

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**KONYA HAVZASINDA EVAPORATİF STRES İNDEKS İLE KURAKLIĞIN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Çağlar Özkan SEZER

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

**ANKARA
2022**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

KONYA HAVZASINDA EVAPORATİF STRES İNDEKS İLE KURAKLIĞIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Çağlar Özkan SEZER

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yusuf Ersoy YILDIRIM

Son yıllarda hem dünyada hem ülkemizde sıklıkla söz edilen iklim değişimi ve kuraklık, tarımı yani dolaylı olarak insan yaşamını tehdit eder hale gelmiştir. Kuraklık; önemli derecede ekonomik, sosyal ve çevresel etkileri olan doğal bir olaydır. Kuraklık; ne zaman gerçekleşeceği, nerede gerçekleşeceği, ne kadar bir zaman süreceği, ne kadar şiddetli olacağı, ne kadar bir alanda etkili olacağı kesin olarak bilinemeyen meteorolojik karakterli bir doğal afettir. Kuraklığın en büyük özelliği kendisini hissettirmeden yavaş yavaş gelişmesi ve sona erdikten yıllar sonra bile etkisini o alanda gösterebilmesidir. Kuraklığın etkileri genellikle ilk olarak tarımda görülmekte ve yavaş yavaş suya bağımlı diğer sektörler yayılmaktadır. Tarım sektörü, son yıllarda gelişen uydu teknolojileri sayesinde uzaktan algılama tekniklerinin etkili bir biçimde kullanıldığı sektörlerden birisi haline gelmiştir. Özellikle tarımsal kuraklığın uzaktan algılama teknikleri ile tespit edilebilmesi büyük avantaj sağlamaktadır. Son zamanlarda oransal bitki su tüketimi yaklaşımını temel alan Evaporatif Stres İndeks (ESI) isimli yeni bir kuraklık indeksi geliştirilmiştir. Bu çalışmada, Evaporatif Stres İndeks'in Konya Havzasında kullanım imkânları araştırılmıştır. Bu amaçla ilk bölümde, Konya Havzası Kuraklık yönetim planı 4/2005 – 7/2005 ortak kurak dönemi PDSI aylık sonuçlarının toplamsal haritası ile 7/2005 tarihli aylık ESI karşılaştırılmış ve 0.84 düzeyinde korelasyon değeri tespit edilmiştir. İkinci bölümde, Konya Havzasında tesadüfi seçilen bir arazinin 2007 – 2008 – 2009 yıllarında haftalık olarak yaşadığı kuraklık ve nemlilik detaylı olarak incelenmiş ve sonuçlar SPI ile karşılaştırılmıştır. Üçüncü bölümde bu tez kapsamında hazırlanan yüksek çözünürlüklü ESI haritaları ve NASA tarafından servis edilen haritalar karşılaştırılmış ve büyük benzerlik bulunmuştur. Sonuç olarak ESI tarımsal kuraklığı görüntüleme açısından eşsiz özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Ocak 2022, 113 sayfa

Anahtar Kelimeler: Konya Havzası, tarımsal kuraklık, uzaktan algılama, bitki su tüketimi, evaporatif stres indeksi, ALEXI, model, uydu

ABSTRACT

PhD Thesis

EVAPORATIVE STRESS INDEX WITH DROUGHT EVALUATION IN KONYA BASIN

Çağlar Özkan SEZER

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Agricultural Structures and Irrigation

Supervisor: Prof. Dr. Yusuf Ersoy YILDIRIM

In recent years, climate change and drought, which are frequently mentioned both in the world and in our country, have become threatening agriculture, that is, indirectly human life. Drought; It is a natural event that has significant economic, social and environmental impacts. Drought; It is a natural disaster of meteorological character that cannot be known exactly when it will happen, where it will happen, how long it will last, how severe it will be, and how much of an area it will be effective. The most important feature of the drought is that it develops slowly without making itself felt. Even years after it ends, it can show its effect in that area. The effects of drought are usually first seen in agriculture and gradually spread to other water-dependent sectors. With the development of satellite technology in recent years, the agricultural sector has become one of the sectors where Remote Sensing techniques are used effectively. It is particularly advantageous to detect agricultural drought with remote sensing techniques. Recently, a new drought index named Evaporative Stress Index (ESI) based on the proportional crop water consumption approach has been developed. In this study, the possibilities of using Evaporative Stress Index in Konya Basin were investigated. For this purpose, in the first part, the additive map of the Konya Basin Drought management plan 4/2005 – 7/2005 common dry period PDSI monthly results and the monthly ESI dated 7/2005 were compared and a correlation value of 0.84 was determined. In the second part, the weekly drought and humidity of a randomly selected land in the Konya Basin between 2007 - 2008 - 2009 were examined in detail and the results were compared with SPI. In the third chapter, high resolution ESI maps prepared within the scope of this thesis and maps served by NASA were compared and great similarity was found. As a result, ESI has been found to have unique features in terms of monitoring agricultural drought.

January 2022, 113 pages

Key Words: Konya Basin, agricultural drought, remote sensing, crop water consumption, evaporative stress index, ALEXI, model, satellite

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Vizyoner bir bakış açısıyla geleceğin konularına bugünden yönlendiren, destek ve görüşlerini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Yusuf Ersoy YILDIRIMA' a şükranlarımı sunarım. Destek ve yönlendirmeleri için Prof. Dr. Mehmet Fatih SELENAY (emekli danışmanım)' a, Prof. Dr. Süleyman KODAL' a ve PDSI haritaları konusunda yardımları için Doç. Dr. İsmail TAŞ' a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin doğru, güncel, eksiksiz bilgi içermesi ve özellikle ALEXI Modelin çözümlenmesi konusunda birçok araştırmacıya danıştım. Penman-Monteith ve METRIC Model konusunda yardımları için Prof. Dr. Eyüp Selim KÖKSAL (Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü - OMÜ)' a, DTD Model ve hangi verilerin, hangi kodlar ile hangi uydularda bulunduğu konusunda yardımları için Dr. Hector NIETO (COMPLUTIG)' ya, Evaporatif Stres İndeks konusunda yardımları için Doç. Dr. Jason OTKIN (Uzay Bilimleri ve Mühendislik Merkezi - WISCONSIN)' e, ALEXI Modelin matematiksel olarak ağır denklemlerinin çözümlenmesinde Dr. Engin AS (Matematik Bölümü - OMÜ)' a ve Yüksek Matematik Öğretmeni Uygur GÖDE (Matematik Bölümü - İNÜ)' ye, Meteosat uydusundan veri temini, görüntüleri işleme, koordinatlandırma, ölçeklendirme ve daha birçok konuda yardımları için Avrupa Uzay Ajansından Carla BARROSO, Pedro DIEGUES, Tim JACOB' a ve bu tezin en başından en sonuna kadar her türlü yardımda bulunan Ankara Üniversitesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümünden Dr. Cenk AKŞİT ve Zir. Yük. Müh. Arman Monshizadeh KARİMİ' ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince bana gösterdikleri sabır, ilgi ve her türlü destekleri için annem Nuray SEZER, babam Cemil SEZER ve eşim Esra KUTLU SEZER' e gönülden teşekkürlerimi sunarım.

I would like to thank all the staff of LSA SAF for providing data, information and technical support in the preparation of this thesis. The LSA-SAF products used in this study were duly supplied and used.

"DSLFL, DSSF, LAI, FVC, LST, VZA, DEM, LATITUDE" was provided by the EUMETSAT Satellite Application Facility on Land Surface Analysis (LSA SAF; Trigo et al., 2011)

<http://lsa-saf.eumetsat.int>

Çağlar Özkan SEZER

Ankara, Ocak 2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ... ..	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	8
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	42
3.1 Materyal.....	42
3.1.1 Araştırma alanı ve iklim özellikleri	42
3.1.2 Araştırmada kullanılan veriler	44
3.1.3 Araştırmada kullanılan yazılımlar	45
3.2 Yöntem	46
3.2.1 Araştırmada kullanılan modeller	46
3.2.1.1 Hava sıcaklığı tahmin modeli.....	47
3.2.1.2 Arazi yüzey sıcaklığı ayrıştırma modeli.....	55
3.2.1.3 Yüzey enerji dengesi	57
3.2.1.3.1 ALEXI Modelinin çalıştırılması	65
3.2.1.4 Evaporatif Stres İndeks (ESI).....	69
3.2.2 İstatiksel değerlendirme yöntemleri.....	71
3.2.3 Konya Havzasında ESI'nın kullanım imkânları.....	75
3.2.3.1 Konya Havzası kuraklık yönetim planı ile karşılaştırma.....	75
3.2.3.1.1 PDSI ile ESI'nın karşılaştırılması	76
3.2.3.1.2 Konya Havza planında verilen ortak kurak dönemin ESI ile karşılaştırılması	78
3.2.3.2 Konya Havzası içerisinde tesadüfi olarak seçilen bir arazinin detaylı incelenmesi.....	79
3.2.3.2.1 ESI yıl içi kuraklık grafiğinin MGM sonuçları ile karşılaştırılması	81
3.2.3.3 ESI haritalarının yüksek çözünürlükte hazırlanması	81
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	82

4.1 Konya Havzası Kuraklık Yönetim Planı ile Karşılaştırma.....	82
4.1.1 PDSI ile ESI'nın karşılaştırılması	82
4.1.2 Konya Havza planında verilen ortak kurak dönemin ESI ile karşılaştırılması	88
4.2 Konya Havzası İçerisinde Tesadüfi Olarak Seçilen Bir Arazinin Detaylı İncelenmesi	88
4.2.1 ESI yıl içi kuraklık grafiğinin MGM sonuçları ile karşılaştırılması	89
4.3 ESI Haritalarının Yüksek Çözünürlükte Hazırlanması.....	91
5. SONUÇ.....	95
KAYNAKLAR	101



SİMGELER DİZİNİ

$\langle v(w, y, i, j) \rangle$	Kompozitlenmiş f_{PET}	mm
$\langle v(w, y, i, j) \rangle_k$	Uzun Yıllar Boyunca Kompozitlenmiş f_{PET}	mm
Δ	Doygun Buhar Basıncı	$kPa/ ^\circ C$
$\Delta \langle v(w, y, i, j) \rangle$	ESI'yi İfade Etmektedir	mm
Δt	Zaman Aralığı	Sn
A	Albedo (birimsiz)	birimsiz
C_p	Havanın Öz Isı Kapasitesi	J/ kg x K
$\epsilon_{(\varphi)}$	Yüzeyin Yönsel Termal Emissivite	birimsiz
e_a	Gerçek Buhar Basıncı	kPa
ET	Bitki Su Tüketimi (evapotranspirasyon)	mm
ET_a	Bitki Gerçek (Aktüel) Su Tüketimi	mm
ET_c	Bitki Potansiyel Su Tüketimi	mm
ET_{REF}	Referans Bitki Su Tüketimi	mm
$f_{(\varphi)}$	Sensör Görüş Alanını Kaplayan Vejetasyon Oranı	birimsiz
f_g	Pikseldeki Yeşil Vejetasyonun Örtme Oranı	birimsiz
G	Toprağın Isı Akısı (İletimi)	w/m^2
$H_{(t)}$	t Zamandaki Toplam Hissedilir Isı Akısı (İletimi)	w/m^2
H	Toplam Hissedilir Isı Akısı (İletimi)	w/m^2
$H_{c,i}$	Gün Doğumundan i Saat Sonra Vejetasyonun Hissedilir Isı Akısı (İletimi)	w/m^2
H_c	Vejetasyonun Hissedilir Isı Akısı (İletimi)	w/m^2
H_i	Gün Doğumundan i Saat Sonra Toplam Hissedilir Isı Akısı (İletimi)	w/m^2
H_N	Belirli Bir Ölçekteki Hissedilir Isı Akısı (İletimi)	w/m^2
H_s	Toprağın Hissedilir Isı Akısı (İletimi)	w/m^2
i	Pikselin Enlem Konumu	derece
j	Pikselin Boylam Konumu	derece
K	Sıcaklık Birimi	kelvin
LAI	Yaprak Alan İndeksi	m^2/ m^2
L_c	Vejetasyonun Uzun Dalga Termal Radyasyonu	w/m^2
L_d	Yüzeye Gelen Uzun Dalga Radyasyonu	w/m^2
L_{dsoil}	Toprak Yüzeyine Gelen Uzun Dalga Radyasyonu	w/m^2
LE	Gizli Isı Akısı (İletimi)	w/m^2
LE_c	Vejetasyonun Gizli Isı Akısı (İletimi)	
LE_s	Toprağın Gizli Isı Akısı (İletimi)	w/m^2
L_s	Toprağın Uzun Dalga Termal Radyasyonu	w/m^2
L_{sky}	Havanın Uzun Dalga Termal Radyasyonu	w/m^2
L_u	Yüzeyden Giden Uzun Dalga Radyasyonu	w/m^2
L_{usoil}	Toprak Yüzeyinden Giden Uzun Dalga Radyasyonu	w/m^2
n	n. Gün Değeri	mm
nc	Ölçüm Alınan Günlerin Sayısı	adet
ns	Stefan-Boltzman Denkleminde Güç Katsayısı	birimsiz
ny	Uzun Yılların Sayısı	adet
P	Atmosferik Basınç	kPa
R	Havanın Gaz Sabiti	J/kg x K

$R_{a,i}$	Gün Doğumundan i Saat Sonra Aerodinamik Direnç	s/m
R_a	Aerodinamik Direnç	s/m
$R_{n,crop}$	Vejetasyonun Kazandığı Net Radyasyon	w/m ²
$R_{n,soil}$	Toprağın Kazandığı Net Radyasyon	w/m ²
R_n	Yüzeyin Kazandığı Net Radyasyon	w/m ²
$R_{nc,i}$	Gün Doğumundan i Saat Sonra Vejetasyonun Kazandığı Net Radyasyon	w/m ²
$R_{s,i}$	Gün Doğumundan i Saat Sonra Isının Hava Boşluğunda Taşınma Direnci	s/m
R_s	Isının Hava Boşluğunda Taşınma Direnci	s/m
R_x	Vejetasyonun Toplam Sınır Katman Direnci	s/m
S_d	Yüzeye Gelen Kısa Dalga Radyasyon	w/m ²
S_{dsoil}	Toprak Yüzeyine Gelen Kısa Dalga Radyasyon	w/m ²
S_u	Yüzeyden Giden Kısa Dalga Radyasyon	w/m ²
$S_{u,soil}$	Toprak Yüzeyinden Giden Kısa Dalga Radyasyon	w/m ²
t	Güneş Doğduktan Sonra Geçen Süre	saat
T	Hissedilir Isı Akısı (İletim) Miktarının Artış Zamanı	saat
t_1	Gün Doğumundan Sonra Birinci Ölçüm Zamanı	saat
t_2	Gün Doğumundan Sonra İkinci Ölçüm Zamanı	saat
$T_{a,1}$	Gün Doğumundan Sonra Birinci Ölçüm Zamanı İçin Havanın Sıcaklığı	K
$T_{a,2}$	Gün Doğumundan Sonra İkinci Ölçüm Zamanı İçin Havanın Sıcaklığı	K
$T_{a,i}$	Gün Doğumundan i Saat Sonra Havanın Sıcaklığı	K
T_a	Havanın Sıcaklığı	K
T_{ac}	Vejetasyonun Gölge Sıcaklığı	K
$T_B(\varphi)$	Yönel Radyometrik Yüzey Parlaklığı	K
T_c	Vejetasyonun Yüzey Sıcaklığı	K
t_i	i Zaman İçin Güneş Doğduktan Sonra Geçen Süre	saat
$T_{RAD}(\varphi)$	Yönel Radyometrik Sıcaklık	K
$T_{RAD,i}$	Gün Doğumundan i Saat Sonra Radyometrik Sıcaklık	K
T_{RAD}	Radyometrik Sıcaklık	K
T_s	Toprağın Yüzey Sıcaklığı	K
T_{SKY}	Radyometrik Yarım-Küre Gökyüzü Parlaklığı	K
$v(n, y, i, j)$	Kompozitlenmesi Düşünülen Aralık Boyuncaki f_{PET} Değerleri	mm
w	Hafta	-
y	Yıl	-
Z	Hava Karışım Tabakası Yüksekliği	metre
Z_1	Hava Karışım Tabakası Başlangıç Yüksekliği	metre
Z_2	Hava Karışım Tabakası Zirve Yüksekliği	metre
Z_T	Hava Sıcaklığı Ölçüm Yüksekliği	metre
α_g	Toprak Isı Akısı (İletim) Katsayısı	birimsiz
α_{PT}	Priestley-Taylor Model Katsayısı	birimsiz
ϵ_{canopy}	Vejetasyonun Emissivitesi	birimsiz
ϵ_{sky}	Atmosferin Emissivitesi	birimsiz
ϵ_{soil}	Toprağın Emissivitesi	birimsiz
$\epsilon_{yüzey}$	Etkili Yüzey Emissivitesi	birimsiz

Θ_m	Karışım Tabakasındaki Havanın Potansiyel Sıcaklık	K
$\Theta_s(z)$	Z_1 ve Z_2 Yüksekliklerindeki Potansiyel Sıcaklığın Artış Miktarı	K
Θ_s	Potansiyel Sıcaklık Artışı Eğrisi	birimsiz
λ_v	Buharlaşma Gizli Isısı	J/kg
ρ_{air}	Havanın Yoğunluğu	kg/m ³
ρC_p	Havanın Hacimsel Isı Kapasitesi	J/ m ³ x K
ρ_s	Toprak Yüzeyinin Kendine Ait Reflektansı	birimsiz
σ	Stefan-Boltzman Sabiti	w/m ² K ⁴
σ_s	Standart Sapma	mm
τ_d	Vejetasyon Boyunca İletilen Dağılık Radyasyonun İletim Katsayısı	birimsiz
φ	Sensör Zenit Açısı	derece
Ω	Topaklanma Faktörü	birimsiz
γ	Psikometrik Değer	kPa/ ⁰ C

Kısaltmalar

ADI	Biriktirilmiş Kuraklık İndeksi
ALEXI	Atmosfer Arazi Karşılıklı Değişim İncersiyonu
AMSR-E	Dünya Gözlem Sistemi için Gelişmiş Mikrodalga Taramalı Radyometre
Aqua	MODİS sensörünü taşıyan uydu
ASTER	Gelişmiş Uzay Kaynaklı Termal Emisyon ve Yansıma Radyometresi
AVHRR	Gelişmiş Çok Yüksek Çözünürlüklü Radyometre
AVPD	Atmosferik Buhar Basıncı Eksikliği
CONUS	Amerika Birleşik Devletleri Kıtası
CSIsat	Bitki Stres İndeksi
CSIws	Bitki Su Stres İndeksi
CWSI	Bitki Su Stres İndeksi
CWSIa	Referans Yüzeyler İçin Bitki Su Stres İndeksi
CWSIe	Bitki Su Stres İndeksi
CZI	Çin Z İndeksi
DEM	Dijital Yükseklik Modeli
DisALEXI	Ayrıştırılmış Atmosfer-Arazi Karşılıklı Değişim İncersiyonu
DMCI	Kuru Madde İçerik İndeksi
DSLRF	Yüzeye Gelen Uzun Dalga Radyasyon
DSSF	Yüzeye Gelen Kısa Dalga Radyasyon
DTD	İkili Sıcaklık Farkı
EC	Mikro Meteoroloji Ölçüm İstasyonu (Eddy Covariance)
ESA	Avrupa Uzay Ajansı
ESI	Evaporatif Stres İndeks
ETDI	Evapotranspirasyon Eksikliği İndeksi
ETMA	ET Haritalama Algoritması (Model)
EVI	Kuvvetlendirilmiş Vejetasyon İndeksi
FVC	Vejetasyon Örtü Oranı
GIS	Coğrafi Bilgi Sistemleri

GOES	Jeostatik Operasyonel Çevre Uydusu
HEG	HDF-EOS to GeoTIFF Çevirici
HOA	Afrika Boynuzu Olarak İsimlendirilen Bölge
IDCI	Birleştirilmiş Kurak Koşullar İndeksi
IDW	Ağırlıklandırılmış Ters Mesafe Yöntemi
IR	Kızılötesi Bölge
IRT	İnfrared Termometre
Landsat	Dünya Yüzeyini İnceleyen ve Fotoğraflayan ABD Bilimsel Uydu Programı
LST	Arazi Yüzey Sıcaklığı
MAE	Ortalama Mutlak Hata
MCZI	Modifiye Edilmiş Çin Z İndeksi
METEOSAT	Avrupa Uzay Ajansı Tarafından İşletilen Meteorolojik Uydu Programı
METRIC	Yüksek Çözünürlüklü ve İçsel Kalibrasyonlu Bitki Su Tüketimi Haritalama
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MIDI	Mikrodalgayla Birleştirilmiş Kuraklık İndeksi
MODIS	Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi
MPDI	Modifiye Dikey Kuraklık İndeksi
MSG	İkinci Nesil Meteosat Uydusu
MSI	Nem Stres İndeksi
NASA	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (Amerika Birleşik Devletleri)
NDMI	Normalleştirilmiş Nem Değişim İndeksi
NDVI	Normalleştirilmiş Vejetasyon Değişim İndeksi
NIR	Yakın Kızılötesi
NLDAS	Kuzey Amerika Kara Veri Asimilasyon Sistemi
NOAA	Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi
OK	Kriging Yöntemi (Ordinary Kriging)
OMDI	Optimize Edilmiş Meteorolojik Kuraklık İndeksi
OVDI	Optimize Edilmiş Vejetasyon Kuraklık İndeksi
PBL	Gezegensel Sınır Tabakası
PCI	Yağış Durum İndeksi
PDI	Dikey Kuraklık İndeksi
PDSI	Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi
PNI	Normalin Yüzdesi İndeksi
PT	Priestley – Taylor
QGIS	Kuantum Coğrafi Bilgi Sistemi
r	Korelasyon Katsayısı
R ²	Determinasyon Katsayısı
RCI	Hızlı Değişim İndeksi
RMSE	Ortalama Karekök Hatası
SAVI	Toprak Ayarlı Vejetasyon İndeksi
SC-PDSI	Kendi Kendini Kalibre Eden Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi
SCYI	Ölçeklendirilmiş Bitki Verim İndeksi
SDCI	Ölçeklendirilmiş Kuraklık Durumu İndeksi
SDD	Stres Derece Günü
SDI	Akarsu Kuraklık İndeksi
SDIa	Sentezlenmiş Kuraklık İndeksi

SEB	Yüzey Enerji Dengesi
SEBAL	Arazi için Yüzey Enerji Dengesi Algoritması
SEBI	Yüzey Enerji Dengesi İndeksi
SEBS	Yüzey Enerji Dengesi Sistemi
SEVIRI	Dönen Gelişmiş Görünür ve Kızılötesi Görüntüleyici
SIPI	Yapıya Duyarsız Pigment İndeksi
SM	Toprak Nemi
SMACEX	Toprak Nemi Atmosfer Eşleşme Deneyi
SMCI	Toprak Nem Durum İndeksi
SMDI	Toprak Nem Eksikliği İndeksi
SPEI	Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi
SPI	Standartlaştırılmış Yağış İndeksi
SR	Basit Oran
SRI	Spektral Yansımaya İndeksi
SRIa	Standartlaştırılmış Yüzey Akış Deşarj İndeksi
S-SEBI	Basitleştirilmiş Yüzey Enerji Dengesi İndeksi
SSEBop	Operasyonel Basitleştirilmiş Yüzey Enerji Dengesi
SSI	Standart Sapma İndeksi
SWC	Toprak Su İçeriği
SWI	Standartlaştırılmış Su Seviyesi İndeksi
SWIR	Kısa Dalga Kızılötesi
SWSI	Yüzey Suyu Tedarik İndeksi
TCI	Sıcaklık Durum İndeksi
TDR	Zaman Alan Yansımaya Ölçeri
Terra	MODIS Sensörünü Taşıyan Uydu
TIR	Termal İnfrared
TRMM	Tropikal Yağış Ölçüm Misyonu
TSEB	İki Kaynaklı Enerji Dengesi
TSTIM	İki Kaynaklı Zaman Bütünleşik Model
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
TVDI	Sıcaklık Vejetasyon Kuraklık İndeksi
UA	Uzaktan Algılama (Remote Sensing)
UBN	Yukarı Nil Havzası
UDM-Land Cover Map	Maryland Üniversitesi Arazi Sınıflandırma Haritası
USDA-ARS	ABD Tarımsal Araştırma Servisi
USDM	ABD Kuraklık Monitörü
USGS	Birleşik Devletler Jeoloji Araştırmaları
VCI	Vejetasyon Durum İndeksi
VHI	Vejetasyon Sağlık İndeksi
VI	Vejetasyon İndeksi
VZA	Uydu Zenit Açısı
WBE	Su Dengesi Hatası
WDI	Su Açığı İndeksi
WPI	Yaprak Su Potansiyel İndeksi
YOI	Yağış Onluklar İndeksi
ZNDX	Palmer Nem Anormallik İndeksi (Z-İndeks)
ZSI	Z – Skoru İndeksi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıklar arasındaki ilişkilerin gösterimi	3
Şekil 3.1 Konya Havzası siyasi haritası	43
Şekil 3.2 Bu tezde uygulanan yöntemlere ilişkin çalışma planı.....	46
Şekil 3.3 Gezegenel Sınır Tabakası Modelinin çalışma prensibi	48
Şekil 3.4 ALEXI Modelini ilk kısıt için çalıştırma şeması	66
Şekil 3.5 ALEXI Modelini ikinci kısıt için çalıştırma şeması	68
Şekil 3.6 Konya Havzası kesim şekli ve Cihanbeyli ilçesi	80
Şekil 3.7 Cihanbeyli ilçesinin hemen kuzeyinde ve ilçeye nispeten yakın bir arazi parçası	80
Şekil 4.1 PDSI (4/2005 – 7/2005 dönemi aylık toplamsal) haritası.....	83
Şekil 4.2 ESI (4/2005 – 7/2005 dönemi aylık toplamsal) haritası	83
Şekil 4.3 ESI (7/2005 tarihli aylık) haritası	83
Şekil 4.4 PDSI (4/2005 – 7/2005 dönemi aylık toplamsal) ve ESI (4/2005 – 7/2005 dönemi aylık toplamsal) haritalarından alınan istasyon değerlerinin karşılaştırılması.....	84
Şekil 4.5 PDSI (4/2005 – 7/2005 dönemi aylık toplamsal) ve ESI (7/2005 tarihli aylık) haritalarından alınan istasyon değerlerinin karşılaştırılması	85
Şekil 4.6 PDSI (4/2005 – 7/2005 dönemi aylık toplamsal) ve ESI (7/2005 tarihli aylık) haritalarının tamamının karşılaştırılması.	87
Şekil 4.7 2007-2008-2009 yıllarına ait ESI yıl içi kuraklık grafiği	89
Şekil 4.8 Konya ili Cihanbeyli ilçesi ocak-eylül dönemi 9 aylık SPI grafiği	90
Şekil 4.9 Konya ili Cihanbeyli ilçesi ocak-aralık dönemi 12 aylık SPI grafiği	91
Şekil 4.10 2009 yılı mayıs ayı (5 km x 5 km) ESI haritası	92
Şekil 4.11 2009 yılı mayıs ayı (2.75 km x 2.75 km) ESI haritası	92
Şekil 4.12 2009 yılı haziran ayı (5 km x 5 km) ESI haritası.....	92
Şekil 4.13 2009 yılı haziran ayı (2.75 km x 2.75 km) ESI haritası.....	92
Şekil 4.14 2009 yılı temmuz ayı (5 km x 5 km) ESI haritası.....	92
Şekil 4.15 2009 yılı temmuz ayı (2.75 km x 2.75 km) ESI haritası.....	92
Şekil 4.16 2009 yılı agustos ayı (5 km x 5 km) ESI haritası.....	93
Şekil 4.17 2009 yılı agustos ayı (2.75 km x 2.75 km) ESI haritası.....	93
Şekil 4.18 2009 yılı eylül ayı (5 km x 5 km) ESI haritası.....	93
Şekil 4.19 2009 yılı eylül ayı (2.75 km x 2.75 km) ESI haritası.....	93

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Konya Havzası uzun yıllar ölçülen ortalama sıcaklıklar	44
Çizelge 4.1 PDSI (4/2005 – 7/2005 dönemi aylık toplamsal) ve ESI (4/2005 – 7/2005 dönemi aylık toplamsal) haritalarından alınan istasyon değerlerinin istatistikleri	84
Çizelge 4.2 PDSI (4/2005 – 7/2005 dönemi aylık toplamsal) ve ESI (7/2005 tarihli aylık) haritalarından alınan istasyon değerlerinin istatistikleri	86
Çizelge 4.3 PDSI (4/2005 – 7/2005 dönemi aylık toplamsal) ve ESI (7/2005 tarihli aylık) istatistik değerleri (haritaların tamamen karşılaştırılması)	86



1. GİRİŞ

Geçen yüzyıldan günümüze değin; iklim değışmeleri, orman alanlarındaki azalma, çevre kirliliğindeki artış, kuraklık, çölleşme, fırtına, sel ve taşkın gibi afetlerdeki artışlar dünyamızı tehdit eden en önemli olaylardır (Anonim 2015). Küresel iklim değışikliği sebebiyle ülkemizin de içerisinde bulunduğu Akdeniz iklim kuşağında, sıcaklıklarda yükselme ve yağışlarda azalma öngörülmektedir. Bu nedenle, yağışa dayalı üretim yapılan tarım alanları risk altında olup tarımsal kuraklık üzerine yapılan çalışmaların önemi her geçen gün daha da artmaktadır (Bora 2019). Kuraklıklar tarım alanları üzerinde önemli düzeyde verim kayıplarına ve ciddi ekonomik gelir düşüşlerine neden olabilmektedir (Şimşek vd. 2008).

