Bundan ancak Samsun-Sinop arasındaki sahayı istisna etmek gerekir. Halbuki kurak şartlar bazı yıllarda Ege kıyılarının, çok daha sık olarak da Akdeniz kıyılarının orta ve doğu kısmını tesirleri altına almaktadır. Sıcaklığın alçak, yaz yağış rejiminin hakim olduğu Kuzeydoğu Anadolu platoları ile Karadeniz kıyıları ve Anadolu'nun bol yağışlı güneybatı köşesi, kurak devrelerde dahi genel olarak nemli sayılacak iklimlerin sınırları içinde kalmaktadırlar (Erinç, 1957).

1.7 Tezin Amacı

Ülkemizde kuraklıkla ilgili çalışmaları incelediğimizde genellikle yurtdışındaki çalışmaların uygulaması olarak görmekteyiz. Bunlar arasında yurtdışında geliştirilen indislerin ve modellerin kullanılması başta gelmektedir. Ancak birkaç bilim adamı tarafından ülkemizde geliştirilen indisler de bulunmaktadır. Yapılan indis ve model çalışmaları tamamen ithal niteliktedir. Kullanılan modellere ülkemiz şartlarını içeren eleştirilerin ve sorgulamanın yapılması gerekmektedir. Çalışmamızda bu amaç doğrultusunda Standart Yağış İndisi (SYİ) denilen kuraklık indisine yeni eleştirel yaklaşımlar geliştirilmiştir. Ayrıca, kuraklık çalışmalarında yağış temel değişken olarak alınmaktadır, fakat yağış ölçümü olmayan dönemlerde indislerde ve modellerde problemler ortaya çıkmaktadır. Yağış eksikliği dönemlerinde diğer sürekli meteorolojik değişkenlerle (örneğin sıcaklık ve nem gibi) kuraklığa yorumlar getirmeliyiz.

Yapılması önerilen çalışmamızda “Meteorolojik Kuraklık Modellemesi ve Türkiye Uygulaması” hedeflenmiştir. Daha önceki çalışmalardan anlaşılabileceği gibi kuraklık yağış eksikliği ile başlar; hava, toprak ve su gibi canlı ortamın temel bileşenlerini yavaş ve ciddi kayıplarla etkiler. Bugüne kadar yapılan çalışmalar kuraklığın en tehlikeli doğal afet olduğunu göstermiştir. İncelenen araştırmaları zaman serisi analizleri, stokastik olasılık yoğunluk fonksiyonları ve indisler olarak özetleyebiliriz. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda kuraklığın tekrar periyodunun belirlenmesi, olasılıklarının incelenmesi veya izlenmesi (monitoring) amaçlanmaktadır.

Literatürde birçok çalışma olmasına rağmen kuraklık etkileri artarak devam etmektedir. Özellikle, ülkemizde kamu kuruluşları tarafından yönetilmekte olan hava, toprak ve su işletmeleri son yıllarda artarak şiddetlenen kuraklığın pençesinde kalmıştır. Bu gelişmeler de ülke insanının hem sosyal, hem de ekonomik refahını etkilemektedir. Ülkemizin mevcut kuraklıkla mücadele programları olmadığından dışarıya bağımlı olarak, yani yurt dışından ithal edilen modellerle konuya çözüm aranmaktadır. Burada belirtilmesi gereken diğer üzücü bir durum da, bahsi geçen kamu kuruluşlarının birbirinden kopuk olarak çalışmalar yapması, maddi ve insan gücünü boşa sarf etmesidir. Bütün bu problemler önceden tahmin edilerek veya izlenerek çözüm yolları geliştirilebilen ve planlama yapılabilen kuraklığın ülkemiz için önümüze vahim bir tablo çizdiği bir gerçektir.

Yapılacak çalışmada kuraklıkla ilgili temel elemanların tesbit edilip alansal ve zamansal değişimlerin izlenmesi amaçlanmıştır. Kuraklığın bugüne kadar çözüme ulaştırılmaya çalışılan temel elemanlarını kuraklık süresi, miktarı, kuraklığın sıklığı, periyodu ve kapladığı alan şeklinde sıralayabiliriz. Etkileyen faktörleri de sıcaklık, hava nemi, toprak nemi, toprak özelliği, bitki örtüsü ve insan faaliyetleri olarak sıralayabiliriz.

Yukarıda sözü edildiği gibi kuraklık, ülke ekonomisi ve toplum yaşantısı üzerinde yıkıcı sonuçları olan bir iklim elemanıdır. Ülkemiz iklim sınıflandırmasında yarı-kurak bir bölgede yer almaktadır. Bu nedenle, kuraklığın izlenmesi ve önceden önlemlerin alınması önem arz etmektedir. Yine çalışmamızda kuraklığın incelenmesinde yalnızca yağış serisinden faydalanılması değil, diğer meteorolojik değişkenlerin de kullanılması düşünülmüştür. Burada yağışa ilave olarak sıcaklık

ve nem de hesaplamalara katılmıştır. Kuraklığın takip edilmesinde eğer yağış verisi yoksa kuraklık indisinin hesap edilmesi mümkün olamamaktadır. Kuraklık indis hesaplamalarında kullanılan toprak nemi gibi ülkemizde ölçümü henüz yapılmayan değişkenlerin kullanılması ancak ülkemizde küçük ölçekli bölgelerde yapılabilmektedir.

Dünyanın farklı bölgelerinde geniş alanlarda ortaya çıkan kuraklık beraberinde açlığı, kıtlığı ve işsizliği getirdiğinden toplum üzerinde kalıcı etkileri olan meteorolojik karekterli doğal afettir. Kuraklık, eğer izlenebilirse etkileri en aza indirilebilir. Kuraklığın alansal ve zamansal değişimi takip edilebilir. Geçmiş dönemlere ait yağış verisinin analizi ile kuraklık genliği (alanı), süresi ve şiddeti elde edilir. Araştırmacılar tarafından kullanılan indisler birçok fayda ve sakıncayı da beraberinde getirmektedir. İndislerin tam anlamı ile kuraklığı ifade etmeleri mümkün olmamaktadır. Çünkü indislerin geliştirilmesi araştırmacıların çalıştıkları alana bağlı olarak farklılık göstermektedir. Eğer araştırmacı hidrometeorolog ise yağıştaki azalma, hidrolog ise akıştaki azalma ile ilgilenmektedir. Böylece geliştirilen indis, bünyesinde ya yağış ya da akışı ihtiva etmektedir. Son 10 yılda geliştirilen SYİ indisi yağışa bağlıdır. Ancak, yağış olmadığı aylarda çözüm anlamsızlaşır. Bu nedenle, indisteki eksikliği giderecek ilave bilgi eklenmelidir. Bu amaçla, tezde şiddetli ve hafif kurak alanlardaki kuraklık sınıflandırmasında aynı referans seviyelerinin kullanılmasında, SYİ'nin kuraklığı tam yansıtmadığı görülmüştür. Farklı alanlar için yağıştaki değişimi ölçüm yapılan istasyona bağlı olarak tanımlamak ve istasyonun özelliklerini yansıtan kuraklık referans seviyesinin belirlenmesine ait yeni yaklaşım bu tezde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Kuraklığın alansal ve zamansal değişimi elde edilen haritalar ile ortaya konulacaktır. Araştırmalar şunu göstermiştir ki ülkemizde kullanılan yöntemlerin başında Palmer kuraklık şiddeti hesaplamaları gelmektedir. Son yıllarda da Devlet Meteoroloji İşleri tarafından SYİ kullanılmaktadır. Yapılan tez çalışmasında SYİ'ye farklı bir yaklaşım getirilmesi, bunun yanında daha önce kuraklık hesaplamalarında hiç kullanılmamış olan yağış, sıcaklık ve nemin kullanılması ile kuraklığın izlenmesi sağlanmıştır.

Ülkemiz, dünya üzerinde yarı kurak bir bölgede yer almaktadır. Bu da kuraklığın farklı dönemlerde büyük felaketlerle karşımıza daima çıkacağını göstermektedir. Bu

nedenle, ÷lkemiz için maksimum kuraklık s÷resi, genliği ve şiddetinin alansal olarak belirlenmesi, kuraklık meydana gelirken, yağışla birlikte diğer meteorolojik değişkenlerde g÷zlenen değişimlerin nasıl olduğunun tesbit edilmesi gerekmektedir. Kuraklık değişken ve parametrelerinin belirlenmesi, farklı istasyonlar arasındaki bilgi alışverişinin saptanmasına da katkıda bulunmaktadır. Bu alışma, yavaş yavaş gelen sinsi ve en yıkıcı doğal afet olan kuraklığın ÷lkemiz için önemli elemanlarının tesbit edilip izlenmesi ile ilgili olarak t÷m etkilerini en aza indirebilmek için orijinal kapsamlı yenilikler getiren bir araştırma olmayı hedeflemiştir.



2. KURAKLIK İNDİSLERİ

2.1 Genel Bilgi

Kurak alanlar, kuraklığın yayılımı, kurak devreler ve tekraralama oranı gibi özellikler, günlük, aylık ve yıllık iklim elemanlarını ve uzun süreli normalleri (ortalamaları) içeren çeşitli ilişkiler kullanarak saptanabilir. Kuraklık probleminin çok karmaşık olduğu yerlerde, yalnızca meteorolojik / klimatolojik elemanları içeren indislerin kullanımına, genellikle karşı çıkılmaktadır. Bu görüşlere göre, böyle alanlarla ilgili tüm fiziksel ve biyolojik etmenleri tek başına tümüyle hesaba katabilecek bir indis bulunmamaktadır (Gbeckor ve Kove, 1989).

Su varlığının tanımlamasıyla, ya da gösterilmesiyle ilgili birçok etmen bulunmasına rağmen, su potansiyelini, bitkilerin su gereksinimlerini ve kuraklığı değerlendirmek için en kullanışlı gösterge yağıştır. Yağış zaman ve alan ile süreklilik göstermediği için, istatistiksel değerlendirilmesi çok karmaşık bir iklim elemanıdır. Buna karşılık, kuraklık ve çölleşme ile savaşım için gerçekleştirilen her girişim, özellikle kurak ve yarı kurak alanlarda, alanın yağışını göz önünde bulundurmaktır zorundadır. Kurak, ya da yarı kurak otlak alanlarında evcil hayvanların yararlandığı meralar tehlike sınırında bulunmaktadır. Birbiri ardınca gelen kurak yıllar uzun süreli çölleşme süreçlerini destekleyebilir. Konuyla ilgili olarak Afrika'da son 20 yıl içinde ortaya çıkan kuraklıklar ve özellikle Sahel, Sudan ve Etiyopya kuraklıkları dikkat çekici ve öğreticidir.

Yaygın insan kullanımının ya da baskısının bulunmadığı az zarar görmüş ekosistemler, genellikle doğal olaylardan kaynaklanacak yıkıcı etkileri karşılayabilecek güçtedir. Ancak, bu tip ekosistemler kurak yılların ve tarım alanlarındaki yoğunluğun (fazla ekili alan) ortak etkilerinden genellikle korunamazlar. Bu ortak etkiler, rüzgar ve su erozyonunu destekleyebilirler. İşte o zaman, bu etkiler sürekli, ya da aralıklı çölleşme olaylarını yönlendirecektir. Özetle

yağış, yarı kurak alanlarda bir sınırlayıcı faktör olduğuna göre, yağış verilerinin gözetimi ve bitki örtüsünün, su kaynaklarının ve potansiyel çölleşmenin durumunu saptama yönünden çok önemlidir.

Kuraklıkların alansal ve zamansal özelliklerini saptamak amacıyla kullanılan indisler, yağış gibi tek bir meteorolojik parametrenin kullanımından birçok değişkeni içeren kompleks yöntemlerin (Palmer, 1968) kullanımına kadar uzanmaktadır. Bazıları da, su dengesi eşitliğine dayanmaktadır. Tarımsal ürünlerin, çiftlik hayvanlarının, çayırların / otlakların, yaban yaşamının üzerinde kuraklığın oluşturduğu etkilerin kullanımı da oldukça yaygındır.

2.2 Kuraklık İndisleri

Çeşitli indislerle ilgili ayrıntılı bilgi, WMO (1975 a, b), Erinç (1965, 1969), Ogallo (1989) ve Rao (1986)'dan elde edilebilir. Ancak, kuraklık ve kuraklık olasılığı indislerinin üstün ve zayıf yönleri de bulunmaktadır.

2.2.1 Yaygın İndisler

Günümüzde en doğru, ayrıntılı ve yeterli kuraklık indislerinin esas olarak su kaynağı ve bir sistemin su isteği arasındaki dengeyi tanımlayan su dengesi eşitliğinden türetilenler olduğu konusunda yaygın bir düşünce bulunmaktadır (Ogallo, 1989; Gbeckor-Kove, 1989). Bitki-toprak ortamı için kullanılan örnek bir su dengesi eşitliği aşağıda verilmiştir:

$$P = Q + V + E + B + W \quad (2.1)$$

Burada, P, yağış; Q, akışa geçen su; V, derine sızma; E, buharlaşma+terleme; W, toprak su içeriğindeki değişim ve B, bitki içindeki su birikimidir. Şiddetli kurak devreler için, P, Q ve V sıfıra yakındır ve W, B ve E arasındaki denge kuraklık olayının şiddetini verir. Haftalık toprak nemi koşullarını değerlendirmek için kullanılabilen PKŞİ (Palmer, 1968), su dengesi eşitliğine iyi bir örnektir. Bu indis ayların sayısı, beslenme faktörü (mm), kayıp ve su denge faktörüne bağlıdır. Ancak, burada belirtmek gerekir ki, en gerçekçi kuraklık olasılık indisleri su dengesi modellerinden türetilenler oldukları halde, genellikle buna benzer yöntemlerin bir

çok yerde kullanımını sınırlayan sorunlar bulunmaktadır. Bunlar modeli oluşturan parametrelerin doğru hesaplanmasıyla, ya da sağlanmasıyla ilişkili güçlükleri içermektedir. Ayrıca, yağış gözlem ağıyla karşılaştırıldığında, su dengesi modellerine giren bazı parametrelerin gözlem ağı sıklığı yeryüzünün birçok alanında oldukça yetersizdir (WMO,1983).

Yağış etkinliğini, çeşitli klimatolojik şartların fonksiyonu olarak formüllerle ifade etmek için pek çok deneme yapılmıştır. Bunlardan biri W. Köppen'in formülleri olup, yağış miktarı, rejimi ve sıcaklık arasındaki ilişkilere dayanır. Buna göre kurak bölgenin sınırı:

$$\text{Kışı az yağışlı sahalarda} \quad p = t$$

$$\text{Kışı yağışlı sahalarda} \quad p = t + 14$$

$$\text{Tam yağışlı sahalarda} \quad p = t + 7$$

denkleminin erişildiği çizgiden geçer. Burada p, santimetre cinsinden yıllık yağışı; t, santigrad cinsinden yıllık ortalama sıcaklığı ifade eder. En kurak yaz ayı, en yağışlı kış ayının yağış miktarının 1/3 ünden daha az yağış alan istasyonlar kışı yağışlı tipi gösterir. En kurak kış ayı, en yağışlı yaz ayının 1/10'undan az yağış alan istasyonlar ise, yazı yağışlı olarak adlandırılır. Tam yağışlı sahalar ise yukarıdaki şartlardan hiç birine dahil olmayan yerlerdir. Köppen'in formülleri basit ve pratik olmakla beraber çok kabadır ve bilhassa hidroloji bakımından tatminkar neticeler vermez. Klimatolojik araştırmalarda çok kullanılan diğer bir yağış etkinliği formülünü 1926'da Fransız coğrafyacısı Emm. de Martonne tarafından teklif edilmiş olan kuraklık indisi formülü teşkil eder. Bu formülde P, milimetre cinsinden yıllık yağışı; T, derece cinsinden yıllık ortalama sıcaklığı; İ, kuraklık indisini (yıllık) ifade eder:

$$I = \frac{P}{T + 10} \quad (2.2)$$

Bu formülün uygulanması halinde elde edilen indisler ne kadar büyükse, yağış etkinliği o kadar fazla, yani iklim o nisbette nemlidir. Buna karşılık, indisi 10'dan küçük olan sahalar çöllerle tekabül eder ve burada sulama gereklidir. İndisleri 10-20 arasında olan sahalar yarı kurak sahalardır. İndisleri 20-30 arasında olan bölgeler ise

kuraklığa elverişli bölgelerdir. İndisleri 10 dan küçük olan bölgelerde daimi bir akış yoktur ve bu sahalar kurak bölgeleri meydana getirirler. İndisi 10-20 arasında olan sahalar dahili drenaj sahalarıdır. Nihayet indisi 30 dan fazla olan bölgeler ise, harici drenaja bağlı ve daimi akışa sahip bölgelerdir. Bu formülü aylık olarak kullanmak da mümkündür.

Thornthwaite formüllerine göre herhangi bir istasyonun yağış etkinliği aşağıdaki formülle tesbit edilir.

$$I_{nem} = \frac{100s - 60d}{n} \quad (2.3)$$

Burada I_m , nemlilik indisini; s, aylık su fazlasının yıllık toplamını; d, aylık su noksanının yıllık toplamını; n, potansiyel evapotranspirasyonun yıllık değerini gösterir. Nemli iklim bölgelerinde indis değeri pozitif, kurak iklimlerde ise negatiftir, indisin sıfıra eşit olduğu yerler, nemli ve kurak sahalar arasındaki sınırı teşkil eder.

Meteorolojik kuraklığı gösterebilmek amacıyla, elde edilmesi kolay olduğu için en yaygın olarak kullanılan yağış istatistiği ortalamalar ya da normallerdir. Ancak, ortalamalar yağış dizilerindeki önemli farklılıkları değerlendirmek bakımından uygun bir istatistik değildir. Çok yıllık yağış toplamalarının dağılımı, normalden önemli bir fark göstermeyebilir, ama aylık ya da günlük toplamalar, normal (Gaussian) dağılımından belirgin ayrılıklar gösterir. Gibbs (1964, 1975) günlük, aylık ve hatta yıllık yağış toplamalarının kare köklerinin hemen hemen normal dağıldığını göstermiştir. Ona göre, kare kökü alınan değerlerin ortalama ve standart sapması tüm yağış dağılışının yeterli bir göstergesi olabilir.

Gibbs ve Maher (1967) tarafından geliştirilen, yağışın sıklık dağılımının karakteristiklerine ait genel bir sınıflandırma, Avustralya meteoroloji bürosunun yağış çalışmalarında 1969 yılından beri kullanılmaktadır. Burada ortalama terimi, aylık yağışın 30. ve 70. yüzdebirler arasındaki oluşunu tanımlamak için kullanılmıştır. İlk onluk birim aralığı şiddetli ya da tam kurak koşulları, onuncu onluk birim aralığı tam nemli koşulları gösterir, sınıflandırma aşağıdaki Tablo 2.1'de verilmiştir.

Son yıllarda kurak iklimlerin ve yeryüzünün kurak ve yarı kurak alanlarındaki çölleşmeye eğilimli ya da çölleşme süreçlerinin tehdit ettiği alanların saptanmasında en çok kullanılan indis Budyko-Lettau kuraklık oranıdır. Budyko'nun 1958 yılında gerçekleştirdiği ışıma bağlı indisi Lettau (1969) tarafından kuraklık oranı olarak adlandırılmıştır.

Tablo 2.1 Frekans sınıflandırması.

Tanımlama	Yüzdebirler aralığı	Onluk aralığı
Ortalamanın çok çok üzerinde	90'ın üzerinde	10
Ortalamanın çok üzerinde	80-90	9
Ortalamanın üzerinde	70-80	8
Ortalama	30-70	4-7
Ortalamanın altında	20-30	3
Ortalamanın çok altında	10-20	2
Ortalamanın çok çok altında	10'un altında	1

Kuraklık miktarı;

$$D = \frac{R_i}{L_b P} \quad (2.4)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Bu eşitlikte R_i , yeryüzünde yıllık ortalama net ışıma, P , yıllık ortalama yağışı ve L_b , su için buharlaşma gizli ısını gösterir. Diğer deyişle, kuraklık oranı, yeryüzündeki net ışıma enerjisi bilançosunun, bir yılın yağış tutarını buharlaştırmak için gereken ısı enerjisine oranıdır. Yıllık ortalama değerlerle ilgili olup, rüzgar sistemleriyle getirilen ısı enerjisini içermez (Hare, 1983 ve 1985). Budyko (1958, 1974) kendi indisi için Tablo 2.2'deki sınıflandırmaları önermiştir. Budyko önemli bir canlı kütleye sahip olan bir çok kurak (arid) ekosistemi çöl olarak tanımlamıştır. Hare (1983) Budyko'nun kuraklık oranı sınır değerlerini ve bunların bitki gelişmesi karşılıklarını çölleşme eğilimlerine göre yeniden düzenlemiştir.

Tablo 2.2 Budyko sınıflandırması.

Kuraklık oranı	Bitki durumu
> 3.4	Çöl
2.3-3.4	Yarıçöl
1.1-2.3	Step (ya da savan)

Öte yandan asıl ilgiyi kuraklık oranı 2-7 arasında olan kara alanlarında toplamıştır. Bu alanlar çölleşme olaylarının önemli boyutlarda olduğu yerlere karşılık gelmektedir. Hare (1983) aşağıda Tablo 2.3’de verilen ilişkileri belirlemiştir.

Tablo 2.3 Kuraklık sınıflandırması

Kuraklık oranı	Aridite kuşakları
> 10	Tam çöl. Yer altı suları ya da birbirine bağlı kuyu sistemlerinin dışında yerleşmelerin bulunmaması nedeniyle çölleşmenin etkisi önemli değil.
7-10	Çöl kenarı. Çölleşme çiftlik hayvanlarından yararlanan kuşaklarda etkili.
2-7	Yarıkurak kuşak. Fazla çiftlik hayvanı yetiştirilmesi ya da toprağın işlenmesi (fazla ekim) nedeniyle yaygın çölleşme.
<2	Yarınemli nemli iklimler. Çölleşme az.

2.2.2 Normal Yüzde İndisi

Normal yağış yüzdesi (NYY), bir yer için yağışın en basit ölçülerinden biridir. Tek bir bölge veya mevsim için kullanıldığında normalin yüzdesi analizi oldukça etkindir. Ancak kolaylıkla yanlış anlaşılabilir ve yer ile mevsime bağlı olan şartları farklı gösterebilir. Aktüel yağışın, normal yağışa-tipik olarak 30 yıllık ortalama göz önüne alınır-bölümüyle hesaplanır ve %100 ile çarpılır. NYY indisi çeşitli zaman ölçekleri için hesaplanabilir. Genellikle bu zaman ölçekleri, belirli bir mevsimi temsil eden belirli bir aydan bir grup aya, yıl veya su yılına göre sıralanabilir. Belirli bir yer için normal yağış %100 kabul edilir. ABD İklim Tahmin Merkezi tarafından yayınlanan bir kuraklık bülteninde yer alan, Haziran-Ağustos 1993 yazı boyunca Midwest’teki kuraklığın şiddetini belirtmek için bu süre zarfındaki yağışın normaline olan yüzdeleri (yani NYY indis değerlerini) alansal haritalarla gösterilmiştir.

Normal yağış yüzdesinin kullanılmasındaki dezavantajlardan biri ortalama yağışın, uzun süreli iklim kayıtlarında oluşan yağışın %50’si tarafından aşılacak değer olan

medyan yağışı değeri ile genelde aynı olmamasıdır. Bunun sebebi, aylık veya mevsimlik ölçekteki yağışların dağılımının normal olmamasıdır. Normalin yüzdesi yönteminin kullanılması ile ortalama ve medyanın aynı olduğu yani verinin normal dağılıma uyduğu kabul edilmektedir. Bu karışıklığa örnek olarak Avustralya'nın Melbourne şehrinde Ocak ayı için uzun süreli yağış kayıtları gösterilebilir. Ocak ayının medyan değeri 36 milimetredir. Buna göre yılların yarısında 36 milimetreden daha az diğer yarısında ise 36 milimetreden daha fazla yağış kaydedilmiştir. Ancak 36 milimetrelilik Ocak ayı toplamı ortalamayla karşılaştırıldığında normalin yalnızca %75'i olacaktır ve bu da oldukça kurudur (Willeke ve diğ., 1994).

Kuyruk (Decile) aylık yağış verilerinin kuyruk şeklinde düzenlenmesi ile elde edilen bir kuraklık takip tekniğidir. Gibbs ve Maher (1967) tarafından “normalin yüzdesi” yaklaşımının bazı zayıflıklarından kaçınmak için geliştirmiştir. Geliştirdikleri teknikte uzun süreli yağış kayıtlarından oluşan dağılım her %10 için bölümlere ayrılarak, her bir kategori “kuyruk” olarak adlandırılır. Birinci kuyruk, oluşan yağışın en düşük %10'u tarafından aşılmayan yağış miktarıdır. İkinci kuyruk, oluşan yağışın en düşük %20'si tarafından aşılmayan yağış miktarıdır. Bu kuyruklar uzun süreli yağış kayıtları içinde en büyük yağış miktarının onuncu kuyruk tarafından belirlendiği yağış miktarına kadar devam eder. Bu tanımlamaya göre beşinci kuyruk medyandır ve kayıt periyodu boyunca oluşan yağışın %50'si tarafından aşılmayan yağış miktarıdır. Kuyruklar Tablo 2.4'de gösterilen beş sınıfta gruplanır.

Tablo 2.4 Kurak ve ıslak periyotlar için ondalık sınıflar

Ondalık	Yüzde Miktar	Sınıf
“ 1-2	%20'nin çok altında	normalin çok altı
“ 3-4	%20'ye yakın	normalin altında
“ 5-6	%20 civarında	normale yakın
“ 7-8	%20 nin üstünde	normal üstü
“ 9-10	%20 nin çok üstü	normalin çok üstü

Kuyruk metodu, Avustralya kuraklık gözlem sisteminde kuraklığın meteorolojik ölçüsü olarak seçilmiştir. Çünkü hesaplanması göreceli olarak daha basittir, daha az veri çeşidine ve Palmer Kuraklık Şiddeti İndisine göre daha az kabule ihtiyaç duyar (Smith ve diğ., 1993). Yağış normalinin yüzdesine dayandırılan sisteme benzemeyen kuraklık sınıflamasındaki bu tekdüzelik, uygun kuraklık cevabının belirlenmesinde

Avustralyalı yetkililere yardım etmektedir. Kuyruk analizinin dezavantajı, kuyrukların doğru hesaplanabilmesi için uzun klimatolojik kayıtlara ihtiyaç duyulmasıdır.

2.2.3 Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi

Palmer (1965) yerel olarak yağış eksikliklerini içeren toprak nemindeki gidişlerin değişimini ölçmek için bu indisi geliştirmiştir. İndis su dengesi eşitliğinden arz-talep yaklaşımına dayandırılmıştır. PKŞİ'nin amacı, standartlaştırılmış nem şartlarının ölçümlerini sağlamak için alanlar ve aylar arasında karşılaştırma yapabilmektir (Palmer 1965). PKŞİ bir meteorolojik kuraklık indsidir ve anormal kuru veya ıslak hava şartlarına cevap verir. Şartlar kurudan normale ve sulak şartlara değişirken akarsular, göl ve su biriktirme haznesi seviyeleri ve diğer uzun dönemlere ait hidrolojik etkiler sona erer (Karl ve Knight, 1985). PKŞİ yağış, akış, sıcaklık, buharlaşma+terleme verileri gibi birçok değişkenle hesap edilir ve alansal olarak toprağın uygun su içeriğini yani toprak nemini içine alır. Girdilerden su denge eşitliğinin buharlaşma, toprak nemi, akış ve yüzeyden olan nem kayıpları gibi temel terimleri belirlenebilir. Ancak su dengesi üzerindeki insan etkileri, sulama gibi PKŞİ'nde düşünülmemiştir (Alley, 1984).

Palmer kuraklığın (veya ıslaklığın) süresinde incelemek için PKŞİ'yi geliştirdi. Bu yaklaşımda uzun dönem kuraklık ortalamalarında bulunan anormal ıslak ayın indise etkisi büyük olmamalıdır. Bir kuraklık serisinde normale yakın yağışların bulunduğu yerde kuraklık aşılmıştır anlamı çıkarılmamalıdır. Bu yüzden Palmer kuraklığın veya sulak dönemin başlaması ve bitmesini belirlemek için bir tablo halinde kriterler geliştirmiştir (Tablo 2.5). Palmer (1965) bu kriterleri tanımladı ve örnekledi ayrıca detayları da Alley (1984) tarafından açıklanmıştır. Son zamanlarda PKŞİ artık meteorolojik indis değil, hidrolojik indis olarak Palmer hidrolojik kuraklık indisi olarak tanımlanır, çünkü nem, yağış, akış ve depolamayı da hesaba katar (Karl ve Knight, 1985). Modellenen PKŞİ kurak ve sulaklık arasındaki geçiş dönemlerinde farklılıklar gösterir. PKŞİ'yi hesaplamak için modeller geliştirilmiştir (Heddinghaus ve Sabol, 1991). Palmer indisleri arasındaki benzerliklerden, Palmer indis ve Palmer kuraklık indisi terimleri indislerin genel karakterlerini tanımlamak için kullanılır. Palmer indis kabaca -6 ve +6 arasında nem şartlarının ölçeğini sınıflamak için seçilir (Tablo 2.5).

Tablo 2.5 Sulak ve kurak periyotlar için PKŞİ sınıflandırması (Palmer, 1965).

Sınıf aralığı	Sulak ve kurak şartlar
4 veya daha fazla	uç sulak
3.0 - 3.99	çok sulak
2.0 - 2.99	orta sulak
1.0 - 1.99	oldukça sulak
0.50 - 0.99	az sulak
0.49 - (-0.49)	normale yakın
-0.50 - (-0.99)	az kurak
-1.00 - (-1.99)	hafif kurak
-2.00 - (-2.99)	orta kurak
-3.00 - (-3.99)	şiddetli kurak
-4 ve daha küçük	ekstrem kurak

Haftalık Palmer indis değerleri (gerçek modife edilmiş PKŞİ değerleri) her yıl bitki büyüme mevsimi esnasında iklim bölümünde hesaplanır ve haftalık hava - bitki bültenlerinde yayınlanır. Toprak nem şartları için oldukça hassas ölçüm verdiğinden, tarımda yaygın bir biçimde kuraklık izleme aracı olarak da faydalanılmaktadır (Willeke ve diğ., 1994). PKŞİ'nin 3 tane yararlı özelliği belirlenmiştir (Alley, 1984). Bunlar;

1. Bir bölge için yakın zamanda hava olaylarındaki anormalliğin ölçüsüne karar verici olarak kolaylık sağlar.
2. Bir bölgeye hakim olan şartlar için tarihsel açıdan görüş sağlar.
3. Geçmiş kuraklıkların zamansal ve alansal temsilliğini sağlar.

Palmer indisinin kullanılmasında bazı sakıncalar da vardır. Ayrıntıları Alley (1984), Karl ve Knight (1985) tarafından tanımlanmıştır. Bunlar;

1. Değerleri kuraklık şiddetini miktar olarak belirler ve kurak veya sulak gidişlerin başlamasını ve bitmesini işaretlendirir.
2. Palmer indisi toprak nem tipi yeterli su içeriği (Avalaible Water Content; AWC) için hassastır. Ancak, uygulanan indis bir iklim bölgesi için oldukça genel olabilir.

3. Toprak seviyeleri arasındaki su dengesi hesaplamaları kolaylaştırılmıştır fakat alansal çalışmalar için tam doğru olarak temsili olmayabilir.
4. Kar yağışı, kar örtüsü ve donmuş yer bu indiste yer almaz. Bütün yağışlar yağmur olarak alınır, böylece PKŞİ değerleri kışın ve bahar aylarında kar yağışı olan bölgelerde yanlış olabilir.
5. Yağış düştüğünde ve akışa dönüştüğünde bunların arasında doğal bir ilişki düşünülmemiştir. Yüzeyde ve alt yüzeylerdeki toprak seviyesi dolana kadar akış meydana gelmez. Bu durum modelde yer almadığı için akım tahmin edilemez.
6. Potansiyel buharlaşma Thornthwaite yöntemi kullanılarak tahmin edilir. Bu teknik geniş kabul görür, fakat bu sadece bir yaklaşımdır.

Diğer bir çok araştırmacıda, PKŞİ'nin eksikliklerini sunmuştur (McKee ve diğ., 1995). PKŞİ ABD'de uygulanmış diğer ülkelerde de kabul görmüştür. Bununla ilgili olarak Smith ve diğ. (1993) PKŞİ'nin alansal olarak özellikle uç yağış ve akış değerlerinde iyi olmadığını belirlemişlerdir. Örnekler, Avustralya ve Güney Afrika'da verilebilir. PKŞİ'nin diğer zayıf tarafı, ülkenin bazı bölgelerinde diğerlerinden daha fazla sıklıkta “uç” ve “şiddetli” kuraklık sınıflaması meydana gelir (Willeke ve diğ. 1994). Büyük alanlarda “uç” kuraklıkların sıklık oranları %10'dan daha büyük olur. Bu limitler iki bölge arasında kuraklıkların şiddetinin doğru olarak karşılaştırılmasına izin verir.

2.2.4 Yüzey Su Sağlama İndisi

Shafer ve Dezman (1982) tarafından geliştirilmiştir, Colorado eyaletindeki nem şartları için tanımlanmıştır. PKŞİ homojen bölgeler için toprak nemi şartlarına cevap verir. Bir bölgede geniş topoğrafik değişimler için düzenlenmemiştir. Kar toplamı ve sonraki akış için hesap edilemez. Bu durumda Shafer ve Dezman yüzey su şartlarının göstergesi olarak SWSI'ni (Surface Water Supply Index) tasarlamış ve “dağ su bağımlılığı” olarak indisi tanımlamıştır. Ayrıca, dağ kar yığınları da ana eleman olarak tanımlanır. SWSI'nin amacı, Colorado eyaletinde her bir ana nehir yatağı için hem hidrolojik hem de iklimsel özellikleri PKŞİ'ne benzer basit değerler yansıtarak karşılaştırmaktır. SWSI için 4 girdi gerekir bunlar; kar yığını, akış, yağış ve su biriktirme haznesi depolamasıdır. SWSI mevsime bağlıdır ve kışın kar yığını, yağış

ve su biriktirme haznesi depolamasını hesaplamaya yarar. Yaz ayları esnasında akım SWSI eşitliğinin içinde bir eleman olarak kar yığını ile yer değiştirir. Belirli bir alandaki akımları SWSI yaklaşımı ile tesbit etmek için aylık veriler bütün su biriktirme hazneleri, kar yığını/akım ve yağış ölçüm istasyonlarında yatağın üzerinde toplanır. Her bileşke uzun dönem veri kümesinden faydalanılarak ve sıklık analizi kullanılarak normalleştirilir. Aşılmanın olmama olasılığı sıklık analizinde her bir elemana bağlı olarak elde edilebilir. Bu da bileşenler arasındaki olasılığın karşılaştırılmasına izin verir. Her bir elemanın havza su yüzeyi içinde karşılaştırılmasına bağlı olarak ağırlıkları işaretlenebilir. Bu ağırlık bileşkeleri tüm havzayı temsilen SWSI değerini tanımlamak için toplanabilir. PKŞİ gibi, SWSI -4.2 ve +4.2 arasındaki değerlere sahiptir. Düz alanda değil eğimli arazide toprak nemini araştırmıştır. Ancak, kar erimesi bu indise dahil edilmemiştir. SWSI, PKŞİ ile birlikte uzunca bir dönem kullanıldı, bu indisin avantajları şunlardır.

1. Bir bölgenin yüzey su kaynaklarının ölçümleri hakkında bilgi verir ve hesaplamada kolaylık sağlar.
2. ABD'nde diğer batılı bölgeler de gayet iyi olarak modellenir ve uygulanır.

Bu indisin mahsurları da şunlardır.

1. SWSI'nın birçok karakteri, uygulamada sınırlamalar getirir. Sisteme yeni alınan her bileşen için tekrar model kurulması ve bileşenin etkisinin belirlenmesi için yeni sıklık analizine ihtiyaç vardır.
2. Su yönetiminin alışılmış değişiklikleri akım ayrılması veya yeni su biriktirme haznesi eklenmesi gibi SWSI'ne yeni alınan her bir bileşen için yeni algoritmalar geliştirmek gerekir. Böylece, indisinin homojen zaman serilerinden hesaplanması çok zordur.
3. Eğer olaylar geçmiş zaman serisine dayandırılmış ise ekstrem olaylarda probleme neden olurlar. İndisdeki temel bileşenlerin sıklık analizi ile bu olayların tekrar değerlendirilmesi gerekmektedir.

2.2.5 Ürün Nemi İndisi

Buna ingilizce’de Crop Moisture Index (CMI) adı verilir. ÜNİ bitki şartlarının haftadan haftaya izlenmesini sağlayan meteorolojik bir indistir. Palmer tarafından 1968’de PKŞİ’nin hesaplama usulünden geliştirilmiştir. PKŞİ uzun dönem meteorolojik sulak ve kurak gidişlerinin izlenmesi, ÜNİ ise kısa dönem bitki gelişimine karşı gelen kısa dönem nem şartlarını belirlemek için düzenlenmiştir. ÜNİ ortalama sıcaklığa ve toplam yağışa bağlıdır. Her hafta iklim bölümü tarafından ölçümü yapılan ÜNİ değeri gelecek haftaya da ilave edilir. ÜNİ değişim şartlarına hızlıca cevap verir. Alansal ve zamansal bilgi veren haritalar elde edilir. ABD’de yaygın olarak haftalık kuraklık izleme ve farklı bölgelerde nem şartlarını karşılaştırmak için kullanılır. ÜNİ kısa dönem nem şartlarını izlemek için geliştirilmiştir. Bu indis uzun dönem izlemelerde başarılı değildir. Ayrıca kısa dönem değişimlerde hızlı bir şekilde cevap verdiğinden uzun dönem şartları için yanlış bilgi elde edilebilir. ÜNİ’nin karakteristik özelliği uzun dönem kuraklık izlemedeki sınırlamalarıdır. Bu sınırlama kurak dönem genellikle birkaç yılı aştığı için nem şartlarını izlemeyi önler. ÜNİ bitki gelişim mevsiminin başlangıcında tohumlama aşamasında kullanılması uygun değildir.

2.2.6 Erinç İndisi

Türkiye’nin kuraklık sorununu ve kurak/nemli alanlarını ve devrelerini gösterebilmek amacıyla, çeşitli zamanlarda birçok araştırmacı tarafından en çok kullanılan indis Erinç indisidir (Erinç, 1965). Girdi olarak yağışa ve buharlaşmayla su kaybına yol açan esas etmen olarak maksimum sıcaklığa dayanmış ve yağış etkinliği, ya da kuraklık indisi-eşitliğini önermiştir. Eşitlikte yağış etkinliği yıllık yağış tutarını (mm) ve yıllık ortalama maksimum sıcaklığa oranı olarak gösterilir. Buharlaşma+terleme ile kaybın çok olması nedeniyle, aylık ortalama maksimum sıcaklığın 0’dan düşük olduğu aylar göz önüne alınmaz. Böylece buharlaşma+terlemenin etkili olamadığı donlu ayların sıcaklık ortalamasını düşürücü ve bu nedenle de yağış etkinliği bakımından aldatıcı etkileri ortadan kalkmış olur. Buna karşılık, aynı aylarda düşen ve bir bölümü sonraki aylarda buharlaşma+terlemeye uğrayan kar veya buz olarak tutulmuş yağışların olumlu etkisini göstermek mümkün olmaktadır (Türkeş, 1990). Erinç, indis sonuçlarını bitki

gelişme formasyonlarının yayılış alanları ile karşılaştırarak, yağış etkinliği bakımından aşağıdaki sınıflara ayırmıştır (Tablo 2.6).

Tablo 2.6 Erinç sınıflandırması

İm	Sınıf	Vejetasyon
<8	Tam Kurak	Çöl
8-15	Kurak	Çölümsü Step
15-23	Yarıkurak	Step
23-40	Yarınemli	Park görünümlü kuru orman
40-55	Nemli	Nemli orman
55<	Çok Nemli	Çok nemli orman

Erinç formülünü herhangi bir süre ya da mevsim için kullanmak mümkündür. Bu durumda, elde edilecek indis değerlerinin yağış etkinliği sınıflarından hangisine girdiğini saptamak için, bunlar süreye göre değişen katsayılarla çarpılır. Örneğin, bir aylık indis 12, iki aylık indis 6, üç aylık indis 4, dört aylık indis 3 ve altı aylık indis 2 ile çarpılır.

2.3 Yağış İndisleri

Yağış alanda ve zamanda büyük değişimler gösterdiğinden birçok sistem için su varlığını etkileyen ana faktör durumundadır. Bu nedenle, bir çok indis esas olarak yağış koşullarına dayanmaktadır. Kuraklığın saptanmasında kullanılan yağış koşulları, (a) alınan yağışla merkezi eğilim ölçüleri (Ortalama, medyan, vb.) arasında bir karşılaştırma yapmayı, (b) standart sapma, değişim aralığı vb. gibi dağılma ölçülerinin kullanımını, (c) kurak-nemli devrelerin karakteristiklerini, ve (d) çeşitli sistemlerin su gereksinimlerinin, bilinen tehlike (hassas) seviyeleriyle ilişkili bazı yağış sınırlarının kullanımını içerir.

Merkezi eğilim ölçülerinin (ortalamaların) kullanımı: Bazı kuraklık indisleri alınan yağış tutarını merkez değerle (aritmetik ortalama ya da medyan) karşılaştırır. İkisi arasındaki fark bir yerdeki kuraklık olayının şiddetini gösterir. Çeşitli yerler arasındaki kuraklık karakteristiklerini karşılaştırmak amacıyla, indisler genellikle merkezi değerleri ve standart sapmaları kullanarak normalleştirilir.

Ortalama, planlama amaçları için yararlı olabilen klimatolojik bir göstergedir. Ancak, merkezi eğilim ölçülerine dayalı indisler, su kullanma periyodu boyunca sistemin gerek duyduğu gerçek su isteğindeki önemli zamansal değişimleri yeterli ölçüde nitelendirmeyebilir. Son yıllardaki bu baskının sistem üzerindeki toplu etkilerini göstermek amacıyla toplam anomalileri kullanma konusunda da bazı çalışmalar yapılmıştır.

Dağılma (değişkenlik) ölçülerinin kullanımı: Dağılma ölçülerine dayalı kuraklık olasılık indisleri, kuraklığın şiddeti ile ilgili kritik yağış sınırlarını ayırmak için bazı değişkenlik ölçüleriyle standart sapma, çeyrekler, beşte birlik ya da yüzde birlikle kullanılır (Foley, 1957; Gibss ve Maher, 1967; WMO, 1975a; Gibss, 1975). Değişkenlik parametreleri, gözlemlerin ortalama (merkez değer) üzerindeki dağılma derecesini gösterdiğinden, merkez değerlerle ilgili problemler dağılma ölçülerinin doğasından gelmektedir. Bu problemler, yağış gözlemlerinin istatistik dağılımını da içerir. Öteki istatistik dağılımlar çarpık verilerle yararlı olabiliyorsa da, bunların sonuçlarının fiziksel yorumlanması bazen çok güç olmaktadır. Alternatif yöntem gözlemleri, normal dağılıma dönüştürebilir. Örneğin, Gibss (1964), Avustralya istasyonlarına ait günlük, aylık ve yıllık yağış toplamalarının kare köklerini alarak normal dağılımlar elde etmiştir.

Bazı kritik su kullanma ölçülerinin kullanımı: Yağıştan elde edilen en gerçekçi indisler, normal su kullanma işlemleri için sistemin gereksinim duyduğu maksimum ve minimum yağış tutarlarını göz ardı etmeyenlerdir. Su kullanma etkinliklerindeki geniş zamansal değişimlerden dolayı, birçok yazar sistemin haftalık, aylık ya da mevsimlik su beklentilerini kuraklık parametrisasyonları için referans düzeyi olarak kullanmışlardır; Örneğin, haftalık yağış 1/2 normal, aylık yağış normalin %60'ı Ogallo (1989) günlük ya da 5 günlük yağış olaylarının kullanımı, su baskısının (sıkıntısının) kısa süreli etkilerini ve özelliklerini saptamanın en iyi yollarından biri olarak önermiştir.

Günlük yağış olaylarının kullanımı: Günlük yağışların, bitkilerin ekim tarihleri, büyüme ve gelişme devreleri ve hasat edilmeleri gibi tümüyle yağışa bağlı olan ve gün gün uygulanan etkinlikler üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Günlük yağışlar bir çok hastalığın ve zararının ortaya çıkmasını ve yayılmasını da yönlendirir. Bu nedenle, birçok kuraklık olasılığı indisleri günlük yağış olaylarından

türetilmiştir. Günlük yağışların tutarına ve süresine uygulanan bazı sınır değerleri, kuraklık çalışmalarında kullanılmaktadır (WMO, 1975a ve b).

2.4 Standart Yağış İndisi (SYİ)

McKee ve diğ. (1993) SYİ'ni kuraklığı tanımlamak ve izlemek amacıyla geliştirdiler. Diğerleri arasında, Colorado iklim merkezi, batı bölgesi iklim merkezi ve ulusal kuraklık önleme merkezi Amerika Birleşik Devletleri'nde SYİ'ni kullandılar. SYİ ile araştırmacılar yağış verisi kayıtlarından dünyanın herhangi bir yerinde belirli bir zaman ölçeğinde kurak veya sulak olaylardaki anormallikleri belirleyebilirler.

Thom (1958) iklimsel yağış serisini en iyi temsil eden ve tam üzerine yerleşen dağılımın Gamma dağılımı olduğunu bulmuştur. Gamma dağılımı olasılık yoğunluk fonksiyonu ile tanımlanır.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad x>0 \text{ için} \quad (2.5)$$

$$\alpha > 0, \quad \alpha \text{ \textit{ş}ekil parametresi} \quad (2.6)$$

$$\beta > 0, \quad \beta \text{ \textit{ö}lçek parametresi} \quad (2.7)$$

$$x > 0, \quad x \text{ yağış miktarı} \quad (2.8)$$

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2.9)$$

burada $\Gamma(\alpha)$ Gamma fonksiyonudur.

SYİ bir istasyon için yağış toplamalarının verilmiş olan frekans dağılımına Gamma olasılık yoğunluk fonksiyonu uydurulmasını içerir. Gamma ihtimal yoğunluk fonksiyonunun alfa ve beta parametreleri ilgilenilen her istasyon ve zaman ölçeği (3,

12, 48 aylık v.b. veya yılın her ayı) için tahmin edilir. Thom (1966) tarafından verilen maksimum olasılık çözümleri optimum α ve β tahmininde kullanılır.

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (2.10)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (2.11)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (2.12)$$

n = yağış gözlemlerinin sayısıdır. Sonuç parametreleri bir istasyonda verilmiş olan ay veya diğer zaman ölçekleri için gözlenen yağışın kümülatif olasılık dağılım fonksiyonunu bulmak amacıyla kullanılır.

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\hat{\beta} \hat{\alpha} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx \quad (2.13)$$

$t=x/\beta$ olduğunda, bu eşitlik eksik gamma fonksiyonunu oluşturur:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt \quad (2.14)$$

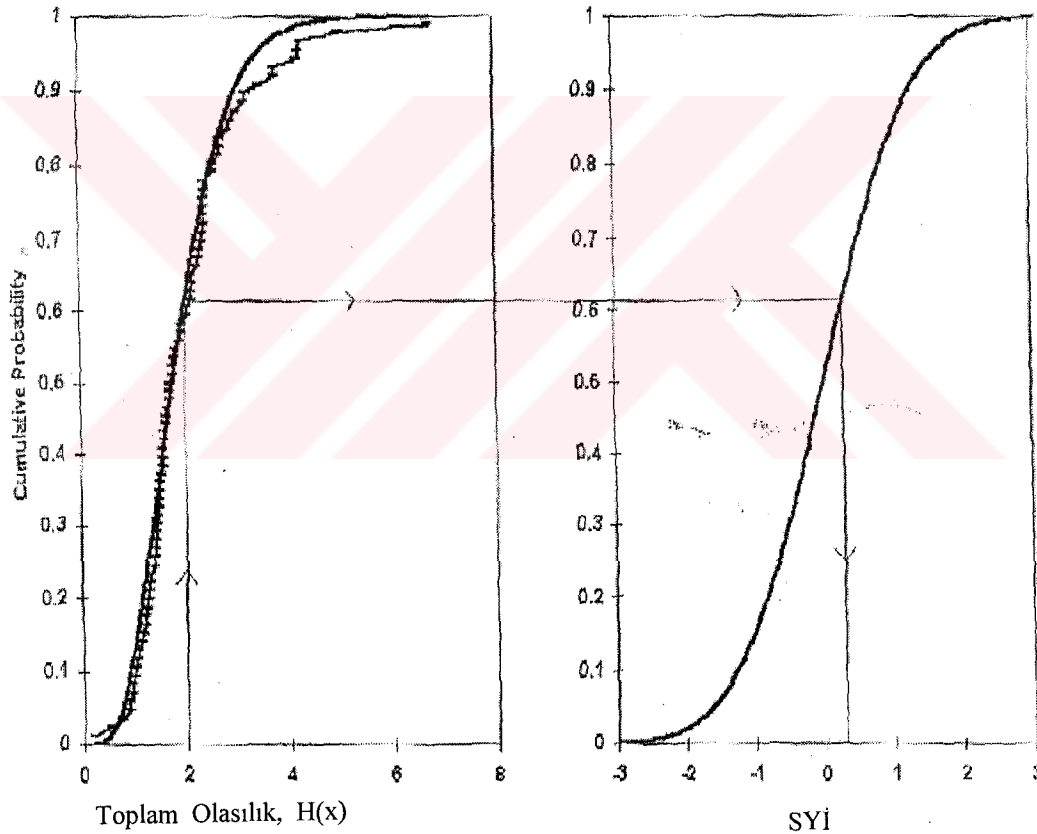
Gamma fonksiyonu $x=0$ için tanımsız olur ve yağış dağılımı sıfır değerleri içerebilir, toplam olasılık dağılımı şöyle oluşur;

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (2.15)$$

Burada “ q ” sıfırın olasılığıdır. Eğer “ m ” yağış zaman serisinde sıfırların sayısı ise, “ q ” = “ m/n ” olarak tahmin edilebilir. Thom (1966) toplam olasılık fonksiyonu

$G(X)$ 'i belirlemek için eksik gamma fonksiyonunun tablolarını kullanır. McKee ve diğ. (1993) toplam olasılık fonksiyonunu belirlemek için Press ve diğ. (1992) tarafından geliştirilmiş olan bilgisayar yazılımlı bir yöntem kullanmışlardır.

Olasılık fonksiyonu $H(x)$, ortalaması sıfır ve varyansı bir ile standart normal rastgele değerli Z 'ye dönüştürülür. Ayrıca $H(x)$ SYİ'nin değeridir. Bu Panofsky ve Brier (1958) tarafından tanımlanan formun dağılımının (ör; gamma) bir değişim olarak yeni bir dağılıma (ör, standart normal) dönüşümü için gerekli özelliktir. Bu durumda olasılık dağılımından daha küçük olan değişimin verilen değeri dönüşüme karşılık gelen değerden daha küçük olasılıkla eşit olmalıdır.



Şekil 2.1 Gamma dağılımından standart normal dağılıma eşit olasılıkla dönüşümün örneği.

Bu yöntem Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Bu şekilde, 3 aylık yağış miktarı (Ocakta Marta) ortalaması sıfır ve varyansı bir olan SYİ değerine dönüştürülür. Şekil 2.1'in

sol kısmında 1911 ile 1995 periyodunda Ocaktan Marta kadar Colorado Fort Collins için 3 aylık yağış miktarının (x-ekseni) gerçek değerlerini gösteren yatay karışık işaretler ile kırık çizgi bulunur. Kırık çizgi aynı zamanda kayıt edilen periyot için ampirik toplam olasılık dağılımını (y-ekseni) gösterir. Ampirik toplam olasılıklara Panofsky ve Brier (1958) tarafından en uygun olanı bulunmuştur. Burada yağış verisi genliğin artan sıralaması seçilip ayrılır, böylece k'inci değer en düşük k-1 değeridir ve burada l örnek büyüklüğüdür:

$$\text{Ampirik toplam olasılık} = \frac{k}{l+1} \quad (2.16)$$

Şekil 2.1'in üst kısmındaki kesiksiz eğri yağış verisine uydurulan gamma olasılık dağılımını göstermektedir. Şeklin alt kısmındaki kesiksiz eğri şeklin üst kısmında bulunan gamma dağılımına ve ampirik dağılımın olasılık büyüklüğü ile aynı olan standart normal rastgele değişken Z'nin olasılık dağılımını gösterir. Standart normal değişken Z (veya SYİ değeri) şeklin alt tarafında x-ekseninde gösterilmiştir. Bu durumda, şekil Fort Collins Colorado'da verilen 3 aylık (ocak, şubat ve mart) yağış verilerinin SYİ değerlerine dönüştürülmesi için kullanılabilir. Örneğin, 2 inçlik yağış gözlemlerinin SYİ değerini bulmak için, 2 inçden dikey olarak yukarı doğru çıkılır ve gamma dağılımını kestiği yerden yatay olarak şeklin sağ tarafına bir doğru boyunca hareket edilir. Şeklin alt tarafındaki eğriyi yatay olarak kestiği ilk noktadan düşey olarak aşağıya inilir. Burada x-eksenini kestiği noktadaki değer okunur. Bu değer, 2 inç olarak verilen yağış değerinin SYİ değerini yaklaşık +0.3 olarak verir.

Şekil 2.1'de elde edilen eğriler her istasyonun yılın farklı ayları için hazırlanabilir fakat bu pratik olarak kullanışlı değildir. Bu amaçla Abramowitz ve Stegun (1965) tarafından standart normal rastgele Z değerinin toplam olasılık değerine dönüşümü için aşağıdaki formüller verilmiştir.

$$Z = SYİ = -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (2.17)$$

$$Z = SYİ = +\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad 0.5 < H(x) < 1.0 \quad (2.18)$$

burada,

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \quad 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (2.19)$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{1.0 - (H(x))^2}\right)} \quad 0.5 < H(x) < 1.0 \quad (2.20)$$

$$c_0 = 2.515517$$

$$c_1 = 0.802853$$

$$c_2 = 0.010328$$

$$d_1 = 1.432788$$

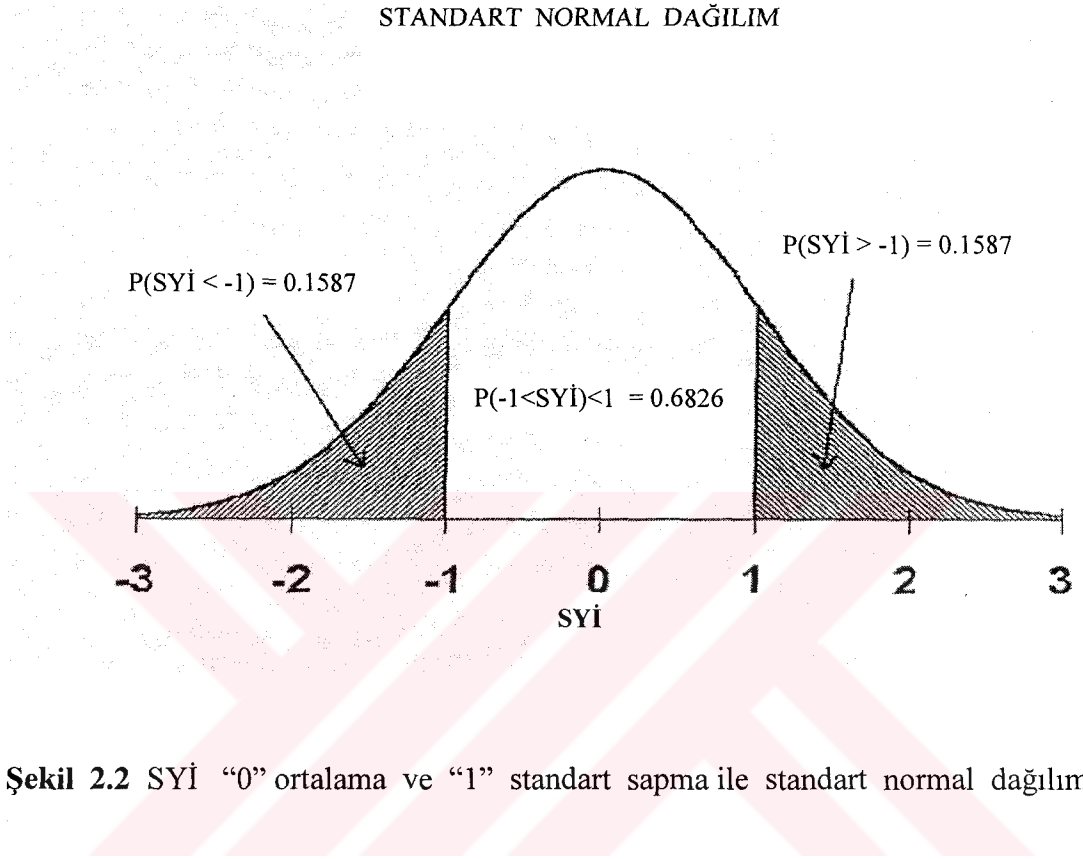
$$d_2 = 0.189269$$

$$d_3 = 0.001308$$

SYİ Z-skoru gösterir, bu değerler ortalamanın altında veya üstünde pozitif veya negatif değerler alırlar. Ancak, kısa zaman dilimindeki olaylarda orijinal yağış verisi çarpıktır ve normal dağılıma uymaz.

Şekil 2.2’de verilen zaman periyodunda gamma parametreleri için tahmin değerleri gösterilir. SYİ ortalaması sıfır ve varyansı bir olan standart normal dağılıma uyar. Tannehill (1947) Utah bol yağış alırken Ohio’da çok şiddetli kuraklık olayı yaşanmakta olduğunu araştırmalarında gözlemlemiştir. Akinremi ve diğ. (1996) kuraklığın zamansal ve alansal değişiminin kuraklık indisleri oluşturulurken sorun çıkardığını buldu. Kuraklık tahmini yapılırken hem alana hemde zamana göre normalleştirme yapmak gerekir. SYİ bunların her ikisinde de başarılıdır. SYİ istasyon alanını da normalize eder çünkü istasyondaki değişimin (varyasyon) etkilediği yağışın frekans dağılımını hesaplar. İlave olarak, analizcinin ilgilendiği konuya bağlı olarak herhangi bir zaman dilimi alındığında standart yağış indisi zamanı normalleştirmiş olur. Bununla birlikte, SYİ gamma parametreleri tahmin

edilmiş olan olasılık dağılımını gösterir, bu herhangi bir zaman dilimine veya yere göre olabilir. Tablo 2.7’de SYİ değerlerine karşılık gelen olasılık dağılım değerleri verilmiştir.

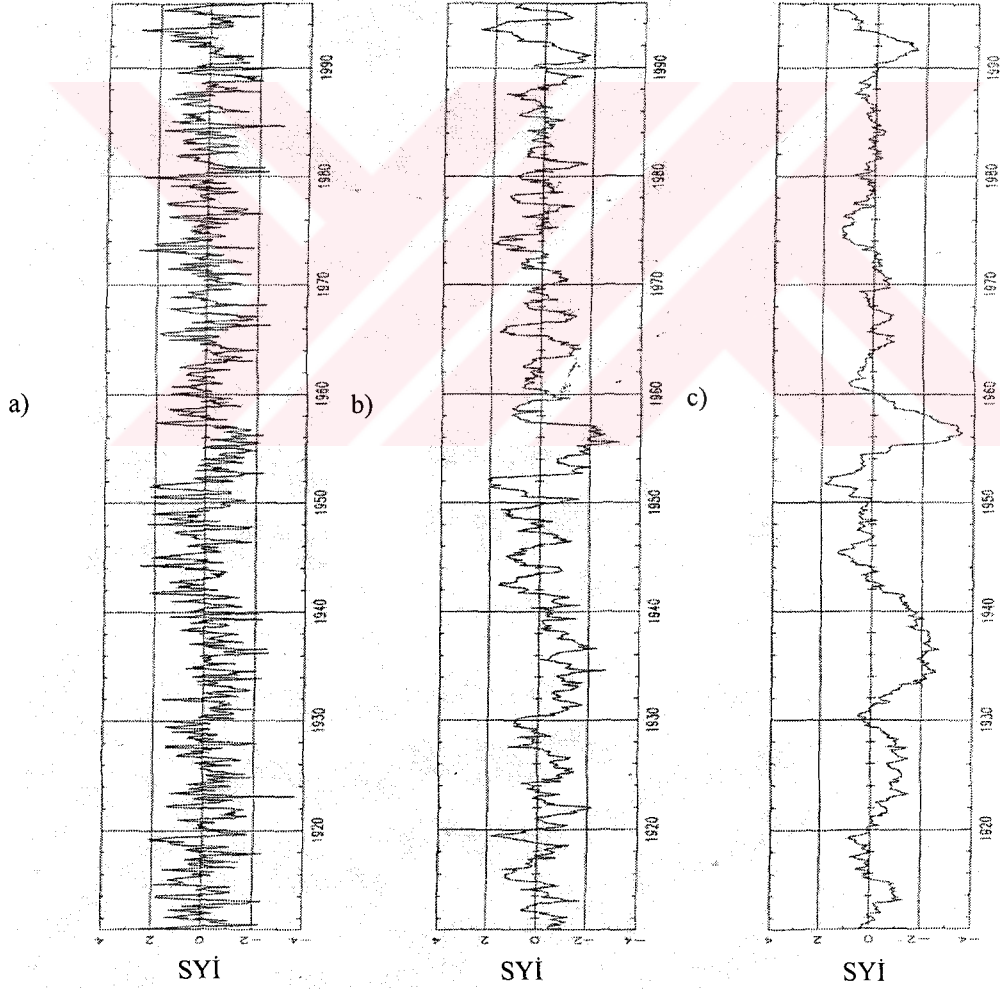


Şekil 2.2 SYİ “0” ortalama ve “1” standart sapma ile standart normal dağılım.

Analizcinin araştırma yaptığı alandaki aylık yağış zaman serisi ile ilgilenilen zaman dilimine bağlı olarak önceki “i” ay yardımıyla herhangi ay için SYİ hesaplanabilir. Böylece, bu indis vasıtasıyla 3 aylık yağış toplamından 48 aylık yağış toplamına kadar hesaplama yapılabilir. Bunun için, 3 aylık kısa dönem veya mevsimsel, 12 aylık orta dönem, 48 aylık SYİ uzun dönem kuraklık indisi olarak adlandırılır. Bu nedenle, SYİ aylık /yıllık kayıta zaman ölçeğine bağlıdır. Örneğin, 3 aylık SYİ ocak 1943 için 1942 yılının kasım, aralık ve 1943 ocak hesaba katılır. Buna benzer olarak 12 aylık SYİ ocak 1943 için 1942 yılının şubat ayından itibaren 12 ay alınır. 48 aylık SYİ ise Şubat 1939’dan Ocak 1943’e kadar olan toplam yağış verisinden faydalanılır.

Tablo 2.7 SYİ'in toplam olasılığa karşılık gelen değerlerini gösterir.

SYİ	Toplam Olasılık
-3.0	0.0014
-2.5	0.0062
-2.0	0.0228
-1.5	0.0668
-1.0	0.1587
-0.5	0.3085
0.0	0.5000
+0.5	0.6915
+1.0	0.8413
+1.5	0.9332
+2.0	0.9772
+2.5	0.9938
+3.0	0.9986



Şekil 2.3 1911'den 1995'e kadar olan periyotta McPherson, Kansas için hesap edildiği grafik gösterilmektedir a) 3 aylık, b) 12 aylık, c) 48 aylık.

Şekil 2.3’de Kansas McPherson’da 1911-1995 arasında hesap edilen SYİ değerleri verilmiştir. Üç zaman ölçeği için 3, 12 ve 48 aylık değerler bulunmuştur. Geçmiş kayıtlar esnasında herhangi bir noktadaki kuraklık frekans, süresi ve şiddeti zamandan bağımsızdır (McKee ve diğ., 1993).

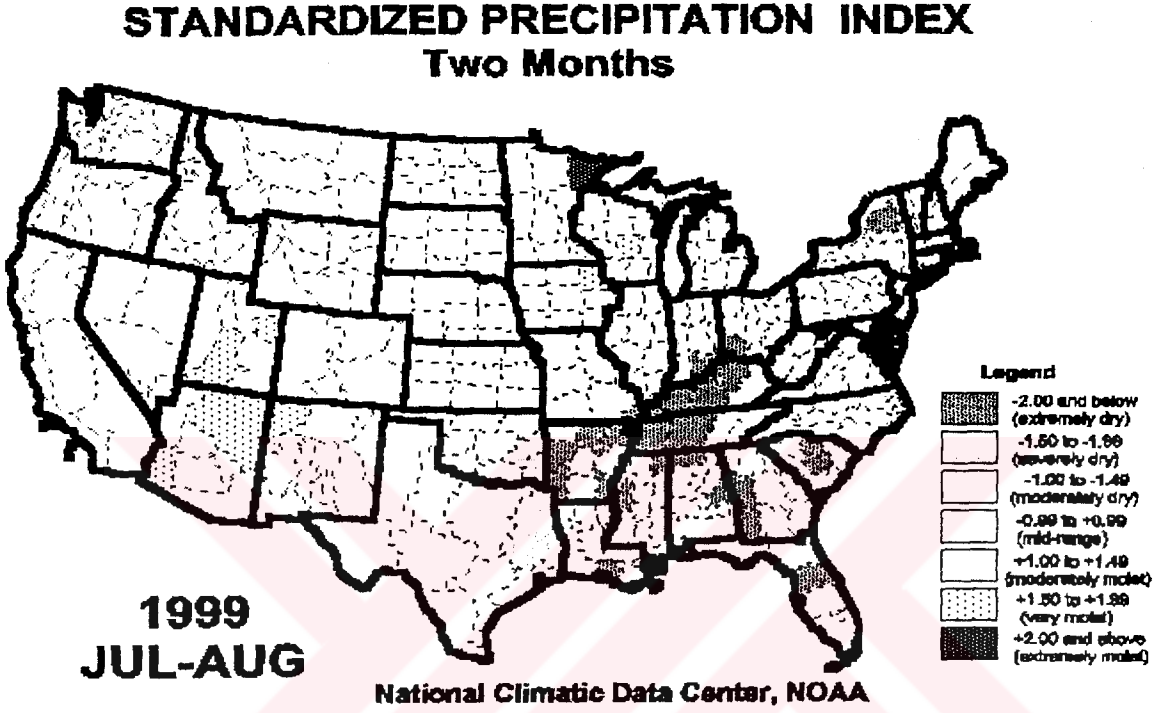
Uzun dönem kuraklık indisi (84 aylık SYİ) göstermiştir ki 1930 ve 1950 yılları arasında McPherson uzun dönem kuraklıktan etkilenmiştir. Diğer bir gözlemde kısa dönem (3 aylık SYİ) için 1930 yılında McPherson’da orta derecede kuraklık yaşandığıdır. Buda bize yağış zaman serisindeki kuraklık dalgalanmalarını verir.

Şekil 2.3’te uzun dönem kuraklık için verilen grafikten 1930 ve 1950 yılları arasına baktığımızda -2 SYİ değerine sahip yaklaşık 10 yıl süren kuraklık yaşanmıştır. 1930’da McPherson’da kısa dönem (3 aylık SYİ) kuraklığında -1 değerine sahip kuraklık meydana gelmiştir. Buna yukarıda bahsettiğimiz gibi kuraklık dalgalanmaları denir. 1954-1960 yılları arasında SYİ değeri -3’e kadar düşmektedir. 1940 ve 1950 arasındaki uzun dönemde uzun-dönem ıslak periyot meydana gelmiştir. Örneğin, 1947 yazında yaşanan kuraklığın büyüklüğü 1930 ve 1950 yıllarında da yaşanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı 1951 kayıtlarında Kansas’ta yedi yıl boyunca yaz döneminde mısır üretiminin düştüğünü bildirmiştir. Bununla birlikte, bu kuraklık yerini ıslak şartlara bırakmakta ve kuraklık uzun bir dönemde tekrar yaşanmaktadır. 1980 yazında güney Amerika’da benzer durum meydana gelmiştir.

Toplam olasılık standart normal dağılım değeri Z’ye dönüştürüldüğünde, SYİ temel periyotta standart normal dağılıma sahip olacaktır. Şekil 2.2 zamanın yaklaşık %16’sında SYİ -1 değerinin altındaki kurak şartları gösterir. Benzer olarak zamanın %16’sında +1 ve üzerindeki sulaklıkları belirtir. Zamanın yaklaşık %68’inde SYİ -1 ve +1 arasında normal şartları belirtir.

Yağıştaki azalmanın yeraltı suyu, su biriktirme haznesi depolama, toprak nemi, kar yığını ve akarsu üzerindeki etkilerini belirlemek için Standart Yağış İndisi McKee ve diğ. (1993) tarafından geliştirildi. SYİ çoklu zaman ölçümlerinde farklı zaman dilimlerindeki yağış azalmasını belirlemek için tasarlanmıştır. Toprak nem şartları rölatif kısa dönem yağış anormalliklerine hemen cevap verir. Yeraltı suyu, akarsu, ve su biriktirme haznesi depolama uzun dönem yağış anormalliklerini yansıtır. SYİ

yağışın belirli bir zamanda ortalama dan çıkarılıp standart sapmaya bölünmesi ile elde edilir. Çünkü, yağış zaman ölçeği 12 aydan daha kısa zamanlarda normal dağılıma sahip değildir. Böylece SYİ herhangi zaman ölçeği ve alan için ortalaması 0 ve standart sapması 1’dir. Bunun faydası, sulak ve kurak iklimlerin aynı yolla temsil edilebilmesidir. İlave olarak, sulak periyotlar SYİ kullanılarak izlenebilir.



Şekil 2.4 Standartlaştırılmış Yağış İndisi (<http://www.drought.noaa.gov>)

Tablo 2.8 SYİ değerleri

SYİ değeri	Kuraklık Kategorisi	Zaman kategorisi
0,0 – (-0,99)	hafif kurak	%34.1
-1,0 – (-1,49)	orta	%9,2
-1,5 – (-1,99)	şiddetli	%4.4
-2 daha az	çok şiddetli	%2.3

SYİ’den kuraklık şiddetinin sonuçlarını sınıflandırma kategorileri Tablo 2.8’de verilmiştir. McKee ve diğ. (1993) herhangi bir zaman diliminde “kurak olay” kriterini tanımlamıştır. “Kurak olay” zaman serisinin SYİ değerlerinin negatif olduğu süre boyunca devam eder ve şiddeti –1 veya daha küçüktür. Olay, SYİ pozitif olunca

sona erer. Her kurak olay; bu yüzden, başlangıç ve bitişi olan bir kuraklık süresine ve her kurak ay devam eden olayın şiddetine sahiptir. Standart zaman serisinde sıfırın altındaki değerleri boyunca devam eden negatif toplamlar alanına kuraklık genliği denir.

Amerika Birleşik Devletlerinde yaygın olarak kullanılmakta olan SYİ'nin dağılımı Şekil 2.4'te gösterilmektedir. SYİ 1994-1995 esnasında Colorado'daki durumu izlemeye kullanıldı. Tablo 2.8'de zaman yüzdeleri ile birlikte gösterilen kategoriler Colorado istasyonu için uygulanmıştır. SYİ standartlaştırıldığından, yüzde miktarlar SYİ'nin normal dağılımından beklenen değerlerdir. %2,3 aralığındaki SYİ değeri çok şiddetli kuraklığa denk gelir (Wilhite, 1995). Aksi olarak, PKŞİ'de "çok şiddetli" aralığına %10'luk yüzde ifade edilmektedir. SYİ yeni indis olduğu için genel anlamda uygulamada test edilmemiş olup yakın ve gerçek zaman kurak izlemeye kullanılır.

2.5 SYİ'nin Faydaları

SYİ farklı zaman ölçü birimleri için erken kuraklık uyarısı sağlar ve kuraklığı hesaplamaya yardım eder. Palmer Kuraklık Indisi'nden daha az karışıktır. Sakıncası ise, başlangıç bilgilerine bağlı olarak değerler değişebilmektedir. Thow McKee tarafından Colorado State Üniversitesi'nde 1993'te geliştirilmiştir. Yağış miktarı azlığının yer suyu, depolama, toprak nemi, kar ve dere akısı üzerindeki etkilerinin olduğunun anlaşılması McKee'yi SYİ'ni geliştirmeye yönlendirdi. SYİ birçok zaman ölçeğinde (ölçü biriminde) yağış miktarı açığını hesaplamak için tasarlandı. SYİ'nin bazı faydaları;

1. SYİ yalnızca yağışa bağlıdır,
2. SYİ hesaplaması kolay indistir,
3. Palmer kuraklık indisi birçok değişkene bağlıdır. Bunlardan birisi ölçümleri ülkemizde pek yapılamayan toprak nemidir,
4. SYİ sadece olasılıkla ilgilidir,
5. Yağışta kullanılan SYİ devam eden periyotta yağış eksikliğini hesap eder,

6. SYİ'de kullanılan yağışın zaman periyodu için ortalamanın altında kalan negatif toplamalarının yüzdesini hesap eder,
7. SYİ normal dağılımlıdır, böylece kurak periyodu olduğu kadar sulak periyodu da izleyebiliriz,
8. SYİ kar yığını, su biriktirme haznesi, nehir akımı (akarsu), toprak nemi, ve yeraltı suyu gibi değişkenler için hesap edilebilir, ve
9. SYİ normalleştirilmiş olduğundan sulak ve kurak iklimler aynı yolla temsil edilebilir.

Zaman periyodu, 3 veya 6 ay için süre kısa olduğundan, SYİ sıfırın üzerinde ve altında hızlıca hareket eder. Eğer zaman aralığı 12, 24, 48 ay ise, SYİ yağıştaki değişime daha yavaş cevap verir.



3. ALANSAL ZAMANSAL KURAKLIK MODELİ

3.1 Genel Bilgi

Hidrolojik büyüklüklerin başlıca özelliklerinden biri zaman içinde çeşitli alanlarda alacakları değerlerin rastgele karakterde oluşudur. Örneğin, bir akarsudaki akış miktarı bir ortalama değer etrafında, bazen ortalamadan büyük, bazen da küçük olmak üzere, çeşitli değerler alabilir. Hidrolojik değişkenlerdeki rastgele karakter mühendislik çalışmaları açısından büyük önem taşır.

Rastgele karakterdeki bir değişkenin zaman içinde ardışık anlarda birbirleriyle stokastik bağımlılık gösteren değerler almasıyla oluşan bir stokastik sürecin özellikleri, ancak istatistik yöntemlerle incelenebilir. Yağış, akış, sıcaklık, nem ve buharlaşma bir stokastik süreç oluşturduklarına göre, kurak devrelerinin özellikleri de, istatistik yöntemlerle araştırılmalıdır. Bu gibi araştırmalarda karşılaşılan bir güçlük değişkenlere ait bilgilerin istatistik açıdan yeterli olmayışındır. Eldeki gözlemler genelde kısa süreli olduğundan, böyle bir zaman serisinden uç (ekstrem) olayların istatistik özelliklerini güvenilir bir şekilde belirlemek mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, gözlenmiş değişkenlerin istatistik analizi ile belirlenecek kurak devre özellikleri ancak gözlenen örnek hakkında bilgi verir. Bu bilginin toplumun karakteristiklerini ifade ettiği ileri sürülemez. Bu durumda yapılması gereken şey, önce söz konusu stokastik süreç için bir matematik model kurmak, modelin parametrelerinin değerlerini gözlenmiş seriye ait bilgileri kullanarak belirlemek, ve böylece ortaya çıkan modelin gözlemlerle uygunluğunu kontrol etmektir. Bundan sonra kurulmuş olan modelden ya analitik, ya da deneysel yolla stokastik sürecin çeşitli karakteristikleri belirlenebilir.

Probleme yaklaşabilmek için önce söz konusu stokastik sürecin matematik modelini doğru bir şekilde kurmak gerekir. Yağış ve akış serilerinin stokastik modellerinin kurulması konusunda son yıllarda bir çok çalışmalar yapılmış ve bu çalışmaların

sonunda klasik olarak kullanılmakta olan bazı model tipleri geliştirilmiştir. Bunların çoğu genelde Markov modelleri olarak bilinen sınıfa girmektedirler. Bütün bu modellerin parametrelerinin belirlenmesinde ve uygunluklarının kontrolünde eldeki gözlenmiş seriden yararlanılabildiğine göre, bir bakımdan bu modeller gözlenmiş seriden daha üstün değildir. Ancak, modelin veri serisini yeter doğrulukta temsil edebildiği kabul edildiği takdirde, ekstrem olaylar hakkında gözlenmiş seriden daha güvenilir bilgiler vereceği kabul edilebilir.

Kurak devrelerin istatistik özelliklerinin güvenilir bir şekilde belirlenebilmesi, su kaynaklarını geliştirme çalışmalarında büyük önem taşımaktadır. Kuraklıkların ülke ekonomisi üzerindeki etkileri son yıllardaki deneyimlerle belirgin bir şekilde anlaşılmaya başlanmıştır. Kurak devreler boyunca su ihtiyacını karşılayabilecek su biriktirme haznelerinin projelendirilmesi, başka su kaynaklarından getirilmesi gereken su miktarının belirlenmesi ve genel olarak ileride görülmesi beklenen kuraklıkların ekonomi üzerindeki etkilerinin önceden kestirilmesi için ülkemizin çeşitli bölgelerindeki kurak devrelerinin istatistik özelliklerinin ortaya çıkarılması gerekmektedir.

Stokastik modeller konusunda bugüne kadar yapılan araştırmaların büyük bir kısmında yıllık akış serileri ele alınmıştır. Bu seriler stasyonere kabul edilebileceklerinden modellerin kurulması daha kolay olmaktadır. Ancak, su kaynaklarının geliştirilmesi ile ilgili proje çalışmalarında çoğu zaman yıllık akışlarla çalışmak yeterli olmamakta, aylık akışları göz önüne almak gerekmektedir. Bugüne kadar kullanılan aylık akış modelleri Markov modelleri sınıfındandır. Bunların başlıcaları, periyodik bileşen ile stokastik bileşeni süperpoze ederek kurulan, Yevjevich tipi modeller ile bütün parametreleri periyodik olarak değişen Thomas-Fiering tipi modellerdir. İkinci tip modellerde parametre sayısı çok olmakta, parametresi daha az olan Yevjevich modelleri ise aylık akışların korelogramını benzeştirmek bakımından her zaman yeterli olamamaktadırlar.

Kurulan modelin uygunluğu gözlemle de karşılaştırılarak kontrol edilir. Bu modelin temsil ettiği sürecin kurak devrelerinin uzunluklarına ait istatistik parametreler hesaplanabilir. Böylece, hidrolojik çalışmalarda esas alınacak kritik devreler belirlenmiş olur. Modelin verdiği sonuçların gözlenmiş seriden hesaplanacak değerlerle karşılaştırılması uygun olacaktır. Bu çalışmalar sonunda ileride görülmesi

beklenen kuraklıklara ait istatistik özellikler güvenilir bir şekilde belirlenebilecek, bu bilgilere dayanarak projeler güvenilir ve ekonomik bir şekilde hazırlanabilecektir.

Kurak alanlar, kuraklığın yayılımı, kurak devreler ve tekrarlama oranı gibi özellikler, günlük, aylık ve yıllık iklim elemanlarını ve uzun süreli normalleri (ortalamaları) içeren çeşitli ilişkiler kullanarak saptanabilir. Kuraklık probleminin çok karmaşık olduğu yerlerde, yalnızca meteorolojik/ klimatolojik elemanları içeren indislerin kullanımına genellikle karşı çıkmaktadır. Bu görüşlere göre, böyle alanlarla ilgili tüm fiziksel ve biyolojik etmenleri tek başına tümüyle hesaba katabilecek bir indis bulunmamaktadır (Gbeckor-Kove, 1989).

Su varlığının tanımlaması ya da gösterilmesiyle ilgili birçok etmen bulunmasına rağmen, su potansiyelini, bitkilerin su gereksinimlerini ve kuraklığı değerlendirmek için en kullanışlı gösterge yağıştır. Yağış zaman ve alan ile süreklilik göstermediği için, istatistiksel değerlendirilmesi çok karmaşık bir iklim elemanıdır. Buna karşılık, kuraklık ve çölleşme ile savaşım için gerçekleştirilen her girişim, özellikle kurak ve yarı kurak alanlarda, alanın yağışını göz önünde bulundurmaktır zorundadır. Kurak ya da yarı kurak otlak alanlarında evcil hayvanların yararlandığı meralar tehlike sınırında bulunmaktadır. Birbiri ardınca gelen kurak yıllar uzun süreli çölleşme süreçlerini destekleyebilir. Konuyla ilgili olarak Afrika'da son 20 yıl içinde ortaya çıkan kuraklıklar ve özellikle Sahel, Sudan ve Etiyopya kuraklıkları dikkat çekici ve öğreticidir.

Kuraklıkların alansal ve zamansal özelliklerini saptamak amacıyla kullanılan indisler, yağış gibi tek bir meteorolojik parametrenin kullanımından birçok değişkeni içeren karmaşık yöntemlerin kullanımına kadar uzanmaktadır. Bazıları da su dengesi eşitliğine dayanmaktadır. Tarımsal ürünlerin, çiftlik hayvanlarının, çayırların, otlakların, yaban yaşamının üzerinde kuraklığın oluşturduğu etkilerin kullanımı da oldukça yaygındır.

3.2 Kurak Devrelerin İstatistik Analizi

Yağış miktarının beklenen değerin altında olması kurak devre olarak adlandırılır. Kurak devrelerin incelenmesinde şu hususların belirlenmesi gerekir.

1. Kuraklığın Şiddeti: Yağışın beklenen değerin ne kadar altına düştüğü,
2. Kuraklığın Süresi: Kurak devrenin ne kadar sürdüğü,
3. Kuraklığın Frekansı: Göz önüne alınan kurak devrenin ortalama olarak hangi aralıklarla tekerrür ettiği, ve
4. Kuraklığın Yerel Dağılımı : Göz önüne alınan yerdeki kurak devrenin yakınındaki diğer yerlerde (istasyonlarda) görülüp görülmediğidir.

Özellikleri bu şekilde tanımlanan kurak devrelerin istatistik analizi için kuraklığı ölçmede kullanılacak bir büyüklüğün belirlenmesi gerekir. Bu büyüklüğün, gerek herhangi bir andaki yağışın beklenen değerden farkını, gerekse yağışların zaman içinde birbirini takip edişlerini göz önüne alabilecek nitelikte olması gerekir. Bu amaçla kullanılan büyüklük gidişler kavramıdır.

Yağış serilerinin özellikleri aydan aya değişir. Örneğin, kış aylarının ortalama yağış değerleri yaz aylarının yağış değerlerinden oldukça farklıdır. Ancak, farklı senelerin aynı aylarında benzer karakterde yağış değerleri beklenebilir. Böylece, aylık ortalama yağışların 12 ay aralıklarla tekrarlanabileceği sonucu ortaya çıkar. Bu tekrarlama özelliğine periyodiklik denir. Bu nedenle, yağış serileri stasyoner değildir. Aylık standart sapmaların periyodikliğinin zihinde canlandırılması zordur. Yapılan çalışmalarda (Yevjevich, 1970) ortalama değeri yüksek olan ayların standart sapmalarının da genellikle yüksek olduğu görülmüştür. Aylık yağış serileri stasyoner olmadıklarından incelenmeleri de güçtür. Öte yandan, bir çok su kaynağını geliştirme çalışmalarında zaman birimi olarak ay kullanmak gerekmektedir. Bu sebepten, önce aylık yağışların belirli bir takım metodlarla stasyoner hale getirilmesi ve ondan sonra incelemelerin yapılması gerekir.

Değişik istasyonlarda aylık yağış serilerinin ortalama ve standart sapması farklı değerlerdedir. Verilerin standart hale getirilmesi ile standart sapma ve varyansı bir, ortalaması sıfır olur. Ayrıca, standartlaştırma işlemiyle veriler birimlerinden kurtarılıp boyutsuz hale getirilir. Tüm bunlar verilerin incelenmelerinde bize kolaylık sağlar.

Yağış serisi kolaylık sağlaması bakımından standart hale getirilir. Standart X değişkeninin verilen standart seviyeler (-1.00, 0.00, +1.00) altında kaldığı sürenin

negatif uzunluğu (ya da kısaca gidiş uzunluğu diyebiliriz, çünkü çalışmada kurak devrelerle ilgilenildiği için sadece negatif gidişler göz önüne alınmıştır) olarak tanımlanacaktır. Gidiş uzunluğu, verilen standart seviyedeki kuraklığın süresini belirler. İstatistikte gidiş analizi, sadece stasyoner olan gözlemler dizisi için geliştirilmiş olduğundan, paralel olarak hidroloji ilminde de kurak devrelerin analizi stasyoner hidrolojik süreçler için yapılır.

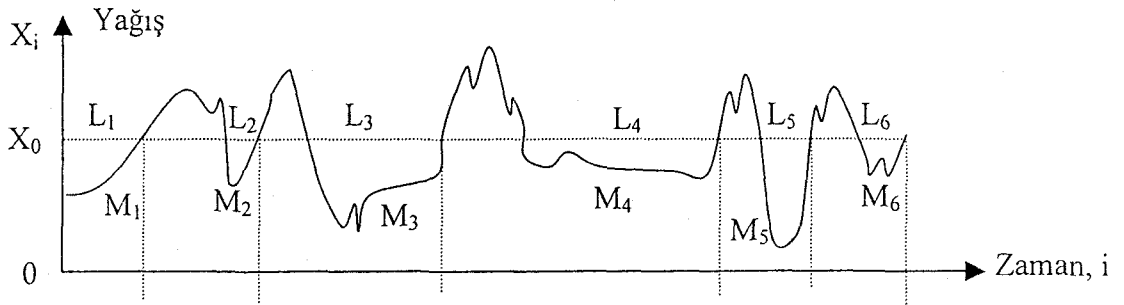
3.2.1 Gidişler Analizi

Kuraklık analizinde verilmiş olan zaman serisi kısaca X dersek bunun elemanlarını $X_1, X_2, \dots, X_n$ dizisi olarak gösterebiliriz. Standartlaştırılmış yağış serisi ise

$$x_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S_x} \quad (3.1)$$

şeklinde tanımlanır. Burada $\bar{X}$, aritmetik ortalama; S_x ise standart sapmayı göstermektedir.

Bütün kurak periyotlar $L_1, L_2, \dots, L_m$ olarak gösterilirse, burada “m” herbir kesme seviyesi (0.0, -1.0, -1.5 ve -2.0) için kurak periyot sayısıdır. Bütün kurak genlik her kurak periyodun üstündeki eksikliklerin toplamı olarak elde edilir, ayrıca kurak genlik dizisinin serisi $M_1, M_2, \dots, M_m$ olarak gösterilir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Kurak ve sulak gidişler (M_j : eksiklik; L_j : kurak süre).

Verilen bir dizi boyunca olan j-inci eksikliklerin toplamı M_j

$$M_j = \sum_{i=1}^m |X_0 - x_i| \quad (3.2)$$

olarak elde edilir. Burada X_0 tanımlanan her kuraklık için SYİ kuraklık kesim seviyeleri 0, -1, -1.5 ve -2 olarak alınır, x_i ise başta tanımlanan standartlaştırılmış seridir. Kesim seviyeleri SYİ'nde olduğu şekilde hafif, orta, şiddetli ve ekstrem kuraklık olarak sınıflandırılır. Kuraklık şiddeti, kuraklık genliğinin kuraklık süresine oranından aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$I_j = \frac{M_j}{L_j} \quad (3.3)$$

Her kesme seviyesi için ekstremlerin (en küçük ve en büyük) $L_{\max}$, $L_{\min}$, $M_{\max}$, $M_{\min}$, $I_{\max}$ ve $I_{\min}$ kuraklık özelliklerinin değerleri bulunur. Her kesme seviyesinde, L ve M kartezyen koordinatlarda işaretlenerek bu iki değişkene uygun en iyi fonksiyon elde edilir. Bunu elde etmemizin amacı eğer elimizde M veya L değerlerinden herhangi biri varsa diğerini mevcut doğrusal denklemler yardımıyla kolayca bulabiliriz. Ek olarak, her bir kuraklık özelliğine ait temel istatistiksel parametreler ortalama, standart sapma, çarpıklık ve kuyruk değerleri bulunur. Bu değerler M, L ve I değerlerinin elde edilmiş olan yeni serilerinin istatistiksel özellikleri hakkında bilgi verir.

3.3 Alansal Değerler Teorisi

Kuraklık analizinde en önemli değişken yağıştır. Yağışın zamansal ve alansal değişimi kuraklığın izlenmesi açısından çok önemlidir. Farklı ölçüm istasyonlarında belirli bir andaki farklı ölçüm değerlerine sahip istasyonların alansal olarak nasıl değişim gösterdiğinin analizi alansal değerler teorisi ile mümkün olmaktadır. İstasyonların yerini tesbit etmeyi sağlayan enlem ve boylam değerleri kartezyen koordinatlarda işaretlenir. İnceleme yapılacak olan alandaki istasyonların yerleri tesbit edilir. Her bir istasyonun ölçüm değeri alınır ve eş değerli yerler sabit değere

sahip farklı aralıkla çizilen eğrilerle elde edilir. Bu haritalara eşdeğer haritaları denir. Eşdeğer haritaları bilimsel çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tez çalışmasında yağışın ve kuraklığın mevsimsel alansal değişimi klasik alansal değerler teorisi kullanılarak bulunmuştur. Bundan dolayı aşağıda alansal değerler teorisi ve Kriging konuları detaylı olarak yerverilmiştir. Matematiksel yaklaşımları detaylı olarak açıklanan bu yöntemler ile hazırlanmış olan SURFER bilgisayar programı bu çalışmada kullanılmıştır. Bununla birlikte yeni bir yaklaşımla enlem ve boylam değerleri yerine farklı iki meteorolojik değişken kullanılarak üçlü-değişken ilişki grafikleri elde edilmiştir. Enlem ve boylam yerine sıcaklık ve nem değerleri konulmuştur. Bu iki değişkenin tek bir noktada belirli bir periyottaki değerlerinin yağışla nasıl değiştiği incelenmiştir. Böylece tek bir noktada belirli sürede üç değişkenin tek grafikte gösterilmesi sağlanmıştır.

Jeoistatistik terimi son zamanlarda uygulamalı istatistiğin önemli bir kolu olmaya başlayıp ilk defa Matheron (1963) tarafından yer bilimlerinde maden yatakları için geliştirilmiştir. Geoistatistik, değişkenlerin alan davranışlarının bir özeti olup, jeolojiye ilave olarak diğer doğa bilimlerine de uygulanmaktadır. Geoistatistikte önemli bir konu, tamamen rastgele ve belirgin değişkenlikler arasındaki özellikleri gösteren *bölgesel değişken* dir. Rastgele değişkenlerin tersine bölgesel değişkenler (BD) noktadan noktaya süreklilik gösterirler. Değişken değişimleri çok karmaşık olup kontrol edilebilir bir yapıdaki belirgin bir fonksiyonla ifade edilememektedir. Bununla beraber, BD'nin uzayda ve her noktadaki değerini bilmek mümkün olmamaktadır. Bunun yerine, özel konumlarda alınmış örnek değerler kullanılmaktadır. Geoistatistik, BD'nin bir, iki veya üç boyutlu olarak hesaplanmasına imkan tanımaktadır.