Bitkilerin normal gelişimini sağlamak için önemli koşullardan biri, bitki büyüme mevsimi boyunca bitki kök bölgesinde yeterli miktarda nemin olmasıdır. Bu nemi sağlayan kaynaklardan ilki doğal yağışlardır. Nemli bölgelerde bitki büyüme mevsimi boyunca düşen yağışların miktarı ve dağılımı (yıl içinde) genellikle birçok bitkinin su ihtiyacını karşılayacak düzeyde olmaktadır. Ancak, kurak ve yarı kurak iklim özelliğine sahip bölgelerde bitki büyüme mevsimi boyunca düşen yağışlar hem miktar hem de dağılım (alansal ve mevsimsel) açısından yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple bitki, su ihtiyacını karşılayamamaktadır. Türkiye'nin önemli bir kısmı kurak ve yarı kurak iklim kuşağında yer almaktadır (Güngör vd. 2012).

Kuraklık afetinin çevresel boyutunun yanında, ekonomik ve toplumsal boyutları da olmaktadır. Toplumların ekonomisi, sağlığı, psikolojisi ve ticareti kuraklıkla doğrudan bağlantılıdır. Dünyada kuraklığın etki alanı gittikçe artmaktadır. Buna rağmen kuraklık, henüz tam olarak anlaşılabilmiş ve etkileri yeterince değerlendirilebilmiş değildir. Bu sebeple kuraklığın kesin bir tanımı da yapılamamıştır. Tanımlamalar genellikle sektörlere, ülkelere, uygulama alanlarına ve hatta iklim bölgelerine göre değışmektedir. Fiziki coğrafyacılara, klimatologlara ve meteorologlara kuraklığı; yağış, sıcaklık, buharlaşma-terleme, radyasyon şiddeti vb. büyüklükler açısından tanımlamıştır. Su kaynakları mühendisleri; akarsular, yeraltı suları, su biriktirme haznelere, göller açısından

tanımlamıştır. Tarımcılar bitkisel ve hayvansal üretim açısından tanımlamıştır. Coğrafyacılar ve ekonomistler ise insanların yaşamı bakımından kuraklığı incelemiş ve tanımlamışlardır (Anonim 2015).

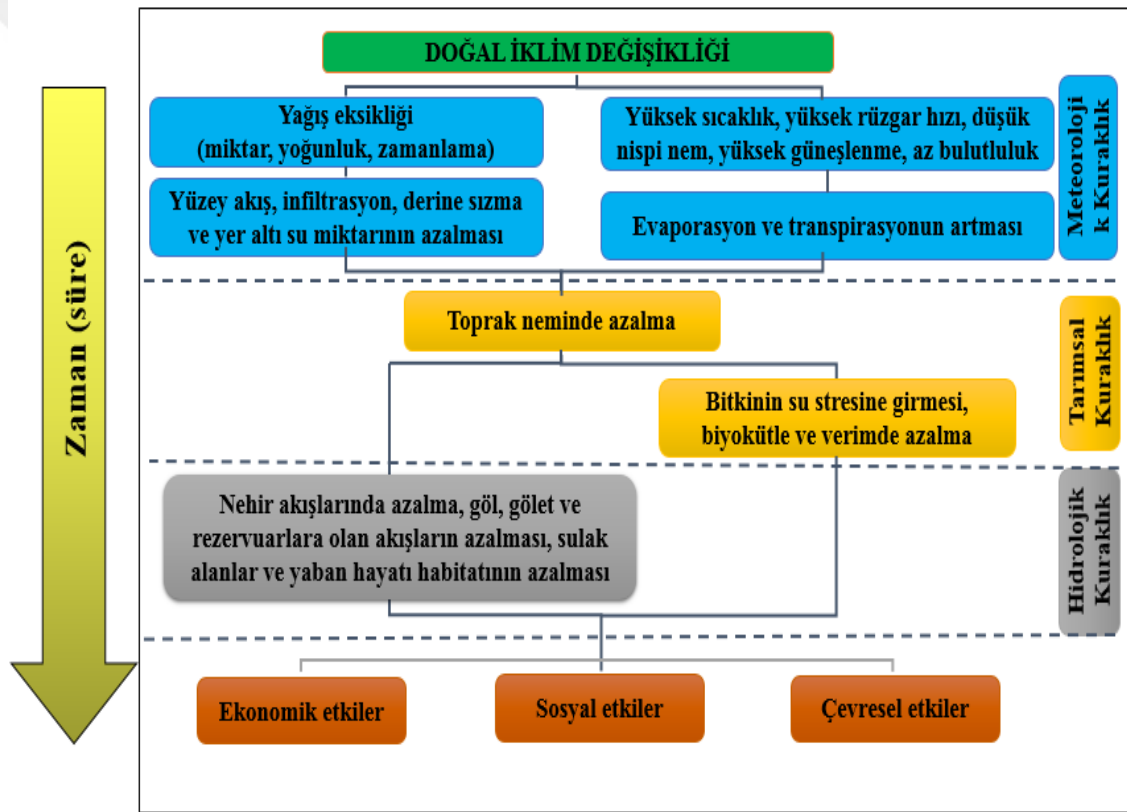
Genel olarak literatür tarandığında kurak veya kuraklık kelimelerinin ise; yağışsız hava anlamında, şiddet anlamında, sulama imkânı varken sulanmayarak kuru bırakılan bitki veya tarım alanı anlamında kullanıldığı görülmektedir. Tüm bu kavram karmaşasının içinde bu tez çalışmasında tanımlanan ve kullanılan terimler ülkemizin resmi kurumu olan Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün tanımladığı ve kullandığı biçimiyledir.

Kuraklık "Yağışların, kaydedilen normal seviyelerinin önemli ölçüde altına düşmesi sonucu, arazi ve su kaynaklarının olumsuz etkilenmesine ve hidrolojik dengenin bozulmasına sebep olan doğal olay" olarak tanımlanabilmektedir (Anonim 1997).

Kuraklığın frekans, şiddet, süre ve etki alanı en önemli niteliklerini oluşturmaktadır. Kuraklığın en önemli özellikleri ise başlangıç ve bitişinin belirsiz oluşu, kümülatif artması, aynı anda birden fazla kaynağa etki etmesi, ekonomik boyutunun yüksek olması olarak sıralanabilmektedir (Anonim 2021a).

Literatürde tanımlanan birçok çeşidi olmakla birlikte meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik olarak üç adet belirgin kuraklık tipi vardır (Wilhite and Glantz 1987). Şekil 1.1'de görüldüğü üzere doğal iklim değişikliği içerisinde; yüksek sıcaklık, yüksek rüzgâr hızı, düşük nispi nem, yüksek güneşlenme ve az bulutluluk neticesinde evaporasyon (buharlaşma) ve transpirasyon (terleme) artmaktadır. Bununla birlikte ilerleyen zamana rağmen yağış düşmemekte ya da az düşmektedir. Kısaca yağış eksikliği çekilmektedir. Yağış eksikliği neticesinde yüzey akış, infiltrasyon, derine sızma ve yer altı su miktarının azalması meydana gelmektedir. Böylece ilk olarak meteorolojik kuraklık gerçekleşmiş olmaktadır. Toprakta suyun depolanabilmesi sayesinde tarımsal kuraklık, meteorolojik kuraklıktan sonra ortaya çıkmaktadır. İlerleyen zamana rağmen yağış eksikliği devam ettiğinde toprak neminde giderek azalma meydana gelecektir. Bu sebeple toprakta yetişen

bitkiler su stresine girerek, biyokütle ve verimlerinde azalma meydana gelecektir. Bu olduğunda tarımsal kuraklık gerçekleşmiş olmaktadır. İlerleyen zamana rağmen yağış eksikliği halen devam etmesi sebebiyle nehir akışlarında azalma, göl, gölet ve rezervuarlara olan akışların azalması, sulak alanlar ve yaban hayatı habitatının azalması durumu gözlenecektir. Bu durum gözlemlendiğinde hidrolojik kuraklık meydana gelmiş olmaktadır. Bununla birlikte, meteorolojik kuraklık sona erdikten uzun süre sonra dahi hidrolojik kuraklık varlığını devam ettirebilmektedir. Bu sebeple hidrolojik kuraklık, kuraklığın ilk göstergelerinden olmamaktadır. Yaşanan kuraklıkların ise her zaman için ekonomik, sosyal ve çevresel etkileri olmaktadır (Wilhite 2000a).



Şekil 1.1 Meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıklar arasındaki ilişkilerin gösterimi (Wilhite 2000a)

Meteorolojik kuraklık: Uzun yıllar ölçümler ile tespit edilen normallerden (genellikle en az 30 yıllık) olan sapma olarak ifade edilmektedir. Meteorolojik normaller, bölgesel klimatolojinin tam olarak anlaşılması mantığına dayandığı için kuraklığı ifade etmede önde gelen göstergelerden olmaktadır. Devam eden bir meteorolojik kuraklık olayı hızlı

bir şekilde kuvvetini artırabilir ya da aniden kuvvetini kaybedebilmektedir. Genel olarak kurak dönemler, uzun yıllar ölçümler ile tespit edilen eşik değerlerin altında geçen yağışlı günlerin sayısı ile ifade edilmektedir. Meteorolojik kuraklık; SPI, NPI, PDSI, vb. indeksler ile tespit edilmekte ve gösterilmektedir (Anonim 2021a).

Tarımsal kuraklık: Bitkilerin büyüüp gelişmesi için bitkinin kökü ile bulunduğu topraktan (ortamdan) su alması gerekmektedir. Bu ortamda yeterli nem olmaması durumu tarımsal kuraklık olarak ifade edilmektedir. Yeterli nem ifadesi ise bitki den bitkiye değişmektedir. Dolayısı ile bitkinin türü, çeşidi, kritik dönemi ve seviyesi tarımsal kuraklıkta belirleyici bir faktör olmaktadır. Toprağın derinlikleri suya doygun halde olsa bile bitkilerin kökü belirli bir mesafeye uzanabildiğinden tarımsal kuraklık tarımsal üretimi ciddi oranda azaltabilmektedir (Anonim 2021a). Bununla birlikte, azalan transpirasyon ve yaz aylarında artan sıcaklıklar yangınların oluşmasına da sebebiyet verebilmektedir (Caccamo vd. 2011, Barbara vd. 2012). Tarımsal kuraklık meteorolojik kuraklıktan sonra ve hidrolojik kuraklıktan önce oluşan bir kuraklık tipi olmaktadır (Anonim 2021a).

Hidrolojik kuraklık: Uzun süre devam eden yağış eksikliği sonucunda ortaya çıkan yeryüzü ve yer altı sularındaki çekilme hatta kuruma hidrolojik kuraklık olarak ifade edilmektedir. Nehir akış miktarları ve rezervuar, göl ve yer altı su seviyesi ölçümleri ile tespit edilebilmektedir. Yağış (yağmur ve kar) eksikliği ile akarsu, dere ve rezervuarlardaki su eksikliği arasında bir miktar zaman geçtiği için hidrolojik ölçümler kuraklığın ilk göstergelerinden olmamaktadır. Meteorolojik kuraklık sona erdikten uzun süre sonra dahi hidrolojik kuraklık varlığını devam ettirebilmektedir (Anonim 2021a). Hidrolojik kuraklık; Standartlaştırılmış Akış İndeksi, Yüzey Suyu Tedarik İndeksi, Standartlaştırılmış Yeraltı Suyu Seviyesi İndeksi, vb. indeksler ile tespit edilmekte ve gösterilmektedir (Shukla vd. 2008; Shafer ve Dezman 1982; Bloomfield ve Marchant 2013).

Kuraklığın etkileri doğrudan ya da dolaylı olabilmektedir. Bu etkileri genel olarak ekonomik, çevresel ve sosyal etkiler olarak 3 kategoride toplanmaktadır (Şimşek 2010).

Ekonomik etkiler: Tarımsal ürün veya kalitesinde kayıplar, süt ve çiftlik hayvanları kaybı “ekin alanları ve otlakların verimliliğinin azalması, vb. sebeplerle”, kereste üretiminde kayıplar “ormanların verimliliğinin azalması veya yanması vb. sebeplerle”, balık üretiminde kayıplar “akarsuların kuruması, vb. sebeplerle”, ekonomik büyümede kayıp, ulusal gelişmede gecikme, yiyecek üretiminde azalma ve stoklarda düşüş “sonuçta gıdanın pahalılaşması, vs.), nehir ve kanalların denizciliğe olan katkılarında kayıp, yeni ve ilave su kaynaklarının geliştirilmesi ve nakledilmesindeki pahalılık (giderlerler), çiftçi gelirlerinde kayıplar “sonuçta köy-den kente göç, işsizlik artması”, tarımsal sanayide hammadde sağlamada problemler, hükümetlerin vergi gelirinde kayıplar, vb. birçok etkileri olmaktadır (Anonim 2021b).

Çevresel etkiler: Toprakta su ve rüzgâr erozyonu zararı, tarımsal ürün alanlarına zarar, suyun kalitesinde etkilenme, doğal yaşam alanlarının yok olması, vb. birçok etkileri olmaktadır (Anonim 2021b).

Sosyal etkiler: Yiyecek kıtlığı, yoksullukta artış, göç, sosyal huzursuzluk, kırsal alanlardaki yaşam seviyesinde düşüş, vb. birçok etkileri olmaktadır (Anonim 2021b).

Ekonomik ve çevresel olarak tanımlanan etkilerin de mutlak sosyal bir boyutu olmaktadır. Göçler genellikle kentlere ve kuraklık olmayan bölgelere doğru olmaktadır. Bazen komşu ülkeler arasında bile göçler meydana gelmektedir. Kuraklık sona erdikten sonra göç edenlerin çok azı evlerine geri dönmektedir. Sonuçta kırsal alanlar değerli insan kaynaklarından mahrum kalmaktadırlar. Kuraklık nedeniyle kentlere göçenler, kentin sosyal altyapısı üzerinde karışıklık ve yoksulluğa yol açacak şekilde artan bir baskı oluşturmaktadırlar (Şimşek 2010).

Kuraklık; yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının kurumasına, orman ve meraların zarar görmesine, evcil ve yaban hayatının tehlikeye girmesine, tarımın tehlikeye girmesine, kent hayatının ve sanayinin olumsuz etkilenmesine sebep olmaktadır (Soltani 2001). Kuraklık, diğer doğal afetlere göre daha fazla insanı toplu olarak etkilemekte ve kapsamlı

ekonomik kayıplara yol açabilmektedir (Lott ve Ross 2006). Kuraklık bugün doğal afetlerin en tehlikelisi olarak ilk sırada gelmektedir (Woodhouse ve Overpeck 1998). Kuraklığın azaltılması ve iklim adaptasyon çalışmalarına yardımcı olmak için esaslı bir kuraklık erken uyarı göstergelerinin geliştirilmesi gerekmektedir (Wilhite vd. 2000b, Wilhite ve Pulwarty 2005). Mevsimlikten haftalık zaman dilimlerine kadar kuraklığın başlaması ve kuvvetlenmesi ihtimalleri için erkenden yapılabilecek bir uyarı, kuraklığın etkilerini hafifletme açısından birçok paydaş için faydalı olabilecektir. Su kısıtını artırma, hayvan sürülerinin erkenden kesime gönderimi, tahıl ve diğer çiftlik ürünlerinin alternatif fiyatlandırma stratejilerinin araştırılması gibi bazı önlemler alınabilecektir (Otkin vd. 2013a).

Kuraklık (meteorolojik, tarımsal, hidrolojik) değerlendirme ve görüntüleme için geleneksel olarak kullanılan birkaç işlevsel indeks bulunmaktadır. Bu indekslerin hepsi de yağmur verisi kullanılmaktadır. Bu indeksler kolaylıkla kullanılamamakta ve karar vericilerin kolayca anlayabilmesi için uyarlanamamaktadırlar (Ji ve Peters 2003). Buna bir örnek Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksidir. Bu indeks U.S. Tarım Bakanlığı tarafından yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Jain vd. 2009). Kuraklık görüntüleme için sıklıkla kullanılan diğer bir indeks Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI)'dir. Bu indeks McKee vd. (1993) tarafından geliştirilmiştir. Meteorolojik kuraklık için geliştirilen bu indeks, tarımsal kuraklık için kullanıldığında 9 – 12 aylık bir süre geçmesi gerekmektedir (Anonim 2021c). Bu ise gerçek zamanlı olası bir kuraklık eylem planı için son derece kullanışsız olmaktadır (Anderson 2015). Bu kuraklık şiddeti ölçme ve görüntüleme indekslerinin hepsi, geniş bir alana konumlu farklı meteorolojik istasyonlarda ölçülen noktasal veriye dayanmaktadır. Eğer çalışılan yapılan bölgede meteoroloji istasyonu yok ise bu durumda en yakın komşu istasyon yağış gözlemleri kullanılmaktadır. Bu veri kaydırma yöntemi ise son derece hatalı sonuçlara yol açmaktadır (Berhan vd. 2011). Kuraklık çalışmalarında yağış temel bir değişken olarak alınmaktadır. Fakat yağış olmayan dönemler için indekslerde (SPI, NPI, vb.) ve modellerde (istatistiksel) problemler ortaya çıkmaktadır (Sırdaş 2002).

Günümüzde gelişmiş birçok ülke istenen bu bilgiyi elde etmek ve bu alandaki boşlukları kapatmak için uzaktan algılama (UA) yöntemini kullanmaktadır. Uydudan elde edilen

uzaktan algılama verisi ile devamlı veri seti sağlanabilmektedir. Bu veriler sayesinde olası bir kuraklık başlangıcı tespit edilebilmektedir. Ayrıca yine bu veriler ile kuraklığın süresi ve büyüklüğü de belirlenebilmektedir (Thiruvengadachari ve Gopalkrishna 1993).

Kuraklığı görüntüleme ve erken uyarı sağlama açısından uzaktan algılama, geleneksel indekslere (SPI, NPI, PDSI, vb.) göre son derece üstün özelliklere sahiptir (Berhan vd. 2011). UA, fiziksel temas olmadan objeler hakkında bilgi edinme tekniği olmaktadır. UA geniş alanların görüntüsünün hızlı ve tekrarlanabilir bir şekilde daha az işgücü ile alınabilmesine imkân vermektedir (Sharma 2007).

Uzaktan algılama verileriyle tespit edilen, bitki gerçek su tüketimi ve referans bitki su tüketiminin oranını kullanan Evaporatif Stres İndeks (ESI)'in, tarımsal kuraklığın hem erken hem de çok daha doğru bir göstergesi olmaktadır. ESI'nın belirlenmesi için bitki gerçek su tüketimi hesaplamalarında ALEXI (Atmosfer Arazi Karşılıklı Değişim Inversiyonu) Modeli, referans bitki su tüketimi hesaplamalarında FAO Penman-Monteith Modeli kullanılmaktadır (Anderson vd. 2011a). Güçlü heterojenlik gösteren arazilerde ulusal çapta toprak su mevcudiyetini ve kuraklık etkisini zamansal gözlemleme açısından ESI çok faydalı olarak değerlendirilmektedir (Anderson vd. 2015).

Bu çalışmanın amacı; ESI ile Konya Havzasında kuraklık oluşumunu, yayılımını, süresini ve şiddetini izlemek ve ESI'nın geleneksel indekslere göre farkını ortaya koymaktır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Dünyada ve ülkemizde uzaktan algılama ile tarımsal kuraklığın tespitinde çeşitli spektral indeksler ve ET değerleri kullanılmaktadır. Bu sebeple, çeşitli alt başlıklara ayrılmadan faydalanılan kaynaklar kronolojik sıraya göre aşağıda verilmiştir.

Jackson vd. (1977), 6 farklı sulama suyu konusuna sahip bir arazi denemesi kurmuşlardır. Her bir konu için buğday kanopi sıcaklığı ve hava sıcaklığı farkı ile Stres Derece Günü (SDD) indeks değerleri elde etmişlerdir. Bu indeks değerleri ile sulama zamanı ve verilecek sulama suyunun miktarını araştırmışlardır. Bu indeks değerlerini elde etmek için kanopi sıcaklık değerlerini ve 150 cm yükseklikteki hava sıcaklık değerlerini her gün 13:30 ve 14:00 saatleri arasında okumuşlardır. Bu esnada, nötron saçılma yöntemi ile toprak nem miktarını da izlemişlerdir. Sonuç olarak, SDD'nin sulama zamanı ve verilecek sulama suyu miktarının belirlenmesinde kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Bununla birlikte, ET tahmini için net radyasyon (R_n) ile birlikte bitki yüzey sıcaklık değeri ve havanın sıcaklık değeri farkını ($T_c - T_a$) kullanan bir yaklaşım geliştirilmiş ve lizimetreye test edilmiştir. Tahmin edilen ve tüketilen su miktarlarının makul oranda uyumlu olduğunu ifade etmişlerdir.

Ehrler vd. (1978a), gün aşırı kuraklığın buğday kanopi sıcaklığını ve buğday yaprak su potansiyelini nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Bu sebeple nemli toprak koşullarında, yaprak su potansiyelini gün içinde devamlı olarak ölçmüşlerdir. Bu ölçümlere göre sabah ve akşam saatlerinde yaprak su potansiyeli sıfıra yakın iken öğle saatinden saat 16:00'ya doğru -16 bara kadar düştüğünü tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, bitkinin yüzey sıcaklık değeri ve havanın sıcaklık değeri farkı ($T_c - T_a$) sabah saatlerinden saat 10:00'a kadar ve saat 14:00'ten akşam saatlerine kadar negatif olarak ölçtüğünü belirtmişlerdir. Diğer zaman dilimleri için bu farkın, sıfır değerine yakın veya pozitif değerler olduğunu belirtmişlerdir. Diğer taraftan, kuru koşullar için yaprak suyu potansiyelinin akşam saatlerinde sıfır değerine yakın olması beklenmiş, ancak bu durumun gerçekleşmediği ifade edilmiştir. Kuru koşullarda $T_c - T_a$ değerinin sabah saatlerinden sonra hızlı bir şekilde yükseldiğini belirlemişlerdir. Saat 14:00'den sonra ise $T_c - T_a$ değerinin yavaş bir şekilde

azaldığını belirlemişlerdir. Sulu ya da kuru koşullar için saat 10:00'dan sonra $T_c - T_a$ pozitif değerler olduğunu tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, bitki örtüsü sıcaklığı ölçümü için en uygun zamanın saat 14:00 olduğu ifade edilmiştir.

Ehrler vd. (1978b), kuraklığa bağlı olarak stomaların kapanması sonucunda kanopi sıcaklığında bir artış oluştuğunun ve bu durumun kızılötesi termometreler tarafından uzaktan tespit edilebildiğinin bilgisini vermişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada, buğday bitkisinin kanopi sıcaklığı ile yaprak suyu potansiyeli arasındaki istatistiksel ilişkiyi araştırmışlardır. Sonuç olarak, kanopi sıcaklığındaki artışın bitki su stresinin güvenilir bir göstergesi olduğunu tespit etmişlerdir. Büyük ölçekli sulama planlamalarında ve verim tahminlerinde bu bilginin iyileştirme amacıyla kullanılabileceği ifade etmişlerdir.

Hatfield (1979), her bir yaprağa bağlı termistörler ve termokupullarla yaprak sıcaklıklarını ölçmüştür. Bu değerleri, uzaktan infrared termometre ile elde edilen sıcaklık ölçümleriyle karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırmada; bitki olarak kırmızı barbunya fasulyesi ve makarnalık buğday, termometrenin gördüğü alan olarak yaprak ve kanopi alanı, termometrenin tutulduğu açı olarak 2 derece ve 90 derece, infrared termometrenin tutulma saati gibi konular araştırmanın konusunu oluşturmuştur. Çalışma sonuçlarına göre, bireysel yapraklar için 2 derece konumlu infrared termometre ve termistol ölçümlerinin uyumlu olduğunu tespit etmiştir. Bununla birlikte, infrared termometre 1 metre yukarıdan ilgili yaprağa düşey (90 derece) konumlandırıldığında alınan ölçümlerin emissivite gibi bir katsayı ile düzeltilmesi gerektiğini belirtmiştir. Emissivite ile saat bilgisinin ilişkili olduğu bir denkleme ihtiyaç olduğunu ifade etmiştir. Diğer taraftan bitki kanopi sıcaklığında dikey ve açısız ölçümler arasındaki fark; bitki seyrek iken çok az, bitkinin %20 ile %50 örtü düzeyinde iken çok fazla, % 50 den sonra yine azaldığını ifade etmiştir. Kızılötesi sıcaklık ölçümlerinin, güvenilir ve doğru sıcaklık ölçümleri (yaprağa fiziksel bağlanma olmaksızın) sağladığını ifade etmiştir. Kanopinin toprağı tam örtmediği durumlarda infrared termometrenin toprak ve kanopi bileşimi yerine direkt kanopiye tutularak ölçüm alınmasını tavsiye etmiştir.