Yarıvaryogram, jeoistatistiğin önemli temel bir ölçüsüdür ve özel bir konumdaki alan değişkenliğinin değişim oranını ifade eder. Yarıvaryogramın hesaplama süreci zaman serisi analizine benzer bir özellik taşımaktadır. Yarıvaryogram, örnekler ve özel noktalar arasında uzay bağımlılığı ölçüsünün de bir derecesidir. Hesaplamaların daha iyi kontrol edilebilmesi için örneklerin üniform bir şekilde dağıldığı kabul edilmiştir. Bir doğru boyunca olan örnekler arasındaki mesafe h olmak üzere yarıvaryogram;

$$\gamma_h = \sum_i^{n-h} (X_i - X_{i+h})^2 / 2n \quad (3.4)$$

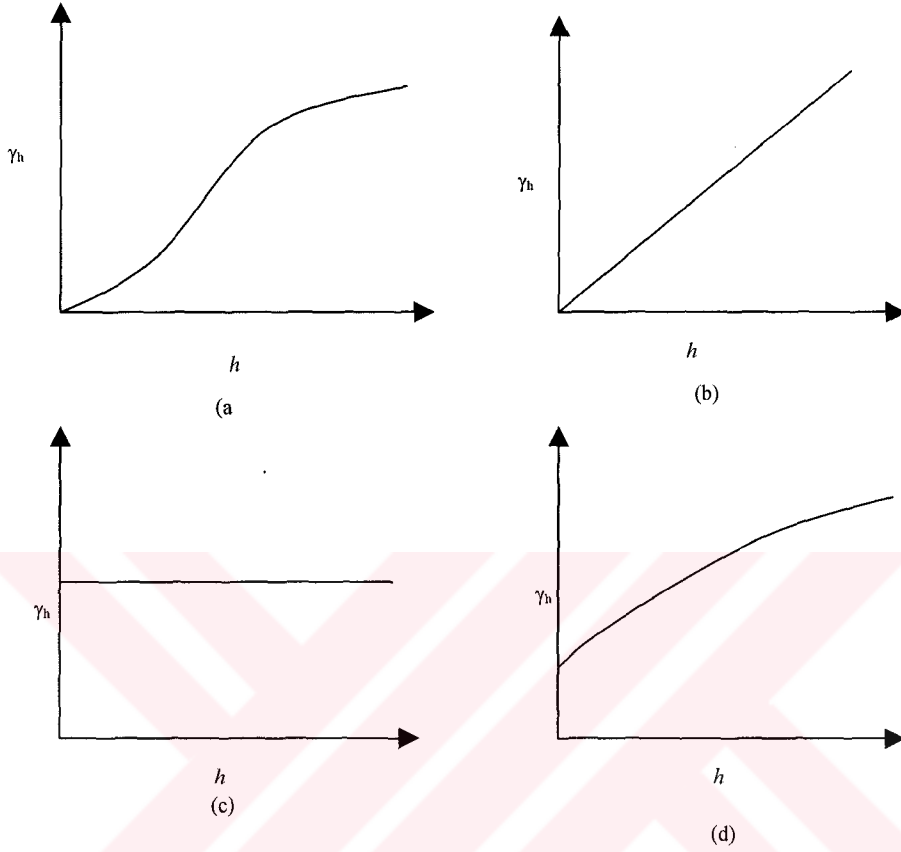
şeklinde ifade edilir. Burada X_i , BD'nin ölçülen değeri; X_{i+h} ise h mesafe sonraki değişkenin ölçülmüş değerini ifade etmektedir (Davis, 1986). Böylece, Δh aralıklı noktalar arasındaki değişken farklarının karelerinin toplamı alınmış olmaktadır. Nokta sayısı n olmak üzere karşılaştırılan noktaların sayısı ise n-h olmaktadır. Burada h'nin farklı değerleri için yarıvaryogram hesaplanırsa, sonuçlar korelograma benzer şekilde yarıvaryogram olarak işaretlenebilir. Yukarıdaki formülden de görüleceği gibi, örnek noktalar arasındaki mesafelerin sıfır olması halinde her noktadaki değer kendisiyle karşılaştırılıyor anlamı taşımaktadır. Böylece, bütün farklar ve yarıvaryogram değeri de sıfır olacaktır. Δh 'nin küçük mesafeleri temsil etmesi durumunda karşılaştırılan noktalar birbirine yakın değerlerde olacak ve bunun sonucunda yarıvaryogram değerleri ise küçük değerler olacaktır. Δh mesafelerinin artması durumunda karşılaştırılan noktalar birbirleriyle daha az ilişkili olacak, farklar artmaya başlayacak ve bunun sonucunda da büyük yarıvaryogram değerleri elde edilecektir. Bazı mesafelerde karşılaştırılan noktalar birbirlerine çok uzak olmakta, bunun sonucunda ise birbirleriyle ilişkili olmamakta ve farklarının kareleri, ortalama değer olarak varyansın değerine eşit büyüklüğe gelmektedir. Yarıvaryogram fazla artmamakta, *eşik* olarak tanımlanan mesafelere paralel bir bölge oluşturmaktadır. BD'nin durağan veya her yerde aynı ortalama değere sahip olması durumunda, aralıklar dışındaki konumlar merkez noktadan tamamen bağımsızdırlar. Bununla beraber komşu istasyonlarda bütün noktalarda gözlenmiş bölgesel noktalar, merkezdeki BD noktası ile ilişkilidirler. Denklem (3.4) sadece BD'nin durağan olması durumunda geçerlidir. Değişkenin durağan olmaması durumunda ise

$$\gamma_h = \frac{\sum \left\{ (X_i - X_{i+h}) - \frac{\sum (X_i - X_{i+h})}{n} \right\}^2}{2n} \quad (3.5)$$

eşitliği geçerlidir. Eğer değişken durağan ise ikinci terim sıfır olur ve tekrar (3.6) eşitliği geçerli olacaktır.

Yarıvaryogram ve diğer istatistik değerler arasından örneğin; otokovaryans ve otokorolasyon arasında matematiksel bir ifade beklenmektedir. BD'nin durağan olması durumunda, Δh mesafesindeki yarıvaryogram aynı noktadaki varyans ve alan arasındaki farklar eşittir. BD'nin durağanlığında başka standartlaştırılmış

ortalamasının sıfır ve varyansının bir olması durumunda yarıvaryogram otokorelasyon fonksiyonunun simetriği olmaktadır.



Şekil 3.2 İdealleştirilmiş yarı varyogramlar (a) parabolik (b) doğrusal, (c) yatay, (d) orijinden sıçrama etkisi (Davis, 1986).

BD kalan (*residual*) ve drift (*beklenen değer*) olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Beklenen değer, i noktasında BD'nin beklenen değeridir. Hesaplamalı olarak, i noktası civarındaki bütün komşu noktaların ağırlıklı ortalamasıdır. Beklenen değer başlangıç BD'ne yumuşatılmış yaklaşım şekli vardır. Beklenen değer BD'den çıkarılması durumunda kalanlar $R_i = X_i - X_{ort}$ dır. Başka bir ifade ile, kalanlar durağan (*stasyoner*) olacaktır. Böylece, yarıvaryogram değerlerini hesaplamak mümkündür. Beklenen değer aşağıdaki formülde şu şekilde ifade edilir, birincisi doğrusal beklenen değeri (*drift*) temsil ederken, ikincisi polinomsal (*kuadratik*) beklenen değeri (*drift*) temsil etmektedir. Beklenen değerde, b_i katsayılarını elde edebilmek için, birçok denklemin aynı zamanlı çözümü gerekmektedir.

$$\left. \begin{array}{l} \overline{X_0} = \sum b_1 X_i \\ \text{veya} \\ \overline{X_0} = \sum (b_1 X_i + b_2 X_i^2) \end{array} \right\} \quad (3.6)$$

Yukarıdaki denklemde farklı noktalara karşılık gelen farklı yarıvaryogram değerleri değişken durumundadır. Bununla beraber, bu konumda hala gerekli yarıvaryogramları elde edebilecek yarıvaryogramlar bulunmamaktadır. Yarıvaryogramlar, alanlaştırılmış değişkenin veya kalanın uzay davranışını ifade etmektedirler. İdealleştirilmiş bazı yarıvaryogram çeşitleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir;

3.3.1 Yarıvaryogramların Modellenmesi

Model denklemlerinin oluşturulması öncelikle Clark (1979) tarafından göz ile yapılmış ve Olea (1975) tarafından ise programlama ile hesaplama gündeme getirilmiştir. İdeal durumda yarıvaryogramı simgeleyen modelin orijinden başlayarak yumuşak bir şekilde üst limite ulaşması ve daha sonra ise sabit seviyede devam etmesi beklenir. Küresel model bu özellikleri taşımaktadır (Şekil 3.3). Bu durumda;

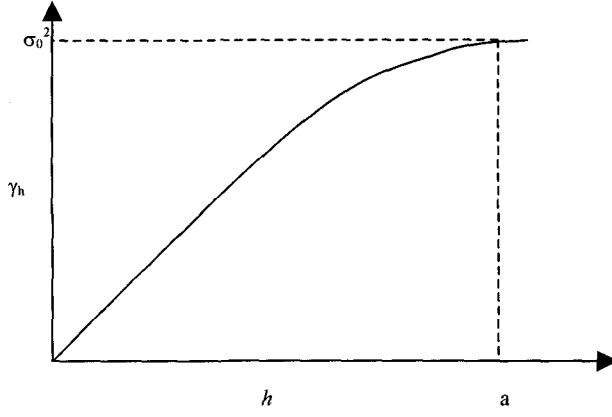
$$\gamma_h = \sigma_0^2 \left(\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right) \quad (3.7)$$

teorik ifadesi geçerlidir.

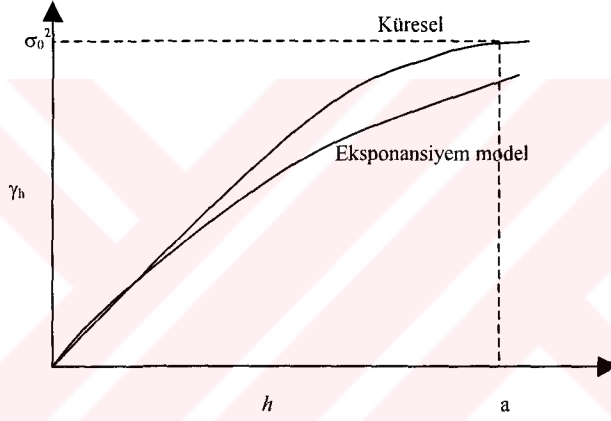
Bazen eksponansiyel model kullanılır ve bunun matematiksel ifadesi ise

$$\gamma_h = \sigma_0^2 (1 - e^{-h/a}) \quad (3.8)$$

dir. Şekil 3.4, eksponansiyel ve küresel modelleri karşılaştırmaktadır. Eksponansiyel model hiçbir zaman eşik değerine ulaşmamaktadır.



Şekil 3.3 Yarıvaryogramın küresel modeli, a , aralığı yarıvaryogramın varyansa eşit olduğu mesafedir (Davis, 1986).



Şekil 3.4 Yarıvaryogramın eksponansiyel ve küresel modelleri. İki modelin de benzer başlangıç eğimleri ve eşik değerleri bulunmaktadır.

Doğrusal model ise hem küresel hem de eksponansiyel modelden daha basit olup, sadece, α eğim parametresi bulunmaktadır. Genel şekli ise,

$$\gamma_h = \alpha h \quad (3.9)$$

dir. Orijinden geçen bir doğru şeklindedir. Bu modelin eşik değeri bulunmamaktadır. Bazen doğrusal model, aniden değişim gösterip keskin bir şekilde eşik değerinde kesilme oluşur. Bu durumda,

$$\left. \begin{aligned} \gamma_h &= \alpha h & h < a \\ \gamma_h &= \sigma_0^2 & h \geq a \end{aligned} \right\} \quad (3.10)$$

ifadeleri geçerlidir.

3.3.2 Noktasal Toplam Yarı Varyogram (NTYV)

Yukarıda açıklanan ve Matheron (1963) tarafından önerilen yarı-varyogramın kabullerinin başında durağanlık ve eşit mesafelere bağlı olarak alan ilişkisi bulunmaktadır. Noktasal bir ilişkiden daha çok düzgün dağılı alan ilişkisine bakılmaktadır. Durağanlığın bulunmaması durumunda rastgele dağılı noktalar arasındaki ilişkiye, yarıvaryogram yaklaşımı ile bakılamamaktadır. Şen (1989b) tarafından önerilen noktasal toplam yarı varyogram (NTYV), durağanlığın bulunmaması ve noktaların rastgele dağılımına göre nokta ile alan arasındaki ilişkiye dayanır. Hesaplamaları varyogram temeline dayanan Noktasal Toplam YarıVaryogram (NTYV), Şen (1989b) tarafından yer bilimleri çalışmalarında kullanılmıştır. Rüzgar hızı ve enerjisi verilerine de Şen ve Şahin (1998) tarafından uygulanmıştır. Şen ve Habib (1998) tarafından geliştirilen standart alansal bağımlılık (SAB) yaklaşımıyla nokta ve alan tahminleri de yapılabilmektedir. SAB fonksiyonları bunlara ilave olarak, istasyon tesir yarıçaplarının belirlenmesinde önemli bir yaklaşım getirmektedir.

X_r , referans noktası ve, $h_1, \dots, \dots, h_n$ bu referans noktası ile diğer noktalar arasındaki mesafeler olmak üzere değişim karesinin beklenen değeri

$$E[(X_r - X_{hi})^2] \geq 0 \quad i = 1, \dots, n \quad (3.11)$$

ve yarıvaryogram da

$$\gamma(h_i) = \frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_r - X_{hi})^2 \quad (3.12)$$

şeklinde yazılabilir. Bu durumda, $\gamma(h_i) \geq 0$ ve $\gamma(h_{i-1}) \leq \gamma(h_i)$ eşitsizlikleri sağlanacaktır. Mesafe ve NTYV değerlerinin birlikte kullanımına imkan tanımak ve karelerden dolayı büyük değerler alan NTYV değerlerini 0-1 arasına taşıyabilmek için verinin özellikleri aynen korunacak şekilde standartlaştırma yapılmalıdır. Standartlaştırma için her iki veri grubunun en büyük değerine bölmek gerekir. $\gamma(h_n)$ en büyük yarıvaryogram ve h_n ise en büyük mesafe değeri olmak üzere;

$$\gamma_{st}(h_i) = \frac{\gamma(h_i)}{\gamma(h_n)} \quad i = 1, \dots, n \quad (3.13)$$

$$h_{st,i} = \frac{h_i}{h_n} \quad i = 1, \dots, n \quad (3.14)$$

$$0 \leq \gamma_{st}(h_i) \leq 1 \quad \text{ve} \quad 0 < h_{st,i} \leq 1$$

boyutsuz büyüklükleri tanımlanır. Bu hesaplamalarda kendisine yakın istasyonlarda tesir katsayısı azalacak ve en sonunda sıfır olacaktır. Bütün mesafeler gözönünde bulundurulduğunda SAB fonksiyonu oluşacaktır. Tesir katsayısı w_i olmak üzere

$$(SAB)_i = w(h_{st,i}) = 1 - \gamma_{st}(h_i) \quad (3.15)$$

ve bu durumda $0 \leq (SAB)_i = w(h_{st,i}) \leq 1$ olacaktır. Alan tahmin hesaplamalarında ise tesir katsayılarının veri ile beraber mesafeye bağlı olarak oluşturdukları ağırlıklı ortalamalar kullanılacaktır. Yani tahminlerin yapılabilmesi için

$$A = w(h_{st,1}) + w(h_{st,2}) + \dots + w(h_{st,n}) \quad (3.16)$$

ve

$$X_T = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n X_i w(h_{st,i}) \quad (3.17)$$

değerlerinin bulunması gerekmektedir. A , tesir katsayılarının ağırlıklı ortalamaya etkisini temsil ederken, X_T ise sonuç olarak alan esaslı ağırlıklı ortalama tahmin değerini vermektedir. Başka bir ifade ile NTYV'ın hesaplanabilmesi için aşağıdaki algoritma adımlarının izlenmesi gerekmektedir.

1. Referans bir nokta seçilmeli ve seçilen bu nokta ile diğer noktalar arasındaki mesafeler hesaplanmalıdır. Eğer n tane nokta varsa, mesafe sayısı da $n-1$ tane olacaktır,
2. Referans nokta ile diğer noktalar arasındaki değerlerin farklarının karelerinin ardışık toplamalarının alınması ve yarıvaryogram olabilmesi için her değer $1/2$ 'ye bölünmesi gerekir,
3. Herbir noktanın mesafe değerlerine (X ekseninde) karşılık gelen NTYV değerleri Y ekseninde işaretlenir,
4. Elde edilen fonksiyonun X ekseninde mesafeler ve Y ekseninde ise NTYV değerleri bulunacaktır. Bunları nokta-alan ilişkilendirme hesaplamalarında kullanabilmek için, her bir noktadaki değerler en büyük değerlere bölünerek standart birimsiz hale getirilir.
5. Objektif analiz yöntemine göre (Cressman, 1959; Barnes 1964) mesafeler artıka tesir de azalacaktır. Buna dayanarak standartlaştırılmış değerler 1'den çıkarılır ve en büyük değere bölünür ve böylece SAB fonksiyonu elde edilir, ve
6. Her nokta için elde edilen SAB fonksiyonunda noktalar arasındaki mesafelere göre ağırlıklı ortalama alınır ve alansal tahminler yapılır.

3.3.3 Kriging Yöntemi

BD'ler konumdan konuma süreklidir ve kısa mesafelerde uzay ilişkileri vardır. Buna rağmen, geniş alanlara dağılmış düzensiz yüzeylerde istatistiksel bağımlılık bozulmaya yönelir. BD'nin uzay sürekliliğinin derecesi daha önce tartışılan yarıvaryogram ile ifade edilir. Dağılı bulunan noktaların ölçümlerinin olması ve yarıvaryogramın yapısının bulunması durumunda ölçülmemiş noktanın yüzey değerlerini hesaplamak mümkün olur. Kriging olarak ifade edilen bu hesaplama

süreci, Güney Afrikalı maden mühendisi D. G. Krige tarafından önerilmiş olup BD'lerin uygulamalı incelenmesi ve yorumlanmasında bir süreç haline gelmiştir.

Kriging'in, standart eşdeğer algoritmalarından farkı eşdeğer haritalarını bölgesel olarak en iyilemesidir. Belki de, en önemli özelliği, yöntemin hataları ölçmesi veya eşdeğer yüzeyindeki belirsizlikleri ifade etmesidir. Kriging, yarıvaryogram bilgisine dayanarak ölçüm yapılmayan yüzey noktalarındaki değerlerin hesaplanması için ağırlık kümelerinin bulunmasına yarar. Yarıvaryogram mesafe fonksiyonu olduğu sürece ağırlıklar örneklerin topografik düzenlemesine göre değişir.

Kriging'in en basit veya punctual şekli gözlemlerle elde edilen değerleri boyutsuz hale getirir. Hesaplamalar yine boyutsuz bir bölge olan başka bir noktaya uygulanır. Haritası oluşturulan değişken, istatistiksel olarak durağan veya kaymadan (drift) bağımsız kabul edilmektedir. Değerlerin olmadığı bölgenin verisi bilinen gözlemlerin ağırlıklı ortalaması yardımı ile hesaplanabilir. Yani, p noktasındaki değer yakınında bulunan, ölçümlerden.

$$Y'_p = \sum W_i Y_i \quad (3.18)$$

şeklinde hesaplanır. Burada, hesaplanan Y'_p değerinin ölçülen Y_p değerinden farklı olması beklenir ve hesaplama hatası,

$$\varepsilon_p = (Y'_p - Y_p) \quad (3.19)$$

olarak tanımlanır. Hesaplanan ağırlıkların toplamının bir olması durumunda kaymanın (drift) olmadığı anlamı çıkmaktadır. Çok büyük hesaplamalar sonucunda ortalama hata sıfır olacaktır. Çünkü fazla (+) veya düşük (-) hesaplamalar birbirini götürecektir. Bununla beraber, ortalama hesaplama hatası sıfır olacak ve hesaplar gerçek değer etrafında dağılacaktır. Bu dağılımın hata varyansı,

$$S_\varepsilon^2 = \frac{\sum (Y'_p - Y_p)^2}{n} \quad (3.20)$$

veya kare kökü hesaplanan standart hatayı verecektir.

$$S_\varepsilon = \sqrt{S_\varepsilon^2} \quad (3.21)$$

Yapılan hesaplamalarda yakın noktaların birbirine daha fazla etkili yani bağımlı olacağı bunun aksine uzak noktaların ise daha az etkili yani bağımsız olacağı sonucu ortaya çıkmaktadır. Yine hesaplama sürecinde kullanılan ağırlıklar ve hesaplama hatalarının yüzey yarıvareogramı ile ilişkili olması beklenir (Clark, 1979). Örneğin, p noktasındaki Y değerinin üç komşu nokta ile hesaplanmak istendiğini varsayalım ve hesaplayıcı olarak üç bilinen değer ağırlıklı ortalamasını almayı düşünelim. Bu durumda (3.18) ifadesi açıkça

$$Y'_p = W_1 Y_1 + W_2 Y_2 + W_3 Y_3 \quad (3.22)$$

olur. Burada ağırlıkların toplamının bir olacağı düşünülür ve böylece bir gidişin (trendin) olmaması durumunda hesaplama doğru yapılmıştır. Yp gibi bir çok noktanın diğer noktalardan farkının hesaplanması ve elde edilen değerler yardımıyla hata varyansları,

$$S_\varepsilon^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_{pi} - Y_{li})^2 \quad (3.23)$$

ile bulunur. Ağırlıkların en iyi (optimum) değerini bulmak için yarıvaryogramdan hesaplanan değerleri içeren ve ardarda gelen denklem kümelerini çözmek gerekir. Basit bir durumda, p noktasındaki Y' değerini elde etmek için Y_1 , Y_2 ve Y_3 gözlem değerlerini kullanırız. Kriging eşitliği için W_1 , W_2 ve W_3 ağırlıklarının bulunması üç bilinmeyenli üç denklem gerektirir. Bu denklemler,

$$W_1 \gamma(h_{11}) + W_2 \gamma(h_{12}) + W_3 \gamma(h_{13}) = \gamma(h_{1p})$$

$$W_1 \gamma(h_{12}) + W_2 \gamma(h_{22}) + W_3 \gamma(h_{23}) = \gamma(h_{2p}) \quad (3.24)$$

$$W_1 \gamma(h_{13}) + W_2 \gamma(h_{23}) + W_3 \gamma(h_{33}) = \gamma(h_{3p})$$

dir. Bu gösterimde, $\gamma(h_{ij})$, i ve j kontrol noktaları civarında h_{ij} mesafesine karşılık gelen yarıvaryogramlardır. Örneğin, $\gamma(h_{13})$ 1 ve 3 olarak bilinen noktalar, ve $\gamma(h_{1p})$

ise 1 ve hesaplamının yapılacağı p noktası arasındaki yarivaryogramlara karşılık gelmektedir. Buradaki üç bilinmiyenin çözülmesi ve çözümlerin taraflı olmaması için dördüncü bir denkleme ihtiyaç bulunmaktadır. Bu dördüncü denklem ise yukarıda söylendiği gibi ağırlıklar toplamının bire eşit olması gerekliliğidir.

$$W_1 + W_2 + W_3 = 1.0 \quad (3.25)$$

Böylece, üç bilinmeyenli dört denklem kümesi ortaya çıkmaktadır. Bu durumda bilinmeyenlerden fazla sayıda denkleminiz bulunmakta ve bunun sonucunda ise hesaplama hatasını en aza (minimuma) indirebilecek ilave bir serbestlik derecesi bulmak gerekmektedir. Bu ise zayıf değişken olan bir Lagrange çarpanının, λ , eklenmesi ile mümkün olur. Böylece, dört bilinmeyenli dört denklem takımı ortaya çıkacaktır.

$$\begin{aligned} W_1\gamma(h_{11}) + W_2\gamma(h_{12}) + W_3\gamma(h_{13}) + \lambda &= \gamma(h_{1p}) \\ W_1\gamma(h_{12}) + W_2\gamma(h_{22}) + W_3\gamma(h_{23}) + \lambda &= \gamma(h_{2p}) \\ W_1\gamma(h_{13}) + W_2\gamma(h_{23}) + W_3\gamma(h_{33}) + \lambda &= \gamma(h_{3p}) \\ W_1 &+ W_2 &+ W_3 &+ 0 &= 1 \end{aligned} \quad (3.26)$$

Bu denklemlerin matris formuna dönüştürülmesi sonucunda

$$\begin{bmatrix} \gamma(h_{11}) & \gamma(h_{12}) & \gamma(h_{13}) & 1 \\ \gamma(h_{12}) & \gamma(h_{22}) & \gamma(h_{23}) & 1 \\ \gamma(h_{13}) & \gamma(h_{23}) & \gamma(h_{33}) & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ W_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(h_{1p}) \\ \gamma(h_{2p}) \\ \gamma(h_{3p}) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

elde edilir. Kısaca

$$[A] \cdot [W] = [B] \quad (3.28)$$

yazılabilir. Burada A matrisine göre W katsayılarının bulunabilmesi için B vektörü doğrudan yarivaryogramlardan veya yarivaryogramların matematik fonksiyonlarından bulunmalıdır. Öncelikle, bilinmeyen ağırlıklar elde edilmeli ve daha sonra ise p noktalarındaki değer

$$Y'_p = W_1 Y_1 + W_2 Y_2 + W_3 Y_3 \quad (3.29)$$

şeklinde, varyans ise

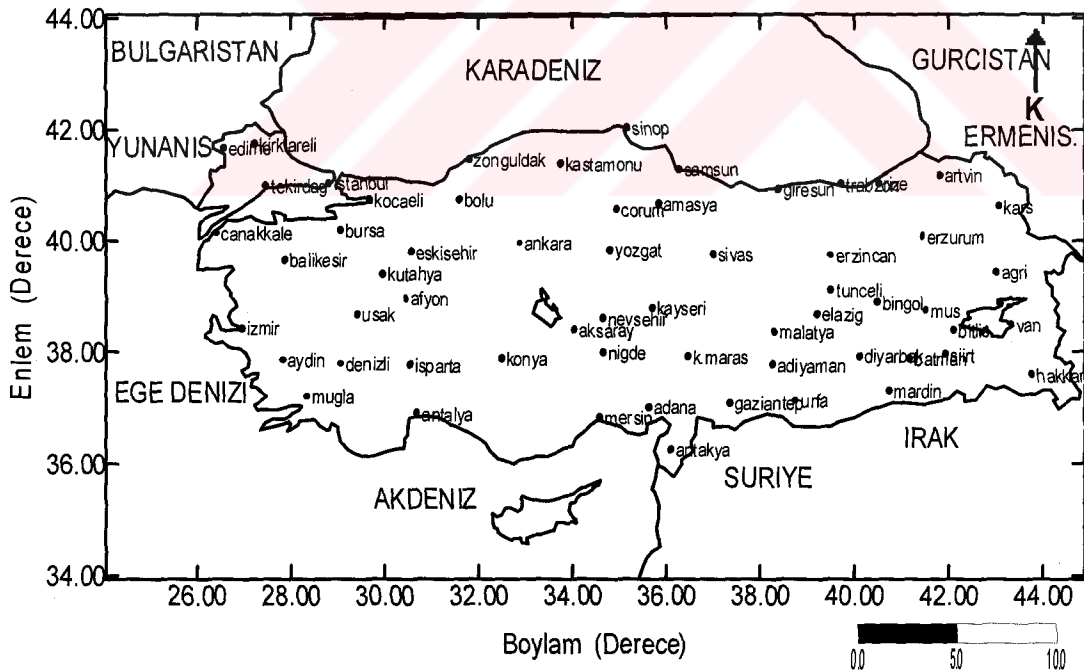
$$S_e^2 = W_1 \gamma(h_{1p}) + W_2 \gamma(h_{2p}) + W_3 \gamma(h_{3p}) + \lambda \quad (3.30)$$

denklemlerinden hesaplanır. Yani, hesaplanan varyans, yarivaryogramının ağırlıklar ile çarpımlarının ve sabit terim olan λ 'nın toplamından oluşmaktadır. Kriging'in bilinen eşdeğer hesaplama yöntemlerinden çok önemli iki farkı bulunmaktadır. Kriging süreci ortalamada mümkün olan en küçük hatayı hesaplamakta ve buna ilave olarak bu hata büyüklüğünün açık bir sürecini göstermektedir.

4. TÜRKİYE UYGULAMASI

4.1 Genel Bilgi

Bu çalışmada, Türkiye'de bulunan 60 büyük klima istasyonunun yaklaşık olarak 1930-1990 yılları arasındaki aylık yağış, sıcaklık ve nem verileri kullanılmıştır. Her üç meteorolojik değişken, her yöreye ait ortak zaman dilimine sahiptir. Yağış, nem ve sıcaklık verileri önce günlük olarak alınmıştır, ancak bu verinin sayısı milyonları aştığı için aylık veri kullanılmasına karar verilmiştir. Bunun yanında günlük yağış verileri kesikli olduğu için aylık kullanılması uygun bulunmuştur. Verisi kullanılan bu istasyonların özellikleri Şekil 4.1 ve Tablo 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Çalışılan istasyonların konumları

4.2 Türkiye Topoğrafyası ve İklimi

Bilindiği üzere, Türkiye 26°-45° doğu boylamları ile 36°-42° kuzey enlemleri arasında yer alan ve üç tarafı denizlerle çevrili bir yarım adadır. Akdeniz, Ege, Karadeniz ve Marmara denizine kıyıları bulunmaktadır. Bunlardan Marmara denizi bir iç deniz konumundadır.

Güneyde Toroslar, kuzeyde ise sahil boyunca İsfendiyar dağları ile kuşatılmıştır. Bunlardan farklı olarak, özellikle Ege ve Marmara bölgesi sahillerinde dağlar denize diktir. Bu durum, Ege ve Marmara bölgelerinin iç kesimlerinde de deniz etkisinin hissedildiği anlamına gelmektedir. Özellikle, deniz-kara etkileşimiyle oluşan yağışlar, Akdeniz ve Karadeniz'de geçiş engeli olarak dağlar ile karşılaşmaktadır. Ege ve Marmara bölgelerinde böyle bir durum söz konusu olmamaktadır.

Türkiye'de Akdeniz iklimi, karasal iklim ve bu iki iklimin etkileşimiyle ara iklimler hüküm sürmektedir. Akdeniz ikliminde genel anlamda yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise ılıman ve yağışlı bir havaya sahiptir. Bunun yanında karasal iklimde yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise soğuk ve yağışlıdır. Her iki iklimde de, bahar mevsimleri ılık ve yağışlı olur. Karadeniz bölgesi her ne kadar farklı iklim yapısına sahip olsa da, deniz-kara etkileşiminin olduğu bir iklimdir. Enlem farkından ve kuzeyli cephelerin gelmesinden dolayı nerede ise bütün mevsimler boyunca yağışlı iklime sahip bir bölgedir. Ege, Marmara ve Akdeniz bölgelerinin iç kesimlerinde, genelde Akdeniz ikliminin alt çeşitlerine rastlanmaktadır. Anadolu'nun iç kesimlerinde tamamen karasal iklim hüküm sürmektedir. Bununla birlikte, Güneydoğu Anadolu bölgesinin güney bölümlerinde çöl ve karasal iklim etkisi ile oluşan ara iklimin etkisi daha çok hissedilmektedir.

Türkiye coğrafyası genel anlamda göz önünde bulundurulduğunda, Anadolu'daki istasyonların benzer özellikler gösterdiği ve birbirleriyle etkileşim halinde olduğu gözlenecektir. Karadeniz ve Akdeniz bölgelerinde iç bölgelere doğru gidildikçe etkileşimin azaldığı ve bunun aksine, Ege ve Marmara bölgelerinde ise iç bölgelere doğru gidildikçe etkileşimin de arttığı anlaşılr.

Tablo 4.1 Kullanılan istasyonların bazı özellikleri.

SIRA	İstasyon No	İSTASYON ADI	ENLEM (N)	BOYLAM (E)	RAKIM (m)	Yağış Süresi	Sıcaklık Süresi	Nem Süresi
1	350	ADANA	35.30	36.98	20	1931-1992	1929-1991	1930-1993
2	600	ADİYAMAN	38.28	37.75	678	1938-1992	1962-1996	1963-1998
3	190	AFYON	30.53	38.75	1034	1931-1992	1929-1991	1930-1990
4	102	AĞRI	40.05	39.72	1632	1939-1991	1940-1990	1950-1998
5	607	AKSARAY	34.05	38.38	980	1933-1992	1964-1990	1964-1998
6	614	AMASYA	35.85	40.65	412	1936-1992	1961-1990	1961-1998
7	130	ANKARA	32.88	39.95	894	1926-1992	1926-1990	1926-1991
8	378	ANTAKYA	36.12	36.25	100	1941-1990	1940-1990	1940-1998
9	300	ANTALYA	30.70	36.88	42	1931-1992	1931-1990	1930-1992
10	41	ARTVİN	41.82	41.17	579	1948-1992	1948-1991	1948-1991
11	234	AYDIN	27.83	37.85	57	1932-1998	1940-1996	1941-1998
12	150	BALIKESİR	27.87	39.65	147	1937-1990	1938-1990	1938-1997
13	205	BATMAN	41.17	37.87	540	1959-1990	1963-1990	1964-1998
14	632	BİNGÖL	40.50	38.87	1177	1943-1990	1961-1990	1961-1998
15	164	BİTLİS	42.10	38.37	1559	1940-1990	1964-1990	1964-1998
16	70	BOLU	31.60	40.73	742	1931-1991	1929-1989	1930-1998
17	116	BURSA	29.07	40.18	100	1931-1990	1951-1993	1930-1998
18	112	ÇANAKKALE	26.4	40.15	6	1931-1991	1930-1993	1930-1991
19	84	ÇORUM	34.97	40.55	798	1931-1990	1930-1991	1930-1991
20	237	DENİZLİ	29.08	37.78	428	1930-1998	1956-1996	1931-1998
21	280	DİYARBAKIR	40.12	37.92	660	1931-1991	1929-1991	1930-1993
22	50	EDİRNE	26.57	41.67	48	1931-1991	1931-1990	1926-1993
23	202	ELAZIĞ	39.22	38.67	1105	1938-1989	1938-1989	1930-1990
24	92	ERZİNCAN	39.50	39.73	1215	1935-1990	1930-1990	1931-1998
25	96	ERZURUM	42.27	39.92	1869	1929-1991	1930-1991	1930-1991
26	665	ESKİŞEHİR	30.57	39.78	787	1931-1991	1929-1990	1929-1998
27	260	GAZİANTEP	37.37	37.08	855	1929-1990	1940-1990	1940-1998
28	34	GİRESUN	38.40	40.92	38	1931-1991	1930-1991	1930-1991
29	670	HAKKARİ	43.77	37.57	1720	1950-1990	1961-1990	1961-1998
30	240	İSPARTA	30.55	37.75	997	1931-1990	1930-1990	1930-1998
31	62	İSTANBUL	29.1	40.97	33	1929-1998	1931-1990	1930-1993
32	220	İZMİR	27.17	38.40	25	1931-1991	1938-1991	1929-1991
33	165	K.MARAŞ	36.93	37.60	549	1939-1990	1963-1996	1951-1998
34	98	KARS	43.08	40.60	1775	1930-1990	1931-1960	1930-1993
35	74	KASTAMONU	33.77	41.37	791	1931-1990	1930-1990	1950-1998
36	196	KAYSERİ	35.48	38.72	1068	1931-1998	1931-1990	1931-1998
37	601	KIRKLARELİ	27.22	41.73	232	1931-1990	1930-1990	1963-1998
38	66	KOCAELİ	29.08	40.73	70	1929-1998	1950-1996	1950-1998
39	244	KONYA	32.50	37.87	1028	1931-1990	1929-1991	1950-1991
40	152	KÜTAHYA	29.97	39.40	969	1931-1998	1931-1990	1929-1992
41	200	MALATYA	38.30	38.35	998	1931-1991	1929-1990	1932-1991
42	282	MARDİN	40.73	37.30	1080	1939-1990	1940-1989	1941-1998
43	340	MERSİN	34.60	36.82	5	1960-1990	1960-1990	1940-1998
44	292	MUĞLA	28.35	37.20	646	1931-1991	1935-1991	1935-1991
45	700	MUŞ	41.52	38.73	1283	1933-1991	1964-1990	1964-1998
46	193	NEVŞEHİR	34.67	38.58	1260	1956-1998	1960-1996	1960-1998
47	230	NİĞDE	34.67	37.98	1208	1935-1991	1929-1990	1935-1998
48	40	RİZE	40.52	41.03	4	1935-1991	1932-1991	1932-1991
49	30	SAMSUN	36.33	41.25	4	1929-1991	1931-1990	1929-1991
50	210	SİİRT	41.93	37.93	895	1929-1990	1938-1990	1939-1998
51	26	SİNOP	35.17	42.03	32	1931-1991	1938-1990	1938-1998
52	90	SİVAS	37.02	39.75	1285	1931-1991	1931-1990	1930-1991
53	270	ŞANLIURFA	38.77	37.13	547	1931-1991	1929-1991	1930-1990
54	56	TEKİRDAĞ	27.48	40.98	4	1932-1998	1939-1996	1940-1998
55	38	TRABZON	39.72	41.00	30	1931-1990	1929-1989	1929-1991
56	735	TUNCELİ	39.53	39.10	979	1951-1990	1964-1990	1964-1998
57	188	UŞAK	29.42	38.67	919	1931-1991	1929-1990	1935-1998
58	170	VAN	43.35	38.47	1725	1932-1991	1938-1991	1938-1991
59	132	YOZGAT	34.82	39.83	1298	1931-1990	1930-1990	1940-1998
60	22	ZONGULDAK	31.80	41.45	136	1931-1991	1938-1991	1938-1991

4.3 Yağışın Alansal-Zamansal Özellikleri

Çalışmanın başlangıcında, kuraklığın nasıl tanımlanacağına ve buna göre hangi kuraklık büyüklüklerinin kullanılarak analizler yapılacağına karar verilmesi gerekir. Bu çalışmada aylık yağışlar kullanılacağı için buna göre 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, yağışın uzun yıllar ortalamasının altına düşmesiyle başlar ve yağışın uzun yıllar ortalamasının üzerine çıkmasıyla son bulur. Eğer yağış iki kurak süre arasında tek bir dönem için dahi uzun dönem ortalamasının üzerinde ise bu iki kurak süre iki ayrı kurak periyot olarak alınır. Bu tanımlamalara göre, kurak süre, toplam yağış eksikliği ve kuraklık şiddeti olmak üzere üç farklı kuraklık büyüklüğü belirlenebilir. Yukarıda bahsedildiği gibi yağışla ilgili bazı bilgilerin önceden belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle mevsimlik yağışların ortalama, standart sapma, çarpıklık, maksimum, minimum, standartlaştırılmış maksimum ve minimum değerlerinin alansal dağılımı SURFER bilgisayar programı kullanılarak elde edilmiştir (Şekil A.1a – A. 7d). Kış aylarında Ege, Akdeniz bölgeleri 1000 mm'nin üzerinde, Marmara 800 mm, İç Anadolu, Doğu Anadolu'nun batı bölümü 600 mm, Batı Karadeniz 800 mm, Doğu Anadolu 1000 mm ve Doğu Karadeniz 2000 mm'yi aşan yağışlar almaktadır. Ilkbaharda yağış miktarı azalmakta, batı bölgelerinde 500 mm, doğuda ise 700 - 900 mm arasında, Rize ve Trabzon'da 1000 - 1200 mm'dir (Şekil A.1a – A. 1b). Yazın ülkemiz genelinde ortalama 300 mm'lik yağışlar görülürken Rize ve Trabzon'da 1400 mm, Güneydoğu Anadolu'da bu değer 100 mm'ye düşmektedir. Sonbaharda tekrar yağış miktarı artmakta ve Ege bölgesinde 500 mm, Marmara 700 mm, Akdeniz Bölgesinde 300 - 500 mm, İç Anadolu'da 300 mm, Doğu Karadeniz'de 700 - 2000 mm, Güneydoğu Anadolu'da 300 - 500 mm yağış gözlenmektedir (Şekil A. 1c –A. 1d). Türkiye genelinde yağışlar İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu'da en düşük değerlerde iken Doğu Karadeniz'de en yüksek değerlere sahiptir. Şekil A.2a – A.2d'de ülkemizde mevsimsel alansal maksimum yağış değişimi görülmektedir. Doğu Karadeniz'de 2400 mm'yi aşarken, Antakya ve Isparta merkezli diğer bir maksimum yağış gözlenen bölge ortaya çıkmaktadır. Yaz aylarında gözlenen maksimum yağışlar Ege, İç Anadolu, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu'da 800 mm, Marmara'da 1000 mm, Akdeniz'de 800 - 1400 mm, Doğu Karadeniz'de 2000

mm'ye yakındır. Sonbaharda yine benzer bir dağılımla yağış değerleri artarak Konya merkezli bölgede en küçük değerlerde, Doğu ve Batı Akdeniz'de 1400 - 2200 mm, Marmara'da 2000 mm, Güneydoğu Anadolu'da 1200-1400 mm, Doğu Anadolu'da 1400 mm, Doğu Karadeniz'de 3000 mm olmaktadır.

Şekil A.3a – A.3d'de ülkemizde minimum yağışın mevsimsel alansal değişimine bakılmaktadır. Kışın aylık toplam minimum yağışlar genel olarak 100 - 200 mm arasında değişmektedir. Doğu ve Batı Karadeniz'de en yüksek değerler görülmektedir. İlkbaharda bu değerler batı bölgelerinde 50 mm iken Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu'da 150 mm olmaktadır. Yazın ise hiç yağış almayan bölgelerimiz ülkenin güneyinde bulunmaktadır. Ege ve Marmara bölgelerimizde yazın yağış almamaktadır, ancak Doğu Karadeniz'de yağışlar gözlenmektedir. Sonbahar mevsiminde ülkemizde Ege, Akdeniz, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu yağış almamakta, Karadeniz'in tamamı ve Marmara'nın doğusu İstanbul dahil olmak üzere 50 - 100 mm arasında yağış almaktadır.

Ülkemizde yağışın standart sapma değerleri için elde edilen zamansal alansal haritalar Şekil A. 4a – A. 4d'de görülmektedir. Kış aylarında genellikle 340 mm görülürken, Ege ve Akdeniz bölgelerinde 500 - 900 mm'lik standart sapma değerleri gözlenmektedir. İlkbaharda daha kararlı bir değişim göstererek 300 mm civarında salınırken, Akdeniz bölgesinde 400 mm olmaktadır. Yaz aylarında genellikle 200 mm iken Isparta civarlarında 200 mm'den daha yüksek değerler gözlenmektedir. Sonbaharda Rize merkezli Doğu Karadeniz Bölgesinde 350 mm'de yüksek değerler görülürken ülkenin tamamında 350 mm'lik standart sapma değerleri gözlenmektedir.

Standartlaştırma yapılırken ortalamadan olan farkların standart sapmaya oranı alınmaktadır. Şekil A.5a – A. 5d ise maksimum standart yağışın değişimlerini göstermektedir. Dört mevsimde de pozitif 3 değeri ülkenin bütününde gözlenirken Tekirdağ sınırında negatif değerler bulunmaktadır. Kış aylarında Tekirdağ civarında yalnızca negatif değer bulunurken İstanbul 2.5, Ege 3, Akdeniz 3.5, İç Anadolu 2.5 - 3, Karadeniz 3 - 3.5, Doğu Anadolu 3 - 3.5, Güneydoğu Anadolu 2.5 değerine sahiptir. İlkbahar, yaz ve sonbahar aylarında ise Tekirdağ dışındaki bölgelerde 3 değeri hakim olmaktadır. Minimum standart yağış değerleri Şekil A.6a – A. 6d'de görülmektedir. Kışın yağışın standart değerleri -1.6'ya düşerken yazın bu değerler -1.1, -0.9 ve -0.7 gibi daha yüksek değerler olmaktadır. Buradan anlaşılabacağı üzere

kış ve ilkbahar aylarında standart yağış yaz ve sonbahara göre daha düşük değerler göstermektedir. Kış ve ilkbaharda yağış ortalaması ve standart sapması yüksek değerlere sahip olmaktadır. Buna ilaveten yine Aralık'tan Nisan dönemine kadar gözlenen yağış değerlerinde değişim daha fazladır. Bu aylarda genellikle yağış olmasına rağmen yaz ve sonbahar aylarına göre daha düşük negatif değerler gözlenmektedir. Kışın Ege ve Akdeniz'de -1.4, Marmara, Karadeniz, İç Anadolu, Doğu Anadolu -1.6, Güneydoğu Anadolu ise -1.8 değerindedir. İlkbaharda Ege, Marmara, Güneydoğu Anadolu -1.4, Karadeniz ve Doğu Anadolu -1.6, Akdeniz bölgesi -1.2 değerindedir. Yazın ülkemizin kuzey kesimleri güney kesimlere göre negatif olarak daha düşük değerlere sahiptir. Marmara -1.1, Karadeniz -1.3, İç Anadolu -0.7 - (-1.1), Doğu Anadolu -1.1, Güneydoğu Anadolu -0.9, Akdeniz -0.7'dir. Sonbaharda ise kuzeydeki bölgelerimizde güneydeki bölgelerimize göre negatif olarak düşük değerler gözlenmektedir. Akdeniz -1.0, Ege, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu -1.2, Marmara -1.2 - (-1.4), Karadeniz -1.4 - (-1.6), Doğu Anadolu -1.4'tür. Bu haritalardan anlaşılacağı üzere Güneydoğu Anadolu Bölgemiz kuraklığın şiddetli olarak yaşandığı bölgemizdir, bununla birlikte Ege, İç Anadolu ve Akdeniz bölgelerinde de benzer kuraklık eğilimi görülmektedir.

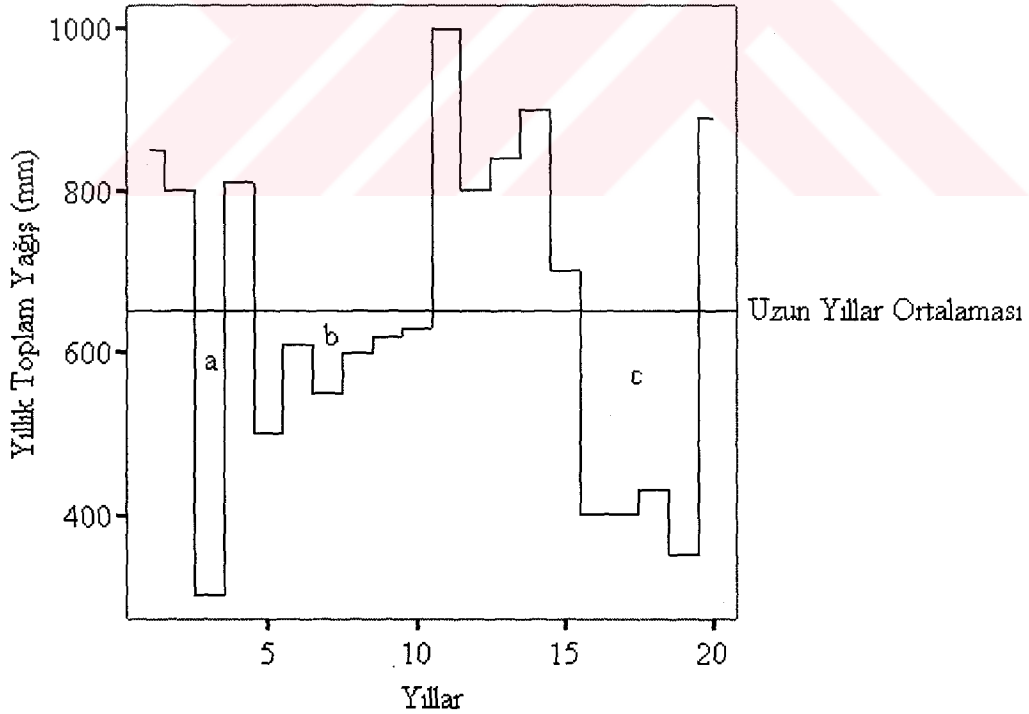
Ülkemizin geneli için mevsimsel-alansal yağış için çarpıklık katsayısındaki değişim ise Şekil A.7a - A. 7d'de verilmiştir. Kış aylarında kuzey bölgelerimizde Marmara, Karadeniz, İç Anadolu, Doğu Anadolu'da 0.8, Rize ve Doğu Anadolu'nun doğusu 1.2, Güneydoğu Anadolu 0.8, Akdeniz 1.2, -1.6, -3.2 değerine kadar çıkmaktadır. İlkbaharda da benzer olarak Marmara, Batı Karadeniz, Ege, Kayseri ve K.Maraş civarı 1.1, Doğu Karadeniz, İç Anadolu 0.7, Akdeniz ise 1.1 - 2.4 değerine kadar yükselmektedir. Yaz ve Sonbahar'da yağıştaki çarpıklık artmaktadır. Marmara, Ege, Batı Karadeniz ve İç Anadolu 1.2, Güneydoğu Anadolu 2.2, Akdeniz bölgesi ise 3 ve üzerinde değerler göstermektedir. Bu değerler yağışın bölgesel olarak alacağı yaklaşık olasılık dağılımının yapısı hakkında da bilgi vermektedir. Kış ve İlkbahar aylarında yağış verisinin dağılımı normale yaklaşırken yaz ve sonbahar aylarında bu durum değişmektedir.

Bunlara ilave olarak yıllık yağış için 16 ilin histogramları elde edilmiştir (Şekil B. 1 – B. 16). Yağışın on altı ilimiz için gösterdiği dağılımlar gamma, geometrik ve ekstremdir. Şekil B. 1'de Rize için yağışın olasılık dağılımını görmekteyiz,

bu ilimiz yağışı 12 ay boyunca en fazla yağış alan ilimizdir. Bu nedenle, yağışın olasılık dağılımı gamma dağılıma uymaktadır. İstanbul'un olasılık dağılımı geometrik dağılıma uymaktadır (Şekil B. 2). Diğer illerimizden İzmir, Konya, Diyarbakır ve Antalya'ya baktığımızda ise olasılık dağılımlarının geometrik olduğunu görmekteyiz (Şekil B. 3 – B. 6). Bu şekilden de anlaşılacağı üzere yağışın düşük değerleri yüksek değerlere göre daha fazla sıklıkta meydana gelmektedir. Olasılık dağılımları simetrik değildir ve çarpıklık katsayısı negatiftir (sağa doğru kuyruğu vardır).

4.4 Kuraklık Zamanı, Genliği ve Şiddetin Elde Edilmesi

Kuraklık süresi, herhangi bir dönem yağış zaman serisinde yağışın uzun yıllar ortalaması altında kalmasıyla başlayan ve uzun yıllar ortalaması üzerine çıkmasıyla sona eren sürenin uzunluğudur.



Şekil 4.2 Kuraklık büyüklükleri: (a) Yıllık en büyük yağış eksikliği; (b) En uzun kurak süre; (c) En büyük toplam yağış eksikliği.

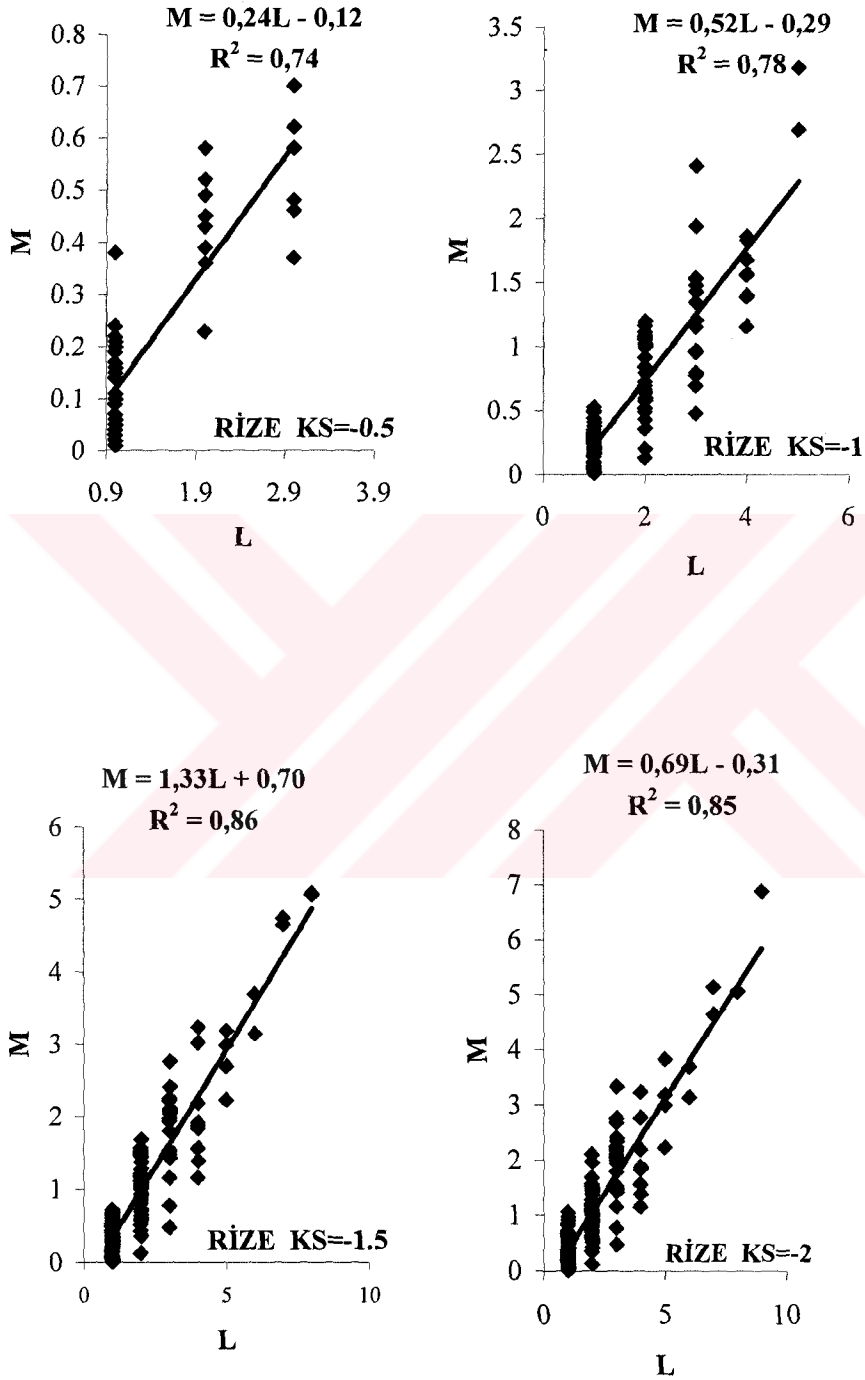
Şekil 4.2’de herhangi bir yağış zaman serisi için en büyük kurak süre gösterilmiştir. İlgilenilen yağış zaman serisindeki en düşük toplam yağış, en kurak dönemi göstermektedir. Toplam yağışların uzun süre ortalamasının bu en düşük toplam yağıştan olan farkı ise en kurak dönemdeki kuraklığın büyüklüğünü ifade eder.

Bir kurak süre yağışın uzun yıllar ortalamasının altında kalması ile başlayacaktır ve ilk aydan itibaren uzun aylar ortalaması ve aylık 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 4.2’de herhangi bir dönemdeki yağışın zaman serisi için en büyük yağış eksikliği verilmiştir.

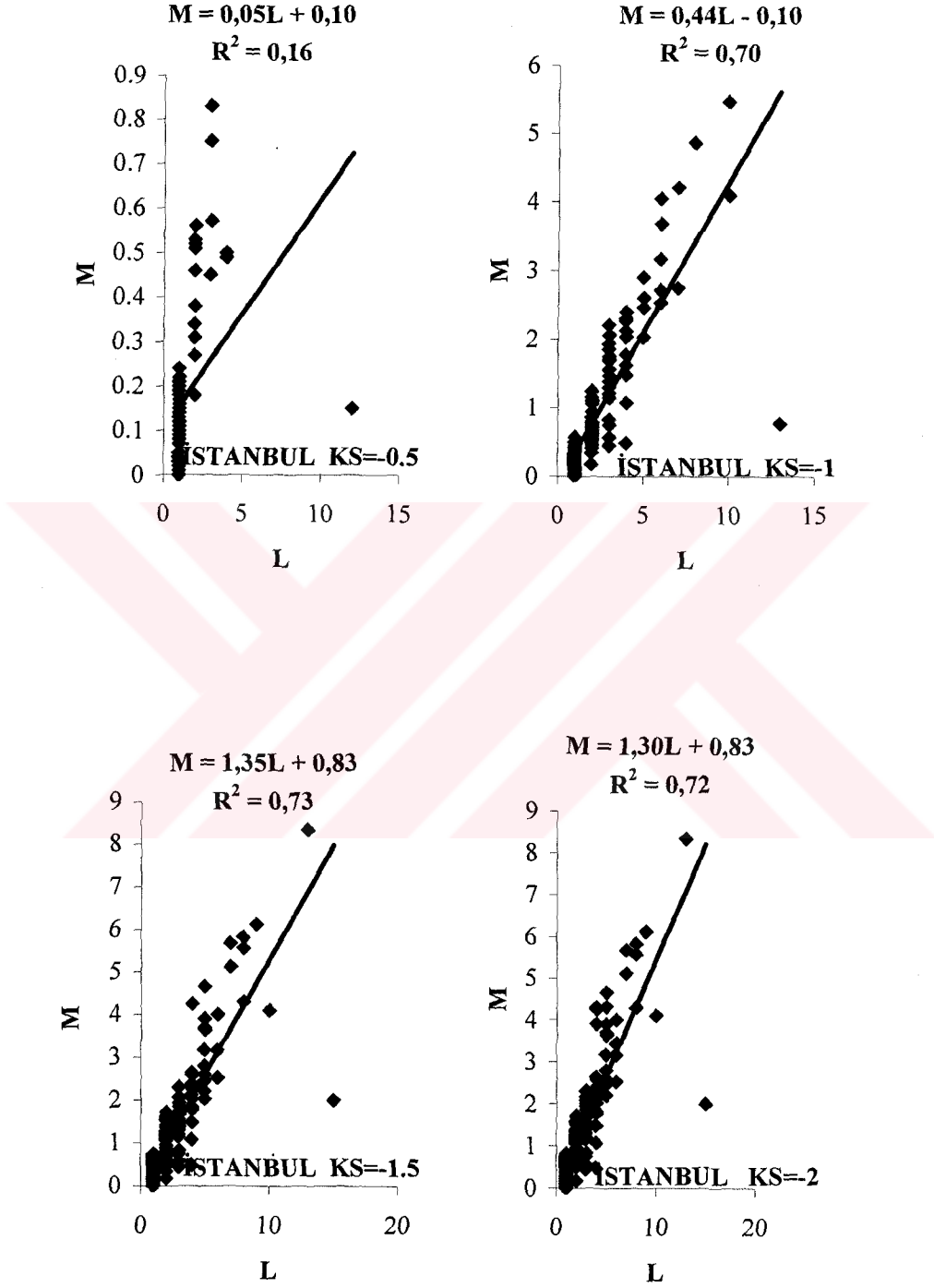
Tez çalışmasında kullanılan SYİ Mc.Kee ve diğ. (1993) tarafından uygulandığı şekliyle değil de kuraklık testinde önemli elemanlar olan kuraklık süresi, genliği ve şiddetinin belirlenmesi amacıyla ortalama aylık yağış verisine uygulanmıştır. Kuraklık genlik, süre ve şiddet değerleri gidişler analizi kullanılarak elde edilmiştir. Bununla birlikte SYİ için geçerli olan sınıf aralıkları kesim seviyeleri olarak alınmıştır. Bu dört kesim seviyesine göre hafif, orta şiddetli ve ekstrem kuraklık değerlerinin her biri için M, L ve I değerleri elde edilmiştir.

Diğer bir ifade ile, standart hale getirilen yağışın zaman serisinden farklı kesim seviyeleri alınarak genlik (M), süre (L) ve şiddet (I) değerleri tesbit edilmiştir. Su kaynaklarının planlanması, su eksikliği olduğu dönemlerde gerekli su miktarı, su eksikliğunun kapladığı alanların tesbiti bu değerlerin bulunması ile mümkündür. Elde edilen M ve L değerlerinin kartezyen koordinatlara farklı kesim seviyelerinde işaretlenmesi ile M ve L arasındaki ilişkiyi gösteren doğrusal denklemler elde edilmiştir.

Şekil 4.3’de Rize’de -0.5, -1, -1.5 ve -2 kesim seviyeleri için şekiller ve denklemler verilmiştir. Buradan görüleceği gibi eğer elimizde M ve L değerlerinden biri varsa diğerini kolaylıkla elde edilen doğrusal denklemler yardımı ile % 75 - % 85 doğrulukla bulabiliriz. Şekil 4.4’de İstanbul ve Şekil 4.5’de de Diyarbakır için dört kesim seviyesinde elde edilen M ve L değerleri ve aralarındaki doğrusal denklemler verilmiştir.



Şekil 4.3 Rize için farklı kesim seviyelerinde M ve L değerleri.



Şekil 4.4 İstanbul için farklı kesim seviyelerinde M ve L değerleri.

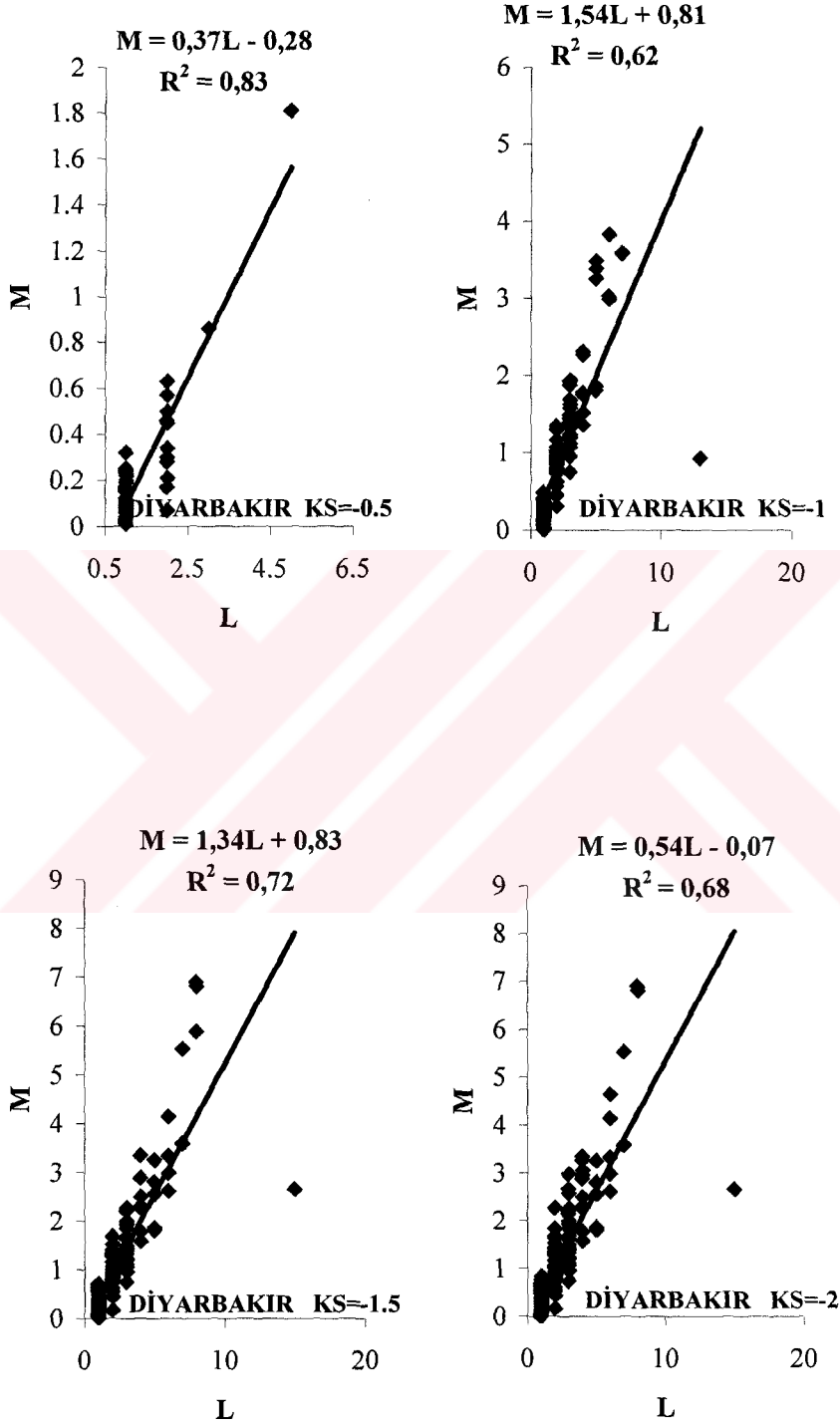
Şekil 4.4’de İstanbul için M ve L değerlerinin aralarındaki ilişkiyi -0.5, -1, -1.5 ve -2 kesim seviyelerinde gösteren grafik verilmektedir -0.5’te aralarında bir ilişki bulunmamaktadır. Ancak diğer seviyelerde ilişki bulunmaktadır ve İstanbul’un M, L ve I değerlerinin istatistiksel özellikleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Şekil 4.3’de Rize için M ve L değerleri grafik haline getirilmiş ve aralarındaki ilişkiye bakılmıştır.

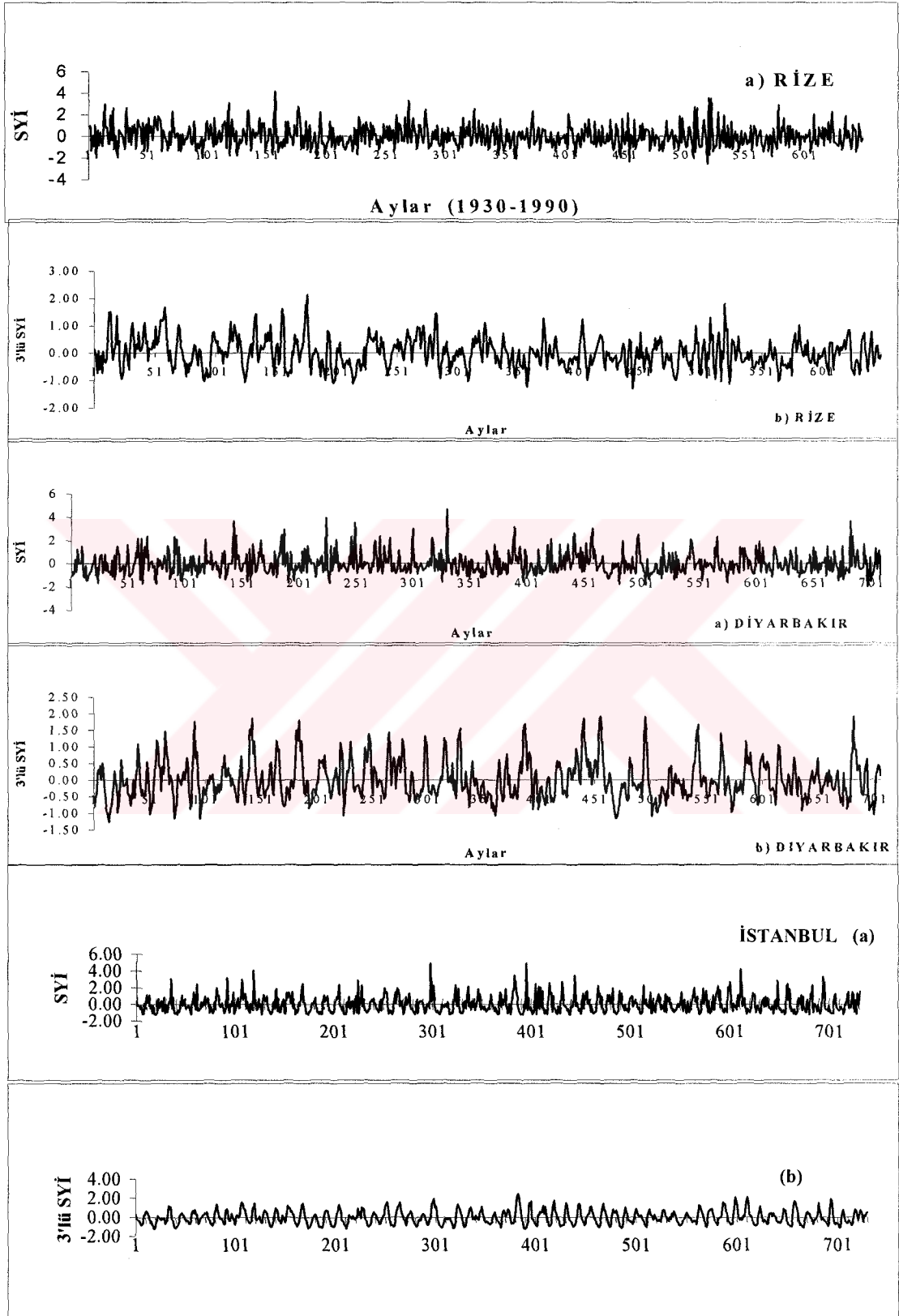
Şekil 4.5’de Diyarbakır’ın M ve L değerleri arasındaki ilişki doğrusal denklem ile verilmektedir. Yağış serisinin standartlaştırılması ile elde edilen standart serinin negatif değerlerinden elde edilen kuraklık genlik (M), süre (L) ve şiddet (I) değerleri on altı ilde -1 ve -2 kesim seviyeleri için verilmiştir (Şekil C.1 – C. 16). Bu şekillerden anlaşılacağı üzere M ve L arasındaki doğrusal ilişki 16 istasyon için genellikle % 60 - % 85 arasında doğrulukla gerçek M ve L değerlerini ifade etmektedir.

Tablo 4.2 İstanbul için Kesim Seviyesi (KS) = 0, -1 ve -2’de kuraklık süresi, genliği ve şiddetinin istatistiksel özellikleri.

Parametreler	KS=0			KS=-1			KS=-2		
	L	M	I	L	M	I	L	M	I
Maksimum	9.6	8.2	1.5	4.7	6.9	1.5	2.5	3.8	1.5
Minimum	0.1	0.0	0.0	0.9	0.5	0.5	1.4	1.4	1.0
Ortanca	1.8	1.0	0.5	1.7	1.5	0.9	1.7	1.8	1.1
Ortalama	2.6	1.9	0.5	2.1	2.0	0.9	1.8	2.3	1.2
Standart sapma	2.2	2.2	0.4	0.9	1.4	0.3	0.4	0.9	0.2
Çarpıklık	1.0	1.2	0.3	1.2	1.4	0.4	0.6	0.9	0.9



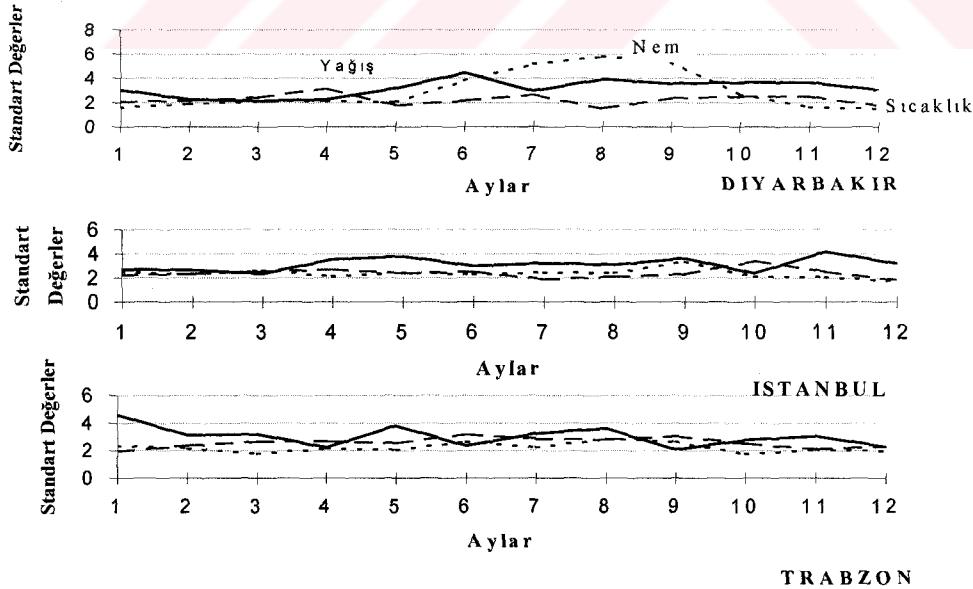
Şekil 4.5 Diyarbakir için farklı kesim seviyelerinde M ve L değerleri.



Şekil 4.6 SYİ zaman serisi (1931 - 1991). (a) aylık, (b) 3-aylık ortalama.

4.5 Kuraklık için Geliştirilen Yeni Üçlü-Değişken İlişki Yaklaşımı

Bu yöntemde kuraklığın bir noktadaki üçlü zaman serisinden yorumlanması amaçlanmıştır. Üç değişkenin aynı grafik üzerinde gösterilmesi alansal değerler teorisinden Kriging yöntemini içeren SURFER bilgisayar programı kullanılması ile elde edilmiştir (bakınız Bölüm 3). Kriging yöntemi bir değişkenin alansal değişiminin farklı noktadaki ölçümlerin enlem ve boylama bağlı olarak eşdeğer haritalarını elde etmeyi sağlar. Doktora çalışmasında ise tek bir noktada ortak periyoda sahip üç farklı değişkenin bu yöntemle yorumlanması kuraklığa yeni bir bakış açısı getirmemizi sağlamıştır. Çalışma alanındaki 60 istasyona uygulanmış ve farklı farklı iklim bölgelerinde kuraklığın sıcaklık, nem ve standart yağış ile nasıl değiştiği tartışılmıştır. Bilindiği üzere ülkemizde görülen iklim tipleri Akdeniz, karasal veya bu ikisinin karışımıyla meydana gelen bir yapı göstermektedir. Bu iklim yapısına bağlı olarak farklı iklim bölgelerinde üçlü-değişken grafiklerinin değiştiği görülmüştür. Üçlü-değişken ilişki yaklaşımı ile benzer iklim özelliği gösteren yerler tesbit edilebilmektedir. Yeni geliştirilen bu yaklaşımla kuraklık ve sulaklık için aynı grafikten bilgi elde etmekte mümkün olmaktadır. Kuraklığın ve sulaklığın meydana geldiği nem ve sıcaklık değerleri bu şekillerden izlenebilmektedir.



Şekil 4.7 Standart yağış, nem ve sıcaklık verileri zaman serileri.

Bununla birlikte, standart yağış, nem ve sıcaklığa ait zaman serileri ve üçlü değişimleri Şekil 4.7’de verilmiştir. Farklı birimlere sahip üç değişkenin kolaylıkla yorumlanabilmesi ve birimlerinden kurtulmak amacıyla standartlaştırma yapılmıştır. Uzun yıllara ait ortalama yağış, sıcaklık ve nem verilerinin kullanılması ile elde ettiğimiz bu şekillerden görüldüğü üzere Trabzon ve İstanbul’da her üç değişkenin yıl boyunca gösterdiği gidiş birbirine paralel iken, Güneydoğu Anadolu bölgesinde bulunan Diyarbakır’da 6’nci ayın sonundan başlayıp 9’uncu ayın sonuna kadar devam eden bir nem yükselmesi görülmektedir (Şekil 4.7). Bunun nedeni Diyarbakır ilimizin denizden uzak karasal iklim özellikleri göstermesinden kaynaklanmaktadır. Üç ilimizde de yağış miktarı yaklaşık aynı ortalamalarda seyrederken Diyarbakır ilimizde 6 – 9’uncu aylarda görülen sıcaklık yükselmesinden dolayı nem miktarında aşırı derecede yükselme görülmektedir. Şekil 4.7’de her üç değişkenin zamansal değişimi için yaklaşık altmış yıllık aylık ortalamalar kullanılmıştır. İstanbul için yağış, sıcaklık ve nem değişkenleri birbirine benzer gidiş göstermektedir. Trabzon ve Diyarbakırda ise bu durum değişmektedir. Özellikle Diyarbakır’da 8. ayda nem değerleri yükselirken sıcaklık değerleri ortalamalarda seyretmektedir. Yağış değerleri için uzun yılların ortalaması kullanıldığı için bazı aylarda yağış olmadığı halde varmış gibi görülmektedir.

Tez çalışmasının önceki bölümlerinde açıklandığı gibi kuraklıkla ilgili çalışmaları indisler ve istatistiksel stokastik modeller olarak ayırdığımızda herbirinde faydalı, sakıncalı ve eksik bilgilere rastlanmaktadır. Yaptığımız tez çalışmasında son 10 yılda geliştirilmiş olan basit ancak yaygın olarak kullanılmaya başlanılmış olan SYİ’yi tercih etmiştik. Ancak sonuçları almaya başlayınca SYİ’nin kuraklığı tam anlamıyla yerel olarak yansıtmadığı görülmüştür. SYİ’nin yanında bize yağış olmadığı dönemlerde kuraklıkla ilgili bilgi verebilecek başka bir yoruma ihtiyaç olduğu kanaati oluşmuştur. Kuraklığı önemli derecede etkileyen sıcaklık ve nem verisi ile elde edilen üçlü grafikler yardımıyla kuraklığı izlemek mümkün olmaktadır (Şekil D.1a – D.60). Bu grafiklerden sıcaklık ve neme göre her istasyonun kendi özelliğine bağlı kuraklık değişiminin nasıl olduğunu görmekteyiz. Bir istasyonun farklı üç meteorolojik değişkeninin zaman serisinden faydalanarak bu yorumları yapmak mümkün olmaktadır. Özellikle yağış kesikli bir veridir, ancak uzun yıllara ait sürekli veriler yardımı ile elde edilen hem sıcaklığa ve hem de neme bağlı bu grafikler kuraklığı yorumlamamıza yardımcı olur.

Şekil D.1a – D.1b’de Rize için elde edilen 3’lü grafikte aylık yağış ve standart değerleri için değişime baktığımızda yayılımın her iki grafikte benzer olduğunu görmekteyiz. İstanbul ve Rize için bu grafikler karmaşık bir yapı göstermektedir. Nemin % 63’ten küçük ve sıcaklığın 20 °C’nin altındaki değerlerde orta şiddette kuraklık gözlenmektedir. Rize için orta şiddette kuraklık aslında yağışın ortalamasının altında olduğu 1000 mm’lik yağışa denk gelmektedir. Bu durum Rize açısından yağışın az olduğunu göstermekte, ancak Türkiye ortalaması için bakıldığında ise bu ilimizin sulak olduğu ortaya çıkmaktadır.

Bununla ilgili bilgiyi İstanbul için Şekil D.2a – D.2b’de görmekteyiz. Kuraklık genellikle nem % 70’in altında sıcaklık 0 - 25°C arasında iken hafif ve orta şiddette görülmektedir. İstanbul’un ortalama yağışı 500 mm olduğu için kuraklığın sıcaklık ve nem değerleri bu aralıkta iken başlayabileceği sinyali vermektedir.

İzmir için üçlü-değişken ilişkisine baktığımızda Diyarbakır’ın şekillerinden gördüğümüz dağılıma benzer dağılım görmekteyiz. Kuraklık sıcaklığın 5 – 30 °C, nemin ise % 70’in altında olduğu değerlerde başlamaktadır. Fakat buradaki kuraklığın başladığı yağış miktarı 500 mm altındaki değerleri ifade etmektedir. Özellikle nem % 45 - 55 ve sıcaklık 20 °C altında iken kuraklık şiddeti artmaktadır.

Diyarbakır’da diğer iki grafiğe göre daha kararlı bir yapı görülmektedir. Nem % 70’ten küçük, sıcaklık ise 5 °C’den düşük, nem % 50’nin altında ve sıcaklık 20 °C’den düşük olduğunda orta ve şiddetli derecede kuraklık görülmektedir. Nem % 30 ve daha düşük, sıcaklık 20 - 25 °C iken hafif kuraklık oluşmaktadır (Şekil D.5a – D.5b).

Şekil D.6a – D.6b’de Antalya için nem % 65’ten küçük, sıcaklığın 5 - 30 °C’de olduğu dönemlerde şiddetli, orta ve hafif kuraklık değerleri gözlenmektedir. Antalya’nın kuraklığa eğilimli bir ilimiz olduğunu görmekteyiz. Bununla birlikte yağış miktarı 500 mm altında olduğunda kuraklık başlar.

Konya ilimizdeki durum Diyarbakır ve Antalya illerimizde görülen duruma benzemektedir (Şekil D.4a – D.4b). Nem % 85’ten küçük ve sıcaklık 0 - (-5) °C iken şiddetli kuraklık, nem % 55’ten küçük ve sıcaklık (-5) – 25 °C ‘de şiddetli, orta ve

hafif değerlerde kuraklık gözlenmektedir. Konya’da kuraklık yağış 200 mm’nin altına düştüğünde başlamaktadır.

Şekil D.3a – D.3b’de ise İzmir için de Diyarbakır, Konya ve Antalya’da görülen yayılıma benzer durum görülmektedir. Sıfırdan küçük değerler nemin % 70’in altında sıcaklığın 0 - 30 °C arasında değiştiği kısımlarda hafif, orta ve şiddetli kuraklık yaşandığı görülmektedir.

Şekil D. 7’de Trabzon için üçlü-değişken ilişkisi bu ilimizin kurak olmadığını, ancak denizsel iklim özelliğinden dolayı kararsız hava şartlarını gösterdiğini anlamaktayız. Hafif şiddette kuraklık nemin % 65’ten küçük, sıcaklığın ise 8 - 25 °C arasında değiştiği zamanlarda görülmektedir. Trabzon yağışlı bir ilimizdir, bu nedenle kuraklık yağışın yaklaşık 650 mm’nin altına düştüğünde başlar.

Edirne için elde edilen grafik daha kararlı bir yapı göstermektedir. Nemin % 75 altında ve sıcaklık -5 ve 25 °C arasında olduğunda, ayrıca özellikle nem % 50 - 60 sıcaklık ise -5 ve 15 °C arasında iken şiddetli kuraklık gözlenmektedir. Kuraklık yıllık yağış ortalaması 450 mm’den daha az ise hissedilmeye başlar (Şekil D.8).

Doğu Anadolu bölgesinde bulunan Erzurum için verilen şekilden görüldüğü üzere ilimizde orta şiddette kuraklık yaşanmaktadır (Şekil D.9). Nem % 40 - 45 ve sıcaklık 6 – 16 °C arasında kuraklık şiddetini arttırmaktadır. Erzurum’da yıllık ortalama yağış 350 mm altına düştüğünde kuraklık başlamaktadır.

Şekil D.10’da yine Doğu Anadolu bölgesinde bulunan Kars’a ait değişim grafiği görülmektedir. Buradaki dağılımda yine Erzurum’daki duruma benzer özellik göstermektedir. 10 – 15 °C ve % 45 – 60 nem değerlerinde şiddetli kuraklık yaşanmaktadır. 400 mm’nin altında yıllık ortalama yağış düşmesi ile kuraklık görülmeye başlar.

İç Anadolu Bölgesinde Ankara için üçlü-değişken grafiklerinden yaygın olarak hafif ve orta şiddette kuraklık görüldüğü, nem % 60 - 70 ve 25 - 30’da, sıcaklık -5 - 0 °C ve 10 -20 °C arasında kuraklığın şiddetinin arttığı anlaşılmaktadır. Ancak üçlü grafikten görüleceği üzere dağılım daha kararlı olmaktadır (Şekil D.11). Ortalama yıllık yağış miktarı 300 mm üzerinde iken kuraklık azalmaktadır.

Van için baktığımızda nemin % 55'ten küçük ve sıcaklığın $(-10) - +10$ °C arasındaki değerlerinde şiddetli kuraklığa rastlanmaktadır. Bu ilimizde Van gölünün etkisi hemen görülmektedir ve dağılım bazı değerlerde karasızlık göstermektedir (Şekil D.12). 300 mm'nin altındaki yağış değerleri kurak şartların başlangıcı olmaktadır.

Şekil D.13'de Urfa'nın üçlü değişken grafiklerden çok şiddetli kuraklığa sahip olduğu görülmektedir. % 30 – 40 nem ve $2 - 10$ °C arasında kuraklığın şiddeti artmaktadır. Bu aralıkta Urfa'nın yıllık ortalama yağış miktarı 350 mm'nin altına düşmektedir.

Adana'da deniz etkisi ile kuraklığın kararsız bir yapı gösterdiği anlaşılmaktadır (Şekil D.14). Orta şiddetteki kuraklığın yıllık ortalama yağışın 500 mm'nin altına düştüğünde görüleceği bulunabilir. Nem % 60'dan küçük ve sıcaklık 25 °C'den düşük ise hafif ve orta şiddette kuraklık yaşanır.

Yıllık ortalama yağış miktarı Zonguldak'ta 300 mm civarındadır. Bu ilimizde de Karadeniz'in denizsel etkisini kolaylıkla görebiliriz. Orta ve hafif şiddette kuraklık oluşmaktadır, ancak genel olarak sulak şartlar görülmektedir (Şekil D.15).

Şekil D.16'da Uşak için elde edilen üçlü değişken dağılımını görmekteyiz. Diğer üçlü değişken grafiklerinde gördüğümüz genel yapıdan farklı bir yapı görmekteyiz. Orta ve şiddetli kuraklıklar yağışın 450 mm'den az olduğu değerlere karşılık gelmektedir. Bununla birlikte genel olarak sulak durum ortaya çıkmaktadır, nemin düşük değerlerinde sıcaklığın ise $0 - 25$ °C arasındaki değerlerinde sulak durum görülmektedir. Sinop, Samsun, Giresun ve Artvin'e baktığımızda Samsun ve Artvin'nin kuraklığa daha eğilimli olduğu görülmektedir (Şekil D.17 - D.20).

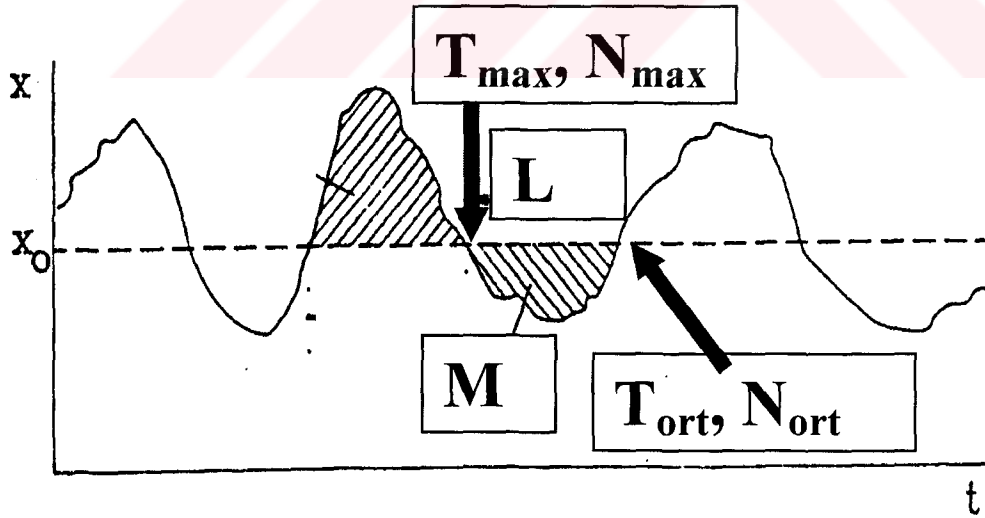
Şekil D.50'de Mersin'e ait kuraklık durumunu görmekteyiz. Yaygın olarak kurak şartlar % 55 - 90 nem ve $2 - 30$ °C arasında meydana gelmektedir. Orta ve hafif şiddette kuraklık görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan 60 istasyon arasında yıllık yağış ortalama miktarı 128 mm ile en düşük ilimiz Mersin'dir. Üçlü – değişkenden de bu durum açıkça görülmektedir.

Şekil D.20 – D.60'a kadar benzer yorumları yapabiliriz. Burada görülen genel durum, ülkemizin enlemsel olarak küresel ölçekte yarı kurak bir bölgede

bulunmasından dolayı, kurak şartların nem ve sıcaklığa bağlı olarak görülme riskinin sulak durumdan daha fazla olduğudur. Bazı sulak illerimizde durum farklılık göstermektedir.

4.6 Üçlü-Değişken Yaklaşımı ile M ve L'nin Nem ve Sıcaklık Değişimi

Üçlü – değişken incelemelerinde üç meteorolojik değişken nem, sıcaklık ve standart yağış yardımıyla kuraklık durumu Kriging yöntemine getirilen yeni yaklaşımla tek bir noktada üç değişkenin zaman serilerinin incelenmesi sağlanmıştır. Bununla birlikte kuraklığın karakteristiklerinin, maksimum nem ve sıcaklık, ortalama nem ve sıcaklıktaki değişiminin de bulunması önemlidir. Kuraklık genliği ve süresinin yağış zaman serisinden elde edilmesi, nem ve sıcaklıkla karşılaştırılması için Fortran 90 kullanılarak bilgisayar programı hazırlanmıştır. Farklı kesim seviyelerinde altı meteoroloji istasyonunda M ve L değerlerinin maksimum sıcaklık ve nem ayrıca ortalama sıcaklık ve nem için üçlü ilişkilerine bakılmıştır. Standart yağış zaman serisinde farklı kesim seviyeleri için maksimum (ortalama) nem ve sıcaklıkta kuraklık genlik ve süre değerleri alınır. Bu değerler üçlü gruplar halinde sıralanır ve üçlü grafikler SURFER bilgisayar programı ile elde edilir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Kuraklık süre ve genliğinde ortalama (maksimum) nem ve sıcaklık değişimi.

Başlangıçta dört kesim seviyesinde (-0.5 , -1.0 , -1.5 ve -2) bu değerlerin her istasyon için elde edilmesi düşünülmüştür, ancak tek istasyon için 16 üçlü-değişken yaklaşımı gerektiğinden toplam 960 şekil olacağından yalnızca 6 istasyon için bu değerler elde edilmiştir (Şekil E.1a-E.6b).

Rize’de dört kesim seviyesi için maksimum sıcaklık ve nemde kuraklık genliğinde yüksek değerlerin yüksek değerler, düşük değerlerin düşük nem ve sıcaklığa karşılık geldiğini görmekteyiz (Şekil E.1a - E.1b). Kesim seviyesi arttıkça M değerleri de artmaktadır ve -2 ’de M 4.94 birime kadar çıkmaktadır. Maksimum nem ve sıcaklıktaki L değerlerinin -0.5 , -1 , -1.5 , ve -2 ’de gösterdiği değişimden % 82-86 nem ve sıcaklık $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ üstünde iken 7 ay boyunca yağışın ortalama 1900 mm ’nin altında olduğu görülmektedir. Tersini düşünülendiğinde $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve % 85’ten küçük değerlerde yağış miktarı ortalama yağışa yakındır (Şekil E.1c – E. 1d).

Şekil E.1e’de ortalama yağış ve sıcaklıktaki M ve L üçlü-değişken ilişkilerini görmekteyiz. Nem % 45 - 60 ve % 75 - 80, sıcaklık $10 - 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğunda kuraklık genliği artmaktadır. Kuraklık süresi de benzer eğilim göstermektedir.

Şekil E.2a’de İstanbul için -2 kesim seviyesinde maksimum nem ve sıcaklıkta M ve L değerlerinin değişimi gösterilmiştir. Nem % 70-75’in altında ve sıcaklık $5 - 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ iken kuraklık genliği düşük iken nem % 83 ve sıcaklık $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğunda yüksek genlik değerleri gözlenmektedir. Buna ilaveten kuraklık süresi değerleri için benzer dağılımla, nem % 70’in altında ve sıcaklık $3 - 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında olduğunda kuraklık kısa sürmektedir. Nem % 85 ve sıcaklık $7 - 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $23 - 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ iken kuraklık süresi 6 - 10 aya kadar çıkmaktadır. Şekil E.2b’te ise İstanbul için ortalama nem ve sıcaklıkta -2 kesim seviyesinde M ve L değerlerindeki değişim izlenmektedir. Nem %78 - 64’te, sıcaklığın $5 - 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında olduğu bölgede genlik değerleri yükselmektedir. Nem % 75 ve sıcaklık $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ iken genlik 3.8, nem % 68 ve sıcaklık $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ iken 4.8 değerine ulaşmaktadır. Buna benzer olarak % 82 - 64 nem ve $3 - 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta kuraklık süresi artmaktadır. Ve nem % 79, sıcaklık $11\text{ }^{\circ}\text{C}$, ayrıca nem % 74 ve sıcaklık $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’de kuraklık süresi 4 ile 10 ay arasında değişmektedir.

Şekil E.3a – 3b’da İzmir’de maksimum nem ve sıcaklıkta (% 80 ve $30\text{ }^{\circ}\text{C}$) kuraklık süresi 12.5 ay olarak görülmektedir. -2 kesim seviyesinde en büyük kuraklık genliği

% 65 – 75 nem ve 20 – 25 °C sıcaklıkta 5 birimdir. Ortalama değerlerde genel dağılım değişmektedir (Şekil E.3b). Nem % 50 – 55 ve sıcaklık 14 – 16 °C iken en uzun kuraklık süresi 13 ay, % 50 – 65 nem ve 10 – 20 °C sıcaklıkta kuraklık genliği ise 4 birime ulaşmaktadır.

Konya’da kesim seviyesi –2’de en yüksek sıcaklık ve nem değerlerinde (% 85 ve 20 °C üstünde) kuraklık süresi 14 ay ve genliği 8 birime ulaşmaktadır (Şekil E.4a). Ortalama nem ve sıcaklıkta (% 40 – 65 ve 5 – 15 °C) kuraklık süresi 10.5 ay ve genliği 6.5 birimdir (Şekil E.4b).

Şekil E.5a – E.5b’de Diyarbakır’ın kesim seviyesi –1’de maksimum nem ve sıcaklıkta (% 65 – 85 ve 28-30 °C) toplam su eksikliği miktarı 4.5 birim ve süresi 12.5 aydır. Her iki şekilde genel dağılım benzerdir. Kuraklık genliğinin düşük olması Diyarbakır’ın yıllık ortalama yağış değerinin küçük ve az yağış alan bir bölge olmasından kaynaklanmaktadır. Ortalama üçlü-değişken değerlerinde ise daha karmaşık bir yapı görülmekte, yani değerler daha çok rastgelelik göstermektedir. % 40 – 60 nem ve 0 – 30 °C sıcaklıkta kuraklık süresi 10.5 ay ve genliği 3 birim olarak gözlenmektedir.