Walker and Hatfield (1979), kanopi sıcaklığının bitki su stresini gösterdiğini ifade etmişlerdir. Bitki su stresinin ise bitki verimi ile ilişkili olduğunun bilgisini vermişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada, çeşitli ekim tarihleri ve çeşitli toprak nem seviyelerinde kırmızı barbunya fasulyesi (*Phaseolus vulgaris* L.) için SDD indeksini hesaplamışlardır. Daha sonra hesapladıkları bu indeks değerler ile verimi ilişkilendirmişlerdir. Bu sayede SDD ile verim ilişkisini bulmayı amaçlamışlardır. Bu amaçla 9 haftalık bir süre boyunca beş ayrı sulama konusunda deneme yürütmüşlerdir. Toprak nem miktarını ise nötron saçılmaya yöntemi ile haftada en az üç kere 180 cm derinliğe kadar ölçerek tespit etmişlerdir. Bitki kanopi sıcaklıklarını ise her gün öğleden bir saat sonra ölçmüşlerdir. Regresyon analizi sonuçlarına göre çimlenme döneminden olgunluk dönemine kadar ($R^2 = 0.83$) ve çiçeklenme döneminden olgunluk dönemine kadar ($R^2 = 0.82$) doğrusal bir ilişkinin olduğunu tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, bitki veriminin SDD birikimlerine güçlü bir şekilde bağlı olduğunu bulmuşlardır. Araştırmacılar SDD'nin geniş alanlarda verim tahmininde kullanılması potansiyeline işaret etmişlerdir.

Jackson vd. (1981); infrared termometre ile ölçülen bitki kanopi sıcaklığı, ıslak ve kuru termometre değerleri ve net radyasyon değerleri ile birlikte enerji denge yaklaşımından eşitlikler kullanarak Bitki Su Stres İndeksini (CWSI) hesaplamışlardır. Havanın buhar basıncı açığı ile ilişkilendirilen $T_c - T_a$ için teorik sınırlar geliştirdiklerini belirtmişlerdir. Bu yolla tespit edilen CWSI'nin, Penman–Monteith'e göre hesaplanan gerçek ET'nin potansiyel ET'ye oranının, 1'den farkına eşit ($CWSI=1-ET_a/ET_p$) olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmanın devamında, farklı derecelerde su stresine sahip 4 parselli bir buğday denemesinden her gün 13:40 ile 14:00 saatleri arasında ölçümler alarak CWSI'yi test etmişlerdir. Sonuç olarak bu indeks bazı kısıtlamalara sahip olsada faydalı olarak değerlendirilmiştir.

Shafer ve Dezman (1982), Colorado Eyaletinde 1976-77 ve 1980-81 dönemlerinde ilk defa (1950'ler den beri) ciddi kuraklık dönemi yaşandığının ve bu durumun eyalet ekonomisine ciddi zararlar verdiğinin bilgisini vermişlerdir. Devlet yetkilileri ve diğer karar vericiler açısından nem eksikliğinden kaynaklanan olumsuzluklarla, hızlı ve etkili bir şekilde başa çıkmanın çok önemli olduğunu ifade etmişlerdir. Bu amaçla; kurak koşulların başlangıcını, şiddetini ve sona ermesini tespit edebilecek bir yöntem ihtiyacı

olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte; çok sayıda hidrometeorolojik veri kaynağı mevcut olmasına rağmen, genelleştirilmiş bir su mevcudiyet göstergesinin eksik olduğunu vurgulamışlardır. Bu sebeple Yüzey Suyu Tedarik İndeksi (SWSI) geliştirdiklerini belirtmişlerdir. Bu yöntemin; kar miktarı, yağış, rezervuar ve akarsu akışı verilerinin kümülatif olasılık dağılımlarını kullanarak değerler elde ettiğini ifade etmişlerdir. Bu değerlerin ise, havzanın toplam yüzey suyu kaynağı üzerindeki olası etkisiyle orantılı olarak ağırlıklandırılmak suretiyle hesaplandığını belirtmişlerdir. Bu indeksin, -4 ile +4 arasında değerler aldığı ve her büyük havza için aylık olarak tek bir SWSI değeri hesapladığı ifade edilmiştir.

Nielsen vd. (1983), infrared termometre (IRT) ile kanopi sıcaklığı ölçümlerinin görüntüye giren vejetasyon örtü oranından yani arka plandaki toprak görüntüsünden güçlü bir şekilde etkilendiğini ifade etmişlerdir. Bu etkinin ise bitkisel yüzeyin görüntülenmesi için nadir (90 derece) açıda olmayan (açısal) ölçümler alınarak en aza indirilebilir olduğu ifade edilmiştir. Ancak nadir açıda olmayan (açısal) açılarda alınan ölçüm değerlerinin, güneşin ve IRT'nin azimut açısı konumlarına göre düzeltilmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu sebeple, 1982'de Nebraska'da iki ayrı lokasyonda yetiştirilen soya fasulyesi için iki azimut açısı arasındaki geometrik ilişkinin araştırıldığı ifade edilmiştir. Güneş azimutu ve IRT görüş azimutu arasındaki fark 0° 'den yaklaşık 110° 'ye yükseldikçe kanopi sıcaklığı doğrusal olarak azalır iken 110° 'den daha büyük açılara yükseldiğinde ise (dört ana yönde ölçülen kanopi sıcaklıklarının ortalamasının yaklaşık 0.3°C altında) oldukça sabit kaldığını tespit etmişlerdir. 0° ile 110° arasındaki açılar için azalan lineer ilişkinin vejetatif büyüme aşamaları ile güçlü bir şekilde bağlantılı olduğu tespit etmişlerdir.

Kustas and Daughtry (1990), yüzey enerji dengesinin bir bileşeni olan toprak ısı akısını tahmin etmek için uzaktan algılama kullanan bir yöntem geliştirmeyi amaçlamışlardır. Arizona eyaletinin Phoenix şehri yakınlarındaki Maricopa Tarım Merkezinde çıplak toprak, yonca ve pamuk tarlalarında yürüttükleri çalışmada; net radyasyon (R_n), toprak ısı akısı (G) ve çok bantlı bir radyometre (MSS) ölçüm değerlerini kullanmışlardır. Gün ortasında ölçülen toprak ısı akısı ve net radyasyon değerleri oranının (G/R_n); Basit Oran (SR) ve Normalleştirilmiş Vejetasyon Değişim İndeksi (NDVI) ile doğrusal olarak ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, bölgesel ölçekli enerji dengesi çalışmaları için

ihtiyaç duyulan toprak ısı akısı miktarının tespitinde multispektral verilerin kullanılabilmesi ifade etmişlerdir.

Wanjura vd. (1992), 1988-1990 yılları arasında damla sulama sistemi ile sulanan pamuk bitkisinde üç yıllık bir saha çalışması yürütmüşlerdir. İnfrared termometre ile pamuk bitkisinin yüzey örtü sıcaklığını 15 dakikalık aralıklar ile ölçmüşler ve bu değerlerin ortalamasını almışlardır. Bu ortalama değerlere göre bitki yüzey örtü sıcaklığı sisteme tanımlanan değere yükseldiğinde sistemin çalıştığını ifade etmişlerdir. Sisteme tanımladıkları değerlerin 26°C, 28°C, 30°C ve 32°C olduğunu belirtmişlerdir. İlk başlarda kanopiler küçük ve çıplak toprak sıcak olduğu için tüm tanımlanan sıcaklıklar açısından sulama döngülerinin çok kısa zaman aralıklarına sahip olduğunu ve sulama miktarlarının yüksek olduğunu vurgulamışlardır. Sonuç olarak 28°C eşliğini, maksimum tiftik verimi için kullanılmasını tavsiye etmişlerdir. Bununla birlikte, sınırlı su koşullarında 30°C eşliği 28°C eşliğine tercih edilebileceğini, bu durumda tiftik veriminin çok az bir miktar azaltabileceğini ifade etmişlerdir.

Moran vd. (1994), Bitki Su Stres İndeks (CWSI) isimli göstergenin ABD Tarım Bakanlığı bünyesinde yer alan Tarımsal Araştırma Servisi (USDA-ARS)'nin Phoenix, Arizona'da bulunan Su Koruma Laboratuvarı'nda geliştirildiği bilgisini vermişlerdir. Bu indeksin, bitki örtüsü ve hava sıcaklığı arasındaki farka bağlı olarak bitki su stresinin tespiti için sıklıkla kullanılan bir gösterge (indeks) olduğunu belirtmişlerdir. Diğer taraftan kızılötesi sensörlerin (elde tutulan, havadan veya uydu tabanlı), hem toprak hem de bitki örtüsü sıcaklıklarını birleşik olarak ölçtüğünü belirtmişlerdir. Bu durumun ise CWSI'nin yerel ve bölgesel ölçeklerde kullanımını kısıtladığını ifade etmişlerdir. Bu sebeple, hem tam hem de kısmi bitki örtüsüne sahip alanların evapotranspirasyon oranlarını değerlendirmek için yeni bir göstergeye ihtiyaç olduğunu vurgulamışlar ve Su Açığı İndeksi (WDI)'ni tanıtmışlardır. WDI'nin; yerel meteorolojik veriler (net radyasyon, buhar basıncı açığı, rüzgâr hızı ve hava sıcaklığı), uzaktan algılanan veriler (yüzey sıcaklığı, kırmızı ve yakın kızılötesi spektrum) ölçümleri ile hesaplanabildiğini ifade etmişlerdir. Sonuçta, WDI'nin hem tam hem de kısmi bitki örtüsüne sahip alanlar için bitki su tüketim oranlarını ve arazinin nispi su açığını daha doğru tahmin ettiği belirtmişlerdir.

Seguin vd. (1994), uzaktan algılanan yüzey sıcaklıklarının hissedilebilir ve hissedilemez ısı değişim süreçleriyle doğrudan ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Bu ilişki sayesinde evapotranspirasyon (ET) miktarlarının izlenmesinde uzaktan algılanan yüzey sıcaklığının kullanılabilmesinin artık kanıtlanan bir bilgi olduğunu ifade etmişlerdir. Yer seviyesinde konuşlandırılan veya elde tutulan radyometrelerle elde edilen termal kızılötesi (IR) verilerin kullanımının artık birçok tarımsal araştırma ve tarımsal yönetim için bir rutin olduğunu belirtmişlerdir. Uydulardan (meteorolojik) temin edilen IR'nin ise, büyük ölçekli bitki izleme çalışmaları yapılmasına imkân verdiğini vurgulamışlardır. Yaptıkları bu çalışmada; uydu verilerini kullanarak Fransa, Kuzey ve Orta (Sahel) Afrika için SDD'yi ve günlük ET'yi tahmin etmişler ve sonuçları yorumlamışlardır. Sonuç olarak, benzer yaklaşımlarında yerel ve bölgesel ölçeklerde uygulanabileceğini ifade etmişlerdir.

Kogan (1995), Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA)'nın kuraklık tespiti ve takibi için AVHRR tabanlı Vejetasyon Durum İndeksi (VCI) isimli yeni bir gösterge ürettiğini bildirmiştir. VCI'nın; kuraklığın başlangıç zamanını, şiddetini, süresini ve bitki örtüsü üzerindeki etkisini ölçme konusunda mükemmel bir yeteneğe sahip olduğunu ifade etmiştir. Diğer taraftan ise AVHRR'ın termal bantlardaki verisi ile Sıcaklık Durum İndeksi (TCI)'nin geliştirildiğini bildirmiştir. TCI'nın, sıcaklığın ve aşırı nemliliğin neden olduğu bitki örtüsü stresini belirlemek için kullanıldığını ifade etmiştir. Yaptığı bu çalışmada; bu indekslerin ilkeleri verilmiş, veri işleme açıklanmış ve Amerika Birleşik Devletleri'nin farklı ekolojik ortamları için VCI/TCI uygulamasına ilişkin örnekler verilmiştir.

Norman vd. (1995), kısmi bitki örtüsü ile kaplı alanlarda daha soğuk bitki örtüsü ve daha sıcak toprak yüzeyleri oluştuğunu ve bu durumla özellikle yarı kurak iklimlerde daha çok karşılaşıldığının bilgisini vermişlerdir. Bu bağlamda yüzey enerji dengesini daha doğru çözümlemek için iki kaynaklı bir yaklaşımın kullanılması gerektiğini vurgulamışlardır. Toprak ve bitkinin ayrı ayrı hesaplanması sayesinde iki kaynaklı bir yaklaşımın, tek kaynaklı bir yaklaşıma göre çok daha geniş kullanım alanı olacağını ifade etmişlerdir. İki kaynaklı yaklaşımda yüzey parlaklık sıcaklığını toprak ve bitki arasında bölümlendirmek gerektiği için yönlü parlaklık sıcaklığını ve türbülans akış değişimini dikkate alan yeni bir model (iki kaynaklı bir yaklaşım) geliştirmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada, arazi

ölçümleri ile geliştirdikleri bu yeni modelin tahminlerini karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırmayı ise, yarı kurak iklime sahip otlaklar ile çevrili Güney Arizona'da (Musoon 90) ve yarı nemli iklime sahip Doğu Kansas'taki (FIFE) uzun çim çayırında yapmışlardır. Monsoon 90 sahası için hissedilir ve gizli ısı akısı açısından model tahminleri ve ölçümler arasındaki ortalama karekök farkları (RMSD) için 35 ile 60 W/m² arasında olduğu, FIFE için ise RMSD değerlerinin 50 ile 60 W/m² arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, heterojen yüzeylerin varlığı da göz önüne alındığında model tahminlerinin arazi ölçümleri ile kabul edilebilir bir uyum içerisinde olduğunu ifade etmişlerdir. Bununla birlikte, toprak ısı akısı denklemlerinde yapılacak geliştirmelerin modelin tahminlerini daha da iyileştireceğini ifade etmişlerdir.

Anderson vd. (1997), TSTIM (İki Kaynaklı Zaman Bütünleşik Model)'in bitki su tüketiminin (ET) haritalanması için kullanılan uydu tabanlı bir görüntü işleme modeli olduğunu bildirmişlerdir. Diğer modellerden farklı olarak toprak ve bitkiyi ayrı ayrı değerlendirdiği için iki kaynaklı yaklaşım tabiri kullanıldığı belirtilmiştir. TSTIM'in, TSEB (İki Kaynaklı Enerji Dengesi) ve PBL (Gezegensel Sınır Tabakası) Modellerinin birleştirilmesi ile üretildiği ifade edilmiştir. PBL Modelin hava sıcaklık tahmini için kullanıldığı ve açık gökyüzü koşullarında yeryüzü sıcaklığının doğrusal olarak artacağı varsayımını kullandığı belirtilmiştir. PBL Modelin mutlak sıcaklık ölçümü yerine radyometrik sıcaklıktaki zamansal değişiklikleri kullandığından, atmosferik etkilerden veya diğer etkilerden kaynaklanan sapmalardan etkilenmediği ifade edilmiştir. Gün doğumundan 1.5 ve 5.5 saat sonra olmak üzere günde iki defa çalıştırılan PBL Model sayesinde yüzeye yakın hava sıcaklık ölçümlerine olan ihtiyacın ortadan kalktığı vurgulanmıştır. İki Kaynaklı Zamanla Bütünleşik Modelin avantaj ve dezavantajlarının tartışıldığı ve Model denklemlerinin verildiği çalışmada TSTIM'in ihtiyaç duyulan yer tabanlı veriyi en aza indirmek ve tahmin doğruluğunu artırmak için özel olarak tasarlandığı ifade edilmiştir. Araştırmacılar, Modelin performansını Kansas'ta ki Konza Prairie ve çevresinde gerçekleştirilen ilk Uluslararası Uydu Kara Yüzeyi Klimatoloji Projesi saha deneyinden ve Güney Arizona'daki Walnut Gulch Watershed'in yarı kurak meralarında yürütülen Musoon 90 deneyinden toplanan verilerle karşılaştırarak değerlendirmişlerdir. Her bir saha deneyinde elde edilen her bir yüzey enerji dengesi

parametresinin ölçüm ve tahmininin ayrıntılı tablosunun sunulduğu çalışmada sonuçlar başarılı olarak ifade edilmiştir.

Bastiaanssen vd. (1998a), uzaktan algılama verileri aracılığıyla yüzey enerji denge bileşenlerini tahmin etmeye yönelik mevcut algoritmaların başlıca darboğazlarını kısaca özetlemiştir. Yeterince büyük hidrolojik kontrasta sahip alanların görünür ve termal kızılötesi ışımaları arasındaki ilişkinin, Arazi için Yüzey Enerji Denge Algoritmasının (SEBAL) yeni formülasyonunun temelini oluşturduğunu ifade etmişlerdir. Bu yeni algoritmanın (i) en önemli bileşen olarak hidro-meteorolojik parametrelerin mekânsal varyasyonunu ampirik olarak tahmin ettiğini, (ii) sadece kısa dalga atmosferik geçirgenlik, yüzey sıcaklığı ve bitki yüksekliği hakkında alan bilgisi gerektirdiğini, (iii) sayısal simülasyon modelleri içermediğini (iv) arazi örtüsünden bağımsız olarak akıları hesapladığını ve (v) termal kızılötesi görüntüleri birkaç metre ile birkaç kilometre arasındaki çözünürlüklerde işleyebildiğini ifade etmişlerdir.

Bastiaanssen vd. (1998b); EFEDA (İspanya), HAPEX-Sahel (Nijer) ve HEIFE (Çin) büyük ölçekli saha deneylerinden ölçümlenen ve SEBAL ile hesaplanan yüzey enerji akışlarının karşılaştırmasını yapmışlardır. SEBAL için uzaktan algılama verileri ve sahadan bazı yer verileri kullanıldığı bilgisini vermişlerdir. Saha deneylerinden ölçümlenen yüzey enerji akış miktarları, SEBAL bazlı yüzey enerji akış miktarları ile karşılaştırıldığı vakaların % 85'inde farklılıkların aletsel hata düzeyinde olduğunu tespit etmişlerdir. Herhangi bir kalibrasyon işlemleri uygulanmadan, birkaç yüz metrelik alan için buharlaşma miktarının ortalama karekök hatası $RMSE = 0.10$ ile 0.20 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Birkaç yüz metrelik alanın birkaç kilometrelik bir uzunluk ölçeğinde toplanması, genel hatayı yüzde beşe kadar indirdiğini bulmuşlardır. EFEDA deneyinde uçak tarafından ölçülen enerji akışları, havzanın (1.000.000 ha) uzaktan algılanan enerji akışlarının doğruluğunu incelemek için kullanmışlar ve buharlaşma miktarında genel olarak farkın ihmal edilebilir düzeyde olduğunu belirtmişlerdir. SEBAL tarafından tahmin edilen ve saha deneylerinden ölçümlenen yüzey enerji akışlarındaki ortalama fark; Nijer'deki Sahel bölgesi için % 15 düzeyinde olduğunu ve HEIFE için ise 23 W/m^2 olduğunu belirlemişlerdir. Sonuç olarak SEBAL ile hesaplanan yüzey enerji akışlarının, saha ölçümleri ile çok uyumlu olduğu ifade edilmiştir.

Mecikalski vd. (1998), ALEXI'nin uzaktan algılama yoluyla elde edilen veriler kullanılarak kara yüzeyi ile atmosferik sınır tabakası arasındaki karşılıklı enerji değişimini değerlendiren bir model olduğu bilgisi verilmiştir. ALEXI Modelinin; Jeostatik Operasyonel Çevre Uydu (GOES) gibi sabit bir uydu platformundan ölçülebilen, kara yüzeyi parlaklık sıcaklıklarındaki zamansal değişiklikleri kullandığı ifade edilmiştir. Modelin yalnızca birkaç tane yer tabanlı ölçüm gerektirmesi sayesinde özellikle bölgesel veya kıtasal ölçekte uygulamalar için çok uygun olduğu vurgulanmıştır. Yaptıkları bu çalışmada, Modelin bölgesel ölçekli uygulamaları için girdi verilerinin birleştirilmesi sürecini özetlemişlerdir. Daha sonra Orta Amerika Birleşik Devletleri için ALEXI Modelinin enerji akış tahminlerini, Güney Büyük Ovalar (SGP-97) Hidroloji Deneyi sırasında elde edilen yüzey enerji akış ölçümleriyle karşılaştırmışlardır. Yüzey enerji bileşenlerinin her bir parametresi için ölçüm ve tahmininin ayrıntılı tablosunun sunulduğu çalışmada sonuçlar makul bir oranda uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Bastiaanssen (2000), SEBAL isimli modelin Landsat Thematic Mapper'dan alınabilen Visible, NIR ve IR verilerini kullandığı bilgisini vermiştir. SEBAL Modelinin; radyasyon, ısı ve buharlaşma akılarını tespit eden yinelemeli ve geri beslemeye dayalı sayısal bir çözümlenme ile çalıştığı vurgulanmıştır. Yaptığı bu çalışmada, Türkiye'nin batısındaki Gediz Nehri Havzası boyunca hissedilir ve gizli ısı akılarını (sırayla H ve LE) tahmin etmiştir. Uydu üst geçişi sırasındaki enerji dengesini ve 24 saatlik enerji dengesini piksel piksel hesapladığını ifade etmiştir. Haziran ve ağustos aylarında tespit edilen bitki gerçek su tüketiminin zamansal değişkenliğini de değerlendirmiştir. Sulamanın, enerji ve bitki su stresinin bölünmesi üzerindeki etkisini tartışmıştır.

Sadler vd. (2000), Güneydoğu ABD Kıyı Ovasının çok çeşitli toprak cinslerine sahip olduğunu bu sebeple bölgede farklı hububat verimleri gerçekleştiğini ifade etmişlerdir. Kurak zamanlarda özellikle mısırın toprak cinsinden çok fazla etkilendiğini belirtmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada, Güneydoğu ABD Kıyı Ovası'nda farklı topraklarda mısır bitkisinin su kullanımını ve su stresini araştırmışlardır. Kuraklık stresinin tespitinde infrared termometreden yararlandıklarını ifade etmişlerdir. Ayrıca,

her bir toprak cinsinde Zaman Alan Reflektometresi (TDR) kullanarak toprak cinsinin bitki su kullanımını üzerindeki etkilerini takip etmişlerdir. Şiddetli kuraklık yaşanan alanlarda; $T_c - T_a$ değerinin $10\text{ }^\circ\text{C}$ değerini aştığını (gözle görülebilen stres alanlarında), diğer alanlarda bu değer $2\text{ }^\circ\text{C}$ 'den daha aşağı değerlerde gezdiğini tespit etmişlerdir. 46 mm'lik bir yağıştan 2 gün sonra tüm alanlarda bu farkın $0\text{ }^\circ\text{C}$ dereceye yaklaştığını, bu durumun ise bitki su ihtiyacının büyük ölçüde karşılandığının göstergesi olduğunu ifade etmişlerdir. Sonuç olarak, kuraklık ile verimin yakın ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

Alderfasi and Nielsen (2001), buğdayın su stresini izlemek ve sulama zamanlamasını planlamak amacıyla CWSI'nın kullanılabilirliğinin bilgisini vermişlerdir. ABD Colorado Eyalet Üniversitesi Bahçe Bitkileri Bölüm Çiftliği'nde 1990 ve 1991 yetiştirme mevsimlerinde bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışma ile CWSI'yı hesaplamak için kullanılacak temel bir denklem geliştirmeyi amaçlamışlardır. Yaptıkları çalışmada bitki kanopi sıcaklığı ile hava sıcaklığı (bitki üzerinden ölçülen) farkı ($T_c - T_a$) ve atmosferik buhar basıncı eksikliği (AVPD) birbiriyle negatif ilişkili [$R^2 = 0.88$ ve $p = 0.001$] olduğunu tespit etmişlerdir. Bu ilişki sayesinde su stresi olmayan durum için temel bir denklem üretilebileceği ve dolayısıyla Bitki Su Stres İndeksini (CWSI) hesaplamak için kullanılabilirliği ifade etmişlerdir. Sonuç olarak, CWSI'nın buğday su durumunu izlemek ve sulama zamanını planlamak için değerli bir araç olduğu ifade edilmiştir. Diğer benzer tarımsal ürünler için kullanılması tavsiye edilmiştir.

Özkan (2001), kuraklık olgusunun bitkilerin büyüme ve gelişmesini direkt etkileyen en önemli faktör olduğunu ifade etmiştir. Kuraklığı, geniş bölgeleri etkileyen yağış noksanlığı olarak tanımlamıştır. Araştırmasında ilk olarak, Eğirdir Gölü Havzası'nda 1975-1994 yıllarına ait yıllık ortalama yağışları kullanarak standart sapmayı tespit etmiştir. Daha sonra, Türkiye için önerilen istatistiksel yöntemden ve havzaya ait eş yağış eğrili haritalardan faydalanarak farklı kuraklık tehlikesine sahip alanları haritalandırmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre ağaçlandırılması gereken ya da bitkisel üretime ayrılması gereken yerleri belirtmiştir. Bitkisel üretime ayrılacak yerler için yetiştirilmesi gereken bitkiler, sulama ve ilaçlama programları hakkında bilgiler vermiştir. Ayrıca kuraklık ve yangın tehlikesi gibi konular hakkında bilgiler vermiştir.

Mohamed vd. (2004), yukarı Nil'in geniş bataklıklar bölgesi için NOAA-AVHRR görüntülerini SEBAL Modeline uygulayarak enerji dengesi bileşenlerini ve dolayısı ile buharlaşma miktarlarını elde etmeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla Sudd, Bahr el Ghazal ve Sobat Havzalarının bataklıklar bölgesinde bir çalışma yürütmüşlerdir. Yaklaşık 1000 km x 1000 km'lik bir alan için gerçek buharlaşma miktarını ve toprak nem miktarını araştırmışlardır. 2000 yılı için aylık (gerçek) buharlaşma ve toprak nem haritaları oluşturmuşlardır. Buharlaşma sonuçlarını, üç alt havzanın uzun vadeli ortalama yağış ve akış verileri ile doğrulamışlardır. Sudd Havzasında (% 1.8 hata) ve Sobat Havzası (% 5.7 hata) ile yakın bir benzerlik elde ettiklerini belirtmişlerdir. Buna rağmen, üst havzalardan gelen ölçülmemiş akış veya çeşitli (yağış, akış, vs.) ölçüm hataları nedeniyle Ghazal Havzasında ki hatanın % 27 olarak tespit ettiklerini belirtmişlerdir. Suya doymun olmayan tüm alanlar için toprak nem mevcudiyetini ve aylık buharlaşma miktarlarını kontrol etmişler ve kış döneminde önemli bir kuraklık meydana geldiği sonucuna varmışlardır.

Allen vd. (2005), su hakları muhasebesi ve yeraltı su modellerinin çalışması için aylık ve mevsimlik ET'nin tahmin edilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Güney Idaho'da yürüttükleri bu çalışmada, net yeraltı suyu pompajını ölçmeyi ve yüzeyden sulanan arazilerden geri beslenmeyi tahmin etmek için ET haritaları oluşturmayı amaçlamışlardır. Bu amaçla, Landsat uydu görüntüleri ve METRIC Modeli kullanarak ET haritaları (ET'nin hem miktar hem de mekânsal dağılımını gösteren), oluşturmuşlardır. Sonuç olarak METRIC Modelin (büyüme mevsimi boyunca sulanan arazilerden gelen gerçek buharlaşma miktarlarını tahmin etmek için) verimli, doğru ve nispeten ucuz bir yöntem olarak önemli vaatler sunduğu ifade edilmiştir.

French vd. (2005), arazi kullanımı ve yerel bitki örtüsü durumunu değerlendirmek için yüzey enerji akışlarının değerli bilgiler sağladığını ifade etmişlerdir. Bu bilgilere ulaşmak için, fiziksel tabanlı yüzey enerji akış modelleri ile yüksek kaliteli uzaktan algılama verilerinin birleştirilmesine ihtiyaç olduğunu vurgulamışlardır. ASTER sensöründen alınan verilerin; görünür, yakın kızılötesi ve termal kızılötesi bantlarda yüksek mekânsal çözünürlüğe (15 – 90 m) sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bu bantların, yüzey enerji dengesi modellerine tüm kritik girdiler olan yüzey sıcaklığı, bitki örtüsü yoğunluğu ve arazi kullanım tipleri hakkında değerli bilgiler sağlayabileceğini ifade etmişlerdir.

ABD'nin Iowa Eyaletinde bulunan SMACEX deney sahasında toplanan veriler ile 2002 yazında yürüttükleri bu çalışmada, yüzey enerji akışlarının tespiti için TSEB ve SEBAL Modellerine ASTER uydusundan aldıkları yüksek mekânsal çözünürlükteki veriyi uygulamışlardır. Modellerden çıkan sonuçları hem birbirleri ile hem de mikrometeoroloji ölçüm istasyonu (Eddy Covariance) sonuçları ile karşılaştırmışlardır. İki farklı modelin birbiri ile kıyaslanması sonucu elde edilen regresyonlara göre Rn için % 68, G için % 95, H için % 80 ve LE için % 89 uyum bulmuşlardır. Hem TSEB'in hem de SEBAL'in değişen arazi yüzey sıcaklıklarına ve bitki örtüsü yoğunluklarına sistematik bir uyum göstermesini bir başarı (her iki model açısından) olarak değerlendirmişlerdir. Modellerin, mikrometeoroloji ölçüm istasyonu ile karşılaştırma sonuçlarını uzun ve ayrıntılı bir tabloda sunmuşlardır. TSEB yaklaşımının seyrek bitki örtüsüne sahip alanlar için daha başarılı olduğu ifade edilmiştir.

Tasumi vd. (2005), buharlaşma ve terlemeyi tahmin eden enerji dengesi tabanlı SEBAL ve METRIC Modellerini batı Amerika Birleşik Devletleri'nde uygulamışlardır. Modeller tarafından tahmin edilen ET'nin, lizimetre (yarı kurak iklimlerde) ile ölçülen ET ile iyi bir şekilde uyduğunu tespit etmişlerdir. Diğer taraftan, sıcaklık ve albedo tahminindeki hataları azaltmak için uyguladıkları kalibrasyon işlemlerinin işe yaradığını tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, her iki modelin istikrarlı mevsimsel tahminler yaptığını ve ABD'nin yarı kurak iklimlerinde ET tahmini için başarılı bir şekilde kullanılabileceği ifade etmişlerdir.

Bhuiyan vd. (2006); zayıf ve geciken muson yağmurları, anormal derecede yüksek yaz sıcaklığı ve yetersiz su kaynakları nedeniyle Hindistan'ın Rajasthan eyaletinin sık sık kuraklık çektiği bilgisini vermişlerdir. Bu çalışmada, 1984-2003 yılları için Aravalli bölgesinin meteorolojik ve hidrolojik verilerinin detaylı analizini yapmışlardır. Yağış açığını ölçmek için Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) kullanmışlardır. Yeraltı suyu besleme açığını değerlendirmek için Standartlaştırılmış Su Seviyesi İndeksi (SWI) kullanmışlardır. NOAA-AVHRR uydusundan veriler kullanılarak Normalleştirilmiş Vejetasyon Değişim İndeksi (NDVI), Vejetasyon Durum İndeksi (VCI), Sıcaklık Durum İndeksi (TCI) ve Vejetasyon Sağlık İndeksi (VHI) gibi tarımsal kuraklık indekslerini hesaplamışlardır. Daha sonra Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) ortamında oluşturulan

kuraklık indeks haritaları aracılığıyla muson ve muson mevsimi olmayan mevsimlerdeki mekânsal ve zamansal kuraklık dinamiklerinin detaylı analizlerini yapmışlardır. Sonuç olarak, SPI kuraklık gelişiminin birincil nedeni olan yağış açığını izlediğini ancak etkiyi hesaba katmadığını ifade etmişlerdir. Bazı durumlarda negatif SPI'ya rağmen, bölgede kuraklık yaşanmadığını bazı durumlarda ise pozitif SPI'ya rağmen hidrolojik ve tarımsal kuraklık ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte SWI ve VHI'nın hidrolojik ve tarımsal kuraklığı daha iyi temsil ettiğini tespit etmişlerdir.

Karataş vd. (2006), uzaktan algılama yardımıyla hesaplanan ET ile bitki stres göstergeleri elde edilerek sezon içinde operasyonel bir planlama yapmanın mümkün olduğunu ifade etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, NOAA-16/AVHRR görüntülerini ve SEBAL Modelini kullanarak Menemen Sağ Sahil ve Menemen Sol Sahil Sulama Kooperatifleri için aylık bitki potansiyel su tüketimini (ET_c) ve bitki gerçek su tüketimini (ET_a) tahmin etmişlerdir. Bununla birlikte, 2004 yılı sulama sezonu için ET'nin zamansal ve mekânsal değişimini ve bağıl ET'nin (RET) zamansal değişimini belirlemişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre, Menemen Sol Sahil Sulama Birliği hem RET'nin zamansal değişimi hem de ET_a ve ET_c 'nin mekânsal ve zamansal değişimi açısından Menemen Sağ Sahil Sulama Birliğine göre daha değişken olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca RET değerlerine göre her iki Sulama Birliğinin hem tüm aylarda hem de sulama sezonunda bitkilerin su ihtiyacını karşılayamadığını tespit etmişlerdir.

Köksal (2006), yaptığı çalışmada 2004 ve 2005 yıllarında Ankara koşullarında yedi farklı sulama konusundan oluşan şeker pancarı denemesini yürütmüştür. Yetiştirilen bitkileri infrared termometre ve spektrometre gibi çeşitli cihazlarla ve alandan örnekler olarak izlediğini belirtmiştir. Sonuç olarak bitki su stresinin, yüzey sıcaklığına dayalı çalışan Bitki Su Stresi İndeksi (CWSI) ve yaprak suyuna bağlı çalışan Yaprak Su Potansiyel İndeksi (WPI) ile belirlenebileceğini tespit etmiştir. Spektral indekslerden Normalleştirilmiş Vejetasyon Değişim İndeksi (NDVI) ve toprak yansımalarını dikkate alan Toprak Ayarlı Vejetasyon İndeksi (SAVI)'nin ise vejetasyona duyarlı olduğunu tespit etmiştir.

Allen vd. (2007), METRIC isimli modelin ET'nin yüksek çözünürlükte haritalanması için kullanılan uydu tabanlı bir görüntü işleme yöntemi olduğunu bildirmişlerdir. METRIC Modelinin avantaj ve dezavantajlarının tartışıldığı ve Model denklemlerinin verildiği çalışmada METRIC Modelinin, yer tabanlı referans ET ile daha sıkı bir uyum sağlaması için SEBAL'den geliştirildiğini ifade etmişlerdir. Model için birincil girdilerin, bir uydudan (Landsat, MODIS, vs.) alınan kısa dalga ve uzun dalga (termal) görüntüler, bir dijital yükseklik modeli ve ilgilenilen alan içinde veya yakınında ölçülen yere dayalı hava durumu verileri olduğu ifade edilmiştir. Çalışmada METRIC Modelinin; varsayımları, ihtiyaç duyulan veri setleri, Modelin çalışma yöntemi detaylı bir biçimde verilmiştir.

Anderson vd. (2007a), ALEXI isimli modelin, ET'nin düşük çözünürlükte (kuraklık yapısına uygun olarak) haritalanması için kullanılan uydu tabanlı bir görüntü işleme yöntemi olduğunu bildirmişlerdir. Diğer modellerden farklı olarak toprak ve bitkiyi ayrı ayrı değerlendirdiği için iki kaynaklı yaklaşım tabiri kullandıklarını ifade etmişlerdir. ALEXI Modelinin avantaj ve dezavantajlarının tartışıldığı ve Model denklemlerinin verildiği çalışmada ALEXI Modelinin, ihtiyaç duyulan yer tabanlı veriyi en aza indirmek için TSTIM'dan özel olarak geliştirildiği ifade edilmiştir. Model için birincil girdilerin, bir uydudan (GOES, METEOSAT, MODIS, vs.) alınan kısa ve uzun dalga radyasyon, arazi yüzey sıcaklığı, yaprak alan indeksi, dijital yükseklik modeli, enlem bilgisi ve ilgilenilen alan içinde veya yakınında ölçülen yere dayalı hava durumu verileri olduğu ifade edilmiştir. Çalışmada ALEXI Modelinin varsayımları, ihtiyaç duyulan veri setleri, modelin çalışma yöntemi bir uygulama üzerinde gösterilmiştir.

Anderson vd. (2007b), yeryüzü nem stresinin uydudan tespit edilmesinin operasyonel kuraklık izleme için çok faydalı olacağını ifade etmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada, GOES ve MODIS uydularından verileri ALEXI Modeline girerek günlük evapotranspirasyonun ve yüzey nem stresinin haritalarını oluşturmuşlardır. 2002-2004 yılları boyunca nisan ayından ekim ayına kadar ki açık gökyüzü ALEXI görüntülerini aylık olarak kompozitleyen ESI'nın, PDSI ile iyi mekânsal ve zamansal korelasyon gösterdiğini tespit etmişlerdir. Ancak ESI'nın daha yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip olduğunu vurgulamışlardır. ESI'nın ayrıca aylık yağış anormallikleri ile de iyi bir uyum içinde olduğunu ve yüzey neminin yoğun bitki örtüsü altında uzaydan bile tespit

edilebildiğini belirtmişlerdir. Bu nedenle ALEXI'nin, köklü yağış ölçüm ağları olmayan ülkelerde operasyonel kuraklık izleme potansiyeline sahip olabileceğini ifade etmişlerdir. Diğer taraftan literatür ile bir tartışma halinde yapılan çalışmada, uzaktan algılama tabanlı çeşitli kuraklık indeksleri verilmiştir. Bu indekslerin, mevcut enerji ve atmosferik koşulların yüzey sıcaklığı üzerindeki önemli zorlamaları hesaba katmadığı ve bu nedenle belirli koşullar altında yanlış kuraklık tespitleri oluşturduğu ifade edilmiştir.

Conrad vd. (2007), Orta Asya'da Amu Derya Nehri'nin alt taşkın yataklarında yer alan bir bölge olan ve sulanan Harezmi arazisindeki su kullanımının mekânsal ve zamansal tespitlerinin yapılmasını amaçlamışlardır. Bu amaçla; bitki gerçek su tüketiminin (ET_a) mevsimsel toplamı, sulama miktarı ve tarım arazisinin büyüklük bilgileri kullanılmıştır. ET_a 'nın, METRIC Modeline 1 km'lik çözünürlüğe sahip MODIS verileri uygulanarak elde edildiği belirtilmiştir. Sulama miktarının kaynaktaki memba-mansap farkını kullanarak, tarım arazisinin büyüklüğünün Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) kullanarak tespit edildiği belirtilmiştir. Harezmi'de pirinç ve pamuk tarlaları için yapılan bu çalışmada gerçek ET'nin su kaynağından uzaklaştıkça azaldığını ve bu durumun METRIC Modeli ile tespit edilebildiğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte, ET_a ile A sınıfı kap buharlaşması arasında orta fakat anlamlı bir ilişki ($R^2 = 0.6$) olduğunu tespit etmişlerdir. Sonuç olarak; güvenilir, objektif, kapsamlı ve tutarlı bilgi eksikliğinin üstesinden gelmek için uzaktan algılama potansiyelinden bahsedilmiştir.

Gowda vd. (2008), ET'nin su dengesinin önemli bir bileşeni olduğunu ve şu anda hem tarla düzeyinde hem de bölgesel ölçeklerde uzaktan algılama ile tahmin edilebildiğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmalarında, uzaktan algılama tabanlı modelleri değerlendirmek için bir literatür taraması yapmışlardır. Bu amaçla; METRIC, SEBAL, SEBS, SEBI, S-SEBI, ETMA, vb. modelleri çalışma prensipleri, veri gereklilikleri, avantaj ve dezavantajları açısından değerlendirmişlerdir. Bu modellerin doğruluk oranlarının günlük ET için % 67.0 - 97.0 arasında olduğunu, mevsimlik ET için % 94.0'ün üzerinde olduğunu belirtmişlerdir. Bu oranların ise ET'nin bölgesel ölçekte doğru bir şekilde tahmin potansiyelini gösterdiğini ifade etmişlerdir. Bununla birlikte, söz konusu modellerin hem sensör hem de hesaplanma yöntemi olarak daha da geliştirilme fırsatları olduğunu vurgulamışlardır. Bu fırsatların; (i) kanopi sıcaklığını doğru tahmin eden bir

yöntem, (ii) hava sıcaklığı ve rüzgâr hızı gibi meteorolojik verilerin mekânsal geçerliliğinin doğrulayan bir yöntem, (iii) toprak ısı akısı, yaprak alan indeksi, bitki boyu, vs. tahmin eden alt modellerin geliştirilmesi, (iv) anlık gerçek ET'nin günlük ve mevsimlik ET değerlerine dönüştürülme yönteminin geliştirilmesi olarak bahsedilmiştir.

Hasaniha (2008), İran'ın kuzeybatısında yer alan 5 bölge için 7 farklı indeksle kuraklık hesaplamış ve farklı bitkiler için verim tahmin eşitlikleri geliştirmiştir. Kullandığı kuraklık indeksleri: Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI), Normalin Yüzdesi İndeksi (PNI), Çin Z İndeksi (CZI), Z-Skoru İndeksi (ZSI), Standart Sapma İndeksi (SSI), Modifiye Edilmiş Çin Z İndeksi (MCZI) ve Yağış Onluklar İndeksi (YOI)'dir. Sonuç olarak, kuraklık indeksleri açısından CZI ve MCZI yöntemlerinin ürün verim tahmininde diğer yöntemlere oranla daha iyi sonuç verdiğini tespit etmiştir. Çalışmasında ayrıca kuraklığa karşı bazı tavsiyeler vermiştir. Bunlar; (i) baraj ve göletlerin tamamlanması, (ii) havzalar arasında su aktarılması, (iii) modern sulama sistemlerine geçilmesi, (iv) şehir ve sulama şebekelerindeki kayıpların azaltılması, (v) şehirler için bütünleşik su yönetimi, (vi) idari tedbirler, (vii) havza su yönetimi, (viii) taşkından koruma, (ix) havzalarda ağaçlandırma, (x) su kalitesinin korunması, (xi) atık suların yeniden kazanılması, (xii) nehir havzalarında çeşitli su dağıtımı, (xiii) yeraltı sularının beslenmesi, (xiv) ekim ve kuraklık başlıkları olarak vermiştir.

Köksal vd. (2008), 2004 ve 2005 yetiştirme sezonlarında damla sulama ile sulanan bodur yeşil fasulye (*Phaseolus vulgaris*, *humilis*) üzerinde arazi denemeleri yapmışlardır. Deneme kapsamında veri olarak; toprak su içeriği, spektral yansıma ve bitki verimi kullanmışlardır. Bu verilere dayalı olarak ET_c'nin, Toprak Su Eksikliği İndeksi (SWDI), Su Kullanım Verimliliği (WUE) ve dört ayrı spektral indeks (SR, NDVI, SAVI, WI) hesaplamışlardır. Verim, SWDI ve WUE tahminin de spektral indekslerin kullanım fırsatlarını araştırmak için bazı istatistiksel analizler yapmışlardır. Sonuç olarak spektral indekslerin; verim, SWDI ve WUE'nin izlenmesi için kullanılabileceğini tespit etmişlerdir. Özellikle Toprak Ayarlı Vejetasyon İndeksi (SAVI)'nin her üç parametreyle de en yüksek korelasyona sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Stisen vd. (2008), Batı Afrika'da 350.000 km² büyüklüğündeki Senegal Nehri Havzasında yürüttükleri bir çalışmada MIKE SHE isimli hidrolojik modeli ve bu modele uzaktan algılama tabanlı verilerin girdi olarak uygulanma potansiyelini araştırmışlardır. Uzaktan algılama verilerini, sabit konumlu METEOSAT-7 ve kutupsal yörüngeli AVHRR sensörlerinden aldıklarını ifade etmişlerdir. Çalışmanın ilk kısmında MIKE SHE isimli hidrolojik modeli gözlemlenen deşarja göre altı ayrı alt havzada 1998 – 2005 dönemi verileriyle kalibre etmiş ve doğrulamışlardır. Çalışmanın ikinci kısmında seçilen bir alt havzada (Dakka) uydu verilerini MIKE SHE Modeline girmişler ölçüm ve tahmin arasında uyuma bakmışlardır. Ortalama Karekök Hatası 100 m³/s, Su Dengesi Hatası - 6.2, Determinasyon Katsayısı 0.92 olarak tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, büyük ölçekli havzalarda hidrolojik modellerin uzaktan algılama verileri ile kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Şimşek vd. (2008), Türkiye geneli için SPI ve PNI yöntemleri ile kuraklık analizi yapmışlardır. Son 37 yılın en kurak 5. yılının 2006-2007 tarım yılında yaşandığını ifade etmişlerdir. Özellikle; Ege, Marmara ve İç Anadolu Bölgelerinde şiddetli kuraklık yaşandığını tespit etmişlerdir. 2006-2007 tarım yılı yağışlarında normale göre en fazla azalmanın % 44 ile Ege'de daha sonra % 33 ile Marmara'da ardından % 22 ile İç Anadolu'da akabinde % 14 ile Akdeniz'de ve % 8 ile Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yaşandığını tespit etmişlerdir. Diğer taraftan bölgelerde yaşanan kuraklık oranları ile Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) bitkisel üretim verilerini karşılaştırmışlardır. 2007 yılı için hazırlanan TÜİK raporun da çok sayıda üründe ciddi rekolte kayıpları meydana geldiğini belirlemişlerdir. Bu ürünleri ve azalma oranlarını yine aynı çalışmada sunmuşlardır.

Köksal vd. (2010), tarım arazilerinde su kullanımının (WU) zamansal ve mekânsal olarak izlenmesinin sulama yönetimi için kritik öneme sahip olduğunu ve bu bilginin uzaktan algılama ile elde edilebileceğini ifade etmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada, tam ve kısıtlı sulama suyu koşullarında bodur yeşil fasulyenin WU'sunu uzaktan algılama teknikleri ile tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu amaçla altı farklı sulama suyu seviyesinden oluşan arazi denemesi kurmuşlardır. Bu denemede; iklim parametrelerini, toprak su içeriklerini, gölgelik sıcaklıklarını ve spektral yansımaları izlediklerini ifade etmişlerdir. Sonuç

olarak, sulanan arazinin izlenmesi için CWSI önerilmiştir. Bununla birlikte en yüksek korelasyonun, su stresi altında ölçülen WU ile CWSI'ye dayalı tahmin edilen WU arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Diğer taraftan, tam su kullanım koşullarında WU tahmini için gölgelik $T_c - T_a$ farkını kullanmanın daha güvenli olduğunu belirlemişlerdir. Gölgelik sıcaklığı ile ilgili herhangi bir veri yoksa bazı spektral bitki örtüsü indekslerinin tercih edilebileceğini ifade etmişlerdir.

Anderson vd. (2011a), yağış ölçümlerine dayanan standart meteorolojik kuraklık indekslerinin güvenilirliğinin ölçülen mevcut yağış verisinin kalitesine ve yağışın mekânsal dağılımının (ölçüm alanı) her yerde aynı olduğu varsayımına dayandığı ifade edilmiştir. Ayrıca bu tür indekslerin, yüzey hidrolojik döngüsünün yalnızca bir bileşenini (yağış) yansıttığı için arazide kuraklık etkilerini azaltabilecek yağışa dayalı olmayan nem girişlerini (sulama, yeraltı suyu, vs.) kolayca tespit edemedikleri vurgulanmıştır. Diğer taraftan, uzaktan algılanan evapotranspirasyona dayalı yeni bir kuraklık indeksinin öneminden bahsetmişlerdir. ESI isimli bu yeni indeksin, gerçek ET ile potansiyel ET oranındaki anormallikler ile çalıştığı ifade edilmiştir. Yaptıkları bu çalışmada, 2000-2009 yılları yetiştirme sezonu için ESI'nin davranış ve tepki süresini; SPI, PDSI ve ABD Kuraklık Monitörü'nde kaydedilen kuraklık sınıflandırmalarıyla karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, ESI'nin kısa vadeli (6 aya kadar) yağış bazlı indekslere benzer şekilde performans gösterdiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte ESI'nin bu performansı, daha yüksek çözünürlükte ve herhangi bir yağış verisi gerektirmeden gösterebildiği vurgulanmıştır. Ayrıca ESI'nin, yoğun sulama veya sık su tablasına sahip alanları tespit edebildiği ve bu özelliği ile de benzersiz olduğu ifade edilmiştir.

Anderson vd. (2011b), ET'yi uzaktan algılama ile tahmin etmek için kullanılan ALEXI ve ölçek küçültmek için kullanılan DisALEXI Modellerini uygulamalı örnekler ile açıklamayı amaçlamışlardır. Uzaktan algılanan LST'nin kuraklığın saptanması için gereken yüzey altı nem durumu hakkında değerli bilgiler verdiğini ifade etmişlerdir. Bununla birlikte LST ve bitki örtüsü (NDVI, vs.) miktarındaki anormallikleri ölçen ampirik indekslerin geniş alanlarda ET ve kurak koşullarının izlenmesinde fayda gösterirken, bitki fonksiyonunu etkileyen diğer faktörler (hava sıcaklığı, adveksiyon, vs.) olduğunda yanıltıcı sonuçlar verebildiğini vurgulamışlardır. Bu sorunun, TIR tarafından

yönlendirilen bir yüzey enerji dengesi modeliyle çözülebileceğini ifade etmişlerdir. ALEXI Modelinin, ET haritalamasına yönelik çok sensörlü bir TIR yaklaşımı olduğu ve iki kaynaklı (toprak + kanopi) bir arazi yüzey enerji modeli (TSEB) ile zaman farkı modunda bir PBL Modelini eşlediğini belirtmişlerdir. Bu sayede kıtasal ölçeklerde günlük enerji akış haritalarını rutin ve sağlam bir şekilde oluşturduklarını ifade etmişlerdir. İlgili bir algoritmanın, polar yörüngeli uydulardan alınan orta çözünürlüklü TIR görüntülerini kullanarak ALEXI akışlarını mekânsal olarak daha küçük piksel ölçeklere indirdiğini ve algoritmanın adının DisALEXI olduğunu ifade etmişlerdir.

Köksal ve Yıldırım (2011), su kaynaklarının sürdürülebilir kalması için sulama suyu yönetiminin büyük öneme sahip olduğunu vurgulamışlardır. Gerektiği zamanda yeterli miktarda sulama suyu uygulanmasının ürün miktar ve kalitesini direkt belirleyici bir unsur olduğunu ve bu noktada karar destek araçlarının giderek önemini arttığını ifade etmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada; şeker pancarı bitkisinde CWSI'nın kullanım olanaklarını araştırmışlardır. Bu amaçla, 2004 ve 2005 yıllarında Ankara koşullarında yedi farklı sulama konusu içeren bir deneme yürütmüşlerdir. Deneme süresince; bitki örtü sıcaklığı, hava sıcaklığı ve buhar basıncı açığına (VPD) ilişkin iklim elemanlarının eşzamanlı olarak izlediklerini ifade etmişlerdir. Bu sayede şeker pancarı bitkisi için CWSI hesabında kullanılan alt ve üst limit hatları deneysel olarak tespit ettiklerini belirtmişlerdir. Bu hatlara göre hesaplanan CWSI ile konular arasındaki sulama suyu miktar farklılığını ortaya koymuşlardır. Sonuç olarak, şeker pancarının sulama suyu yönetiminde CWSI'nin etkili bir biçimde kullanılabilceğini tespit etmişlerdir.

Taş ve Kırnak (2011), bitki su tüketim miktarlarının hem sulama projelerinin hem de sulama programlarının hazırlanmasında çok önemli bir veri olduğunu ancak kolaylıkla ölçülen bir parametre olmadığını ifade etmişlerdir. Bitki su tüketimini ölçebilmek için lizimetre gibi özel aletlere ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir. Ancak bu aletlerden ölçümlerin doğru bir şekilde okunabilmesi ve sistemin tam anlamıyla işletilebilmesi için konu uzmanı personele ihtiyaç olduğu vurgulamışlardır. Bu tür sıkıntılardan kurtulmak için günümüzde artık bitki su tüketimini tahmin eden denklemlerden faydalanılmaya başlanıldığını belirtmişlerdir. Yaptıkları bu araştırmada, yarı kurak iklim bölgelerinde bitki su tüketimi ve bitki katsayılarının tahmininde meteorolojik verileri kullanan ampirik

yöntemleri (Blaney - Criddle, FAO - Blaney - Criddle, Radyasyon, Penman, Hargreaves - Samani ve FAO - Pan buharlaşma) karşılaştırmışlardır. Hesaplamalar ve karşılaştırmalar neticesinde hem bitki su tüketimine hem de bitki katsayısında gerçek değerlere en yakın tahmin değeri verenin Penman yöntemi olduğunu tespit etmişlerdir.

Anderson vd. (2012a), Landsat termal görüntüleri yardımıyla elde edilen ET haritalarının günümüzde suyu ileten ve dağıtan kurumlar tarafından operasyonel (eyaletler arası su anlaşmalarının müzakere edilmesinde, tarım ve kentsel kullanım için tahsislerin belirlenmesinde, vs.) olarak nasıl kullanılabileceğine dair örnekler verilmiştir. Ayrıca ET haritalarının; kuraklık ve gıda üretiminin izlenmesi, büyük ölçekli arazi yüzeyi ve iklim modellerinde kullanım imkânları tartışılmıştır. Diğer taraftan; yüksek çözünürlüklü ET verileri almak için, Landsat termal bant görüntülerinin mekânsal çözünürlüğünü ile diğer uyduların zamansal çözünürlüğünü birleştirerek hem zamansal hem de mekânsal faydayı birleştiren teknikler anlatmışlardır. Sonuç olarak, değişen iklim ve artan nüfus nedeniyle su kullanımındaki değişiklikleri takip etme yeteneği sağlayan Landsat programının çok değerli olduğundan bahsedilmiş ve gelecekte ki durumlar için bir strateji önerilmiştir.