Şekil E.5c – E.5d’de –2 kesim seviyesine ait grafikler bulunmaktadır. –1’de gördüğümüz genel eğilim –2’de de görülmektedir. % 70 nem ve 20 °C sıcaklığın üstündeki değerlerde en uzun kuraklık süresi 14.5 ay ve genliği 7 birimdir. Ortalama değerlerde ise % 40 – 50 nem ve 15 - 20 °C sıcaklıkta 9 aylık ve 6.5 birimlik değerler gözlenmektedir.

Antalya için –2 kesim seviyesinde Şekil E.6a’da % 80 nem ve 25 – 30 °C sıcaklıkta yaklaşık 15 ay kuraklık görülmektedir. İncelenen 60 yıllık zaman periyodunda gözlenen en uzun kuraklık süresi 15 aydır. % 65 - 70 ve % 50 - 55 nem aralığında 20 - 30 °C sıcaklıkta 4 birimlik yağış eksikliği görülmektedir. –2 kesim seviyesi için elde edilen ortalama değerler M ve L için % 40’dan düşük nem ve 10 - 25 °C sıcaklıkta yaklaşık 10.5 ay ve 8 birimlik genlik değişimi olduğu görülmektedir (Şekil E.6b).

Ülkemiz için alansal olarak dört kesim seviyesinde maksimum kurak şartlarda kuraklık genliği, süresi, şiddeti, nem ve sıcaklık değerlerinin haritaları elde edilmiştir

(Şekil F.1a – F.5d). -0.5 kesim seviyesinde maksimum kuraklık genliği batı ve güney bölgelerimizde doğu ve kuzey bölgemize göre daha yüksek değerlere sahiptir. Bu durum maksimum kuraklık süresinde de benzerdir. Akdeniz, Ege ve Marmara bölgelerimizde hafif kuraklık şartlarının maksimum süresi 10 - 20 ay arasında değişirken Doğu Anadolu, Doğu Karadeniz, Güney Doğu Anadolu ve İç Anadolu bölgelerinde 5 ay olarak gözlenmektedir. Ülkemiz için maksimum kuraklık şiddeti -0.5 kesim seviyesinde Marmara bölgesinde 0.29 - 0.31, Ege bölgesinde 0.33, Akdeniz bölgesinde 0.33 - 0.35, İç Anadolu'da 0.31, Doğu Karadeniz bölgesinde 0.35, Batı Karadeniz'de 0.31 - 0.33, Doğu Anadolu'da 0.29 - 0.35, Güneydoğu Anadolu'da 0.35 değerindedir. Batıdan doğuya doğru önce düşme sonra yükselme ve yine düşme görülmektedir (Şekil F.3a).

Kesim seviyesi -1 için ise maksimum kuraklık genliği fazla değişim göstermemekte ve 4.5 birim değerine sahip olmakta ancak Akdeniz bölgesinde ise 6.5 birim değerine yükselmektedir (Şekil F.1b). Aynı kesim seviyesinde maksimum kuraklık süresi genliğe benzer olarak genellikle 10 aylık değer gösterirken Akdeniz bölgesinde 15 - 20 ay olarak artmaktadır (Şekil F.2b). Maksimum kuraklık şiddeti ise Türkiye genelinde 0.7 değerinde iken Akdeniz bölgesinde 0.6 değerindedir. Kesim seviyesi -1.5'da maksimum genlik Marmara ve Batı Karadeniz'de 8, Ege'de 6, Akdeniz'de 6 - 10, Doğu Karadeniz'de 6 - 7, Doğu Anadolu'da 8, İç Anadolu 8 - 10, Güneydoğu Anadolu 6 birim değerine sahiptir (Şekil F.1c). Orta kuraklıkta (kesim seviyesi -1.5) maksimum süre ise ülkemizin Akdeniz bölgesinde 17 - 22 ay iken diğer bölgelerin tamamında 12 aydır (Şekil F.2c). Kuraklık şiddeti maksimum değerleri Ege, Karadeniz, Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu bölgelerinde 0.9, Marmara ve İç Anadolu'da 1, Akdeniz bölgesinde 0.8 birimdir (Şekil F.3c).

Kesim seviyesi -2'de şiddetli kuraklık şartlarında maksimum genlik Marmara, Ege, Karadeniz, Doğu Anadolu bölgelerinde 8, İç Anadolu'da 10, Akdeniz bölgesinde 6-10, Güneydoğu Anadolu'da ise 6 birim değerindedir (Şekil F.1d). Maksimum süre Akdeniz bölgesinde 17 - 22 ay diğer bölgelerimizde 12 aydır. Maksimum şiddet ise diğer bölgelerde 1.2 iken Ege ve Akdeniz bölgesinde ise 1.0 değerindedir (Şekil F.3d).

Ülkemiz için dört kesim seviyesinde maksimum şartlarda kuraklık genliği, süresi ve şiddetinin alansal değişimi benzer dağılım göstermektedir. Yaklaşık 1930-1960

yıllarını kapsayan 60 yıllık aylık değerlerle yapılan bu inceleme sonucunda maksimum değerler her kesim seviyesinde yaklaşık olarak kuraklık genliği Ege ve Marmara bölgesinde düşük, İç Anadoluda yüksek, Akdeniz bölgesinde ise en yüksek, Güneydoğu Anadoluda tekrar düşük, Doğu Anadolu yüksek, Karadeniz bölgesinde tekrar düşük değerler göstermektedir. Maksimum kuraklık süresi dört kesim seviyesinde ülke genelinde bölgelere göre 5 - 22 ay arasında değişim göstermektedir. Buna ilave olarak Akdeniz bölgesinde özellikle Mersin merkezli 22 ayı aşan kuraklık süresi dikkat çekicidir. Maksimum şiddet değeri ise ülkemiz genelinde yakın değerlere sahiptir, bununla birlikte kesim seviyesi arttıkça şiddet değerleride yükselmektedir (Şekil F.3a – F.3d). -0.5 kesim seviyesinde kuraklık şiddeti Akdeniz, Doğu Anadolunun batı kesimleri, Rize, Trabzon ve Giresun'da 0.35 olarak en yüksek değerde bulunmaktadır. Akdeniz bölgesinin kuzeyinde, Ege ve batı Karadeniz bölgelerinde aynı değerlere (0.33) sahip, ancak Kocaeli, İstanbul ve Bursa dolaylarında 0.29 değerindedir. İç Anadolu'da tekrar bir düşme görülmektedir. Doğu Anadolu'da Muş ve Bitlis'i içine alan bölgede yine en düşük değerindedir. Kesim seviyeleri -1, -1.5 ve -2 için maksimum kuraklık şiddeti yaklaşık olarak aynı patterni göstermektedir. Bütün bölgelerde aynı değerler görülürken Konya, Isparta ve Afyon dolaylarında yüksek değerler, Mersin merkezli düşük değerler gözlenmektedir.

Şekil F.4a – 4d ve Şekil F.5a – 5d'de -0.5, -1, -1.5 ve -2.0 kesim seviyelerinde maksimum genlik, süre ve şiddet değerlerine karşılık gelen maksimum nem ve sıcaklığın ülkemiz genelinde alansal dağılımı görülmektedir. Dört kesim seviyesinde de maksimum kuraklık meydana gelirken gözlenen nem değerleri % 80'nin üzerindedir, yani yüksek nem değerlerinde kuraklık artmaktadır. Marmara % 87 - 88, Ege % 83 - 85, Batı Karadeniz % 85 - 87, Akdeniz % 81 - 85, İç Anadolu % 81 - 83, Doğu Karadeniz % 85, Doğu Anadolu % 81-85, Güneydoğu Anadolu % 85 değerlerine sahip iken maksimum kuraklık yaşanmaktadır. Yüksek nem değerleri beklendiği üzere denize yakın bölgelerde gözlenmektedir.

Şekil F.5a – F.5d'de kuraklığın maksimum değerleri gözlenirken görülen sıcaklıklar dört kesim seviyesinde 25 - 30 °C arasında değişmektedir. Ülkenin güneyinde kuzey bölgelerine göre daha yüksek sıcaklıklarda kuraklık etkisinin arttığı görülmektedir.

Marmara, Karadeniz, İç Anadolu, Doğu Anadolu'da sıcaklıklar 24 - 26 °C, Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadoluda 27 - 32 °C değerlerine ulaşmaktadır.

Kuraklığın minimum değerlerde gözlemlendiği dönemlerde genlik, süre ve şiddet değerlerindeki alansal dağılım Şekil F.6a – F.9b'de gösterilmiştir. Genlik ve süre değerleri 0.01 ve 0 olduğu için herhangi bir bölgesel değişim gözlenmemiştir. Minimum kuraklık şiddetinde Marmara 0.0, Batı Karadeniz 0.01, Güneydoğu Anadolu 0.01, İç Anadolu Kayseri merkezli 0.02, Doğu Anadolu 0.02, Doğu Karadeniz 0.02, Akdeniz 0.01 - 0.02 değerleri görülmektedir. Minimum kuraklıkta gözlenen nem değerleri Ege, Akdeniz, Batı Karadeniz, İç Anadolu, Doğu Anadoluda % 31.6, Marmara ve Doğu Karadeniz'de % 41.6, Güneydoğu Anadolu'da % 21.6 değerlerine rastlanmaktadır (Şekil F.8a). Kuraklığın minimum değerleri negatif sıcaklıklarda meydana gelmektedir. Ege, Akdeniz, Marmara ve Karadeniz -1 °C, İç Anadolu -6 °C, Rize ve Trabzon'da 4 °C, Doğu Anadolu -6 - (-11) °C, Güneydoğu Anadolu -1 °C olan sıcaklıklar kuraklığın olmadığı değerlerdir (Şekil F.9a – F.9b). Negatif sıcaklıklarda (-1) - (-11) °C ve % 31,6 – 41.6 nem değerleri arasında kuraklığın etkisi azalmaktadır. Ülkenin genelinde sıcaklığın 25 - 31 °C, nemin % 83 - 87 değerleri arasında kuraklığın etkisi artmaktadır.

4.7 Kuraklık Oranı (KO)

Tezin 2. bölümünde ayrıntılı olarak açıkladığımız SYİ indisinin diğer indis çalışmalarında gördüğümüz gibi faydalarının yanında kullanım açısından sakıncaları da bulunmaktadır. SYİ 1993 yılından sonra başta ABD olmak üzere birçok ülkede kullanılmaya başlanmıştır. Bu indisin sadece yağış verisine bağlı olması ve hesaplamadaki kolaylıklarından dolayı Palmer indisine alternatif olarak alınmaktadır. SYİ daha önce de belirtildiği gibi veri olarak sadece standart yağış değerlerini ele almaktadır. Fakat bu hesaplamalar tezde gidişler analizinin kullanılmasından dolayı farklı olmaktadır. McKee ve diğ. (1993) önerdikleri SPI'de (Standardized Precipitation Index) yağışın kendi değeri yerine 3, 6, 12 ve 48 aylık ortalamaları kullanılmakta ve gamma olasılık dağılımından standart normal dağılıma dönüşüm yapılmaktadır.

Bilindiği gibi verinin standart sapması ele alınan bölgenin homojenlik derecesine göre değişmektedir. Verisi homojen olan bir bölgede standart sapma, yani ortalamadan olan farkların karesinin ortalamasının karekök değerleri küçük olacaktır. Bölgenin verisi genel anlamda ortalama etrafında az salınımlı bir özellik gösterecektir. Yıl boyunca yağış rejiminde büyük sapmalar görülen bölgenin ise standart sapma değerleri büyük olacaktır. Yağış ve ortalama arasındaki farklar standart sapmadan büyük olduğunda standart değerleri yüksek olacaktır. Yani standart yağış değerleri pozitif değerler alacaktır. Heterojen bir bölgede ise standart sapma değerleri büyük olacağından standart yağış değerleri negatif olacaktır.

Bunlara ilave olarak, Mc.Kee ve diğ. (1993) tarafından önerilen standart yağış indisinde dört kuraklık sınıfı belirlenmiştir. Bu kuraklık sınıfları standartlaştırılmış verinin standart sapmasının bir olması kuralına göre geliştirilmiştir (Wu ve diğ., 2001). Bütün istasyonlar için bu değerler sabit referans değerleri olarak kabul edilmiştir. Standart yağış indisinde kuraklık farklı kesim seviye aralıklarını kullanarak dört sınıfa ayırmıştır (Tablo 2.8). Bol yağış alan bölgelerde ortalama ve standart sapma değerleri yüksek olacağından standart yağış değeri negatif olacaktır. SYİ kesim seviyelerinin sınıf aralıklarına göre bol yağış alan bir bölge orta kurak kategorisinde yer alacaktır. Az yağışlı bir bölgede ise standart yağış değerleri ortalama ve standart sapmanın düşük değerler almasından sıfıra yakın olacaktır. SYİ sınıflandırması hafif veya orta kurak şartları gösterecektir. Ancak az yağışlı bölgenin bol yağışlı bölgeden daha çok kurak şartları göstermeli ve şiddetli kuraklık sınıflandırmasında bulunmalıdır.

Bu nedenle, SYİ hafif ve şiddetli kuraklık görülen herhangi bir yer için yeterli bilgi vermemektedir. Örneğin, kurak olarak tanımladığımız Diyarbakır ile İstanbul'u SYİ değerine göre karşılaştırdığımız zaman, İstanbul daha kurak olarak görülmektedir. Buradan da SYİ'nin kuraklığı tanımlamada önemli eksikliklerinin bulunduğu anlaşılmaktadır.

Yukarıda anlatılan istasyon verilerine ait gerekçelerden dolayı bu yaklaşımın eksik olduğu görülmüştür. İklim yapısına göre çok kurak olması gereken bir bölge verideki homojenlikten dolayı az kurak bölge olarak görünürken, hafif kurak ile orta kurak arasında olması gereken bir bölge sadece standart verilerin kullanılmasıyla çok

kurak bir bölge olarak görülmektedir (Sırdaş ve Şen, 1999; Sırdaş ve Şen, 2000, Şahin ve Sırdaş 2002).

SYİ yağış verisinin standart sapması yerel olarak değişmektedir. Fazla yağış alan bölgenin standart sapması daha az yağış alan bölgeye göre daha fazla olmaktadır. SYİ yağışın ortalamadan olan farkının standart sapmaya oranı olduğu için, yağış fazla olan bölgenin yüksek standart sapmaya sahip olması negatif veya pozitif yönde daha yüksek standart değere karşılık gelmektedir.

Standart yağış kesim seviyeleri daha önce de verildiği üzere 0, -0.5, -1, -1.5, -2 sınıflarına sahiptir. Yağışın yerel olarak değişmesine rağmen, kuraklık kesim seviyeleri yerel olarak değişmemektedir. Yani şiddetli kurak olan bölgenin kuraklık kesim seviyesi ile hafif kurak olan bölgenin kesim seviyesi aynı değere sahip olmaktadır.

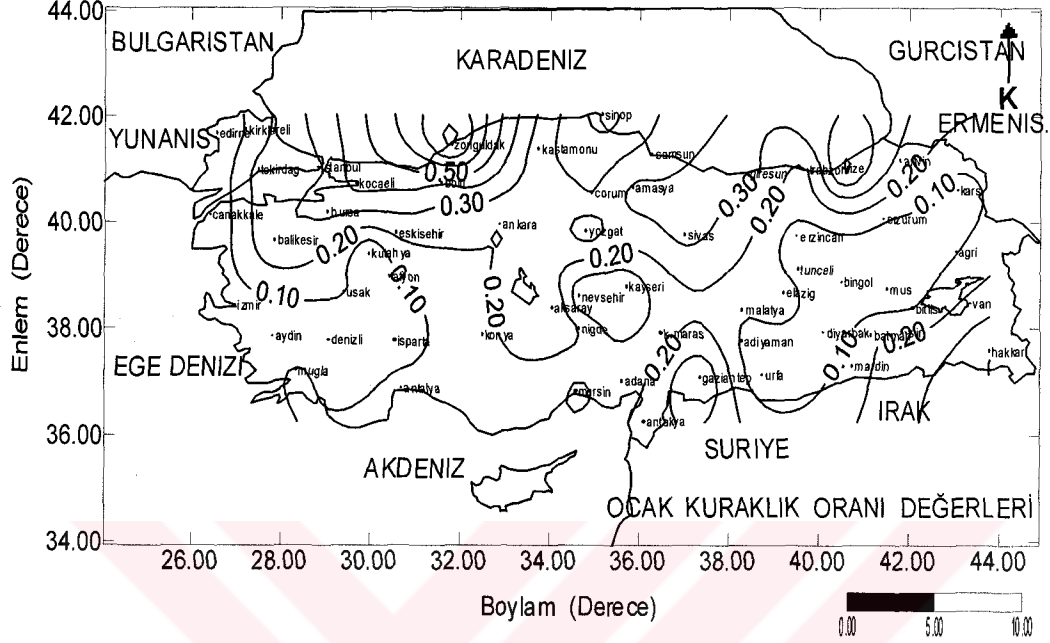
Bu nedenle yerel olarak yağış verisine ve istasyona göre değişen yeni kuraklık kesim seviyeleri belirlemek gerekmektedir. Bunu belirlerken kuraklığı ifade eden yağışın en küçük değerinin kullanılması ve standart kesim seviyelerine ilave edilmesi düşünülmüştür. Herhangi bir istasyonun yağış serisine X_i dersek, Kuraklık Oranı'nı (KO) şöyle tanımlayabiliriz;

$$KO = \frac{X_{\min}}{S_x} \quad (4.1)$$

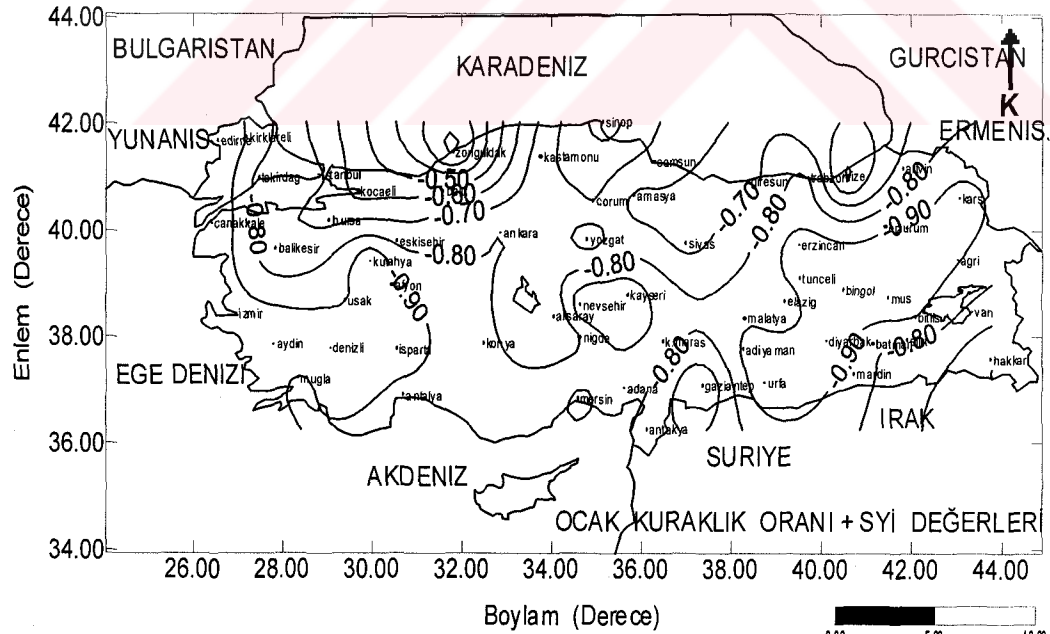
Burada $X_{\min}$ incelemesi yapılan yağış serisinin en küçük değeri, S_x yağış serisinin standart sapmasıdır. Aylık olarak her istasyon için elde edilmiş olan kuraklık oranı değerlerinin (Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim) Türkiye üzerinde alansal dağılımları verilmiştir (Şekil 4.9a – 4.12a ve Şekil 4.9b – 4.12b).

Ocak ayında ülkenin genelinde 0.2 değeri görülürken, İstanbul'un doğusu, Kocaeli ve Zonguldak'ta 0.4 değerine rastlanmaktadır. Bu illerimizde yağışın minimum değerlerinin diğer illerimize göre daha yüksek değerlere sahip olduğunu göstermektedir. Bu üç ilin Ocak ayı aylık yağış standart sapma değeri diğer şehirlerden daha düşüktür. Şubat ayında, Marmara, Ege, İç Anadolu, Akdeniz, Güneydoğu Anadolu ve Batı Karadeniz'de 0.17, Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu'nun doğusunda 0.38-0.57 değerindedir. Temmuz'da ülkenin güney ve

batısında hiç yağış olmadığı için sıfır değeri hakimdir (Şekil 4.11a). Karadeniz bölgesi ve Kayseri civarı 0.03- 0.25 değerlerine sahiptir. Ekim ayında da buna benzer bir durum görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.9 Ocak ayı için Kuraklık Oranı (a) ve KO + SYİ dağılımı (b).

Dikkat edilirse standartlaştırma sadece veri ile ilgili bir olaydır. Yani bir bölgenin yerel özelliklerinin kuraklığa herhangi bir katkısı bulunmamaktadır. Uzun yıllar göz önünde bulundurulduğunda bir bölgenin minimum yağış değeri kuraklığın büyüklüğünü verecektir. Yine en küçük yağış değerinin o bölgedeki yağış değişimini ifade eden standart sapmaya bölünmesiyle, o bölgedeki kuraklık oranı elde edilir. Yani, burada uzun yıllara dayalı en küçük veriyi $X_{\min}$ temsil etmektedir. Bu yaklaşım ile kuraklık oranı değerleri elde edilmiştir. Standart yağış indisinin tartışılması gereken bir yönü de yukarıda bahsedildiği gibi bütün istasyonlarda aynı referans değerlerinin kuraklık seviyeleri için kullanılmasıdır. Bol yağışlı veya az yağışlı bölgelerde küçük oranlarda değişim olsada bunun kuraklık üzerindeki etkisi çok büyük olacaktır. Sürekli yağış alan bir bölgede yağıştaki belirli fakat -1'den küçük olmayacak kadar bir azalma bu indise göre az şiddetli bir kuraklık olabilir. Ancak normalde sürekli yağışa göre hayatlarını sürdüren insan, hayvan ve bitkiler için çok şiddetli bir kuraklık gözlenecektir. Bitkilerin çoğu hayatlarını sürdüremeyeceklerdir. KO değerleri bu etkinin büyüklüğünde ifade etmektedir.

Bu yaklaşım doğrultusunda her bir istasyonun bölgesel özelliklerine göre kuraklık yağış ve iklim indislerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu durumda, sürekli yağış alan istasyonların kuraklık indis değerlerinin negatif olarak daha büyük yani sıfıra daha yakın olması, bunun tersi olarak az yağış alan istasyonların kuraklık indisi değerlerinin de yine negatif olarak daha küçük olması, yani sıfırdan uzaklaşması gerekmektedir.

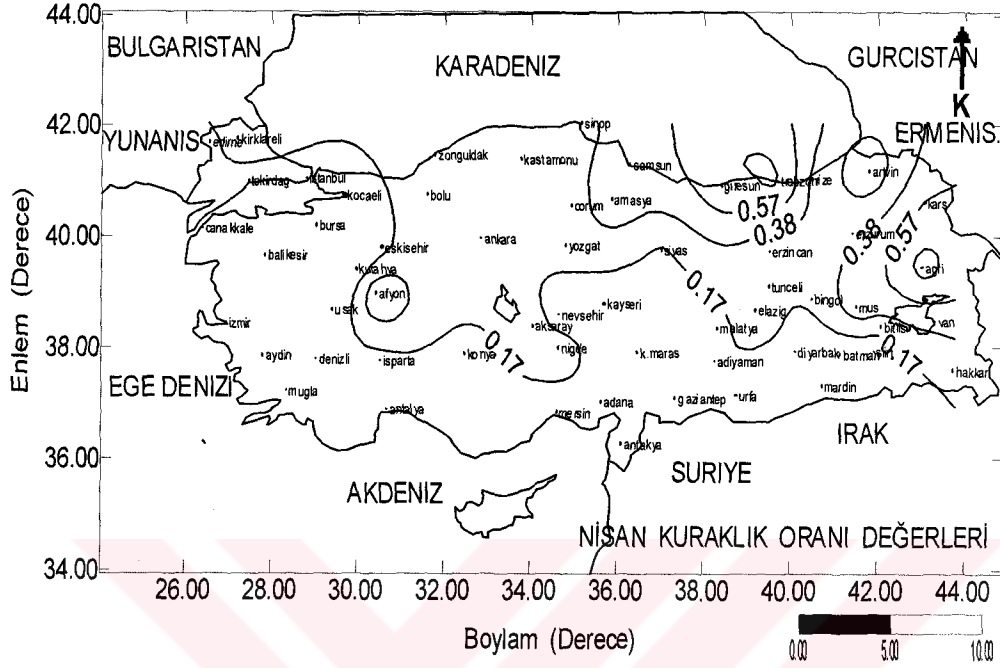
Her bir istasyonun kuraklık oranı standart yağış indisi seviyelerine eklendiğinde, istasyonlara göre daha gerçekçi kuraklık seviyeleri elde edilecektir. Yani her bir istasyonun yeni standart yağış indisi (YSYİ);

$$YSYİ = SYİ + KO = \frac{X_i - \bar{X}}{S_x} + \frac{X_{\min}}{S_x} \quad (4.2)$$

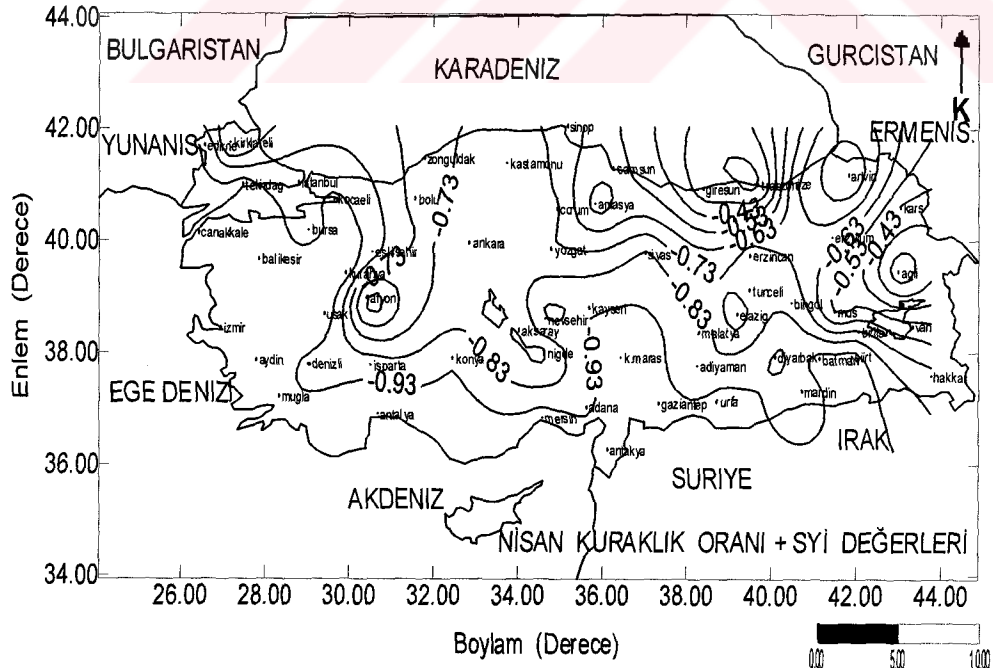
elde edilecektir. Yeni kuraklık seviyeleri ise

$$\text{Kuraklık Seviyesi} = SYİ \text{ kuraklık seviyesi} + \text{Kuraklık oranı} \quad (4.3)$$

olarak tanımlanır. Önerilen bu yeni yaklaşım ile her bir istasyonun her bir ayına ait kuraklık indis seviyeleri elde edilecektir.



(a)



(b)

Şekil 4.10 Nisan ayı için Kuraklık Oranı (a) ve KO + SYİ dağılımı (b).

Türkiye verisine uygulanan bu yöntem ile her bir istasyonun kuraklık oranı değerleri elde edilmiştir (Tablo 4.3). Örneğin Tablo 6.1’de verilen Ocak ayında KO İstanbul 0.28, Diyarbakır 0.02, Rize 0.55 ve Konya 0.18 değerleri almaktadır. Şekil A.6a’da bu dört ilin SYİ değerinin -1.6 olduğu görülmektedir. Yeni standart yağış indisini hesapladığımızda

$$YSYİ (\text{İstanbul}) = -1.6 + 0.28 = -1.32$$

$$YSYİ (\text{Diyarbakır}) = -1.6 + 0.02 = -1.58$$

$$YSYİ (\text{Rize}) = -1.6 + 0.55 = -1.05$$

$$YSYİ (\text{Konya}) = -1.6 + 0.18 = -1.42$$

olduğu görülür. Burada İstanbul ve Rize gibi Diyarbakır ve Konya’ya göre daha fazla yağış alan illerimizin sulaklıkları korunmuş olacaktır. Bununla birlikte az yağış alan illerimizin kuraklık özelliklerinin devam ettiği görülmektedir.

SYİ’ne göre dört ilimizde yapılan tez çalışmasında şiddetli kurak sınıfında yer almaktadır. Ancak KO’nun ilave edilmesiyle Rize ve İstanbul’un orta kurak Diyarbakır ve Konya’nın ise şiddetli kuraklığa sahip olduğu ortaya çıkmaktadır. Ekim ayı için aynı durumu incelediğimizde KO değerleri İstanbul’da 0.1, Diyarbakır’da 0.04, Rize’de 0.3 ve Konya’da 0.08 olarak değişmektedir. Şekil A.6b’de dört ilimizde SYİ’nin -1.4 değerine sahip olduğunu haritadan görmekteyiz.

$$YSYİ (\text{İstanbul}) = -1.4 + 0.10 = -1.3$$

$$YSYİ (\text{Diyarbakır}) = -1.4 + 0.04 = -1.36$$

$$YSYİ (\text{Rize}) = -1.4 + 0.30 = -1.1$$

$$YSYİ (\text{Konya}) = -1.4 + 0.08 = -1.32$$

Bu illerimize KO değerlerinin ilave edilmesi ile sulak illerimizin ve kurak illerimizin arasındaki farklılık korunmuş olmaktadır.

Eğer Ocak ve Ekim ayında dört ilimiz için elde edilen KO değerleri sabit kesim seviyesi -1'e ilave edilirse durum daha iyi anlaşılacaktır. Ocak ayı için;

$$\text{YSYİ (İstanbul)} = -1.0 + 0.28 = -0.72$$

$$\text{YSYİ (Diyarbakır)} = -1.0 + 0.02 = -0.98$$

$$\text{YSYİ (Rize)} = -1.0 + 0.55 = -0.45$$

$$\text{YSYİ (Konya)} = -1.0 + 0.18 = -0.82$$

olarak YSYİ değerleri bulunur. Ekim ayı için;

$$\text{YSYİ (İstanbul)} = -1.0 + 0.10 = -0.90$$

$$\text{YSYİ (Diyarbakır)} = -1.0 + 0.04 = -0.96$$

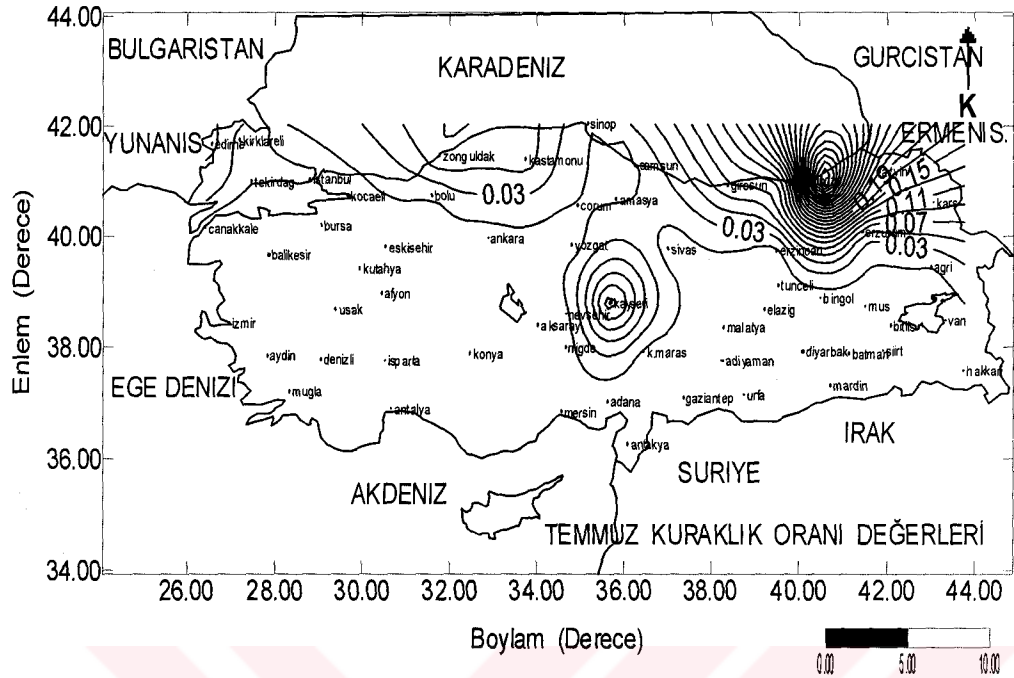
$$\text{YSYİ (Rize)} = -1.0 + 0.30 = -0.70$$

$$\text{YSYİ (Konya)} = -1.0 + 0.08 = -0.92$$

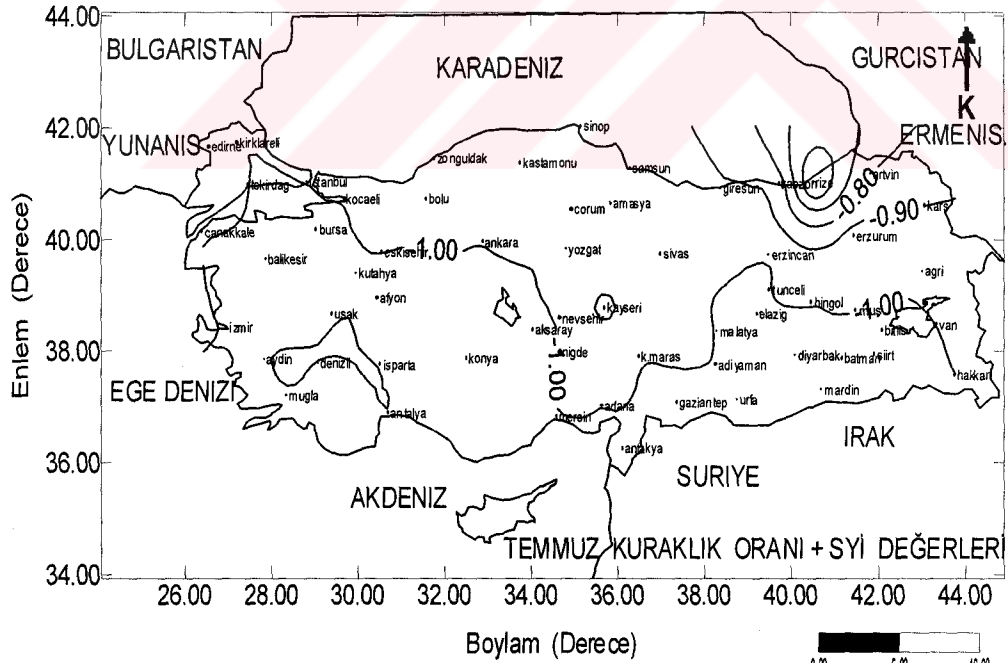
bulunur.

Çalışma alanındaki 60 istasyonun elde edilen KO değerleri ocak, nisan, temmuz ve ekim ayları için alansal olarak haritalanmıştır (Şekil 4.9a – 4.12a, Şekil 4.9b – 4.12b). Buradan da görüleceği gibi kurak bölgelerin indis değerleri korunurken sulak bölgelerin indis değerleri sıfıra yaklaşmıştır.

Ülkemizin genelinde KO kuzeybatı ve kuzeydoğu kesimlerinde yüksek batı, güneybatı, güneydoğu, doğu ve iç bölgelerinde ise düşük değerler almaktadır. KO değerine SYİ değerlerinin ilave edilmesi ile elde edilen yeni dağılım haritalarından görüleceği üzere kurak bölgelerimizde ortaya çıkmaktadır. Ülkemizin Ege, Marmaranın güneyi, İç Anadolu, Akdeniz, Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde kurak şartlar ocak ayı dışında nisan, temmuz ve ekim aylarında artış göstermiştir.

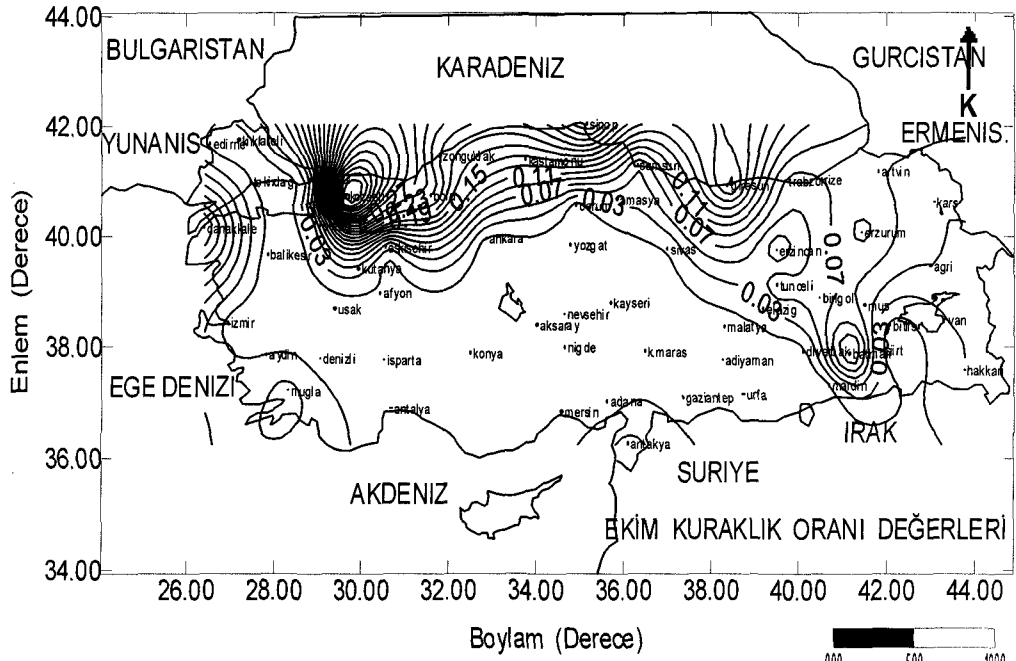


(a)

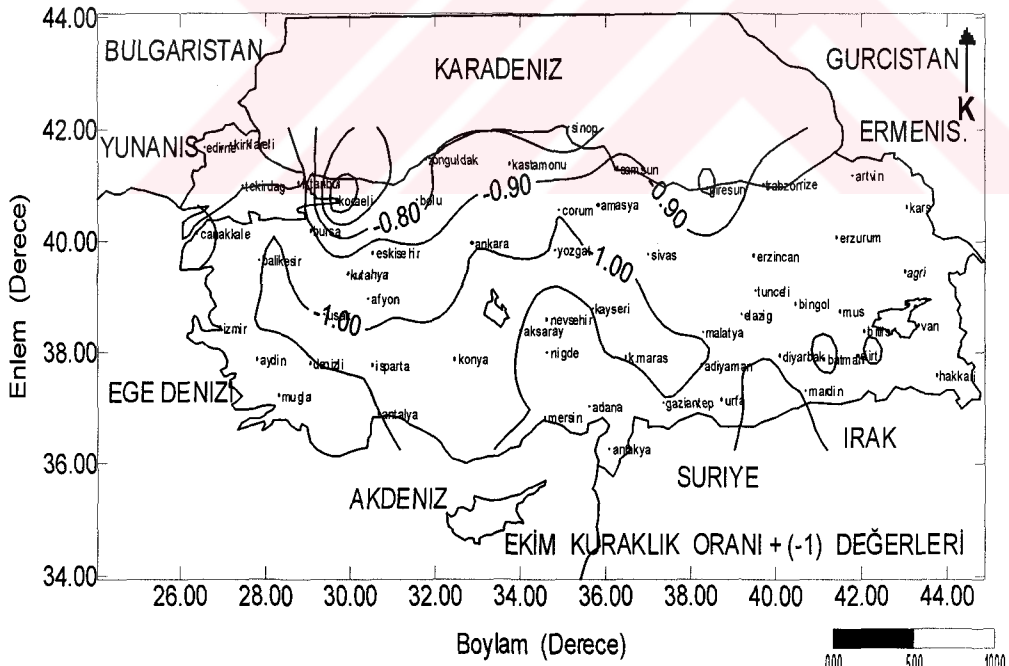


(b)

Şekil 4.11 Temmuz ayı için Kuraklık Oranı (a) ve KO + SYİ dağılımı (b).



(a)



(b)

Şekil 4.12 Ekim ayı için Kuraklık Oranı (a) ve KO + SYİ dağılımı (b).

Tablo 4.3 Çalışma alanındaki istasyonlara ait Kuraklık Oranı "KO" değerleri.

No	İstasyon Adı	Ocak	Subat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Agustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
350	Adana	0.13	0.03	0.09	0.09	0	0	0	0	0	0	0.04	0.1
600	Adıyaman	0.08	0.16	0.45	0.2	0.01	0	0	0	0	0	0.01	0
190	Afyon	0.1	0.33	0.18	0.6	0	0	0	0	0	0.01	0.07	0
102	Ağrı	0.1	0.1	0.62	0.86	0.51	0	0.01	0.01	0	0.05	0.16	0.3
607	Aksaray	0.32	0.08	0.64	0.3	0.6	0.16	0	0	0	0	0.19	0.4
614	Amasya	0.33	0.27	0.01	0.54	0.79	0.47	0.01	0	0	0.04	0.03	0.9
130	Ankara	0.2	0.12	0.42	0.22	0.36	0.1	0	0	0	0	0.03	0.2
378	Antakya	0.25	0.39	0.46	0	0	0	0	0	0	0.04	0	0
300	Antalya	0.15	0	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.2
41	Artvin	0.27	0.16	0.32	0.03	0.87	0.46	0.2	0.05	0.1	0.07	0.06	0.1
234	Aydın	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0.01	0	0
150	Balıkesir	0.31	0.23	0.3	0.04	0.06	0	0	0	0	0	0.07	0
205	Batman	0.19	0.5	0.83	0.01	0	0	0	0	0	0.16	0.07	0
632	Bingöl	0.01	0.48	0.58	0.2	0.16	0	0	0	0	0.06	0.04	0.1
164	Bitlis	0.1	0.33	0.77	0.25	0.32	0	0	0	0	0	0.14	0.2
70	Bolu	0.37	0.24	0.44	0.31	0.56	0.16	0.01	0	0.1	0.25	0.1	0.2
116	Bursa	0.33	0.17	0.14	0.12	0.04	0.15	0	0	0	0.06	0.45	0.3
112	Çanakkale	0	0.06	0.24	0.04	0	0	0	0	0	0.16	0.15	0.1
84	Çorum	0.2	0.18	0.05	0.26	0.13	0.03	0.01	0	0.1	0	0.07	0.2
237	Denizli	0.01	0.05	0.03	0.1	0.02	0	0	0.03	0	0	0	0
280	Diyarbakır	0.02	0.36	0.21	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0.1
50	Edirne	0.01	0.06	0.11	0.07	0.12	0.11	0.04	0	0	0	0.22	0.1
202	Elazığ	0.22	0.54	0.47	0.36	0	0	0	0	0	0.02	0	0.4
92	Erzincan	0.05	0.24	0.25	0.19	0.43	0.07	0	0	0	0.01	0.15	0.1
96	Erzurum	0.1	0.19	0.47	0.33	0.35	0.12	0.04	0	0	0.1	0.38	0.2
665	Eskişehir	0.23	0.44	0.37	0.12	0.11	0.01	0	0	0	0.01	0.04	0
260	Gaziantep	0.42	0.08	0.31	0.03	0.05	0	0	0	0	0	0.04	0
34	Giresun	0.34	0.38	0.68	0.74	0.62	0.41	0.09	0.31	0.1	0.22	0.44	0.8
670	Hakkari	0.41	0.49	0.96	0.24	0.46	0.01	0	0	0.1	0.03	0.1	0.2
240	Isparta	0.03	0.17	0.26	0.1	0.02	0	0	0	0	0	0.27	0
62	İstanbul	0.28	0.38	0.21	0.1	0.11	0.03	0	0	0	0.03	0.28	0.4
220	İzmir	0.06	0.05	0.2	0	0.01	0	0	0	0	0	0.29	0.1
165	Kahramanmaraş	0.15	0.18	0.74	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0
98	Kars	0.06	0.21	0.48	0.59	0.71	0.48	0.1	0.05	0.1	0.05	0.02	0.1
74	Kastamonu	0.24	0.14	0.23	0.18	0.29	0.09	0.06	0	0	0.14	0.14	0.2
196	Kayseri	0.02	0	0	0.08	0.05	0	0.13	0.02	0	0	0	0
601	Kırklareli	0.11	0.29	0.26	0.42	0.31	0.07	0	0	0	0	0.03	0.3
66	Kocaeli	0.44	0.25	0.13	0.05	0	0	0	0.02	0	0.52	0.42	0.5
244	Konya	0.18	0.04	0.6	0.08	0.27	0	0	0	0	0	0	0.2
152	Kütahya	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0	0.04	0.03	0
200	Malatya	0.11	0.28	0.24	0.09	0.01	0	0	0	0	0	0.01	0.2
282	Mardin	0.15	0.24	0.43	0.19	0.02	0	0	0	0	0	0	0.1
340	Mersin	0.08	0.02	0.08	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0.01	0
292	Muğla	0.13	0.23	0.12	0.06	0.01	0	0	0	0	0.04	0.22	0.1
700	Muş	0.02	0.46	1.03	0.52	0.07	0	0	0	0	0.06	0.17	0.1
193	Nevşehir	0	0	0	0.01	0.44	0	0	0	0	0.01	0	0
230	Niğde	0.22	0.3	0.34	0.32	0.06	0.04	0	0	0	0.01	0.02	0.1
40	Rize	0.55	0.39	0.01	0.3	0.21	0.55	0.53	0.33	0.5	0.07	0.17	0.7
30	Samsun	0.24	0.35	0.16	0.44	0.27	0.03	0.01	0	0.1	0.05	0.1	0.1
210	Siirt	0.21	0.29	0.71	0.01	0.03	0	0	0	0	0	0.03	0.3
26	Sinop	0.05	0.19	0	0.32	0.21	0.05	0.01	0	0.1	0.3	0.25	0.3
90	Sivas	0.34	0.26	0.39	0.14	0.41	0	0	0	0	0.01	0.01	0.2
270	Şanlıurfa	0.01	0.09	0.29	0.02	0	0	0	0	0	0.01	0	0

56 Tekirdağ	0.24	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.2
38 Trabzon	0.17	0.25	0.48	0.83	0.63	0.12	0.13	0.08	0.2	0.06	0.15	0.5
735 Tunceli	0.01	0.04	0.31	0.2	0.09	0.26	0	0	0	0.07	0.01	0.1
188 Uşak	0.12	0.22	0.25	0	0	0.06	0	0	0	0	0.38	0.3
170 Van	0.23	0.23	0.29	0.43	0.2	0	0	0	0	0.03	0.05	0.3
132 Yozgat	0.37	0.33	0.35	0.27	0.23	0.04	0	0.05	0	0	0.04	0.3
22 Zonguldak	0.87	0.57	0.39	0.31	0.08	0	0.07	0.02	0	0.2	0.37	0.6



5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Dünya üzerinde Türkiye, yarı kurak bir bölgede bulunmaktadır. Bu kuraklığın ülkemiz açısından yukarıda ayrıntılı olarak verdiğimiz şekilde sürekli bir tehdit oluşturduğu anlaşılmaktadır. Bunu önlemenin en önemli koşulu kuraklığın bir merkez tarafından sürekli izlenmesidir.

Bu çalışmada kuraklıkla ilgili olarak hem alansal hem de zamansal yeni yaklaşımlar getirilmiştir. Yağışın takibi için önemli elemanlar olan kuraklık genliği, süresi ve şiddeti yağışın zaman serisinden faydalanılarak geliştirilen bilgisayar programı ile elde edilmiştir. Buna ilaveten bu değişkenlerin maksimum ve minimum değerleri yine aynı şekilde bilgisayar programı ile bulunmuş ve ülke geneli için haritalar ve tablolar elde edilmiştir.

Canlı hayatı için vazgeçilmez unsur olan su kaynaklarının planlı ve programlı olarak kullanılması gerekmektedir. Susuz yaşam düşünülemez. Hidrometeorologlar ve su mühendisleri bu nedenle suyun yeryüzündeki kaynağı olan yağışlara önem vermektedirler. Ülkemiz açısından yağışların alansal ve zamansal değişiminin tesbit edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, tezde yer alan haritalarda yağışla ilgili mevsimsel-alansal değişimleri görmek mümkün olmuştur. Ülkemizin kuzey kesiminde yağışlar güneye göre daha yüksektir. Doğu Karadeniz’de ve batı Akdeniz’de yağış miktarının arttığı gözlenmektedir. İç Anadolu, Doğu Anadolu, ve Ege bölgesinin doğusunda düşük yağış miktarlarına rastlanmaktadır. Kışın en yüksek 600 - 2000 mm, yazın en düşük 100-300 mm değerleri ilkbaharda 500-900 mm, sonbaharda 300 - 900 mm ve daha yüksek yağış değerleri gözlenmektedir.

- Mevsimsel-minimum yağış haritalarından görüleceği üzere kışın tüm ülke yağış alırken ilkbaharda Marmara’nın güneyi, Ege, Akdenizin batısı hiç yağış almayabiliyor. Yazın bu durum alansal olarak artmakta ve yalnızca Doğu Karadeniz civarı yağış almaktadır, sonbaharda ise Marmara’nın doğusu ve Karadeniz’in dışında yağış görülmeyebilir.

- Yağışın mevsimsel-alansal standart sapma değerleri özellikle çok yağış alan bölgelerde artmaktadır. Rize ve Antalya dolaylarında bu artış görülmektedir.
- Yağış çarpıklık değerlerinin mevsimsel-alansal değişimi yağışın az görüldüğü yaz ve sonbaharda artmaktadır. Çarpıklık değerleri yağışın olasılık dağılımı hakkında da bilgi vermektedir.
- Kuraklık için yeni getirilen üçlü-değişken yaklaşım ile, farklı bir bölge için herhangi bir zaman diliminde üç değişken kullanılarak kolaylıkla yorum yapılabilmektedir. Hatta bu grafikler yardımıyla, ülkemizin benzer ve farklı iklim özellikleri gösteren bölgelerini tesbit ederek, ayrıntılı olarak iklim haritaları elde edilebilir. Bunun yanında, önceden belirttiğimiz gibi, kuraklıkla ilgili çalışmalar yalnızca yağış değişkeni kullanılarak yaygın olarak yapılmaktadır. Yapılan bu çalışmada, yağışa ilave olarak nem ve sıcaklık kullanılarak kuraklığa yorum getirilmektedir.
- Kuraklık meydana gelirken yağışla birlikte nem ve sıcaklıktaki değişimle ilgili her istasyon için haritalar elde edilmiştir. Ayrıca, kuraklık meydana gelirken gözlenen maksimum nem ve sıcaklık, ortalama nem ve sıcaklık için haritalar elde edilmiştir.
- Elde edilen üçlü grafikler 60 ilimizde hangi sıcaklık ve yağışta nemin başlayacağı hakkında bilgi vermektedir.
- Her ilimizde farklı yorumlar yapılması gerekmektedir, her ilin kendine ait özellikleri ortalama ve standart sapması gözönünde bulundurularak kesim seviyeleri ile ilgili yorumlar yapılmalıdır.
- Üçlü-değişken göstergesi incelenen yerin iklimi hakkında bilgi vermektedir. Karasal veya denizsel iklim özellikleri de farklı iklim bölgelerindeki istasyonlar için elde edilmiş ve bu durumlar gözlenmiştir.
- Bu çalışmada ölçüm yapılan istasyonun bulunduğu yere ait hava özellikleri, havanın kararlı veya kararsızlık göstermekte olduğu, uzun yıllara ait zaman serilerinden elde edilen üçlü-değişken grafiklerinden de anlaşılmaktadır. 60 istasyon için elde edilen grafiklerden uzun yıllara ait üç değişkenin zaman

serilerinin bu süre boyunca gösterdikleri genel veri aralığı konusunda da fikir sahibi olmak mümkündür. Yağış, sıcaklık ve nemin hangi maksimum ve minimum değerler aldığını da bulabiliriz.

- Yağışlı bölgelerde genellikle nem büyük, sıcaklık ise küçük değerlere sahiptir. Benzer üçlü şekilleri biraraya topladığımızda sınıflandırma yapmamız mümkün olmaktadır.
- Eğer üçlü-değişken ilişki grafiklerinde negatif alanlar pozitif alanlara göre daha fazla ise kuraklığın meydana gelme riski artmaktadır. Yani bu bölgemizde kuraklığın oluşma riski sıcaklık ve nem değerlerinin daha fazla değerlerini içine aldığından artmaktadır. Tersine durumda da bu risk sulak durumun meydana gelmesini sağlayacağından sulaklık artmaktadır.
- Kurak şartların oluşumu istasyondan istasyona farklılıklar göstermektedir. Bu da bize kuraklığın karışık (kompleks) ve rastgele bir olay olduğunu göstermektedir.
- GAP projesinin bulunduğu Urfa ilimiz kuraklık açısından riskli ilimizdir. Kuraklığın oluşumunu arttıran nem ve sıcaklık değerlerinin bilinmesi, barajların verimli işletilmesi açısından ülkemiz için önem arz etmektedir.
- Maksimum nem ve sıcaklığın, ortalama nem ve sıcaklığın M ve L ile aralarındaki üçlü-değişken göstergeçleri bize incelenen bölgenin maksimum ve ortalama değerlerinin hangi aralıkta değiştiğini göstermektedir.
- Maksimum nem ve sıcaklık, ortalama nem ve sıcaklıkta M ve L'deki değişimler bize diğer üçlü-değişken grafiklerindeki bilgiyi daha ayrıntılı olarak elde etmemizi sağlar. Kuraklığın oluştuğu maksimum sıcaklık ve nem, ortalama sıcaklık ve nemin incelenen bölge için ayrıntılı tesbitini mümkün kılar. Bu değerler izlenir ise kuraklık için risk arzeden değerler tesbit edilir ve önlemler önceden alınabilir.
- Bu çalışmada, aylık değerlere sahip 60 yıllık veri periyodu kullanılmıştır. Maksimum ve ortalama değişkenlerin M ve L değerlerinin bu periyotta aldıkları en küçük ve en büyük değerler de bulunmuştur.

- Dört kesim seviyesinde (-0.5, -1, -1.5 ve -2'de) maksimum kuraklık genliği, süre ve şiddet değerlerinin ülkemiz için alansal değişimleri elde edilmiştir. Kesim seviyesi arttıkça maksimum toplam su eksikliği artmaktadır, genellikle 8 birim değerine sahip iken, Mersin'de artış göstermektedir.
- Maksimum toplam su eksikliği süresi kesim seviyesi arttıkça artmakta ve -2 kesim seviyesinde ortalama 12 ay iken Mersin'de 17 ayı geçmektedir.
- Maksimum kuraklık şiddeti -2 kesim seviyesinde 1-1.2 arasındadır. Mersin'de kuraklık şiddeti 1.5 kadar çıkmaktadır.
- Türkiye genelinde maksimum kuraklık karakteristikleri nemin % 81 – 88 ve sıcaklığın 24 – 32 °C olarak değiştiği aralıkta görülmektedir.
- Dört kesim seviyesi için kuraklığın minimum karakteristiklerinin karşılık geldiği nem ve sıcaklığın ülke genelinde alansal dağılımı elde edilmiştir. Kuraklığın görülmediği durumlarda nem % 22 - 42 ve sıcaklık -12 - (-1) arasındaki değerler ile alansal dağılım göstermektedir.
- Son onyılda kullanılmakta olan SYİ indisinin hesaplanmasında yaşanan problemler ile ilgili yeni yaklaşımlar geliştirilmiştir. Kuraklık oranı adı verilen ve kuraklık için her istasyonun kendi özelliğini içeren yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir.
- SYİ indisinde yağış zaman serisinin standartlaştırılmasında ve her istasyon için kesim seviyelerinin aynı aralıkta değişmesinden kaynaklanan sorunlar olduğundan indise “Kuraklık Oranı” adı verilen bir parametre ilave edilmiştir.
- Doktora tez çalışmasında kullanılan 60 istasyonun her biri için “KO” değerleri elde edilmiş ve ülkemiz genelinde zamansal-alansal değişimi haritalarla verilmiştir. “KO” yağışa ait bir parametredir, bu nedenle ülke genelinde Ocak ayında yüksek, Temmuz ve Ekimde düşük değerlere sahiptir. Ülke genelinde güney, batı ve doğu bölgelerimiz kuzey doğu ve kuzey batıya göre daha kurak bir yapı göstermektedir. Her istasyonun kendine ait kuraklık özelliği ortaya çıkmaktadır.

Kuraklığın etkilerinin azaltılması için şu önerileri sıralayabiliriz;

- Dünya üzerinde Türkiye, yarı kurak bir bölgede bulunmaktadır. Bu kuraklığın ülkemiz açısından yukarıda ayrıntılı olarak verdiğimiz şekilde sürekli bir tehdit oluşturduğu anlaşılmaktadır. Bunu önlemenin en önemli koşulu kuraklığın bir merkez tarafından sürekli izlenmesidir. Ulusal Kuraklık Önleme Merkezi (UKÖM)'nin bünyesinde farklı disiplinlerden araştırmacılar bulundurarak acil olarak kurulması gereklidir.
- Tasarruf eğitimi ile bilinçli su kullanımı ilkokuldan başlayarak öğrencilere verilmelidir.
- Afet yönetiminde bu çalışmada elde edilen M, L ve I değerlerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.
- M, L ve I değerlerinin stokastik modeller yardımı ile gelecekle ilgili tahminleri geliştirilebilir.
- Bununla birlikte her bir kuraklık süresine, genliğine ve şiddetine göre uygun histogramlar tespit edilir.
- Kaynakların kullanımının düzenlenmesi, akılcı kullanma, kısıntılara gitme, suyun ekonomik değerinin artması, kurumsal önlemlerin alınması, koruma, teknolojik yenilikler ve arazi kullanımının değiştirilmesi gibi önlemlerin alınması,
- Arazi iyileştirilmesi için bazı ölçülerin getirilmesi, arazi kullanımında en büyükmeye karşı en iyileme (optimum) kullanım yollarının araştırılması, ağaçlandırma, yeni yöntem ve teknolojilerin kullanılması yönüne gidilmesi ve koruma ölçütlerinin gündeme getirilmesi gibi önlemler alınabilir.
- Ülkemiz yarı kurak bölgede su biriktirme havzalarının işletilmesinde yapılan bu tür tez çalışmalarından faydalanmalıdır. Toplam su eksikliğinin tesbit edilmesi ile su kıtlığı bulunan bölgeye su fazlalığı olan bölgeden ne kadar su gerektiği bulunur. Böylece su transferi verimli bir işletmeyle yapılır. Eğer toplam su eksikliği süresi (L) biliniyorsa, su biriktirme havzasındaki suyun işletilmesinde bu durum gözönünde bulundurularak verimli bir işletme yapılır.

- Enerji üretimi yapılan bölgelerimizde üçlü-değişken belirteçleri yardımı ile sıcaklık ve yağışa bağlı olarak kuraklık izlenebilir. Hayvancılık ve tarıma dayanan bir ekonomiye sahip olduğumuz için kuraklık açısından riskli alanların sık meteorolojik istasyon ağı yardımı ile izlenmesi gerekmektedir.
- Üçlü-değişken ilişki yaklaşımları için farklı zaman periyotları (5, 10, 20, 30 yıllık gibi) alınabilir. Üçlü-değişken göstergeleri yerden düşey olarak farklı yüksekliklerde radyozende verisi ile hesap edilebilir. Yerel olarak aynı bölgeyi temsil eden yerlerde yatay birkaç alanda alınan veri örnekleri ile çalışarak alansal farklılıklar haritalarda elde edilebilir.
- Üçlü-değişken ilişkilerinden elde edilen bilgiler için fuzzy (bulanık) mantık kuralları kullanılarak çözümler geliştirilebilir.
- Negatif sıcaklıklarda meydana gelen kuraklık olaylarında kar ölçümlerinin bulunmamasında bazı sorunlar yaşanmıştır; bu nedenle kışın ve ilkbaharda yağmurdan daha çok kar yağışı olan bölgelerimizde kar ölçümleri gözönünde bulundurulmalıdır. Yağışların türü değişse bile zamansal sürekliliği devam edecek şekilde kayıt edilmelidir.
- Su toplama haznelerinin yerlerinin tesbitinde ve tarımsal üretimde yağışın ortalama, maksimum, minimum, standart sapma, çarpıklık, standart maksimum ve minimum değerleri için elde edilmiş olan mevsimsel-alansal haritalardan faydalanılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abramowitz, M. and Stegun, A.,** 1965. Handbook of Mathematical Functions, Dover, New York.
- Akinremi, O. O. and Mc Ginn, S. M.,** 1996. Evaluation of the Palmer Drought index on the Canadian Prairies, *J. Climate*, Vol. 9, pp. 897-905.
- Alley, W. M.,** 1984. The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, Volume 23, pp. 1100-1109.
- Barnes, S.L.,** 1964. A technique for maximizing details in numerical weather map anlysis. *J. Appl. Meteor.*, Vol. 3, 396-409.
- Barry, R. G. and Chorley, R. J.,** 1976. *Atmosphere, Weather and Climate*, Methuen, London.
- Bayazıt, M., ve Şen, Z.,** 1976. Hidrolojik süreçlerin kurak devre özellikleri, Tübitak Mühendislik Araştırma Grubu, Proje No: 409, İstanbul.
- Bayazıt, M., Oğuz, B. ve Duranyıldız, İ.,** 1994. Dry period analysis of the water supply system of İstanbul, *Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences*, 18, 225-232.
- Bayazıt, M.,** 1997. Biriktirme haznelerinin tasarımı ve işletilmesi, Sayı: 1583, Birinci Baskı, İTÜ, İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Baykan, O.,** 1994. Büyük Menderes Havzası Kuraklık Eğilimleri, Jeotermal Uygulamalar Sempozyumu "94", PAÜ, Denizli, s. 383-397, 27-30 Eylül.
- Bogardi, I., Matyasovszky, I., Bordossy, A. and Duckstein, L.,** 1994. A hydroclimatological model of areal drought, *Journal of Hydrology*, vol. 153, pp. 245-264.
- Bradley, A. A.,** 1998. Regional frequency analysis methods for evaluating changes in hydrologic extremes. *Water Resources Research*, Vol.34. No. 4, pp. 741-750.
- Bronovski, J.,** 1978. İnsanın Yükselişi, V Yayınları, Ankara.

- Budyko, M. I.**, 1958. The Heat Balance of the Earth's Surface, Trs. Nina A. Stepanova, U.S.A. Dept.of Commerce, Washington.
- Budyko, M. I.**, 1974. Climate and Life, Academic Press, New York (and London).
- Charney, J. G.**, 1975. Dynamics of Deserts and Drought in the Sahel. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 101: 193-202.
- Clark, I.**, 1979. Practical geostatistics. Applied Science Publishers, London, 129 p.
- Cressman, G. P.**, 1959. An operational objective analysis system. *Month. Weath. Rev.*, Vol. **87**, no. 10, 367-374.
- Çelenk, Ş.**, 1976. Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Meteorolojik Yönünden Kuraklığın İncelenmesi, *Hidrometeoroloji Dergisi*, Ankara, Sayı No:81, s. 16-21.
- Çölaşan, E.**, 1960. Türkiye İklimi, Birinci Baskı, Ankara, s.322-353.
- Davis, J. C.**, 1986. Statistics and Data Analysis in Geology, John Wiley and Sons, Inc, New York, 646 pp.
- Dracup, J. A., Lee K. S., and Paulson, E. G., Jr.**, 1980. On the statistical characteristics of droughts. *Water Resour. Res.*, 16(2), 297-302.
- Erinç, S.**, 1957. Tatbiki Klimatoloji ve Türkiye İklimi, İ.T.Ü. Hidrojeoloji Enstitüsü.
- Erinç, S.**, 1965. Yağış Müessiriyeti Üzerine Bir Deneme ve Yeni Bir İndis. İst. Üniv. Coğr. Enst. Yayın No:41. İstanbul.
- Erinç, S.**, 1969. Klimatoloji ve Metodları. İst. Üniv. Coğr. Enst. Yay. No.35. İstanbul.
- Erdoğan, F.**, 1989. Türkiye'de Yaygın Kuraklıklar. Met. Müh. Odası Bülteni, Sayı 2, Ankara.
- Foley, J. C.**, 1957. Drought in Australia. Bulletin no.43.Bureau of Meteorology. Melbourne.
- Gabriel, R. and Neuman, J.**, 1962. A markov chain model for daily rainfall occurrence at Tel Aviv, Israel. *Roy. Meteorol. Soc. London J.*, 88, 90-95.
- Gbeckor-Kove, N.**, 1989. Drought and Desertification. WMO/TD, No:286, WCAP, No:7, 41-73, Geneva.
- Gibbs, W. J.**, 1964. Space-time Variation of Rainfall in Australia. Symposium on Water Use and Management.
- Gibbs, W. J. and Maher, J. V.**, 1967. Rainfall Deciles as Drought Indicators. Bulletin No.48, Bureau of Meteorology, Melbourne.

- Gibbs, W. J.**, 1975. Drought, Its Definition, Delineation and Effects. Drought Special Environmental Report, No:5, WMO/TD-No.193, WCP, No:134, Geneva.
- Hare, F. K.**, 1983. Climate and Desertification. WMO, No:44, Geneva.
- Hare, F. K.**, 1985. Climate Variations, Drought and Desertification. WMO, No: 653, (İklim değışmeleri, Kuraklık ve ölleşme, D.M.İ. Gn. Md.'lüğü yayını, 1987. Çev: M. Türkeş. Ankara), Geneva.
- Heddinghaus, T. R. and Sabol, P.**, 1991. A Review of the Palmer Drought Severity Index on Where Do We Go From Here? Proc 7th Conf. on Applied Climatology, September 10-13 American Meteorological Society, Boston, Massachusetts, pp. 242-246
- Johnson, A. M.**, 1976. The Climate of Peru, Bolivia and Ecuador, in Schwertfeger, W., (ed) q.v., pp. 147-217.
- Kadioğlu, M. ve Topçu, N.**, 1997. Mamara Bölgesinde Kuraklık Takibi. Su Kaynaklarının Korunması ve İşletilmesi Sempozyumu, İSKİ, İstanbul.
- Karl, T. R. and Knight, R. W.**, 1985. Atlas of Monthly Palmer Hydrological Drought Indices (1931-1983) for United States. Historical Climatology series 3-7, National Climatic Data Center, Asheville.
- Karl, T. R.**, 1986. The Sensitivity of the Palmer Drought Severity Index and Palmer's Z-Index to Their Calibration Coefficients Including Potential Evapotranspiration, *J. Clim. Appl. Meteor.*, No:25, pp. 77-86.
- Klugman, M. R.**, 1978. Drought in the Upper Midwest, 1931-1969. *Journal of Applied Meteorology*, 17 (10). 1425-1431.
- Lamb, H. H.**, 1972. Climate: Present, Past and Future. Volume 1, Fundamentals and Climate Now, Methuen, London.
- Lettau, H.**, 1969. Evapotranspiration climatology: 1, A new approach to numerical prediction of monthly evapotranspiration, run off and soil moisture storage, *Monthly Weather Review*, 97: 691-699, 1969.
- Manley, G.**, 1953. Climatic Variation, Q, 31, Meteor. Soc., 79: 185-209.
- McMahon, T. A. and Mein, R. G.**, 1986. River and Reservoir Yield, Water Resources Publication, Littleton, CO.
- Matheron, G.**, 1963. Principles of geostatistics. *Econ. Geo.*, 58, pp.1246-1266.

- McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J., 1993.** The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, pp.179-184.
- McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J., 1995.** Drought Monitoring with Multiple Time Scales. Preprints, 9th Conference on Applied Climatology, Dallas, TX, pp. 233-236.
- Millan, J. and Yevjevich, V., 1971.** Probabilities of Observed Droughts. Hydrology Paper, No: 50, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Miller, A., 1976.** The Climate of Chile, in Schwertfeger, W., (ed) q.v., p:113-145.
- Montaseri, M. and Adeloye, A. J., 1999.** Critical period of reservoir systems for planning purposes. *Journal of Hydrology*, Vol. 224, pp. 115-136.
- Nicholson, S. E., 1980.** The Nature of Rainfall Fluctuations in Subtropical West Africa. *Monthly Weather Review*, 108: 473-487.
- Nicholson, S. E., 1981.** Rainfall and Atmospheric Circulation During Drought and Wetter Periods in Africa. *Monthly Weather Review*. 109: 2191-2208.
- Nişancı, A., 1976.** Türkiye’de Kurak (ya da nemli) Alanların Dağılışı. Atatürk .Üniv. ve Ed. Fak. Araştırma Derg. Sayı. 7: 235-246.
- Nişancı, A., 1977.** Türkiye’de Kuraklık Sorunu, Kurak Aylar Sayısına Göre Belirli İklım Bölgeleri ve Doğal Bitki Örtüsüyle Bağıntısı Üzerine Araştırma. Basılmamış Doçentlik Tezi, Erzurum.
- Ogallo, L. J., 1989.** Drought and Desertification (Report of the CCL Rapportuer on Drought and Desertification in Warm Climates to the Tenth Session of the Commission for Climatology, 1989, Lisbon). WCAP, No:7, WMO/TD-No.1-40, Geneva.
- Oğuz, B., ve Bayazıt, M., 1991.** Statistical properties of the critical period. *Journal of Hydrology*, 126, pp. 183-194.
- Olea, R. A., 1975.** Optimum mapping techniques using regionalized variable theory. *Kans. Geol. Surv., Ser. Spat. Anal.*, 2, 137 pp.
- Omay, E. 1978,** Teknoloji Tarihine Giriş ve Paleolitik Teknoloji Konusunda bir deneme, İ.T.Ü. Dergisi, Cilt 36, 6, İstanbul.
- Özer, F., Malkoç, Y., Köse, E., Dinçer, A. C., Seyhan, K., Erüz, C. ve Durukanoğlu, H. F., 1998.** Doğu Karadeniz Bölgesinde Kurak

Döneme Sahip Yörelere Belirlenmesi, II. Ulusal Hidroloji Kongresi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul, pp. 209-216.

Panofsky, H. A. and Brier, G. W., 1958. Some applications of statistics to meteorology . Pennsylvania State University Press, 244 pp.

Palmer, W. C., 1965. Meteorological Drought, U.S.A. Weather Bureau Research Paper, No. 45, 58.

Palmer, W. C., 1968. Keeping Track of Crop Moisture Conditions, Nationwide: The New Crop Moisture Index, Weatherwise, 21: pp, 156-161.

Pesti, G., Shrestha, B. P., Duckstein, L. and Bogardi, I., 1996. A fuzzy rule-based approach to drought assessment. *Water Resources Research*, Vol. 32, No.6, pp. 1741-1747.

Press, W. H., Flannery, B. P., Teukolsky, S. A. and Vetterling, W. T., 1992. Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing (Second edn.). Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Pongracz, R., Bogardi, I. and Duckstein, L., 1999. Application of fuzzy rule-based modelling technique to regional drought. *Journal of Hydrology*. Vol. 224, pp.100-114.

Rao, G. A., 1986. Drought Probability Maps. CagM-VIII Rapture on Drought Probability Maps WMO, WCP (2470), Geneva.

Shafer, B. A. and Dezman, L. E., 1982. Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to Assess The Severity of Drought Conditions in Snowpack Runoff Areas, Proceedings of the Western Snow Conference, pp.164-175.

Sharma, T. C., 1997. A drought frequency formula. *Hydrological Sciences Journal*, Vol 42 (6), pp. 803-814.

Sırdaş, S. ve Şen, Z., 1999. Standart Yağış İndeksinin (SYİ) Isparta için Uygulanması, X. Mühendislik Sempozyumu, 2-3 Haziran 1999 Isparta, ss. 3-12.

Sırdaş, S. and Şen, Z., 2000. Application of the standardized precipitation index (SPI) to the Marmara Region. *Integrated Water Resources Management, IAHS Pub.*, no 272, ISSN 0144-7815, 291-297.

Smith, D. I., Hutchinson, M. F. and McArthur, R. J., 1993. Australian climatic and agricultural drought: payments and policy. *Drought Network News*, 5 (3): 11-12.

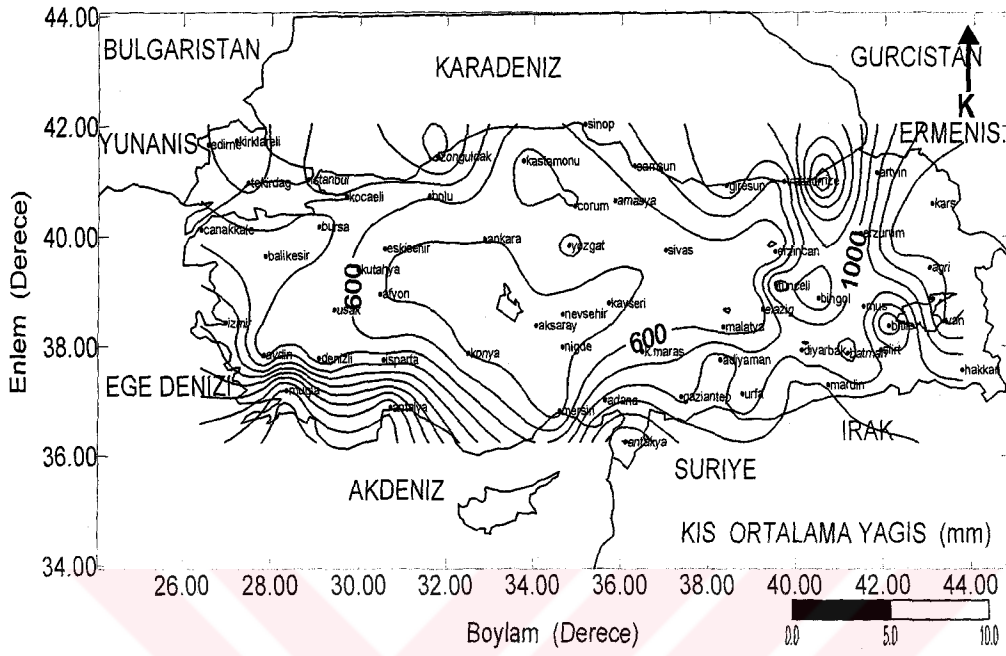
- Sud, Y. C. and Smith, W.E.**, 1986. Influence of Roughness of a Desert. WMO, WCRP, Publications Series, No:7, Geneva.
- Şaylan, L., Sönmez, F. K. ve Eitzinger, J.**, 1994. Bitki iklim modelleri tarımsal kuraklığın analizine bir çözüm olabilir mi?, 1. Ulusal Hidrometeoroloji Sempozyumu, 23-25 Mart, İstanbul, ss. 72-81.
- Şahin, A. D. and Sırdaş, S.**, 2002. A new graphical approach between solar irradiation variables and drought. EPMR-2002 International Conference Enviromental Problems of The Mediterranean Region. 12-15 April 2002. Near East University, North Cyprus.
- Şen, Z.**, 1976a. Yıllık Akış Serilerinin Kurak Devreleri, Sakarya D.M.M. Akademisi Dergisi, No:2, İstanbul, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, ss. 79-94.
- Şen, Z.**, 1976b. Wet and Dry Periods of Annual Flow Series, *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 102, No. HY10, Proc. Paper 12497, pp. 1503-1514.
- Şen, Z.**, 1977a. Autorun analysis of hydrologic time series. *J. Hydrol.*, 36, 75-88.
- Şen, Z.**, 1977b. Run-Sums of Annual Flow Series, *Journal of Hydrology*, No:35, pp. 311-324.
- Şen, Z.**, 1978. Autorun analysis of hydrologic time series. *Journal of Hydrology*, volume 36, pp. 75-85.
- Şen, Z.**, 1979. Application of the autorun test to hydrologic data. *Journal of Hydrology*, 42, pp. 1-7.
- Şen, Z.**, 1980a. The numerical calculation of extreme wet and dry periods in hydrologic time series. *Hydrol. Sci. Bull.*, 21 (2). 135-142.
- Şen, Z.**, 1980b. Critical Drought Analysis of Periodic-Stochastic Processes. *Journal of Hydrology*, No:46, pp. 251-263.
- Şen, Z.**, 1980c. Regional drought and flood frequency analysis: theoretical consideration. *Journal of Hydrology*, Volume 46, pp.265-279.
- Şen, Z.**, 1985. Autorun model for synthetic flow generation. *Journal of Hydrology*, Volume 81, pp.157-170.
- Şen, Z.**, 1989a. The Theory of Runs With Applications to Drought Prediction-Comment. *Journal of Hydrology*, No:110, pp. 383-391.
- Şen, Z.**, 1989b. Cumulative semivariogram model of regionalized variables. *Int. J. Math. Geol.*, 21, 891.

- Şen, Z.**, 1990. Critical drought analysis by second order markov chain. *J. Hydrol.*, 120, 183-202.
- Şen, Z.**, 1991. On the Probability of the Longest Run Length in an Independent Series. *Journal of Hydrology*, No:125, pp. 37-46.
- Şen, Z.**, 1998. Probabilistic formulation of spatio-temporal drought Pettern. *Theor Appl. Climatol.*, Vol. 61., pp. 197-206.
- Şen, Z. and Habib, A. D.**, 1998. Point cumulative semivariogram of areal precipitation in mountainous regions. *J. Hydrology*, 205, pp.81-91.
- Şen, Z. and Şahin, A. D.**, 1998. Regional wind energy evaluation in some parts of Turkey. *Journal of Wind Engineer. and Indust. Aerody.*, 37, No. 7, pp. 740-741.
- Şen, Z.**, 2001. Kuraklık Kıranı Yuvarlak Masası Toplantısı, 20 Mart 2001, Ankara Hilton Oteli.
- Tannehill, I. R.**, 1947. Drought; Its causes and effects, Prioceton Univ. Press.
- Tase, N.**, 1976. Area-Deficit-Intensity Characteristics of Droughts, Hydrology Paper No. 87, Colarado State University, Fort Collins, Colorado.
- Thom, H.C.S.**, 1958. A note on the Gamma Distribution. *Monthly Weather Review*, 86 (4): 117-122.
- Thom, H. C. S.**, 1966. Some Methods of Climatological Analysis, W.M.O. Technical Note. No: 81 Geneva.
- Tümertekin, E.**, 1955. Türkiye’de Buğday Yetiştirme Devresi ile Kurak Aylar Arasındaki Zaman Münasebeti. T.C.D. Sayı. 13-14:107-124. İstanbul.
- Tümertekin, E.**, 1956a. Türkiye’de Kurak Mevsimler. T.C.D. Sayı.15-16:193-197. İstanbul.
- Tümertekin, E. ve Cöntürk, H.**, 1956b. İstatistik Metodları ile Türkiye’de Kuraklığın İncelenmesi. İ.Ü. Coğr. Enst. Derg. Cilt. 4, sayı 7: 107-123, İstanbul.
- Tümertekin, E., Cöntürk, H.**, 1962. Kuraklık ve İlgili Faktörler, İstanbul Üniversitesi, Coğrafya Enstitüsü Dergisi, Cilt 7, Sayı 12.
- Türkeş, M.**, 1990. Türkiye’de kurak bölgeler ve önemli kurak yıllar. İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.

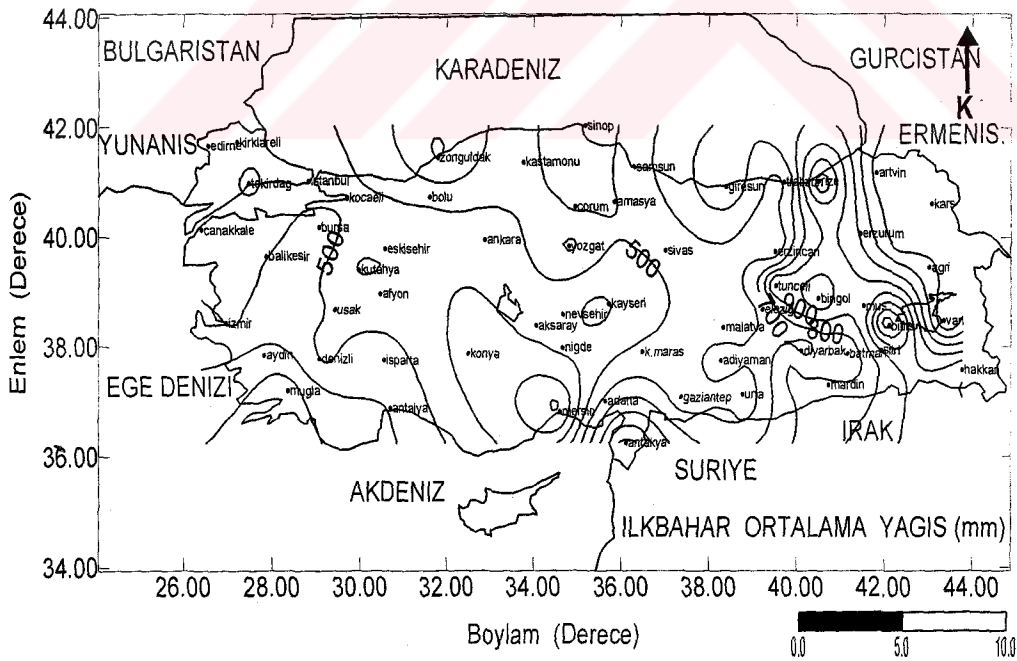
- Türkeş, M.**, 1994. Meteorological drought in Turkey: a historical perspective, 1930-93, *Drought Networks News*, pp.17-21.
- Türkeş, M.**, 1996. Meteorological Drought in Turkey: A Historical Perspective, 1930-1993, *Drought Network News*, 8, 17-21.
- Walker, J. C. G.**, 1996, *History of Earth: The Several Ages of the Earth*; New York.
- Wilhite, D. A.**, 1995. Developing a prediction-based index to assess climatic conditions across Nebraska. Final report submitted to the Natural Res. Commission, Lincoln, Nebraska.
- Willeke, G., Hoskins, J. R. M., Wallis, J. R. and Guttman, N. B.**, 1994. The National Drought Atlas. Institute for Water Resources Report 94-NDS-4, U.S: Army Corps of Engineers.
- Woodhouse, C. A. and Overpeck, J. T.**, 1998. 2000 Years of drought variability in the Central United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol 79, No:12, pp. 2693-2714.
- WMO**, 1975a. Drought: Special Environmental Report No.5 .WMO.No.403.Geneva.
- WMO**, 1975b. Drought and Agriculture. WMO Technical Note.138 Geneva.
- WMO**, 1983. Report of the Meeting on Climate System WMO. No.64. Geneva.
- Wu, H., Hayes, M. J., Weiss, A. and Hu, Q.**, 2001. An evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China-Z Index and the statistical Z-Score. *International Journal of Climatology*, 21: pp 745-758.
- Yevjevich, V.**, 1967. An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. *Hydrology Paper*, No:23, Colorado State University, Fort Collins, CO.
- Yevjevich, V.**, 1970. Application of Run Lengths to Hydrologic Series, *Hydrology Paper*, No. 40, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Yevjevich, V.**, 1976. Area-Deficit-Intensity Characteristics of Droughts, *Hydrology Papers*, No:87, Colorado State University, November.
- Yevjevich, V.**, 1975. Analytical Investigation of Droughts of Stationary Time Series Using Negative Runs. *Hydrology Paper*, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

EKLER

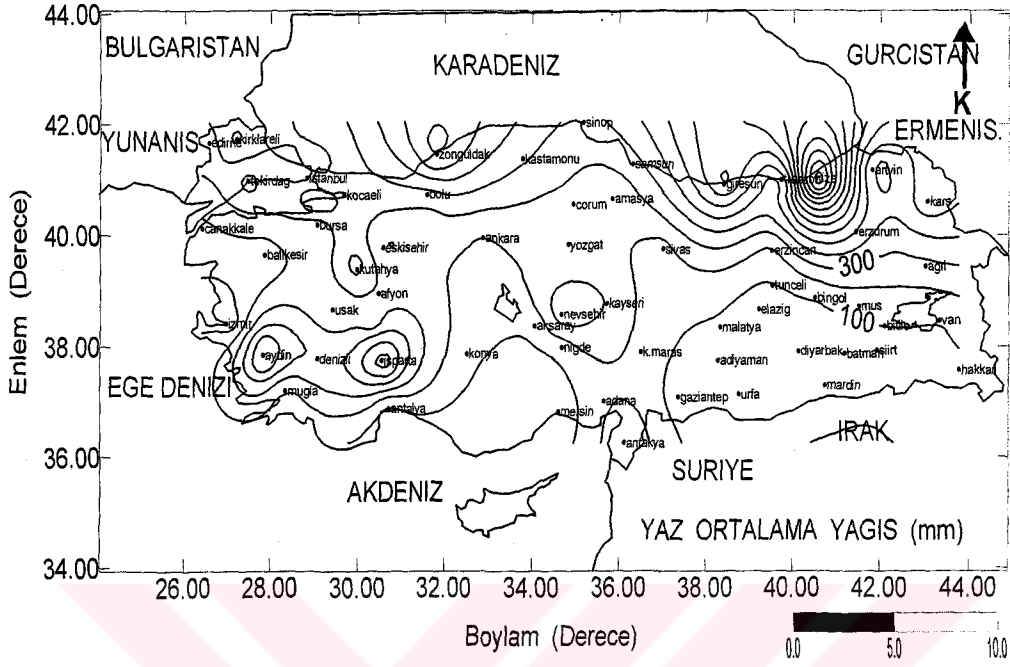
EK A: YAĞIŞIN İSTATİSTİKSEL DEĞERLERİNİN MEVSİMSEL - ALANSAL DAĞILIMI



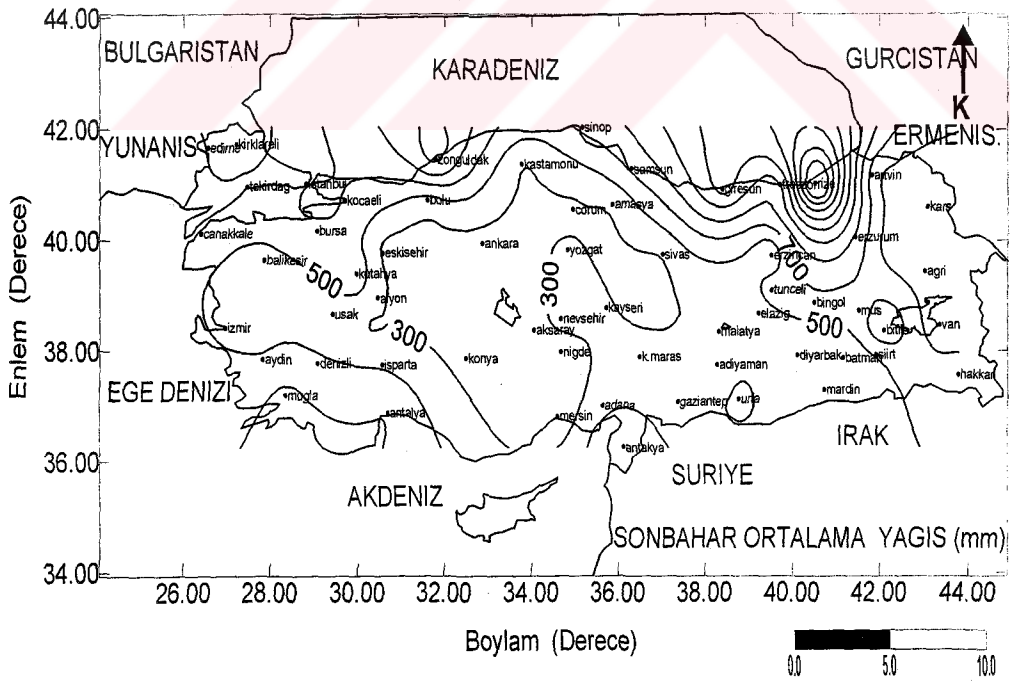
Şekil A.1a Kış mevsimi ortalama yağış (mm) dağılımı.



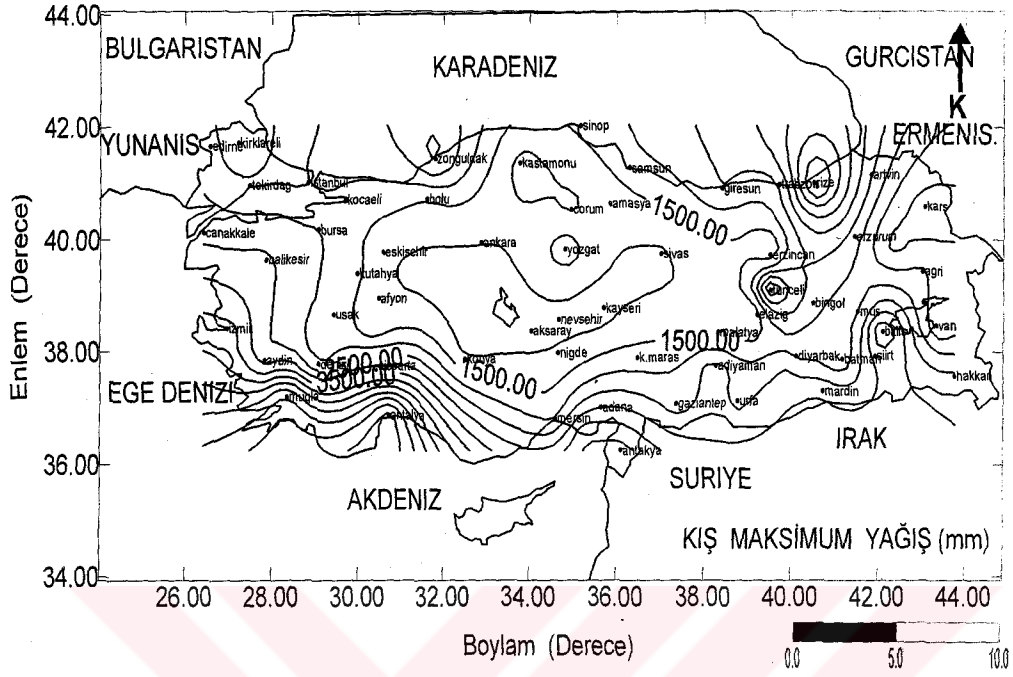
Şekil A.1b İlkbahar mevsimi ortalama yağış (mm) dağılımı.



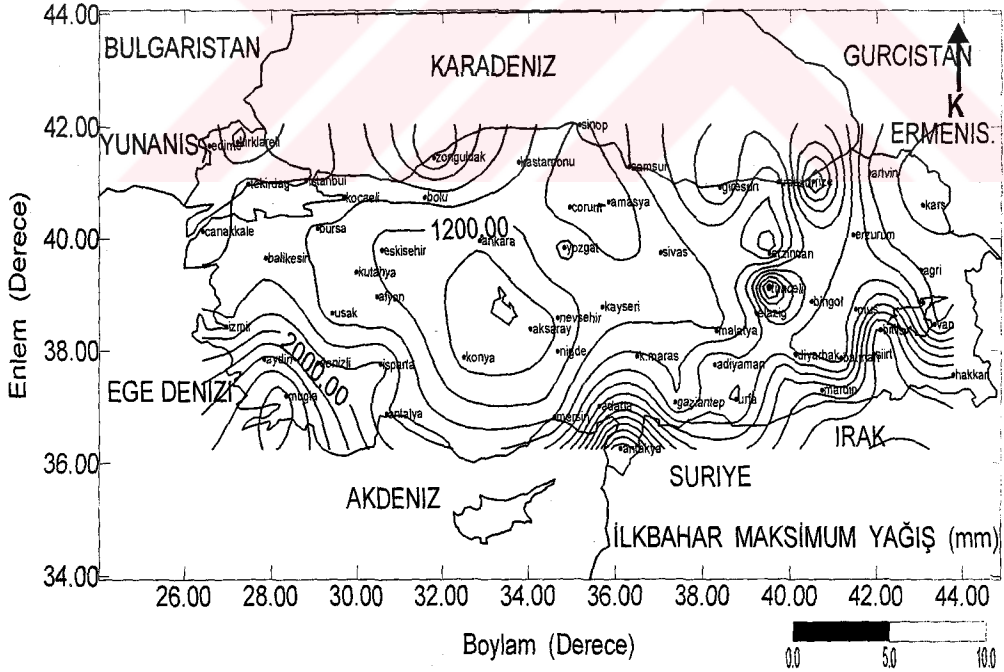
Şekil A.1c Yaz mevsimi ortalama yağış (mm).