Anderson vd. (2012b), kuraklık izlemesinde hâlihazırda kullanılan standart gösterge grubunun; yağış, toprak nem içeriği, yüzey akışı, yüzey ve yeraltı suyu depolanması, kar miktarı ve nehir akışındaki eksiklik olarak bir ya da birkaç parametreye odaklandığını belirtmişlerdir. Bu durumun ise hidrolojik döngünün sadece birkaç ana bileşenindeki anormal koşulları yansıttığını ifade etmişlerdir. Bununla birlikte, kuraklığın birçok farklı formda (meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyoekonomik), geniş zaman aralıklarında (haftalar ve yıllar) ve farklı paydaş gruplarına (çiftçi, su kaynakları yöneticileri) farklı etkileri olacağını vurgulamışlardır. Bu bağlamda, indeks çeşitliliğine sahip olmanın yararlı olduğu belirtmişlerdir. Diğer taraftan; Courault vd. (2005), Kalma vd. (2008), Norman vd. (1995) taraflarından yapılan çalışmalara göre buharlaşma yüzeyleri soğuduğunda, LST'nin azaldığı bu durumun ise toprak nemi ile ilgili değerli bilgiler taşıdığı bilgisi ifade edilmiştir. Bununla birlikte; Anderson vd. (2007b), Labedzki ve Kanecka-Geszke (2009), Li vd. (2005), Mo vd. (2010) taraflarından yapılan çalışmalara göre ET_a 'nın LST'yi içinde barındırması sebebiyle kuraklık koşullarının birincil göstergesi olarak düşünüldüğünün bilgisini ifade etmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada

öncelikle; kuraklık belirleme araçları, kuraklık tipleri, diğer konular literatür ile bir tartışma içerisinde irdelenmiştir. Daha sonra, USDM sonuçlarını ölçüm kabul ederek PDSI ile karşılaştırmışlar ve 0.66 değerinde korelasyon tespit etmişlerdir. Aynı karşılaştırmayı ESI ile yapmışlar ve 0.52 değerinde korelasyon tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, USDM'nin esasında PDSI'dan türetilmiş olduğu bilgisini vermişlerdir. Diğer taraftan, ESI'nın hem USDM hem de PDSI ile hiçbir ortak özelliği bulunmamasına rağmen PDSI'ya yakın korelasyon vermesini ESI'nın bir başarısı olarak değerlendirmişlerdir.

Anderson vd. (2013a), bağımsız veri kaynaklarından ve modelleme yaklaşımlarından türetilen çoklu hidrolojik göstergelerin karşılaştırılmasının özellikle hızlı başlayan bir kuraklık için doğru ve kolay tespit sağlayabileceğini ifade etmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada ESI'yı; SM (prognostik olarak tahmin edilen), ET ve NLDAS verileri ile karşılaştırmışlardır. Bununla birlikte, sıklıkla kullanılan VHI ve SPI'nin performanslarını da değerlendirmek için karşılaştırmaya dahil etmişlerdir. Tüm bu göstergeler ile elde ettikleri sonuçları, USDM verileriyle karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak; USDM verileriyle en yüksek korelasyonun, NLDAS topluluğu ortalama SM değerlerinin sağladığını, uzaktan algılama indeksleri içinde ise en iyi performansı ESI'nın sağladığını tespit etmişlerdir. VHI'nin soğuk mevsim ve yüksek enlem koşulları hariç tutulduğunda makul korelasyon verdiğini belirtmişlerdir. ESI ve SM değerlerinin iyi bir uyum içinde olduğu ve kombinasyonları halinde USDM' deki kuraklık şiddeti sınıfını birkaç hafta önceden tahmin edilebileceğini vurgulamışlardır. Birleştirilmiş bir ESI-SM değişim göstergesinin hızla gelişen “ani kuraklık” koşulları için değerli bir erken uyarı sağlayabileceğini ifade etmişlerdir.

Anonim (2013), Türkiye için 1960 - 2010 yılları verileri ile yürüttükleri bir çalışmada meteorolojik parametrelerin trend analizini yapmışlardır. Bu analize göre yaz günleri sayısının, sıcak gün ve gece sayılarının arttığını tespit etmişlerdir. Diğer taraftan, soğuk gün ve gece sayılarının ise azaldığını tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, günlük maksimum ve minimum sıcaklık değerlerinde yükselme eğilimi gözlemlediklerini belirtmişlerdir. Yıllık toplam yağışın Türkiye'nin kuzeyinde artma eğiliminde iken Akdeniz, Güneydoğu Anadolu ve Ege Bölgelerinde ise azalış eğiliminde olduğu ifade

etmişlerdir. Sonuç olarak, ülkedeki tüm istasyonlarda yürütülen bu çalışmada yıllık toplam yağışların azalma eğiliminde iken sıcaklıkların artan bir eğilime sahip olduğu tespit etmişlerdir.

Aydın ve Çiçek (2013), Ege Bölgesi için 1975 - 2010 dönemi boyunca yıllık ortalama yağışının mekânsal dağılımını araştırdıkları bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu amaçla noktasal ölçümleri alana dağıtmaya yarayan enterpolasyon tekniklerinden OK (Ordinary Kriging) ve IDW (Inverse Distance Weighted) tekniklerini kullandıklarını ifade etmişlerdir. Hazırladıkları haritaların doğruluğunu Çapraz Geçerlilik (Cross-Validation) metodu ile kontrol ettiklerini belirtmişlerdir. Bu metoda göre OK yönteminin, IDW yöntemine göre daha doğru haritalar ürettiğini tespit etmişlerdir. Ege Bölgesi için ileride hazırlanabilecek yağışın mekânsal dağılım haritasında OK yönteminin kullanılması tavsiye edilmiştir.

Çamoğlu ve Genç (2013), bitkilerin fizyolojik aktiviteleri üzerinde su stresinin çok önemli bir etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir. Su stresi nedeniyle, bitkilerin fizyolojik aktivitelerindeki azalma kalıcı hale geldiğinde ciddi oranda verim kaybı yaşanacağını belirtmişlerdir. Bitki su stresinin belirlenmesi için genellikle bitkinin taç yapısından ve yapraklarından toplanan termal ve spektral verilerin kullanıldığını ifade etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, taze fasulye için spektral verileri ve termal görüntüleri kullanarak su stresini tespit etmeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla tüketilen suyun; % 100'ü (kontrol), % 75'i, % 50'si ve % 25'i konularından oluşan bir deneme kurmuşlardır. Araştırmaya göre, termal indeksler ile su stresi I-100 konusunda daha iyi izah edilebilmiştir. Sonuç olarak, spektral indekslerden SIPI ve NDVI kullanılması önerilmiştir. Termal indekslerden ise deneysel tabanlı Bitki Su Stresi İndeksi (CWSIe) ve yapay referans yüzeylere göre hesaplanan Bitki Su Stresi İndeksinin (CWSIa) kullanılması önerilmiştir.

Guzinski vd. (2013), yüzey enerji akışlarını tahmin etmek için Norman vd. (2000) tarafından tanımlanan İkili Sıcaklık Farkı (DTD) Modelini kullanmışlardır. Modelin, LST ve zamana bağlı bir sıcaklık ölçümü kullanan iki kaynaklı bir enerji dengesi modelleme şeması kullandığı bilgisini vermişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada, gece ve gündüz yüzey

enerji akışlarını tespit etmeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla araştırmacılar, kutupsal yörüngeli uydulardan (Terra ve Aqua) gece ve gündüz üst geçiş zamanlarında termal gözlemleri kullanabilmek için DTD Modelinde bazı modifikasyonlar yapmışlardır. Bu sayede polar yörüngeli uyduların sağladığı daha yüksek mekânsal çözünürlükten de faydalana bilmişlerdir. Bununla birlikte yeşil bitki örtüsü oranının tespiti için geliştirilen modifikasyonun, tarımsal ürünlerin ve mera bitki örtüsünün yaşlanması sırasında veya orman ekosistemlerinde (yıllık döngü) ısı akıları tahminini önemli ölçüde iyileştirdiğini tespit etmişlerdir. Modifiyeli DTD Modeli, Terra ve Aqua uydularında bulunan MODIS sensörü ile alınan LST ölçümleriyle çalıştırıldığında, Danimarka ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki çok sayıdaki arazi ölçümleriyle genel olarak tatmin edici bir uyum elde ettiklerini belirtmişlerdir. Son olarak, Danimarka Hidrolojik Gözlemevi (HOBE) arazi kullanımına dayalı gerçekçi bir desen gösteren bölgesel enerji akış haritaları üretmişlerdir.

Otkin vd. (2013a), kuraklığın şiddetlenme riskinin erken uyarısını sağlamak için Hızlı Değişim İndeksi (RCI) olarak adlandırılan yeni bir kuraklık metriğini değerlendirdiklerini ifade etmişlerdir. Bu yeni metriğin; haftalık ESI haritasındaki hızlı nem stresinde uğrayan alanları saptamak için tasarlandığını vurgulamışlardır. Negatif RCI değerlerinin nem stresindeki hızlı artışların göstergesi olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan çalışmalara göre; USDM sistemi henüz şiddetli ve olağanüstü kuraklık göstermeden, RCI ile bu kuraklığın 4 hafta önceden tespit edilebildiğini belirtmişlerdir. 2000 yılından 2012 yılına kadar olan veriler kullanılarak; farklı zaman dilimlerinde en az bir, iki veya üç kategoride USDM'nin şiddetlenme olasılığını, RCI büyüklüğünün bir fonksiyonu olarak hesaplamışlardır. Genellikle, RCI daha negatif hale geldikçe (büyük ölçüde artan kuraklık gelişimi ile) çok daha yüksek bir riske işaret ettiğini tespit etmişlerdir. En yüksek olasılıkların, hızlı kuraklık gelişimine en duyarlı bölgeler olan orta ve doğu Amerika Birleşik Devletleri olduğunu tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, RCI'nın, hızlı kuraklık gelişimi açısından artan risk konusunda paydaşları uyarmak için kullanılabilecek faydalı bir araç olduğunu tespit etmişlerdir.

Otkin vd. (2013b), ani başlayan bir kuraklığın göstergeleri tespit edilebilirse erken uyarı sistemlerinin etkinliğinin artırılabilirliğini ifade etmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada; son

yıllarda ABD’de sıklıkla görülmeye başlanan ani kuraklık oluşumunu tespit edebilmeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla, ESI’yı USDM kuraklık sınıflandırmalarıyla ve yağışa dayalı kuraklık göstergeleri ile karşılaştırmışlardır. ABD’nin kuzey bölgelerinin meteorolojik verileri üzerinde yapılan bir çalışma sonucunda ani kuraklık olayının tipik olarak yüksek hava sıcaklığı, az bulut örtüsü, güçlü rüzgârlar ve düşük çiğlenme noktası sıcaklığı anormallikleri ile karakterize edildiğini belirtmişlerdir. Bu durumun toprak nem rezervlerinin buharlaşarak tükenmesini hızlandırdığını vurgulamışlardır. Çeşitli zaman aralıkları için ESI kompozitlemeleri yapmışlardır. Bu sayede ET’de hızlı değişiklik yaşayan alanları daha kolay tanımlayabilmişlerdir. Sonuç olarak, ESI ile büyük negatif (Ani kuruma koşullarının göstergesidir.) değişimler gözlemlendiğinde ani bir kuraklık ile karşılaşılabilirliğini tespit etmişlerdir. Kullanılan ESI kompozitine göre birkaç hafta önceden kuraklık tespit edilebildiğini belirtmişlerdir.

Potgieter vd. (2014), 2011 yılında 1400 ha alanda uzaktan algılama kullanarak kışlık buğday bitkisinde verim tahminini yapmayı amaçlamışlardır. Bu amaçla; uydu teknolojilerini, meteorolojik verileri ve kanopi özelliklerini birleştirmişlerdir. İlk olarak, yerel hava durumu istasyonlarının her birinden alınan veriler ve bitki karakteristikleri ile Bitki Su Stres İndeksini (CSIws) hesaplamışlardır. Bununla birlikte, tarlada farklı bölgelerden hasat verim değerleri almışlar ve bu verileri uydudan türetilen indeksler ile karşılaştırmışlardır. İkinci olarak; Landsat TM 5 ve 7’den elde edilen Termal bantlar ve EVI ile bitki büyüme dönemi boyunca birkaç kez Moran’ın yamuk yaklaşımına dayalı olarak bir Bitki Stres İndeks (CSIsat) ve Nem Stres İndeks (MSIsat) oluşturmak için kullanmışlardır. Sonuç olarak, CSIsat ve MSIsat bitki verimi ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Hasat edilen buğday verimi ile CSIsat tüm alanlarda, orta seviyeli ($R^2 = 0.67$) bir ilişkiye sahip iken yaptıkları bir kalibrasyon ile bu ilişkiyi güçlü ($R^2 = 0.95$) bir seviyeye getirmişlerdir.

Anderson vd. (2015), uzaktan algılama ürünleri olan VI ve LAI ile kuraklığın algılanmasında çeşitli sorunlardan bahsedilmiştir. 2003-2013 dönemi için Güney Amerika’da yürüttükleri bu çalışmada, MODIS sensöründen elde edilen LAI haritaları ve TRMM uydusundan gelen yağışların zaman serilerini ESI ile karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışmaya göre, Amazon boyunca MODIS LAI ve TRMM yağış anormallikleri arasında

güçlü bir ters korelasyon olduğunu, ancak kısa çim ve kısa boylu bitkilerle ekili olan bölgelerde daha iyi bir eşleşme olduğunu tespit etmişlerdir. ESI'nın her iki arazi örtüsü için de yağış deseni ile daha tutarlı olduğunu belirtmişlerdir. Daha derin köklü yağmur ormanı sistemleri için ESI ve TRMM görüntüleri arasında bir miktar zaman kayması olduğu vurgulamışlardır. ESI'nın bitki sağlığı üzerinde VI ve yağışa dayalı kuraklık göstergelerine göre daha fazla ve bağımsız bilgi sağladığını ifade edilmiştir.

Özfidaner vd. (2015), 1967–2007 dönemi boyunca Doğu Akdeniz Havzasında kuraklığın trend analizini yapmayı amaçlamışlardır. Bu amaçla, 1712 nolu istasyonun aylık toplam akım gözlem verilerini Akarsu Kuraklık İndeksine (SDI) uygulamışlardır. Böylece; 3, 6, 12, 24 aylık dönemler için kuraklık şiddetini gösteren indeks değerler elde etmişlerdir. Sonuç olarak, 1712 nolu istasyonda da bütün dönemler boyunca kuraklığın arttığını tespit etmişlerdir.

Lee ve Kim (2016), Güney Kore'de 99.900 km² alana sahip bir havzada yürüttükleri çalışmada günlük ET'nin uzaktan algılama ile tahmin edilmesini amaçlamışlardır. Veri için MODIS sensörünü, görüntü işleme için SEBAL Modelini kullanmışlardır. Araştırmacılar, SEBAL Modelini ikisi karışık orman ve çeltik tarlasında bulunan 3 adet EC ile 2 yıl (2012–2013) süreyle kalibre etmişlerdir. Çalışmalarında; LST, E, NDVI, A, sayısal yükseklik modeli ve 76 farklı meteorolojik istasyondan elde edilen rüzgâr hızı, güneş radyasyonu verileri kullanmışlardır. Bulut veya kar nedeniyle LST verileri elde edilemediğinde meteorolojik istasyonlardan temin edilen sıcaklık değerlerini (düzelterek) kullanmışlardır. SEBAL ve EC'den elde edilen ET değerleri arasındaki R² değeri iki karışık orman için 0.45 – 0.54 arasında, çeltik alanı için 0.79 olarak bulmuşlardır. Sonuç olarak, uzaktan algılama ile ET tahmininde arazinin coğrafik yapısının çok etkili olduğu ve düze yakın alanlarda ET değerlerinin daha yüksek doğruluk ile tahmin edildiğini tespit etmişlerdir.

Yıldırım vd. (2016), Türkiye'nin yarı kurak iklim kuşağında yer aldığı ve ülkenin büyük bir bölümünde su sıkıntısı yaşandığını belirtmişlerdir. Son zamanlarda sıklıkla bahsedilen küresel ısınma ve iklim değişikliğinin bu problemi daha da artırdığını ifade etmişlerdir.

Kuraklığın özellikle etkili olduğu Konya ilinin; İç Anadolu Bölgesinin tam merkezinde yer aldığı, sulamalarda daha çok yeraltı suyu kullanıldığı, aşırı yeraltı suyu çekimlerinin yeraltı suyu seviyelerini düşürdüğü, pompa kullanmanın çiftçi maliyetlerini artırması konularından bahsedilmiştir. Çiftçilerin, enerji için oldukça yüksek ücretler ödemelerine rağmen suyu verimli kullanamadıkları için sulamalardan arzu edilen verim artışını sağlayamadıkları belirtilmiştir. Yaptıkları bu çalışmada, bir sulama kooperatifinin sulama pratiklerini ve IRSIS yazılımı ile oluşturulan sulama programları (optimum) ile karşılaştırmışlardır. Öngörülen ve uygulanan toplamsal su miktarlarının birbirine en yakın çıktığı alanlarda bile; uygulanan suyun neredeyse yarısının zayi olduğu (salma sulama kullanılması nedeniyle), sulama sayısının öngörülenin yarı sayısında yapıldığını tespit etmişlerdir. Diğer taraftan üreticilerin, toprak su tutma kapasitesinin çok üstünde su vermesi (su verdikleri zaman) sebebiyle uzun vadede drenaj ve tuzluluk sorunları beklenebileceğini belirtmişlerdir. Sonuç olarak, bölgedeki tüm sulama uygulamalarının yanlış ve optimumun çok gerisinde olduğunu tespit etmişlerdir.

El-Hendawy vd. (2017), Suudi Arabistan'da yürüttükleri çalışmada hem kuraklığa karşı dayanıklı buğday çeşitlerini belirlemeyi hemde 6 adet kuraklık indeksinin performansını karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Farklı kuraklık indeksleri kullanarak hem yöreye uygun kuraklık indeksini seçmişler hem de seçilen indeks ile yetiştirilen buğday çeşitlerinin nispi verimlerini ilişkilendirmişlerdir. Bununla birlikte, hızlı ve uzaktan kullanılan araçlar olarak 8 adet Spektral Yansıma İndeksi (SRI) belirlemişlerdir. Bu SRI'lar ile de kuraklık indeksi ve tahıl veriminin nasıl etkili bir şekilde izlenebileceğini araştırmışlardır. Sonuç olarak, kuraklık indeksleri en iyi regresyonu bitki bazlı DMCI ve NDMI ile verdiğini tespit etmişlerdir. Böylece, yakın kızılötesi (NIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) tabanlı SRI'ların farklı su rejimleri altında buğday verimlerinin belirlenmesi için hızlı ve düşük maliyetli bir tahmin edici olarak önermişlerdir.

Gürkan vd. (2017), son zamanlarda küresel ısınma ve iklim değişikliği sonucu giderek sıklaşan meteorolojik afetlerin günümüzde neredeyse tüm sektörleri etkilediğini ifade etmişlerdir. Tarım sektörünün bu sektörlerin başında geldiğini vurgulamışlardır. Yaptıkları bu çalışmada, küresel iklim değişikliğinin ülkemizde büyük miktarlarda yetiştiriciliği yapılan ayçiçeği ve pamuk verimi üzerine etkilerini araştırmışlardır. 2006 -

2016 yılları arası yürütülen çalışmanın, bitki vejetasyon dönemi olan 9 aylık dönemler halinde yapıldığını belirtmişlerdir. Çalışmada, Meteoroloji Genel Müdürlüğü Kuraklık İzleme Sistemi (KİS), aylık toplamsal yağış ve aylık maksimum sıcaklık verilerini kullandıklarını belirtmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre ayçiçeği (yağlık) veriminde % 20, pamuk (kütlü) veriminde ise yaklaşık % 14 azalma tespit etmişlerdir.

Numata vd. (2017), 2000 - 2002 yıllarında Amazon Ormanlarının güney batısında yer alan Rondonia Tropik Ormanlarında yaptıkları çalışmada uydu görüntülerinden tahmin ettikleri ET'yi arazide ölçülen ET (EC vasıtasıyla) ile karşılaştırmışlardır. Çalışmada; ET'nin tahmin edilmesi için METRIC Modeli kullanılmış ve haziran ayından eylül ayına kadar olan süre için günlük, aylık, mevsimlik ölçekte karşılaştırmalar yapmışlardır. Çalışma sonucunda tahmin edilen ve ölçülen günlük değerler için $R^2 = 0.64$, RMSE = 0.81 mm; mevsimlik değerler için $R^2 > 0.70$, Ortalama Mutlak Hata (MAE) < 15 olarak tespit etmişlerdir.

Oğuz vd. (2017), ERA-İnterim yağış verilerinin kuraklık tespitinde kullanım imkânlarını araştırmışlardır. Bu amaçla, Türkiye'nin de içinde bulunduğu Doğu Akdeniz Havzasına giren bir bölgenin 2000-2015 dönemine ait yıllık (12 aylık) ERA-İnterim yağış verilerini SPI yönteminde çözdürmüşler ve ERA-İnterim veri çözünürlüğüne (uydu bazlı bir veri) göre haritalar hazırlamışlardır. Hesaplamalara göre; 2000 yılı için Balkan ülkeleri, Türkmenistan ve Türkiye'nin batı bölgelerinde; 2008 yılı için Türkiye, İran ve Türkmenistan bölgelerinde; 2010 yılı için ise İran ve Arabistan yarımadası üzerinde negatif SPI değerleri (kuraklık) tespit etmişlerdir. Türkiye ve Balkan ülkelerinde pozitif SPI değerleri (nemli) ise 2009, 2010 ve 2014 yıllarında tespit etmişlerdir. Kuraklığın yıldan yıla bu şekilde çok değişken olmasının, yağış rejimindeki istikrarsızlığın net bir göstergesi olduğunu belirtmişlerdir. Daha önceden yayınlanan meteorolojik bültenlere göre Türkiye için 2004, 2007, 2008 ve 2013 yılları kurak; 2009 ve 2010 yılları ise nemli olduğu belirtilmiştir. Kendi sonuçlarına göre hazırladıkları haritalar ile meteoroloji bülten sonuçlarının uyumlu olduğu ifade edilmiştir. Diğer taraftan kuraklığın yaşandığı yıllar ve ilgili bölgedeki bitkisel üretim miktarlarını incelemişler ve % 30'lara varan verim kayıpları tespit etmişlerdir. ERA-İnterim yağış verilerinin kuraklık tespitinde kullanılabilecek bir alternatif olarak değerlendirmişlerdir.

Zhang vd. (2017), 2011 ve 2012 yıllarında Amerika Birleşik Devletlerinde yaşanan kuraklığı çeşitli kuraklık indeksleri kullanarak tespit etmeyi amaçlamışlardır. Farklı iklimlerde kurak koşulları değerlendirmek için yer tabanlı ölçüm olarak, PDSI, Z-İndeks ve farklı zaman aralıklarına sahip SPI kullanmışlardır. Uzaktan algılama tabanlı kuraklık indekslerinin; VCI, TCI, PDI ve MODIS verilerinden türetilen Modifiye PDI (MPDI), TRMM verilerinden elde edilen PCI ve AMSR-E'den elde edilen SMCI olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte; VCI, TCI, SMCI ve PCI gibi indekslerin birleşiminden sentezlenen diğer kuraklık indekslerini de değerlendirmeye aldıklarını ifade etmişlerdir. Bunlar arasında; VHI, TVDI, SDCI, MIDI, SDIa, OMDI ve OVDI bulunduğunu belirtmişlerdir. Bulgu olarak, SMCI'nın kısa vadeli SPI ile iyi bir korelasyona sahip olduğu belirtmişlerdir. Fakat SMCI duyarlılığının büyük ölçüde araziye bağlı olduğu vurgulamışlardır (Düşük bitki örtüsü yoğunluğuna sahip bölgelere nazaran yoğun ağaç örtüsüne sahip bölgelerde daha kötü performans gösterdiği ifade edilmiştir.). TCI, VCI, PDI ve MPDI'nın, 3 aylık SPI sonuçlarına çok benzer olduğu belirtilmiştir. Ancak; yüksek yağış, yüksek toprak geçirgenliği, büyük ölçekli tarım ve orman bölgelerinde istasyon bazlı indekslerle zayıf bir korelasyon gösterdiğini tespit etmişlerdir. PCI'nin, hemen hemen tüm iklim bölgelerinde (diğer tekil indekslere göre) kısa vadeli kuraklıkla güçlü bir şekilde ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir. Sonuç olarak, yalnızca kırmızı ve NIR bantları mevcutsa VCI daha güvenilir olacağı, yalnızca NDVI ve LST verileri mevcutsa VHI'nin daha iyi bir seçim olacağını ifade etmişlerdir. PCI, TCI, VCI, SMCI, VHI, SDCI, MIDI, OVDI, OMDI gibi kuraklık indekslerinin diğer kuraklık indeksi kategorilerine göre daha iyi performans gösterdiği ifade edilmiştir.

Zhao vd. (2017), kuraklığı izlemek için sıklıkla PDSI'nın kullanıldığını ifade etmişlerdir. Bununla birlikte, yağış ve potansiyel evapotranspirasyonun birleştirilmesiyle oluşturulan SPEI iklimsel su dengesini daha iyi yansıtabileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmalarında, Çin Ulusal Meteoroloji Bilgi Merkezi'nin 589 meteoroloji istasyonundan aylık ortalama hava sıcaklığı ve yağış verileri olarak Çin'de yaşanan kuraklık olaylarını izlemeyi ve kendi kendini kalibre eden PDSI (SC-PDSI) ile SPEI'nin performanslarını karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Bulgular 3 madde halinde verilmiştir. 1) Pekin bölgesinde 1961'den 2011'e kadar olan kurak yıllar belirlenmiştir. Ardından, vurgulanan 3 kurak yılın karakter

tespiti için SC-PDSI ve SPEI yöntemleri karşılaştırılmıştır. SC-PDSI'nin kurak dönemleri, SPEI'nin (3 aylık ve 6 aylık) tespitine göre daha uzun olarak gösterdiği belirtilmiştir. Ancak 12 aylık veya daha uzun kuraklıklarda SPEI'nin sonuçlarının, SC-PDSI'nin sonuçları ile uyumlu olduğu ifade edilmiştir. 2) 3 aylık SPEI'nin iki bölgedeki (2009 sonbaharından 2010 ilkbaharına kadar Güneybatı Çin kuraklığı ve 2000 baharı Huang-Huai kuraklığı) kuraklığın başlamasını, şiddetlenmesini ve hafiflemesini daha iyi izleyebildiği tespit edilmiştir. Fakat SC-PDSI'nin ise buna duyarız kaldığı (önceki iklim koşullarının uzun süreli hafızası nedeniyle) ifade edilmiştir. 3) Farklı bölge ve farklı zaman ölçekleri (3,6,9,12,24) için SC-PDSI ve SPEI arasındaki korelasyonun değiştiği ve SC-PDSI'nin 9-19 aylık süre için SPEI ile maksimum korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, SC-PDSI orta ve uzun vadeli kuraklığı izlemek için uygun olduğu belirtilmiştir. Hâlbuki SPEI hem kısa hem de uzun vadeli kuraklık izlemek için uygun olduğu vurgulanmıştır.