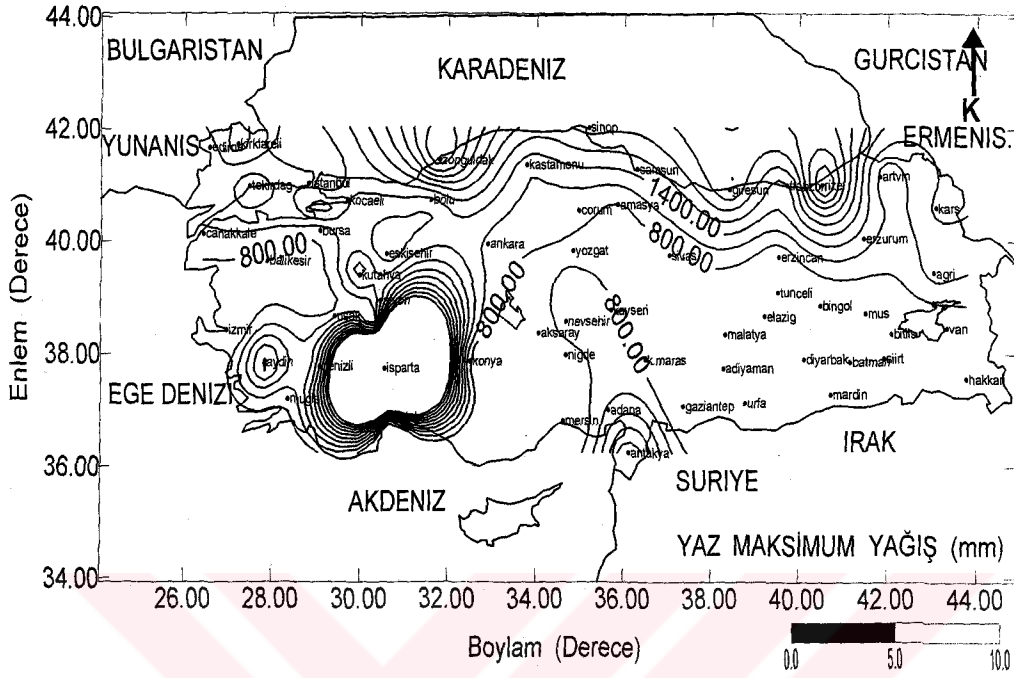
Şekil A.1d Sonbahar mevsimi ortalama yağış (mm).



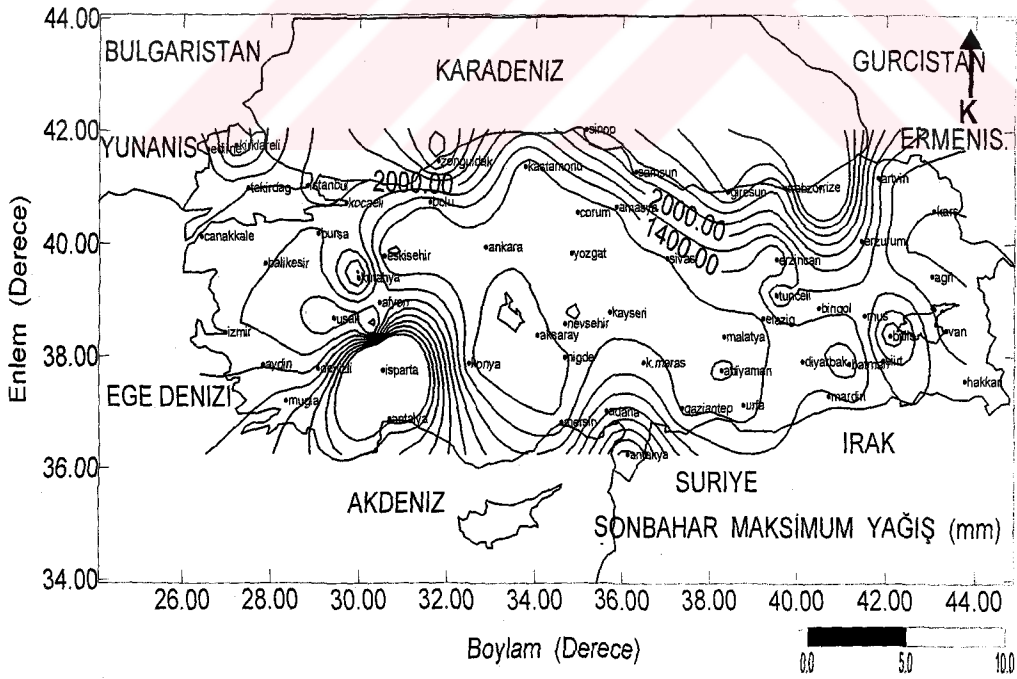
Şekil A.2a Kış mevsimi maksimum yağış (mm) dağılımı.



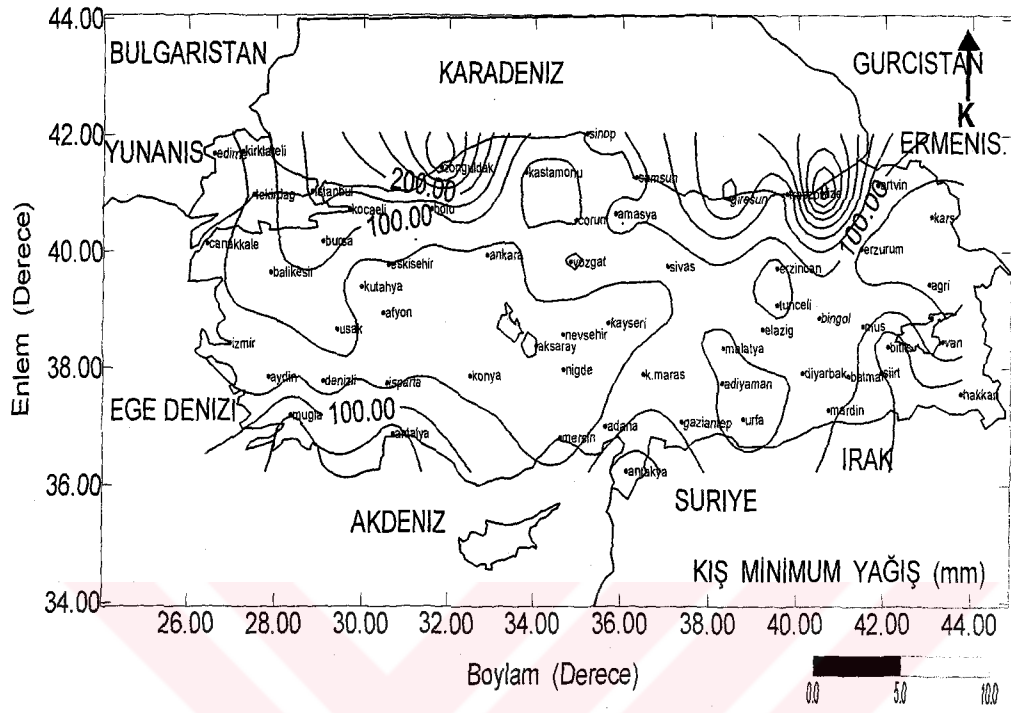
Şekil A.2b İlkbahar mevsimi maksimum yağış (mm) dağılımı.



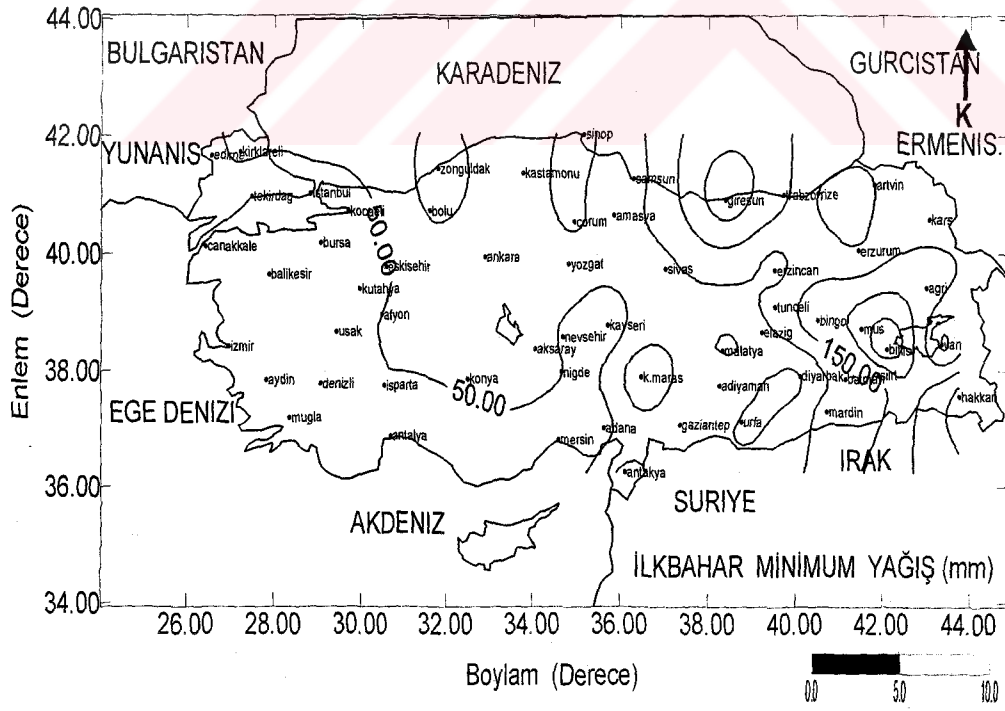
Şekil A.2c Yaz mevsimi maksimum yağış (mm) dağılımı.



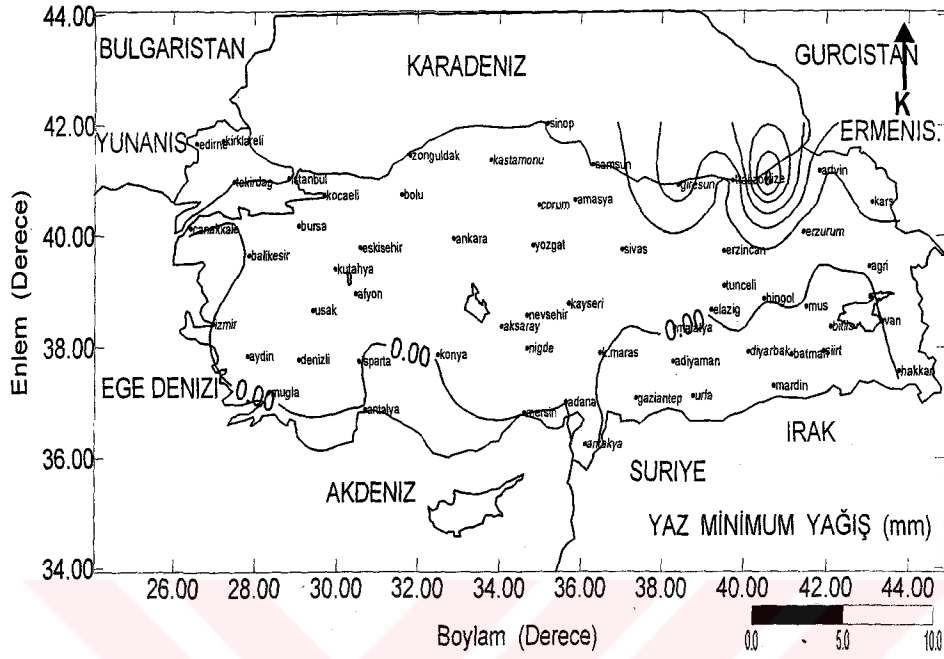
Şekil A.2d Sonbahar mevsimi maksimum yağış (mm) dağılımı.



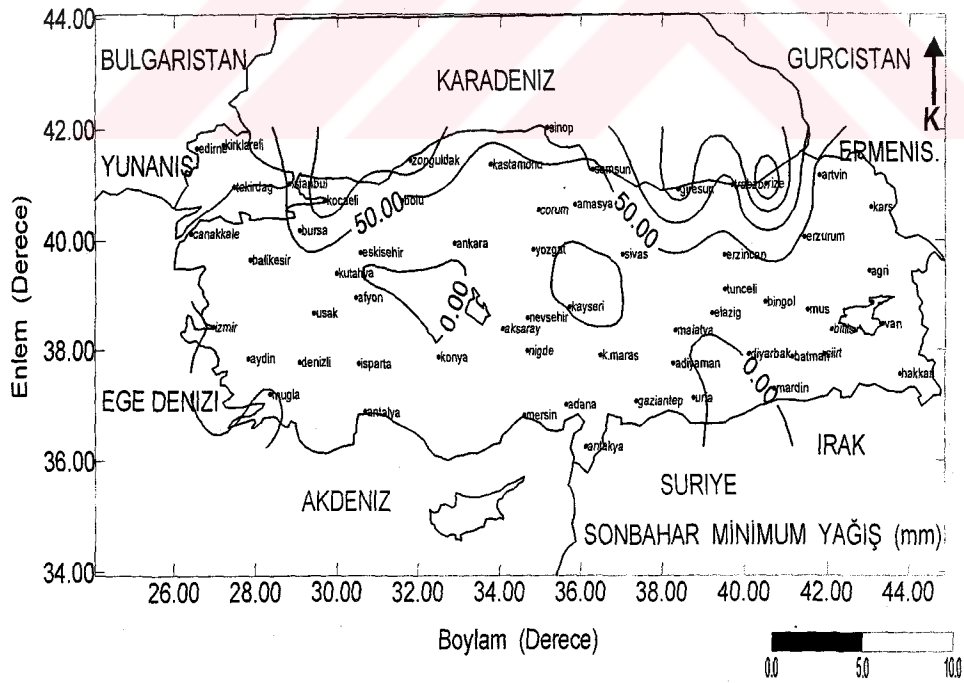
Şekil A. 3a Kış mevsimi minimum yağış (mm) dağılımı.



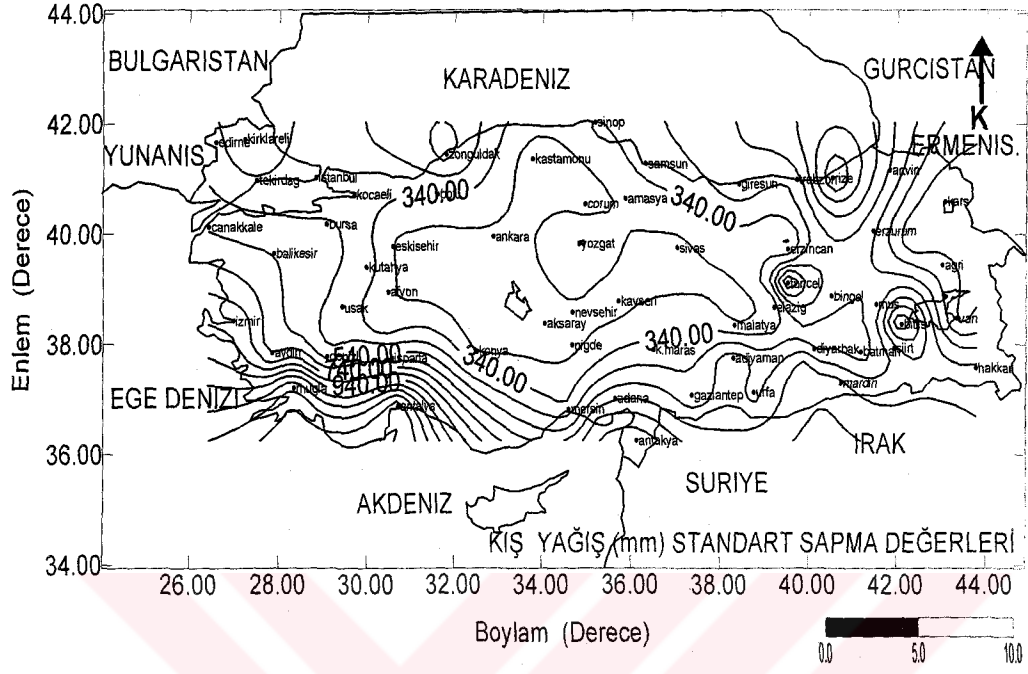
Şekil A. 3b İlkbahar mevsimi minimum yağış (mm) dağılımı.



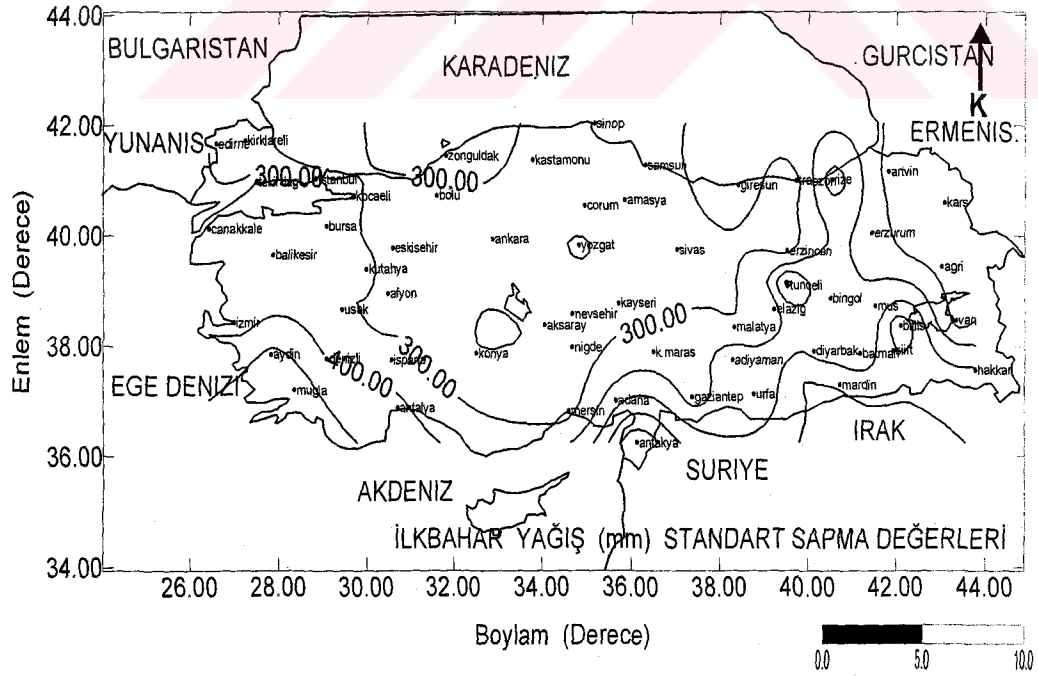
Şekil A.3c Yaz mevsimi minimum yağış (mm) dağılımı.



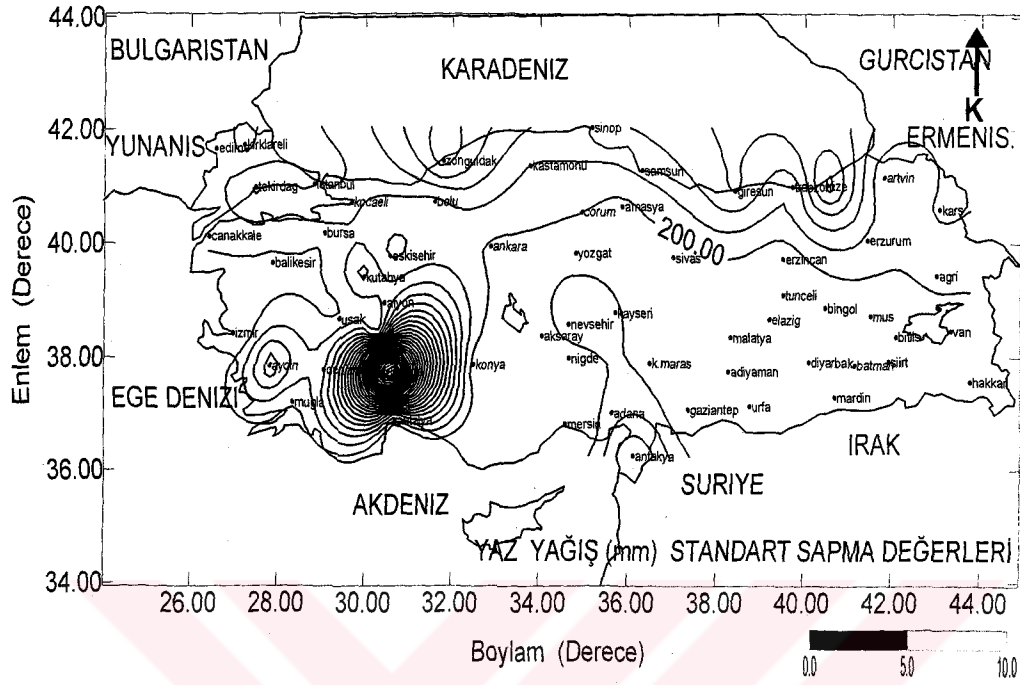
Şekil A.3d Sonbahar mevsimi minimum yağış (mm) dağılımı.



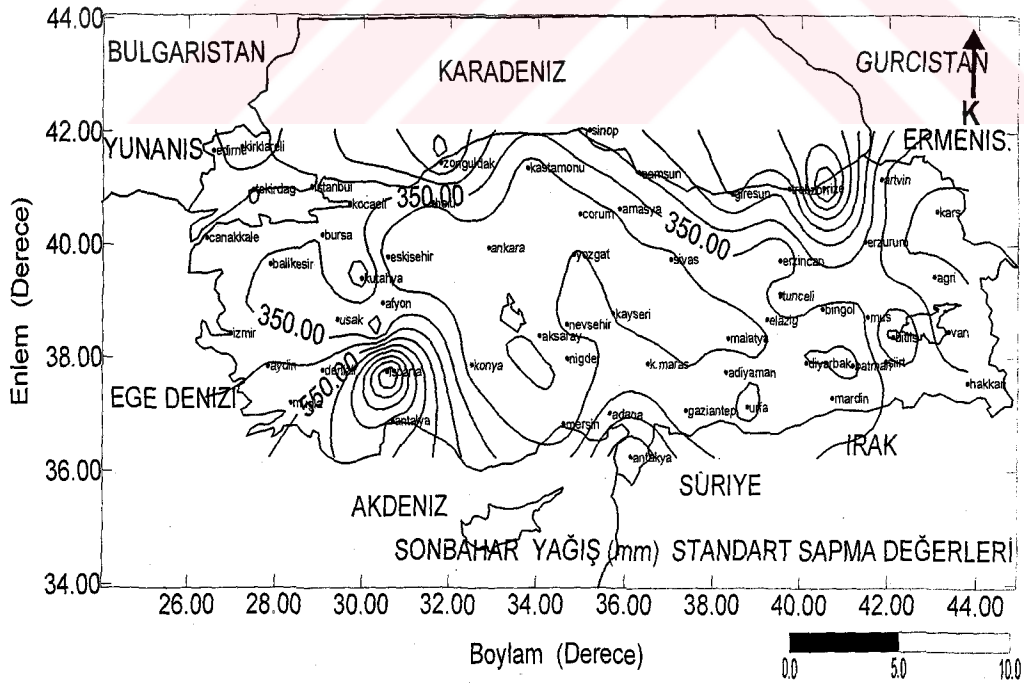
Şekil A. 4a Kış mevsimi yağış (mm) standart sapma değerleri dağılımı.



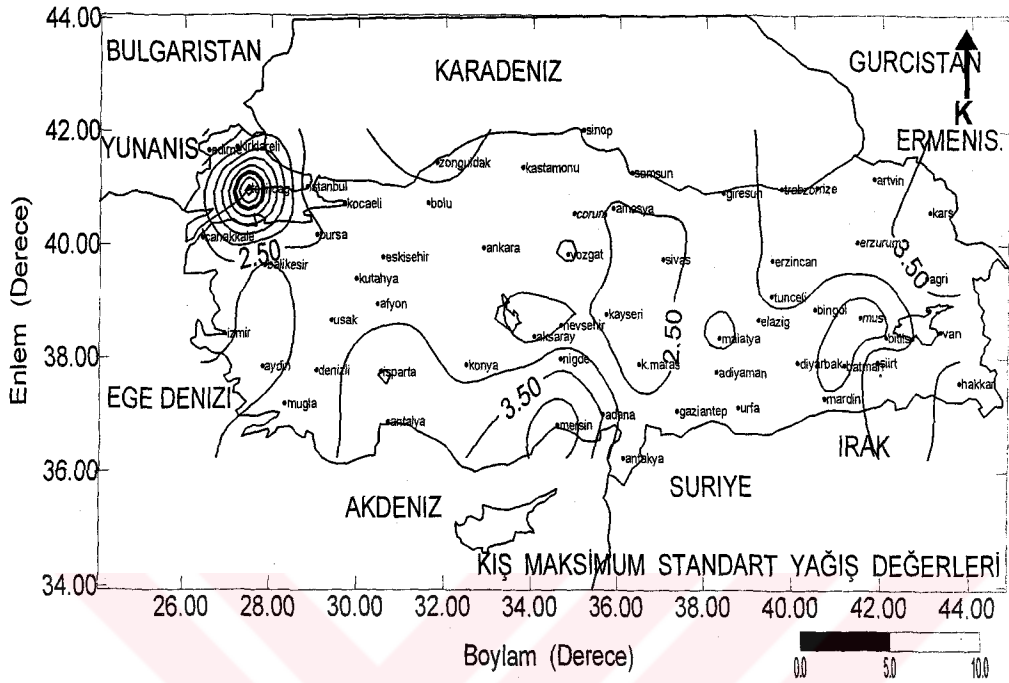
Şekil A. 4b İlkbahar mevsimi yağış (mm) standart sapma değerleri dağılımı.



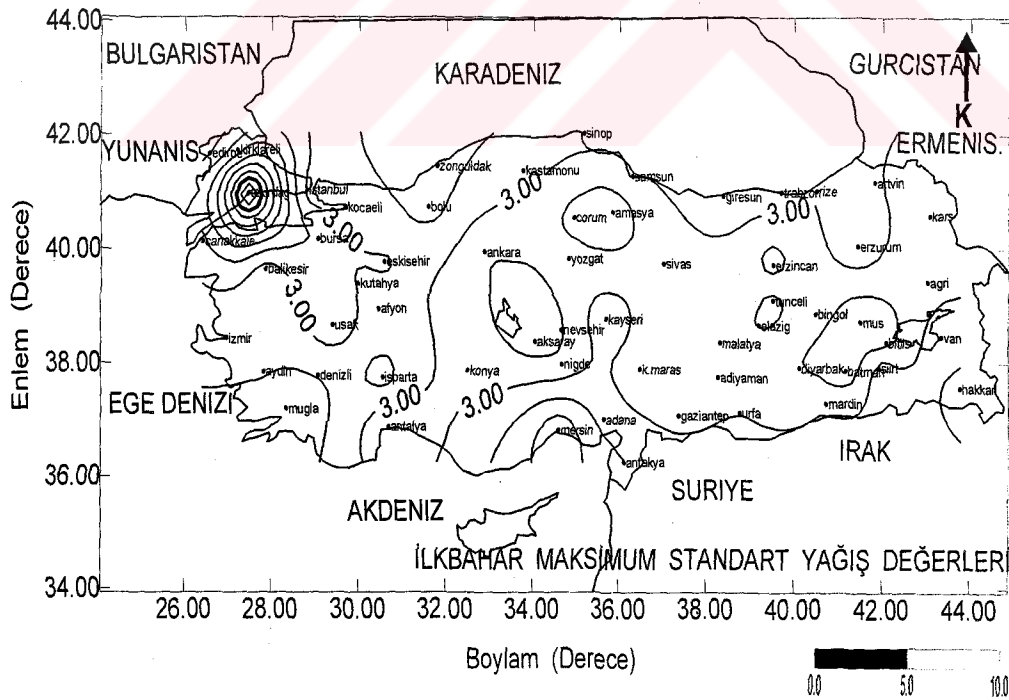
Şekil A. 4c Yaz mevsimi yağış (mm) standart sapma değerleri dağılımı.



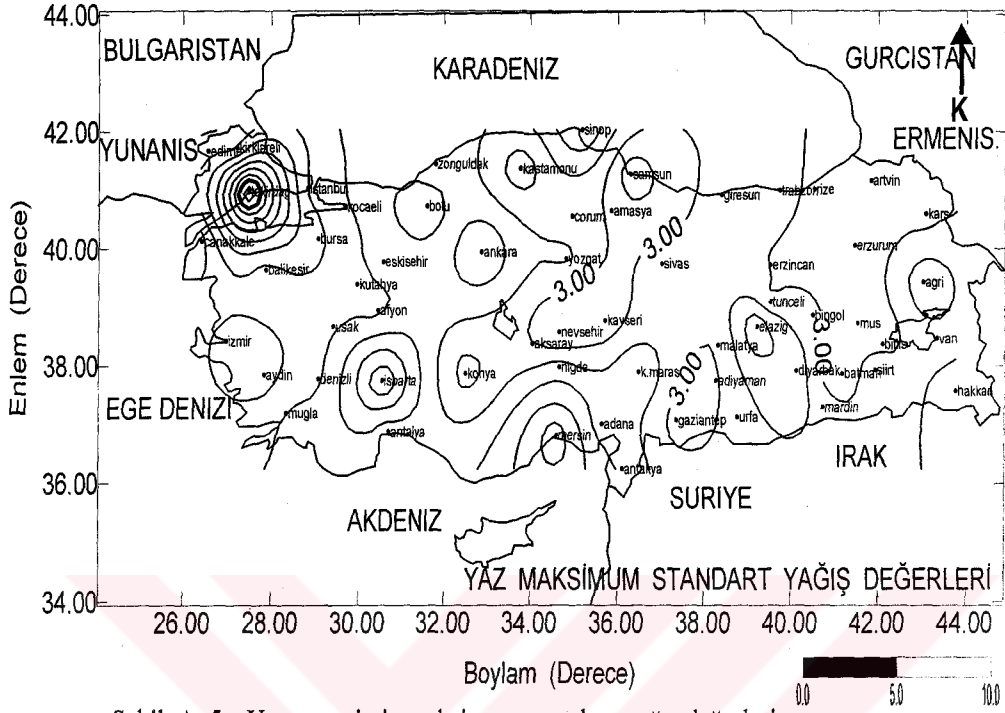
Şekil A. 4d Sonbahar mevsimi yağış (mm) standart sapma değerleri dağılımı.



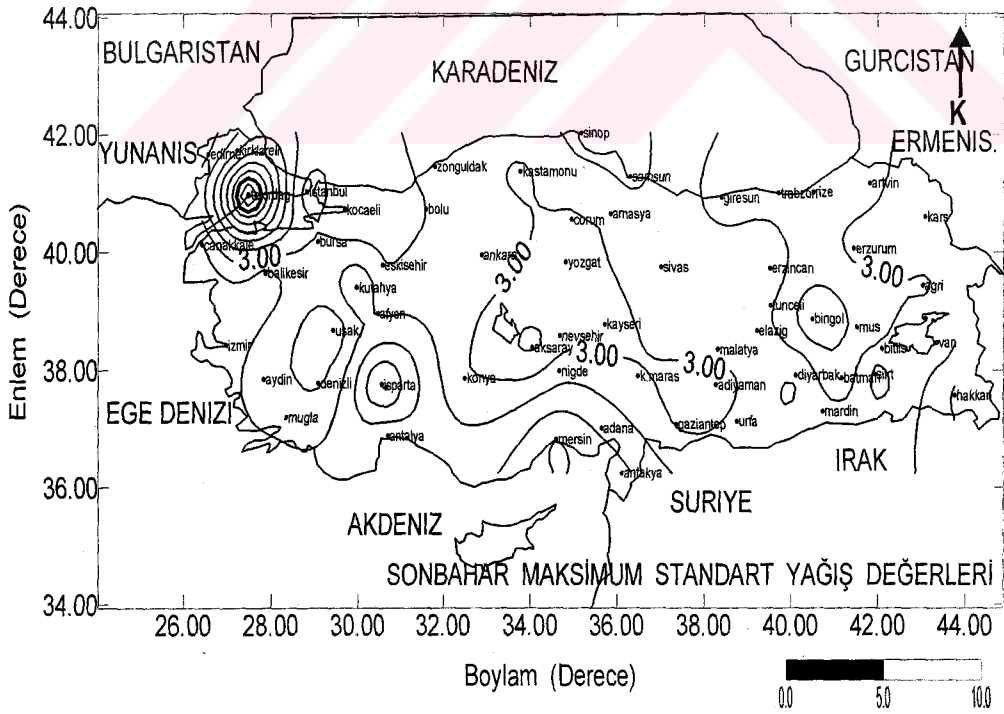
Şekil A. 5a Kış mevsimi maksimum standart yağış değerleri.



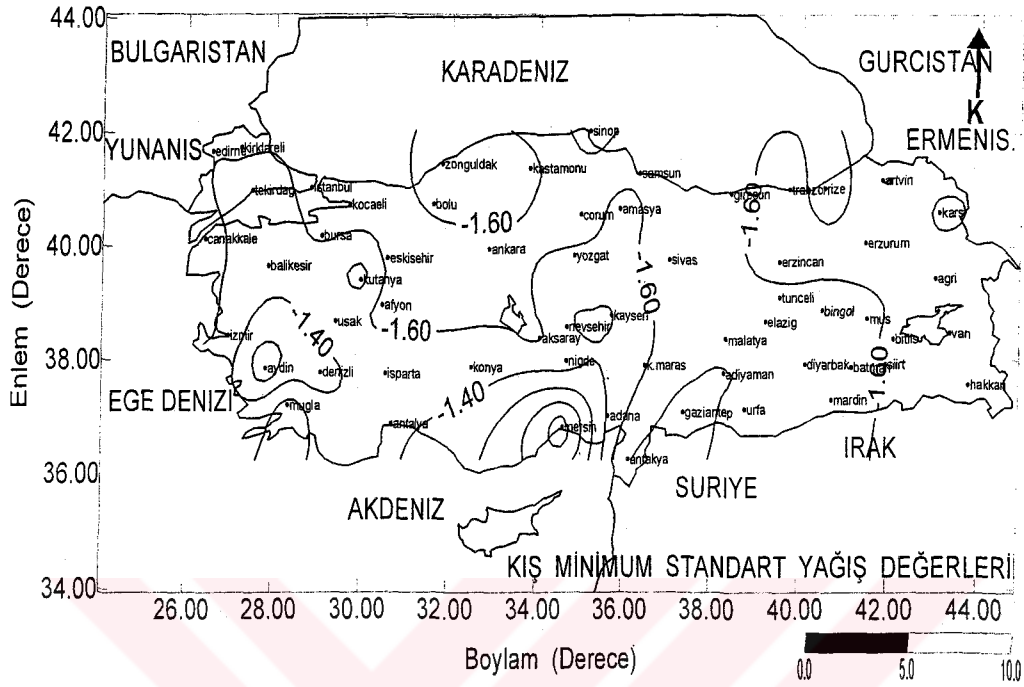
Şekil A. 5b İlkbahar mevsimi maksimum standart yağış değerleri.



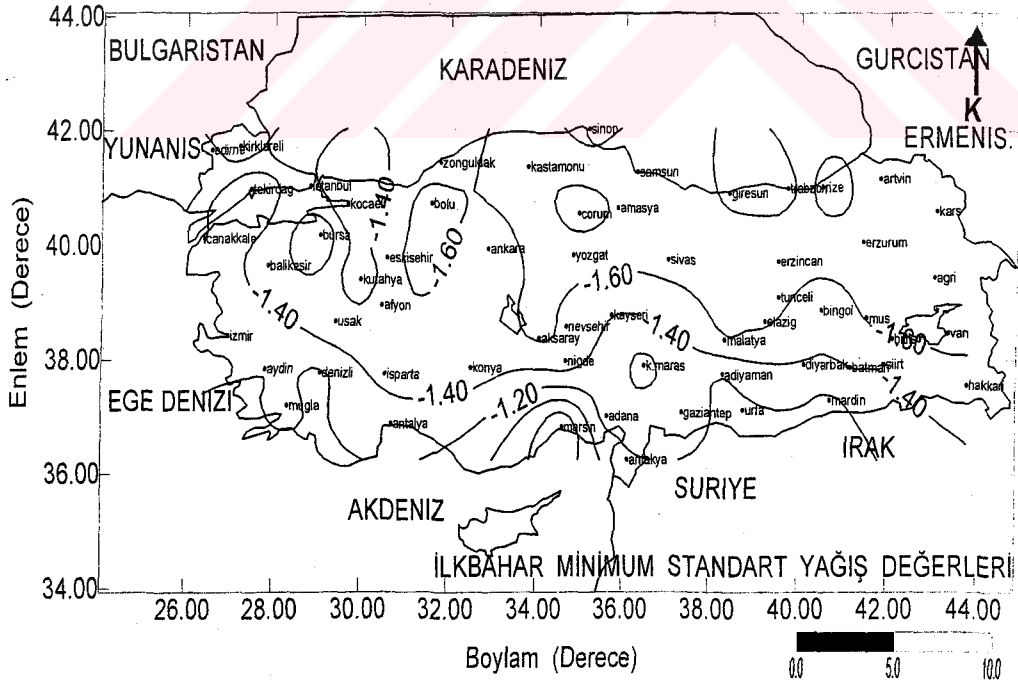
Şekil A. 5c Yaz mevsimi maksimum standart yağış değerleri.



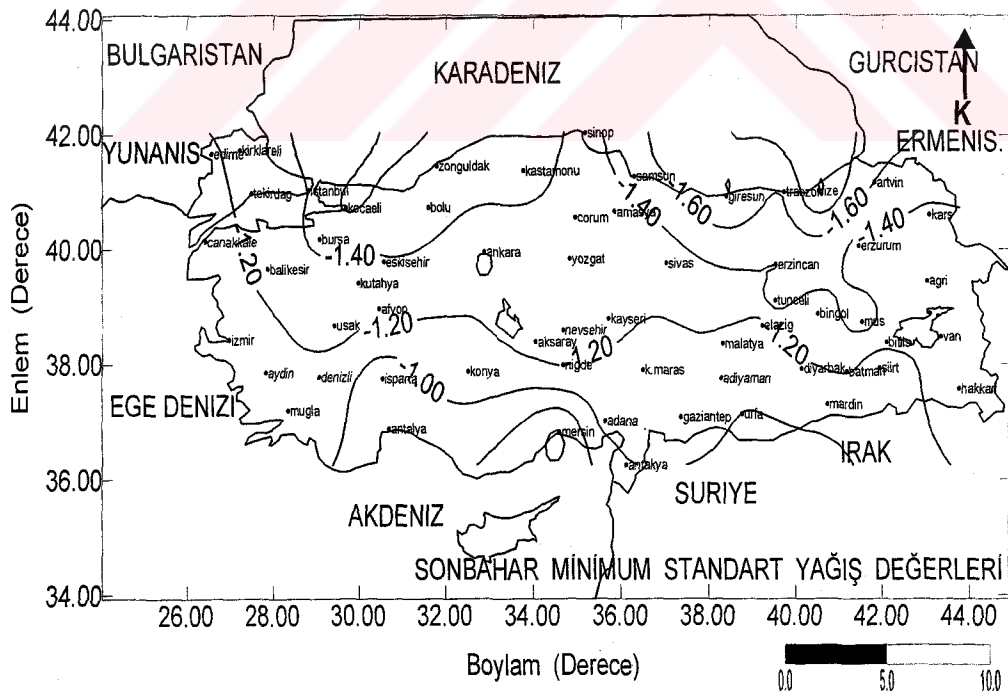
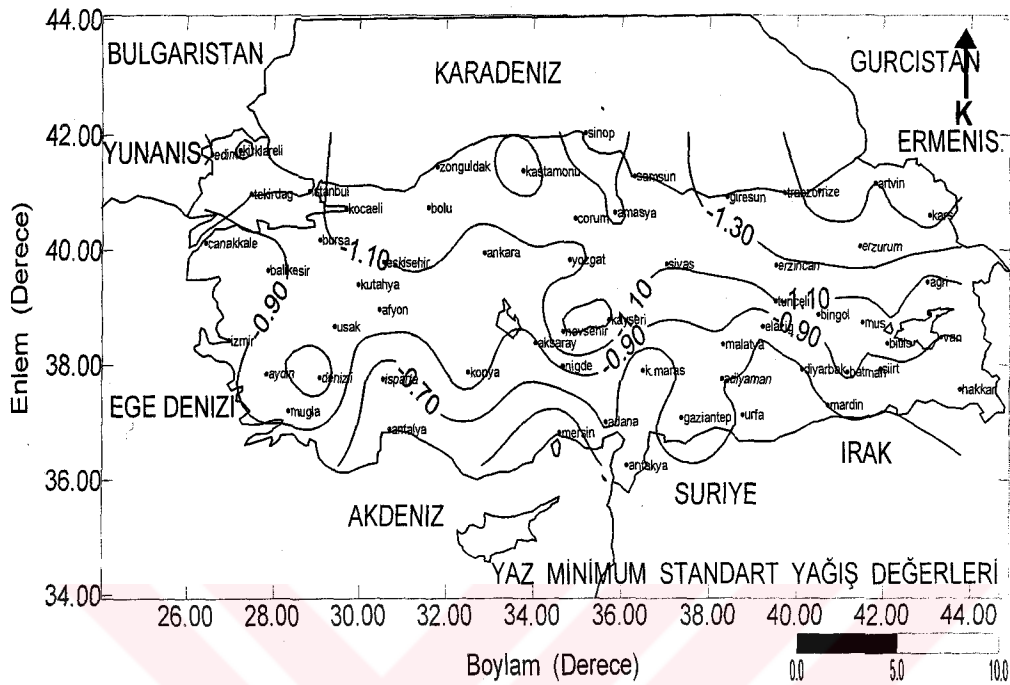
Şekil A. 5d Sonbahar mevsimi maksimum standart yağış değerleri.

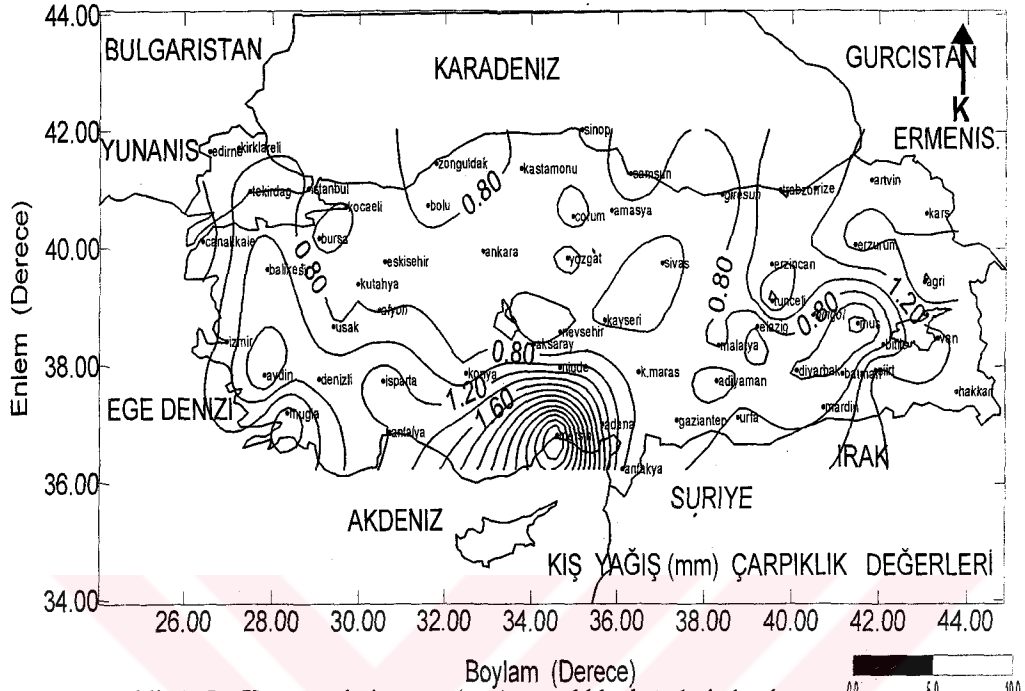


Şekil A.6a Kış mevsimi minimum standart yağış değerleri.

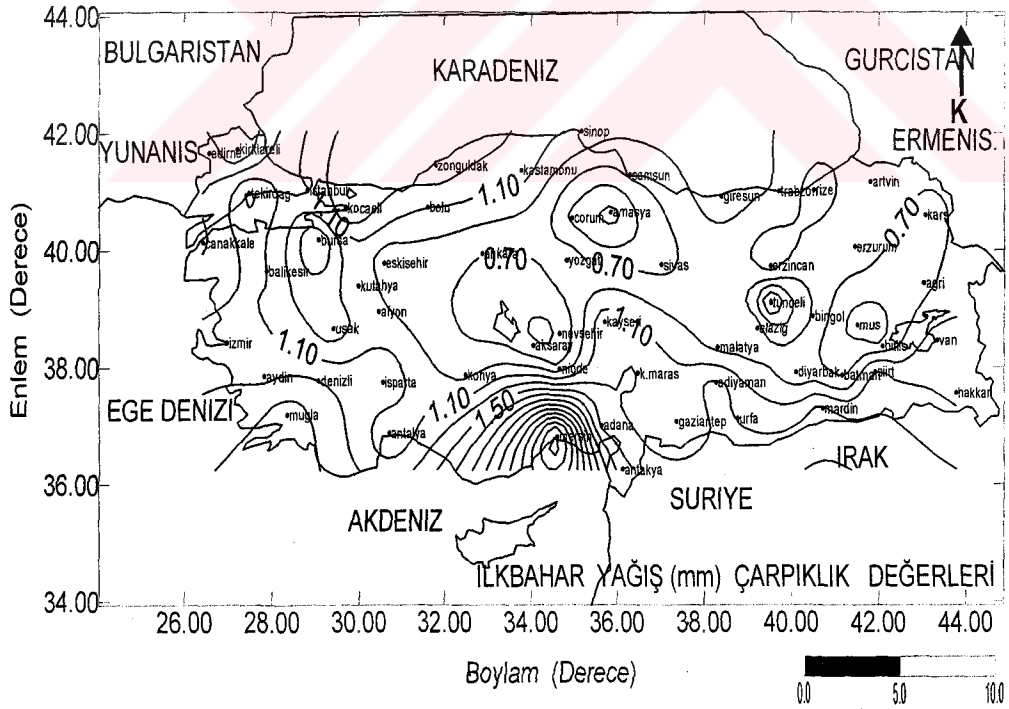


Şekil A.6b İlkbahar mevsimi minimum standart yağış değerleri.

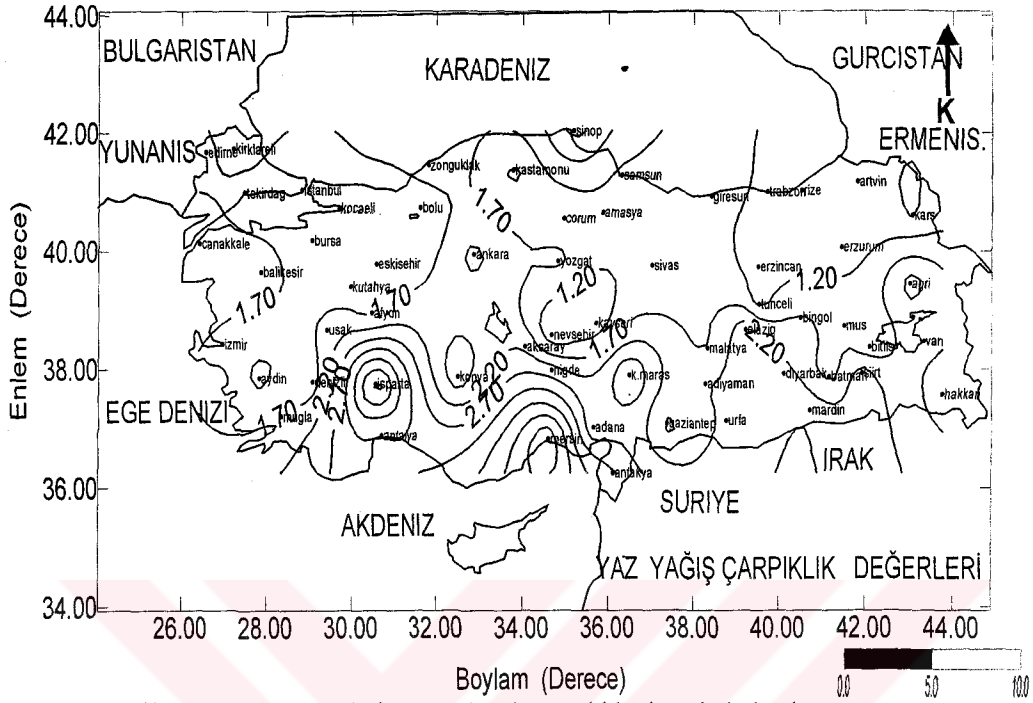




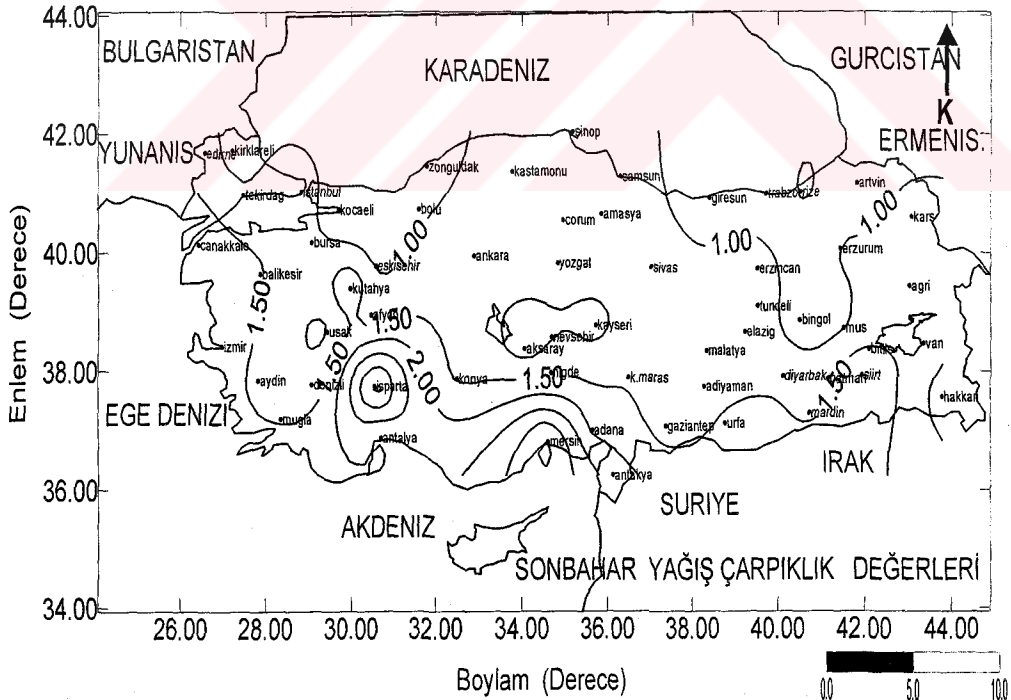
Şekil A. 7a Kış mevsimi yağış (mm) çarpıklık değerleri dağılımı.



Şekil A. 7b İlkbahar mevsimi yağış (mm) çarpıklık değerleri dağılımı.

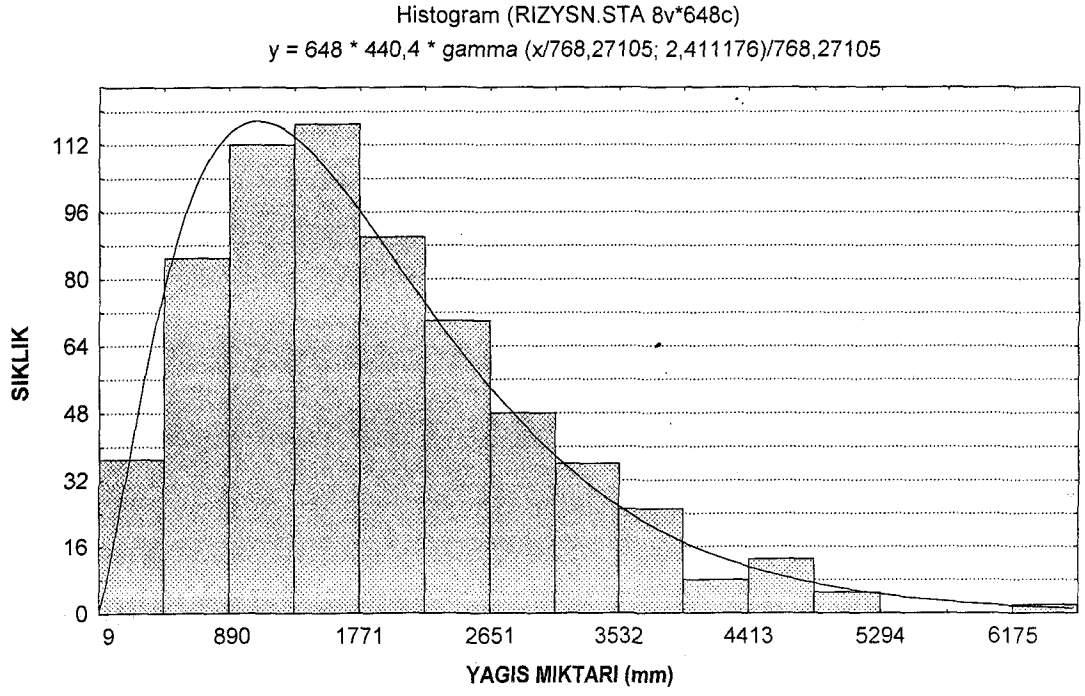


Şekil A.7c Yaz mevsimi yağış (mm) çarpıklık değerleri dağılımı.

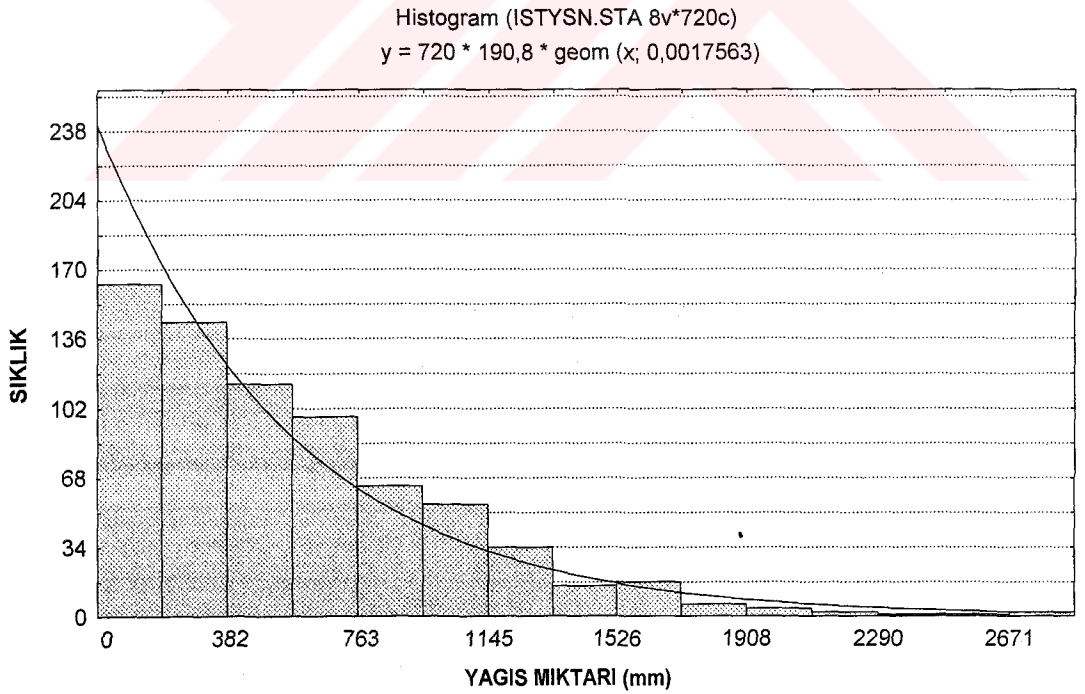


Şekil A.7d Sonbahar mevsimi yağış (mm) çarpıklık değerleri dağılımı.

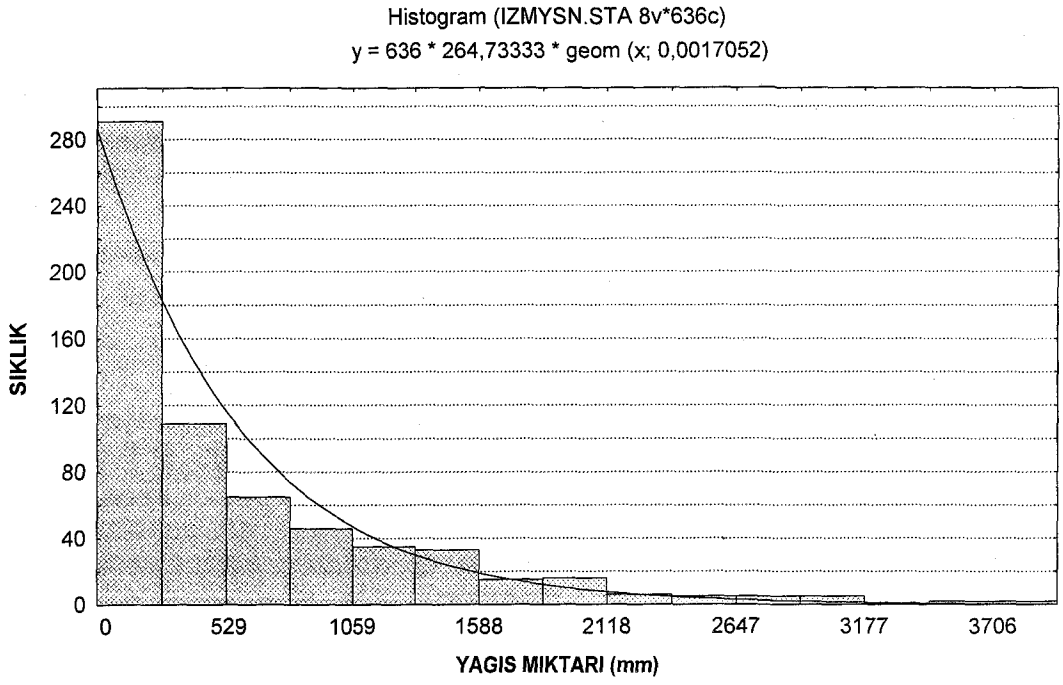
EK B: YAĞIŞ MİKTARININ HİSTOGRAMLARI



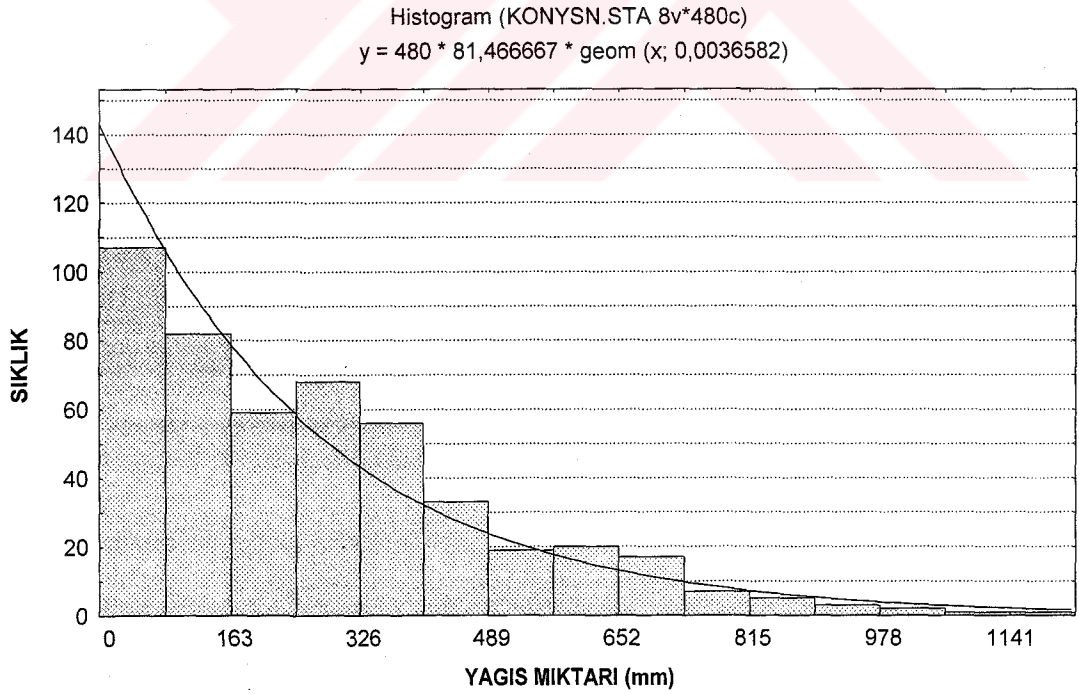
Şekil B.1 Rize yağış miktarı (mm) histogramı.



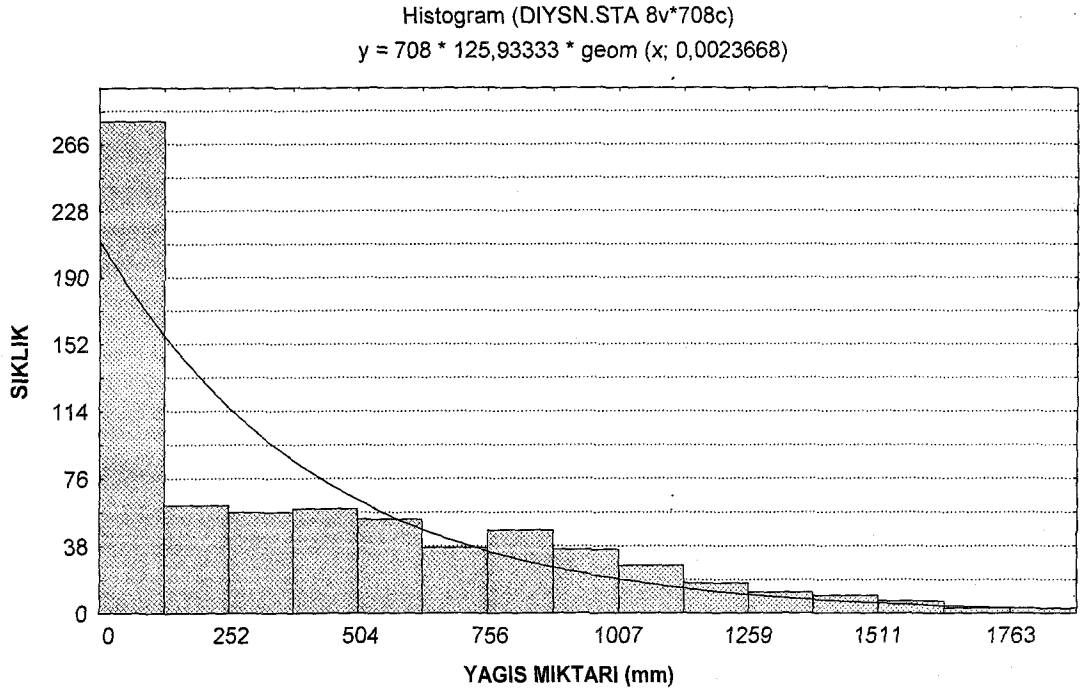
Şekil B.2 İstanbul yağış miktarı (mm) histogramı.



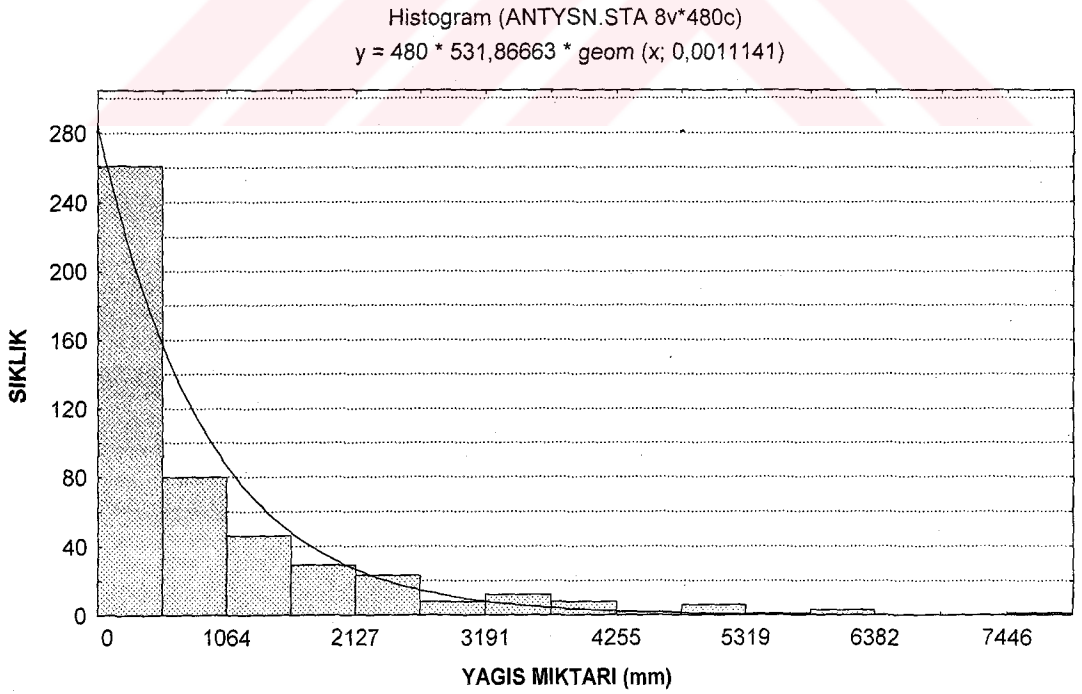
Şekil B.3 İzmir yağış miktarı (mm) histogramı.



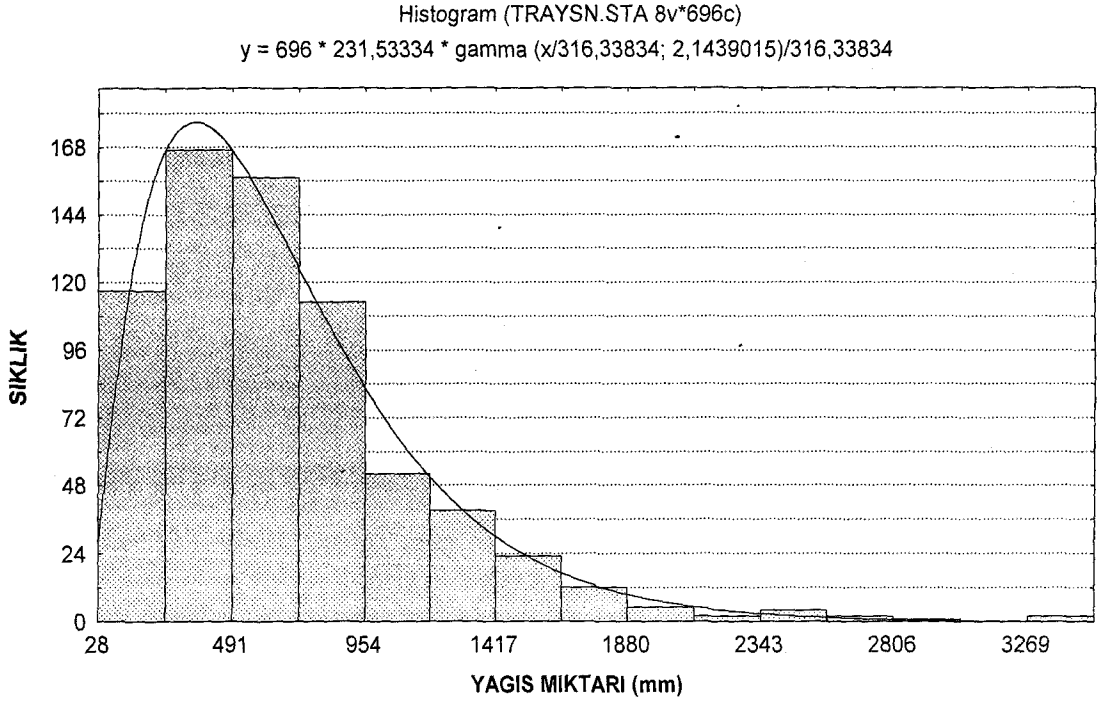
Şekil B.4 Konya yağış miktarı (mm) histogramı.



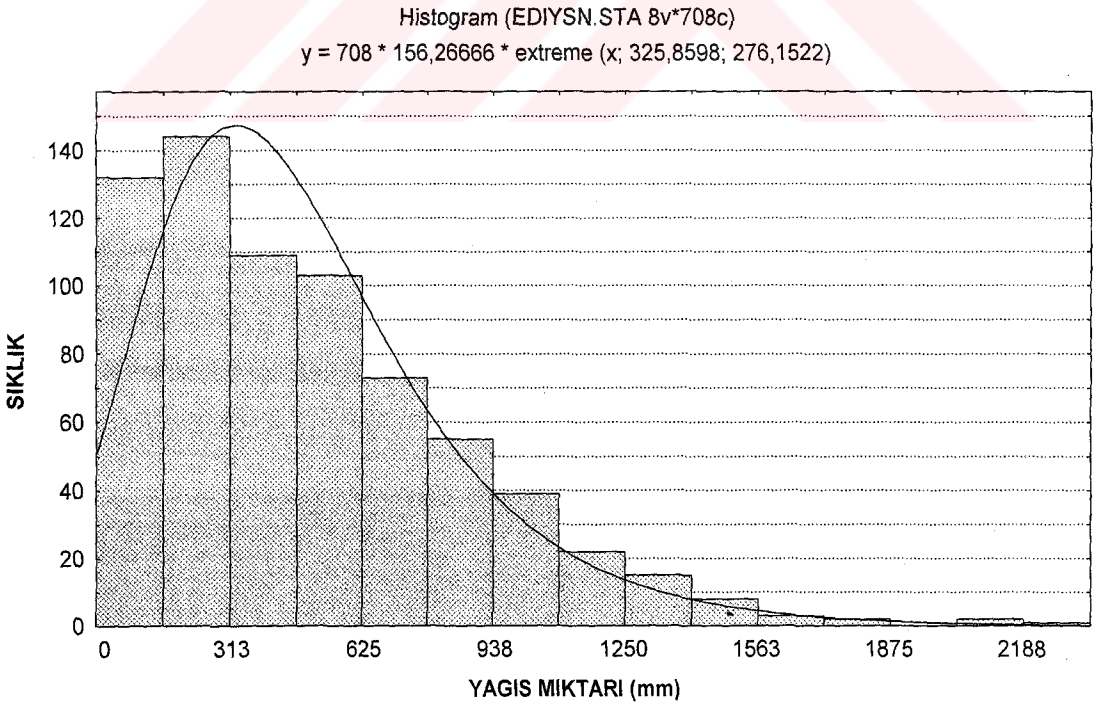
Şekil B.5 Diyarbakir yağış miktarı (mm) histogramı.



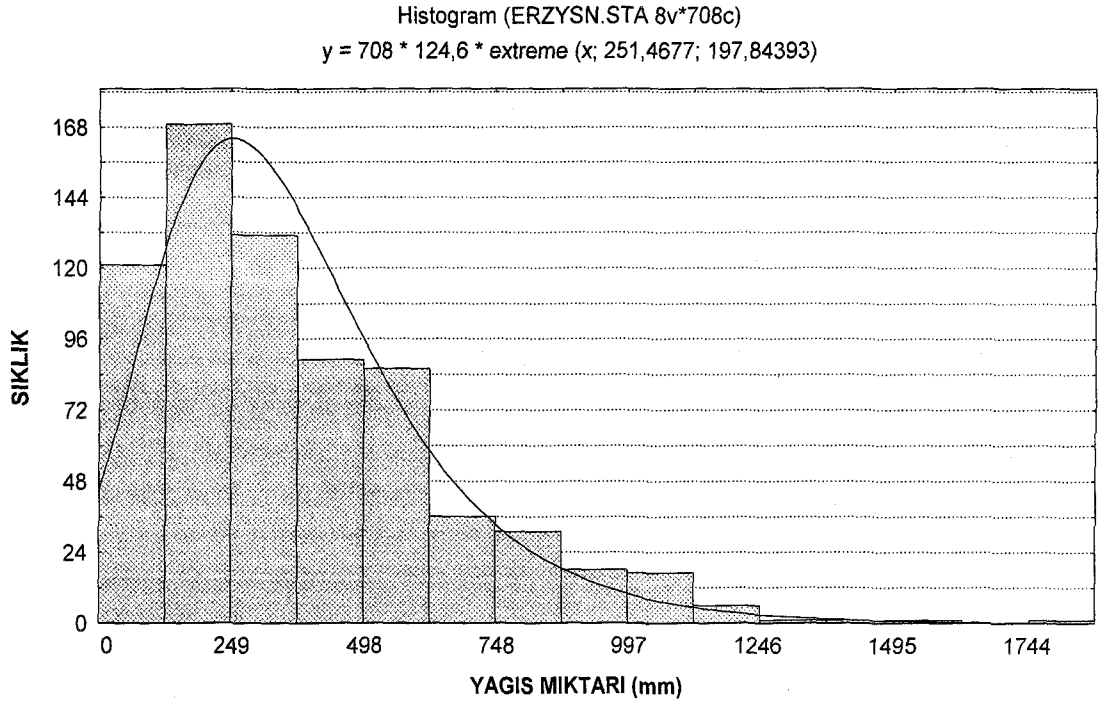
Şekil B.6 Antalya yağış miktarı (mm) histogramı.



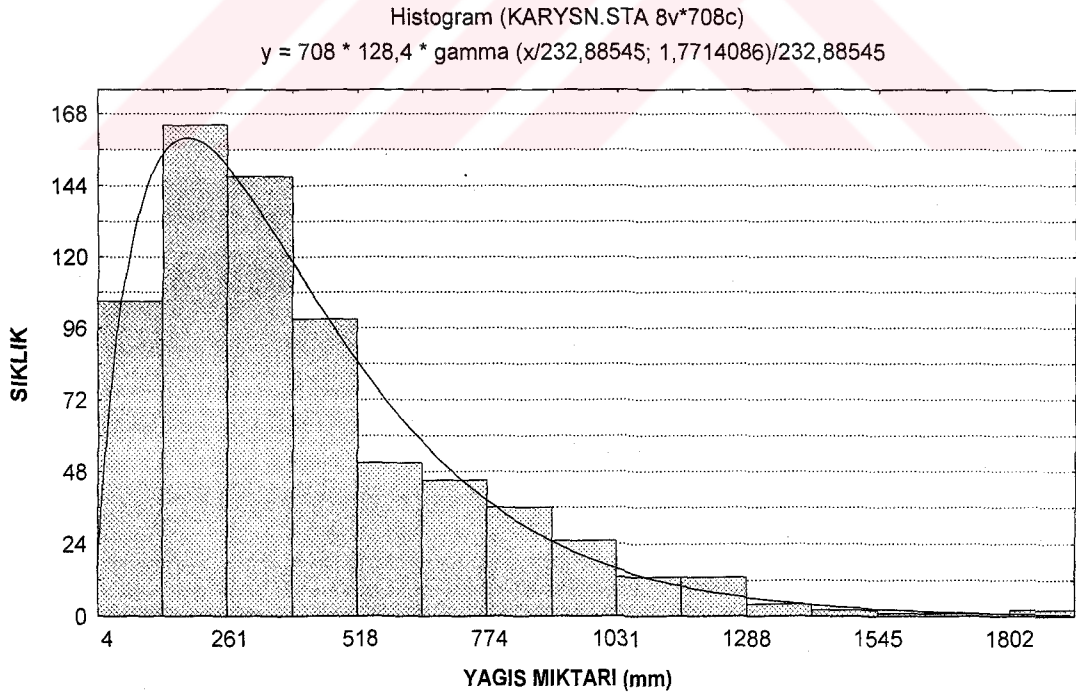
Şekil B.7 Trabzon yağış miktarı (mm) histogramı.



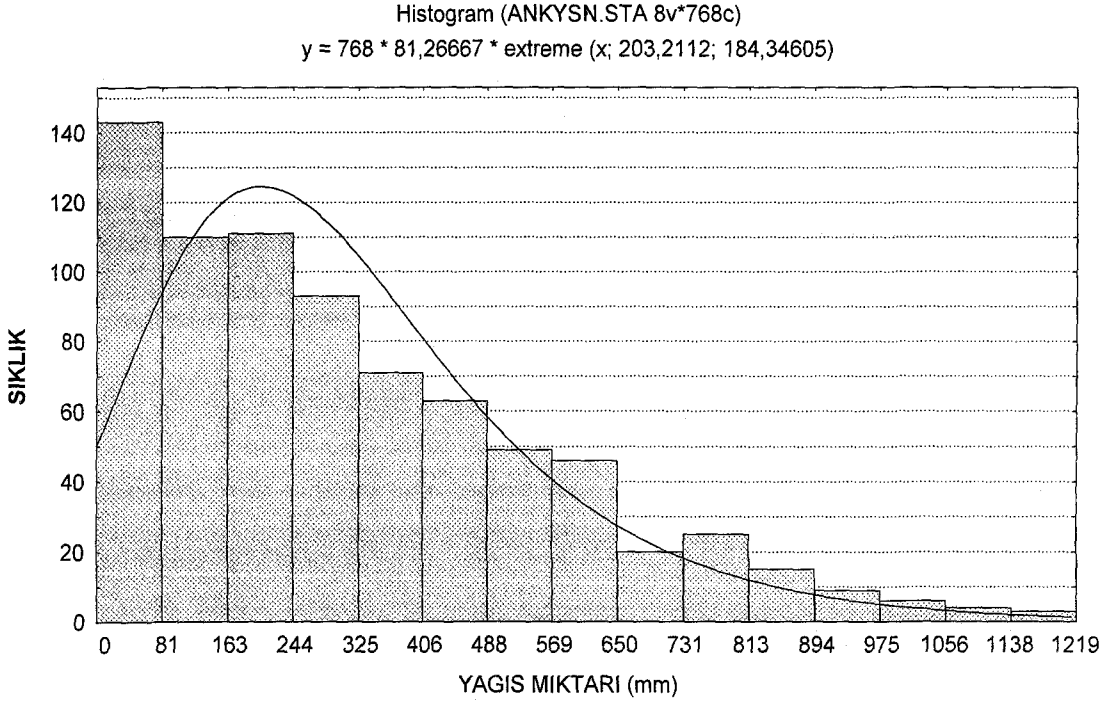
Şekil B.8 Edirne yağış miktarı (mm) histogramı.



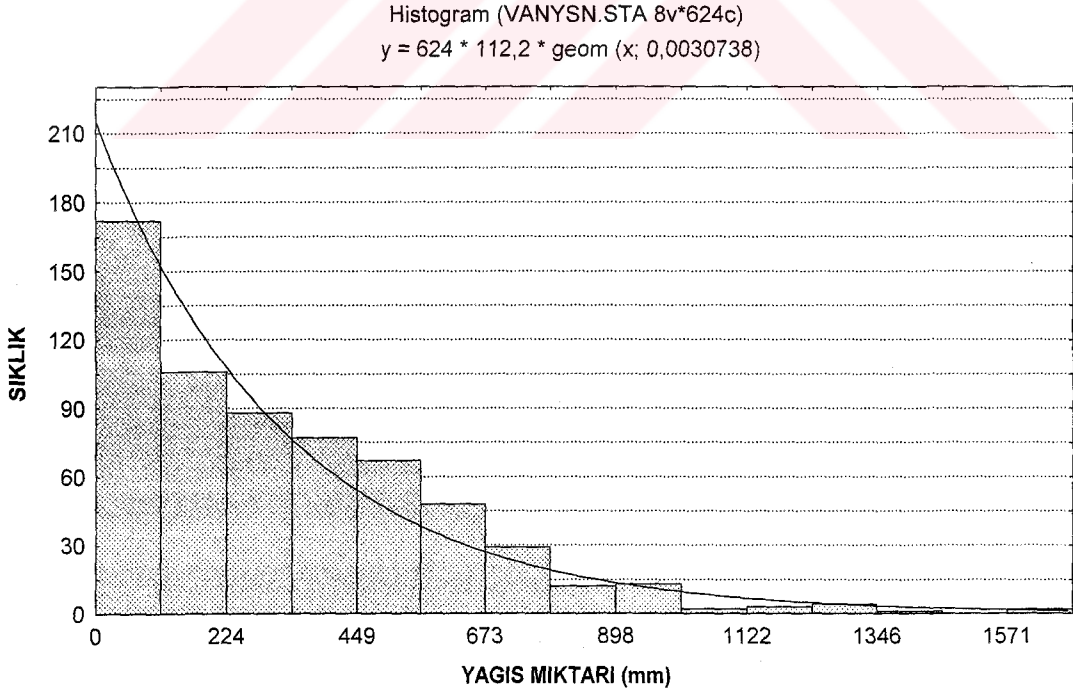
Şekil B.9 Erzurum yağış miktarı (mm) histogramı.



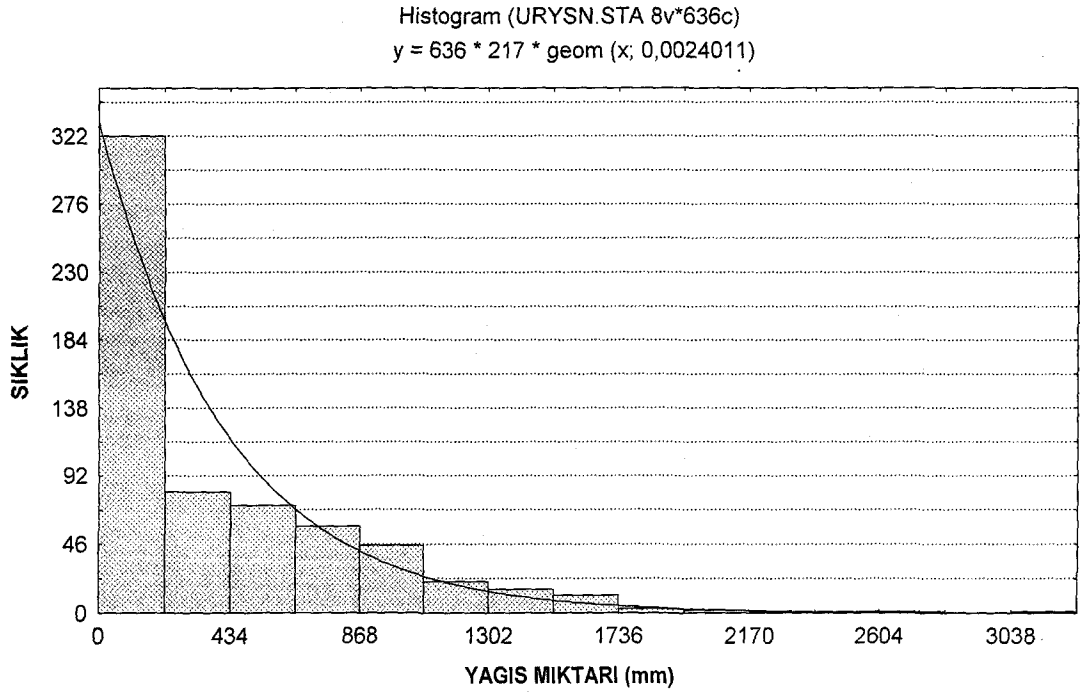
Şekil B.10 Kars yağış miktarı (mm) histogramı.



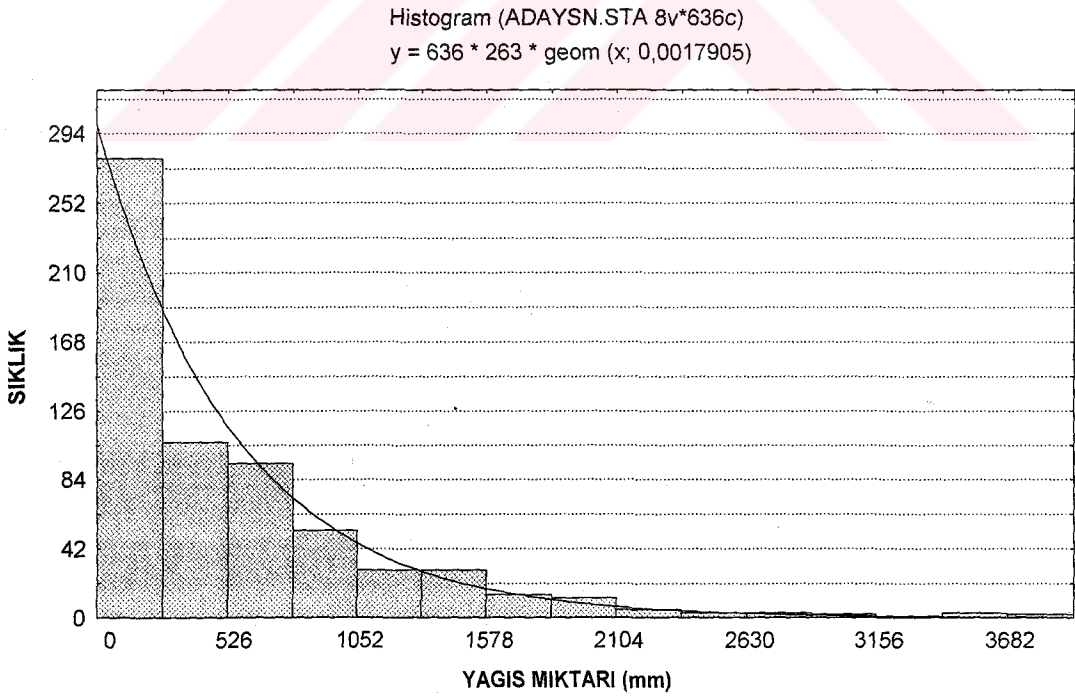
Şekil B.11 Ankara yağış miktarı (mm) histogramı.



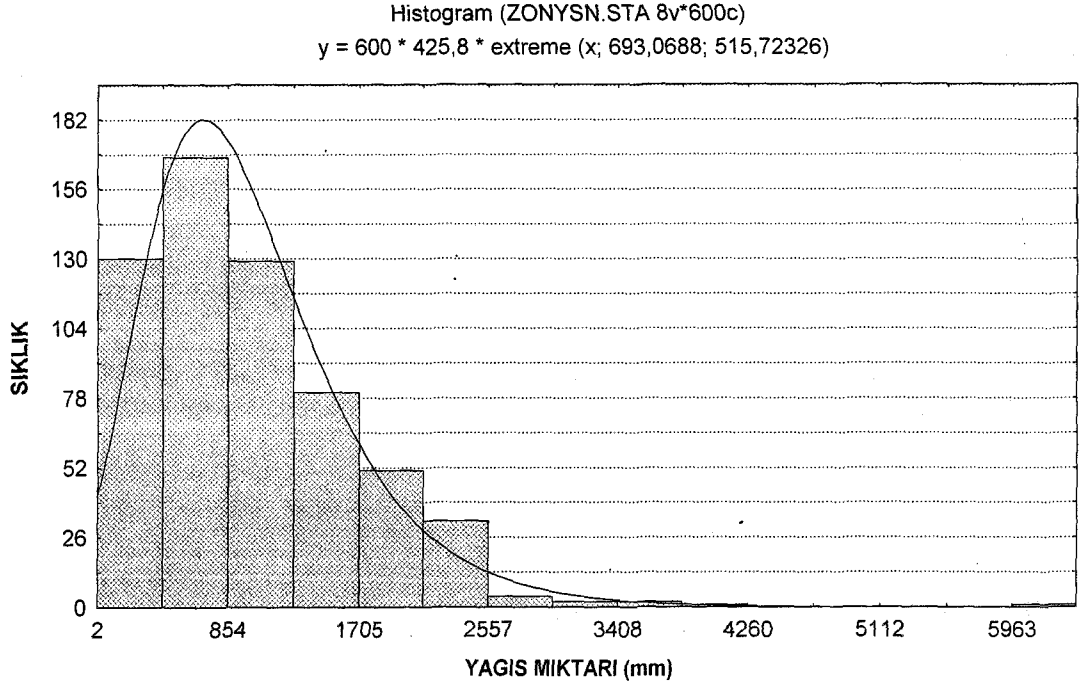
Şekil B.12 Van yağış miktarı (mm) histogramı.



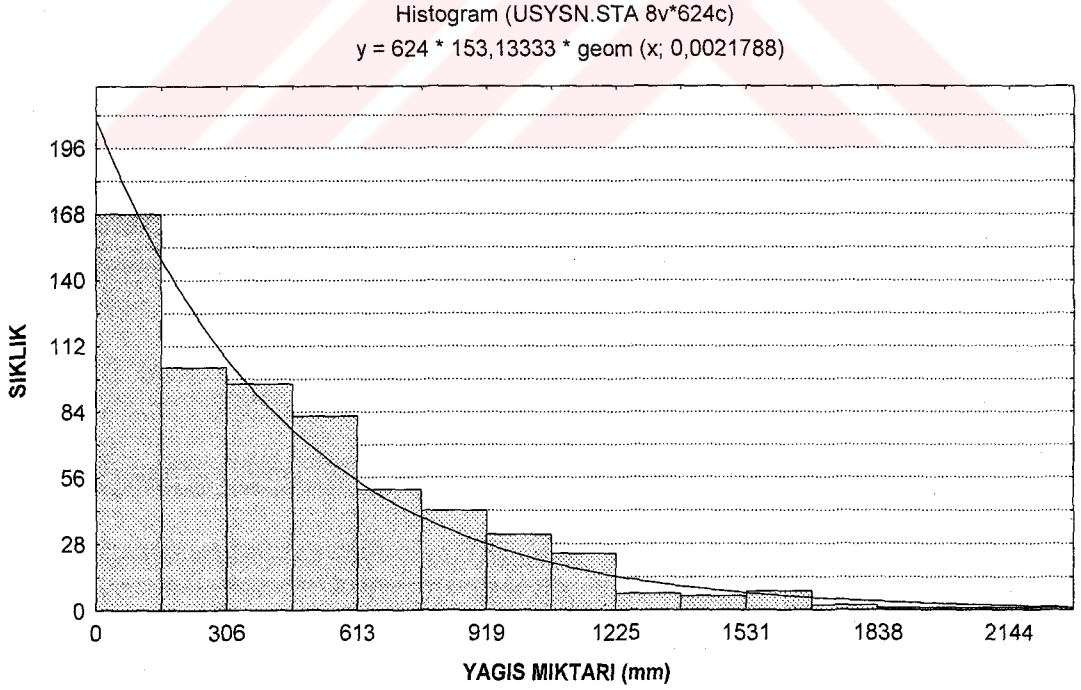
Şekil B.13 Urfa yağış miktarı (mm) histogramı.



Şekil B.14 Adana yağış miktarı (mm) histogramı.



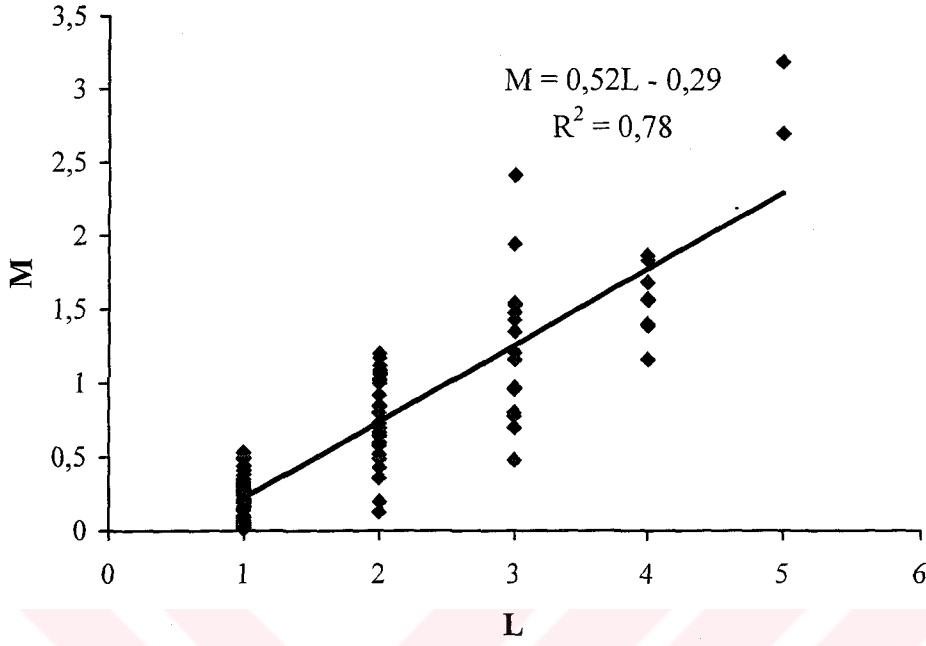
Şekil B.15 Zonguldak yağış miktarı (mm) histogramı.



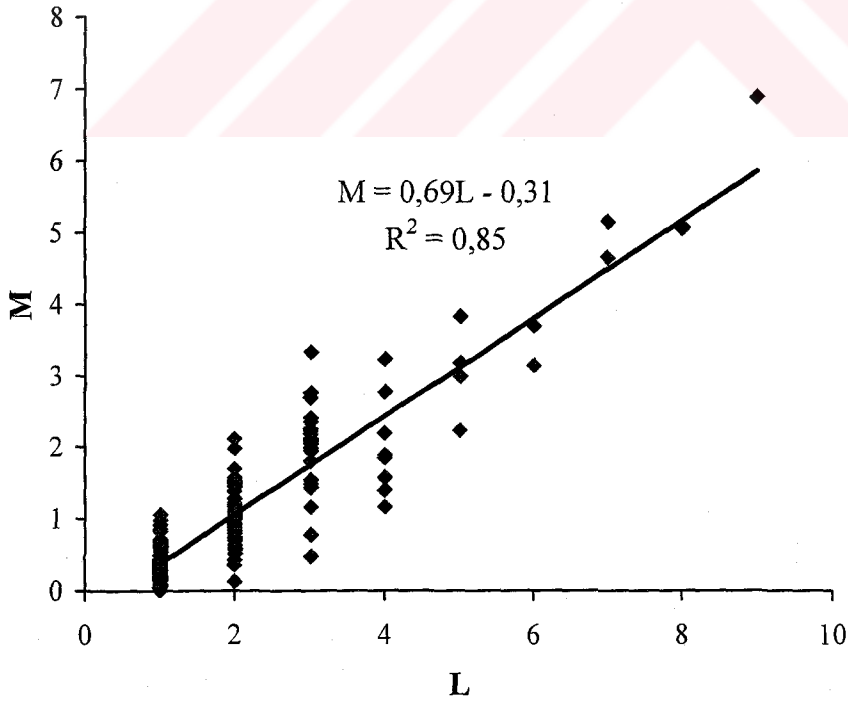
Şekil B.16 Uşak yağış miktarı (mm) histogramı.

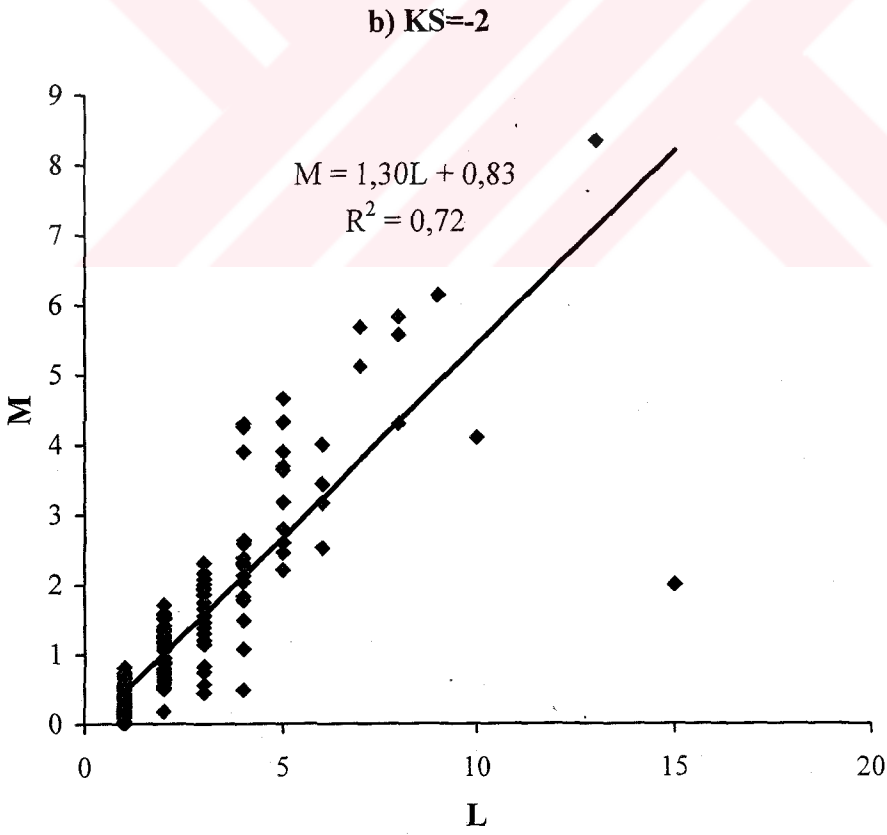
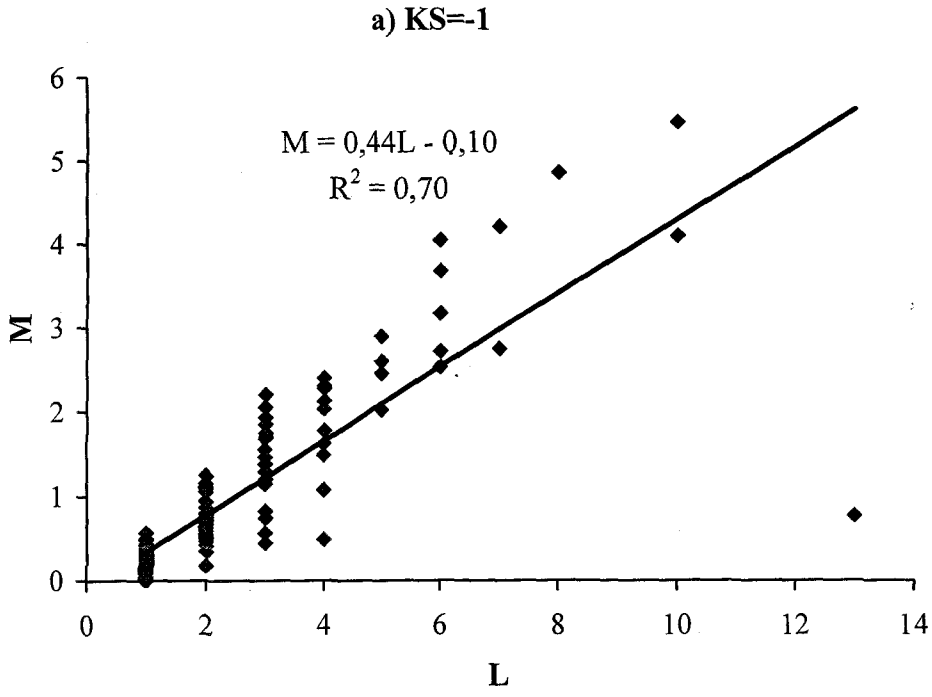
EK C: M VE L DEĞERLERİNİN ARALARINDAKİ DOĞRUSAL İLİŞKİLER

a) Kesim Seviyesi (KS)=-1



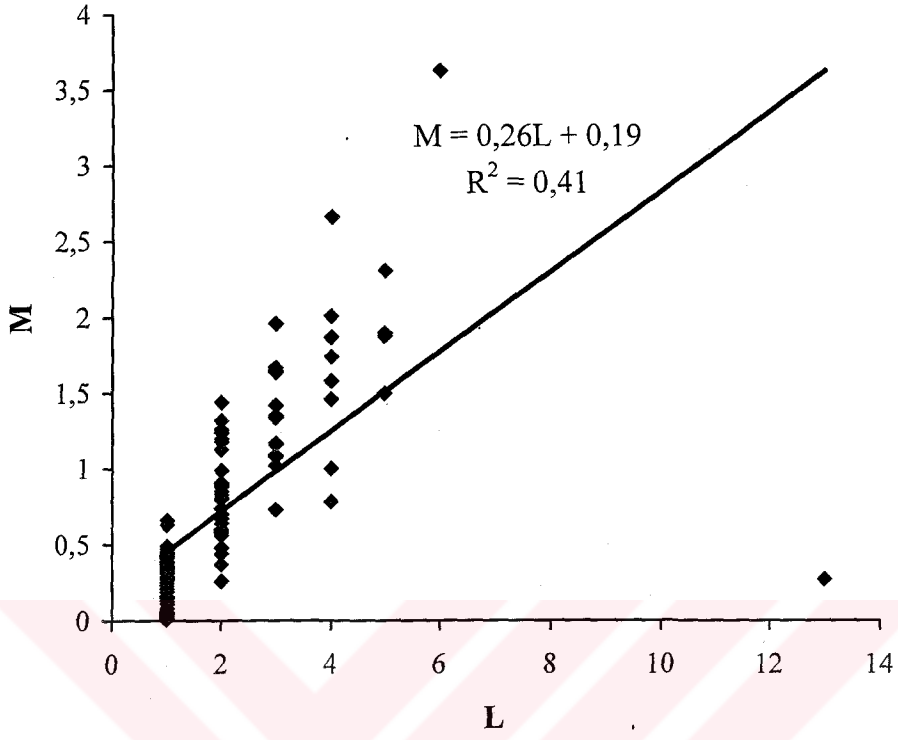
b) KS=-2



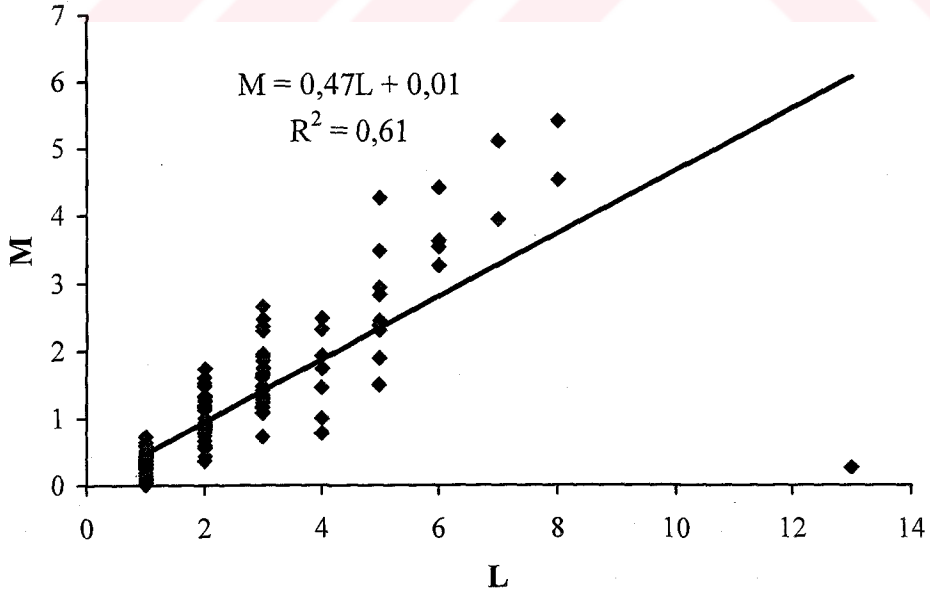


Şekil C. 2 İstanbul için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri.

a) KS=-1

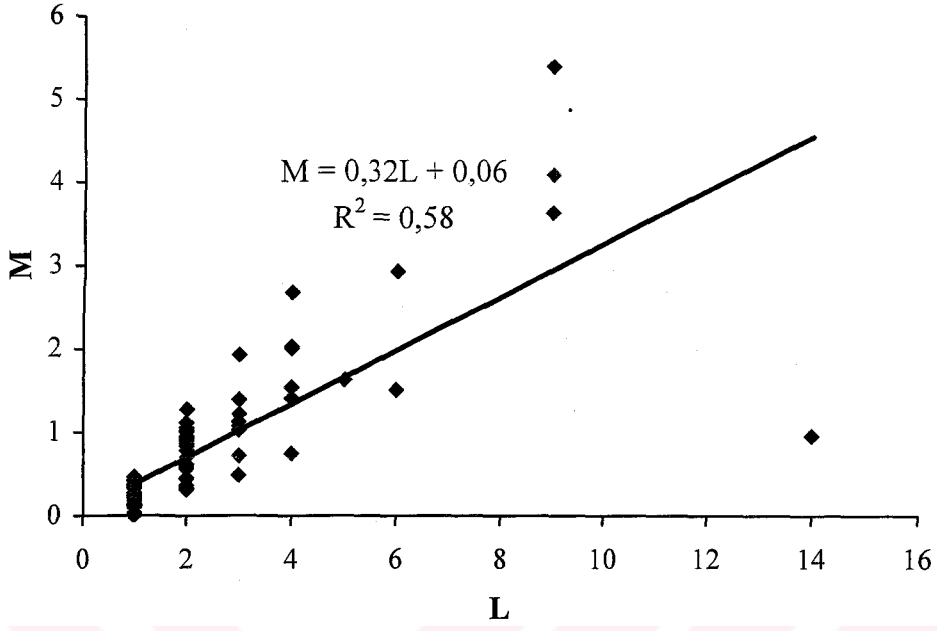


b) KS=-2

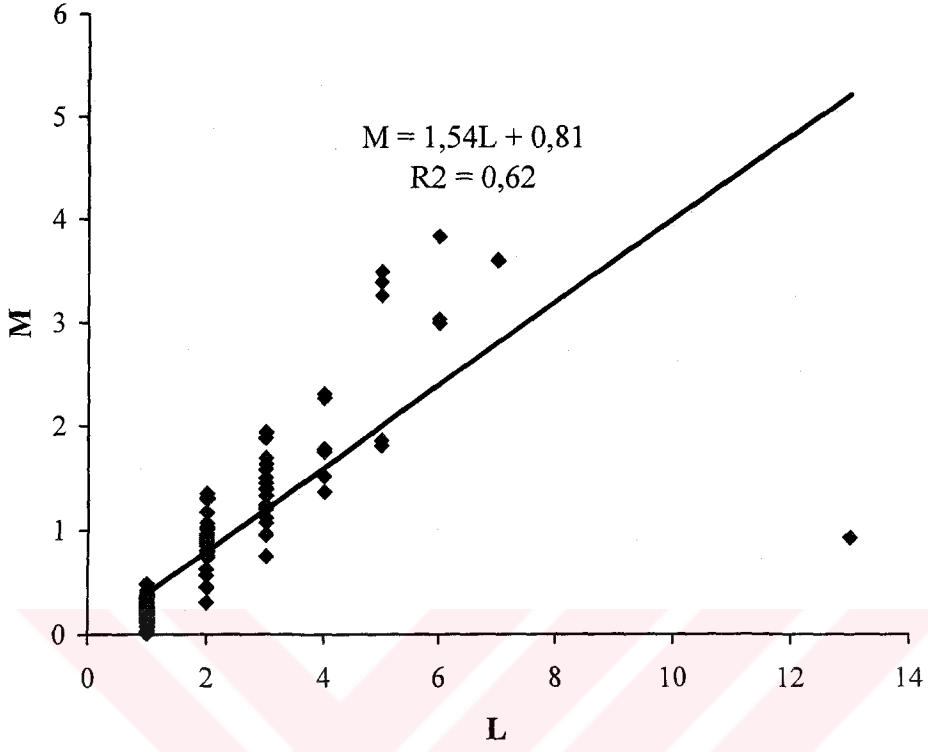


Şekil C. 3 İzmir için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri.

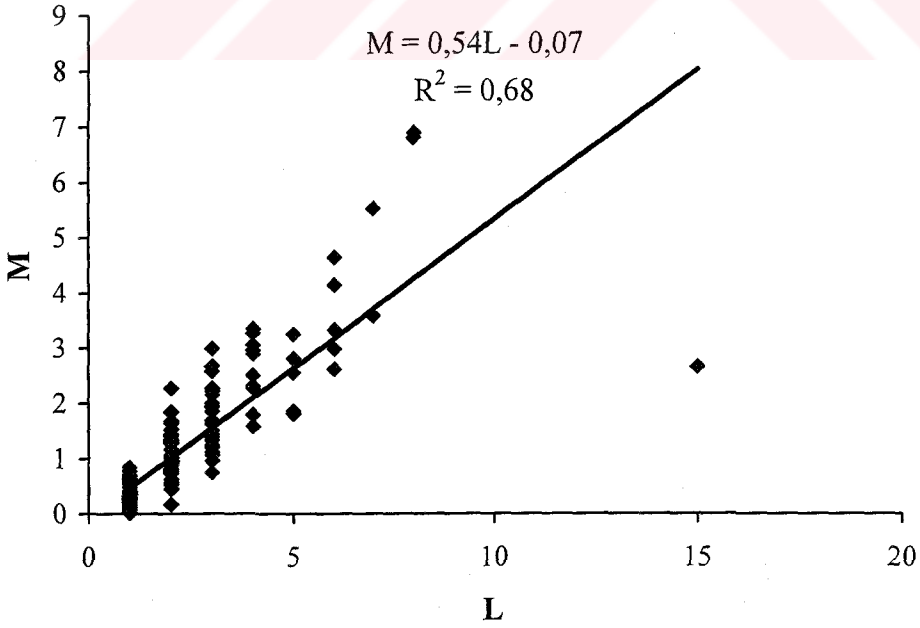
a) KS=-1



a) KS=-1

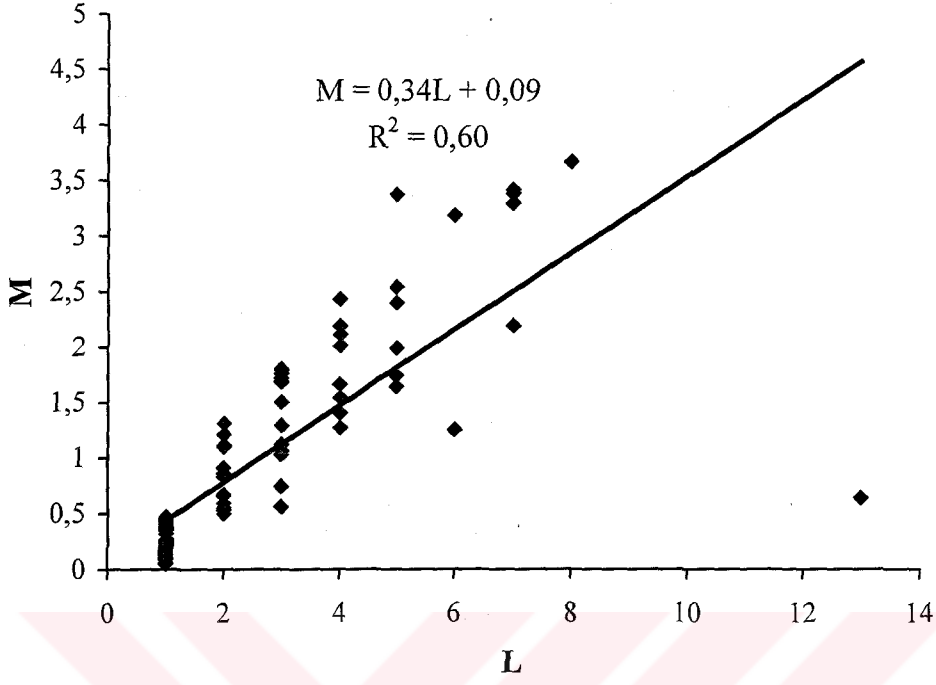


b) KS=2

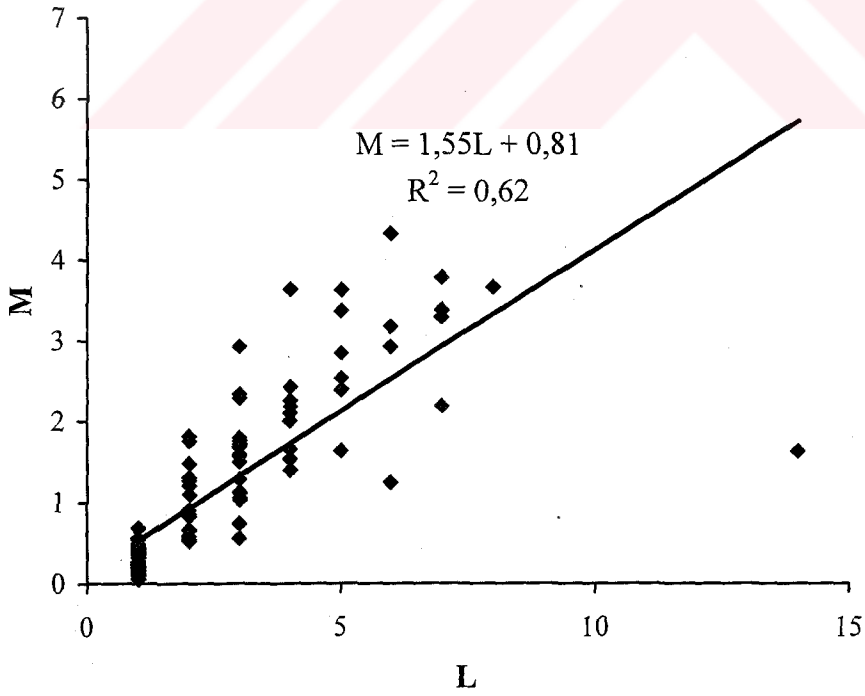


Şekil C. 5 Diyarbakır için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri.

a) KS=-1

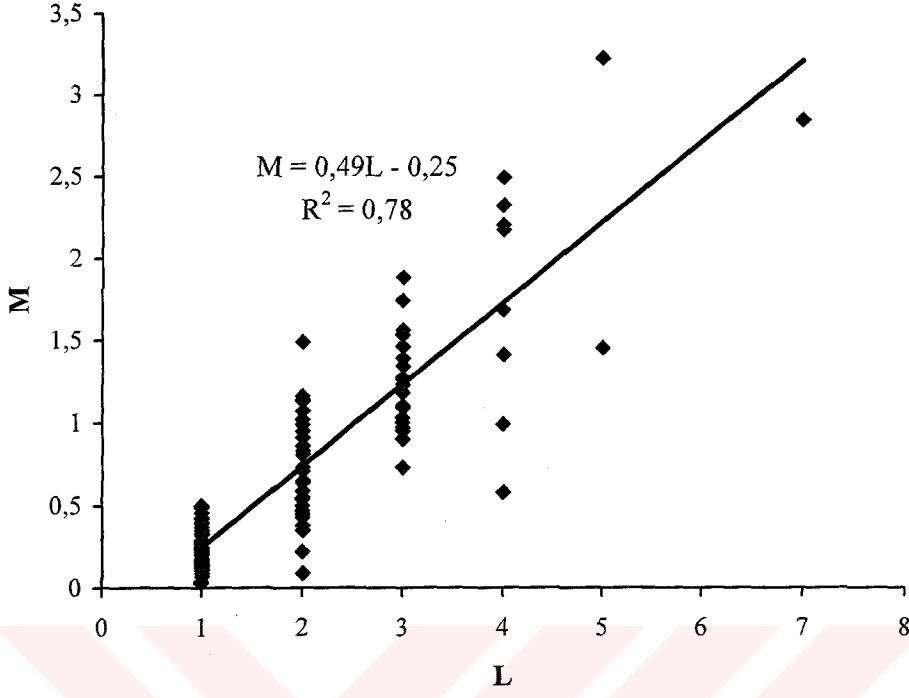


b) KS=-2

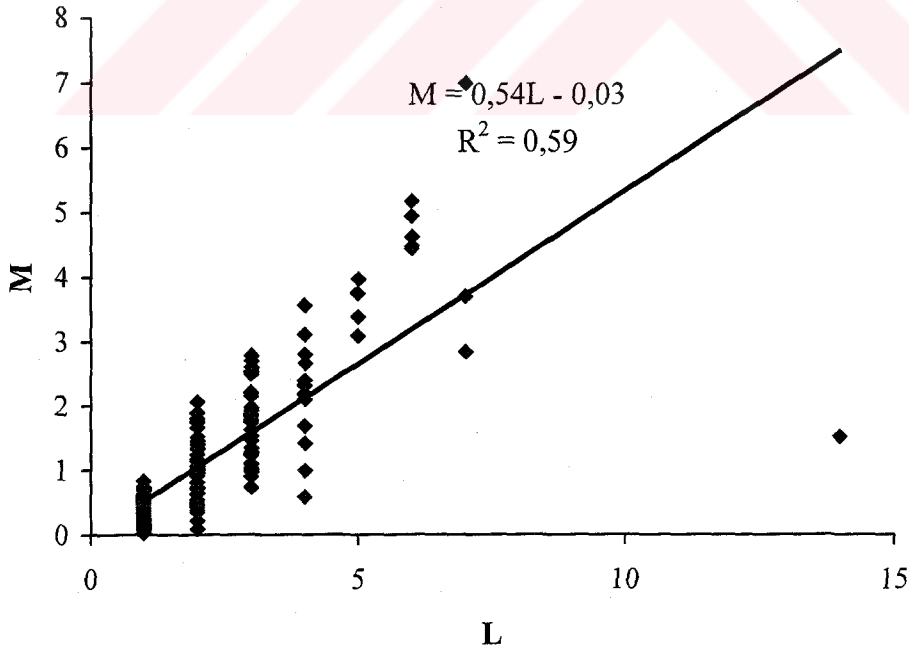


Şekil C. 6 Antalya için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri.

a) KS=-1

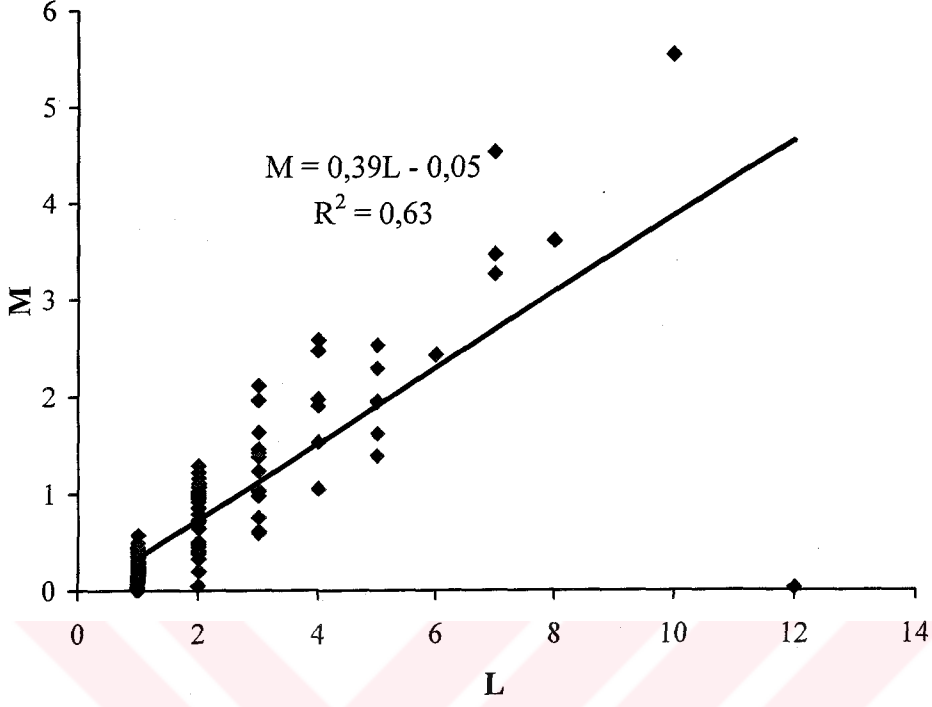


b) KS=-2

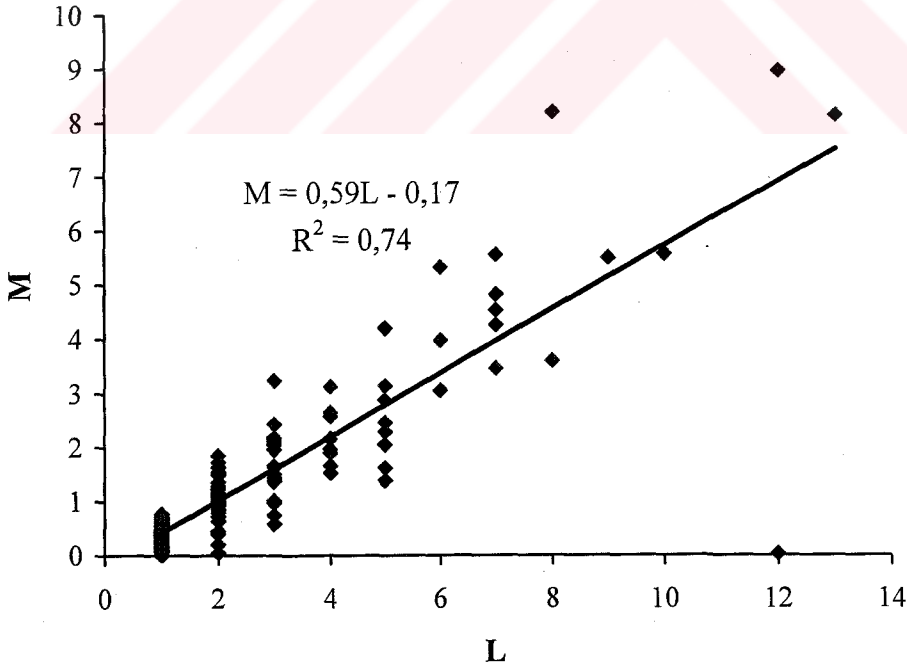


Şekil C.7 Trabzon için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri.

a) KS=-1

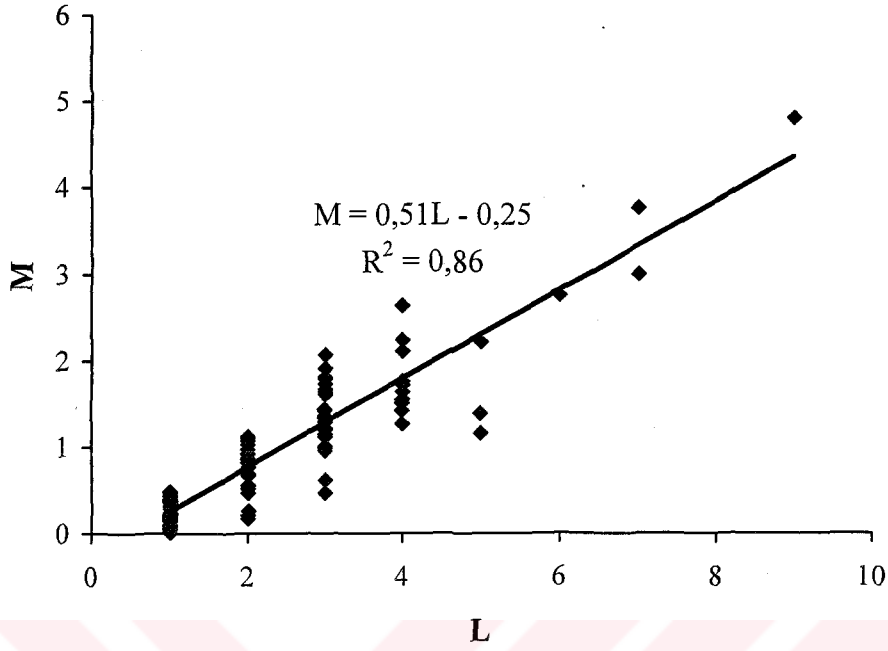


b) KS=-2

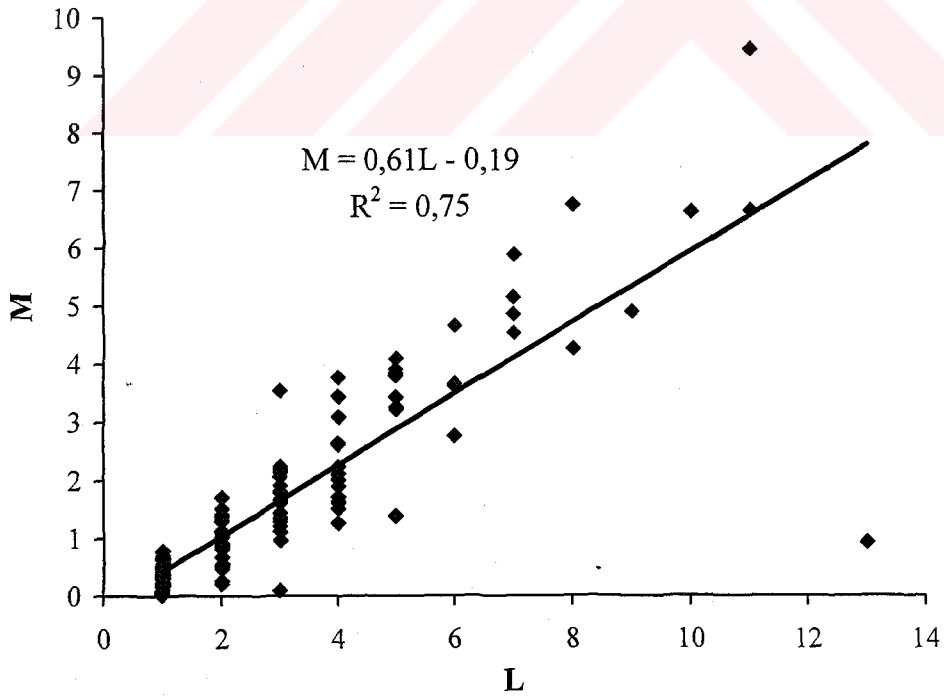


Şekil C. 8 Edirne için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri.

a) KS=-1

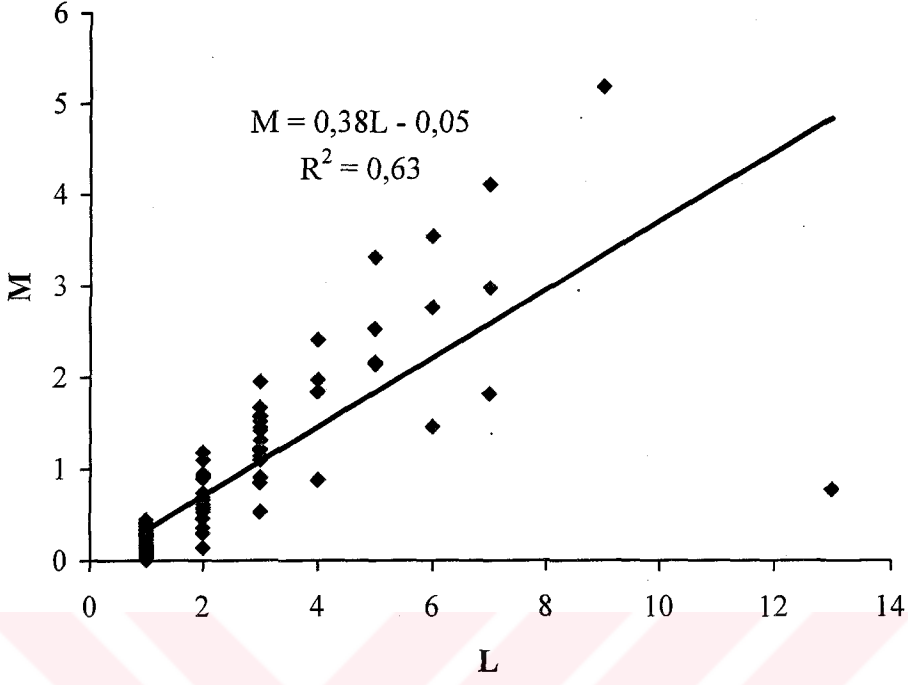


b) KS=-2

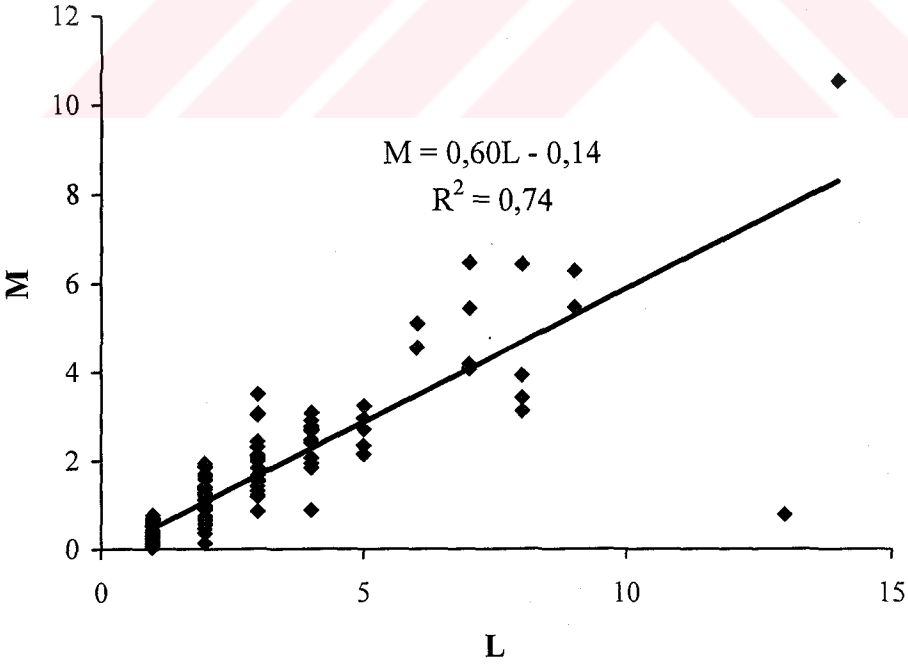


Şekil C. 9 Erzurum için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri.

a) KS=-1

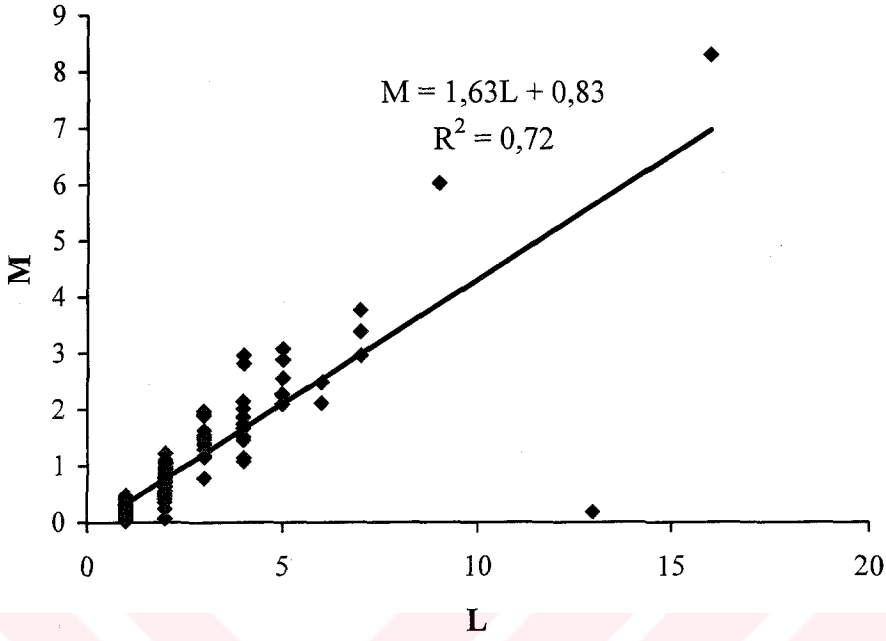


b) KS=-2

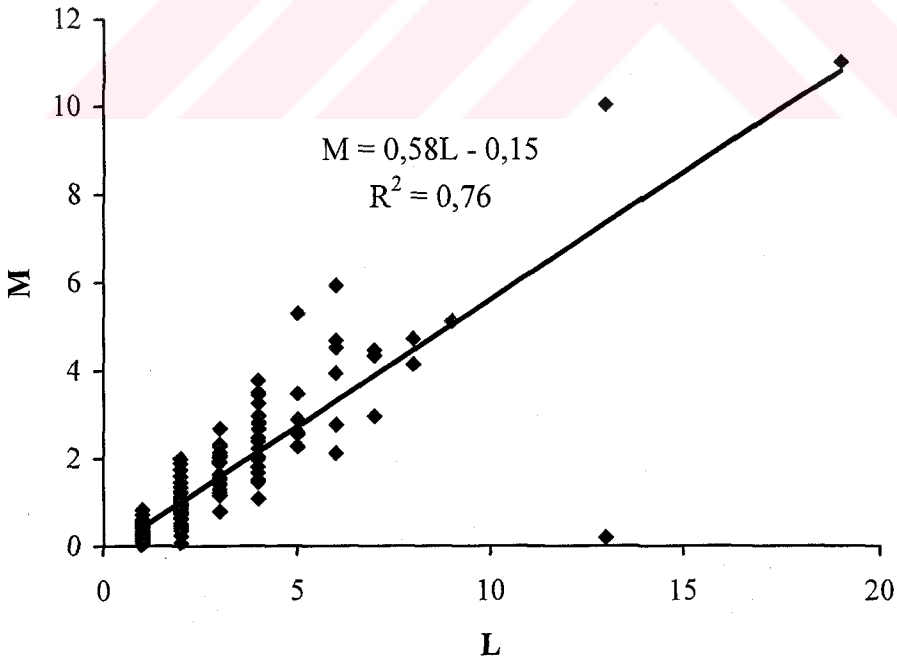


Şekil C.10 Kars için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri.

a) KS=-1

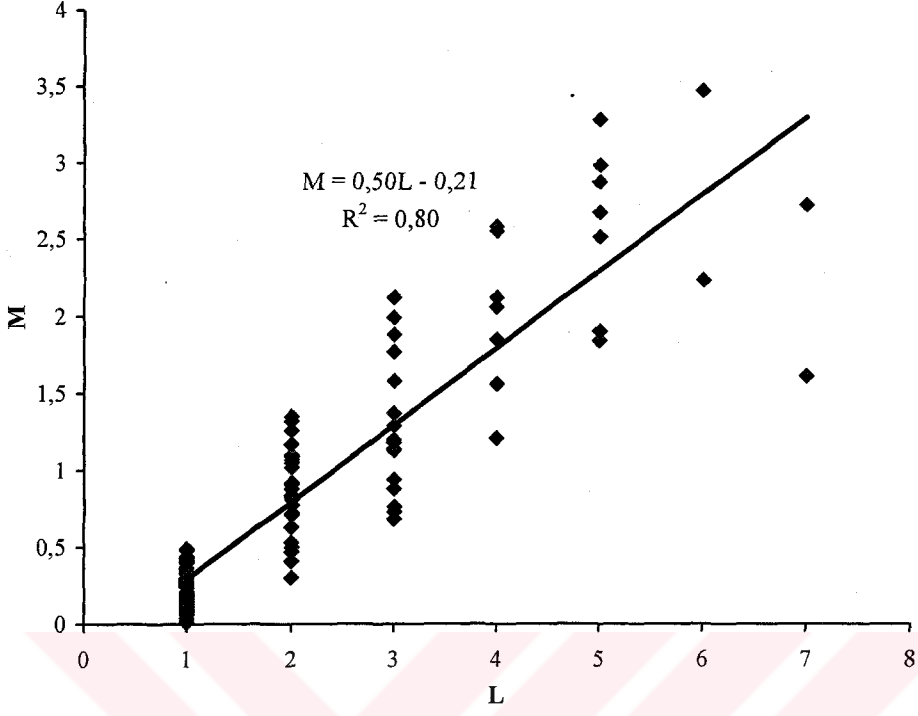


b) KS=-2

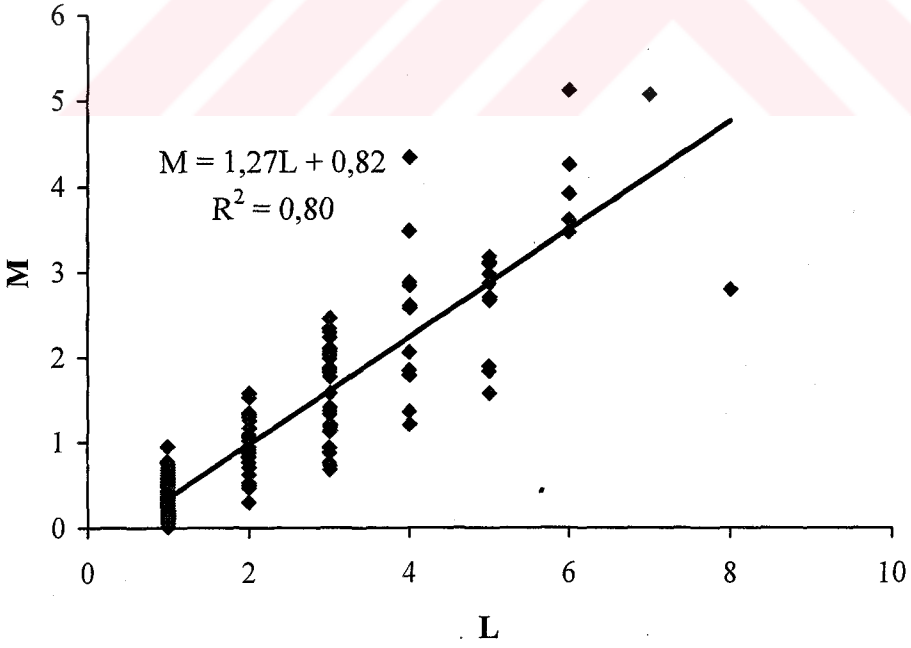


Şekil C. 11 Ankara için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri.

a) KS=-1

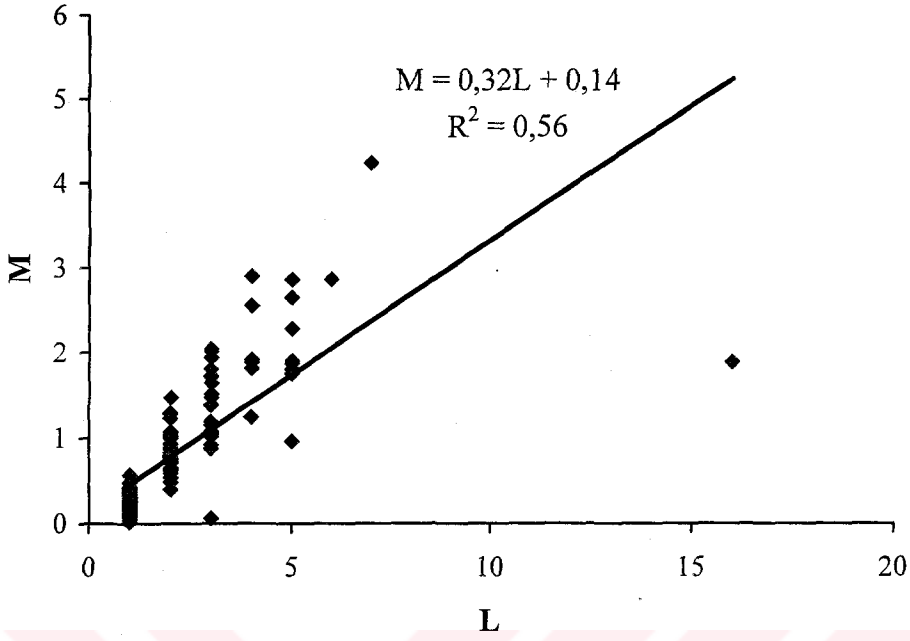


b) KS=-2

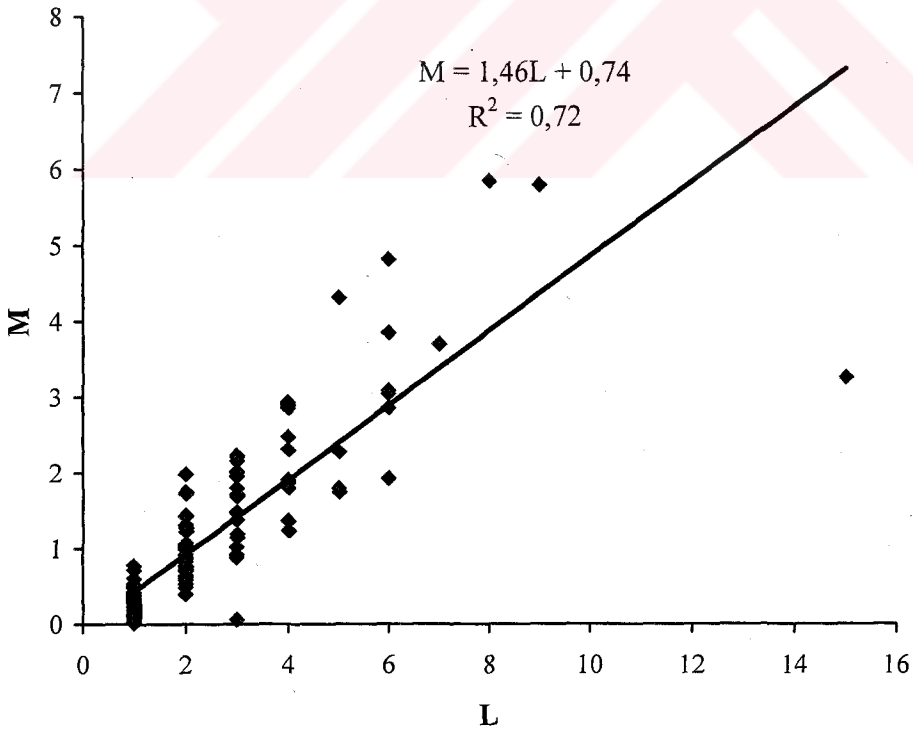


Şekil C. 12 Van için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri.

a) KS=-1

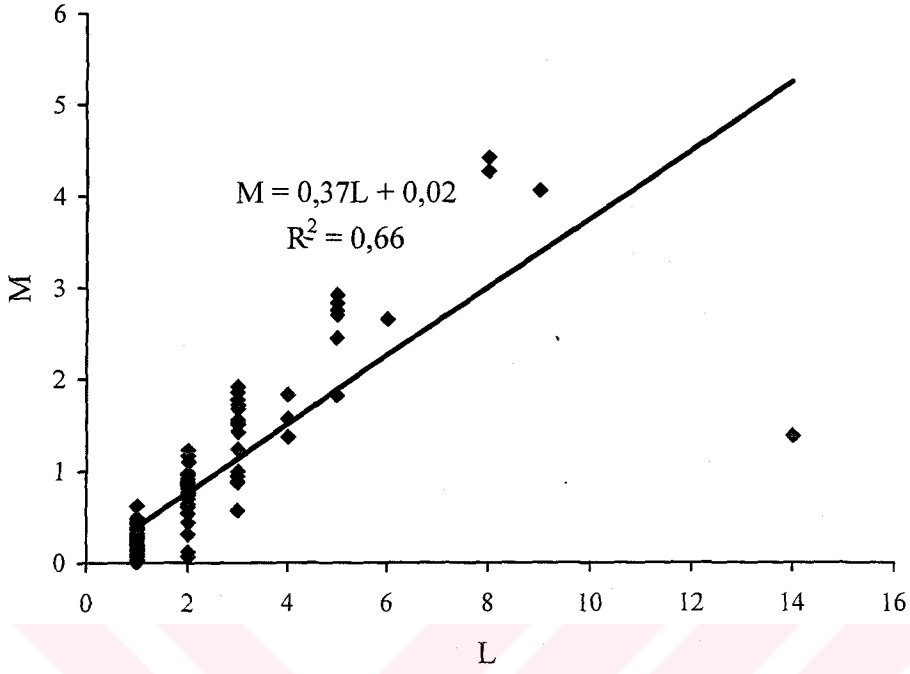


b) KS=-2

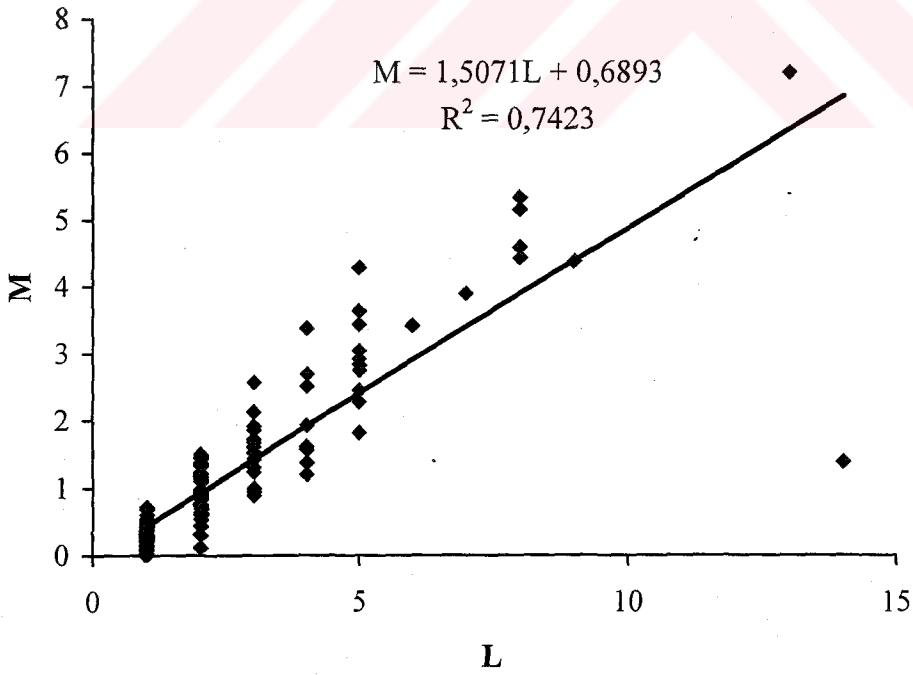


Şekil C. 13 Urfa için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri.

a) KS=-1

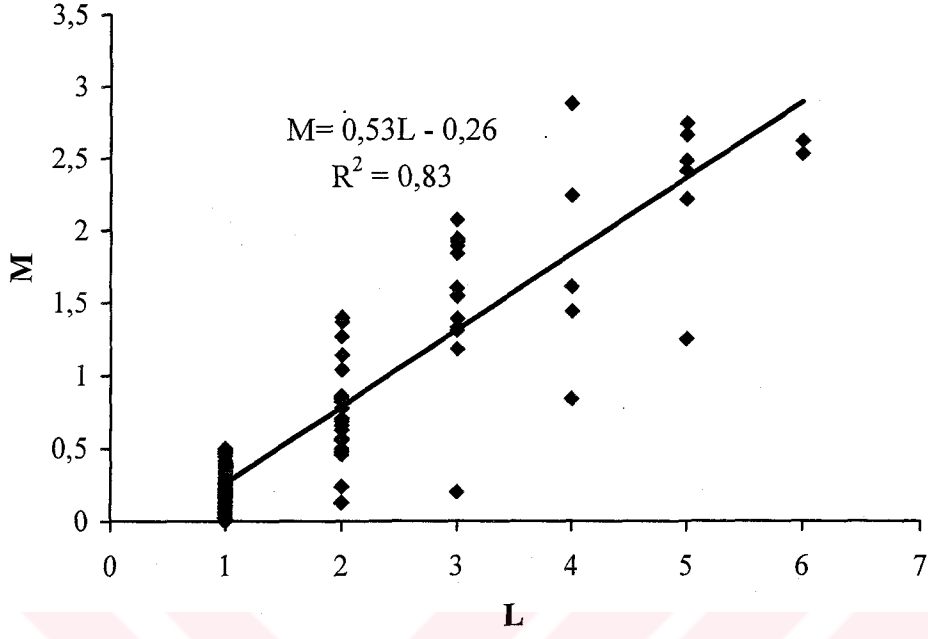


b) KS=-2

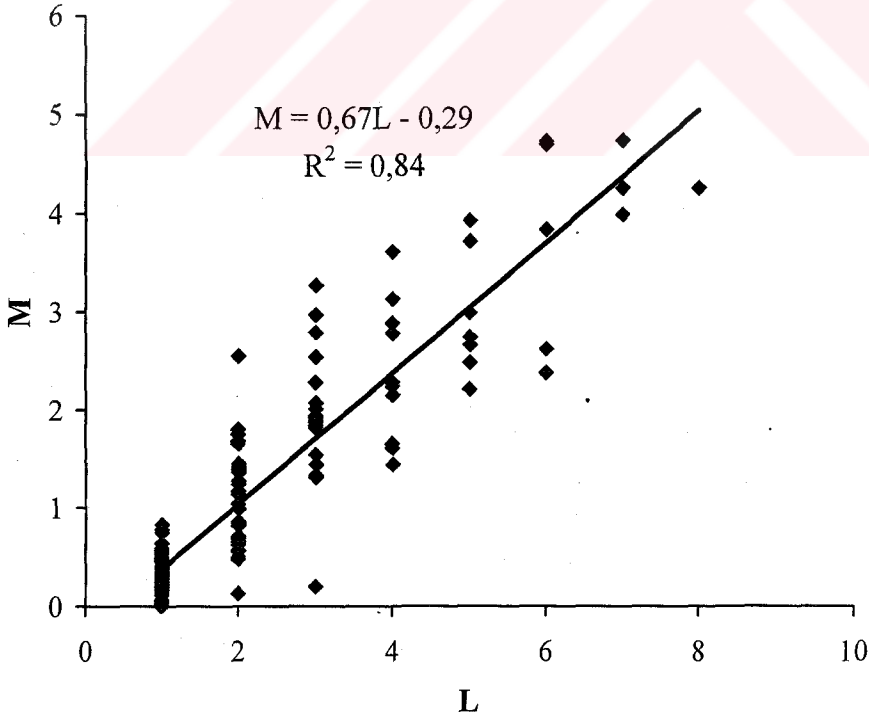


Şekil C. 14 Adana için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri.

a) KS=-1

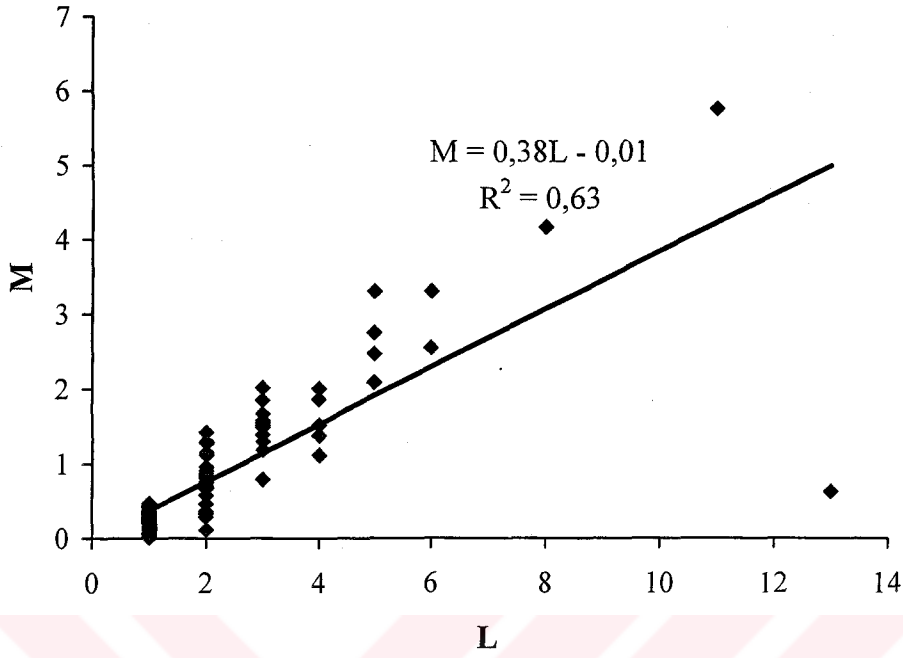


b) KS=-2

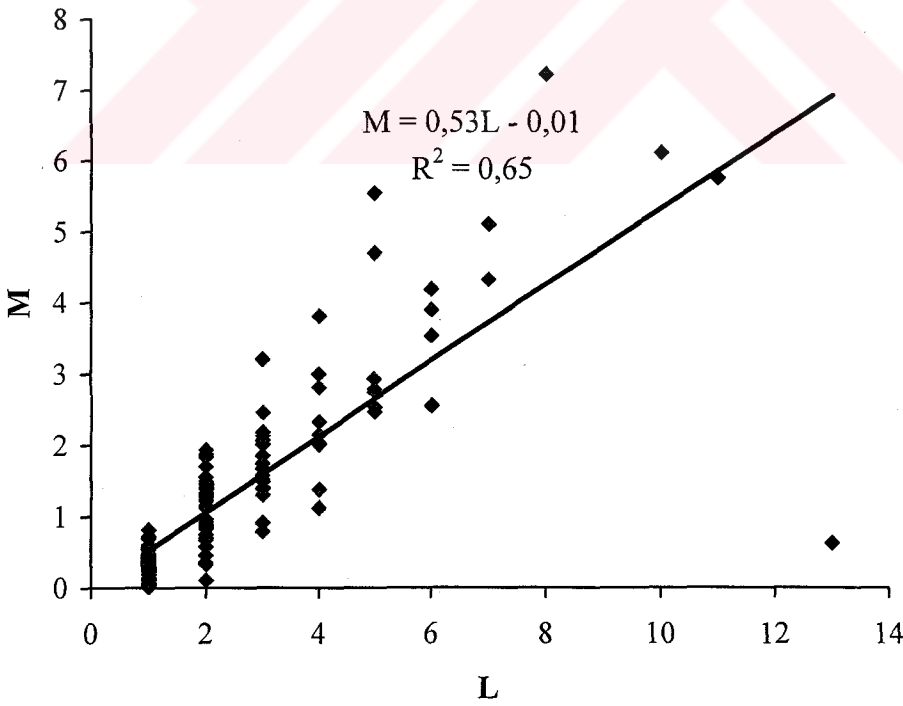


Şekil C. 15 Zonguldak için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri.

a) KS=-1

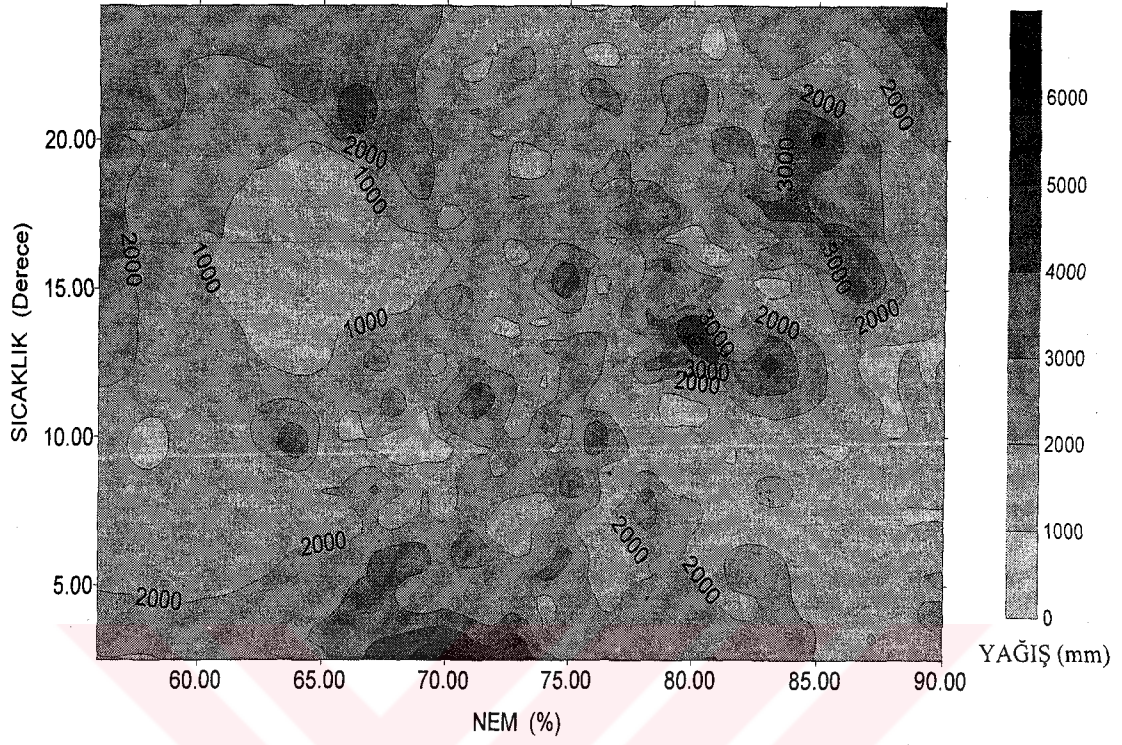


b) KS=-2

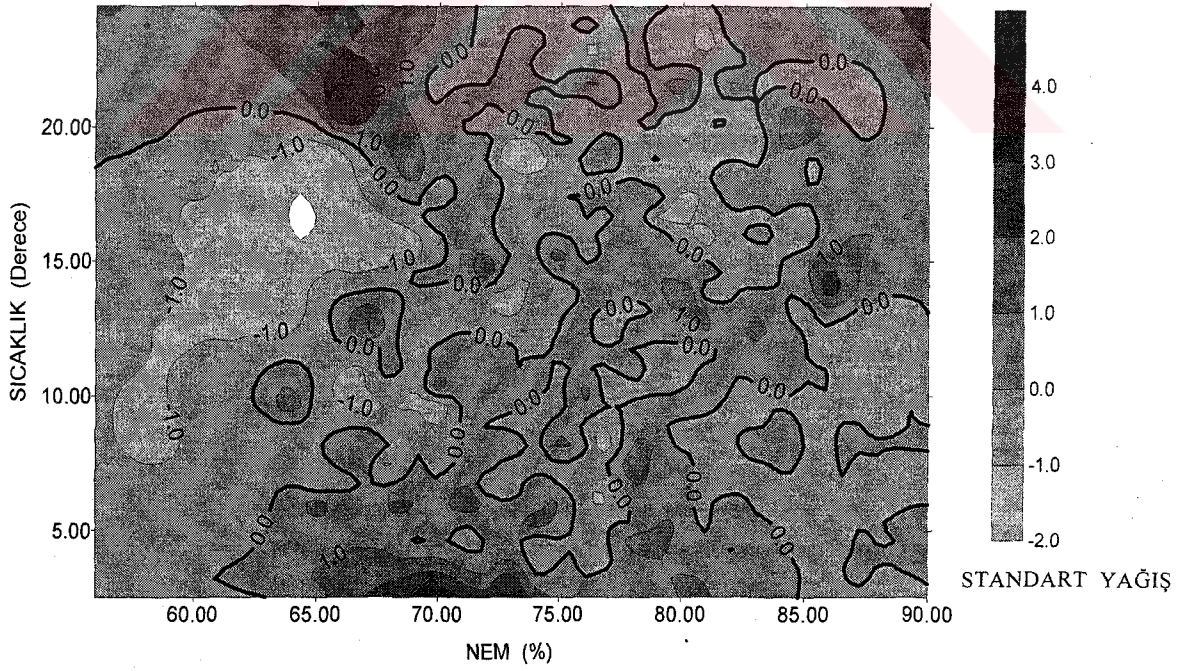


Şekil C. 16 Uşak için kuraklık genliği (M) ve süresi (L) değerleri.

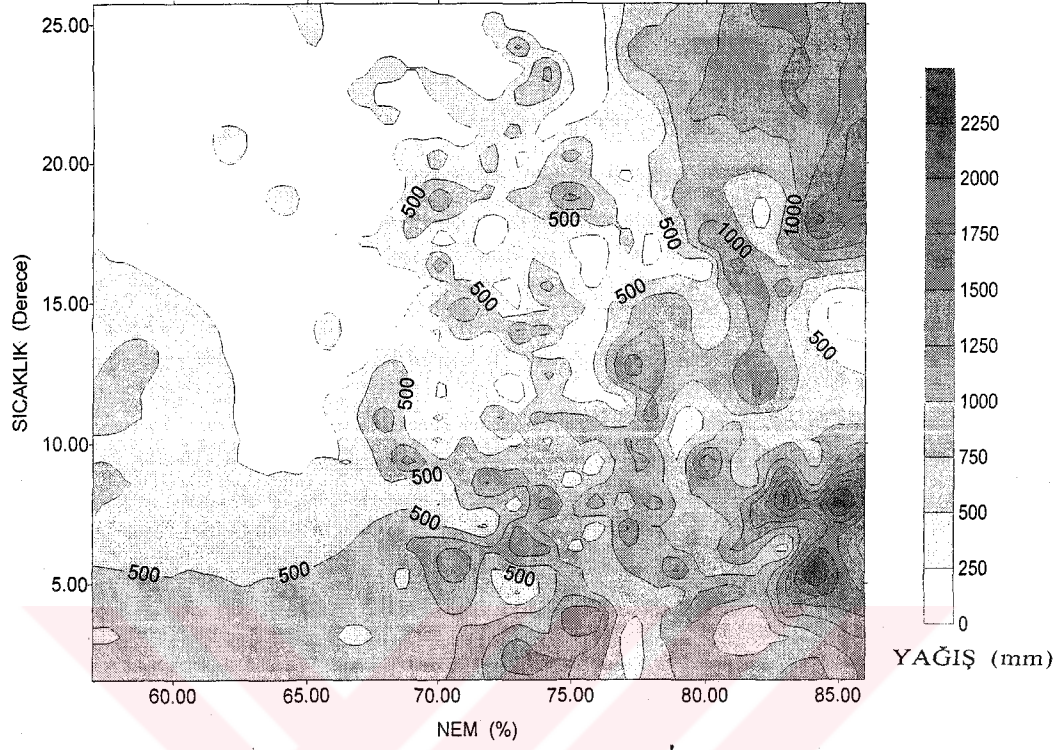
**EK D: NEM, SICAKLIK VE STANDART YAĞIŞ ARASINDAKİ ÜÇLÜ
İLİŞKİ DAĞILIMLARI**



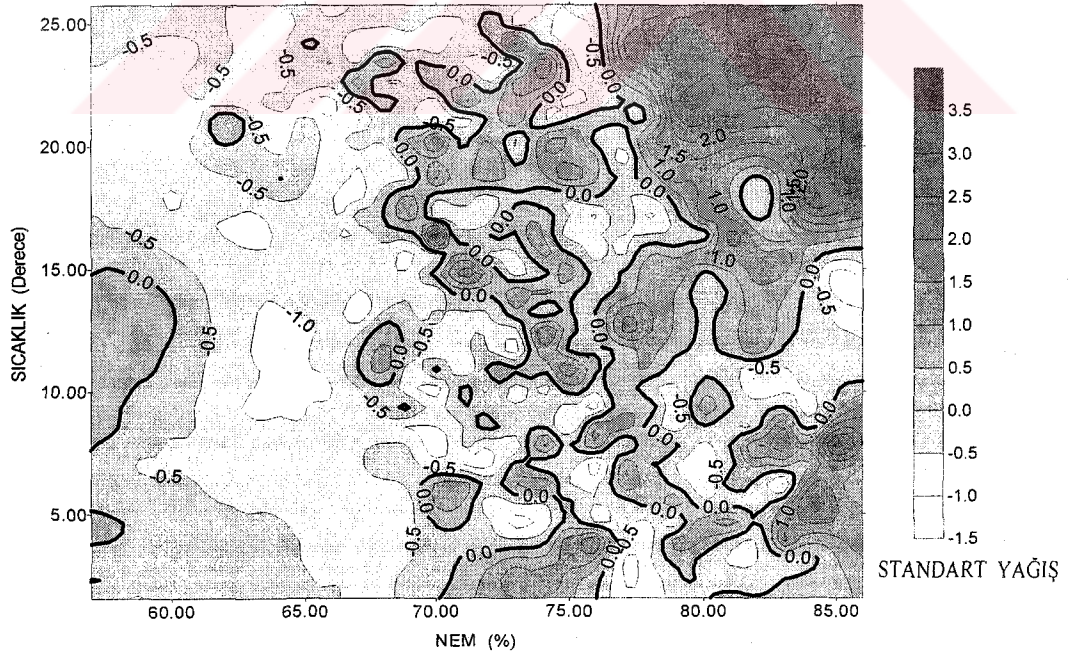
Şekil D. 1a Rize için aylık nem, sıcaklık ve yağış arasındaki üçlü ilişki.



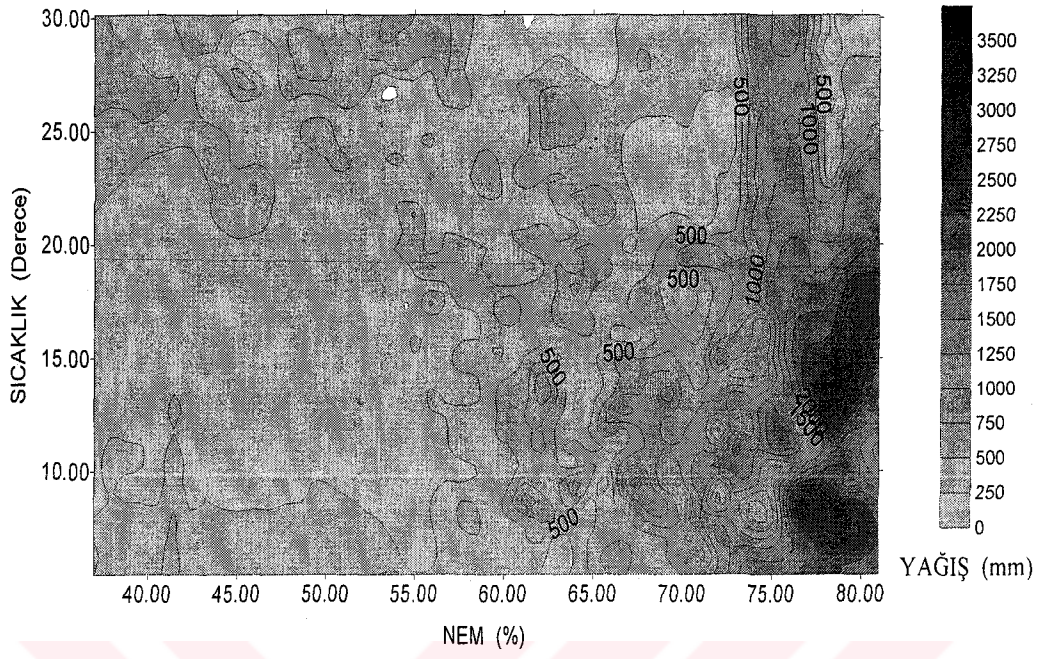
Şekil D. 1b Rize için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



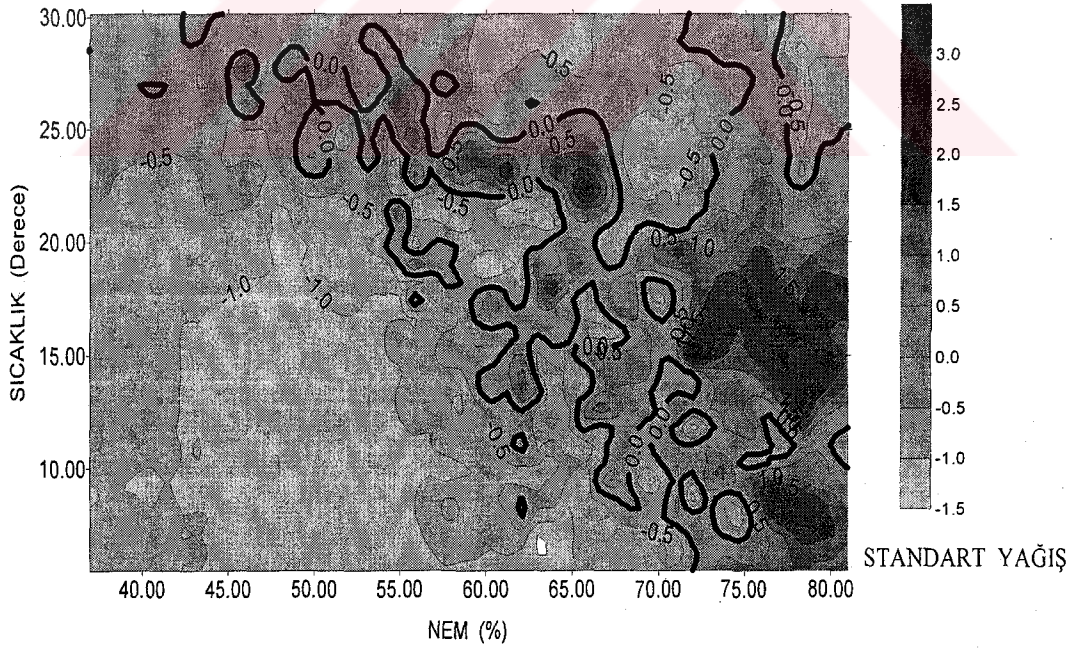
Şekil D. 2a İstanbul için aylık nem, sıcaklık ve yağış arasındaki üçlü ilişki.



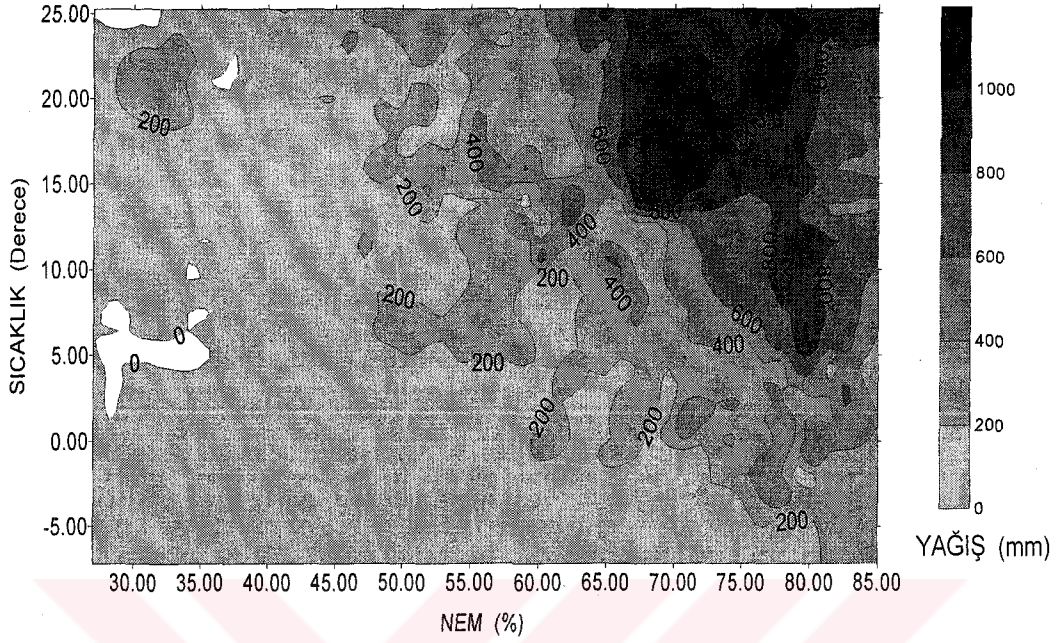
Şekil D. 2b İstanbul için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



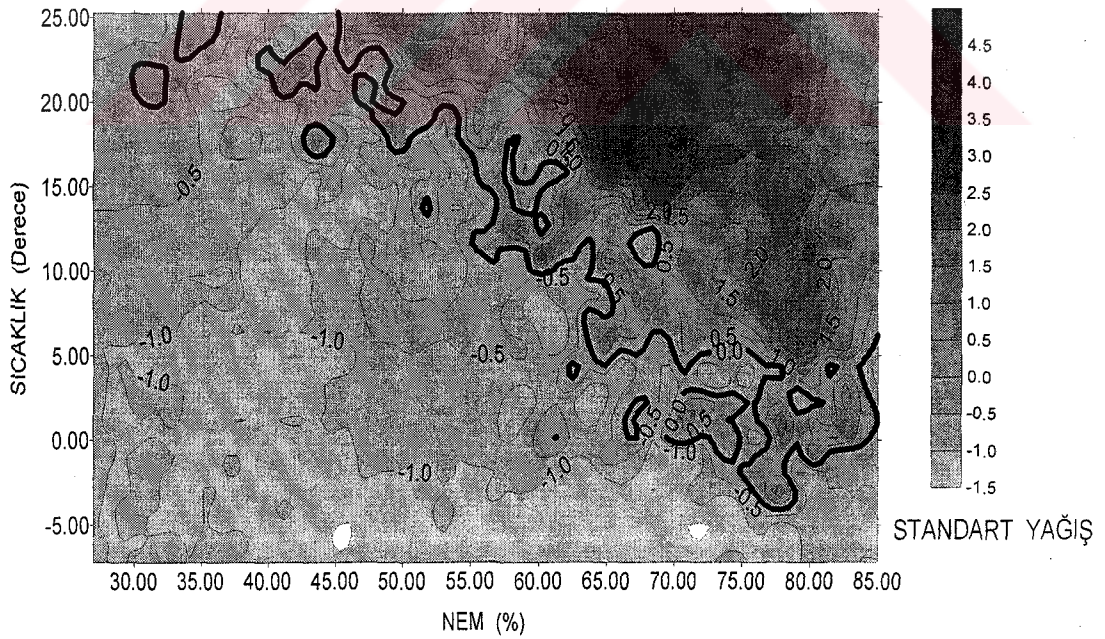
Şekil D. 3a İzmir için aylık nem, sıcaklık ve yağış arasındaki üçlü ilişki.



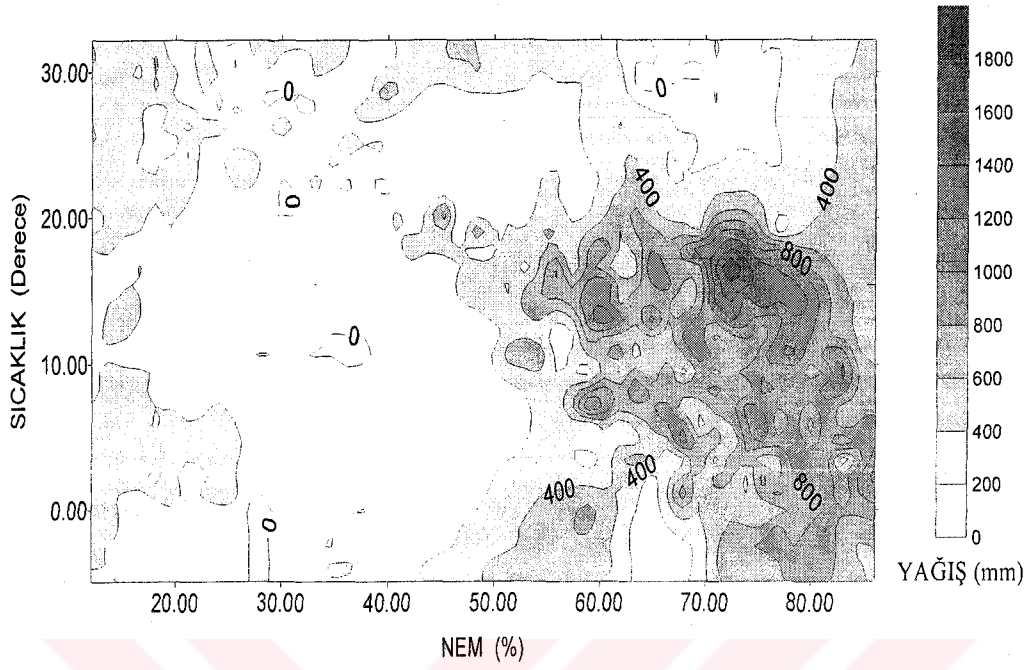
Şekil D. 3b İzmir için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



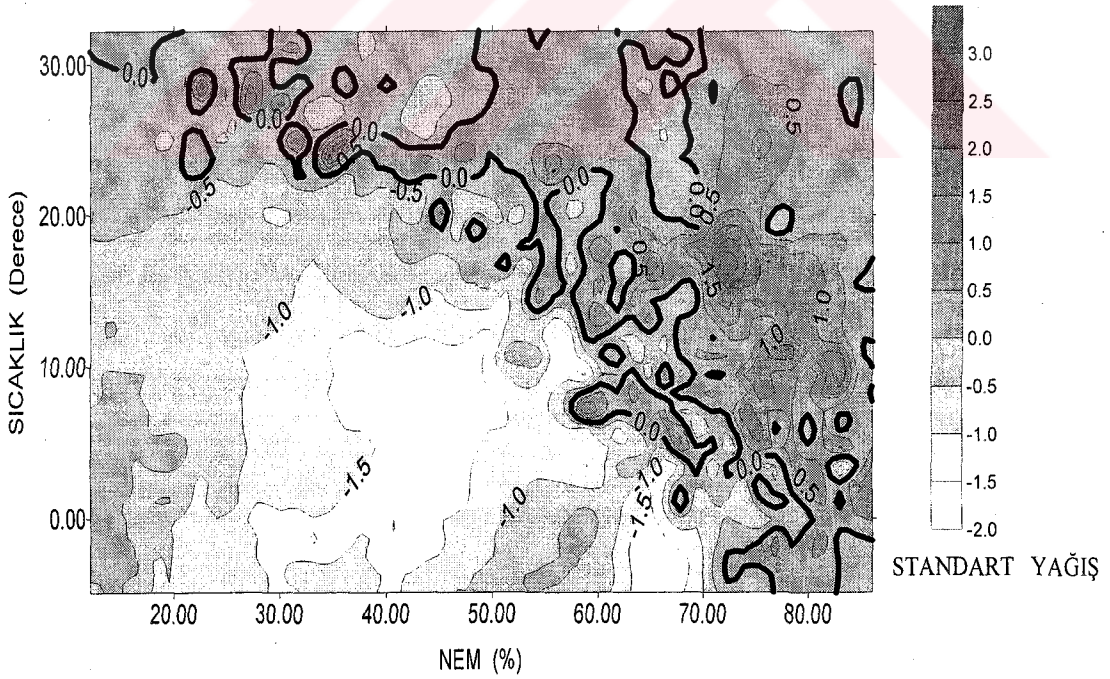
Şekil D. 4a Konya için aylık nem, sıcaklık ve yağış arasındaki üçlü ilişki.



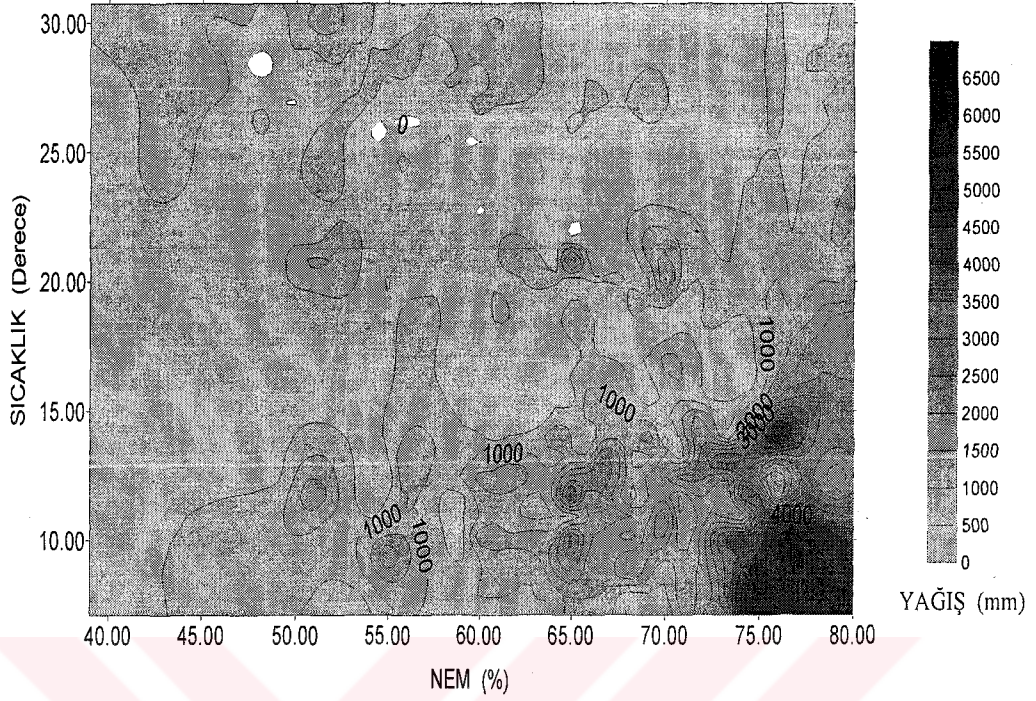
Şekil D. 4b Konya için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



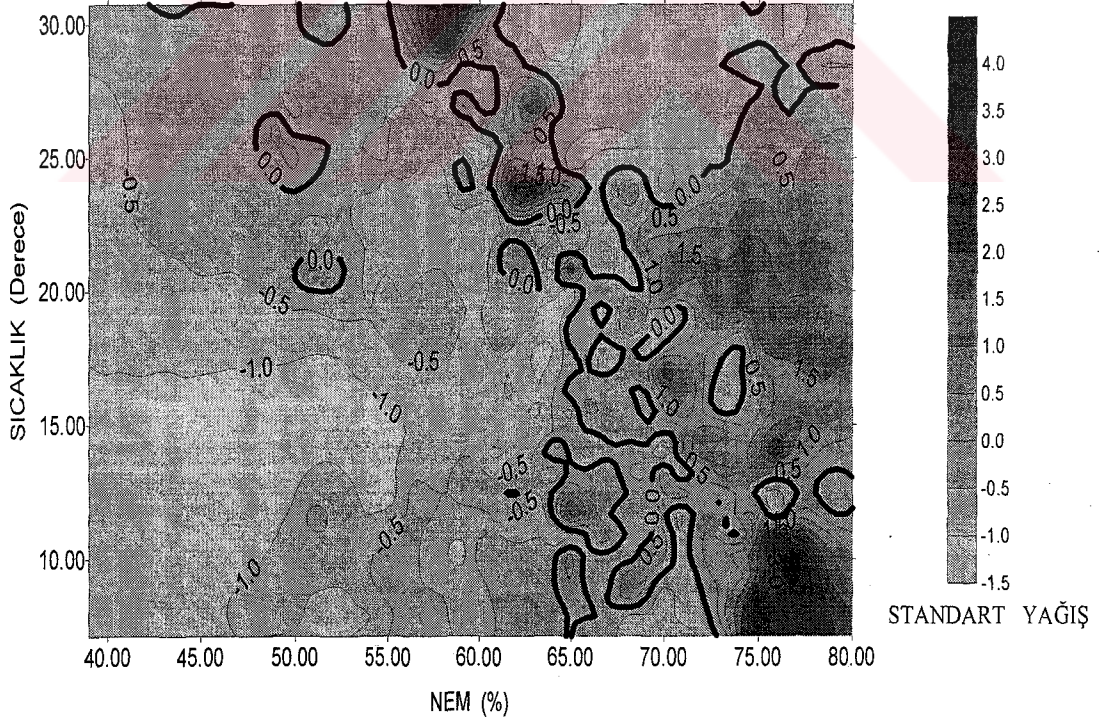
Şekil D. 5a Diyarbakır için aylık nem, sıcaklık ve yağış arasındaki üçlü ilişki.



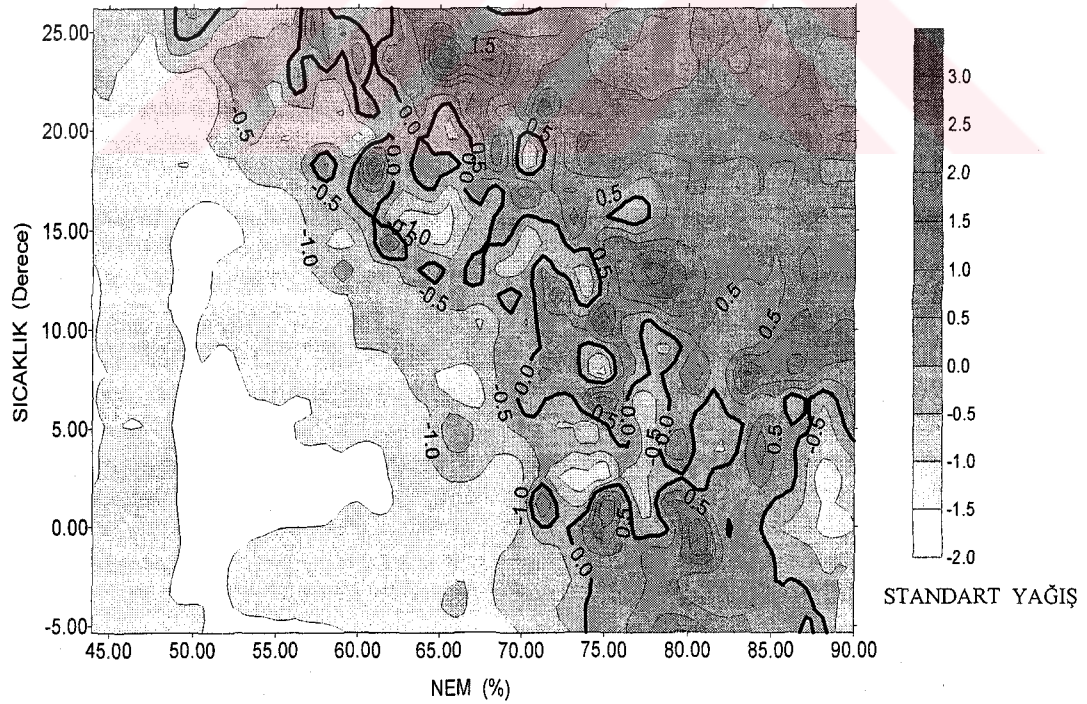
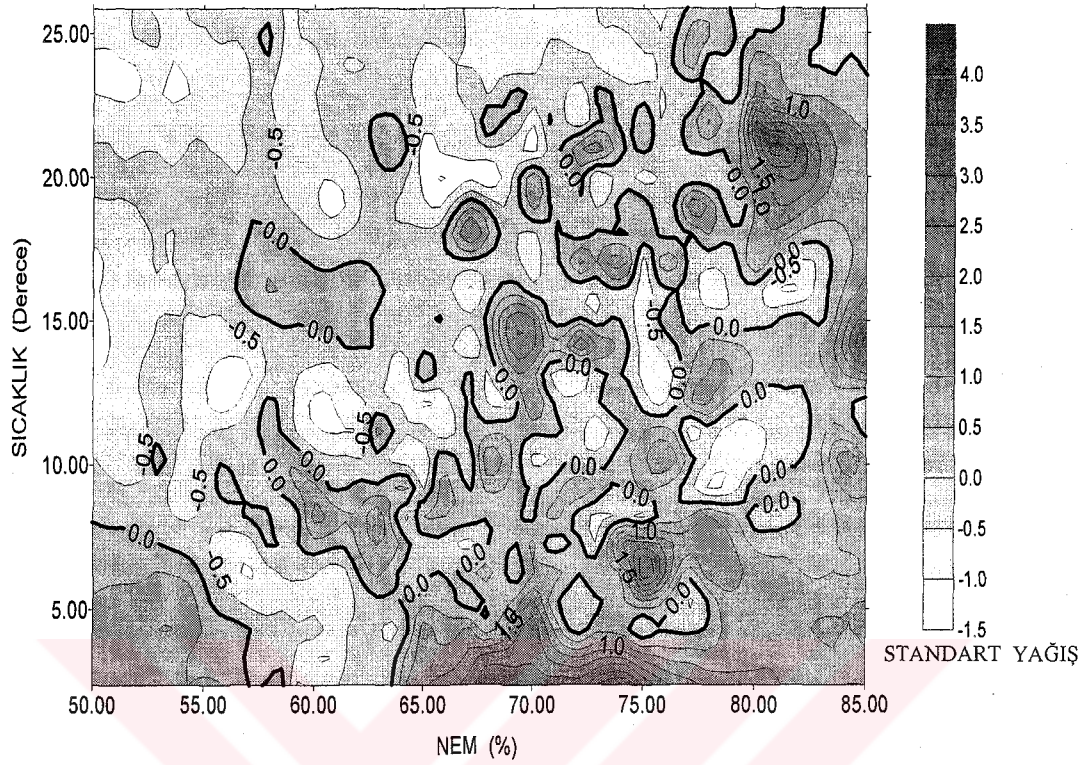
Şekil D. 5b Diyarbakır için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.