Wagle vd. (2017), ET'yi tahmin etmek için yüzey enerji dengesi (SEB) kullanan çeşitli uzaktan algılama modelleri olduğunu ve bu modellerin aynı alanda karşılaştırılmasının çok az bir çalışmada yapıldığından bahsetmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada; 5 farklı yüzey enerji dengesi modeli (SEBAL, METRIC, SEBS, S-SEBI, SSEBop) ile elde ettikleri ET değerlerini, Eddy Kovaryans ile ölçülen ET değerleriyle karşılaştırmışlardır. 2012 ve 2013 yetişme sezonunda sorgum ekili alanlarda yapılan bu çalışmada genel olarak S-SEBI, SEBAL ve SEBS Modellerinin iyi bir performans gösterdiğini, METRIC ve SSEBop Modellerinin ise zayıf performans gösterdiğini tespit etmişlerdir. Tüm modellerin aşırı kurak koşullar altında önemli ölçüde yüksek ET tahmini yaptığını saptamışlardır. METRIC, SEBAL ve SEBS Modellerinin ise kurak ve nemli dönemler fark etmeksizin yüksek ET tahmini yaptığını belirlemişlerdir. Diğer taraftan S-SEBI ve SSEBop Modellerinin ise çok nemli koşullarda oldukça düşük ET tahmini yaptığını tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, modellere toprak nemi veya bitki su stresi bileşenleri dahil edilebilirse çok kurak ve çok nemli koşullar için model performanslarının daha iyi olabileceği ifade edilmiştir.

Bayissa vd. (2018), Etiyopya'nın Yukarı Mavi Nil (UBN) Havzasının kuraklık açısından çok az araştırıldığı ve Havzaya özel bir kuraklık izleme sisteminin olmadığı bilgisini

vermişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada, UBN Havzasında geçmişte yaşanmış önemli kuraklık olaylarını çeşitli indeksler ile belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla; 1970 yılından 2010 yılına kadar gözlemlenen yağış miktarı, ortalama sıcaklık, nehir akış miktarı, toprak nemi ve evapotranspirasyon gibi parametrelerin aylık verilerini kullanarak altı farklı kuraklık indeksi (SPI, SPEI, ETDI, SMDI, ADI, SRIa) hesaplamışlardır. Kayıtlara geçen önemli kurak yılların ise 1973–1974, 1983–1984, 1994–1995 ve 2003–2004 olduğu belirtilmiştir. İndeksler birbiri arasında kıyaslandığında 3 aylık dönemde meteorolojik kuraklık indeksleri SPI-3 ve SPEI-3, tarımsal kuraklık indeksleri SMDI ve ETDI ile hidrolojik kuraklık indeksine (SRIa) göre daha yüksek bir korelasyon gösterir iken, 12 aylık toplam dönemde SPI-12 ve SPEI-12 ile SRIa ile daha yüksek bir korelasyon gösterdiğini tespit etmişlerdir. İndeksler, kuraklık kayıtları ile karşılaştırıldığında indekslerinin neredeyse hepsinin kurak yılları tespit edebildiğini ancak kuraklıkların tam başlangıç tarihlerini hiçbir indeksin yakalayamadığını tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, kuraklık izlenmesi açısından birden fazla kuraklık indeksinin beraber kullanılmasının daha faydalı olacağı vurgulamışlardır.

Losgedaragh and Rahimzadegan (2018), uydudan temin edilen verilerin çeşitli görüntü işleme modellerine (SEBAL, METRIC, SEBS, vb.) girilerek buharlaşmanın tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir. İran'ın Amirkabir Baraj Gölü için yaptıkları bu çalışmada; SEBAL, METRIC ve SEBS Modelleri ile su yüzeyinden olan buharlaşmayı tahmin etmişlerdir. 16 adet Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI görüntüsü kullanılan çalışmada yer gözlemi olarak ise buharlaşma kabı ölçümlerini kullanmışlardır. Tahmin edilen ve ölçülen buharlaşma miktarlarının karşılaştırıldığı çalışmada R^2 ve RMSE değerlerini; SEBAL Modelde 0.36 ve 5.1 mm, METRIC Modelde 0.57 ve 2.02 mm ve SEBS Modelde 0.93 ve 0.62 mm olarak tespit etmişlerdir. Su yüzeylerinden olan buharlaşmayı tespit etmek için SEBS Modelini önermişlerdir.

Özfidaner vd. (2018), 1967–2007 dönemi boyunca Seyhan Havzasında kuraklığın trend analizini yapmayı amaçlamışlardır. Bu amaçla, 1801 ve 1818 nolu istasyonların aylık toplam akım gözlem verilerini Akarsu Kuraklık İndeksine (SDI) uygulamışlardır. Böylece; 3, 6, 9, 12 aylık dönemler için kuraklık şiddetini gösteren indeks değerler elde

etmişlerdir. Sonuç olarak, 2000 yılından sonra 3 ve 6 aylık dönemler için kuraklığın arttığını tespit etmişlerdir.

Taş vd. (2018), klasik yöntemlerle ET haritalarının hazırlanmasının aylar hatta yıllar alabildiği ancak son yıllarda gelişen coğrafi bilgi sistem teknolojileri ile söz konusu haritaların dakikalar içinde yapılabilir hale geldiğini belirtmişlerdir. Coğrafi bilgi sistemlerinin; yeryüzü şekil ve olgularını haritalama yapmak, analiz etmek, sorgulama yapmak, istatistiksel değerlendirme yapmak, ortak veri tabanı işlemlerini yürütmek, çalışmalara görsellik katmak gibi birçok avantajı bulunan bilgisayar tabanlı uygulamalar olduğu ifade etmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada; Seyhan Havzasının, ET₀ haritasını oluşturmayı amaçlamışlardır. Bu amaçla, 7 tane havza içinde 9 tane de havza dışından istasyon ölçümleri kullanmışlardır. ET₀ haritasının oluşturulmasında enterpolasyon metodu olarak co-kriging, yarıvariogram olarak da küresel model kullanıldığı bilgisi verilmiştir. Sonuç olarak, bu metod ile ET₀ haritalarının güvenilir ve hızlı bir şekilde hazırlanabileceğini tespit etmişlerdir.

Qu vd. (2019); Cibuti, Eritre, Etiyopya ve Somali'yi de içine alan orta doğu Afrikanın (Afrika Boynuzu (HOA)) son yıllarda şiddetli kuraklıklar yaşadığını ve dünyanın gıda güvenliği açısından en istikrarsız bölgelerinden biri haline geldiğini ifade etmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada, Terra ve Aqua platformlarındaki MODIS sensöründen elde edilen verileri ve TRMM uydusundan elde edilen yağış verilerini kullanarak Afrika Boynuzu bölgesindeki kuraklıkları araştırmışlardır. Bu amaçla, 2000-2017 dönemi boyunca MODIS sensöründen elde edilen veriler ile NDVI, VCI, TCI ve VHI hesaplamışlardır. Bu indeksler ile şiddetli kuraklık olaylarını ve bitki örtüsü sağlığının zamansal değişimini ilişkilendirmişlerdir. Sonuçlara göre, 1998-2017 yılları boyunca bitki büyüme mevsimlerinde aylık yağışın önemli ölçüde azaldığını tespit etmişlerdir. 2001-2017 dönemi için HOA ekim alanlarının ortalama VHI değerlerinin $-0.2364 \pm 0.1446/\text{yıl}$ 'lık bir eğilimde azaldığını, ortalama TCI değerlerinin ise $-0.2315 \pm 0.2009/\text{yıl}$ 'lık bir eğilimde önemli ölçüde azaldığını tespit etmişlerdir. Bu sonuçların, HOA'da ekili arazilerde kuraklıktan dolayı oluşan bozulmaya işaret ettiğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte, 2015-2016 El Nino olayı sırasında şiddetli kuraklık yaşandığı bilgisi verilmiştir. Tam bu zamanlarda, VHI 10 yıllık (2001-2010) ortalamasının

altında değerler göstererek kuraklığı tespit edebildiğini vurgulamışlardır. Ek olarak, temmuz ve ağustos aylarında aylık yağış anormallikleri ile aylık VHI anormalliklerinin yüksek bir korelasyon gösterdiğini tespit etmişlerdir. Kuraklık tespiti için VHI'nın kullanılmasını tavsiye etmişlerdir.

Shen vd. (2019), Birleştirilmiş Kurak Koşullar İndeksi (IDCI) isimli bir gösterge geliştirmişlerdir. Bu indeks; yağış, potansiyel evapotranspirasyon, sıcaklık, toprak nemi ve bitki örtüsü bilgilerini birleştirerek kullandığını ifade etmişlerdir. IDCI'nın tarımsal kuraklık izlemedeki performansını; SC-PDSI, SMCI ve SCYI gibi kuraklık indeksleri ile karşılaştırarak değerlendirmişlerdir. Daha sonra IDCI'ya, Çin'in İç Moğolistan bölgesindeki tarımsal kuraklığın zamansal ve mekânsal desenini karakterize etmek için kullanmışlardır. Sonuçlara göre IDCI, SC-PDSI'ya ve SCYI'ya benzer şekilde değerler vererek kuraklık izlemede iyi bir performans göstermiştir. Bununla birlikte IDCI; güvenilir ve istikrarlı kuraklık izleme, toprak nem tespiti ve tarımsal kayıpların tespiti açısından SPEI3'ten, SMCI'dan ve VCI'dan daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca; SMCI, VCI ve SPEI3 ile karşılaştırıldığında IDCI'nın, SCYI ile yüksek oranda (mısır için $r = 0.788$) ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir. IDCI'nın dünyanın diğer bölgelerinde de kullanılması tavsiye edilmiştir.

Yıldırım vd. (2019), Gediz Havzasının ET_0 haritasını oluşturmayı amaçlamışlardır. Bu amaçla, 6 tane havza içinde 8 tane de havza dışından istasyon ölçümleri kullanmışlardır. ET_0 haritasının oluşturulmasında enterpolasyon metodu olarak co-kriging, yarıvariogram olarak da küresel model kullanıldığı bilgisi verilmiştir. Sonuç olarak, bu metod ile ET_0 haritalarının güvenilir ve hızlı bir şekilde hazırlanabileceğini tespit etmişlerdir.

Eroğlu ve Apaydın (2020), yapay sinir ağları (YSA) ve SDI yöntemini kullanarak Nallıhan bölgesinde yaşanabilecek olası bir kuraklığı tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu amaçla; Sakarya Havzası'nda yer alan Nallıhan, Beypazarı, Mihaliççık, Çatacık, Göynük, Mudurnu, Seben ve Eskişehir meteoroloji istasyonları ve Nallıhan akım gözlem istasyonuna ait 1996-2015 yılları arasındaki veriler üzerinde çalışma yürüterek 2015-2030 yılları arasında oluşabilecek akımları tahmin etmişlerdir. Ürettikleri YSA modelinin

eğitim ve test aşamalarındaki korelasyon katsayısı sırası ile 0.990 ve 0.967 düzeyinde yüksek bir tutarlılıkla olduğunu belirtmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, 1997-2015 ve 2016-2030 arasında genellikle hafif kuraklıklar yaşandığını belirlemişlerdir. Ancak, orta şiddetli ve şiddetli kuraklıkların sayısının bu dönem aralığında giderek artma eğiliminde olduğunu tespit etmişlerdir. Gelecekte bu bölge için aşırı kurak dönemlerin de görülebileceğini vurgulamışlardır. Bölgedeki kuraklığın izlenerek; olası meteorolojik, tarımsal ve sosyoekonomik kuraklıklara hazırlıklı olunmasını ve bölgesel kuraklık eylem planı hazırlanmasını önermişlerdir.

zfidaner ve Topaloğlu (2020a), iklim değişikliği sebebiyle su kaynaklarının akış rejimlerinin değiştiğini belirtmişlerdir. Bu durumun ise zamansız taşkınlara ya da kuraklıklara sebep olduğunu ifade etmişlerdir. Yaptıkları alışmada, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde SPI metodu ile meteorolojik kuraklıkların şiddetlerini araştırmışlardır. Bu amaçla, 17261 (Gaziantep), 17912 (Siverek) ve 17210 (Siirt) nolu istasyonlardan 40 yıllık yağış verisi kullandıklarını belirtmişlerdir. SPI'dan, 1 ve 12 aylık durumlar için zmlleme aldıklarını ifade etmişlerdir. 1 aylık SPI'ya göre % 52 ile % 71 oranlarında normal, % 16 ile % 48 oranlarında şiddetli kuraklık meydana geldiğini tespit etmişlerdir. 12 aylık SPI'ya göre % 80 ile % 88 oranlarında normal, % 12 ile % 20 oranlarında şiddetli kuraklık meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

zfidaner vd. (2020b), Adana ilinde 1963-2016 dönemi boyunca kurak ve yağışlı geçen yılları tespit etmeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla; buharlaşma, yağış, sıcaklık verilerini kullandıklarını ve TOPSİS yöntemi ile bir model oluşturduklarını ifade etmişlerdir. Araştırmaya göre 54 senede 10 kez orta, 15 kez zayıf ve 7 kez ciddi kurak yıl tespit etmişlerdir. Ciddi kuraklık yaşanan yılların ise 1970-1973, 1982, 1986 ve 1993 yılları olduğunu tespit etmişlerdir. Son 10 senede 5 senenin kurak geçtiğini bu senelerin ise 2007, 2008, 2010, 2013 ve 2014 seneleri olarak tespit ettiklerini belirtmişlerdir.

Taş ve Yıldırım (2020), 2014 yılı IPCC raporunda sunulan “İlerideki yıllarda Türkiye'de sıcaklıkların yükseleceği diğer taraftan yağışların azalacağı öngörülmektedir.” ifadesinden bahsetmişlerdir. Bu sebeple, ileride oluşması beklenen tarımsal kurak

dönemlerin önceden tespit edilmesinin başta tarım sektörü olmak üzere tüm sektörleri kuraklık afetine hazır hale getireceğini belirtmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada, Konya Kapalı Havzası için HadGEM2 küresel iklim modelinde iyimser (RCP 4.5) ve kötümser (RCP 8.5) senaryolara göre kurak yılları tespit etmeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla, 2100 yılına kadar tahmin edilen aylık yağış miktarlarına SPI metodu uyguladıklarını belirtmişlerdir. Araştırmaya göre, RCP 4.5 senaryosu için 2043-2044, 2046-2047, 2086-2087 ve 2090-2091 olarak 4 tane ortak tarımsal kurak sene tespit etmişlerdir. RCP 8.5 senaryosuna göre ise 2041-2043, 2060-2062, 2072-2074, 2092-2094 ve 2095-2097 olarak 5 tane ortak tarımsal kurak dönem tespit etmişlerdir. Bu dönemlerde oluşması beklenen kuraklık şiddetlerini jeo-istatistik haritalar ile göstermişlerdir. Tarımsal kuraklığın etkilerinin azaltılmasına yönelik alınabilecek tedbirler konusunda tavsiyelerde bulunmuşlardır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde; araştırma yerinin konumu ve iklim özellikleri, kullanılan veriler, kullanılan yazılımlar, kullanılan modellere ilişkin bilgiler verilmiştir.

3.1 Materyal

3.1.1 Araştırma alanı ve iklim özellikleri

Konya Kapalı Havzası, ülkemizin iç kesiminde 36°51' ve 39°29' kuzey enlemleri ile 31°36' ve 34°52' doğu boylamları arasında yer almaktadır (Anonim 2021d). Kapalı bir havza niteliğinde olan Konya Havzasının önemli bir kısmı Konya il sınırları içerisinde kalmaktadır. Konya Havzası; Aksaray, Ankara, Antalya, Isparta, Karaman, Konya, Mersin, Nevşehir ve Niğde illerinin tamamını veya bir kısmını kapsamaktadır (Anonim 2015). Kuzeyde, Sakarya ve Kızılırmak Havzaları; doğuda, Kızılırmak ve Seyhan Havzaları; güneyde, Doğu Akdeniz Havzası; batıda, Antalya ve Akarçay Havzaları ile komşu olmaktadır. Konya Kapalı Havzası, yaklaşık beş milyon hektarlık (4.980.534 ha) alanıyla, Türkiye'nin yaklaşık % 7'sini kaplamaktadır. Havza topraklarının % 7.9'unu sulak alanlar ve su kütleleri, % 33'ünü doğal alanlar (bozkır, antropojen bozkır, orman), % 57'sini tarım alanları, % 2'sini yapay alanlar oluşturmaktadır. Tarım alanlarının ise % 92'si tahıl, % 5'i meyve, % 3'ü sebze tarımına ayrılmıştır (Anonim 2021d).

olduğu tarım alanları, Türkiye'nin sahip olduğu tarım alanlarının % 12'sini oluşturmaktadır. Bununla birlikte, Havzanın sahip olduğu sulanan tarım alanları ise Türkiye'nin sahip olduğu sulanan tarım alanlarının % 17'sini oluşturmaktadır (Anonim 2021d).

Konya Kapalı Havzası'nda yıllık tüketilen suyun yaklaşık % 90'ı tarımsal sulama için kullanılmaktadır. Havza'nın toplam yıllık kullanılabilir su kaynağı 4.3 milyar m³ seviyelerinde iken, yıllık su tüketimi ise 6.5 milyar m³ seviyelerinde olmaktadır. Bu bilgilerden, Havza'nın su bütçesine yaklaşık yıllık 2 milyar m³ fazladan su girişi olduğu anlaşılmaktadır. Söz konusu fazladan tüketilen bu suyun büyük bir kısmı, yeraltı suyu statik rezervlerinden karşılanmakta, bu nedenle yeraltı su depoları hızla tüketilmektedir. Bu durum, Havza'yı çevresel ve tarımsal sürdürülebilirlikten hızlıca uzaklaştırmaktadır (Anonim 2022a).

Çizelge 3.1 Konya Havzası uzun yıllar ölçülen ortalama sıcaklıklar (Anonim 2017a)

Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ortalama Sıcaklık (°C)	-0.3	1.3	5.5	11.0	15.8	20.1	23.4	23.1	18.4	12.5	6.3	1.9
En Yüksek Sıcaklık (°C)	19.0	23.8	28.9	31.5	34.4	37.2	40.6	40.0	36.1	31.6	25.4	21.8
En Düşük Sıcaklık (°C)	-28.2	-26.5	-16.4	-8.6	-1.2	1.8	6.7	5.3	-3.0	-8.4	-20.0	-26.0
Ort. Güneşlenme Süresi (saat)	3.2	4.3	6.6	7.1	8.5	10.4	11.	11.1	9.4	7.1	5.1	3.1

3.1.2 Araştırmada kullanılan veriler

Avrupa Uzay Ajansı (ESA) kurumunun sahip olduğu İkinci Nesil Meteosat (MSG) platformunun SEVIRI sensöründen elde edilen ve bu çalışmada da kullanılan veriler, rakım (DEM); enlem (Latitude); uydu zenit açısı (VZA); direkt, dağınık, görünür ve yakın kızıl ötesi albedo (A); arazi yüzey sıcaklığı (LST); vejetasyon örtü oranı (FVC); yaprak alan indeksi (LAI); yüzeye gelen kısa dalga radyasyon (DSSF); yüzeye gelen uzun dalga radyasyon (DSLRF)'dur.

Birleşik Devletler Jeoloji Araştırmaları (USGS) kurumunun sahip olduğu Aqua platformunun MODIS sensöründen elde edilen ve bu çalışmada kullanılan veriler; arazi sınıflandırma haritası (UDM-Land Cover Map), Normalleştirilmiş Vejetasyon Değişim İndeksi (NDVI), Kuvvetlendirilmiş Vejetasyon İndeksi (EVI)'dir.

ET_a ve ET_{REF} hesaplamalarında birçok parametre değerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu parametre değerlerinin bir kısmı matematiksel hesaplamalarla elde edilebilirken bir kısmı ise hazır olarak sunulan tablolardan temin edilmektedir. ALEXI Modeli, bitki gruplarının sahip olduğu çeşitli parametre ölçümlerini istemektedir. Bu bilgi Anderson vd. (2007a) Tablo-2'de sunulmaktadır. Bununla beraber, ihtiyaç duyulan meteorolojik parametrelerin hesaplanmasında Allen vd. (1998)'de tanımlanan ilkeler kullanılmıştır. Bununla birlikte; günlük radyasyonun iletilmesi, güneş zenit açısına göre yaprak açısı dağılım katsayısının belirlenmesi, vb. parametrelerin hesabı için Campbell ve Norman (1998)'de tanımlanan ilkeler kullanılmıştır. Ayrıca, tüm bu hesaplamalarda ilgili yılın günü (jülyen takvime göre) ve ilgili günün saati (UTC olarak) bilgisi kullanılmaktadır.

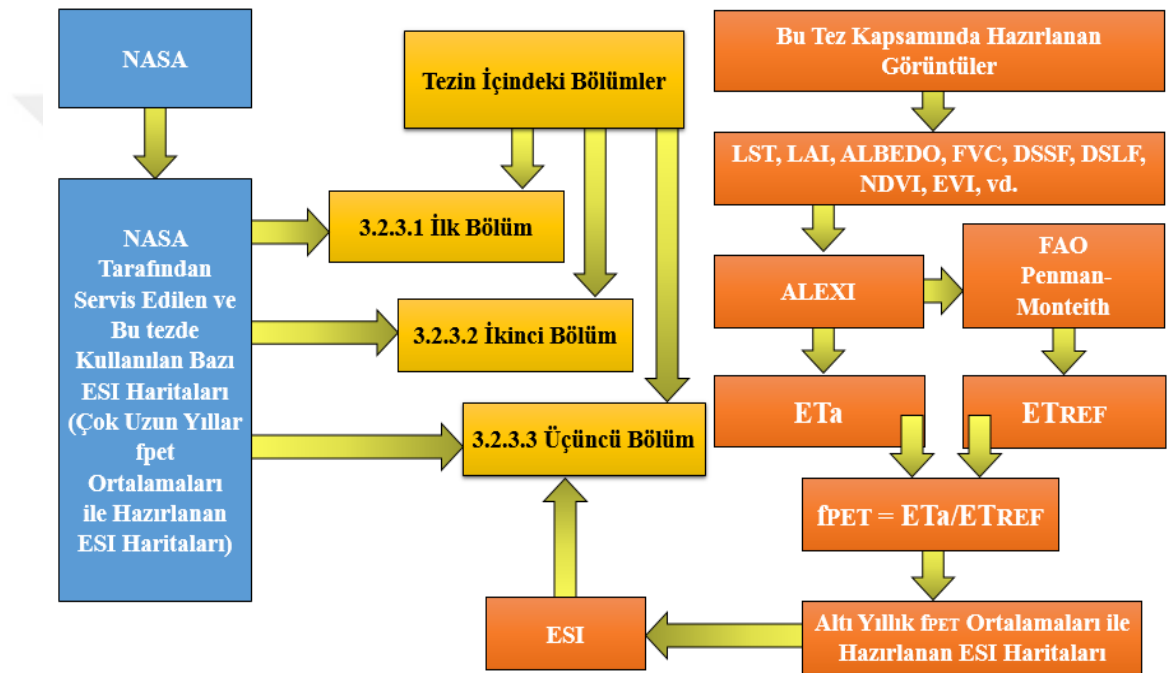
3.1.3 Araştırmada kullanılan yazılımlar

Uydudan elde edilen veriler doğrudan kullanılamamaktadır. Öncelikle bu verilerin; kordinatlandırma, ölçeklendirme, buluttan temizleme gibi çeşitli işlemlerden geçmesi gerekmektedir. Bu bağlamda SEVIRI için MSG Toolbox 2.0 ve MODIS için HDF-EOS to GeoTIFF converter (HEG) isimli yazılımlar kullanılmıştır. Bununla birlikte bu çalışma kapsamında kullanılan diğer yazılımlar şunlardır:

- Microsoft Office 365,
- Kuantum Coğrafi Bilgi Sistemi (QGIS),
- Google Earth Pro.

3.2 Yöntem

Bu tezde uygulanan yöntemle ilişkin çalışma planı Şekil 3.2’de verilmiştir. Şekil 3.2’den görüldüğü üzere ilk ve ikinci bölümde tamamen NASA tarafından servis edilen ESI haritaları kullanılmıştır. Üçüncü bölümde ise NASA tarafından servis edilen ESI haritaları, bu tez kapsamında daha yüksek çözünürlükte hazırlanan ESI haritaları ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.2 Bu tezde uygulanan yöntemle ilişkin çalışma planı

3.2.1 Araştırmada kullanılan modeller

ESI Modeli kendi içerisinde bitki aküel su tüketimi (ET_a) ve referans bitki su tüketimi (ET_{REF}) olarak iki temel parametreye ayrılmaktadır. ET_a parametresi enerji dengesi yaklaşımı ile çözülebilmektedir. Enerji dengesi yaklaşımı Eşitlik 3.1’de verilmektedir. İstenen zaman aralığı için ET_a ’nın bulunması Eşitlik 3.2’de verilmektedir (Anderson vd. 2011a). ET_{REF} ise Allen vd. (1998)’de verilen yöntemle hesaplanmaktadır (Anderson vd.

2016). Bitkiler tarafından özümlenen enerji ihmal edildiğinde dünya yüzeyinin net enerji kazanımı Eşitlik 3.1 ile hesaplanmaktadır (Anderson vd. 1997).

$$R_n = H + LE + G \quad (\text{Eşitlik 3.1})$$

$$ET_a = (LE/\lambda_0) * \Delta t \quad (\text{Eşitlik 3.2})$$

$$\lambda_0 = (2.501 - 0.002361 \times (T_a)) \times 10^6 \quad (\text{Eşitlik 3.3})$$

Burada;

LE: gizli ısı akısı miktarı (w/m^2),

R_n : yüzeyin kazandığı net radyasyon miktarı (w/m^2),

G: toprak ısı akısı miktarı (w/m^2),

H: hissedilir ısı akısı miktarı (w/m^2),

λ_0 : buharlaşma gizli ısı değeri (w/m^2),

ET_a : bitki su tüketim miktarı (mm),

T_a : havanın sıcaklık değeri ($^{\circ}C$),

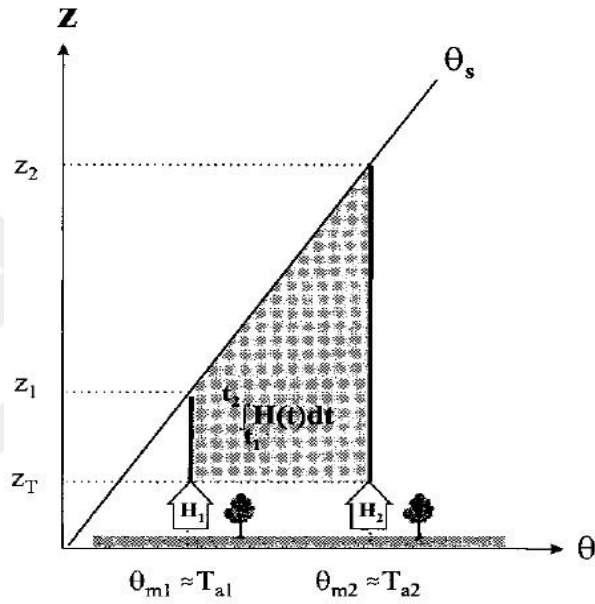
Δt : hesaplanması istenen zaman aralığıdır.