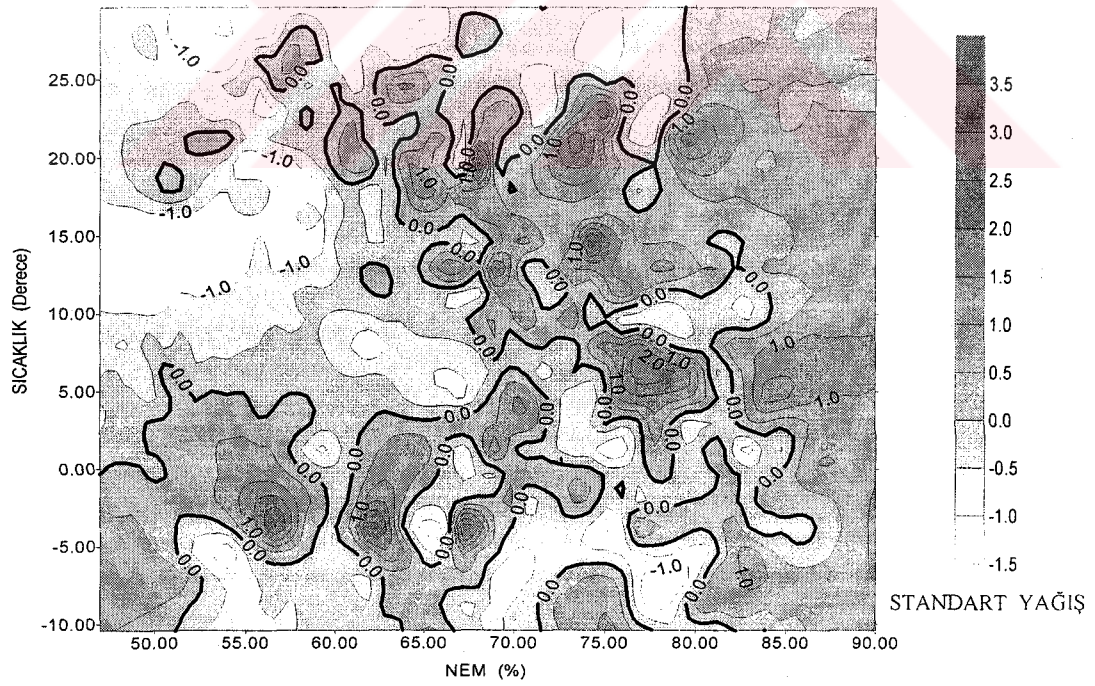
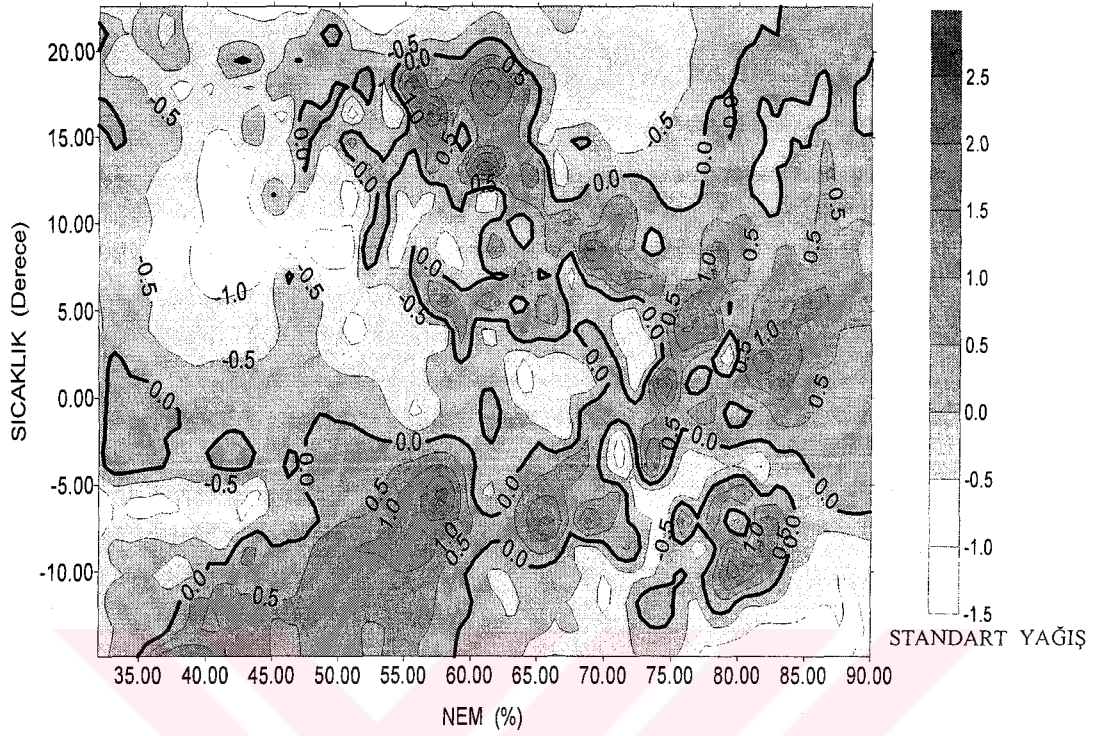


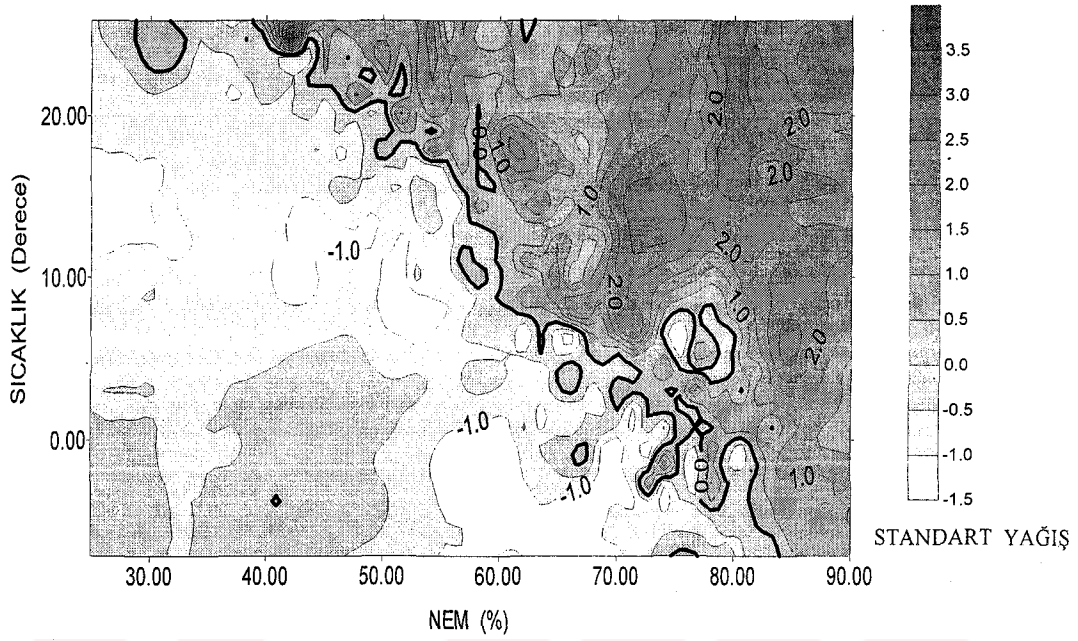
Şekil D. 6a Antalya için aylık nem, sıcaklık ve yağış arasındaki üçlü ilişki.



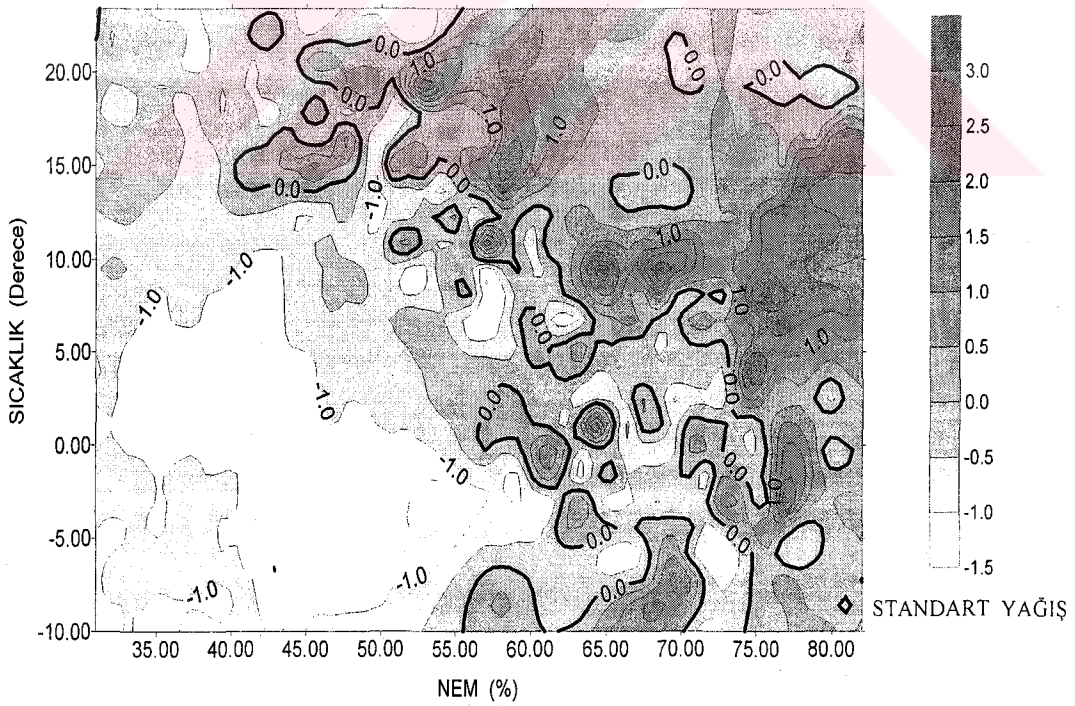
Şekil D. 6b Antalya için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



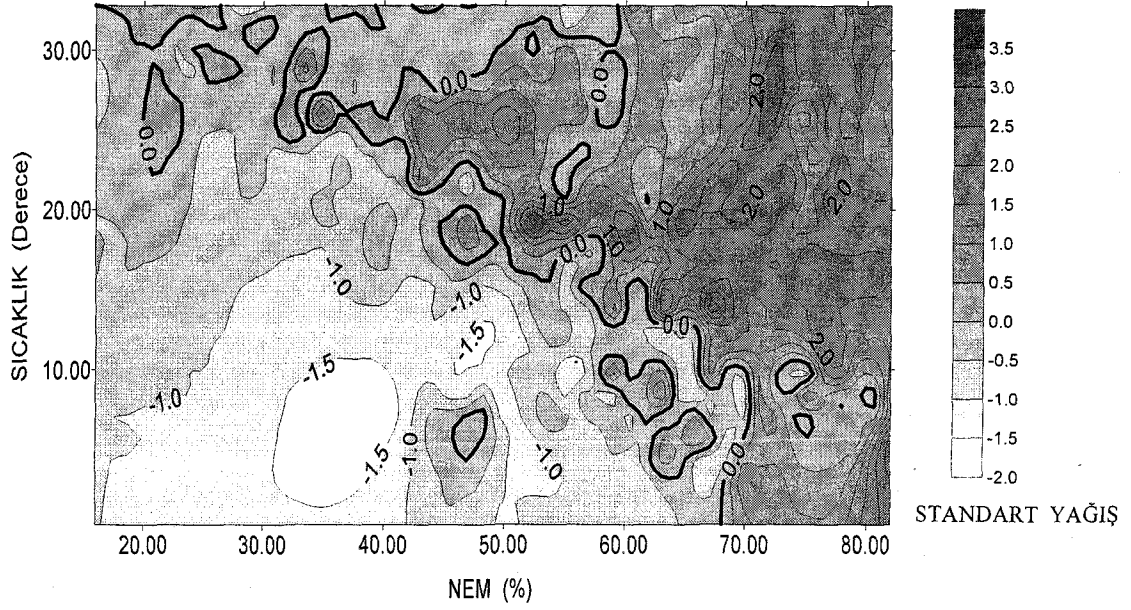




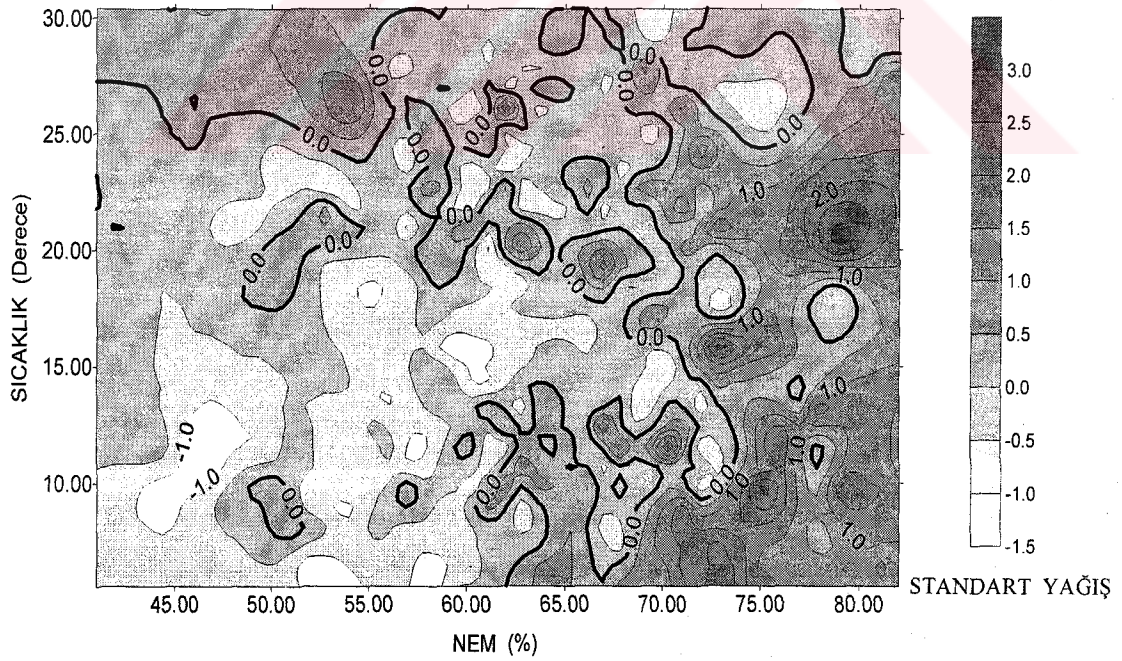
Şekil D. 11 Ankara için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



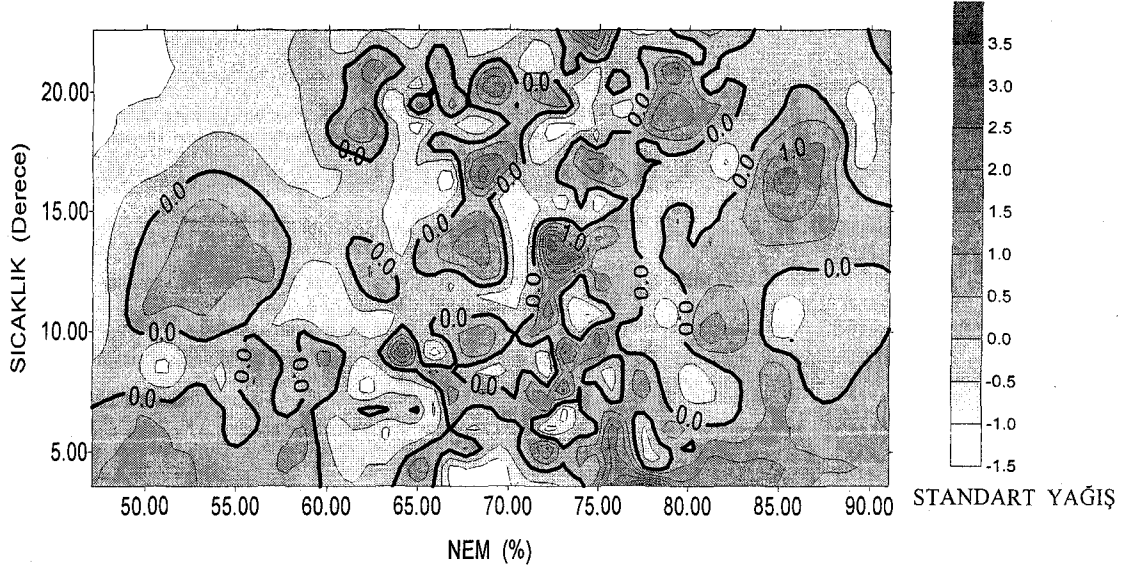
Şekil D. 12 Van için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



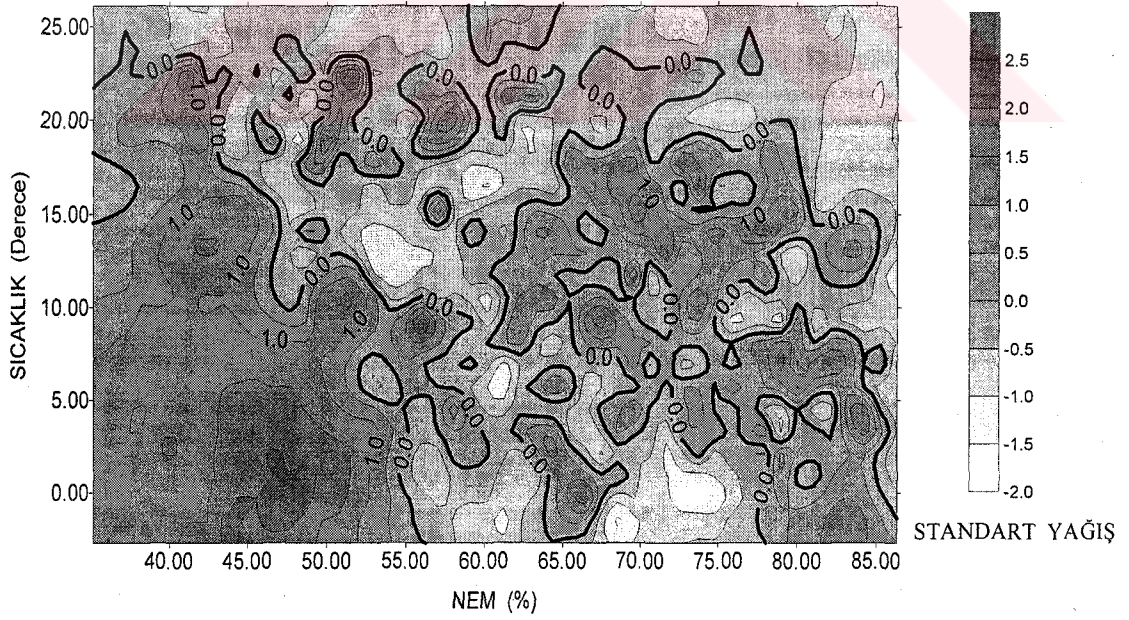
Şekil D. 13 Urfa için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



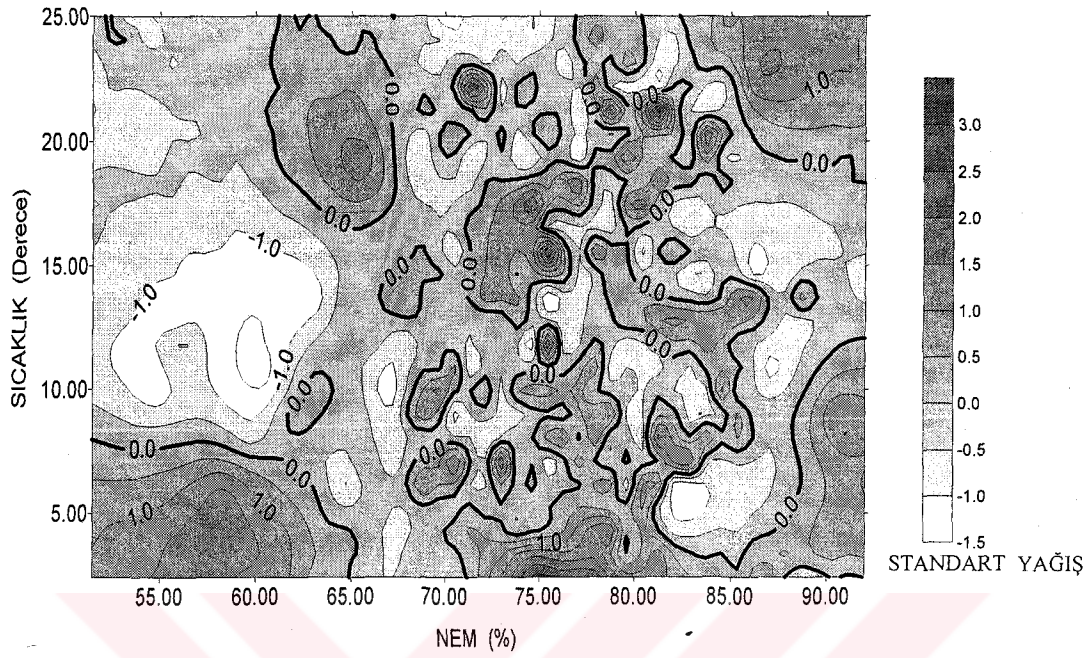
Şekil D. 14 Adana için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



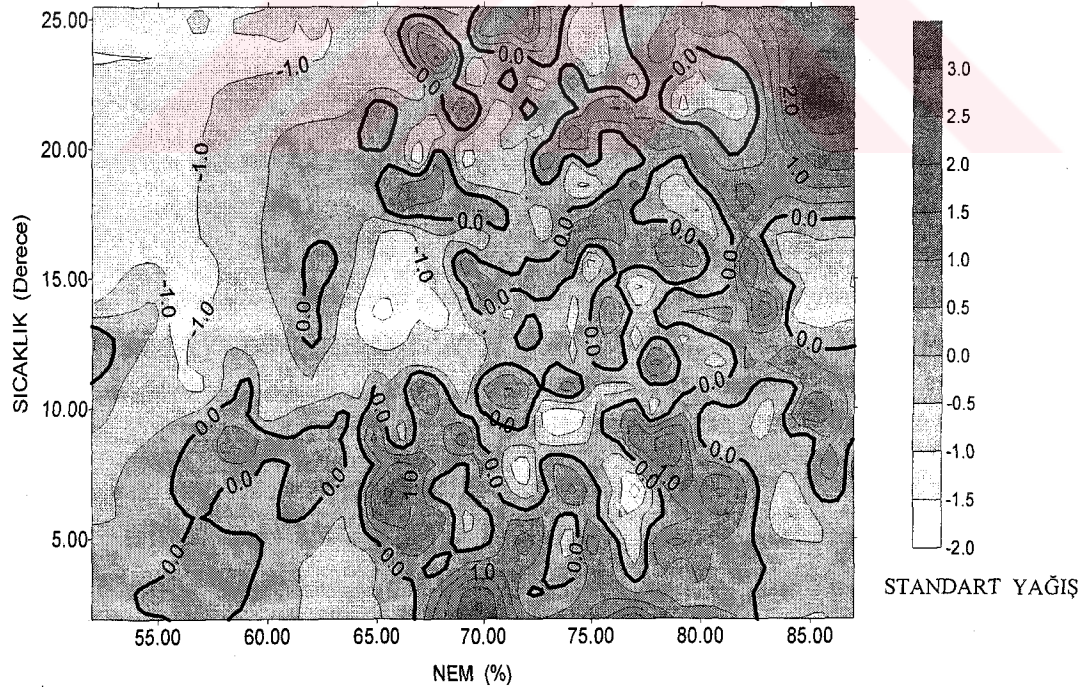
Şekil D. 15 Zonguldak için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



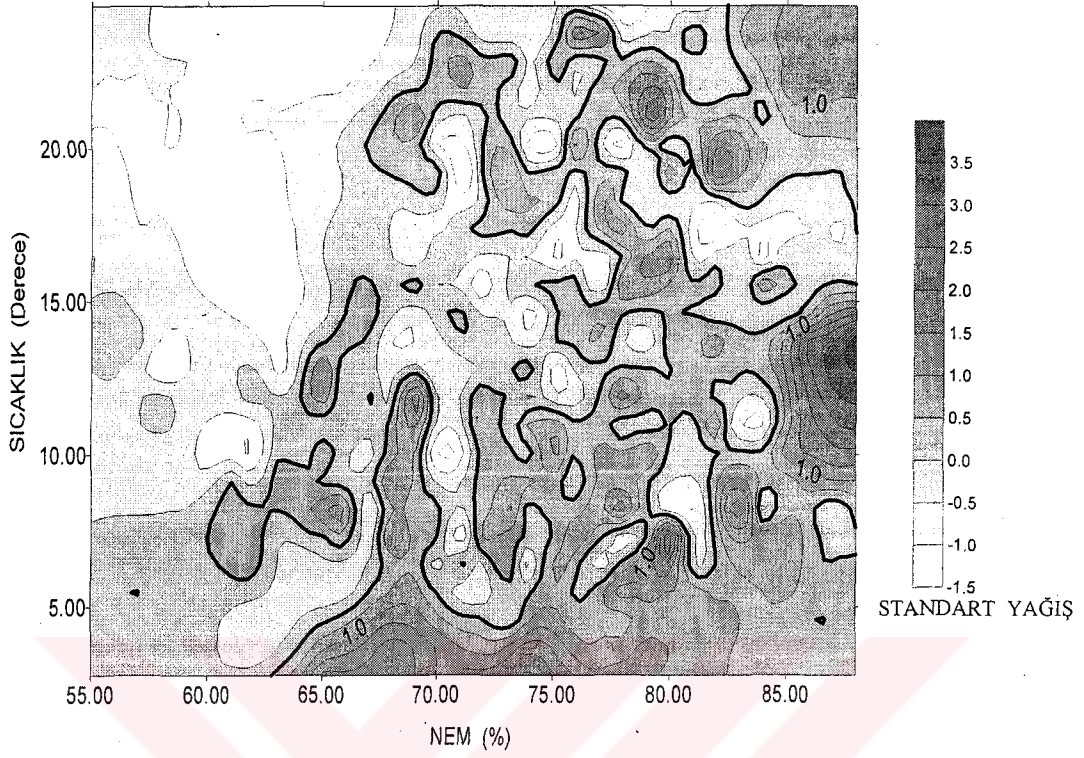
Şekil D. 16 Uşak için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



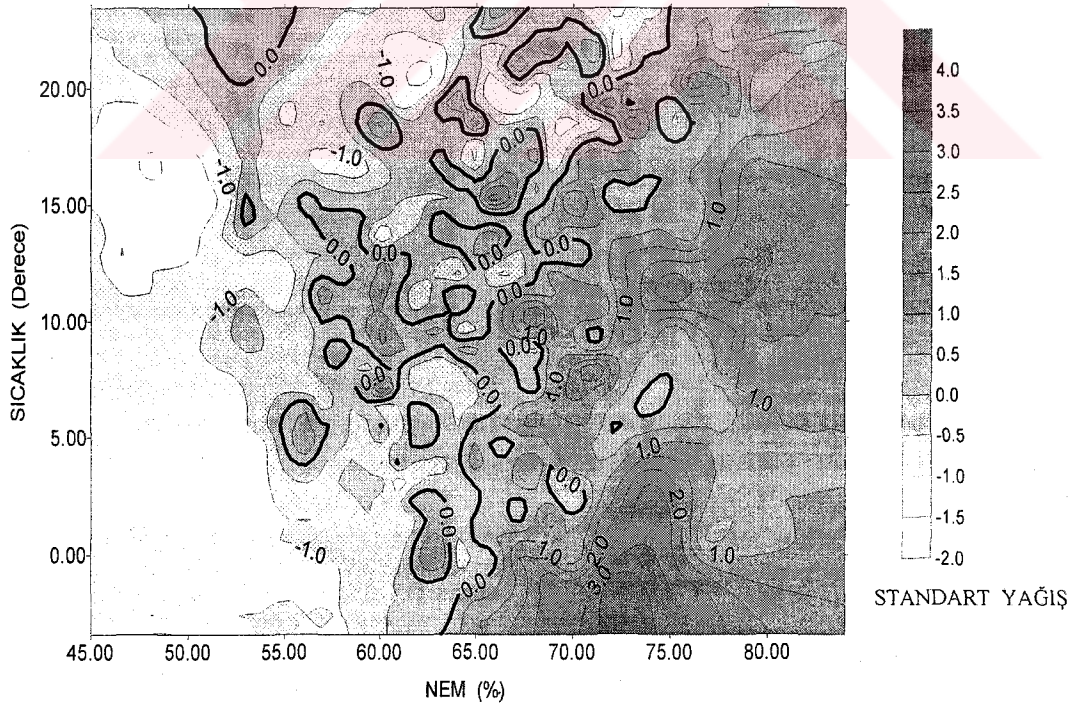
Şekil D. 17 Sinop için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



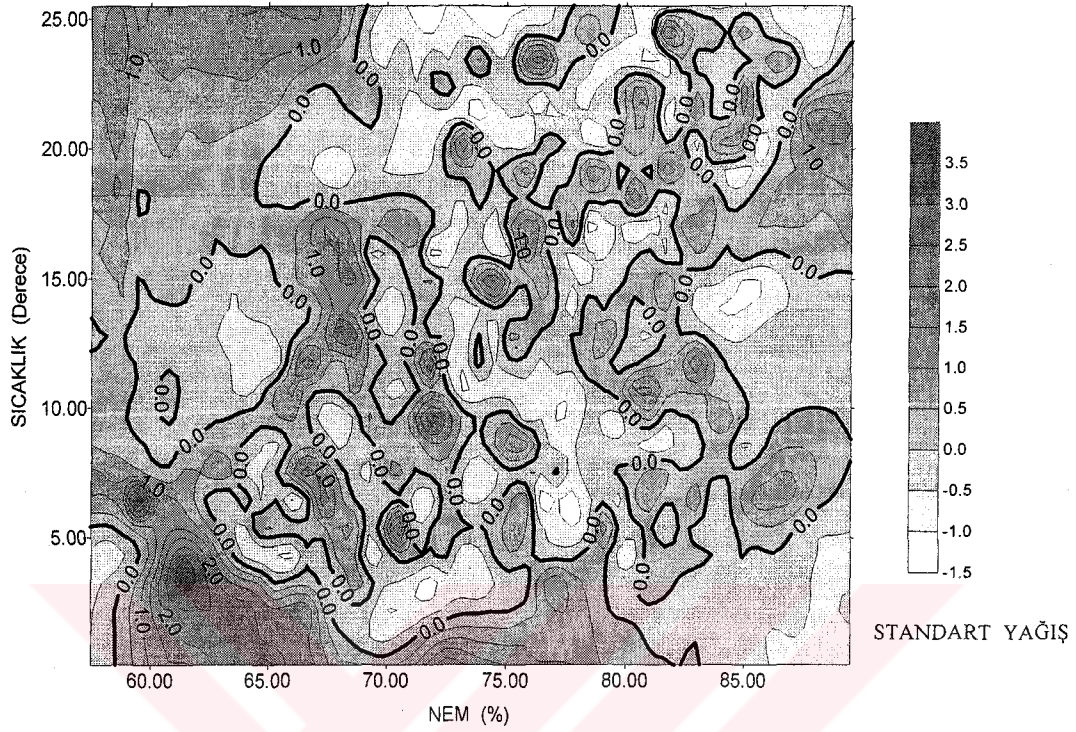
Şekil D. 18 Samsun için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



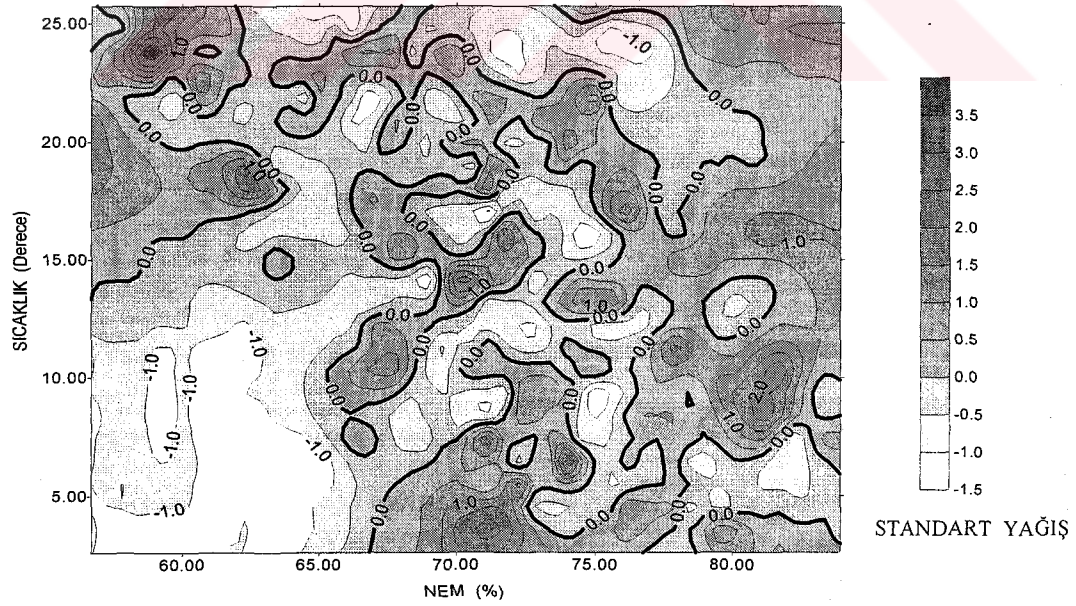
Şekil D. 19 Giresun için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



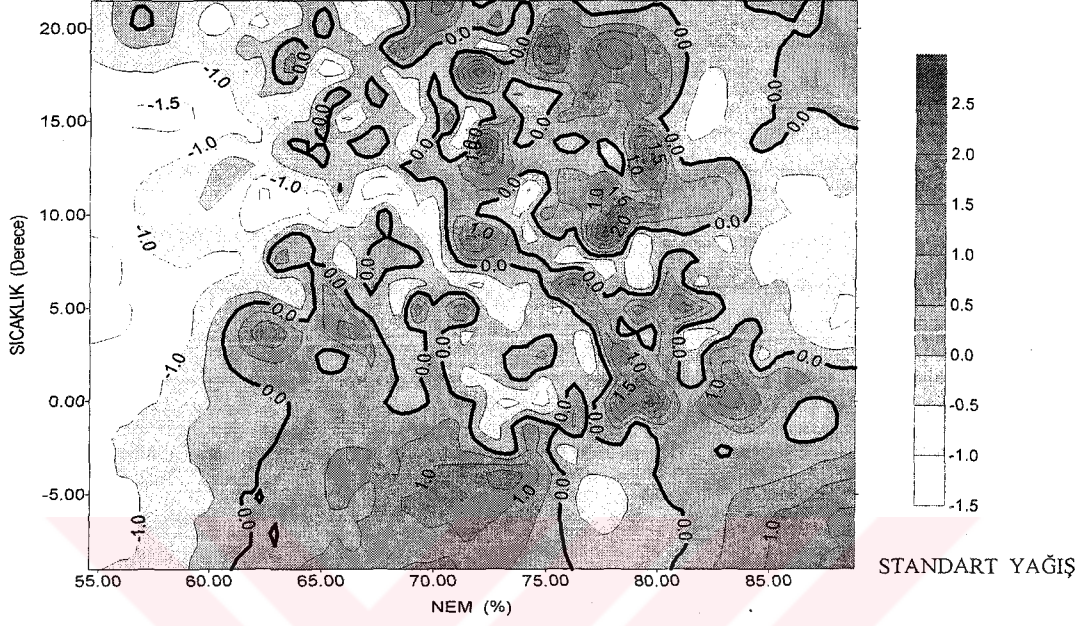
Şekil D. 20 Artvin için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



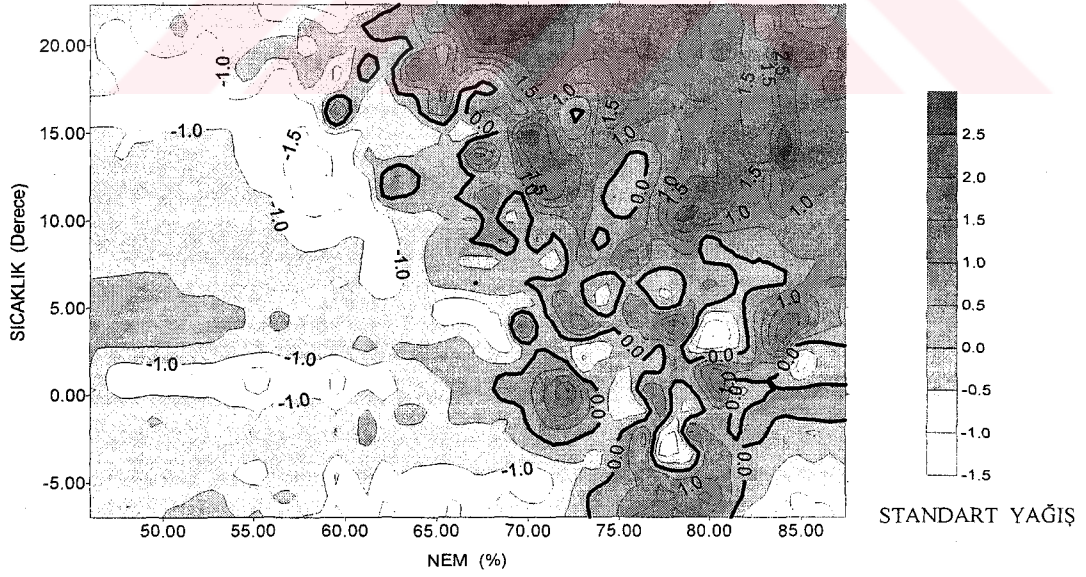
Şekil D. 21 Tekirdağ için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



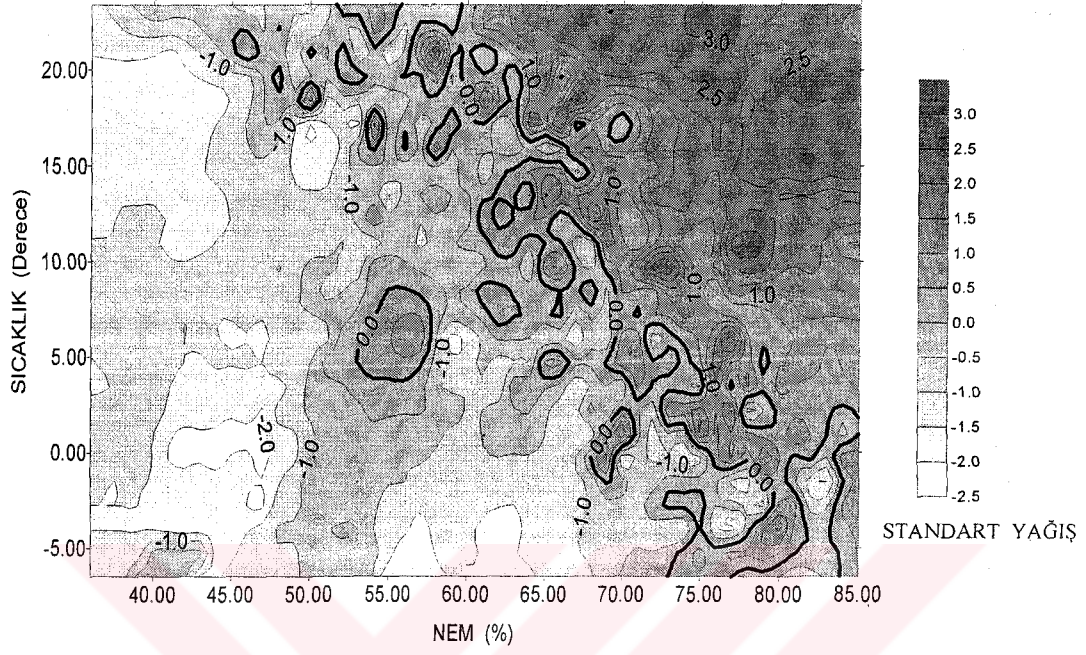
Şekil D. 22 İzmit (Kocaeli) için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



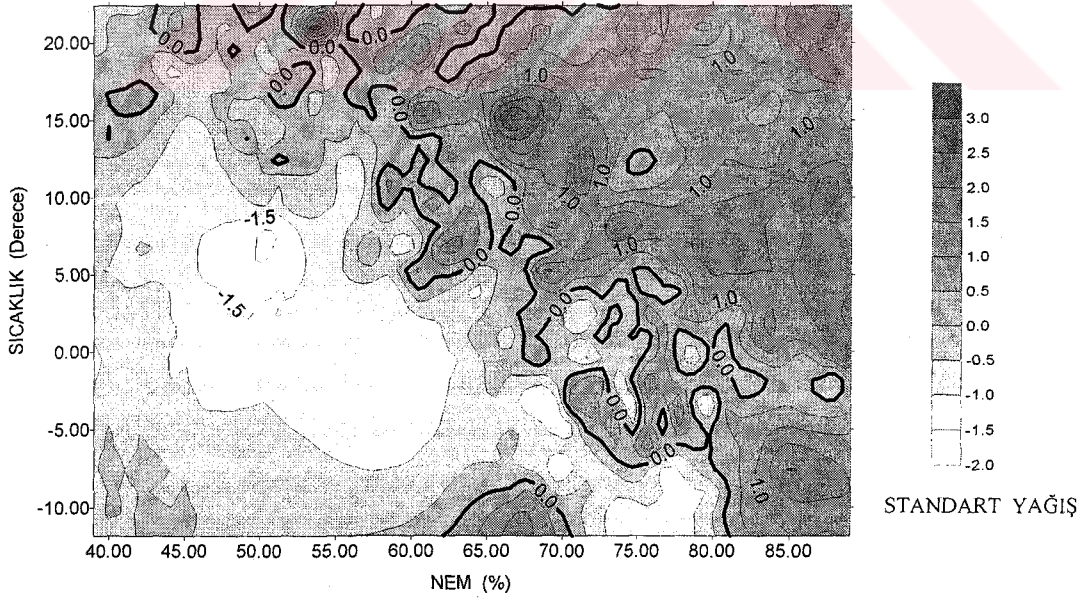
Şekil D. 23 Bolu için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



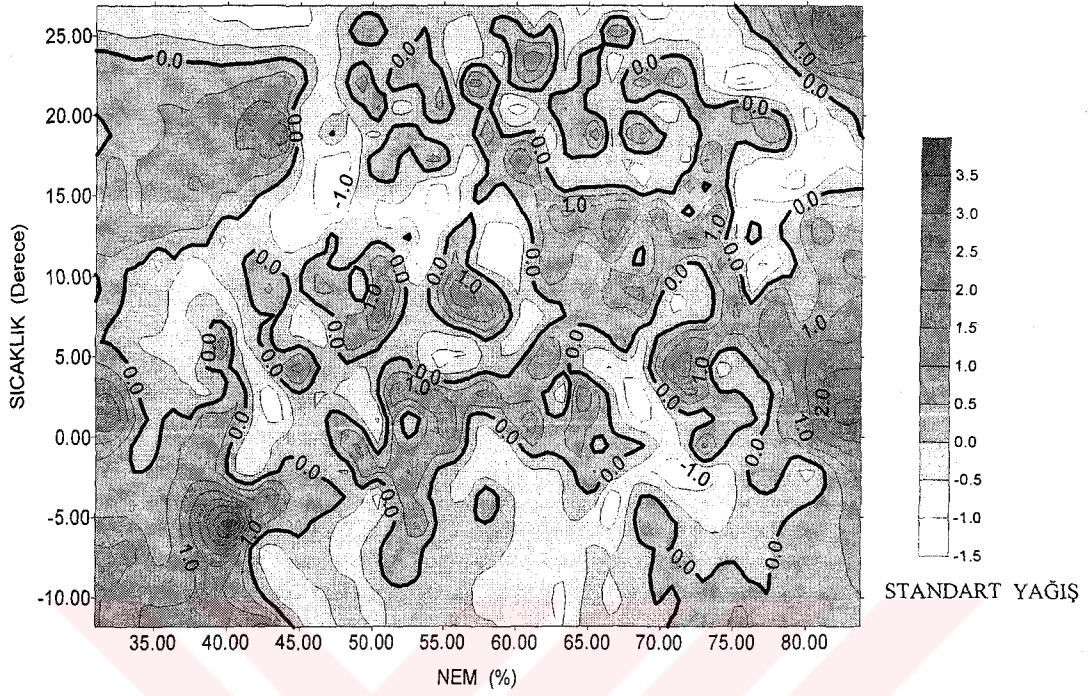
Şekil D. 24 Kastamonu için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



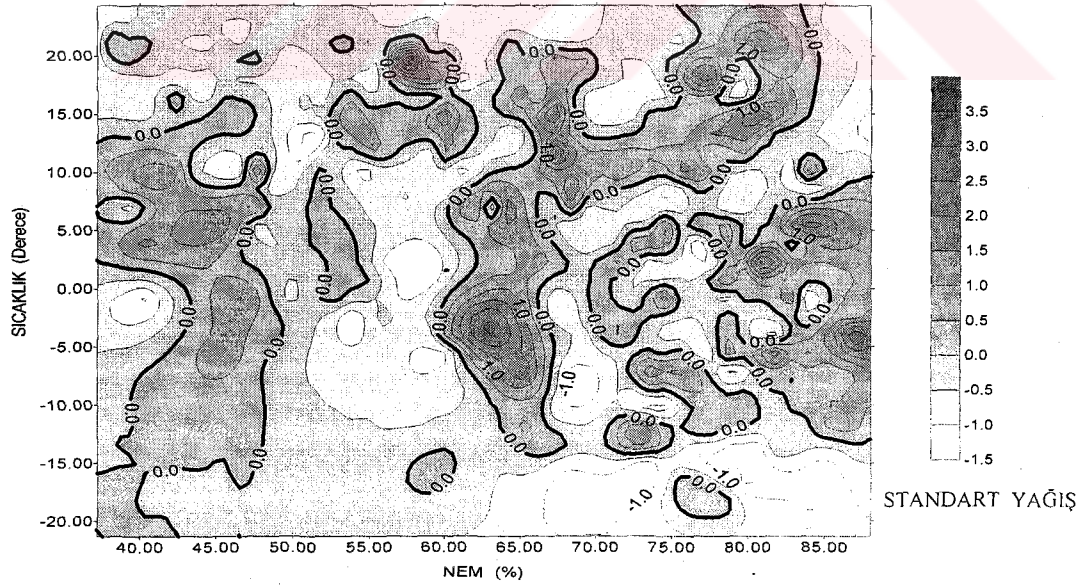
Şekil D. 25 Çorum için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



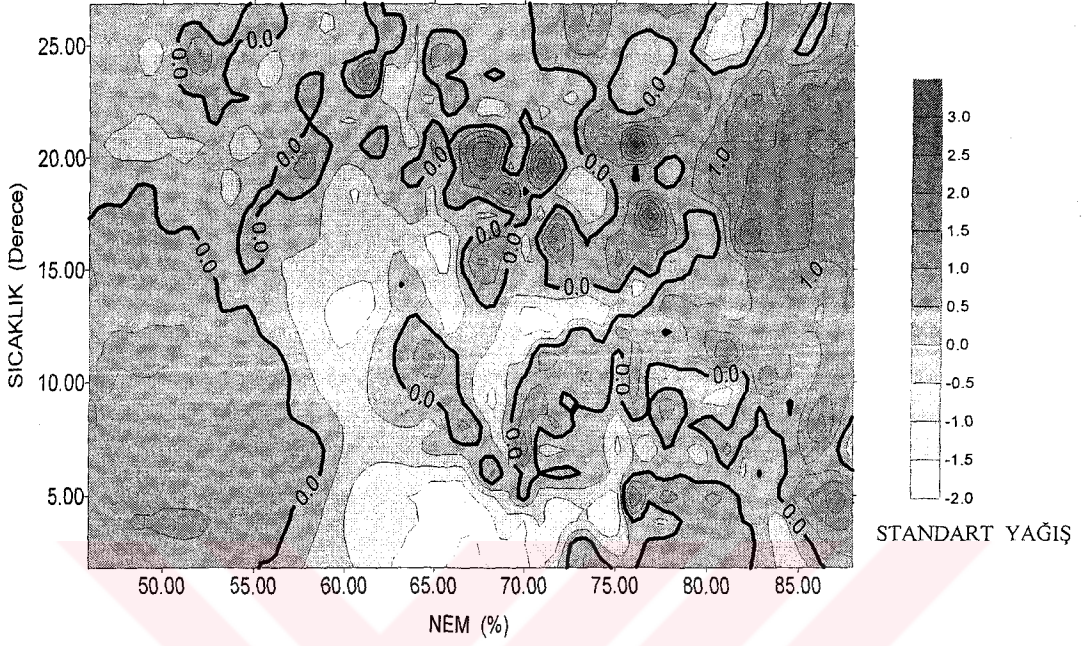
Şekil D. 26 Sivas için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



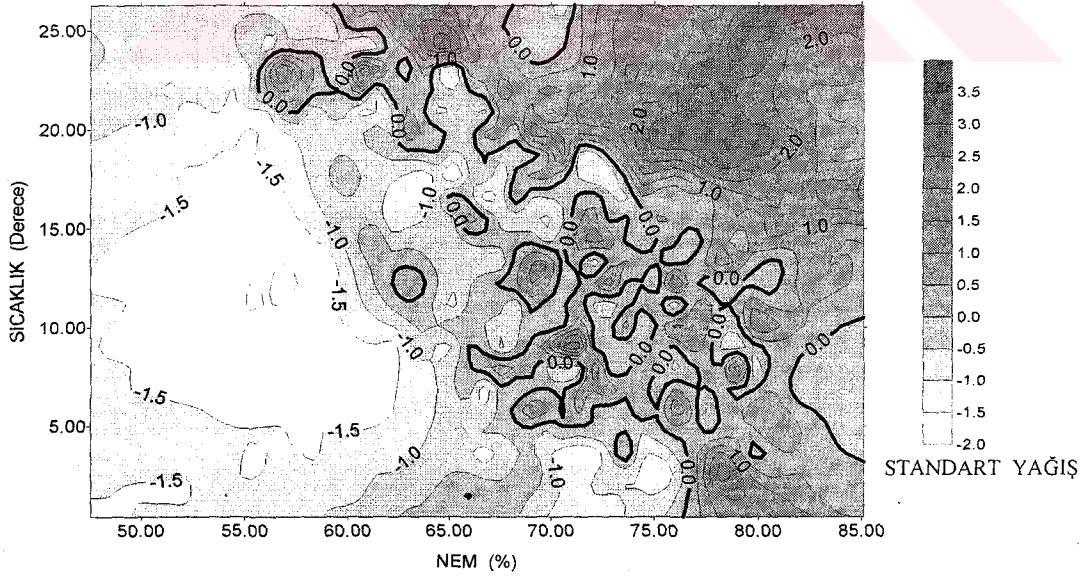
Şekil D. 27 Erzincan için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



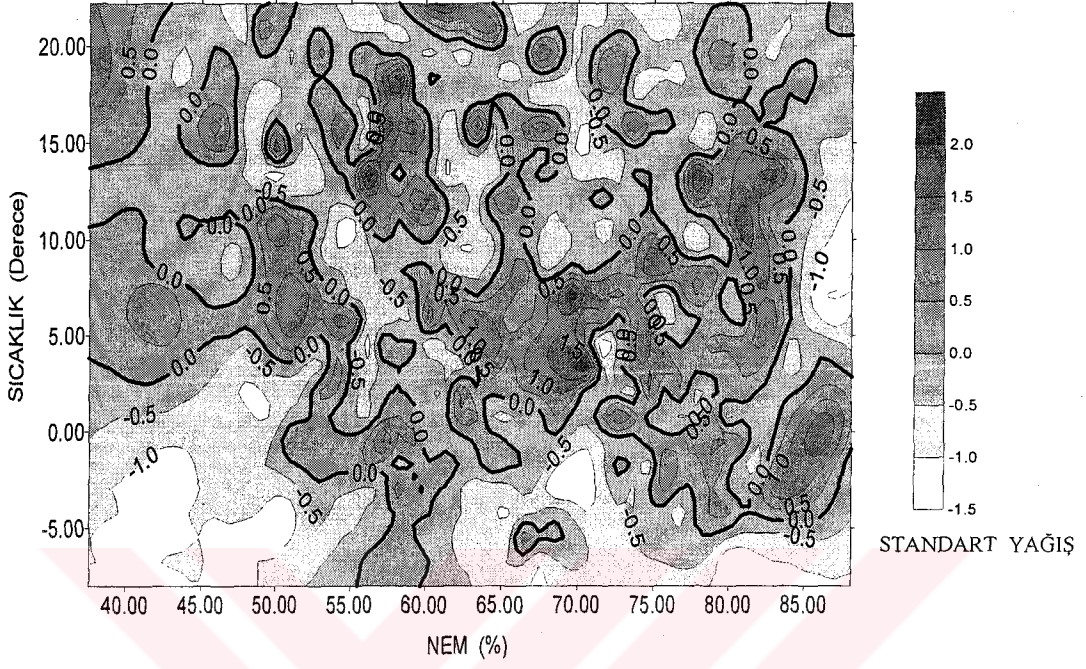
Şekil D. 28 Ağrı için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



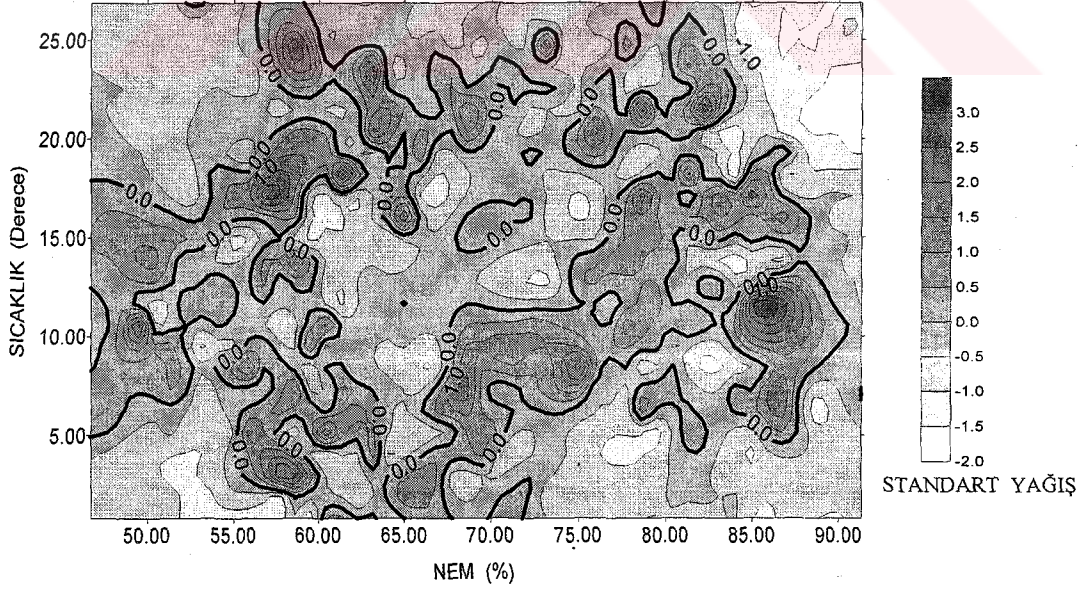
Şekil D. 29 Çanakkale için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



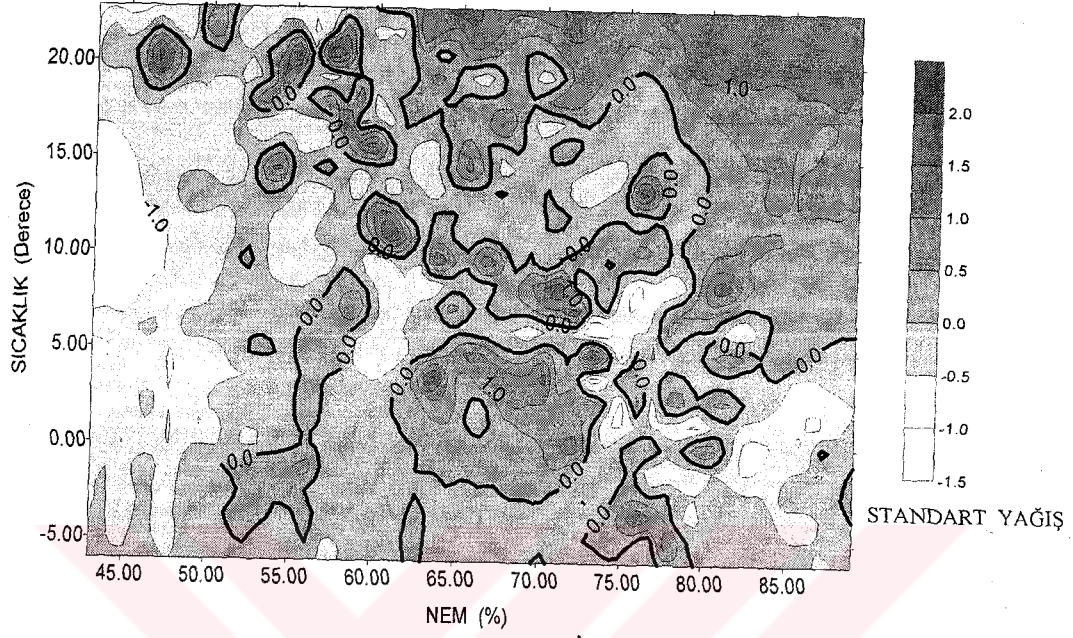
Şekil D. 30 Bursa için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



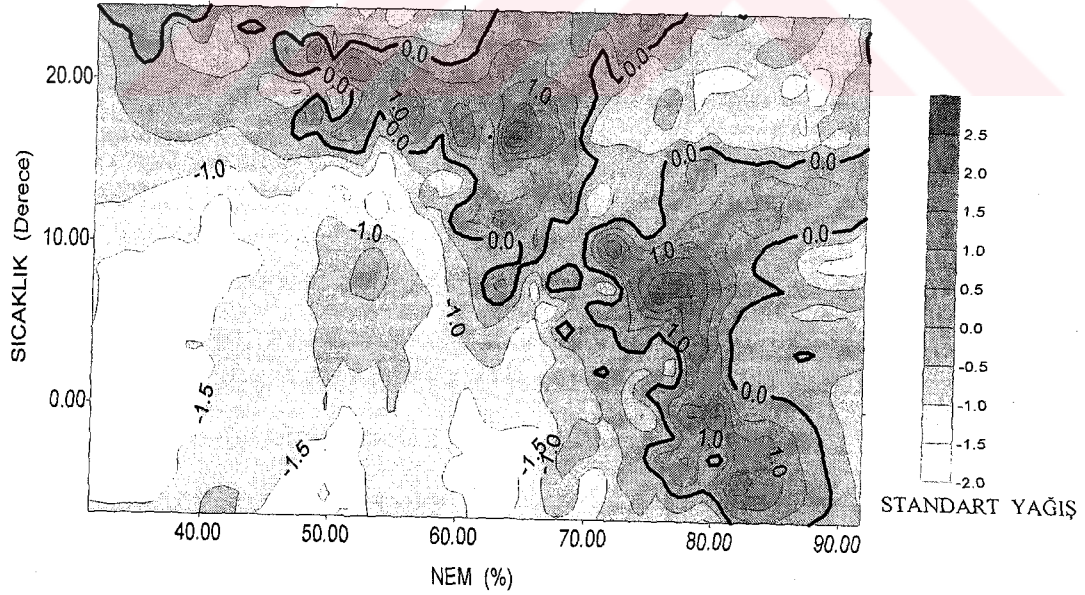
Şekil D. 31 Yozgat için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



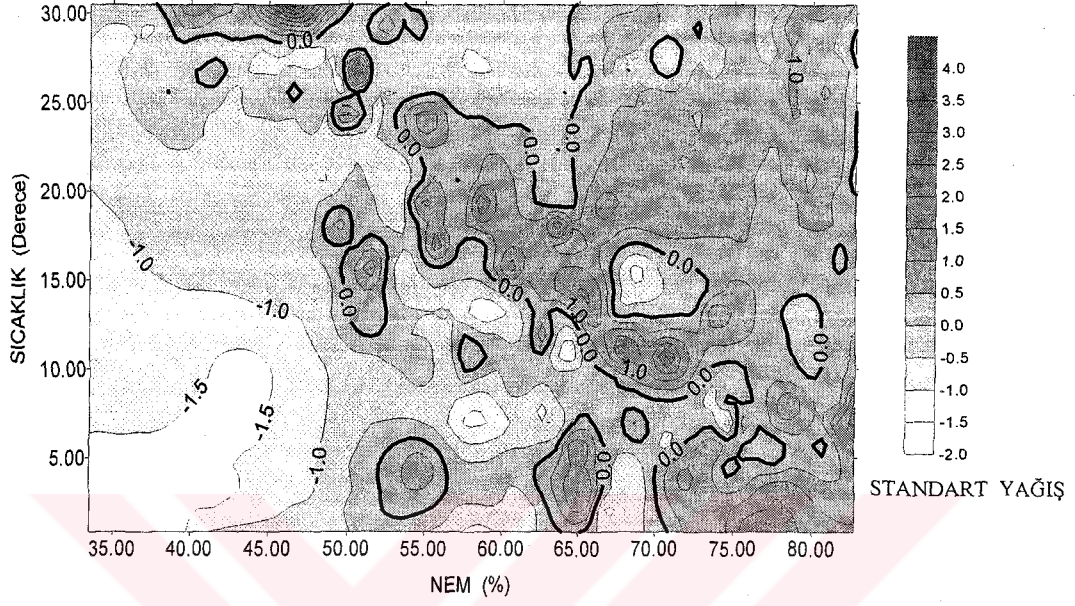
Şekil D. 32 Balıkesir için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



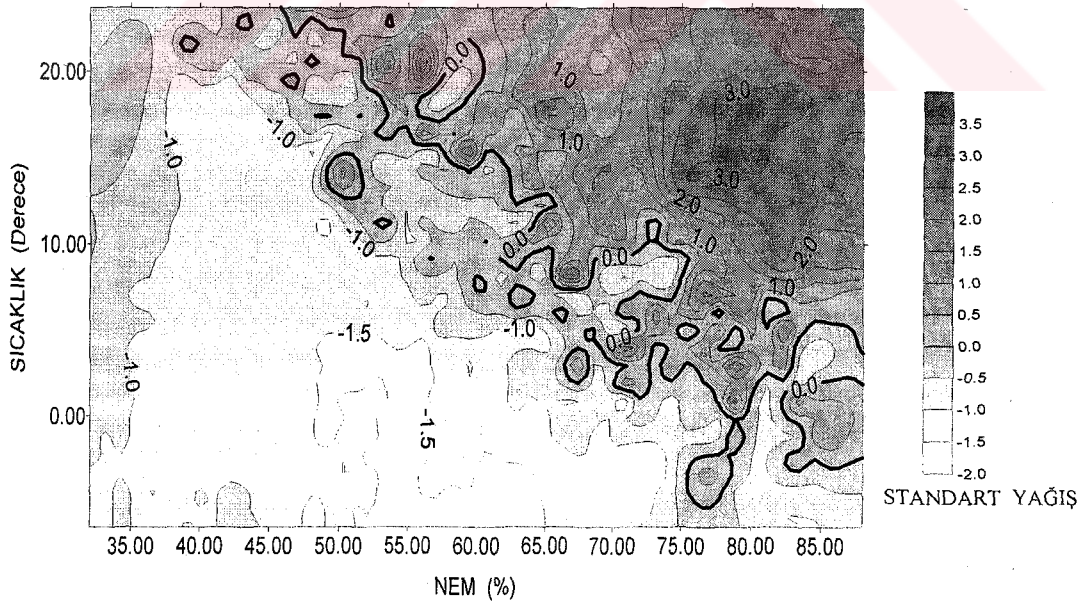
Şekil D. 33 Kütahya için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



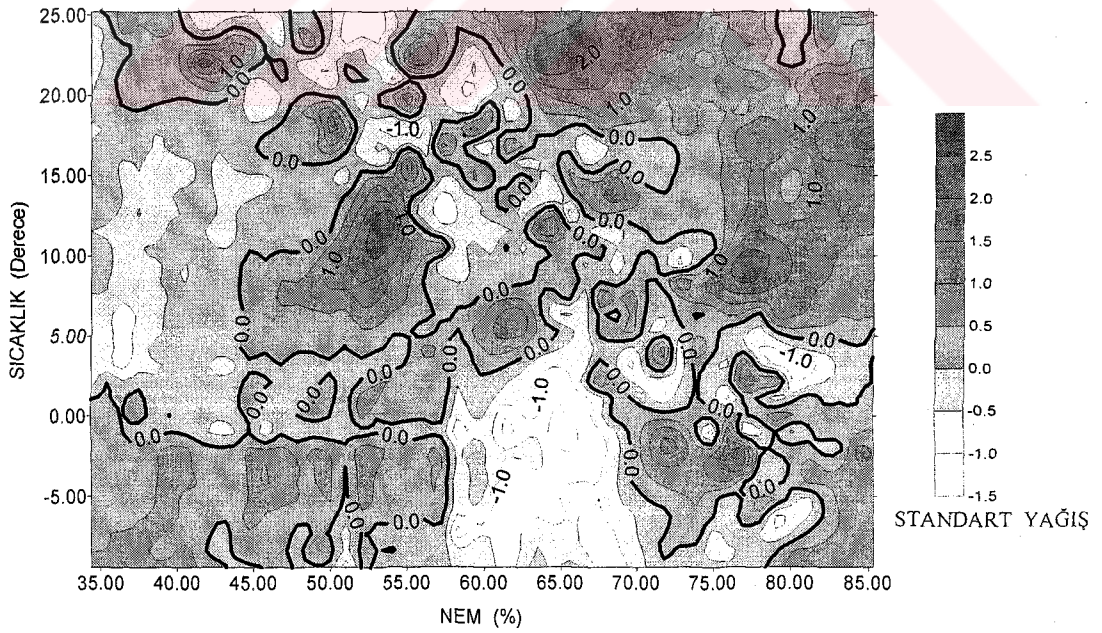
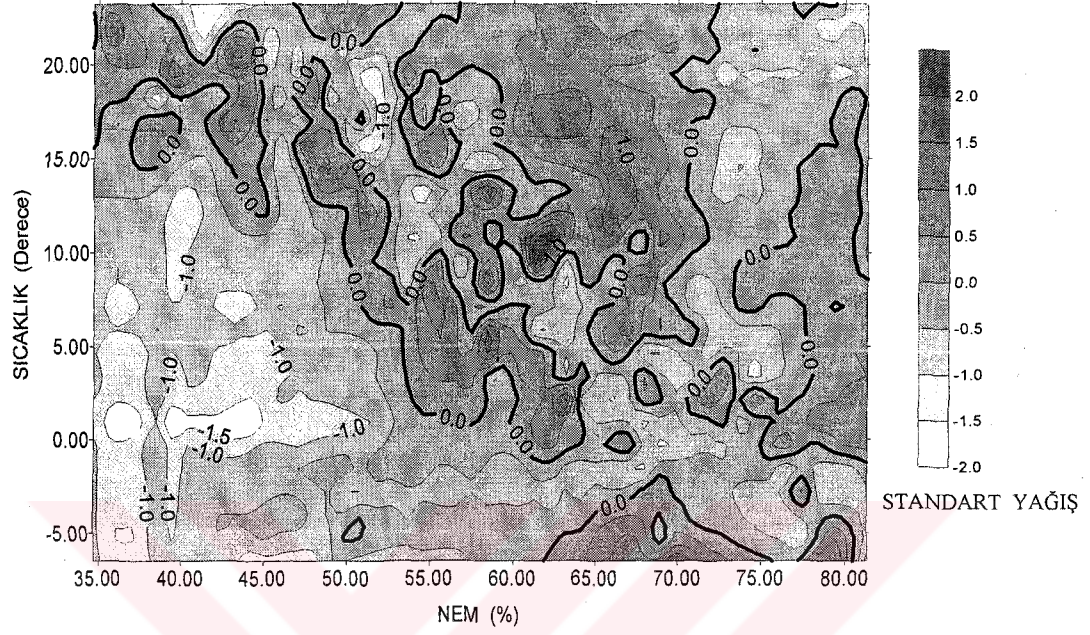
Şekil D. 34 Bitlis için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.

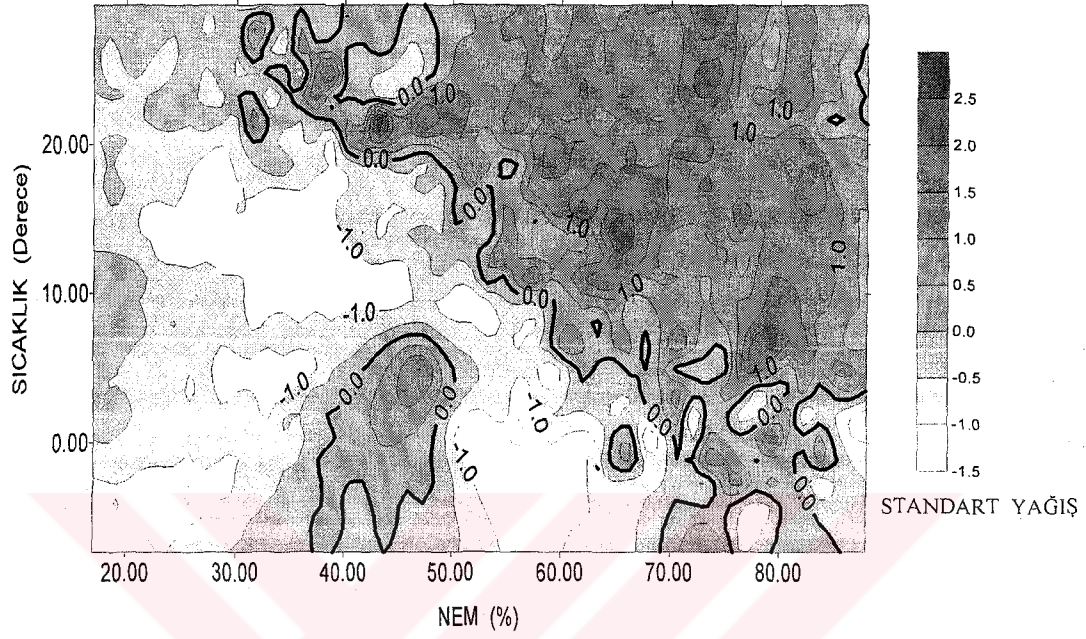


Şekil D. 35 Kahramanmaraş için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.

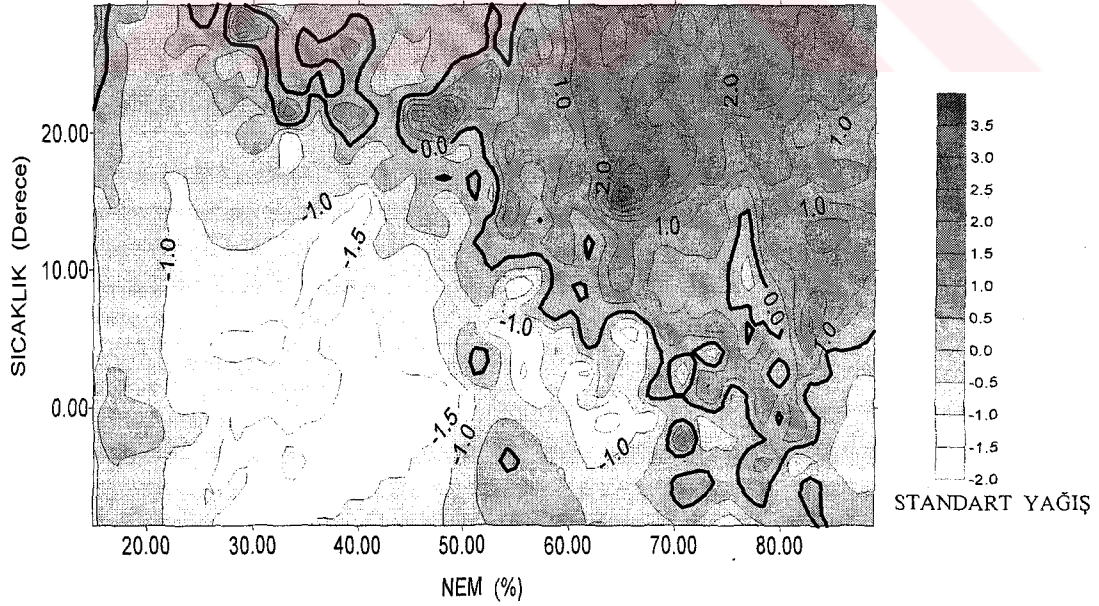


Şekil D. 36 Afyon için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.

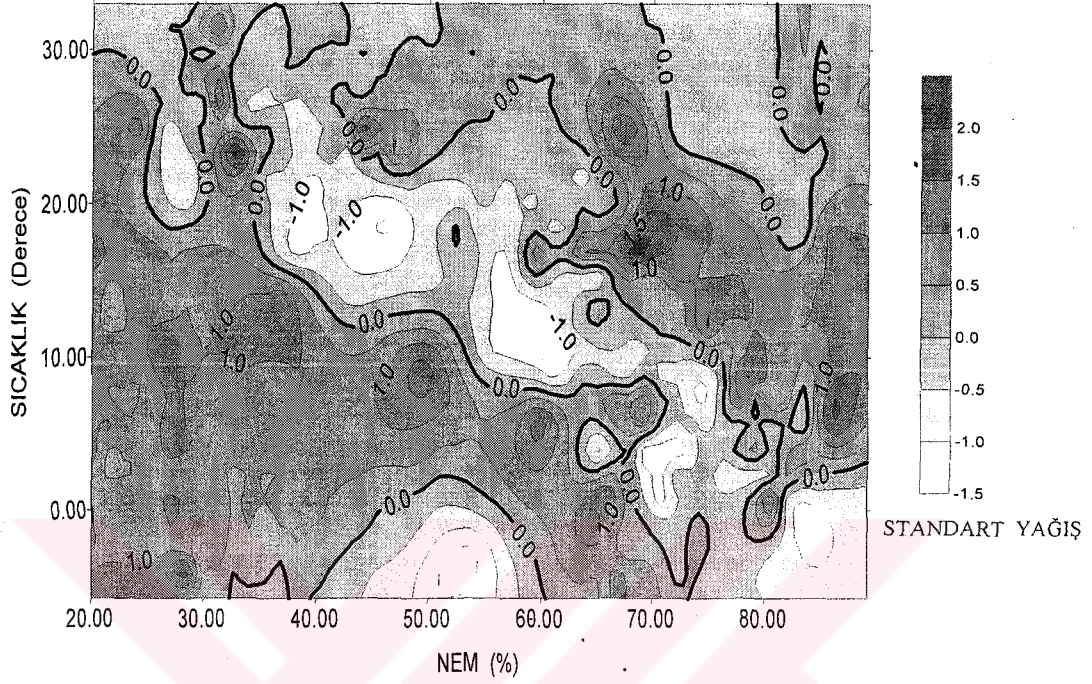




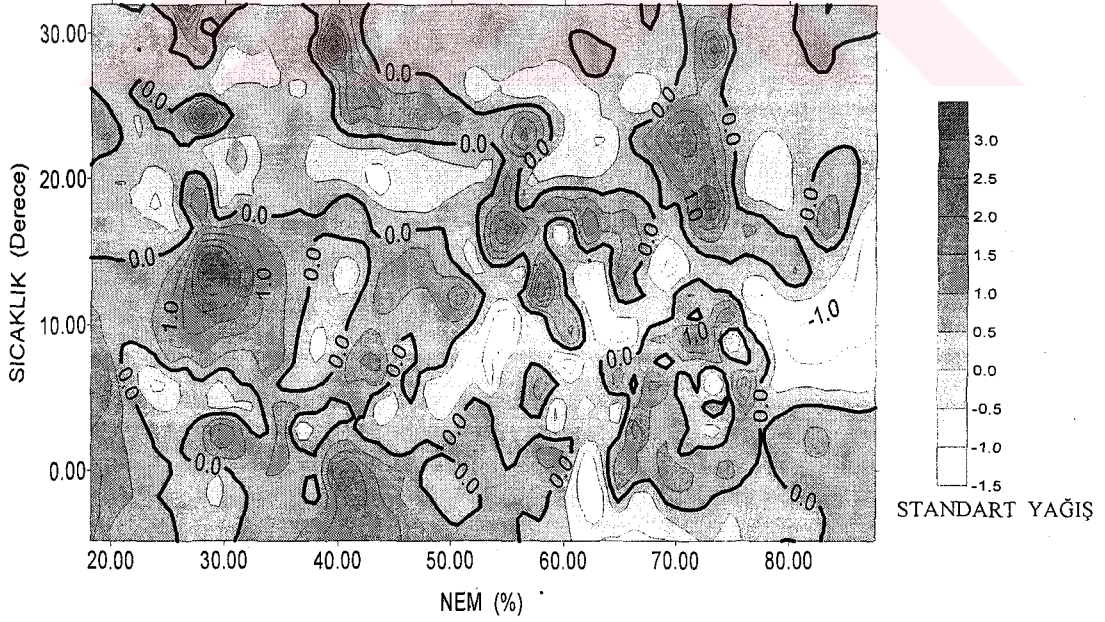
Şekil D. 39 Malatya için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



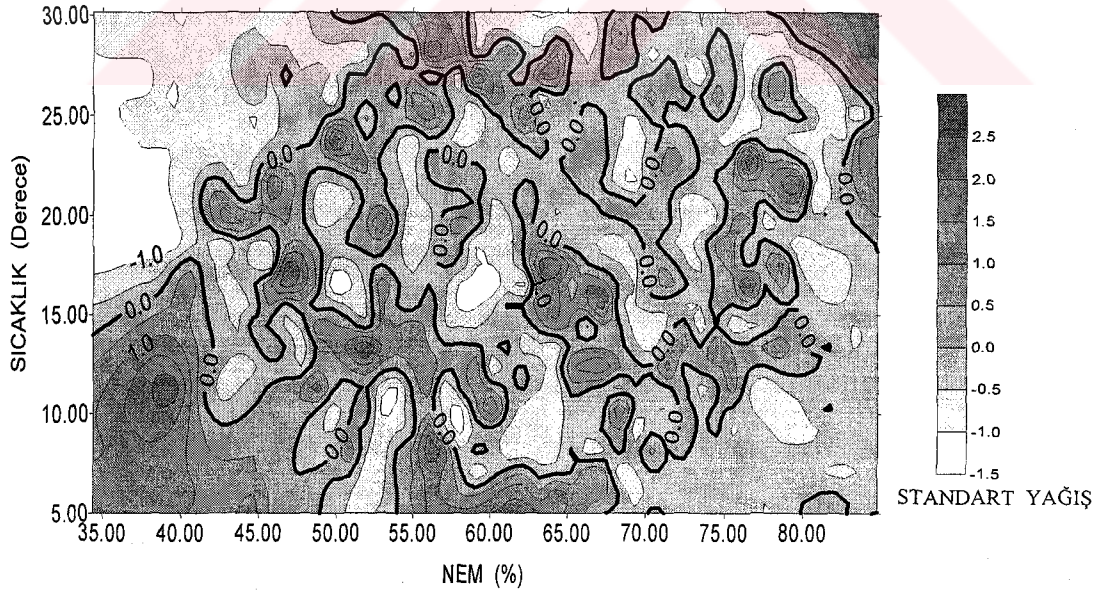
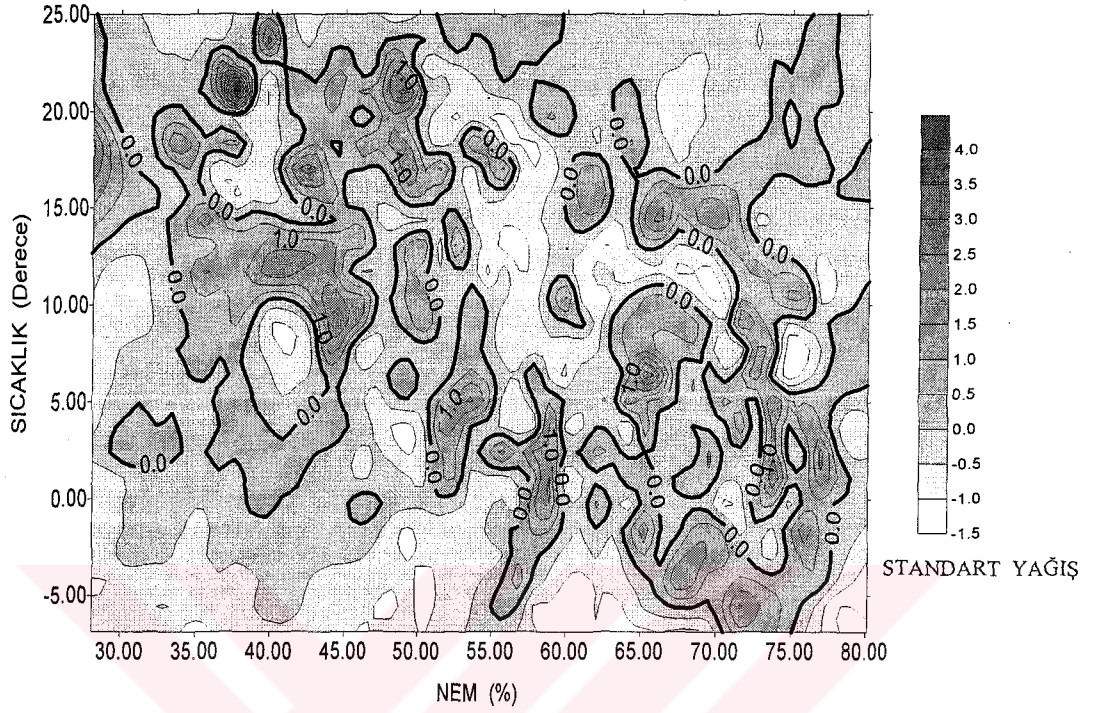
Şekil D. 40 Elazığ için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.

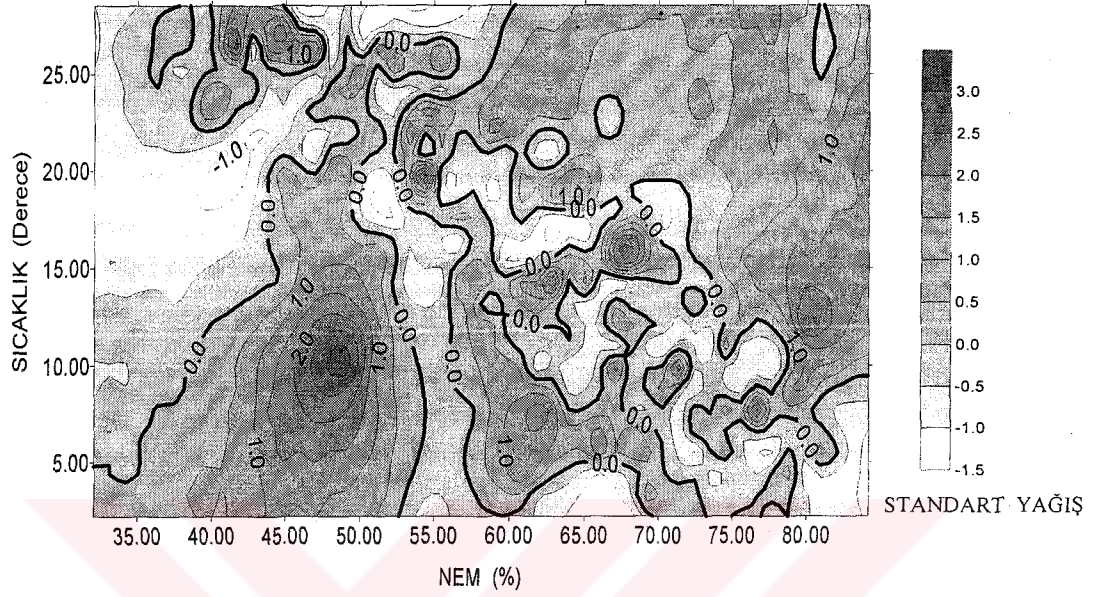


Şekil D. 41 Batman için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.

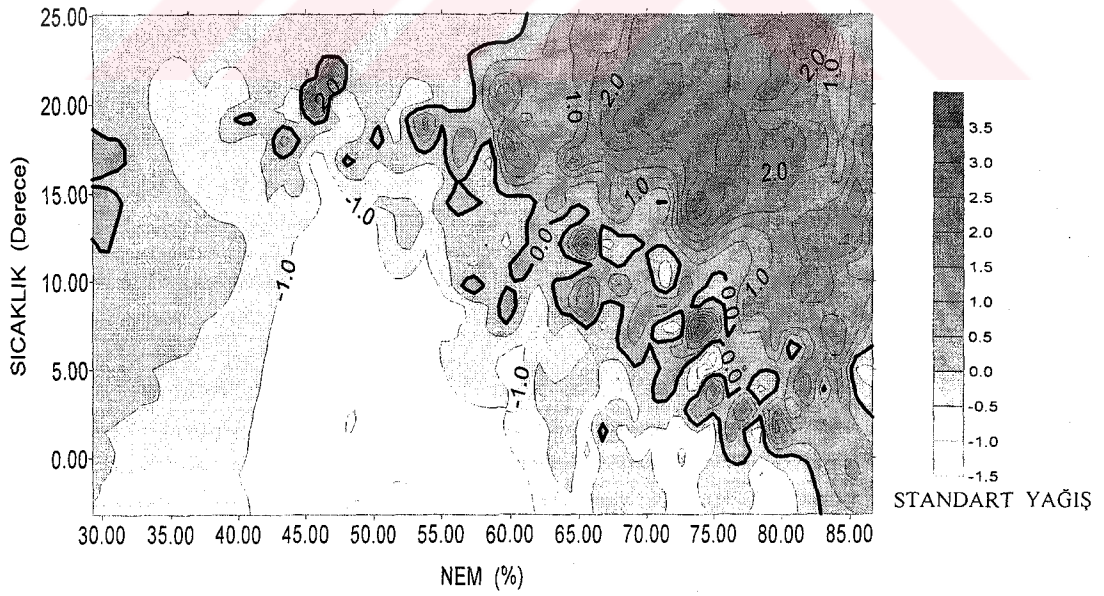


Şekil D. 42 Siirt için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.