ESI Modeli, ET_a tahmini için ALEXI Modelini kullanmaktadır. ALEXI Modeli ise, kendi içerisinde hava sıcaklığı tahmin modeli, arazi yüzey sıcaklığı ayırıştırma modeli ve yüzey enerji dengesi olarak 3 ayrı parçanın birleşiminden oluşmaktadır.

3.2.1.1 Hava sıcaklığı tahmin modeli

ALEXI Modelin, yüzey enerji dengesi ile ilgili kısmında her bir piksel için hava sıcaklığı tahmin değerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu değer için; McNaughton ve Spriggs (1986) ve Tennekes (1973) taraflarından sağlanan hissedilir ısı modellerini, Slab Modeli ile birleştirilen bir Gezegenel Sınır Tabakası (PBL) Modeli kullanılmaktadır. Şekil 3.3'den görüldüğü üzere PBL Modeline, gün doğumundan 1.5 ve 5.5 saat sonrası için iki kez hava sıcaklık tahmin değeri girilmektedir. Bununla beraber, bulutsuz berrak gökyüzü

koşullarında potansiyel sıcaklığın zamanla doğrusal olarak artacağı varsayılmaktadır. Bu süre zarfında, hava karışım tabakasının yüksekliği Z_1 seviyesinden Z_2 seviyesine ilerlemektedir. Diğer taraftan, hissedilir ısının gün doğumundan 1.5 saat sonra oluştuğu ve bitkilerin gölgesinin serin olacağı varsayılmaktadır. Bu sebeple hissedilir ısı gün doğumundan 1.5 saat sonra ve bitkilerin üst hizasından itibaren gösterilmektedir. Böylece, hava sıcaklığı ile üst atmosferin sınır koşullarını belirleyen atmosferik sınır dinamikleri bu model ile tanımlanmış olmaktadır (Anderson vd. 1997).



Şekil 3.3 Gezegenel Sınır Tabakası Modelinin çalışma prensibi (Mecikalski vd. 1998)

Burada;

T_{a1} : gün doğumundan 1.5 saat sonra havanın sıcaklık değeri (K),

T_{a2} : gün doğumundan 5.5 saat sonra havanın sıcaklık değeri (K),

H_1 : T_{a1} zamanında hissedilir toplam ısı akısı miktarı (w/m^2),

H_2 : T_{a2} zamanında hissedilir toplam ısı akısı miktarı (w/m^2),

Z_1 : hava karışım tabakası başlangıç yüksekliği (50 m alınmaktadır),

Z_2 : hava karışım tabakası zirve yüksekliği (m),

Z_T : hava sıcaklığı ölçüm yüksekliği (m),

θ_s : potansiyel sıcaklık artış eğrisidir (gün doğumundan sonra öğlene kadar).

Yüzey sıcaklığındaki zamansal değişimi ölçmek; direkt mutlak sıcaklık ölçümlerinden daha güvenilir olmaktadır. Bu sebeple uygulamada, hava karışım tabakasının başlangıç yüksekliğini (Z_1) ilk gözlem saati için sabit bir değere ($Z_1 = 50$ m) eşitlenmektedir. İkinci gözlem saati için hava karışım tabakasının zirve yüksekliğini (Z_2) ise havanın potansiyel sıcaklık artışının (Θ_s) yönetmesine (Isınan hava yükselecektir.) izin verilmektedir. Sabahın erken saatleri için karışım tabakasının başlangıç yüksekliğini küçük bir sabit değere ($Z_1 = 50$ m) eşit olduğu varsaymak belirli koşullar altında hataya sebep olmaktadır. Ancak, bu tür hataların ALEXI Modelin akı tahminleri üzerindeki etkisinin çok küçük olması beklenmektedir.

Hava sıcaklığı tahminleri, Slab Modeli (PBL dinamiklerinin tanımlandığı) vasıtası ile yapılmaktadır. Slab Modeli, karışım tabakası içindeki havanın potansiyel sıcaklığının (Θ_m) yeknesak dağıldığını varsaymaktadır. Eşitlik 3.4 ile hesaplanmaktadır (Anderson vd. 1997).

$$\Theta_m = T_a(100/P)^{R/C_p} \quad (\text{Eşitlik 3.4})$$

Burada;

Θ_m : karışım tabakasındaki havanın potansiyel sıcaklık değeri (K),

T_a : havanın sıcaklık değeri (K),

P : Z_T yüksekliğinde atmosferik basınç değeri (kPa),

R : havanın gaz sabiti değeri (287 J/ kg x K),

C_p : havanın öz ısı kapasite değeri (sabit basınçta) (1004 J/ kg x K),

R/C_p : 0.286 alınmıştır (Anderson vd. 1997).

McNaughton ve Spriggs (1986) tarafından; (karışım tabakasındaki havanın yatay adveksiyonu ve alçalma etkisini ihmal ederek) karışım tabakasındaki havanın potansiyel sıcaklık değerini (Θ_m), yükseklik artış miktarı (Z) ile ilişkilendirilen basitleştirilmiş bir enerji korunumu denklemi verilmektedir. Eşitlik 3.5'de sunulan bu denklem ile zamanla bütünleşik olarak yüzeyin hissedilir ısı hesaplanabilmektedir (Anderson vd. 1997).

$$\int_{t_1}^{t_2} H(t) dt = \rho c_p (z_2 \Theta_{m2} - z_1 \Theta_{m1}) - \rho c_p \int_{z_1}^{z_2} \Theta_s(z) dz \quad (\text{Eşitlik 3.5})$$

Burada;

Θ_m : karışım tabakasındaki havanın potansiyel sıcaklık değeri (K),

ρ_{air} : havanın yoğunluk miktarı (kg/m^3),

C_p : havanın öz ısı kapasitesi değeri (sabit basınçta) ($1004 J/ kg \times K$),

Z_1 : hava karışım tabakası başlangıç yüksekliği (metre),

Z_2 : hava karışım tabakası zirve yüksekliği (metre),

Θ_s : potansiyel sıcaklık artış eğrisidir (gün doğumundan sonra öğlene kadar).

PBL Modelde, t_1 zamanından t_2 zamanına kadar olan zaman aralığında karışım tabakası Z_1 'den Z_2 seviyesine yükselmektedir. Bu süre zarfında bulutsuz berrak gökyüzü koşulları için hissedilir ısının zamanla doğrusal olarak artacağı beklenmektedir. Ancak; hissedilir ısının net olarak artması, gelen enerji miktarı ve hissedilir ısının artmasına karşı oluşan direnç ile belirlenmektedir. Bununla birlikte, gün doğumundan sonra öğlene kadar olan sürede hissedilir ısının artmasına karşı olan direnç küçük olmaktadır. Bu sebeple, hissedilir ısı tahminindeki hatanın da aynı şekilde küçük olması beklenmektedir (Anderson vd. 1997).

PBL Modelde, t_1 ve t_2 zamanları arasında meydana gelen kuvvetli adveksiyon uygun şekilde hesaba katılmazsa Z_2 yüksekliğinde ve dolayısı ile hissedilir ısı tahminlerinde hataya sebep olabilmektedir. Bu nedenle, PBL Modelin gün doğumundan öğlene kadar olan sürede (sabah saatleride çalıştırılması) ve açık gökyüzü koşullarında çalıştırılması önerilmektedir (Anderson vd. 1997). Bu süre boyunca adveksiyon ve diğer büyük ölçekli atmosferik etkiler genellikle minimum etkiye sahip olmaktadır (Wetzel vd. 1984). Sabah saatlerinde yüzeyden hissedilir ısı akışı için Tennekes (1973) tarafından önerilen denklem Eşitlik 3.6 verilmektedir.

$$H(t) = \frac{H_N}{T} t \quad (\text{Eşitlik 3.6})$$

Burada;

$H_{(t)}$: t zamandaki toplam hissedilir ısı akısı miktarı (w/m^2),

H_N : belirli bir ölçekteki hissedilir ısı akısı miktarı (w/m^2),

T: hissedilir ısı akısı miktarının artış zamanı (saat),

t: gün doğumundan sonra geçen süre (saat),

Birçok yerde, meteorolojik gözlem balonları bulunmamaktadır. En yakın radyo-sonda istasyonu, ölçüm bölgesinden yüzlerce kilometre uzaklıkta olabilmektedir. $\Theta_s(Z_1) = \Theta_{m,1}$ 'e eşit olacak şekilde değiştirildiğinde radyo-sonda ile elde edilen sıcaklıklarının, Eşitlik 3.7'de PBL Model tarafından üretilen hava sıcaklık tahminleriyle uyumlu olacağı varsayılmaktadır. Eşitlik 3.4, 3.5 ve 3.6 birbiri içinde birleştirildiğinde nihai olarak Eşitlik 3.7 elde edilmektedir (Anderson vd. 1997).

$$H_i = \frac{2\rho c_p t_i}{t_2^2 - t_1^2} \left[\left(\frac{100}{P} \right)^{\frac{R}{C_p}} (Z_2 T_{a,2} - Z_1 T_{a,1}) - \int_{Z_1}^{Z_2} \Theta_s(Z) dz \right] \quad (\text{Eşitlik 3.7})$$

Burada;

H_i : i zamandaki toplam hissedilir ısı akısı miktarı (w/m^2),

ρ_{air} : havanın yoğunluk miktarı (kg/m^3),

t_i : i zamanı için gün doğumundan sonra geçen süre (saat),

t_1 : gün doğumundan sonra birinci ölçüm zamanı (saat),

t_2 : gün doğumundan sonra ikinci ölçüm zamanı (saat),

P: Z_T yüksekliğinde atmosferik basınç değeri (kPa),

R: havanın gaz sabiti değeri ($287 J/kg \times K$),

C_p : havanın öz ısı kapasite değeri (sabit basınçta) ($1004 J/ kg \times K$),

R/C_p : 0.286 (Anderson vd. 1997),

Z_1 : hava karışım tabakası başlangıç yüksekliği (metre),

Z_2 : hava karışım tabakası zirve yüksekliği (metre),

$T_{a,1}$: gün doğumundan sonra birinci ölçüm zamanı için havanın sıcaklık değeri (K),

$T_{a,2}$: gün doğumundan sonra ikinci ölçüm zamanı için havanın sıcaklık değeri (K),

$\Theta_s(z)$: Z_1 ve Z_2 yüksekliklerindeki potansiyel sıcaklık artış miktarıdır (K).

Toplam hissedilir ısı akısının (H); aerodinamik direnç (R_a), radyometrik sıcaklığa (T_{RAD})' a göre sınırlandırıldığı denklem Eşitlik 3.8'de verilmektedir (Anderson vd. 1997).

$$T_{RAD,i} = T_{a,i} + f(\varphi) \frac{H_{c,i} R_{a,i}}{\rho c_p} + [1 - f(\varphi)] \times \frac{(H_i - H_{c,i})(R_{a,i} + R_{s,i})}{\rho c_p} \quad (\text{Eşitlik 3.8})$$

Burada;

$T_{RAD,i}$: gün doğumundan i saat sonra radyometrik sıcaklık değeri (K),

$T_{a,i}$: gün doğumundan i saat sonra havanın sıcaklık değeri (K),

φ : sensör zenit açısı (derece),

$f(\varphi)$: sensör görüş alanını kaplayan vejetasyon oranı,

$H_{c,i}$: gün doğumundan i saat sonra vejetasyon hissedilir ısı akısı miktarı (w/m^2),

$R_{a,i}$: gün doğumundan i saat sonra aerodinamik direnç (s/m),

ρ_{air} : havanın yoğunluk miktarı (kg/m^3),

c_p : havanın öz ısı kapasite değeri (sabit basınçta) ($1004 J/kg \times K$),

H_i : gün doğumundan i saat sonra toplam hissedilir ısı akısı miktarı (w/m^2),

$R_{s,i}$: gün doğumundan i saat sonra ısıya hava boşluğunda taşınma direncidir (s/m)

Eşitlik 3.8'de verilen gün doğumundan i saat sonra vejetasyon hissedilir ısı akısı miktarı için Eşitlik 3.9 kullanılmaktadır (Norman vd. 1995; Anderson vd. 1997).

$$H_{c,i} = R_{nc,i} [1 - \alpha_{PT} f_g \frac{\Delta}{\Delta + \gamma}] \quad (\text{Eşitlik 3.9})$$

Burada;

$H_{c,i}$: gün doğumundan i saat sonra vejetasyon hissedilir ısı akısı miktarı (w/m^2),

$R_{nc,i}$: gün doğumundan i saat sonra vejetasyonun kazandığı net radyasyon miktarı (w/m^2),

α_{PT} : Priestley-Taylor Model katsayısı (birimsiz) (Anderson vd. 1997, 2007a),

f_g : pikseldeki yeşil vejetasyonun örtme oranı (birimsiz),

Δ : doygun buhar basıncı değeri ($kPa/^\circ C$),

γ : psikometrik değer ($kPa/^\circ C$).

Pikseldeki yeşil vejetasyonun örtme oranı (f_g), MODIS uydusundan alınan NDVI ve EVI verilerinin Eşitlik 3.10'ye uygulanması ile hesaplanmaktadır (Fisher vd. 2008; Castelli vd. 2018). Burada $0 \leq f_g \leq 1$ olmalıdır (Guzinski vd. 2013).

$$f_g = 1.2 (EVI/NDVI) \quad (\text{Eşitlik 3.10})$$

Eşitlik 3.7, 3.8, 3.9'da bilinmeyenler H_1 , H_2 , $H_{c,1}$, $H_{c,2}$, $T_{a,1}$ ve $T_{a,2}$ 'dir. Z_1 ve Z_2 ise potansiyel sıcaklık artış eğrisinin (Θ_s) eğimi ve hava sıcaklıkları ($T_{a,1}$ ve $T_{a,2}$) ile tespit edilmektedir. Sonuçta, t_1 ve t_2 zamanlarında alınan radyometrik yüzey sıcaklığı ölçümleri sayesinde altı bilinmeyen, altı eşitlik ile çözülebilmektedir. t_1 ve t_2 zamanlarındaki diğer bileşen ve kompozit akılar, yüzey enerji dengesi tarafından hesaplanmaktadır (Anderson vd. 1997).

Eşitlik 3.7, 3.8, 3.9 sabah saatlerinde iki kez (t_1 ve t_2 zamanlarında) çalıştırılmaktadır. Bu zamanların her birinde PBL Modelden elde edilen hissedilir ısı akısı (H_i) miktarı, yüzey enerji dengesinden elde edilen hissedilir ısı akısı miktarı (H_i) ile karşılaştırılmaktadır. Yüzey enerji dengesi açısından; eğer toprak gizli ısı akısı miktarı için gerçekçi tahminler ($LE_s \geq 0$) üretilemezse, PBL Modelde bulunan (H_i) tahmin değeri yeniden hesaplanması gerekmektedir (Anderson vd. 1997).

PBL Modeli ile hem hava sıcaklığı hem de hissedilir ısı tahmin edilmektedir. ALEXI Modelin yüzey enerji dengesi ile ilgili kısmında ise PBL Modelden tahmin edilen hava sıcaklığı kullanılmaktadır. Böylece, ALEXI Modelin yüzey enerji dengesi kısmından da hissedilir ısı tahmin edilmektedir. Hava sıcaklığı ortak bir veri olmasına rağmen hissedilir ısı akısında farklı denklemler kullanılmaktadır. Bu sayede elde edilen hissedilir ısı akısı (H) miktarları birbirini kontrol etmek amaçlı kullanılabilir (Anderson vd. 1997).

ALEXI Modeli için hava sıcaklığı ölçümleri gerekmektedir. Ancak bu bir sorun olmamaktadır. PBL Modeli ile hesaplanabilmektedir. PBL Modeli atmosferik sıcaklık

profilindeki lapse-rate (irtifayla sıcaklık değişimi) yapısını kullanmaktadır. Bu ise sinoptik radyosonda verisinden (mutlak sıcaklık ölçümüne göre) daha güvenilir bir veri olmaktadır. Fakat sabahın erken saatlerinde meydana gelen lapse rate yapısının, PBL Modelin tasarımına uygun olarak gerçekleşmesi gerekmektedir. Bununla birlikte duyarlılık testleri, ALEXI Modelin lapse rate yapısındaki büyük hatalardan önemli ölçüde etkilenmediğini ortaya koymuştur (Anderson vd. 1997).

Jeostatik uydular, yüzey sıcaklığının zamandaki değişimini kaydedebilmektedir. Bu değişimler, yüzey toprak suyunun durumuna ilişkin değerli bilgiler içerebilmektedir (Jackson 1982). Yüzey sıcaklığının zamandaki değişimini kullanan PBL Model sayesinde hava sıcaklığının mutlak ölçümlerine olan ihtiyaç ortadan kalkmaktadır (Anderson vd. 1997). Ayrıca bu sayede sensör kalibrasyonu ve atmosferik düzeltme gerekmemektedir (Anderson vd. 2007a).

LST haritalarındaki her bir piksel basit bir bulut tarama işlemine tabi tutulmalıdır. PBL Modeli, t_1 zamanından t_2 zamanına hissedilir ısı akısının doğrusal olarak artacağı varsayımını kullanmaktadır. Bu sebeple ölçüm alınan her iki zaman aralığı boyunca pikselde bulut görüntüsü olmaması gerekmektedir. Bu zaman aralığı boyunca radyometrik sıcaklık değerindeki herhangi bir önemli azalma bulut kirliliği olarak yorumlanmaktadır (Anderson vd. 2007a).

Şekil 3.3’de gösterildiği üzere t_1 ve t_2 zamanlarında tahmin edilen hissedilir ısı miktarları toplamı için Eşitlik 3.11 kullanılmaktadır (Anderson vd. 2007a).

$$\int_{t_1}^{t_2} H(t)dt = \frac{1}{2} [H_2t_2 - H_1t_1] \quad (\text{Eşitlik 3.11})$$

Burada;

t_1 : gün doğumundan sonra geçen zaman (1.5 saat),

t_2 : gün doğumundan sonra geçen zaman (5.5 saat),

H_1 : t_1 zamanında toplam hissedilir ısı akısı miktarı (w/m^2),

H_2 : t_2 zamanında toplam hissedilir ısı akısı miktarı (w/m^2).

3.2.1.2 Arazi yüzey sıcaklığı ayrıştırma modeli

- Uydu vasıtası ile elde edilen yönsel radyometrik yüzey parlaklık değeri ($T_B(\varphi)$), buluttan temizlenip ve atmosferik etkiler için düzeltildikten sonra Eşitlik 3.12 ile yönsel radyometrik yüzey sıcaklık değerine ($T_{RAD}(\varphi)$) çevrilmektedir (Anderson vd. 1997).

$$T_B(\varphi) = [\epsilon_{(\varphi)} [T_{RAD}(\varphi)]^{ns} + [1 - \epsilon_{(\varphi)}] (T_{SKY})^{ns}]^{1/ns} \quad (\text{Eşitlik 3.12})$$

Burada;

$T_B(\varphi)$: yönsel radyometrik yüzey parlaklık değeri (K),

$T_{RAD}(\varphi)$: yönsel radyometrik yüzey sıcaklık değeri (K),

φ : sensör zenit açısı (derece) (Norman ve Becker 1995),

$\epsilon_{(\varphi)}$: yüzeyin yönsel termal emissivite değeri (Norman ve Becker 1995),

T_{SKY} : yarım-küre gökyüzü parlaklık değeri (K) (Norman ve Becker 1995),

ns : sensörün dalga boyu bandı için uygun Stefan-Boltzman denkleminde güç katsayısıdır (10 – 12 ve 8 -14 μm için tipik olarak 4 değeri kullanılmaktadır) (Becker ve Li 1990),

Eşitlik 3.12’de yüzeyin yönsel termal emissivite değerinin ($\epsilon_{(\varphi)}$) nadir açısında 1 değerine sahip olduğu varsayılmaktadır (Palluconi vd. 1990). Bununla birlikte, nadir ile 60^0 görüş açıları arasında yönsel emissivite ($\epsilon_{(\varphi)}$)’nin yüzey sıcaklık değerinde $0.5^0 C$ den daha az hataya sebep olduğu tespit edilmiştir (Anton ve Ross 1987). Bu hata ihmal edilmektedir (Anderson vd. 1997).

- Yönel Radyometrik Yüzey Sıcaklığı (T_{RAD}) Eşitlik 3.13 ile bulunmaktadır. Sensör görüş alanı içerisinde, toprak (T_s) ve vejetasyon (T_c)'un bireysel ortalama sıcaklıkları birlikte bulunmaktadır. Bununla birlikte T_s ve T_c 'nin sensör görüş alanı içerisindeki ağırlıklı oranları ($f_{(\varphi)}$) da farklı olmaktadır. Bu iki olgu göz önüne alındığında şu durum ortaya çıkmaktadır. Vejetasyonun giderek artmasıyla birlikte toprak gittikçe gizlenmektedir. Böylelikle sensör görüş alanı içerisindeki birleşik yüzey sıcaklığına toprak sıcaklığının katkısı gittikçe azalmaktadır (Anderson vd. 1997). T_{RAD} 'ı yüzey emissivite ve vejetasyon oranına göre T_s ve T_c olarak ayıran denklem Eşitlik 3.13 de verilmiştir (Anderson vd. 1997; Sanchez vd. 2008; Colaizzi vd. 2016).

$$\varepsilon_y \times T_{RAD}(\varphi)^{ns} = [\varepsilon_c \times f_{(\varphi)} \times T_c^{ns} + [1 - f_{(\varphi)}] \times \varepsilon_s \times T_s^{ns}] \quad (\text{Eşitlik 3.13})$$

Yüzey etkili emissivite değeri Eşitlik 3.14 ile hesap edilmektedir (Zhuang and Wu 2015).

$$\varepsilon_y = \varepsilon_c \times f_{(\varphi)} + [1 - f_{(\varphi)}] \times \varepsilon_s \quad (\text{Eşitlik 3.14})$$

Burada;

φ : sensör zenit açısı (derece),

$T_{RAD}(\varphi)$: yönel radyometrik sıcaklık değeri (K),

ε_s : toprak emissivite değeri (Anderson vd. (2007a)'da 0.94 önerilmektedir.),

ε_c : vejetasyon emissivite değeri (Anderson vd. (2007a)'da 0.97 önerilmektedir.),

ε_y : etkili yüzey emissivite değeri,

$f_{(\varphi)}$: sensör görüş alanını kaplayan vejetasyon oranı,

T_c : vejetasyonun yüzey sıcaklık değeri (K) (Yang vd. 2018),

T_s : toprak yüzey sıcaklık değeri (K),

Sensör görüş alanını kaplayan vejetasyon oranını izah etmek için Eşitlik 3.15 kullanılmaktadır (Norman vd. 1995; Anderson vd. 1997). Tarım gibi heterojenlik içeren görüntülerde tesadüfi olmayan karakteristik yaprak alan dağılımları izah etmek için bu denklem, topaklanma faktörü vasıtası ile modifiye edilmiştir (Anderson vd. 2005, 2007).

$$f_{(\varphi)} = 1 - \exp (-0.5 \times \Omega \times LAI / \cos \varphi) \quad (\text{Eşitlik 3.15})$$

Burada;

LAI: yaprak alan indeks değeri (m^2/ m^2),

φ : sensör zenit açısı (derece),

Ω : topaklanma faktörüdür (güneş zenit açısına bağlı).

Topaklanma faktörünün ihmal edilmesi, ALEXI Model’de azda olsa hissedilir ısı tahminlerinin artmasına yol açmaktadır (Anderson vd. 2005). Topaklanma faktörü her bir piksel için tek hesaplanabildiği gibi çeşitli arazi yüzey örtü türleri için hazır tablolar çeşitli araştırmacı ve kurumlar (ESA, vb.) tarafından sunulmaktadır. Bu çalışmada kullanılan tüm veriler nadir açısına çevrilerek kullanıldığı için Anderson vd. (2007a)’da önerildiği şekilde tarla (cropland) için 0.9 değeri, diğer tüm sınıflar için 1 değeri kullanılmıştır.

3.2.1.3 Yüzey enerji dengesi

ALEXI Modeli, İki Kaynaklı Enerji Dengesi (TSEB) Modelinin üzerinde yapılan modifikasyonlar ile oluşturulmuştur. Kuraklık izlemek gibi geniş alan uygulamaları için yapılan bu modifikasyonlar; yardımcı meteorolojik veri ihtiyacını en aza indirmek için PBL Modelin sisteme dâhil edilmesi, arazi yüzey sıcaklığı ayrıştırma modelinin efektif hale getirilmesi, çözümlemede paralel yaklaşım yerine seri yaklaşıma geçilmesi, jeostatik uyduların sağladığı yüksek zamansal çözünürlüğü daha efektif kullanmak olarak sayılabilmektedir (Anderson vd. 1997, 2007a; Mecikalski vd. 1998; Kustas ve Norman 1997; Norman vd. 1995, 2000).

A) Net Radyasyon Kazanımının Hesaplanması:

ALEXI net radyasyon kazanım bilgisi gerektirmektedir. Bunun için her bir pikselin 4 adet radyasyon bileşeninin her birinin tarafından ayrı ayrı hesaplanması gerekmektedir

(Anderson vd. 2007a). Net radyasyon: bitki büyüme modelleri, hidrolojik modeller ve toprak su dengesi modelleri için gereken potansiyel ve gerçek bitki su tüketimini tahmin etmek için vazgeçilmez bir veri olmaktadır (Trnka vd. 2005). Net radyasyon (R_n), Eşitlik 3.16 ile hesaplanmaktadır (Mecikalski vd. 1998).

$$R_n = (S_d - S_u) + (L_d - L_u) \quad (\text{Eşitlik 3.16})$$

Burada;

R_n : yüzeyin kazandığı net radyasyon miktarı (w/m^2),

S_d : yüzeye gelen kısa dalga radyasyon miktarı (w/m^2),

S_u : yüzeyden giden kısa dalga radyasyon miktarı (w/m^2),

L_d : yüzeye gelen uzun dalga radyasyon miktarı (w/m^2),

L_u : yüzeyden giden uzun dalga radyasyon miktarı (w/m^2).

Yüzeyden giden kısa dalga radyasyon miktarının (S_u) bulunması aşağıdaki Eşitlik 3.17 ile verilmiştir. Albedo, genel olarak yeryüzüne gelen ve giden kısa dalga radyasyonunun birbirine oranı olarak tanımlanmaktadır. Yüzeyin toplam albedosu ise siyah gökyüzü albedo (direkt yansıma) ve beyaz gökyüzü albedo (dağınık yansıma) verilerinin belirli bir oran dâhilin de toplamı alınarak bulunmaktadır (Jin 2003, Lucht vd. 2000, Guzinski vd. 2013). Güneşin öğle saatleri civarı bulutsuz olarak geldiği bir günde, gelen kısa dalga radyasyonun % 80 direkt ışıma ile yansıtıldığı ve % 20'sinin ise dağınık ışıma ile etrafa yayıldığı varsayılmaktadır (Roderick 1999; Guzinski vd. 2013).