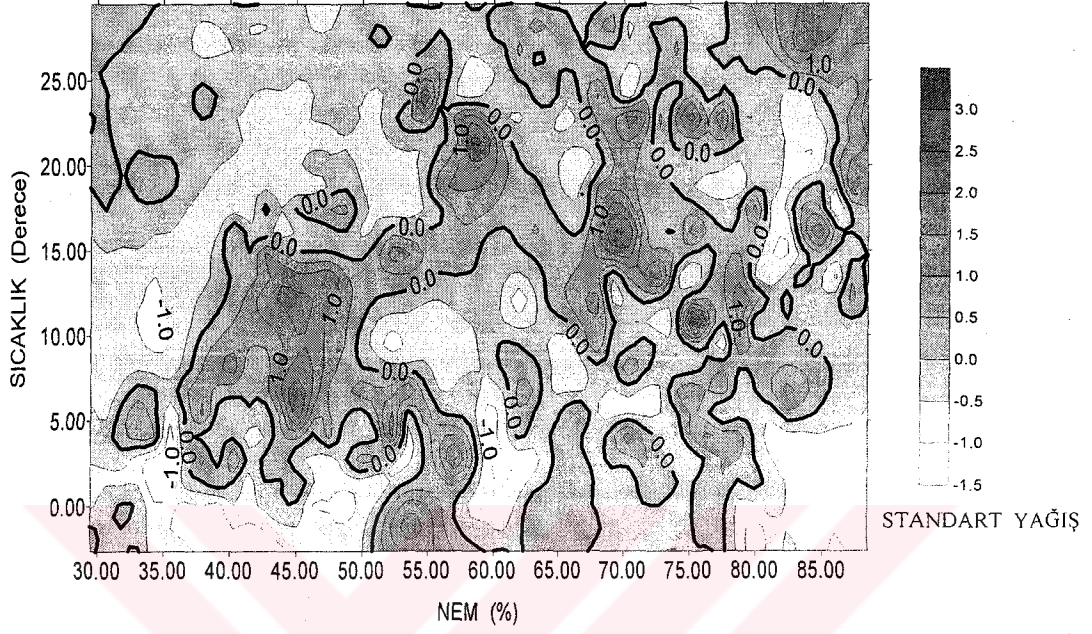




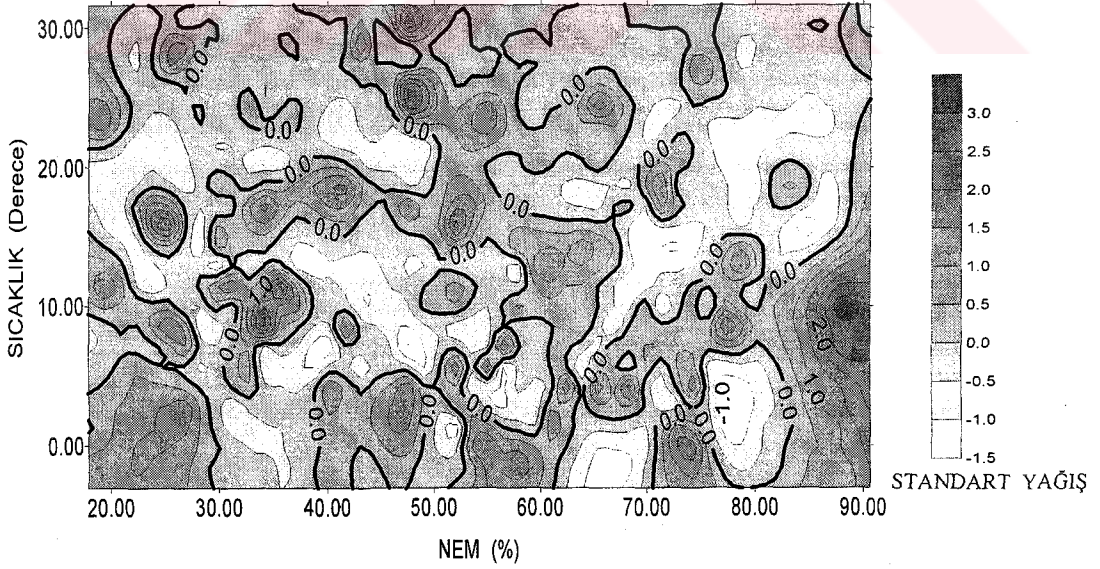
Şekil D. 45 Denizli için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



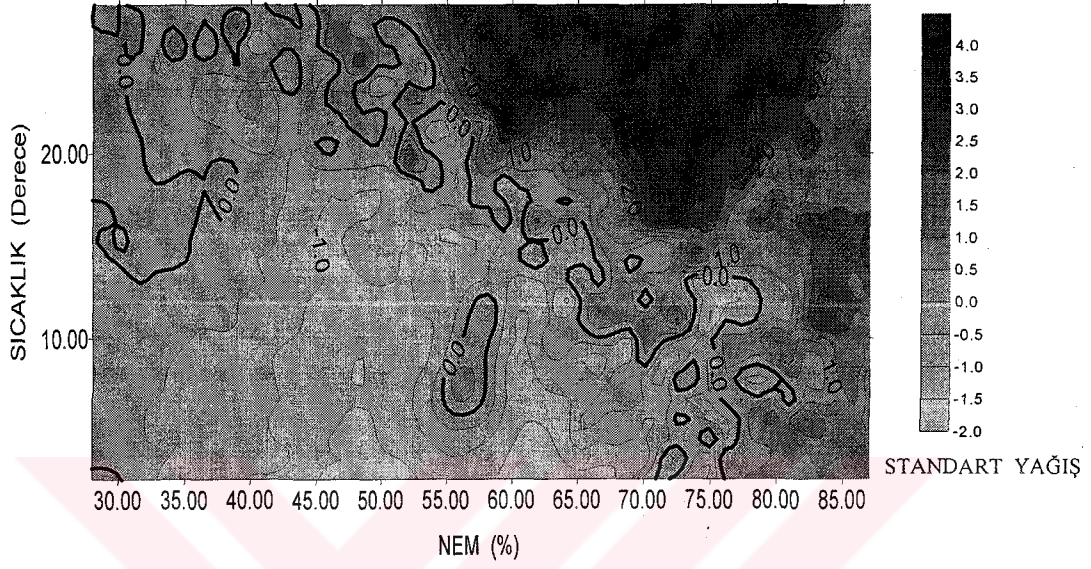
Şekil D. 46 Isparta için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



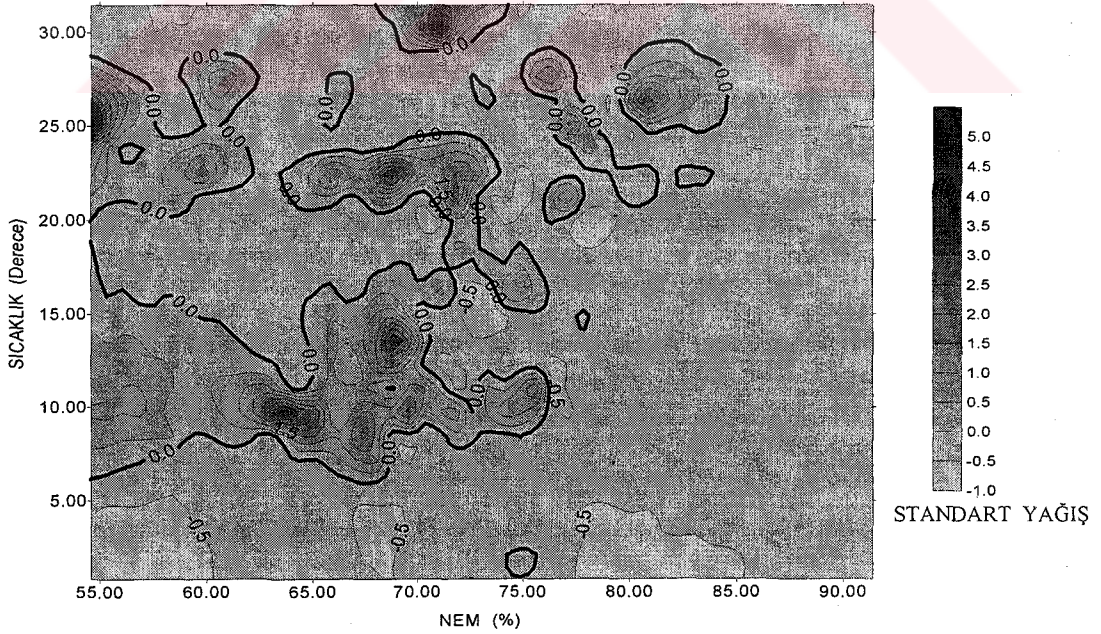
Şekil D. 47 Gaziantep için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



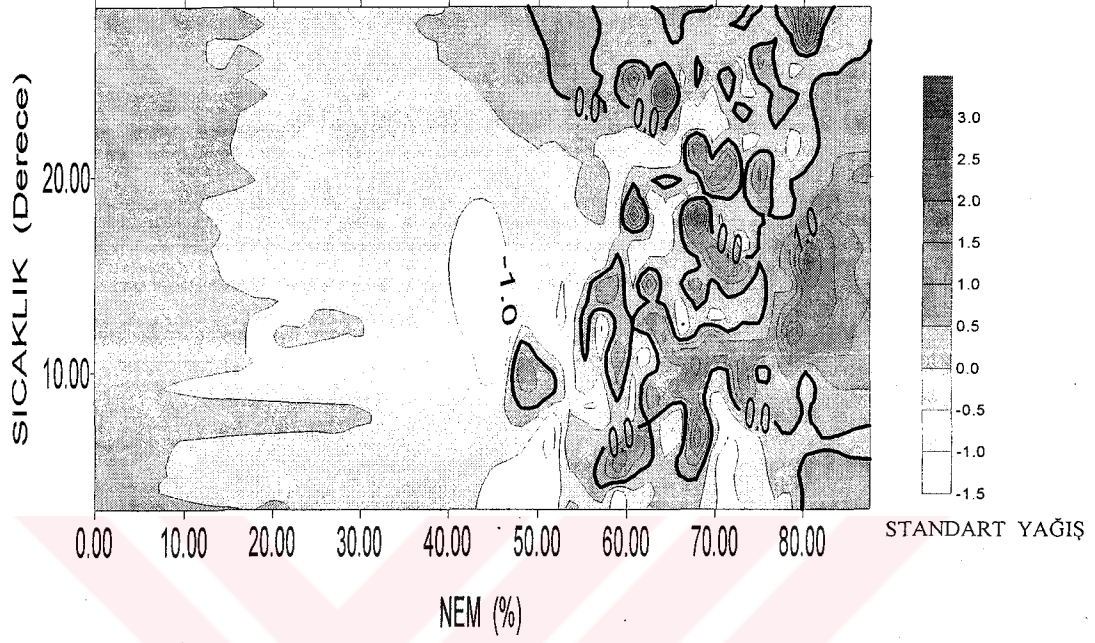
Şekil D. 48 Mardin için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



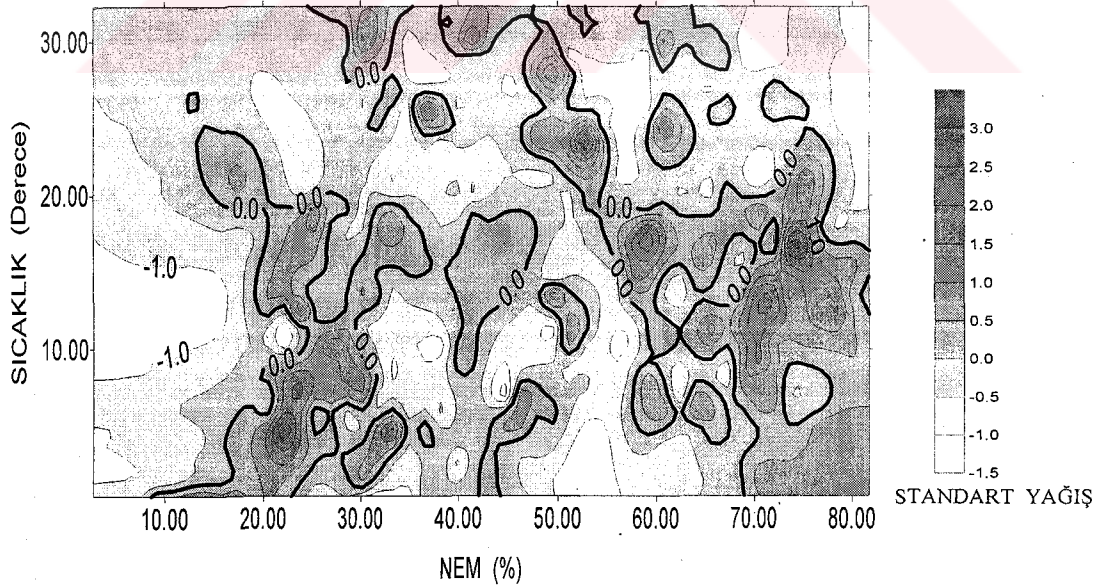
Şekil D. 49 Muğla için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



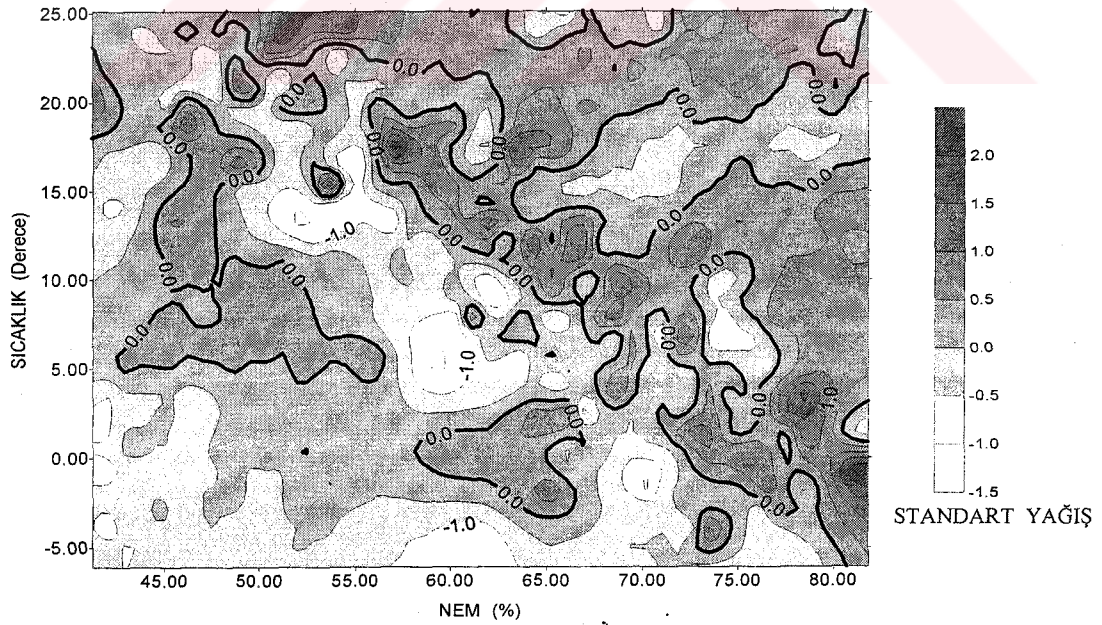
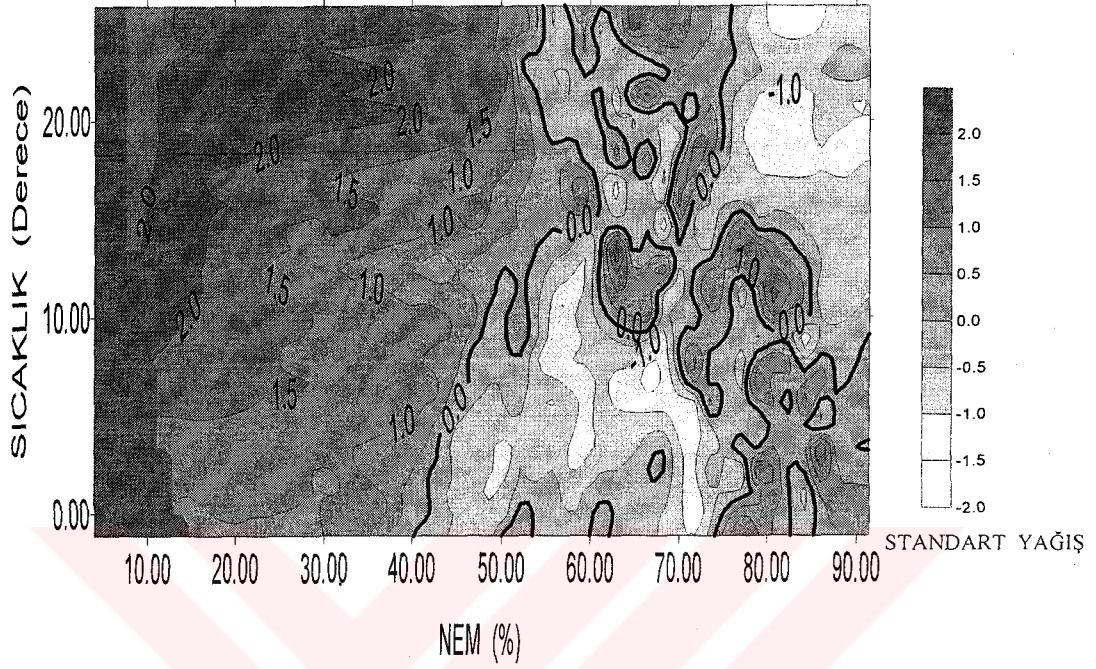
Şekil D. 50 Mersin için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.

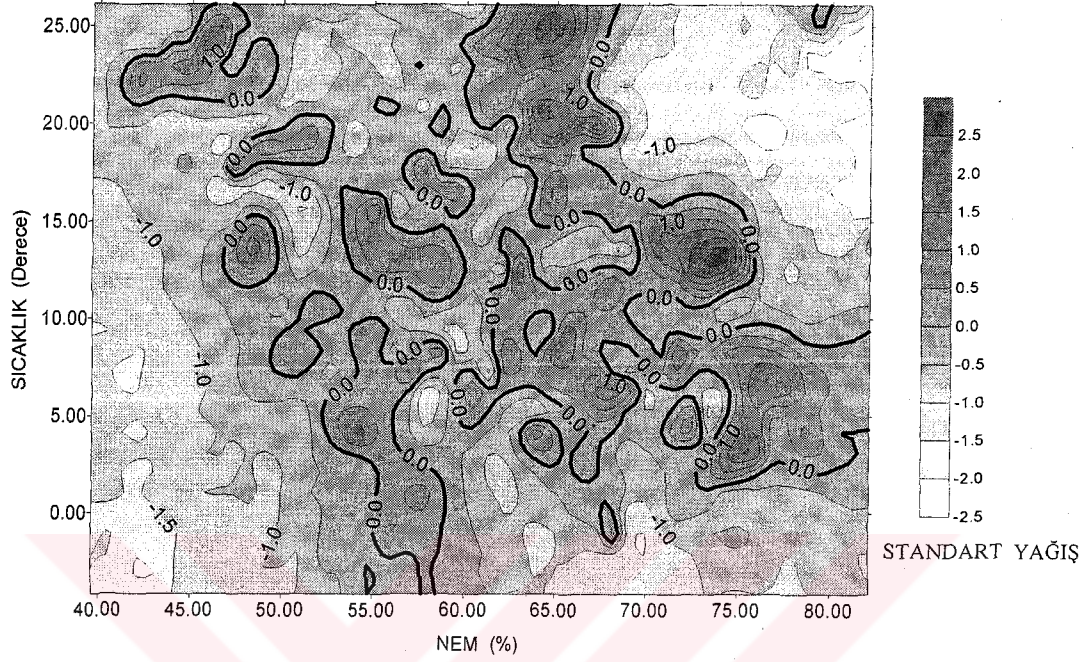


Şekil D. 51 Antakya (Hatay) için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.

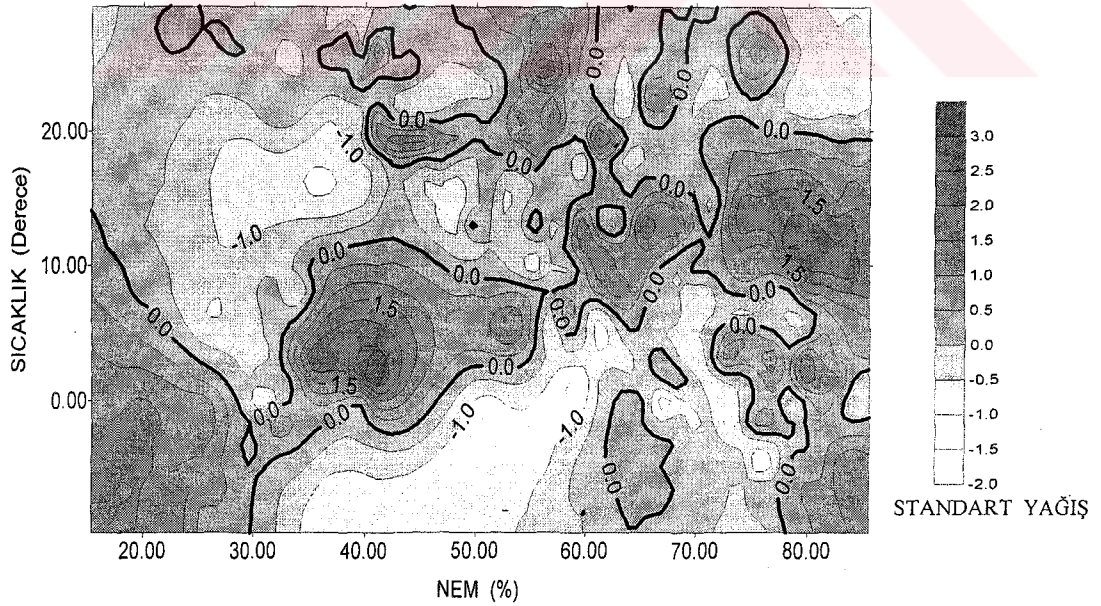


Şekil D. 52 Adıyaman için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.

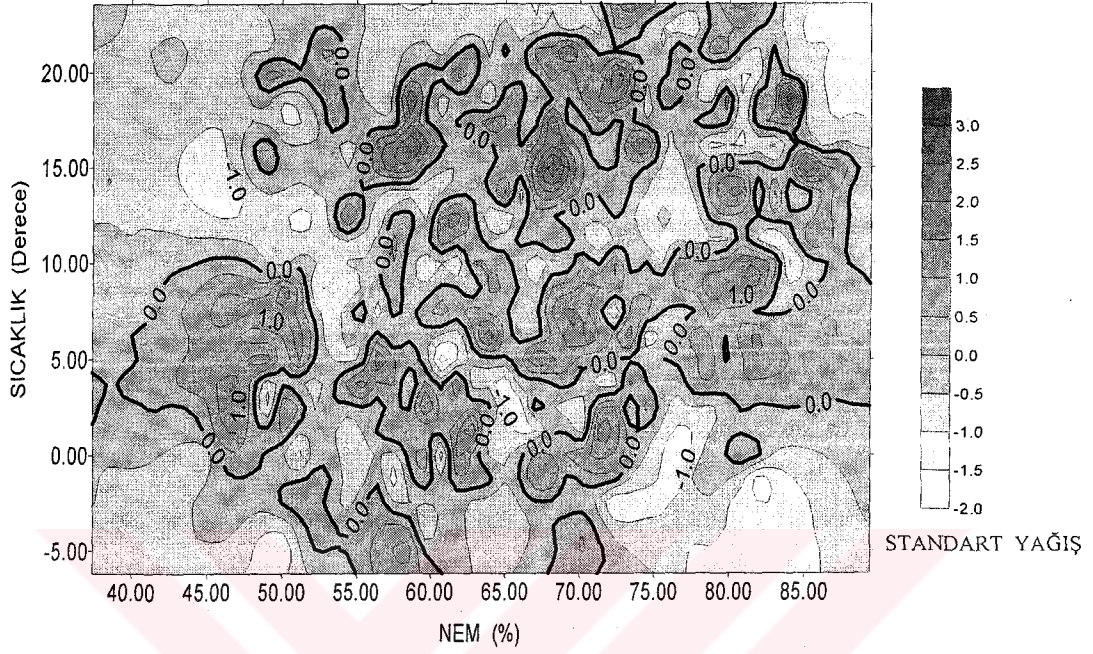




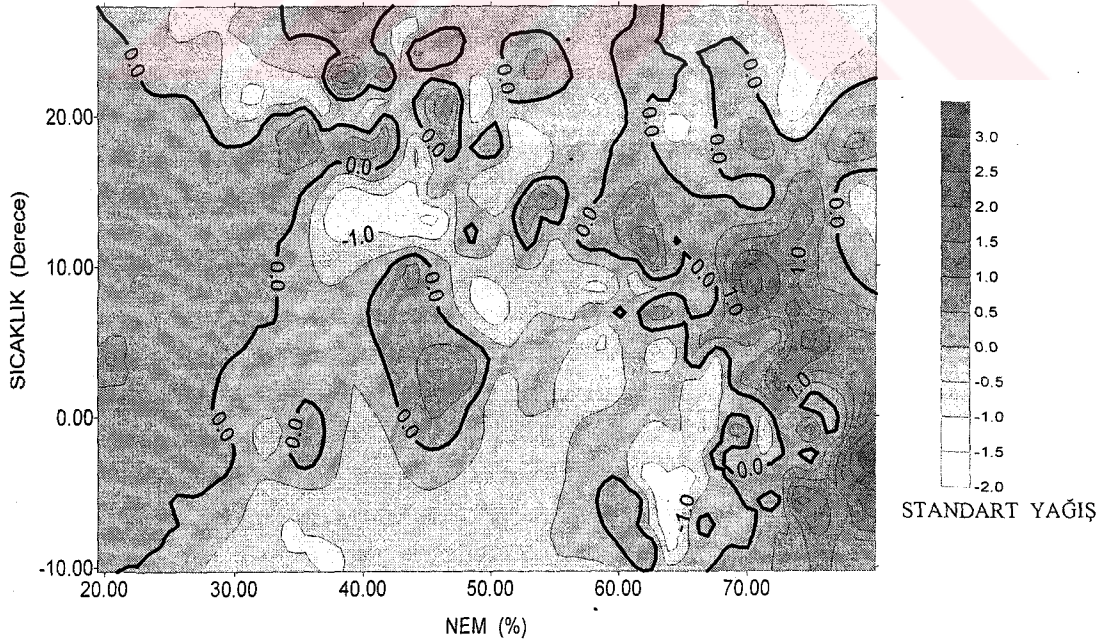
Şekil D. 55 Amasya için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



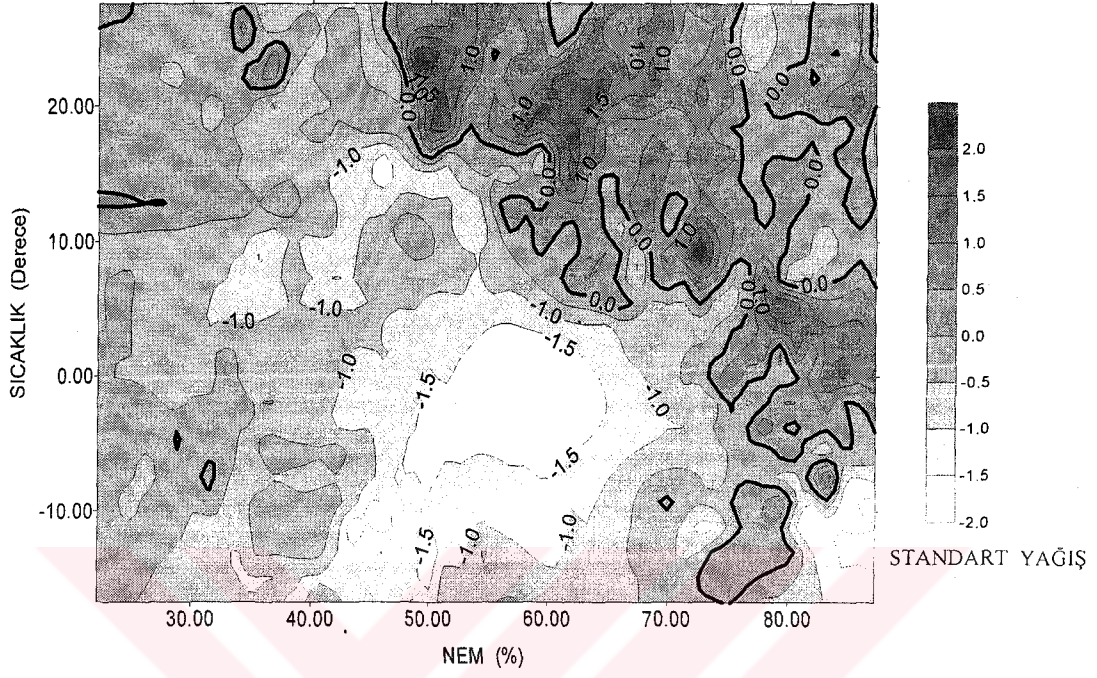
Şekil D. 56 Bingöl için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



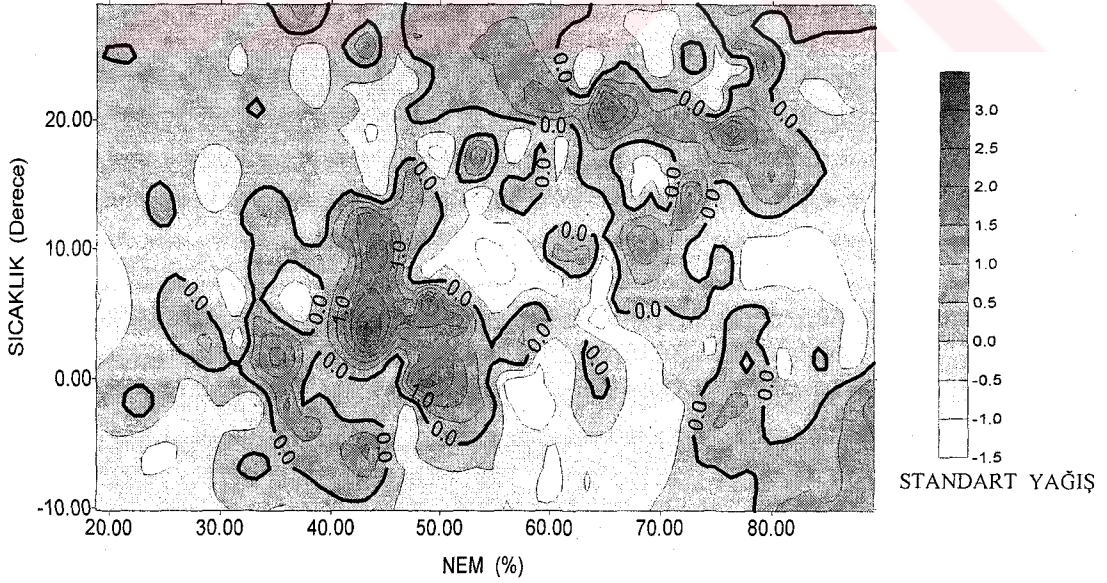
Şekil D. 57 Eskişehir için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



Şekil D. 58 Hakkari için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



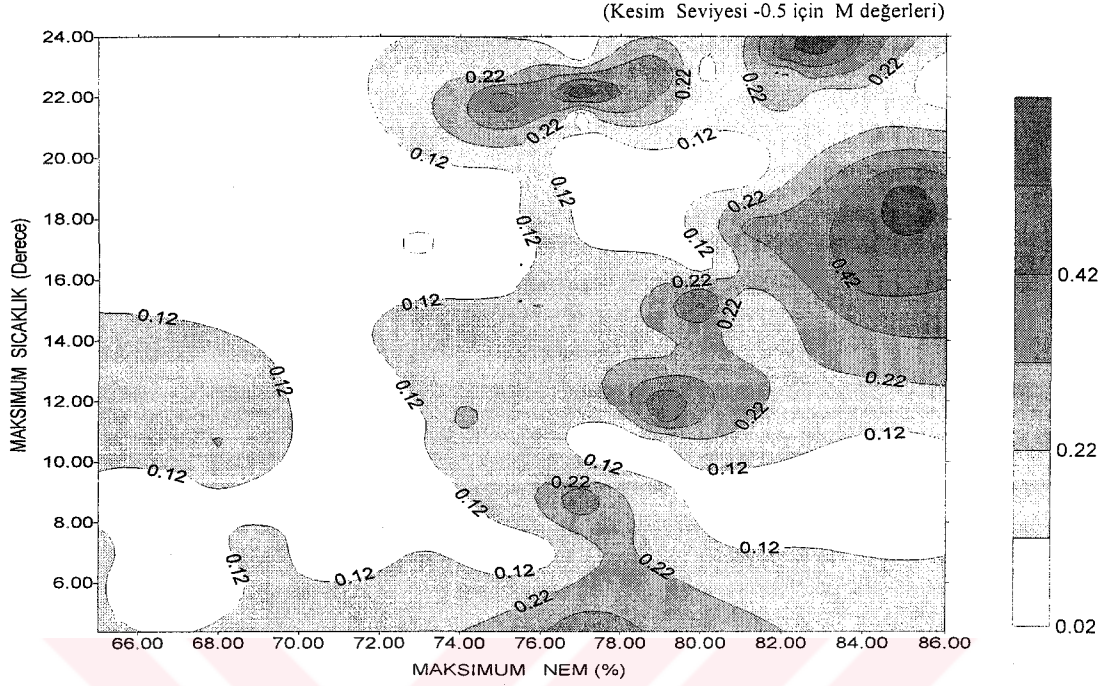
Şekil D. 59 Muş için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.



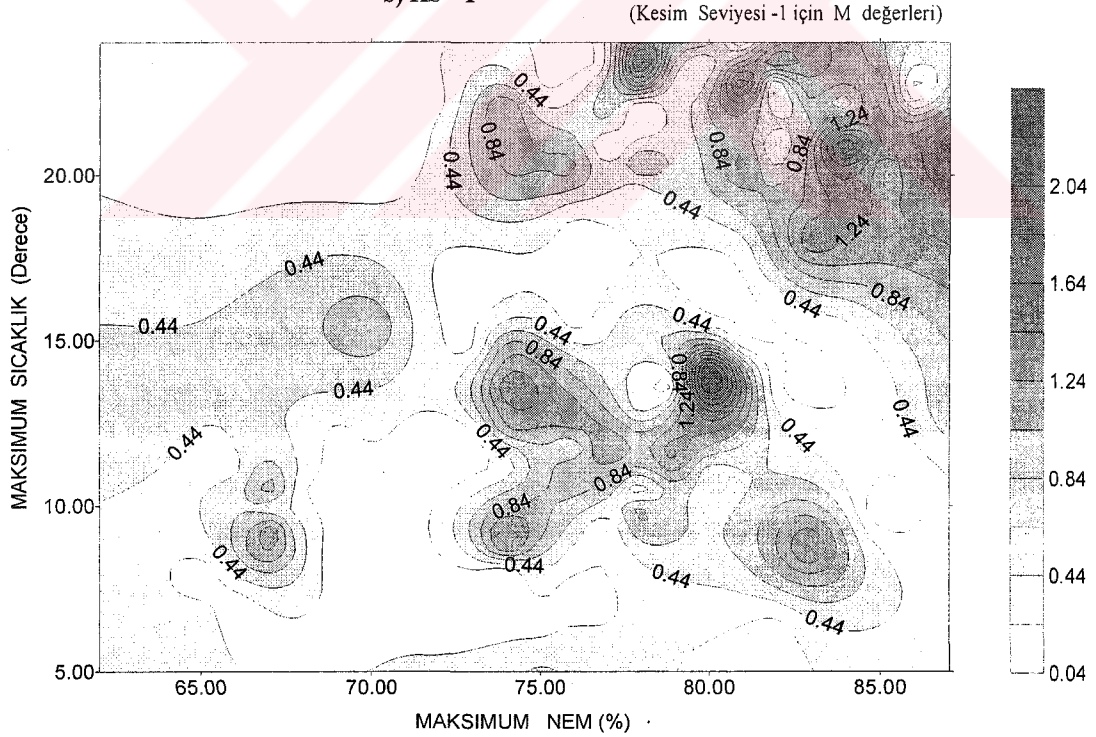
Şekil D. 60 Tunceli için aylık nem, sıcaklık ve standartlaştırılmış yağış arasındaki üçlü ilişki.

**EK E: MAKSİMUM SICAKLIK VE NEM, ORTALAMA SICAKLIK VE
NEMDE M VE L DEĞERLERİ**

a) Kesim Seviyesi = -0.5



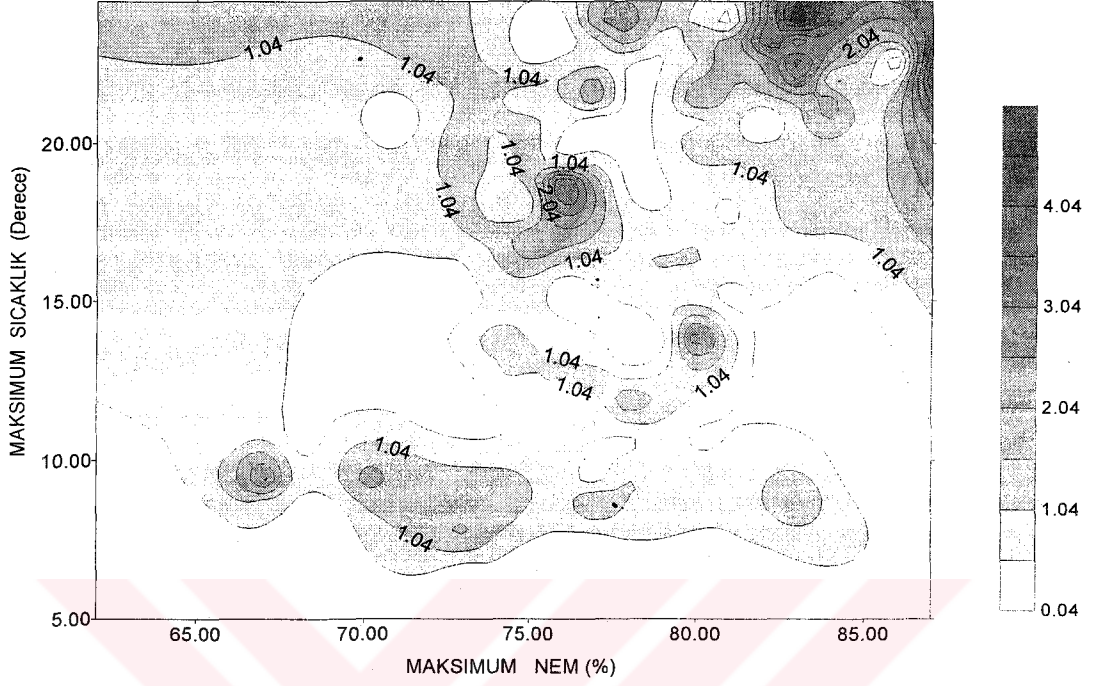
b) KS=-1



Şekil E.1a Kesim seviyesi -0.5 ve -1'de Rize için maksimum nem ve sıcaklıkta kuraklık genliği (M) değişimi.

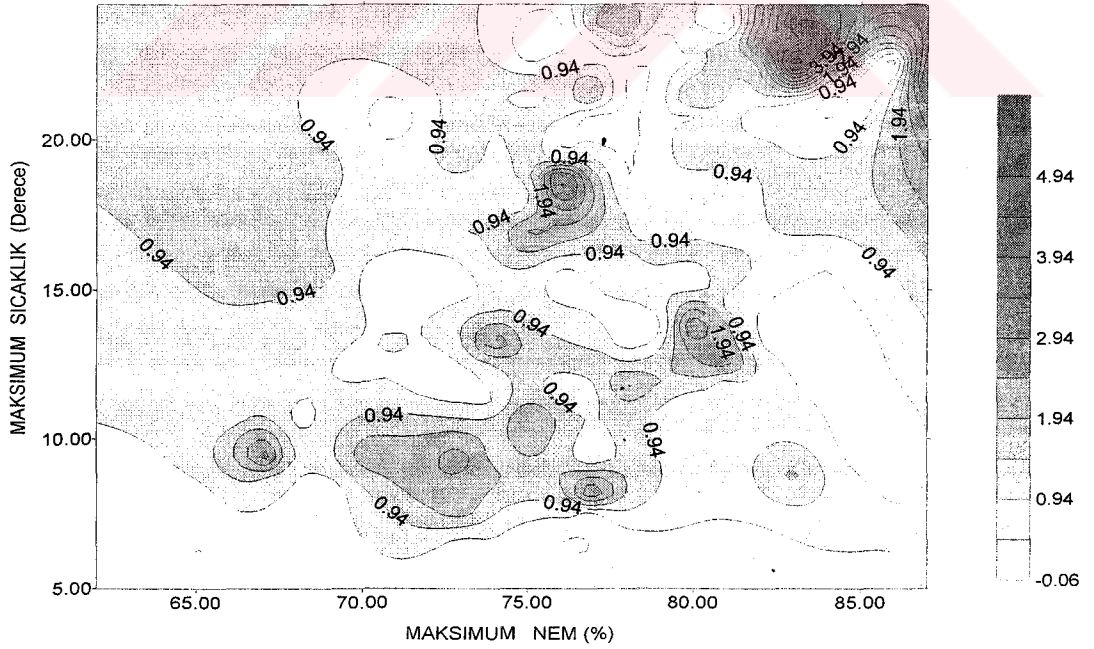
a) KS=-1.5

(Kesim Seviyesi -1.5 için M değerleri)



b) KS=-2

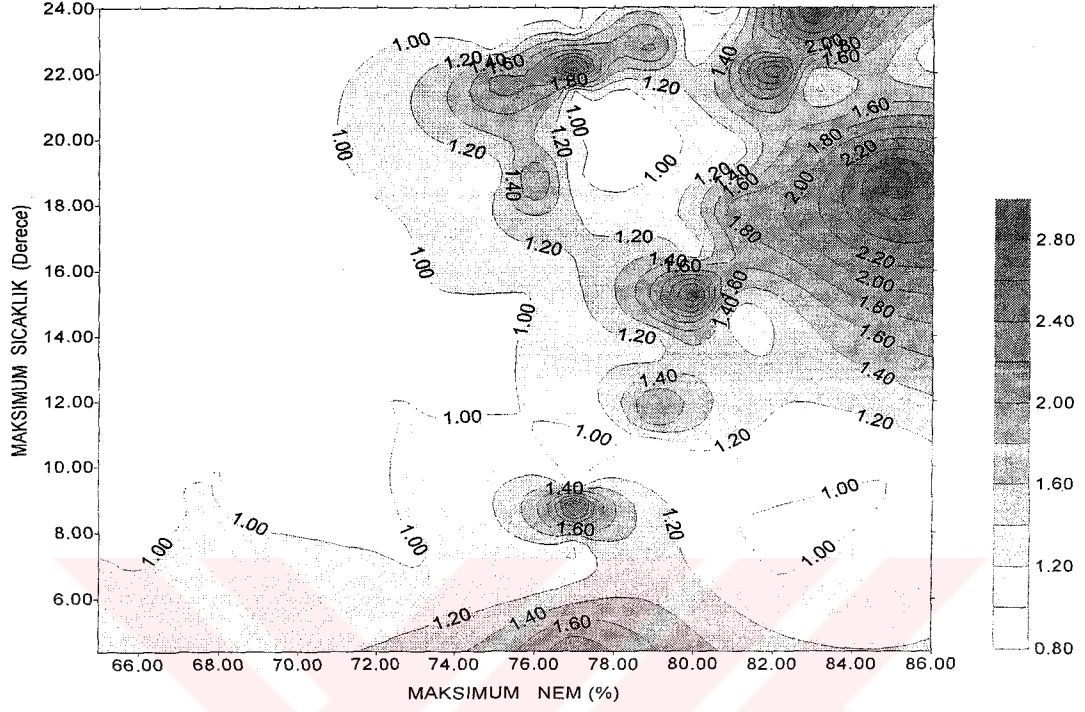
(Kesim Seviyesi -2 için M değerleri)



Şekil E.1b Kesim seviyesi -1.5 ve -2'de Rize için maksimum nem ve sıcaklıkta kuraklık genliği (M) değişimi.

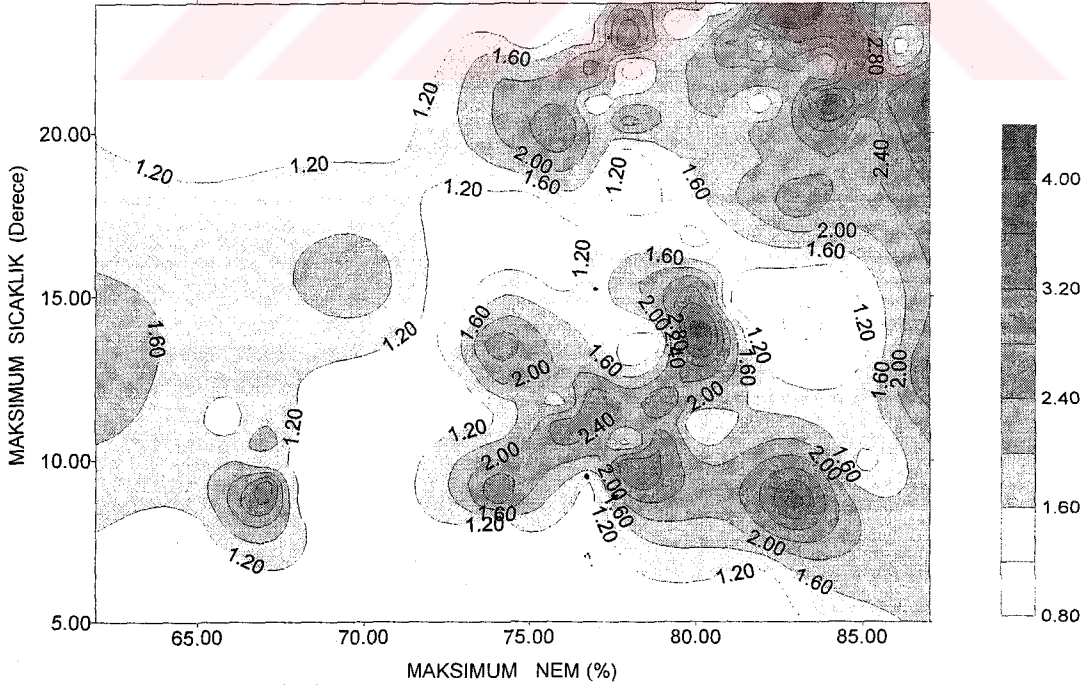
a) KS=-0.5

(Kesim Seviyesi -0.5 için L (ay) değerleri)



b) KS=-1

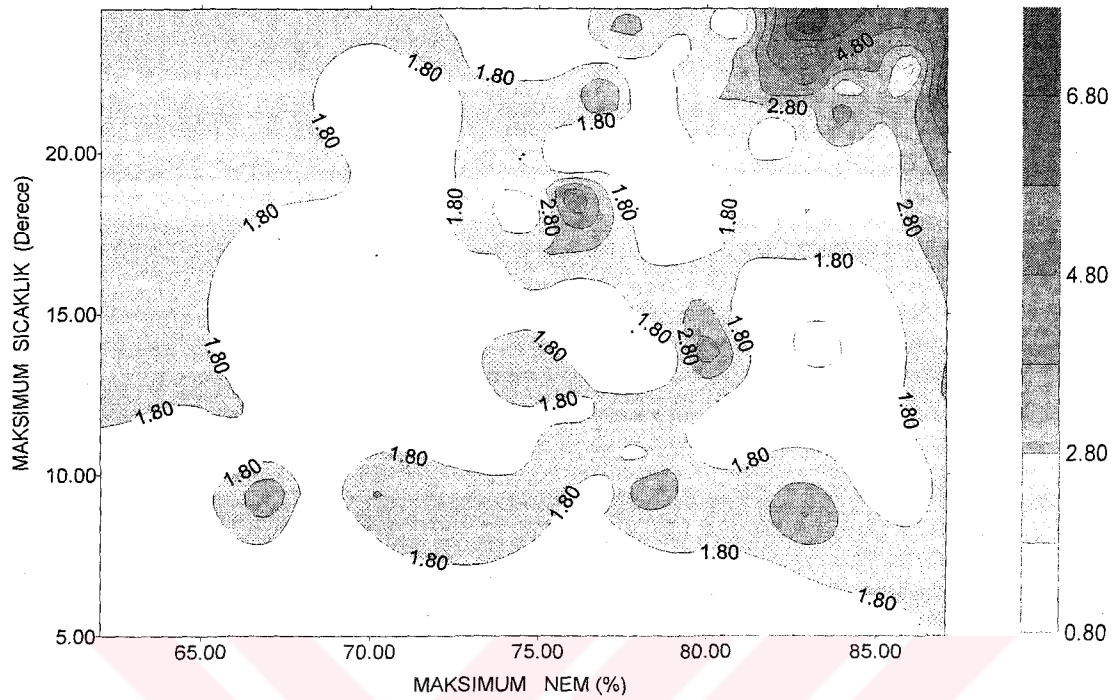
(Kesim Seviyesi -1 için L (ay) değerleri)



Şekil E. 1c Kesim seviyesi -0.5 ve -1'de Rize için maksimum nem ve sıcaklıkta kuraklık süresi (L) değişimi.

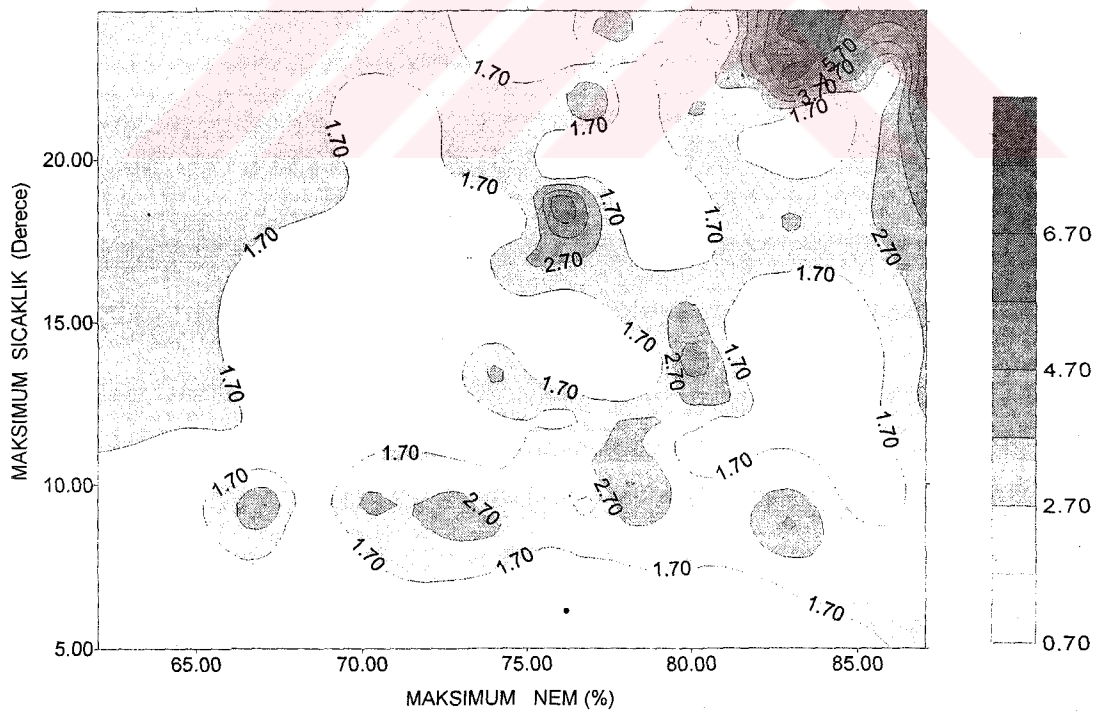
a) $KS = -1.5$

(Kesim Seviyesi -1.5 için L (ay) değerleri)



b) $KS = -2$

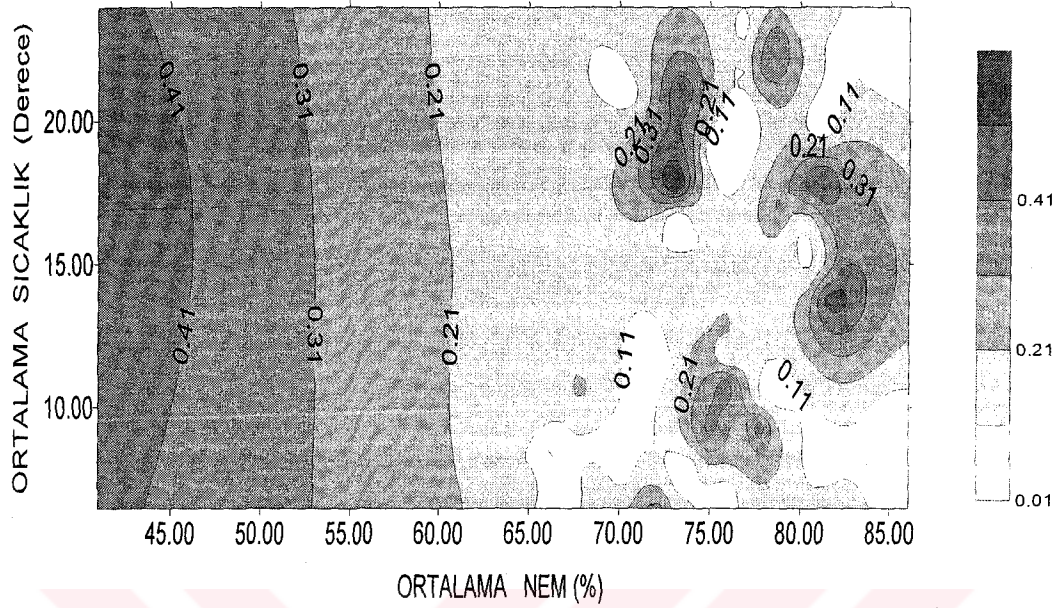
(Kesim Seviyesi -2 için L (ay) değerleri)



Şekil E.1d Kesim seviyesi -1.5 ve -2'de Rize için maksimum nem ve sıcaklıkta kuraklık süresi (L) değişimi.

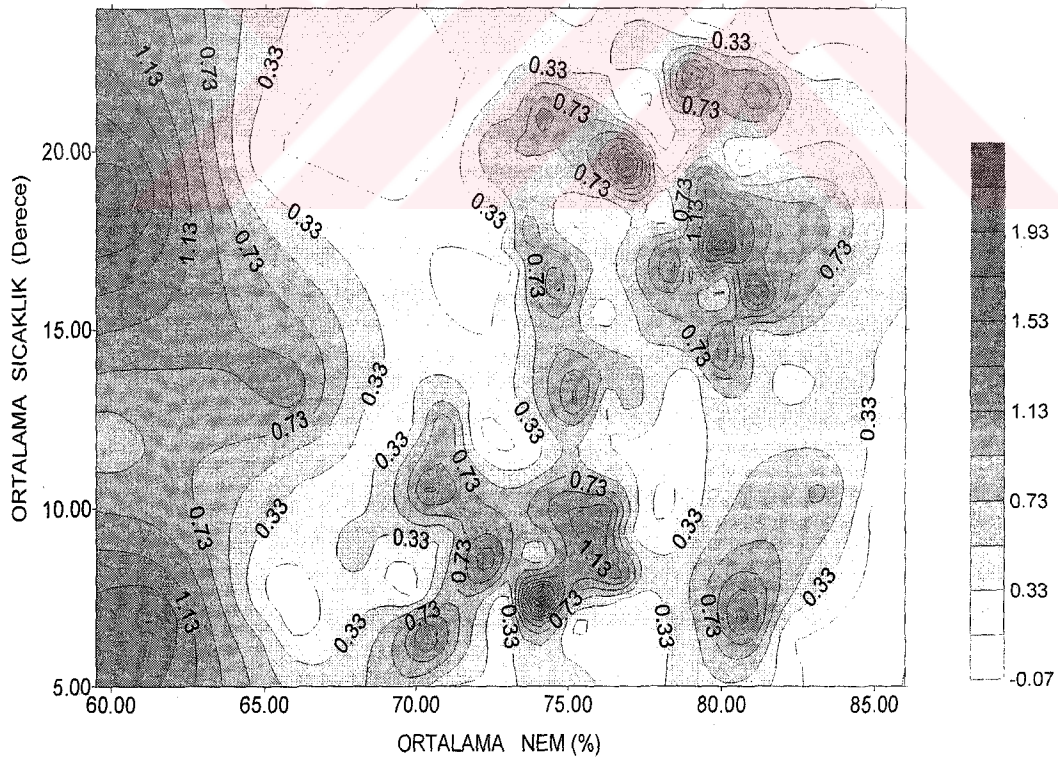
a) $KS = -0.5$

(Kesim Seviyesi -0.5 için M değerleri)



b) $KS=-1$

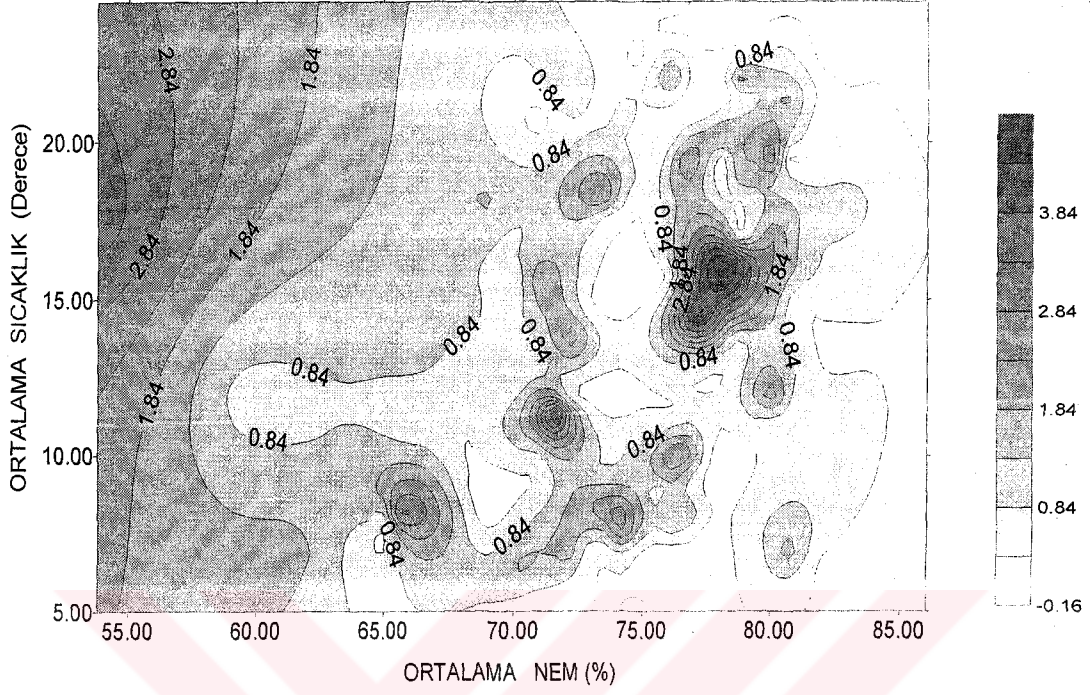
(Kesim Seviyesi -1 için M değerleri)



Şekil E.1e Kesim seviyesi -0.5 ve -1'de Rize için ortalama nem ve sıcaklıkta kuraklık genliği (M) değişimi.

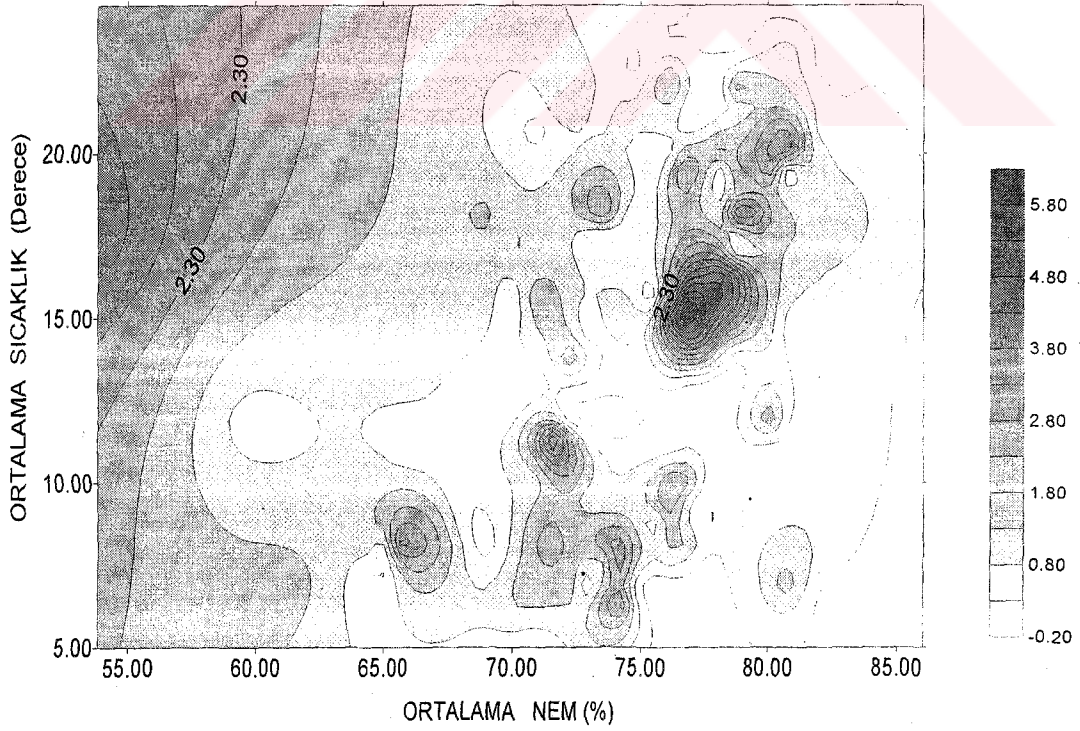
a) KS=-1.5

(Kesim Seviyesi -1.5 için M değerleri)



b) KS=-2

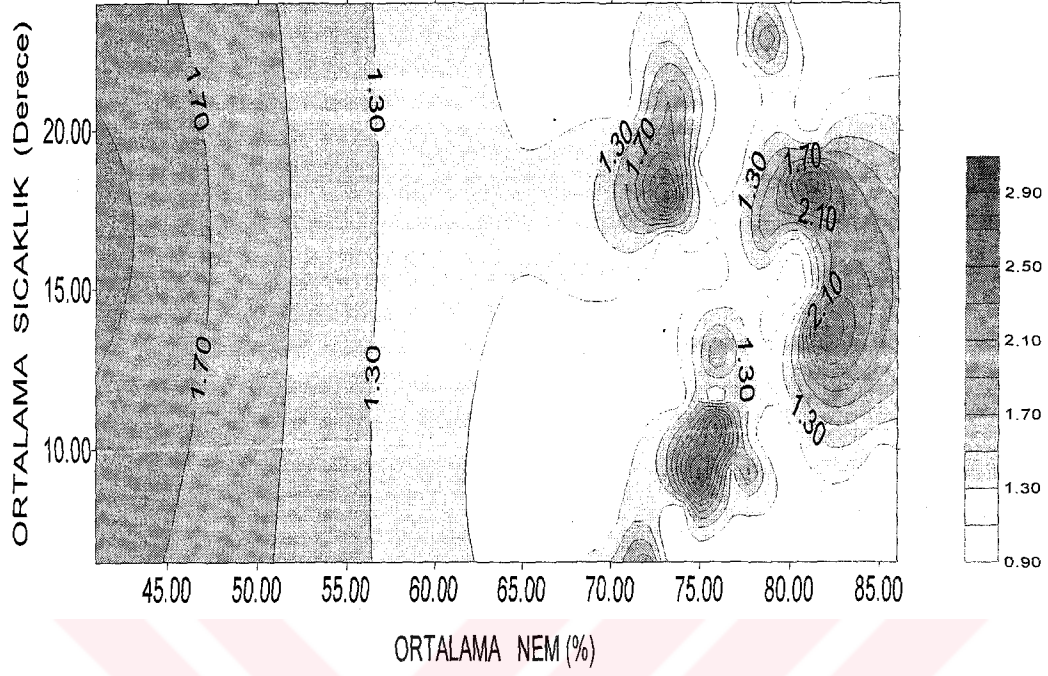
(Kesim Seviyesi -2 için M değerleri)



Şekil E.1f Kesim seviyesi -1.5 ve -2'de Rize için ortalama nem ve sıcaklıkta kuraklık genliği (M) değişimi.

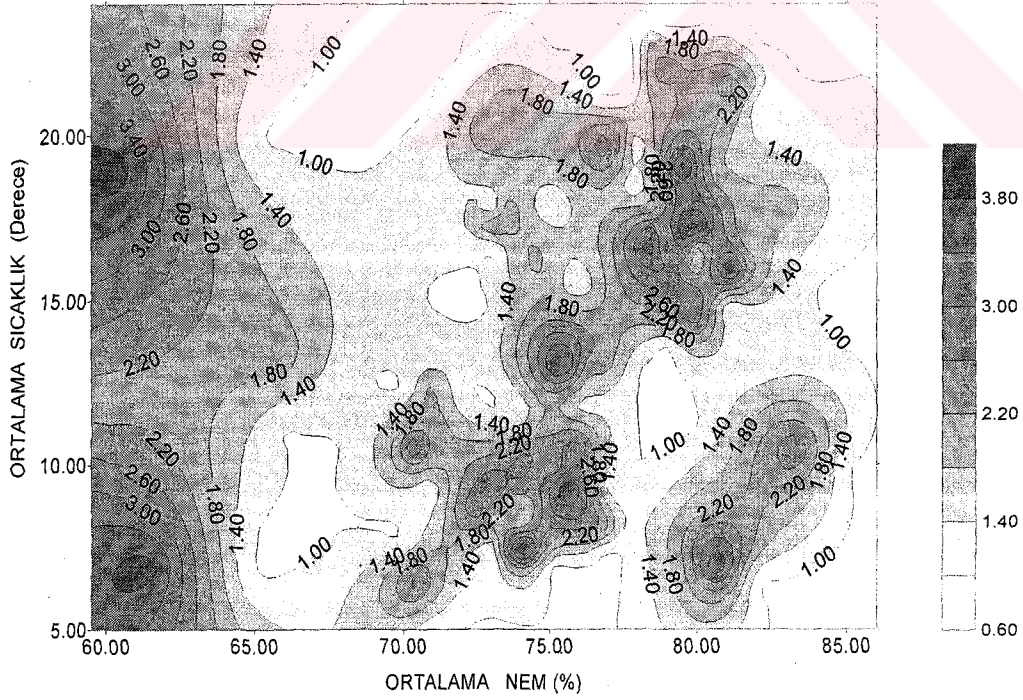
a) $KS=-0.5$

(Kesim Seviyesi -0.5 için L (ay) değerleri)



a) $KS=1.5$

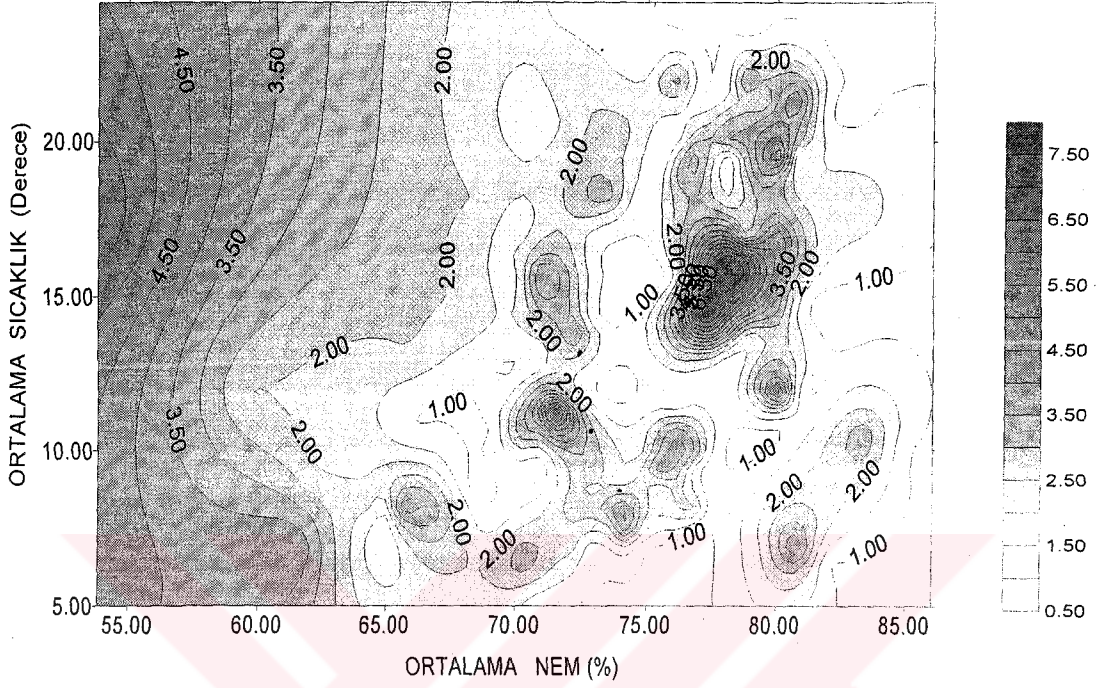
(Kesim Seviyesi -I için L (ay) değerleri)



Şekil E. 1g Kesim seviyesi -0.5 ve -I'de Rize için ortalama nem ve sıcaklıkta kuraklık süresi (L) değişimi.

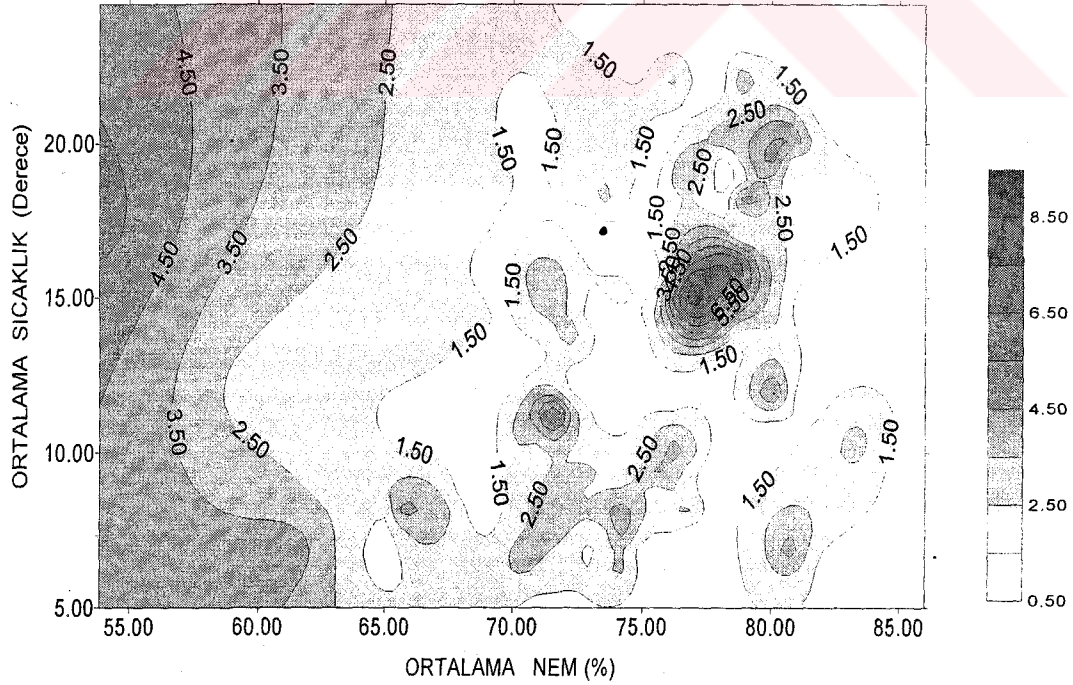
a) KS=-1.5

(Kesim Seviyesi -1.5 için L (ay) değerleri)



a) KS=-2

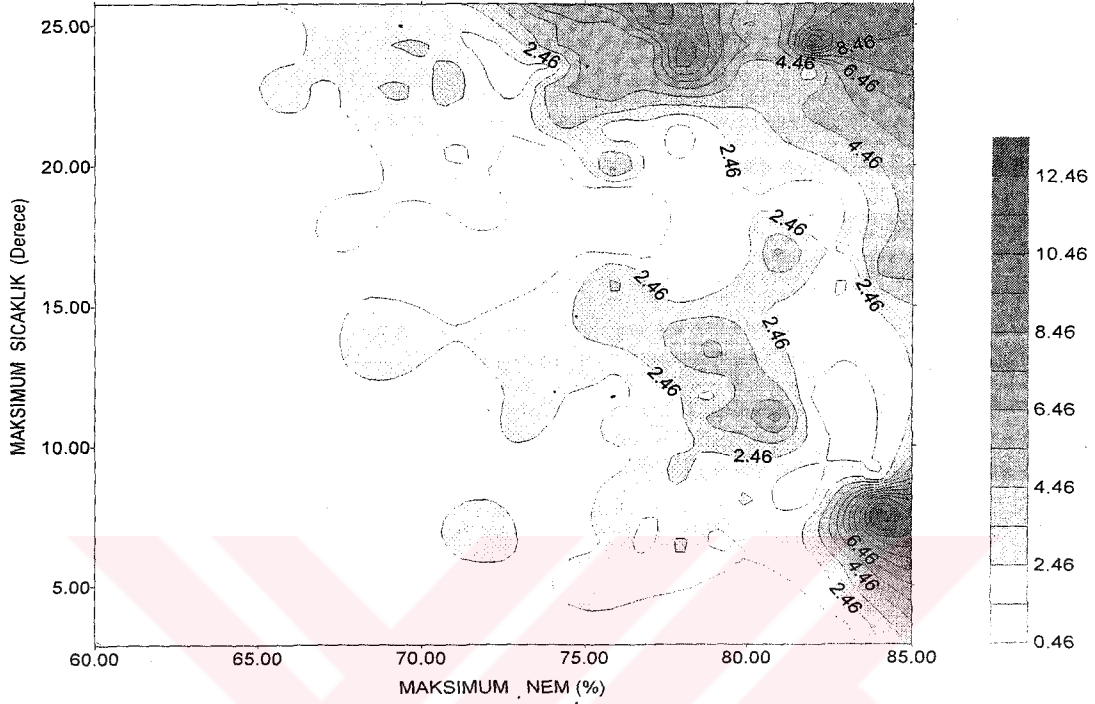
(Kesim Seviyesi -2 için L (ay) değerleri)



Şekil E. 1h Kesim seviyesi -1.5 ve -2'de Rize için ortalama nem ve sıcaklıkta kuraklık süresi (L) değişimi.

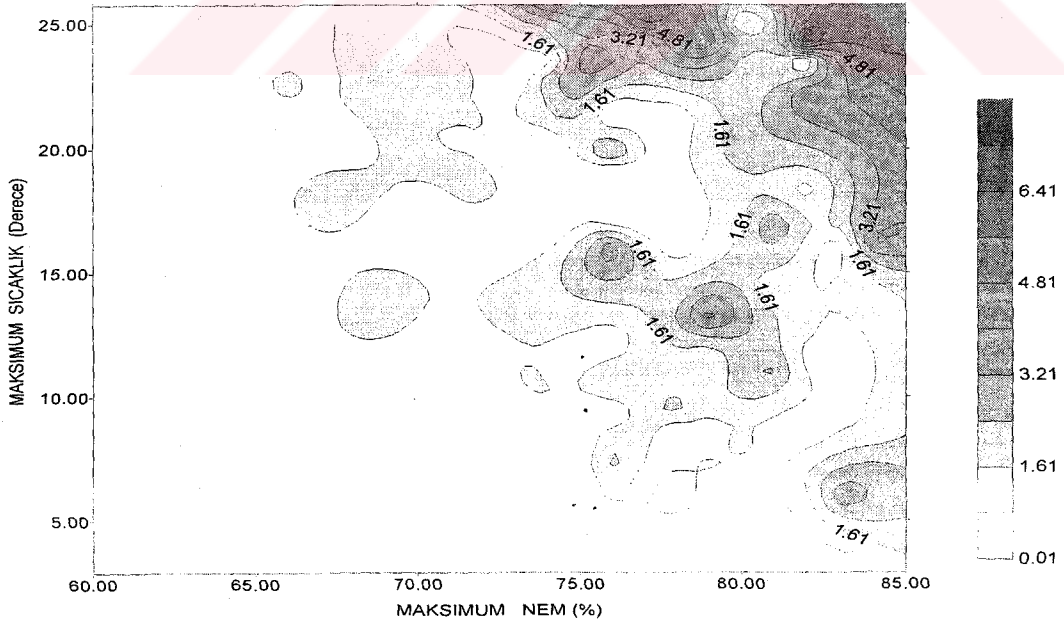
a) Kuraklık süresi (L)

(Kesim Seviyesi -2 için L (ay) değerleri)



b) Kuraklık genliği (M)

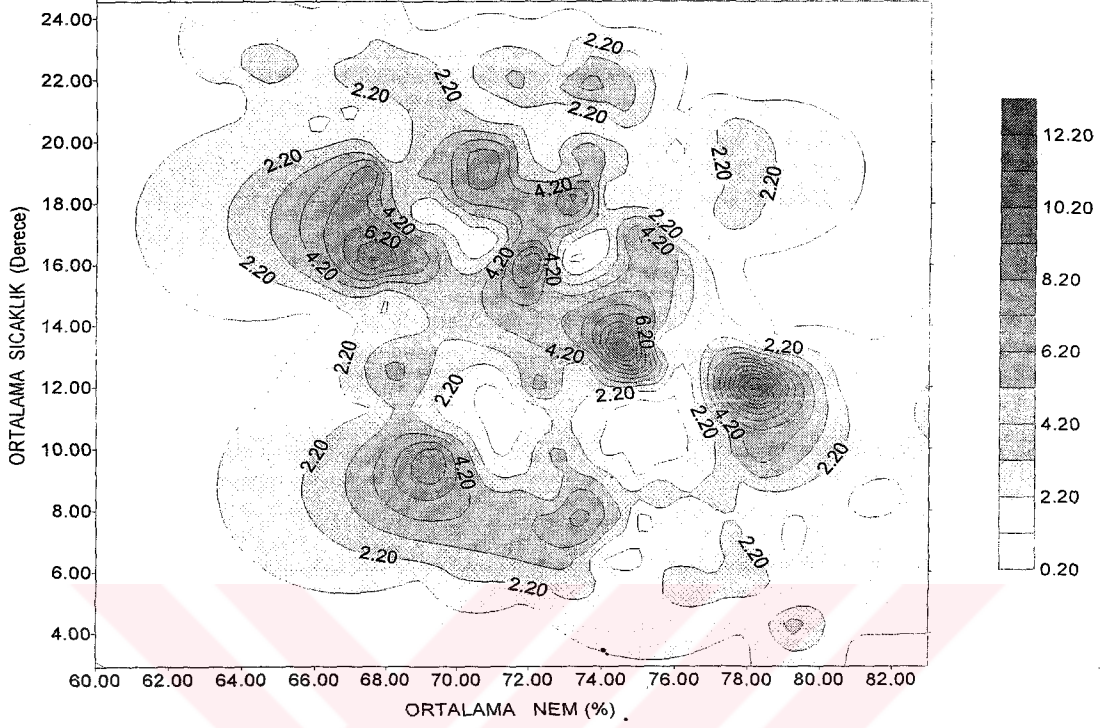
(Kesim Seviyesi -2 için M değerleri)



Şekil E. 2a İstanbul için KS -2'de maksimum nem ve sıcaklıkta kuraklık süresi ve genliği değişimi.

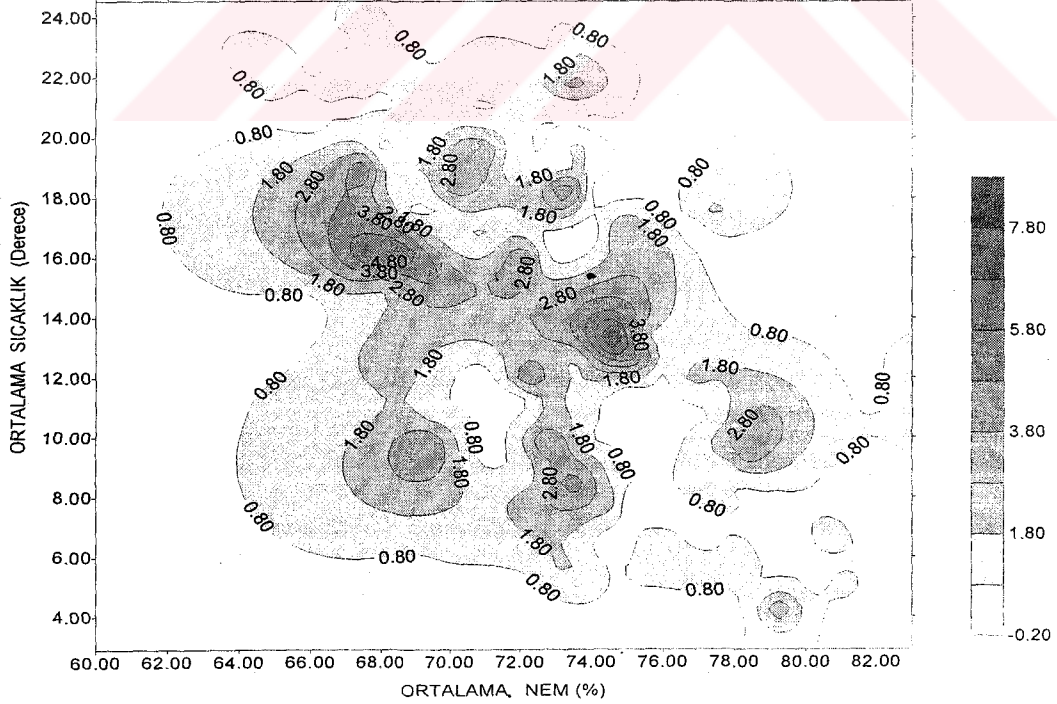
a) L

(Kesim Seviyesi -2 için L değerleri)



b) M

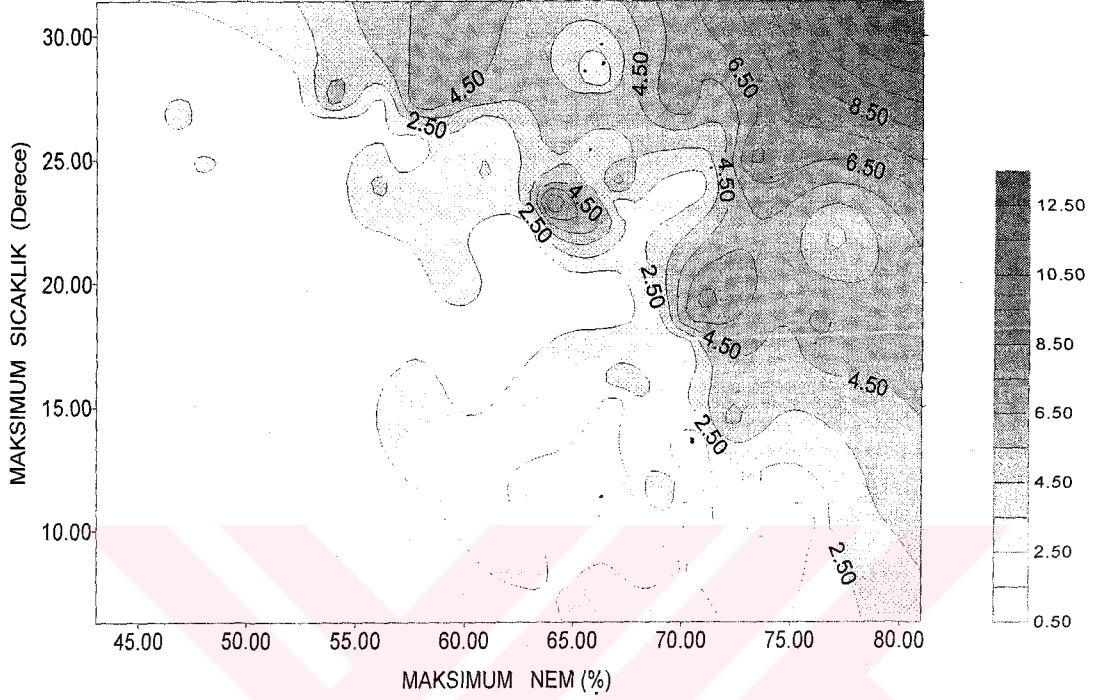
(Kesim Seviyesi -2 için M değerleri)



Şekil E. 2b İstanbul için KS -2'de ortalama nem ve sıcaklıkta kuraklık süresi ve genliği değişimi.

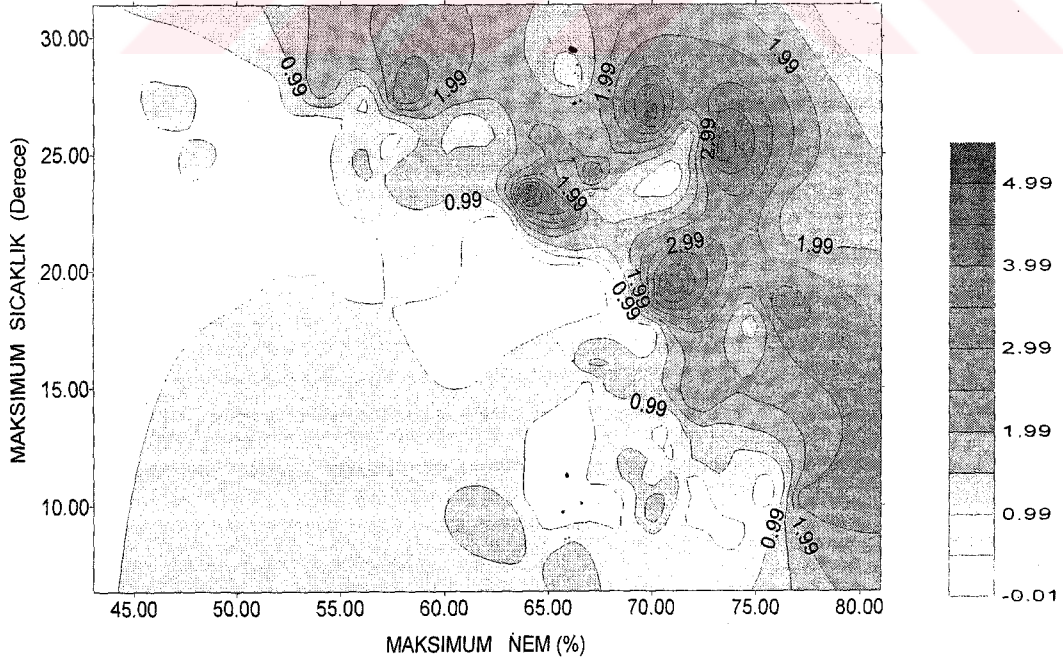
a) L

(Kesim Seviyesi -2 için L değerleri)



b) M

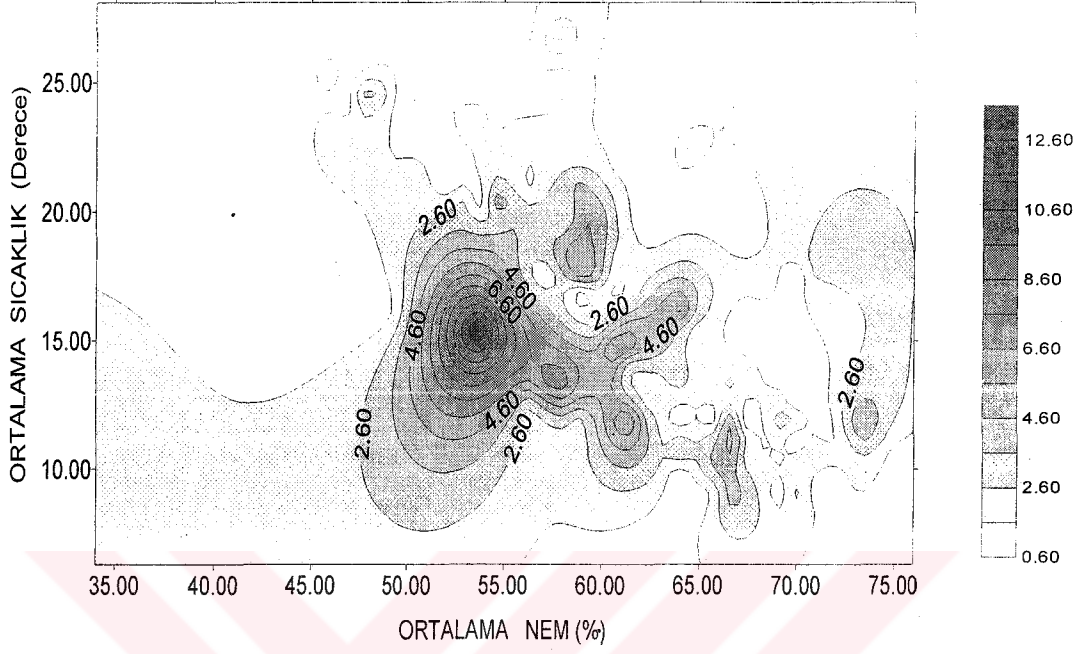
(Kesim Seviyesi -2 için M değerleri)



Şekil E. 3a İzmir için KS -2'de maksimum nem ve sıcaklıkta M ve L değişimi.

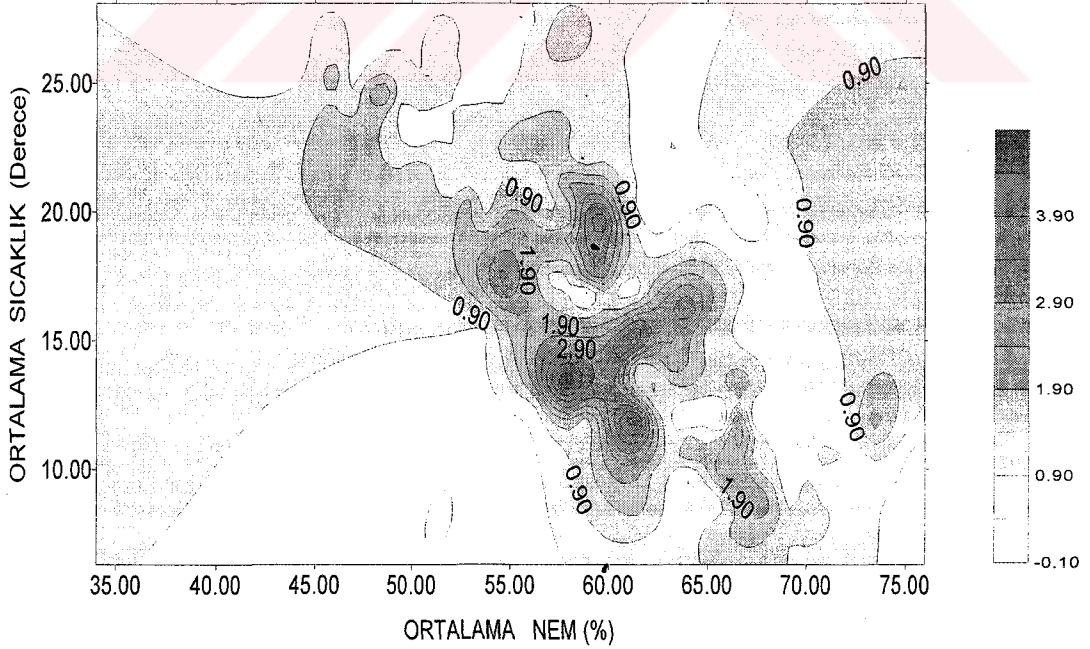
a) L

(Kesim Seviyesi -2 için L değerleri)



b) M

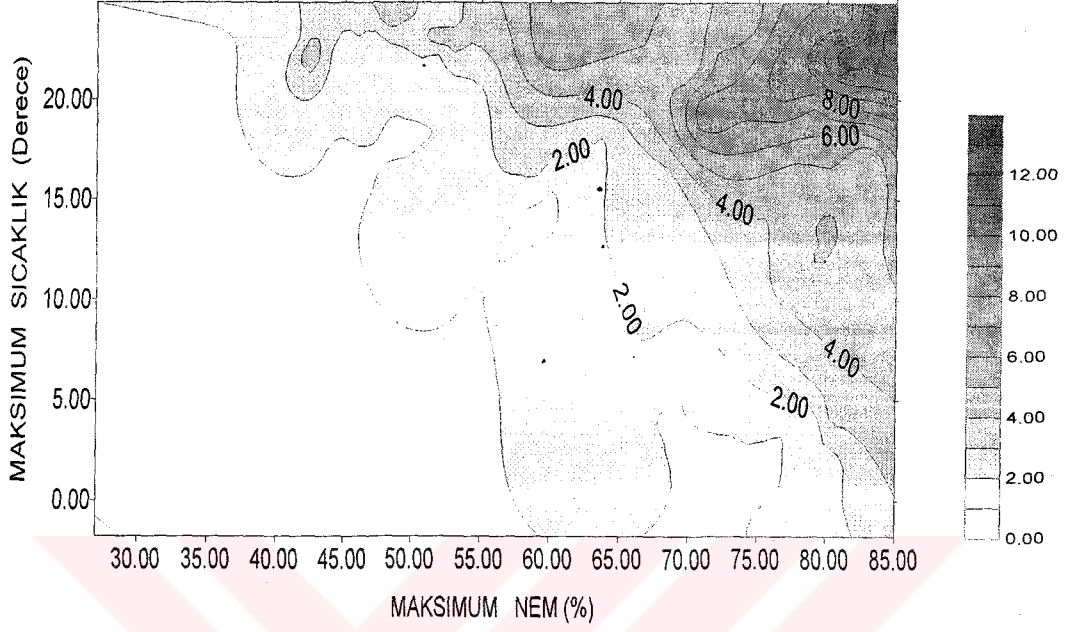
(Kesim Seviyesi -2 için M değerleri)



Şekil E. 3b İzmir için KS -2'de ortalama nem ve sıcaklıkta M ve L değişimi.

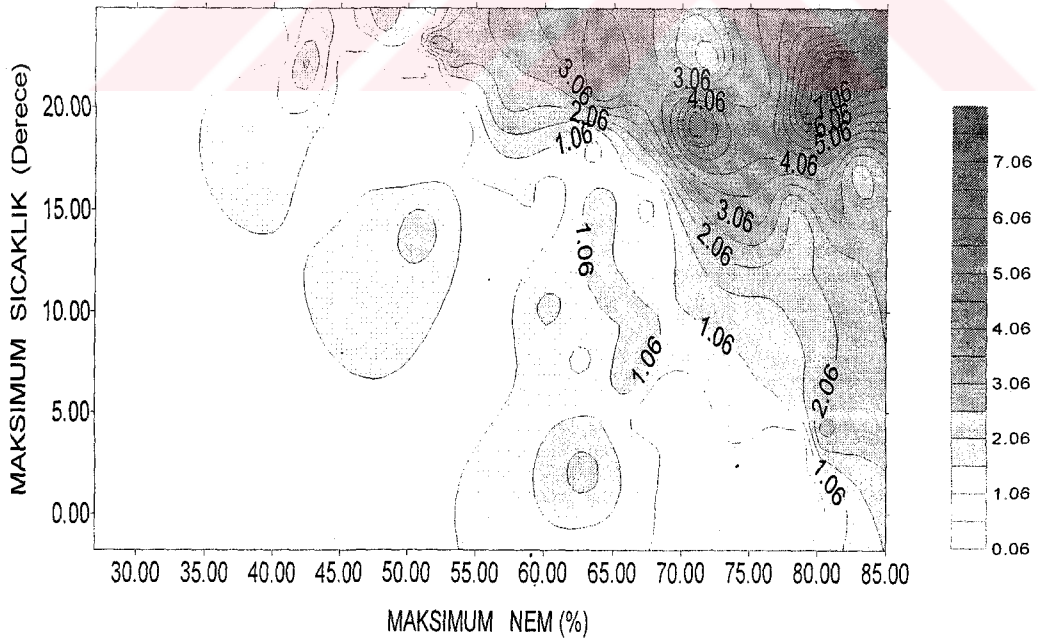
a) L

(Kesim Seviyesi -2 için L değerleri)



b) M

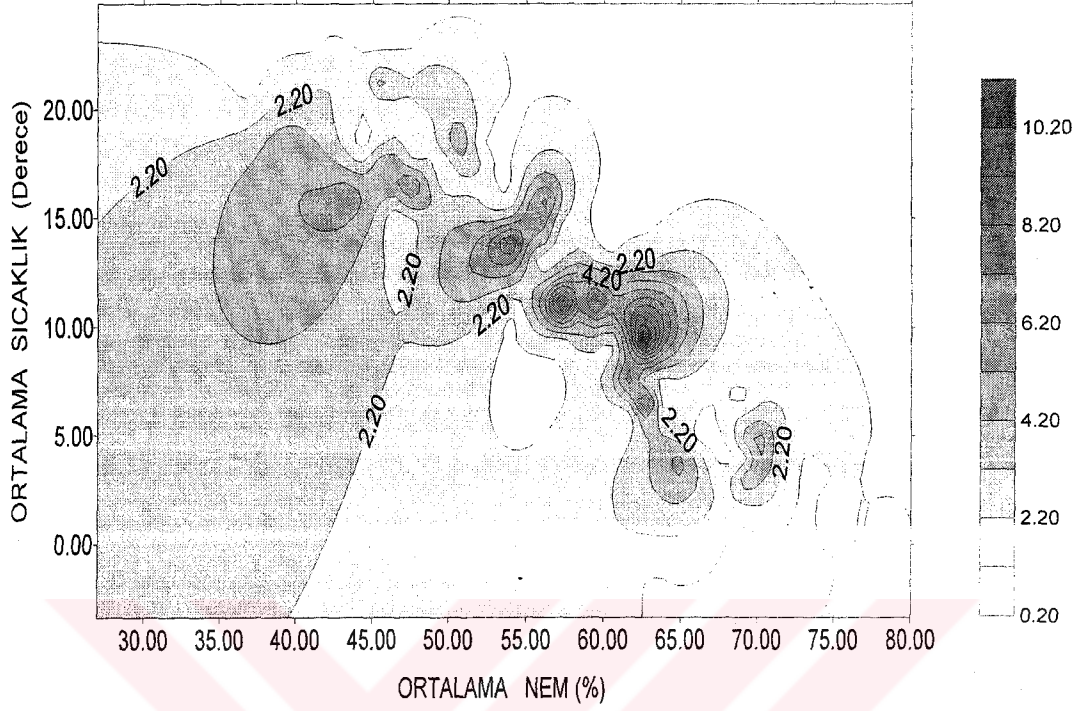
(Kesim Seviyesi -2 için M değerleri)



Şekil E. 4a Konya için KS -2'de maksimum nem ve sıcaklıkta kuraklık süre ve genlik değişimi.

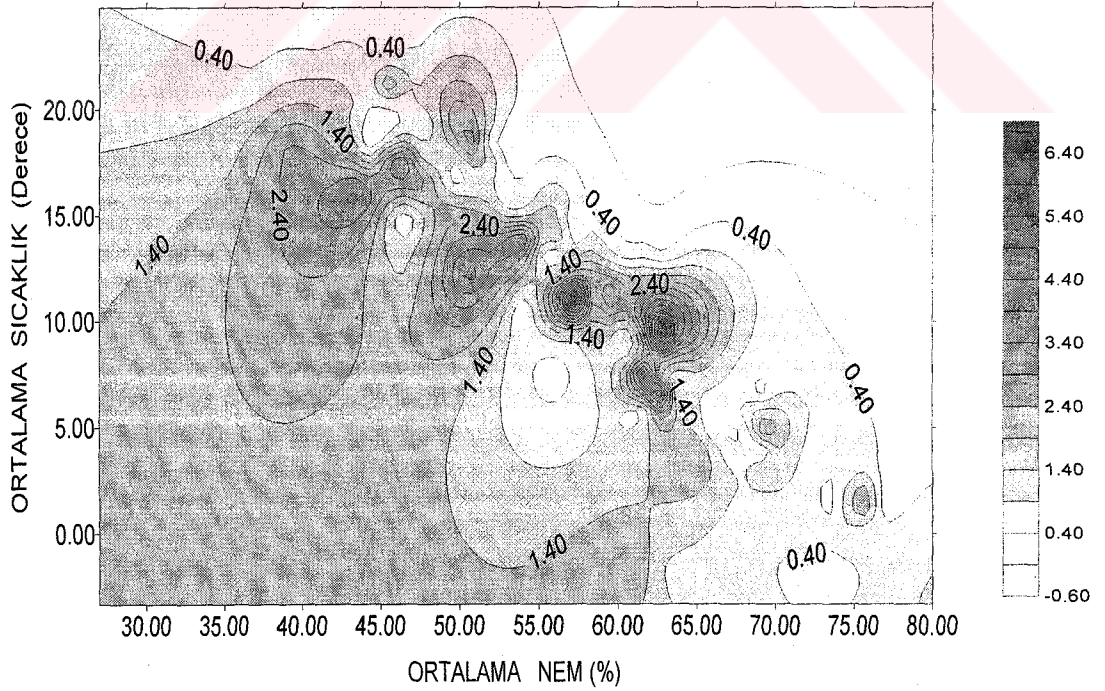
a) L

(Kesim Seviyesi -2 için L değerleri)



b) M

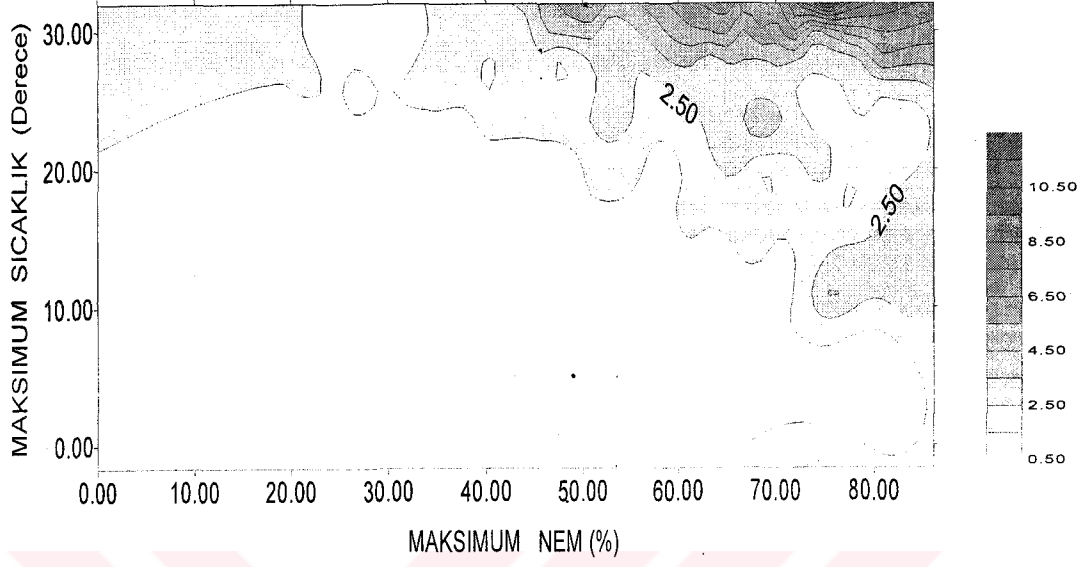
(Kesim Seviyesi -2 için M değerleri)



Şekil E. 4b Konya için KS -2'de ortalama nem ve sıcaklıkta kuraklık süre ve genlik değişimi.

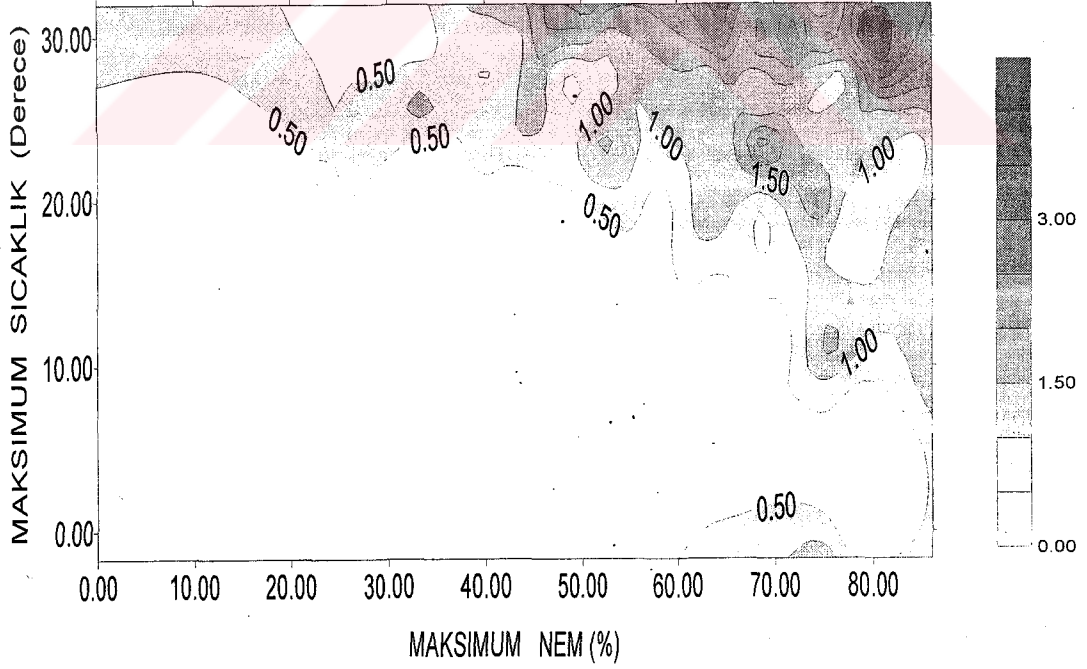
a) L

(Kesim Seviyesi -I için L değerleri)



b) M

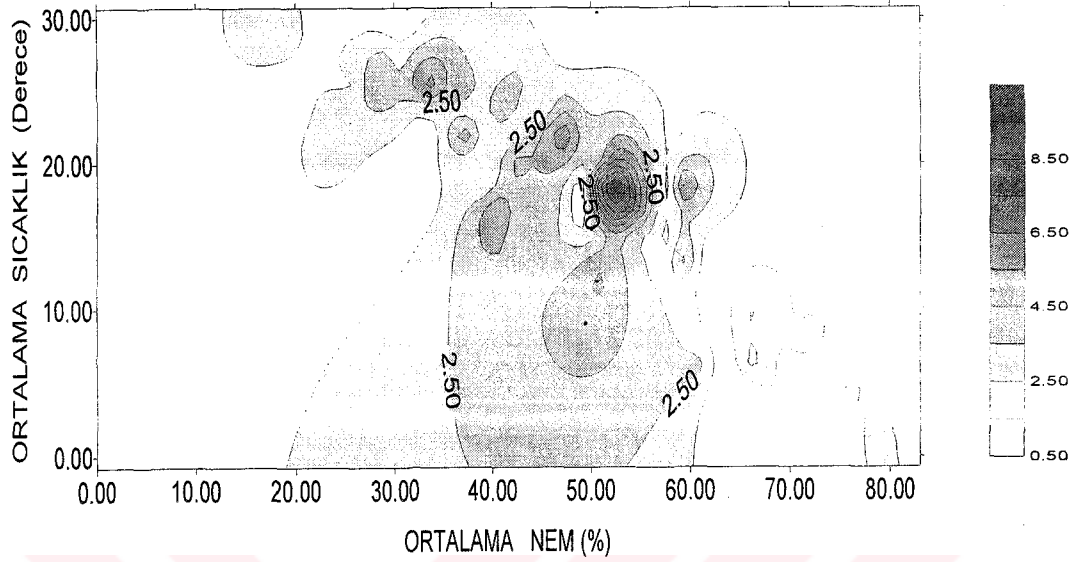
(Kesim Seviyesi -I için M değerleri)



Şekil E. 5a Diyarbakır için KS -I'de maksimum nem ve sıcaklıkta kuraklık süre ve genlik değişimi.

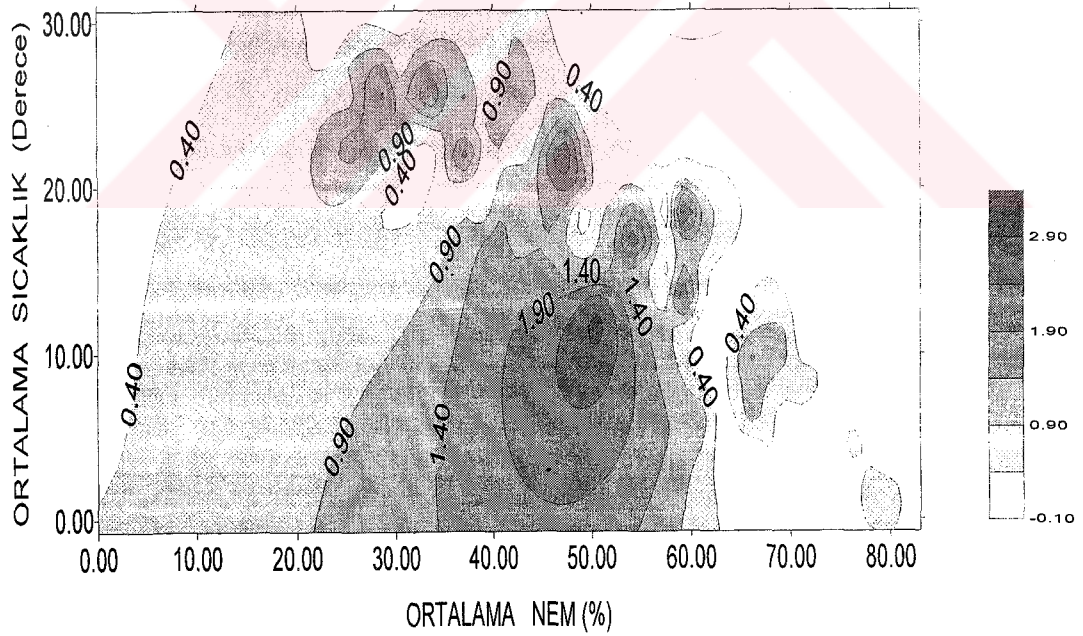
a) L

(Kesim Seviyesi -1 için L değerleri)

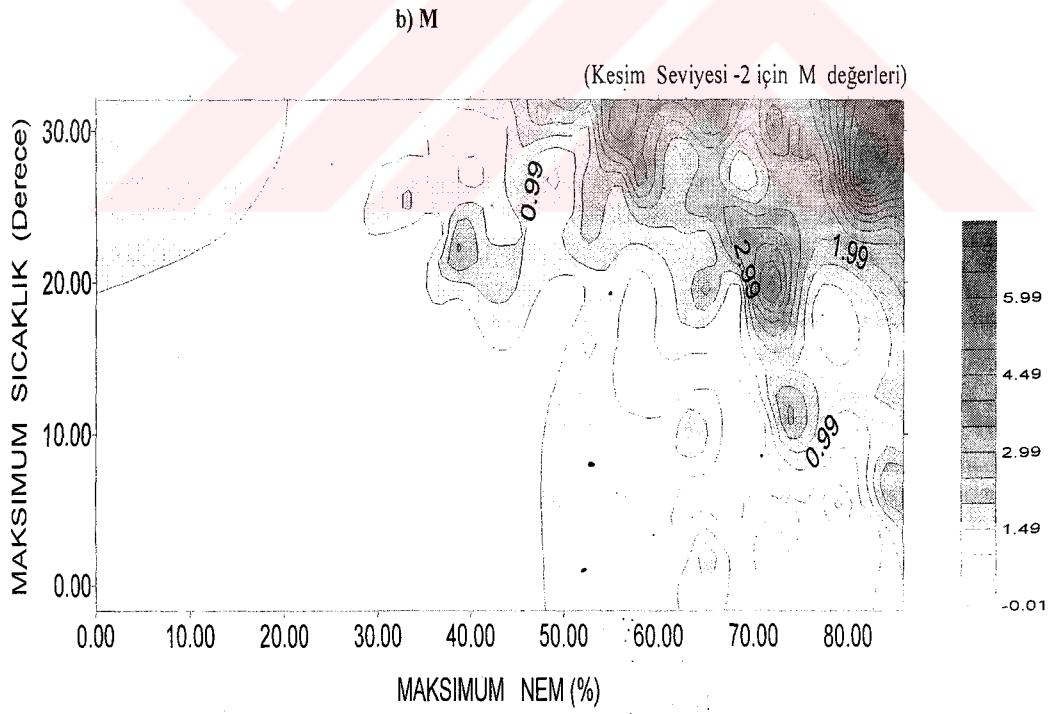
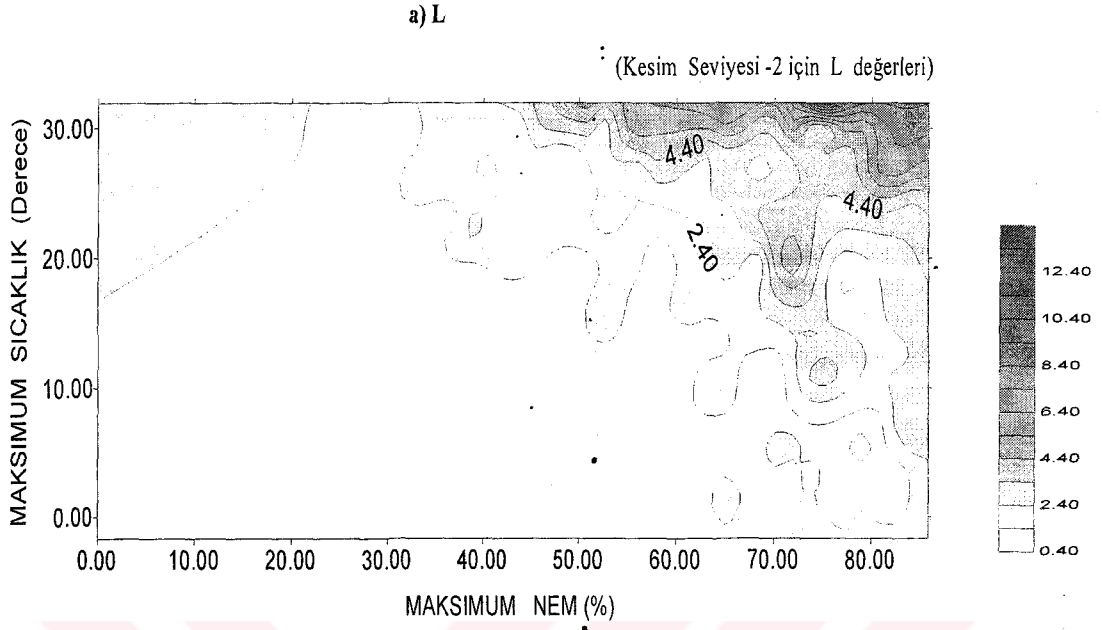


b) M

(Kesim Seviyesi -1 için M değerleri)



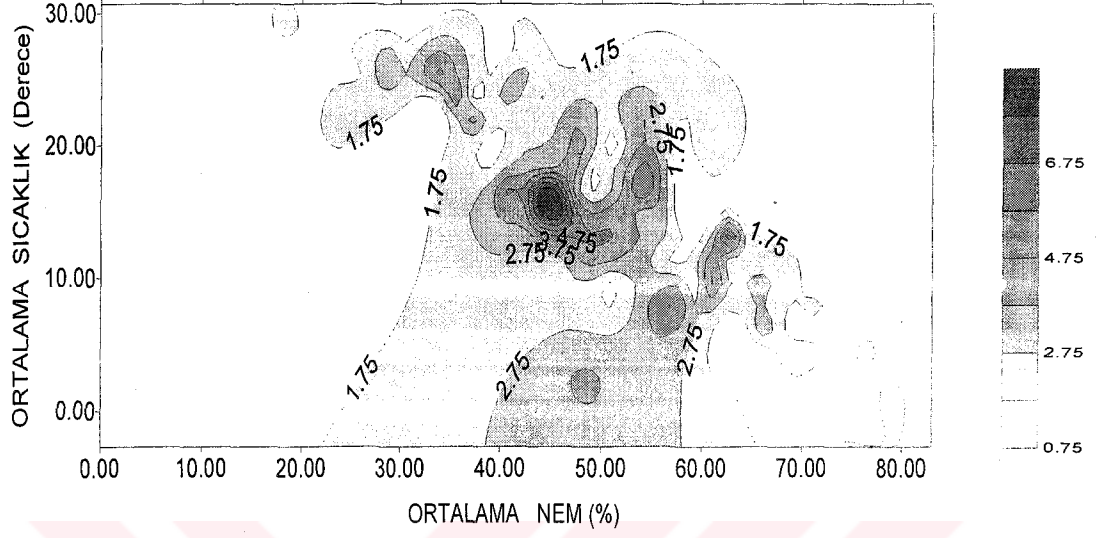
Şekil E. 5b Diyarbakır için KS -I'de ortalama nem ve sıcaklıkta kuraklık süre ve genlik değişimi.



Şekil E. 5c Diyarbakır için KS -2'de maksimum nem ve sıcaklıkta kuraklık süre ve genlik değişimi.

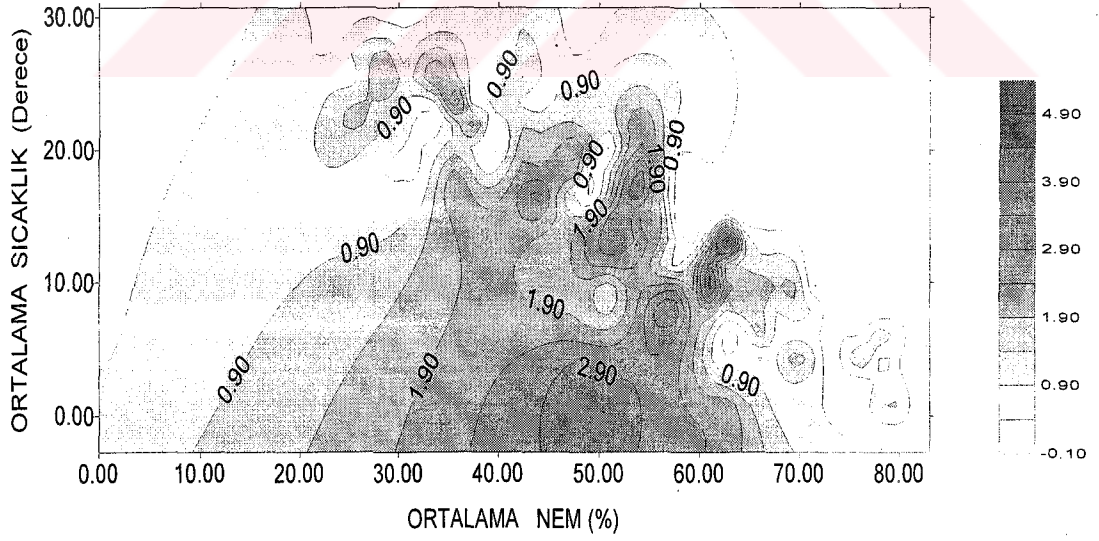
a) L

(Kesim Seviyesi -2 için L değerleri)



b) M

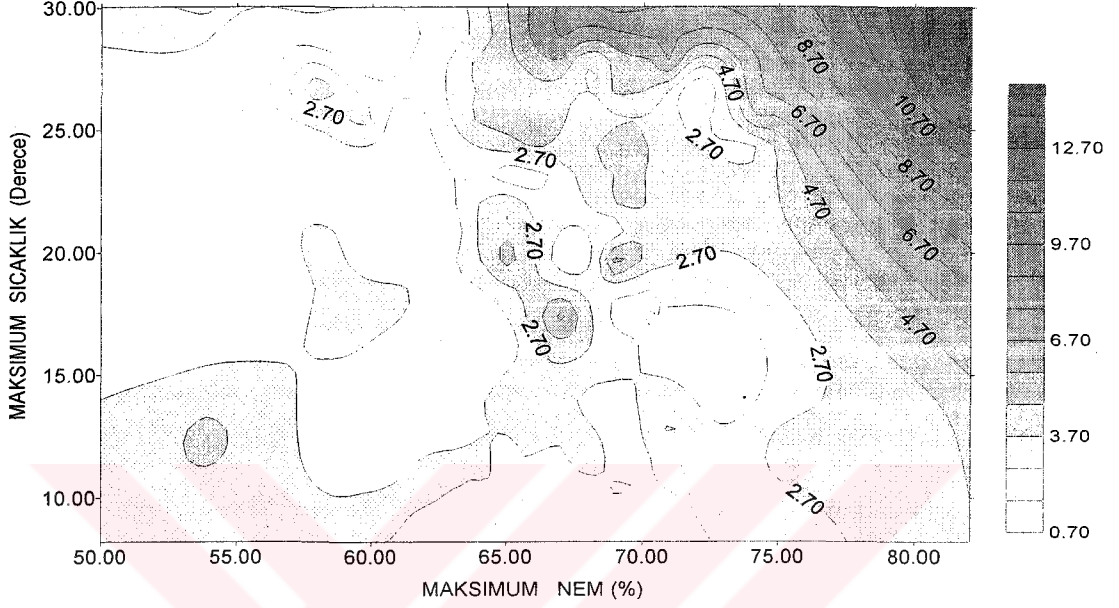
(Kesim Seviyesi -2 için M değerleri)



Şekil E. 5d Diyarbakır için KS -2'de ortalama nem ve sıcaklıkta kuraklık süre ve genlik değişimi.

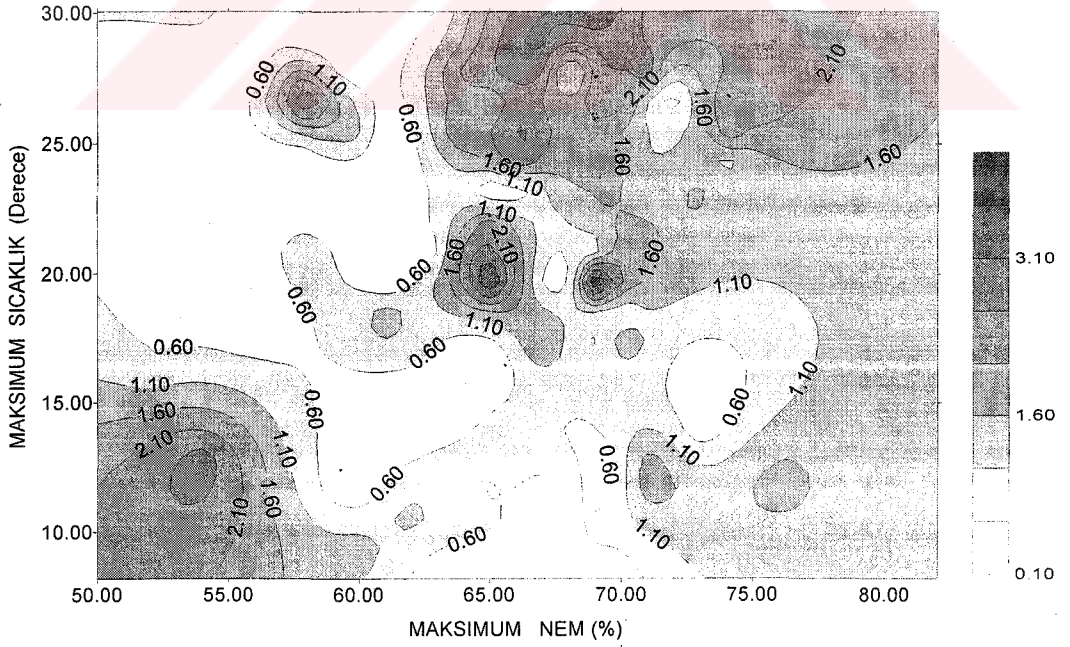
a) L

(Kesim Seviyesi -2 için L değerleri)



b) M

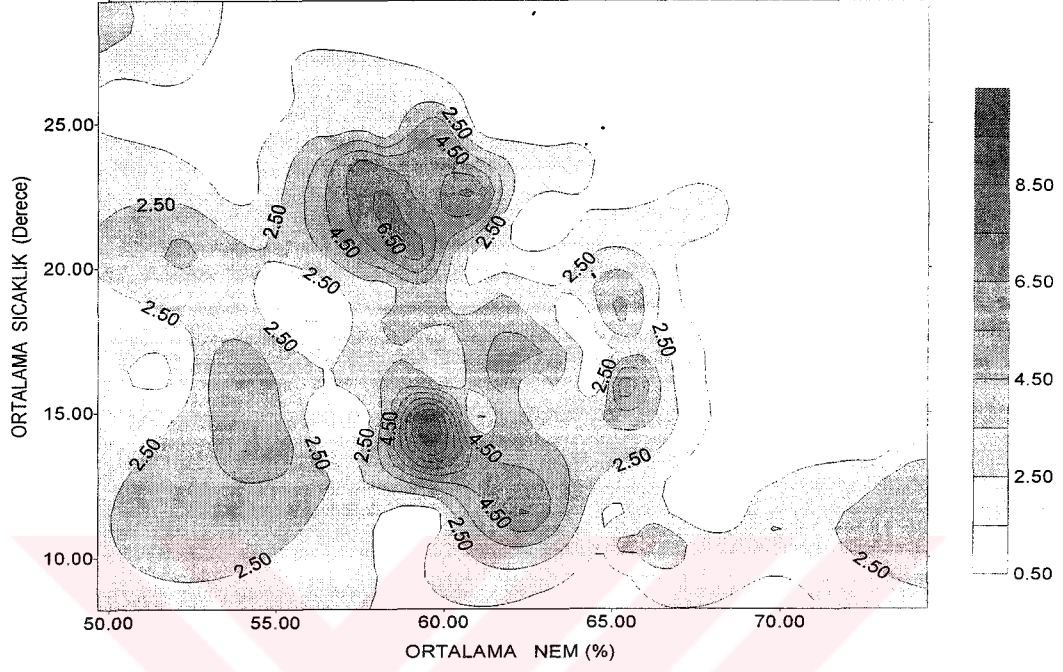
(Kesim Seviyesi -2 için M değerleri)



Şekil E. 6a Antalya için KS -2'de maksimum nem ve sıcaklıkta kuraklık süre ve genlik değişimi.

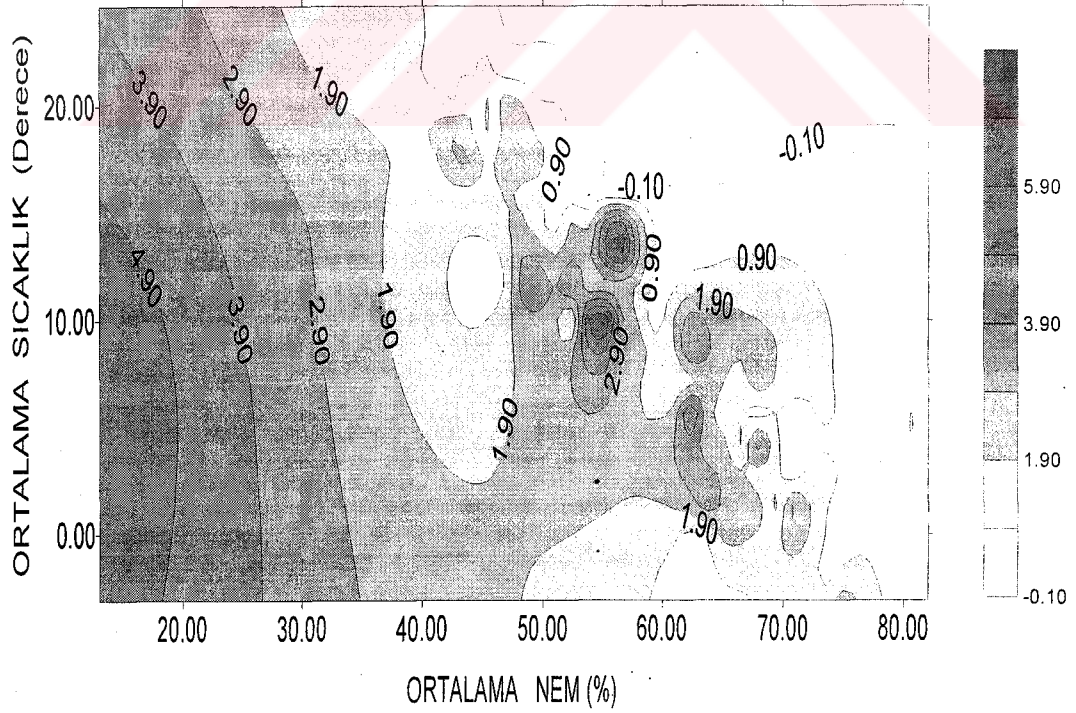
a) L

(Kesim Seviyesi -2 için L değerleri)



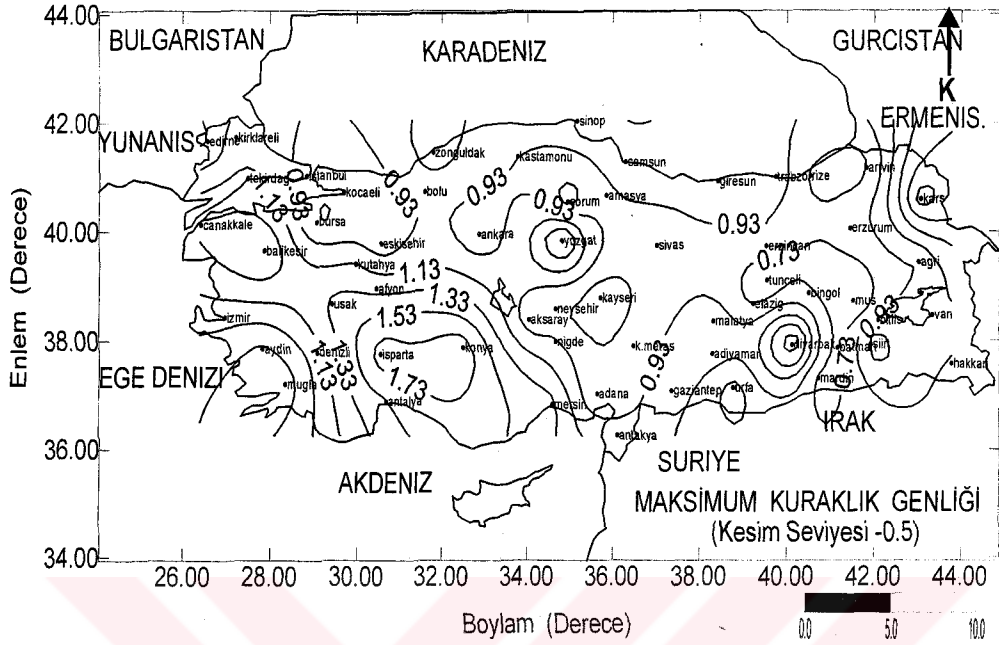
b) M

(Kesim Seviyesi -2 için M değerleri)

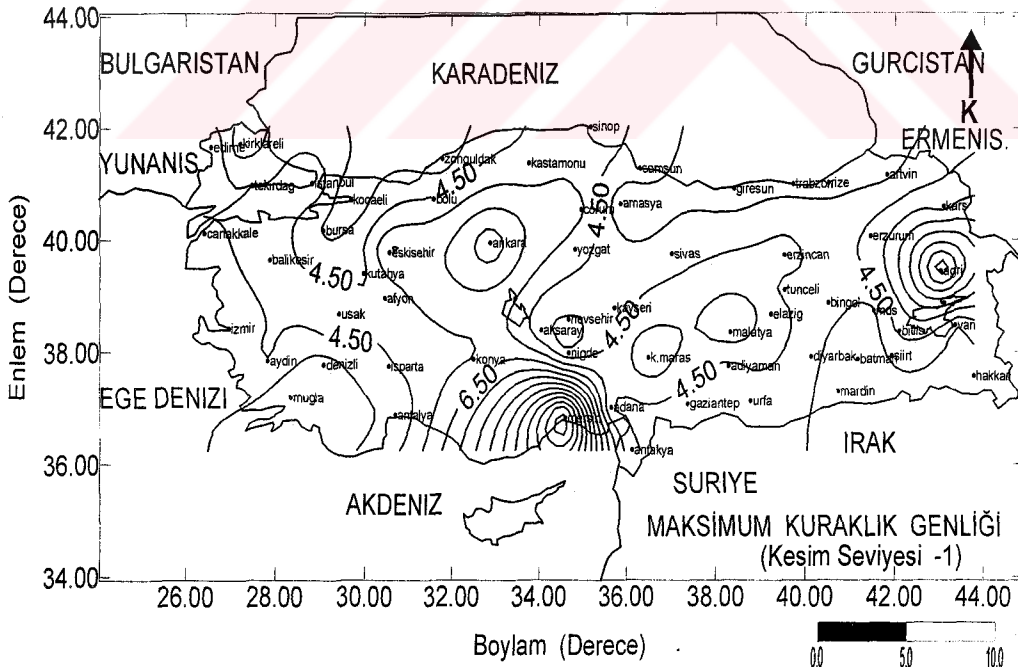


Şekil E. 6b Antalya için KS -2'de ortalama nem ve sıcaklıkta kuraklık süre ve genlik değişimi.

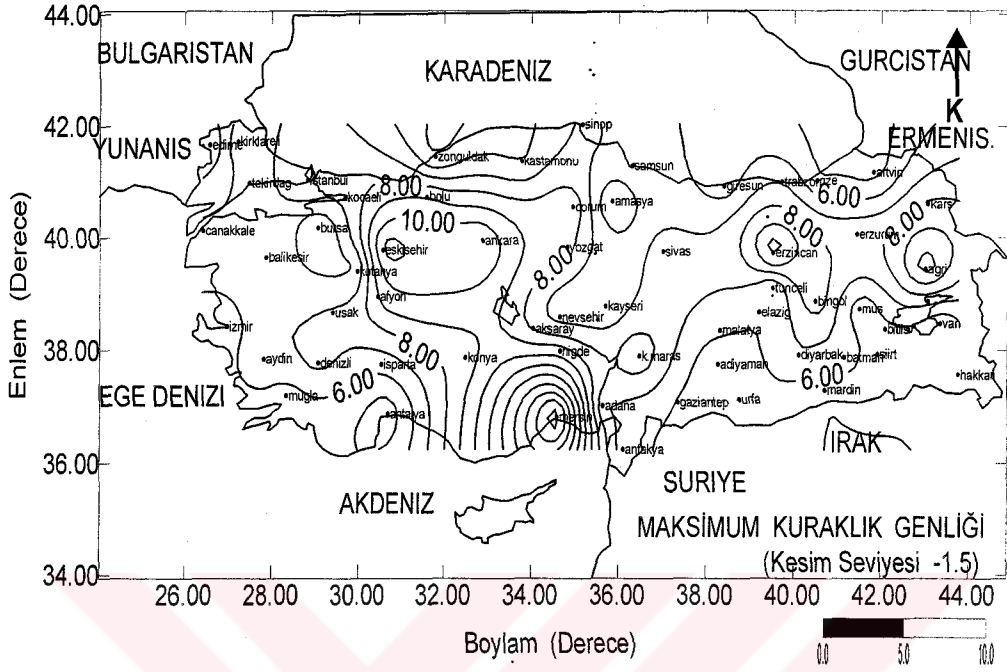
**EK F: MAKSİMUM KURAKLIKTA M, L, I, NEM VE SICAKLIKTAKİ
ALANSAL DAĞILIMLAR**



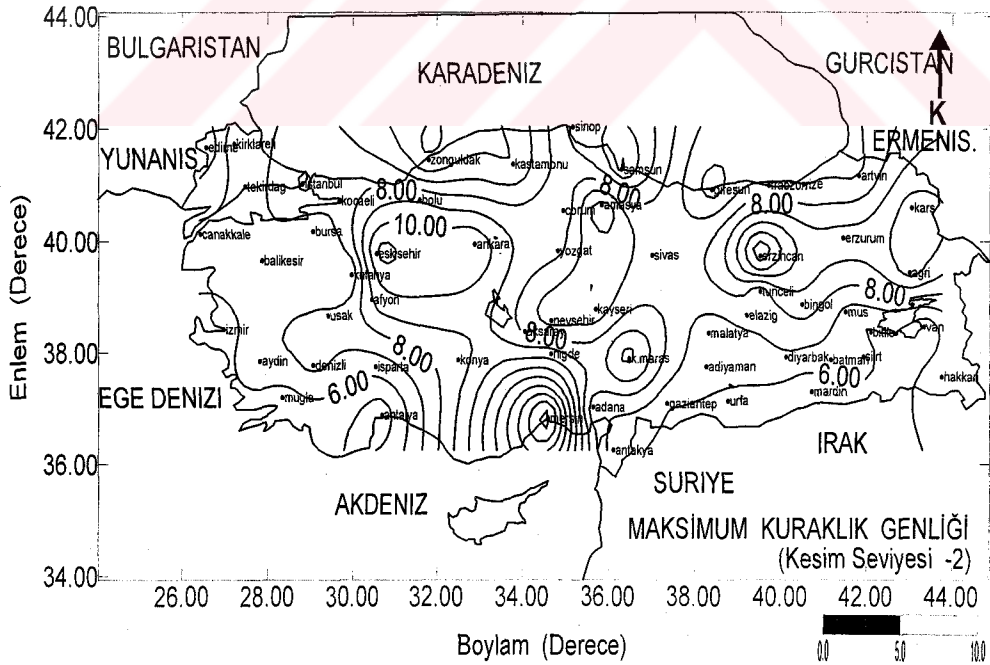
Şekil F.1a Kesim seviyesi -0.5'te maksimum kuraklık genliği (M) dağılımı.



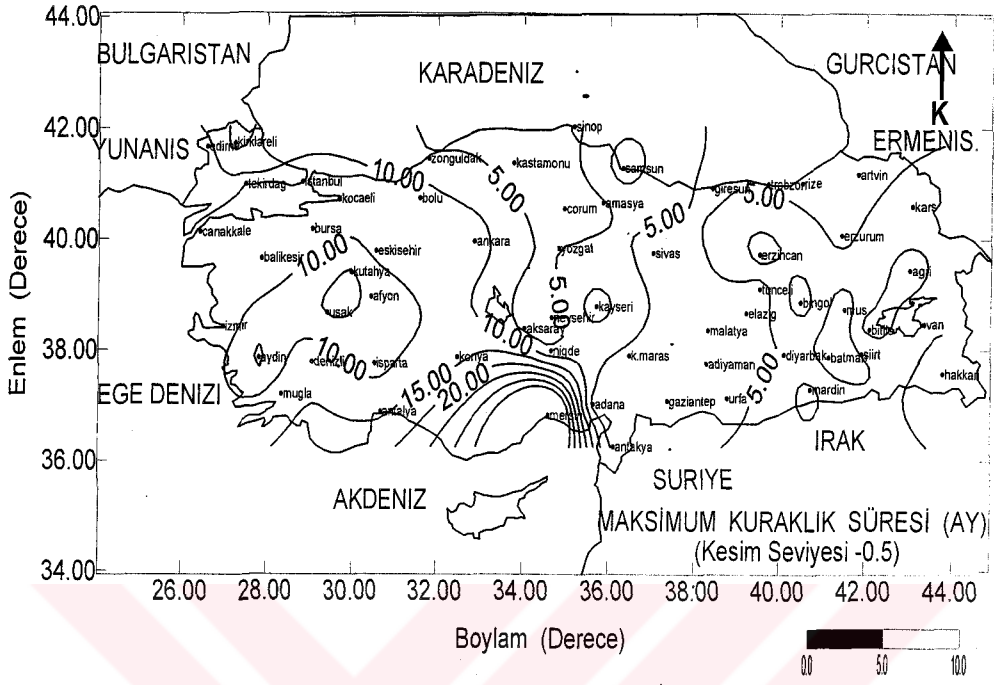
Şekil F.1b Kesim seviyesi -1'de maksimum kuraklık genliği (M) dağılımı.



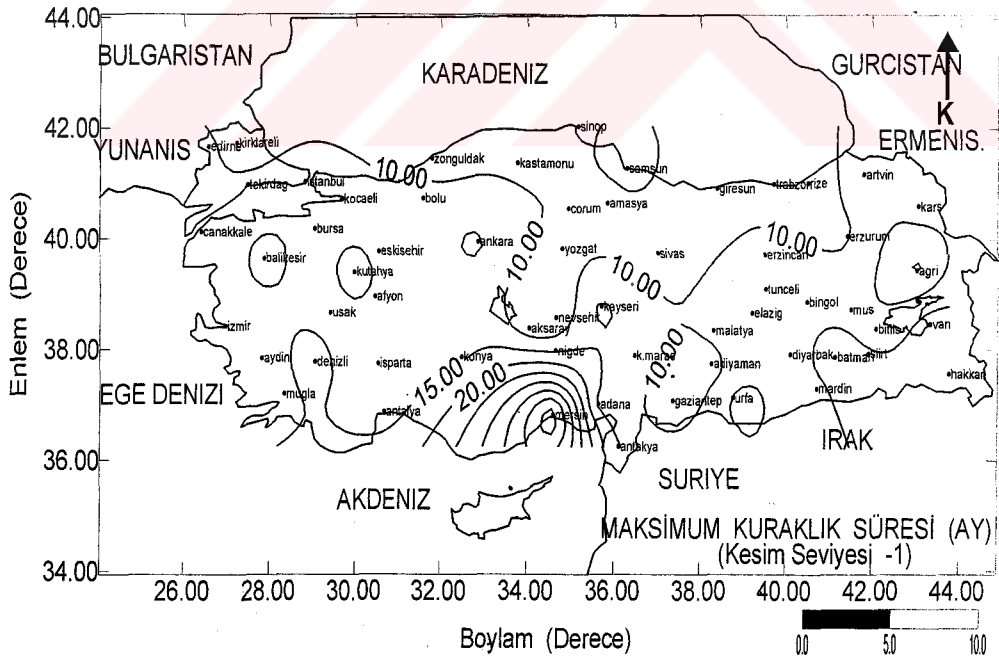
Şekil F.1c Kesim seviyesi -1.5'te maksimum kuraklık genliği (M) dağılımı.



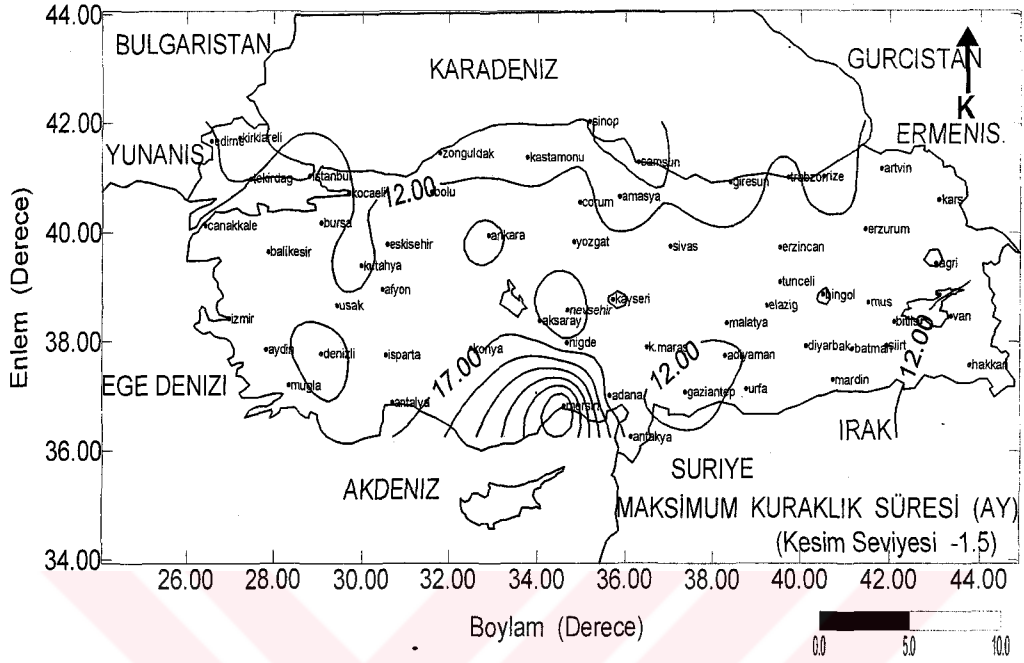
Şekil F.1d Kesim seviyesi -2'de maksimum kuraklık genliği (M) dağılımı.



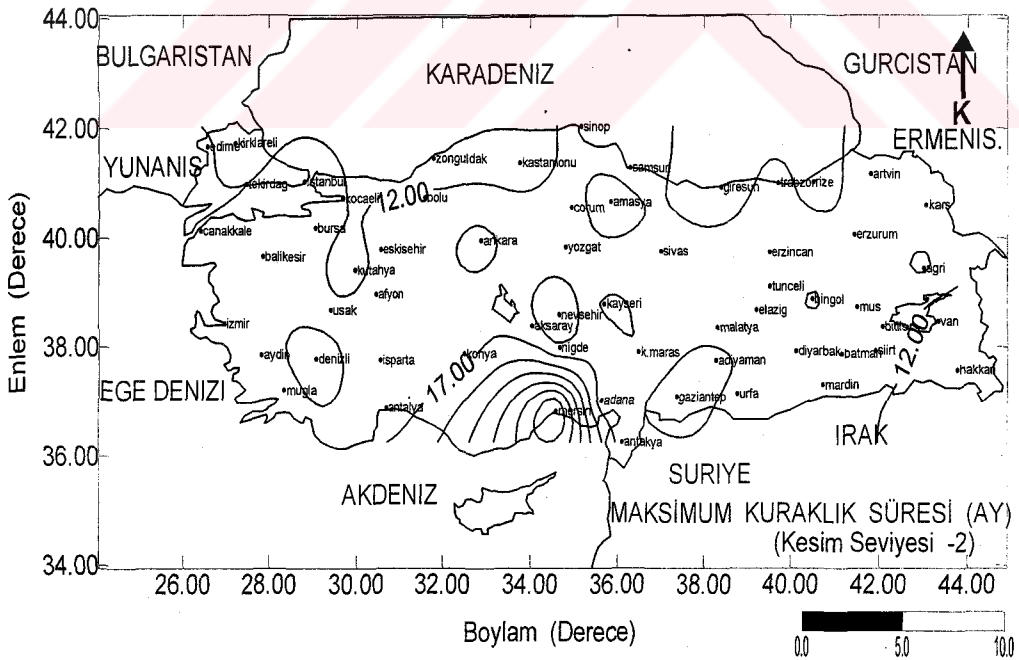
Şekil F.2a Kesim seviyesi -0.5'te maksimum kuraklık süresi (L; ay) dağılımı.



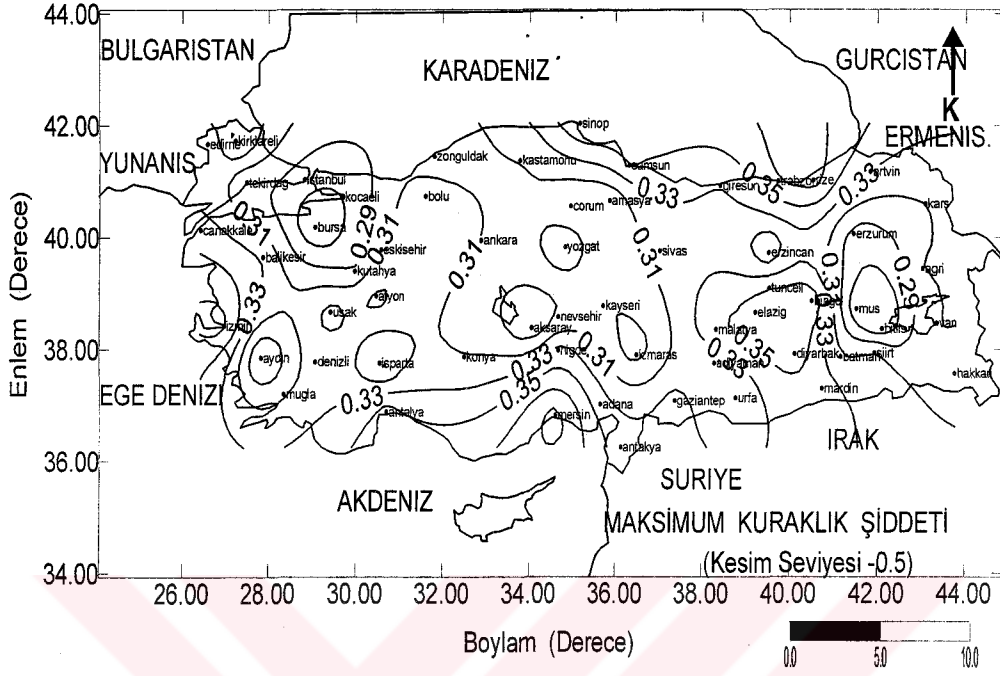
Şekil F.2b Kesim seviyesi -1'de maksimum kuraklık süresi (L; ay) dağılımı.



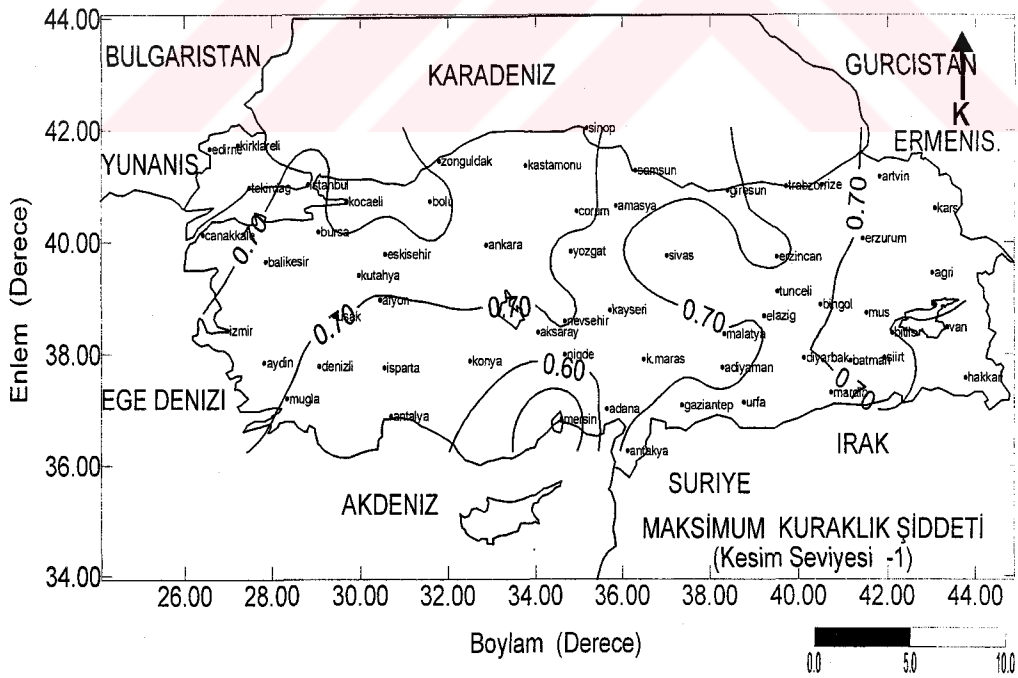
Şekil F.2c Kesim seviyesi -1.5'te maksimum kuraklık süresi (L; ay) dağılımı.



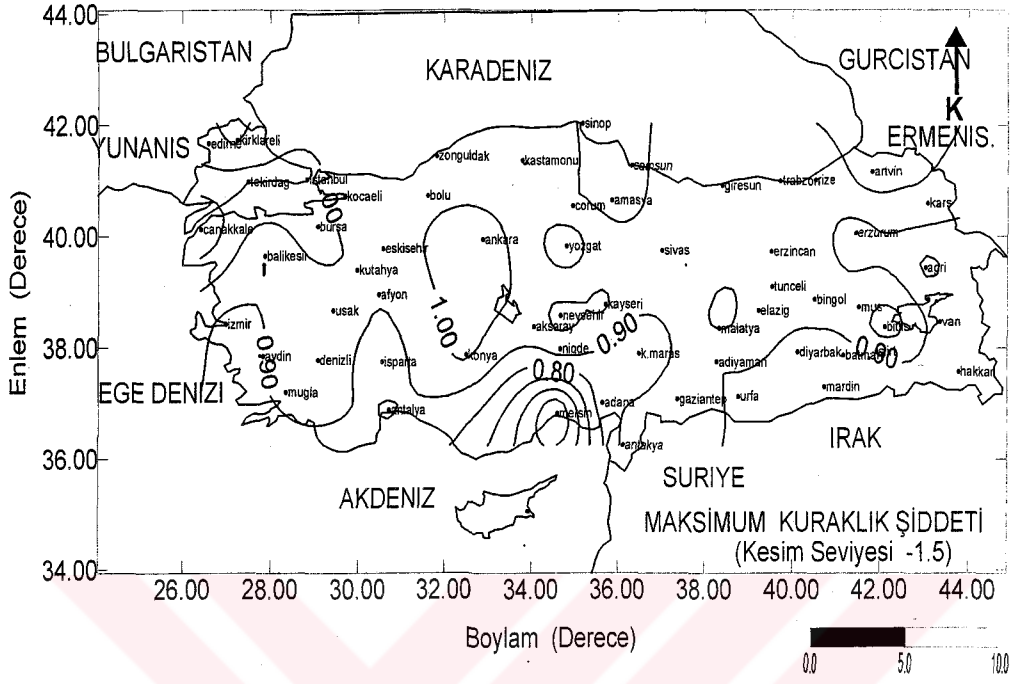
Şekil F.2d Kesim seviyesi -2'de maksimum kuraklık süresi (L; ay) dağılımı.



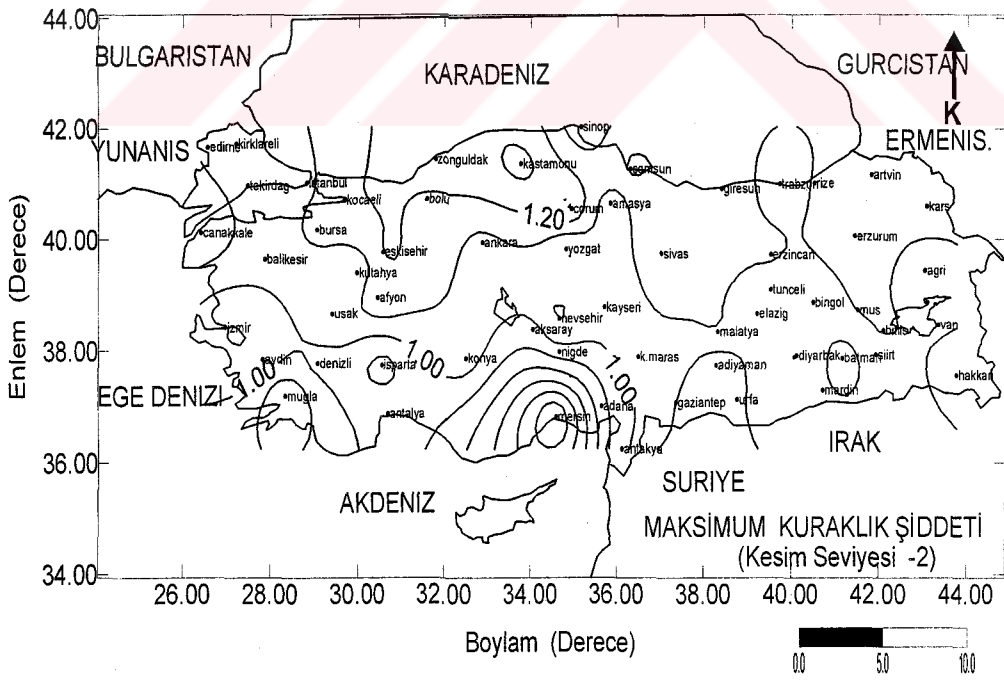
Şekil F.3a Kesim seviyesi -0.5'te maksimum kuraklık şiddeti (I) dağılımı.



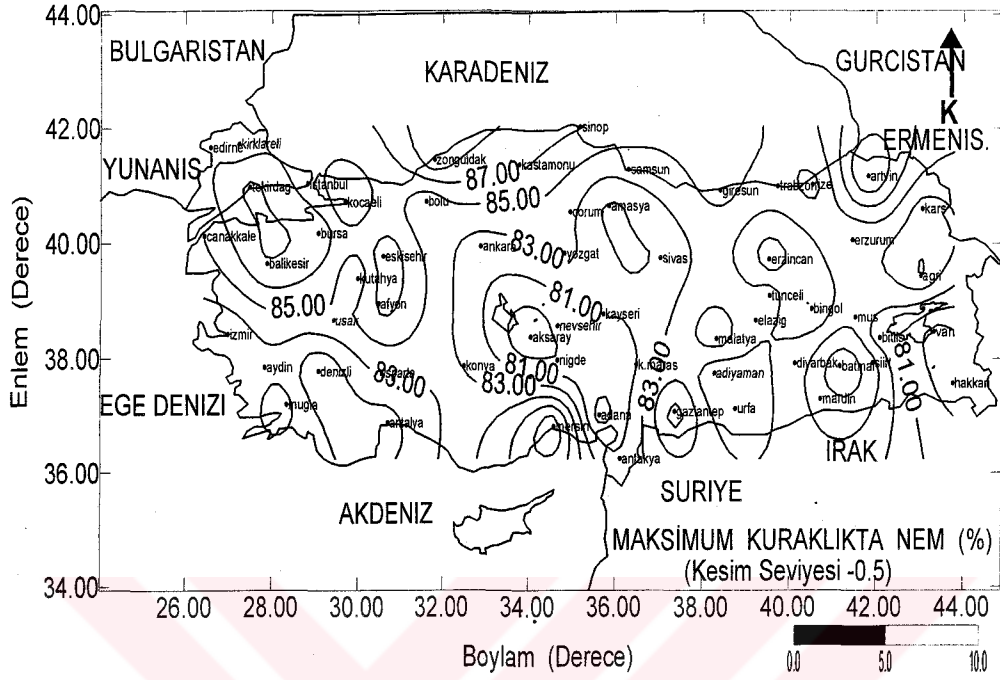
Şekil F.3b Kesim seviyesi -1'de maksimum kuraklık şiddeti (I) dağılımı.



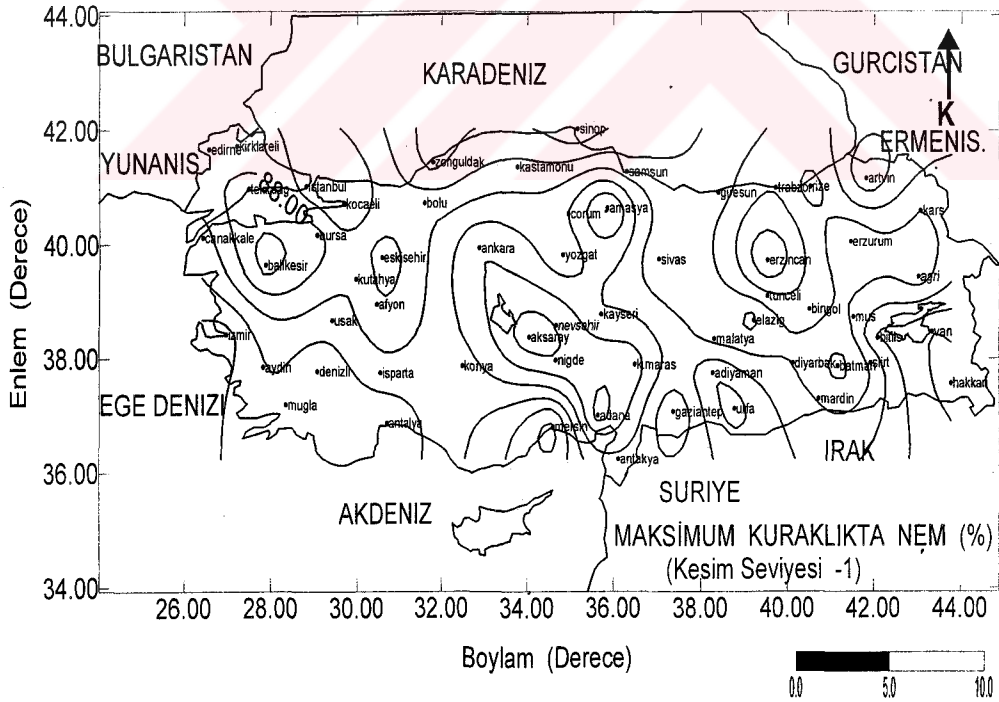
Şekil F.3c Kesim seviyesi -1.5'te maksimum kuraklık şiddeti (I) dağılımı.



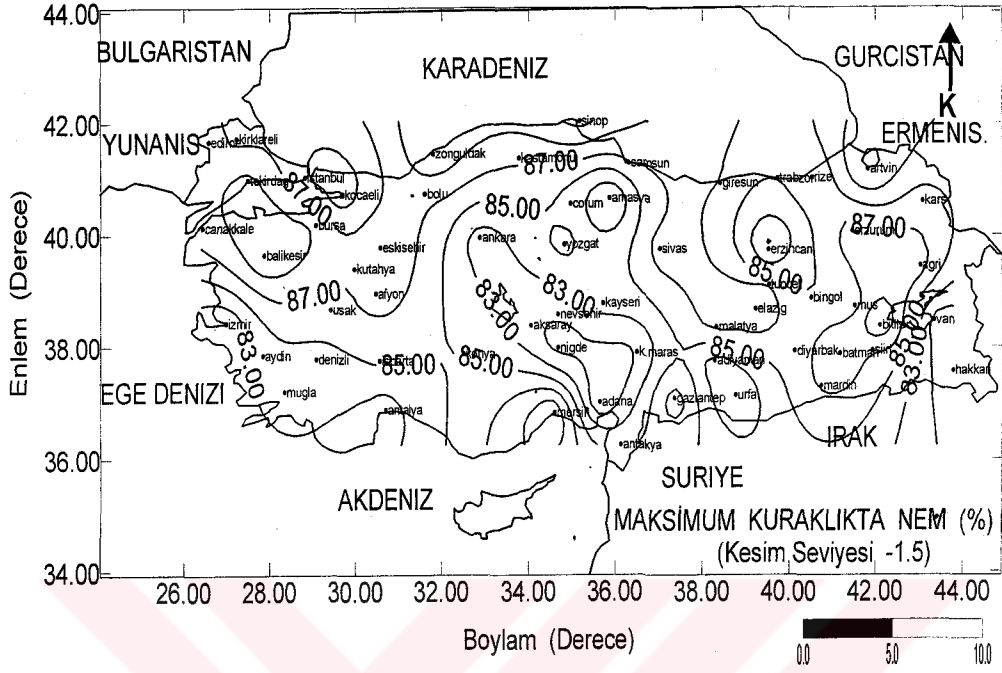
Şekil F.3d Kesim seviyesi -2'de maksimum kuraklık şiddeti (I) dağılımı.



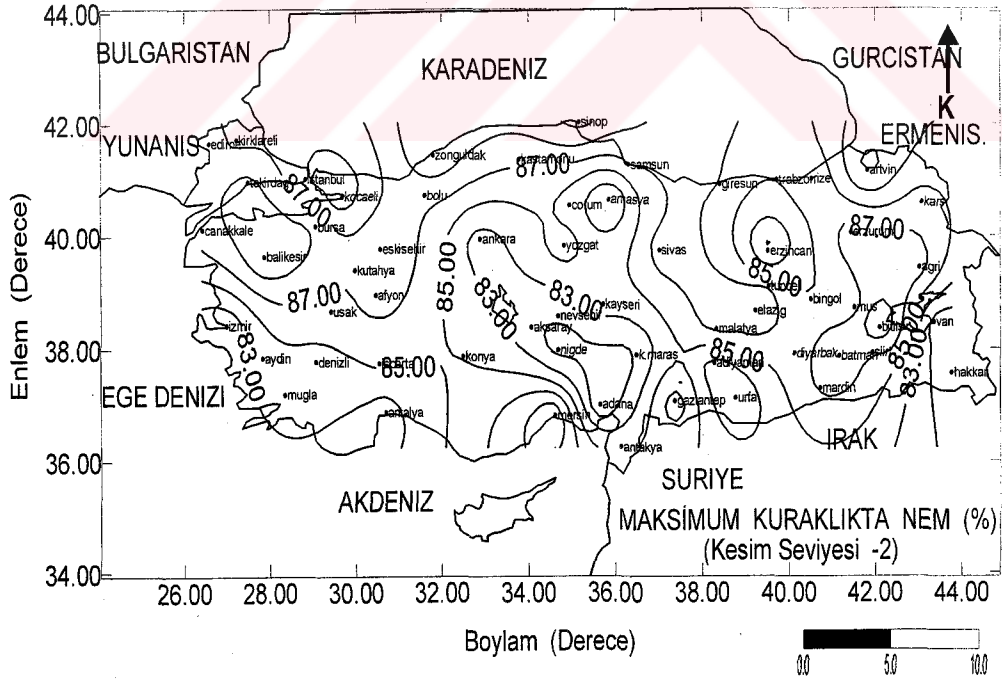
Şekil F. 4a Kesim seviyesi -0.5 için maksimum kuraklıkta nem (%) dağılımı.



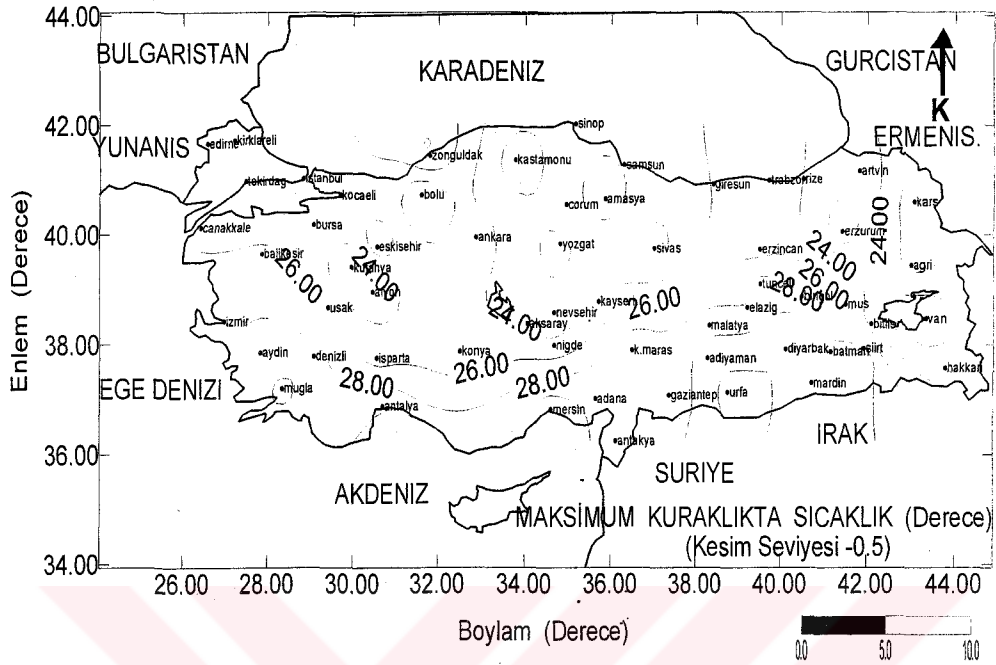
Şekil F. 4b Kesim seviyesi -1 için maksimum kuraklıkta nem (%) dağılımı.



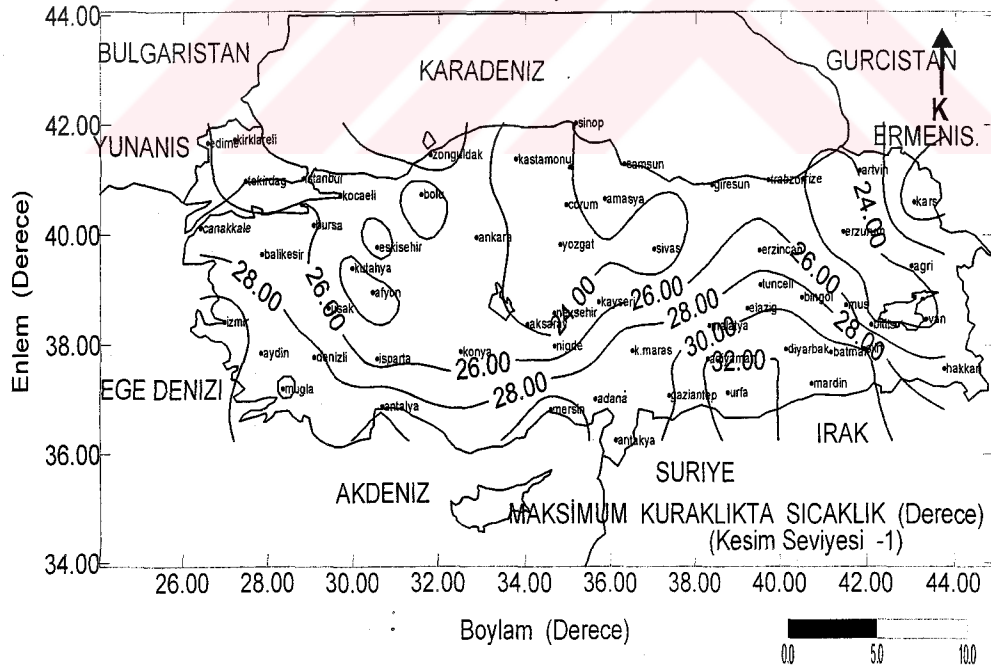
Şekil F.4c Kesim seviyesi -1.5 için maksimum kuraklıkta nem (%) dağılımı.



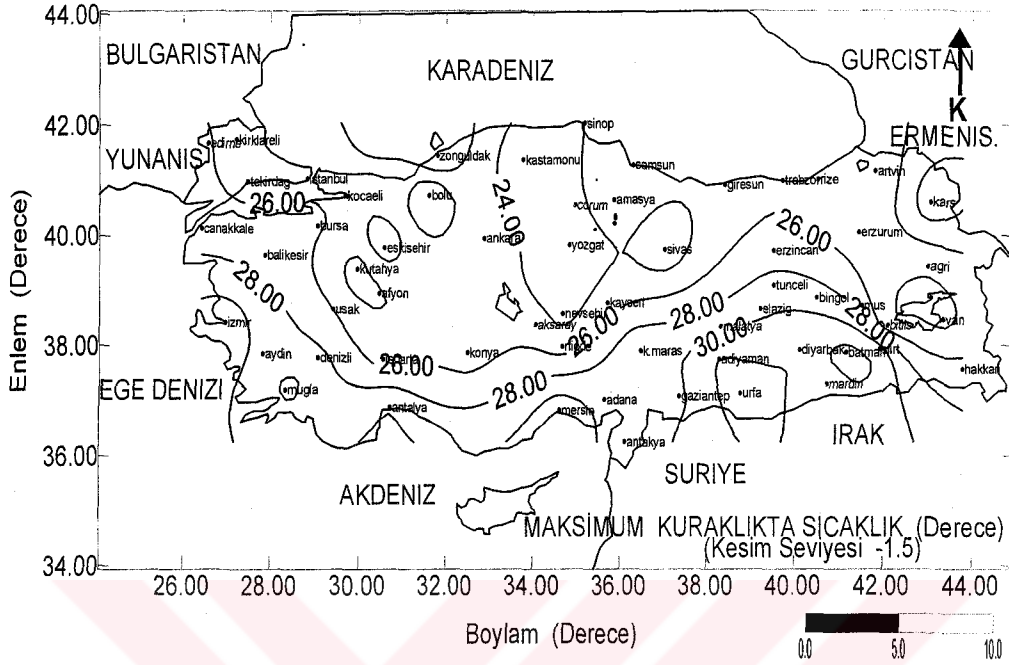
Şekil F.4d Kesim seviyesi -2 için maksimum kuraklıkta nem (%) dağılımı.



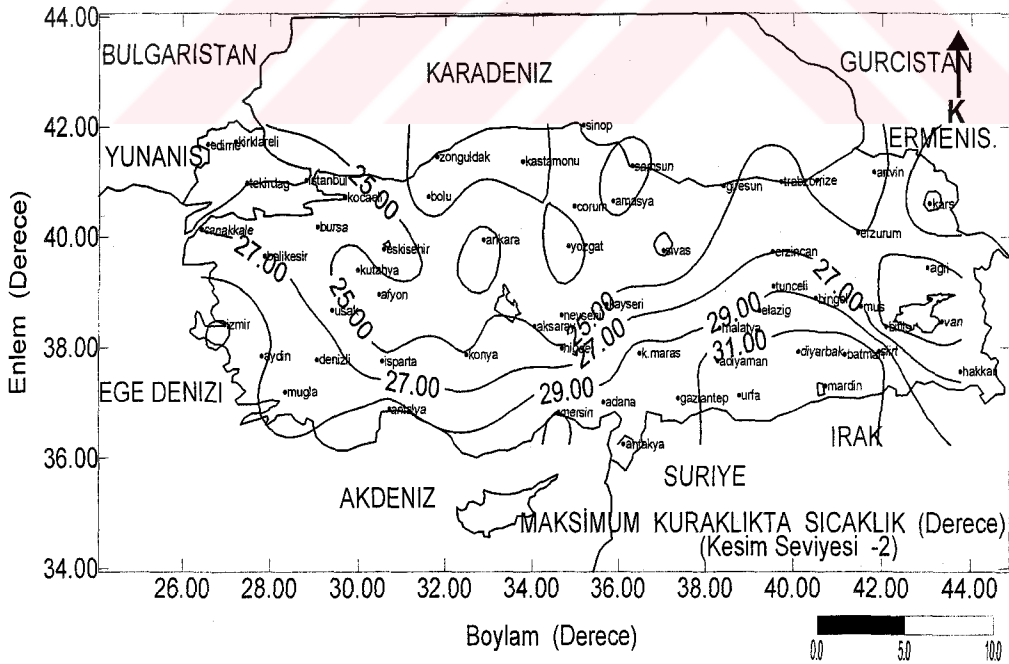
Şekil F. 5a Kesim seviyesi -0.5 için maksimum kuraklıkta sıcaklık (C) dağılımı.



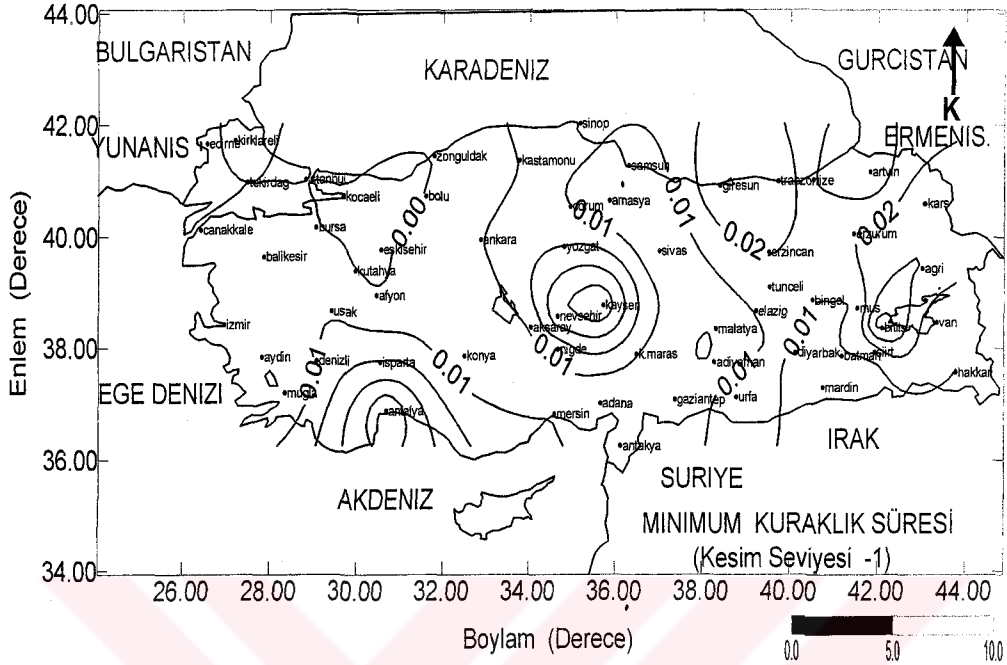
Şekil F. 5b Kesim seviyesi -1 için maksimum kuraklıkta sıcaklık (C) dağılımı.



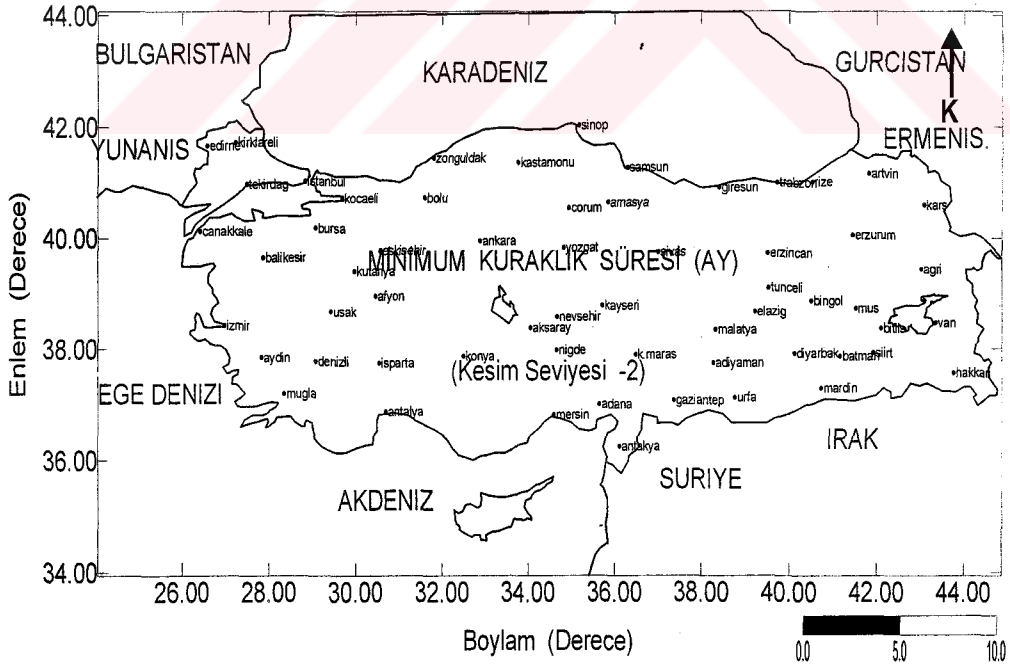
Şekil F.5c Kesim seviyesi -1.5 için maksimum kuraklıkta sıcaklık (C) dağılımı.



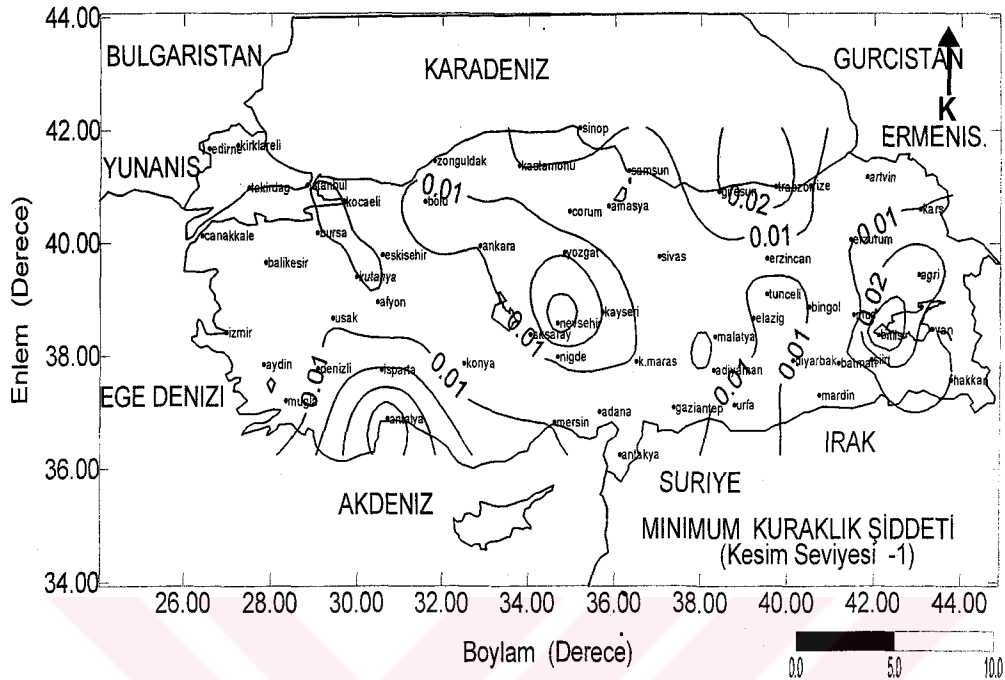
Şekil F.5d Kesim seviyesi -2 için maksimum kuraklıkta sıcaklık (C) dağılımı.



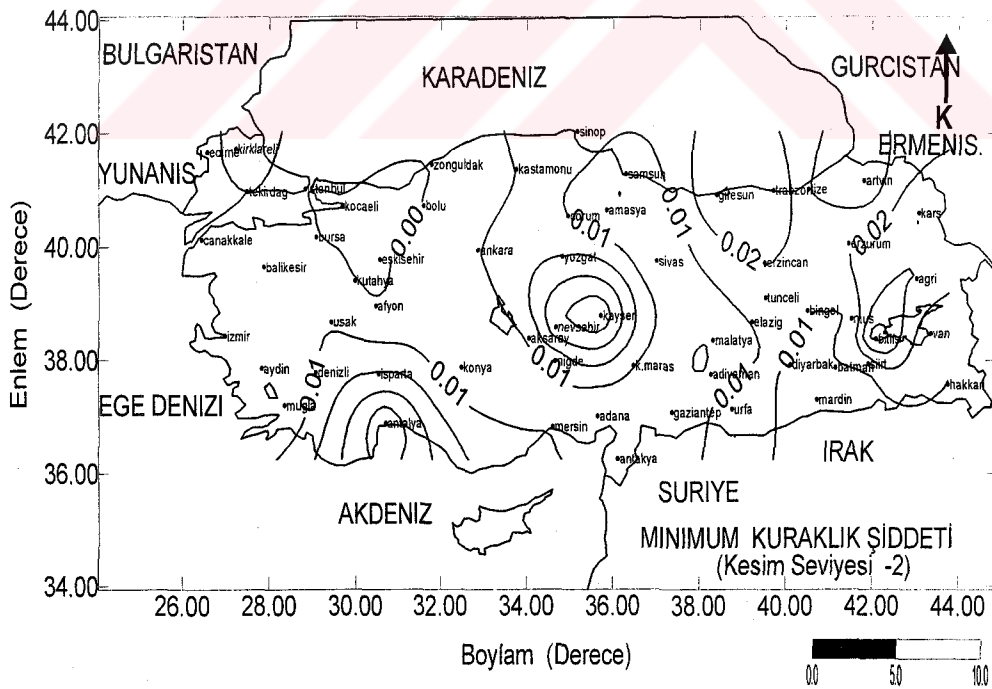
Şekil F.6a Kesim seviyesi -1'de minimum kuraklık süresi (L; ay) dağılımı.



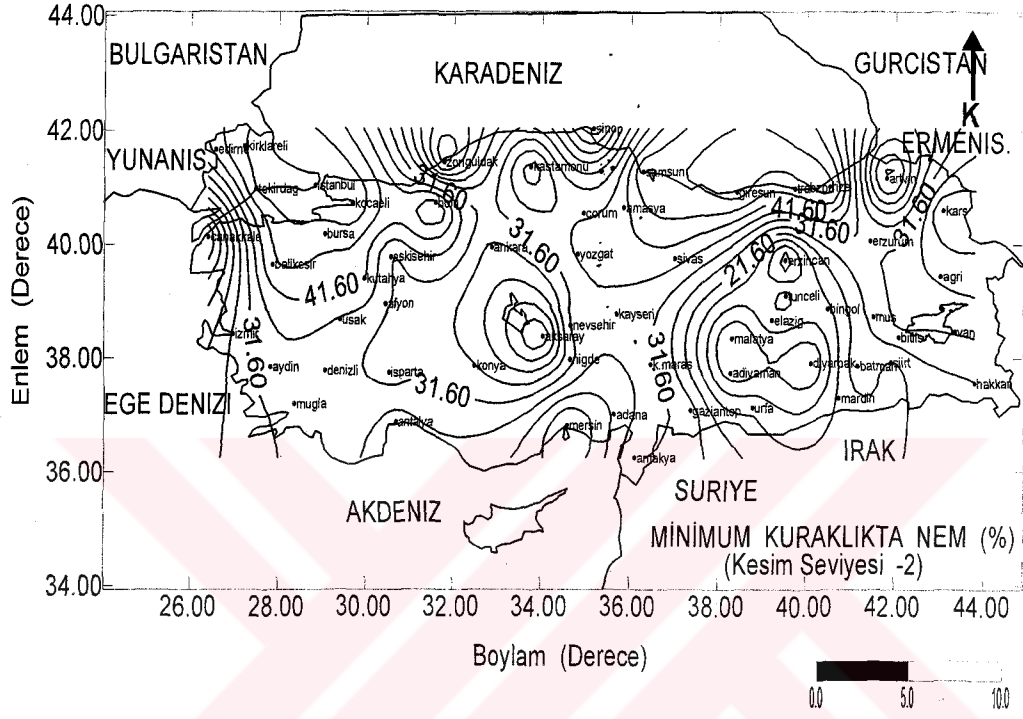
Şekil F.6b Kesim seviyesi -2'de minimum kuraklık süresi (L; ay) dağılımı.



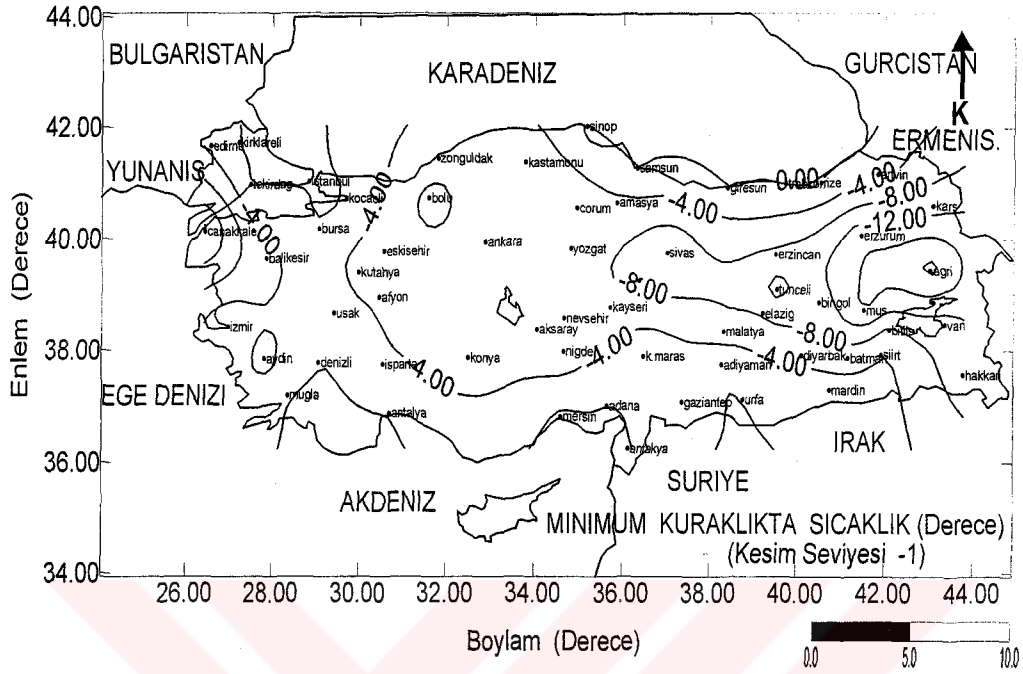
Şekil F. 7a Kesim seviyesi -1'de minimum kuraklık şiddeti (I) dağılımı.



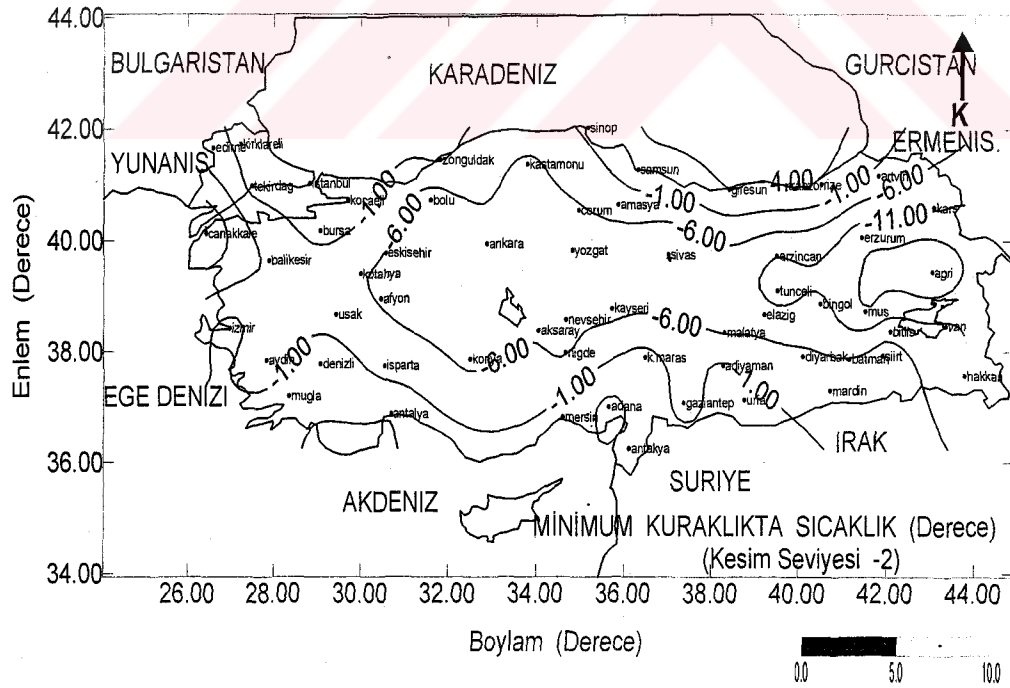
Şekil F. 7b Kesim seviyesi -2'de minimum kuraklık şiddeti (I) dağılımı.



Şekil F. 8a Kesim seviyesi -2 için minimum kuraklıkta nem (%) dağılımı.



Şekil F. 9a Kesim seviyesi -1 için minimum kûraklıkda sıcaklık (C) dağılımı.



Şekil F. 9b Kesim seviyesi -2 için minimum kûraklıkda sıcaklık (C) dağılımı.

ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini birincilik alarak İstanbul'da tamamladı. İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümü'nde 1989'da yüksek öğrenime başladı. Aynı bölümden 1993 yılında lisans öğrenimini birincilikle tamamlayarak, 1994 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans programına başladı. Yüksek lisans programını 1996 yılında tamamlayarak aynı anabilim dalında doktora programına başladı. Halen doktora öğrenimine devam etmektedir.

Sevinç Sırdaş 1994 yılından bu yana İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Sevinç Sırdaş evli ve bir çocuk annesidir.

Sevinç Sırdaş'ın hidrometeoroloji ve kuraklık konularında çeşitli ulusal ve uluslararası yayınları bulunmaktadır.