Uzayda, uydudan tespit edilen kısa dalga radyasyon miktarı (S_d) ile yeryüzüne ulaşan kısa dalga radyasyon miktarı farklı olmaktadır. Çünkü kısa dalga radyasyon özellikle dünyanın atmosferinden geçerken belirli kayıplara uğramaktadır. Uğradığı bu kayıplar genel olarak su buharı absorpsiyonu, ozon tabakasının absorpsiyonu, rayleigh saçılması, aerosol saçılması olarak 4 tane olmaktadır. Bu sebeple uydudan tespit edilen S_d verileri direkt kullanılmadan önce atmosferden geçmiş gibi düşünülerek, bu 4 atmosfer bileşeni için düzeltilmesi (Clear-Air Modeli vasıtasıyla) gerekmektedir (Mecikalski vd. 1998).

$$S_u = A \times S_d \quad (\text{Eşitlik 3.17})$$

Burada;

S_u : yüzeyden giden kısa dalga radyasyon miktarı (w/m^2),

A: Albedo (birimsiz),

S_d : yüzeye gelen kısa dalga radyasyon miktarıdır (w/m^2).

Lettau ve Lettau (1978) tarafından geliştirilen, yüzeye gelen uzun dalga radyasyonunun (L_d) bulunması aşağıdaki Eşitlik 3.18 ile verilmiştir.

$$L_d = (0.62 + 0.0347e_a^{1/2}) \sigma T_a^4 \quad (\text{Eşitlik 3.18})$$

Burada;

L_d : yüzeye gelen uzun dalga radyasyon miktarı (w/m^2),

e_a : gerçek buhar basıncı değeri (kPa),

T_a : havanın sıcaklık değeri (K), (PBL Modelden hesaplanmaktadır),

σ : Stefan-Boltzman Sabiti ($5.67 \times 10^{-8} w/m^2 K^4$)

Yüzeyden giden uzun dalga radyasyonu (L_u) bulunması aşağıdaki Eşitlik 3.19 ile verilmiştir (Mecikalski vd. 1998).

$$L_u = (1 - \tau_d)L_c - \tau_d L_s \quad (\text{Eşitlik 3.19})$$

Burada;

L_u : yüzeyden giden uzun dalga radyasyon miktarı (w/m^2)

L_c : vejetasyon uzun dalga termal radyasyon miktarı (w/m^2),

L_s : toprak uzun dalga termal radyasyon miktarıdır (w/m^2),

τ_d : vejetasyon boyunca iletilen dağınık radyasyonun iletim katsayısı (Campbell ve Norman 1998),

B) Net Radyasyonun Toprak Tarafından Emilen Kısımının Hesaplanması:

Toprağın net radyasyon kazanımı Eşitlik 3.20’de verilmektedir (Anderson 2007a).

$$R_{n,s} = (L_{d,s} - L_{u,s}) + (S_{d,s} - S_{u,s}) = \tau_d L_d + (1 - \tau_d) L_c - L_s + (1 - \rho_s) S_{d,s} \quad (\text{Eşitlik 3.20})$$

$$L_s = \sigma \times \epsilon_s \times T_s^4 \quad (\text{Eşitlik 3.21})$$

$$L_c = \sigma \times \epsilon_c \times T_c^4 \quad (\text{Eşitlik 3.22})$$

$$S_{d,s} = \tau_x \times S_d \quad (\text{Eşitlik 3.23})$$

Burada;

$R_{n,s}$: toprağın kazandığı net radyasyon miktarı (w/m^2),

$L_{d,s}$: toprak yüzeyine gelen uzun dalga radyasyon miktarı (w/m^2),

$L_{u,s}$: toprak yüzeyinden giden uzun dalga radyasyon miktarı (w/m^2),

$S_{d,s}$: toprak yüzeyine gelen kısa dalga radyasyon miktarı (w/m^2),

$S_{u,s}$: toprak yüzeyinden giden kısa dalga radyasyon miktarı (w/m^2),

S_d : yüzeye gelen kısa dalga radyasyon miktarıdır (w/m^2),

τ_d : vejetasyon boyunca iletilen dağınık radyasyonun iletim katsayısı (birimsiz),

τ_x : kanopiden iletilen kısa dalga radyasyon oranı,

L_c : vejetasyon uzun dalga termal radyasyon miktarı (w/m^2),

L_s : toprak uzun dalga termal radyasyon miktarı (w/m^2),

T_c : vejetasyonun yüzey sıcaklık değeri (K),

T_s : toprak yüzey sıcaklık değeri (K),

σ : Stefan-Boltzman sabiti ($5.67 \times 10^{-8} w/m^2 K^4$),

ϵ_s : toprak emissivite değeri (Anderson vd. (2007a)’da 0.94 önerilmektedir.),

ϵ_c : vejetasyon emissivite değeri (Anderson vd. (2007a)’da 0.97 önerilmektedir.),

ρ_s : toprak yüzeyinin kendine ait reflektansıdır (Mecikalski vd. 1998).

C) Enerji Dengesi Bileşenlerinin Vejetasyon ve Toprak Olarak Ayrılması:

ALEXI Modeli, R_n 'in iki kaynaklı olduğu (topraktan ve vejetasyondan) prensibine dayanmaktadır. Bu bağlamda Eşitlik 3.1'de verilen R_n parametresinin Eşitlik 3.24'de iki parçaya ayrıldığı görülmektedir. (Anderson vd. 2007a).

$$R_n = R_{n,s} + R_{n,c} \quad (\text{Eşitlik 3.24})$$

Burada;

R_n : yüzeyin kazandığı net radyasyon miktarı (w/m^2),

$R_{n,c}$: vejetasyonun kazandığı net radyasyon miktarı (w/m^2).

$R_{n,s}$: toprağın kazandığı net radyasyon miktarıdır (w/m^2).

ALEXI Modeli, LE 'nin iki kaynaklı olduğu (topraktan ve vejetasyondan) prensibine dayanmaktadır. Bu bağlamda Eşitlik 3.1'de verilen LE parametresinin Eşitlik 3.25'de iki parçaya ayrıldığı görülmektedir (Anderson vd. 2007a).

$$LE = LE_s + LE_c \quad (\text{Eşitlik 3.25})$$

Burada;

LE : gizli ısı akısı miktarı (w/m^2),

LE_s : toprak gizli ısı akısı miktarı (w/m^2),

LE_c : vejetasyon gizli ısı akısı miktarı (w/m^2).

ALEXI Modeli, H 'ın iki kaynaklı olduğu (topraktan ve vejetasyondan) prensibine dayanmaktadır. Bu bağlamda Eşitlik 3.1'de verilen H parametresinin Eşitlik 3.26'da iki parçaya ayrıldığı görülmektedir (Anderson vd. 2007a).

$$H = H_s + H_c \quad (\text{Eşitlik 3.26})$$

Burada;

H: hissedilir ısı akısı miktarı (w/m^2),

H_s: toprak hissedilir ısı akısı miktarı (w/m^2),

H_c: vejetasyon hissedilir ısı akısı miktarı (w/m^2),

D) Pikseldeki Vejetasyonun Hissedilir Isı İletiminin Hesaplanması:

Bulutsuz ve güneşli bir günde bitkinin potansiyel düzeyde transpirasyon yapacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte bu varsayım, toprakta bitkiyi strese sokmayacak düzeyde su mevcutsa geçerli olacaktır. Gerçekte ise bitkiler topraktaki mevcut suyun miktarı kadar su tüketebilmektedir. Bu sebeple bitki strese girmekte ve potansiyel düzeyde transpirasyon yapamamaktadır. Diğer taraftan, Priestley-Taylor (PT) yaklaşımı birçok kuru ekosistemde bitki su tüketimini yüksek tahmin etmektedir. Bu sebeple LE_c'yi direkt PT yaklaşımına eşitlemek doğru olmamaktadır. Ancak, Eşitlik 3.27'da görüldüğü üzere iterasyonun başlangıç değeri için LE_c'nin Priestley-Taylor denkleminde eşit olduğu varsayımı hesaplamayı kolaylaştırmaktadır (Anderson vd. 2007a).

$$LE_c = \alpha_{PT} f_g \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) (R_{n,c}) \quad (\text{Eşitlik 3.27})$$

Burada;

LE_c: vejetasyon gizli ısı akısı miktarı (w/m^2),

α_{PT} : Priestley-Taylor Model katsayısı (birimsiz),

f_g : pikseldeki yeşil vejetasyonun örtme oranı (birimsiz),

γ : psikometrik değer ($kPa/^\circ C$),

Δ : doymuş buhar basıncı değeri ($kPa/^\circ C$) (havanın mevcut sıcaklığında),

$R_{n,c}$: vejetasyonun kazandığı net radyasyon miktarıdır (w/m^2).

Priestley-Taylor denkleminde, α_{PT} için 1.3 olarak ilk değer verilerek iterasyona başlanır. Eğer vejetatif stres tespit edilirse bu değer azaltılarak iterasyona devam edilmelidir. (Norman vd. 1995, 2000; Anderson vd. 1997, 2007a)

Piksel içindeki vejetasyonun hissedilir ısı akısı miktarı Eşitlik 3.28 ile hesaplanmaktadır (Anderson 2007a).

$$H_c = R_{n,c} - LE_c \quad (\text{Eşitlik 3.28})$$

Burada;

$R_{n,c}$: vejetasyonun kazandığı net radyasyon miktarı (w/m^2),

H_c : vejetasyon hissedilir ısı akısı miktarı (w/m^2),

LE_c : vejetasyon gizli ısı akısı miktarı (w/m^2).

Piksel içindeki vejetasyonun gölge sıcaklık değeri, Eşitlik 3.29 ile hesaplanmaktadır (Anderson vd. 2007a).

$$T_{ac} = T_c - (R_x \times H_c) / (\rho_{air} C_p) \quad (\text{Eşitlik 3.29})$$

Burada;

H_c : vejetasyon hissedilir ısı akısı miktarı (w/m^2),

ρ_{air} : havanın yoğunluk miktarı (kg/m^3),

C_p : havanın öz ısı kapasite değeri (sabit basınçta) (1004 j / kg K)

ρC_p : havanın hacimsel ısı kapasite değeri ($J/ m^3 \times K$),

T_c : vejetasyonun yüzey sıcaklık değeri (K),

T_{ac} : vejetasyonun gölge sıcaklık değeri (K),

R_x : vejetasyonun toplam sınır katman direncini vermektedir (yaprakların oluşturduğu toplam) (s/m) (Norman vd. 1995).

E) Pikseldeki Toprağın Hissedilir Isı İletiminin Hesaplanması:

Piksel içindeki toprağın hissedilir ısı akısı miktarı Eşitlik 3.30 ile hesaplanmaktadır (Anderson vd. 2007a).

$$H_s = \rho_{air} C_p (T_s - T_{ac})/R_s \quad (\text{Eşitlik 3.30})$$

Burada;

H_s : toprak hissedilir ısı akısı miktarı (w/m^2),

ρ_{air} : havanın yoğunluk miktarı (kg/m^3),

C_p : havanın öz ısı kapasite değeri (sabit basınçta) (1004 j / kg K),

ρC_p : havanın hacimsel ısı kapasite değeri ($J/ m^3 \times K$),

T_s : toprak yüzey sıcaklık değeri (K),

T_{ac} : vejetasyonun gölge sıcaklık değeri (K),

R_s : ısıнын hava boşluğunda taşınma direncidir (toprak yüzeyi ile kanopiye temsil eden yükseklik arasında) (s/m) (Norman vd. 1995).

F) Pikseldeki Toprağın Gizli Isı İletiminin Hesaplanması:

Piksel içindeki toprağın gizli ısı akısı miktarı Eşitlik 3.31 ile hesaplanmaktadır (Anderson vd. 2007a).

$$LE_s = R_{n,s} - H_s - G \quad (\text{Eşitlik 3.31})$$

Burada;

$R_{n,s}$: toprağın kazandığı net radyasyon miktarı (w/m^2),

H_s : toprak hissedilir ısı akısı miktarı (w/m^2),

LE_s : toprak gizli ısı akısı miktarı (w/m^2),

G : toprak ısı akısı miktarı (w/m^2) (Eşitlik 3.32 ile hesaplanmaktadır.).

Choudbury vd. (1987) tarafından gün ortası vejetasyon üstü net radyasyon ölçümüne karşılık toprak ısısının karşılaştırıldığı çalışmaya göre toprak ısı akı katsayısı (α_g) 0.2 ile 0.5 arasında değiştiği kabul edilmektedir. Bu değer; Norman vd. (1995)'göre 0.35, Kustas vd. (1998)'göre 0.4, Anderson vd. (2007a)' göre 0.31 olarak kullanılması önerilmektedir. Choudbury vd. (1987) tarafından toprak ısı akısı miktarı (G), toprağın kazandığı net radyasyon miktarı ($R_{n,soil}$) ile sabit bir fonksiyona (α_g) bağlı bir parametre olarak hesaplanması için Eşitlik 3.32 verilmiştir.

$$G = \alpha_g \times R_{n,s} \quad (\text{Eşitlik 3.32})$$

Burada;

$R_{n,s}$: toprağın kazandığı net radyasyon miktarı (w/m^2),

α_g : toprak ısı akı katsayısı (birimsiz)(Anderson vd. (2007a)'göre 0.31'dir.)

3.2.1.3.1 ALEXI Modelinin çalıştırılması

ALEXI Modelin çalıştırılmasında enerji dağılımının kontrolünü yapan iki adet kısıt bulunmaktadır. Bunlardan ilki, gündüz saatinde H_s ve H_c 'yi ortak sağlayan bir T_{ac} bulunur iken LE_s ve LE_c 'nin negatif değer almamasıdır. İkinci kısıt ise farklı eşitliklerle hesaplanan hissedilir ısıların birbirini doğrulamasıdır (Norman vd. 1995; Anderson vd. 1997, 2007a). Literatür taraması ile ALEXI Modelin çalıştırılmasına dair elde edilen bilgilere göre bu tez kapsamında hazırlanan çalıştırma şemaları Şekil 3.4 ve 3.5'de verilmiştir.

A) İlk kısıt için Şekil 3.4'de görüldüğü üzere iterasyonla bir dizi işlem çözümü gerekmektedir. Bu işlem çözümü Şekil 3.4'de sunulan şemanın altında metinsel olarakta verilmiştir.

$$H_c = R_{n,c} - LE_c$$

Piksel içindeki vejetasyonun gölge sıcaklık değeri, aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır (bkz. Eşitlik 3.29) (Anderson vd. 2007a).

$$T_{ac} = T_c - (R_x \times H_c) / (\rho_{air} C_p)$$

Eşitlik 3.29 ve Eşitlik 3.30 incelendiğinde her iki denklemde de T_{ac} parametresinin ortak olduğu görülmektedir. Bu sebeple bu parametrenin her iki denklemi ortak sağlaması gerekmektedir. Eşitlik 3.29'dan (üstteki denklem) elde edilen bu parametre Eşitlik 3.30'da (aşağıdaki denklem) yerine yazılarak çözüme devam edilmelidir (Anderson vd. 2007a).

$$H_s = \rho_{air} C_p (T_s - T_{ac}) / R_s$$

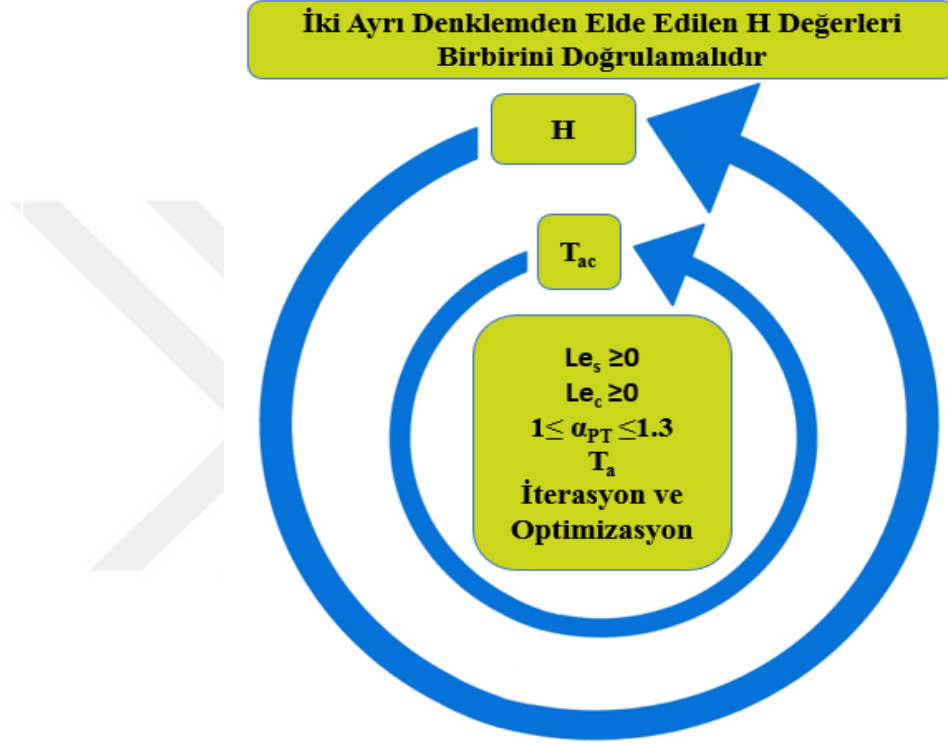
Eşitlik 3.30 ile elde edilen H_s parametresi Eşitlik 3.31 yerine yazılmalıdır. Eşitlik 3.31 açısından diğer tüm parametre değerleri bilindiği için LE_s hesaplanabilmektedir.

$$LE_s = R_{n,s} - H_s - G$$

Bazı durumlarda, Priestley-Taylor denklemi yüksek değerler tahmin etmektedir. Bu durumda, LE_{soil} değeri negatif çıkabilmektedir. $LE_{soil} < 0$ (1. Kısıt) ise α_{PT} değeri azaltılarak tekrar çözüm alınmalıdır. Çünkü gündüz saatlerinde bu değer negatif çıkması pek mümkün değildir. Sonuç olarak, halen $LE_{soil} < 0$ ise bu durumda en düşük ihtimal olarak $LE_{soil} = 0$ değeri verilmelidir ve bu durumda işlemler sondan başa doğru yapılmalıdır. İşlemler sondan başa doğru yapıldığında en son olarak $LE_c \geq 0$ sonucu elde edilmelidir. Bu durumda sağlanamıyor ise her iki denklemi ortak sağlayan T_{ac} elde edilemiyor demektir. Böyle bir durumda PBL Modelden elde edilen T_a 'nın yeniden

hesaplanması gerekmektedir. Tüm sonuçlar birbirini doğrulayana kadar bu işlemler iteratif (döngüsel) olarak sürdürülmelidir (Norman vd. 1995; Anderson vd. 1997, 2007a).

2- ALEXI Modelinde enerjinin tam olarak pay edildiğini gösteren ve çözümlemenin doğruluğunu onaylayan ikinci kısıt ise tüm hissedilir ısıların birbirini doğrulamasıdır.



Şekil 3.5 ALEXI Modelini ikinci kısıt için çalıştırma şeması

Hissedilen ısı akısı miktarını (H), bulmak için H_c (bkz. Eşitlik 3.29) ve H_s (bkz. Eşitlik 3.30) hesaplanıp toplanmalıdır (bkz. Eşitlik 3.26). Bununla birlikte, ALEXI Modelinde hissedilen ısı akısı miktarı (H) hesaplamak için ayrı bir denklemden (Eşitlik 3.33) bulunmaktadır. Eşitlik 3.26 ve 3.33 aynı parametreleri kullanmalarına rağmen farklı denklemlerdir. Bu sebeple birbirilerini kontrol etmek için kullanılabilirler. Tüm bu eşitlikler aynı sonuç değerini gösterene kadar iterasyon işlemi (döngüsel çözüm) yapılmalıdır (Norman vd. 1995; Anderson vd. 1997, 2007a).

$$H = \rho_{\text{air}} C_p (T_{\text{ac}} - T_a)/R_a \quad (\text{Eşitlik 3.33})$$

ALEXI Modelinin temeli şu bilgiye dayanmaktadır: Dünya için güneş enerjisi ana kaynaktır. Bu sebeple iterasyon eninde sonunda bu enerji bölümlenmesi ile çözülecektir (Anderson vd. 2007a). Bu bölümde ALEXI Modelinin, çalıştırılması ve kısıtlarından bahsedilmiştir. Bu kısıtlar için Microsoft Excel programında çözücü kullanılması tavsiye edilmektedir.

3.2.1.4 Evaporatif Stres İndeks (ESI)

f_{PET} : tarımsal su kullanımı ve ekosistem sağlığı durumunu görüntüleme gibi özel bir amaç için kullanılmaktadır. Açık gökyüzü koşullarında uydudan elde edilen TIR görüntülerinden türetilen LST haritalarını kullanarak elde edilen ET_a 'nın, ET_{REF} vasıtasıyla normalleştirilmesi üzerine çalışan bir teknik olarak ifade edilmektedir. ET_{REF} vasıtasıyla normalleştirme; güneşlenme miktarının fazlalığı, atmosferik talepler ve mevsimsel değişimler gibi toprak neminin buharlaşması ile daha az ilişkili faktörlerin buharlaşma üzerindeki etkisini azaltmaya yardımcı olmaktadır. Böylece toprak nem sinyali üzerindeki odaklanma daha da artmaktadır. (Anderson vd. 2011a, 2012b, 2013a, 2016). LST, hem yüzey enerji dengesi bakımından buharlaşma kaybının arttığını gösteren (w/m^2 biriminden gizli ısı akısı miktarı ya da ET açısından mm/gün biriminden kütle kaybı) hem de bitkinin artan gölge sıcaklığı vasıtası ile ifade edilen vejetasyon stresinin tanısal göstergesi olmaktadır (Anderson vd. 2013a; Otkin vd. 2013a, 2013b). Termal infrared (TIR) verisinden türetilen f_{PET} yoğun vejetasyon alanlarında kök bölgesi nem düzeyi hakkında kullanışlı önemli bilgiler sağlamaktadır (Hain vd. 2009, 2011, 2012). f_{PET} 'in denklemi Eşitlik 3.34'de verilmiştir (Anderson vd. 2011a, 2012b, 2013a, 2016).

ESI, ET_a 'nın ET_{REF} 'e oranlanmasıyla standartlaştırılan anormallikleri temsil etmektedir. USDM ile karşılaştırıldığında sağlanan bu gelişmiş yeni uyarı yöntemi ile genellikle 4 hafta önce kuraklık oluşumu belirlenebilmektedir. Bununla birlikte ESI, yağış verisini girdi olarak kullanmadığı için yağışı baz alan geleneksel kuraklık indekslerini kontrol etmek amaçlı kullanılabilir (Anderson vd. 2012b, 2013a; Otkin vd. 2013a, 2013b).

$$f_{PET} = ET_a/ET_{ref} \quad (\text{Eşitlik 3.34})$$

Burada;

ET_a : gerçek ET miktarını temsil etmektedir (mm),

ET_{REF} : referans ET miktarını temsil etmektedir (mm) (Anderson vd. 2016).

Kompozitlenmiş f_{PET} 'in denklemi Eşitlik 3.35'de verilmektedir (Anderson vd. 2011a, 2012b, 2016).

$$\langle v(w, y, i, j) \rangle = \frac{1}{nc} \sum_{n=1}^{nc} v(n, y, i, j) \quad (\text{Eşitlik 3.35})$$

Burada;

$\langle v(w, y, i, j) \rangle$: kompozitlenmiş f_{PET} 'i ifade etmektedir,

$v(n, y, i, j)$: kompozitlenmesi düşünülen aralık boyuncaki f_{PET} değerleri,

w: haftayı temsil etmektedir,

y: yılı temsil etmektedir,

i: pikselin enlem konumu,

j: pikselin boylam konumu,

nc: ölçüm alınan günlerin sayısı (f_{PET} sayısı),

n: n. gün değeridir.

Burada f_{PET} , bitki stres tespiti ve sulama planlaması için bir araç olarak verilmiştir. f_{PET} 'te standartlaştırılmış anormallikler bundan sonra ESI olarak adlandırılacaktır. ESI'nın denklemi Eşitlik 3.36'da verilmektedir (Anderson vd. 2011a, 2012b, 2016).

$$\Delta \langle v(w, y, i, j) \rangle = \frac{\langle v(w, y, i, j) \rangle - \frac{1}{ny} \sum_{y=1}^{ny} \langle v(w, y, i, j) \rangle_k}{\sigma_s(w, i, j)} \quad (\text{Eşitlik 3.36})$$

Burada;

$\Delta\langle v(w, y, i, j) \rangle$: ESI'yı ifade etmektedir,

$\langle v(w, y, i, j) \rangle$: kompozitlenmiş f_{PET} 'i ifade etmektedir,

$\langle v(w, y, i, j) \rangle_k$: uzun yıllar boyunca kompozitlenmiş f_{PET} 'i ifade etmektedir,

w: haftayı temsil etmektedir,

y: yılı temsil etmektedir,

i: pikselin enlem konumu,

j: pikselin boylam konumu,

ny: uzun yılların sayısı (f_{PET} sayısı),

σ_s : standart sapmadır.

Büyüme sezonu içinde herhangi bir zaman aralığında normale göre daha yüksek ya da daha düşük su tüketen alanları tanımlamak için, f_{PET} ile standartlaştırılmış durumlardan olan sapma ESI olarak ifade edilmektedir (Anderson vd. 2016). ESI, yüzey ve kök bölgesi nem durumunu değerlendirebilmesi sayesinde hem meteorolojik hem de tarımsal kuraklığın eş zamanlı izlenmesi potansiyeline sahiptir (Anderson vd. 2012b).

3.2.2 İstatistiksel değerlendirme yöntemleri

ESI ve PDSI Modellerinin birbirlerine uyum performansları değerlendirilmiştir. Bu amaçla her iki modelden ayrı ayrı elde edilen sonuçlar üzerine istatistiksel yöntemler uygulanmıştır. Bu bağlamda; Determinasyon Katsayısı (R^2), Ortalama Karekök Hatası (RMSE), Ortalama Mutlak Hata (MAE), Willmott İndeks, Nash-Sutcliffe Yeterlilik Katsayısı yöntemleri kullanılmıştır.

A) Determinasyon Katsayısı (Regresyon):

$$R^2 = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n(\sum X^2) - (\sum X)^2][n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2]}} \quad (\text{Eşitlik 3.37})$$

Burada;

R^2 : determinasyon katsayısı (regresyon katsayısı),

r: Pearson katsayısı,

n: verinin sayısı,

X: gözlenen veri,

Y: tahmin edilen veridir.

Determinasyon Katsayısı (regresyon), iki veri kümesindeki azalış ve artışların uyumuna bakmaktadır. Böylece tahmin edilen verilerin, gözlenen verilere ne kadar iyi uyduğunu tespit etmektedir. Regresyon, iki ya da daha çok değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi ve bu ilişkinin denklemini (biri bağımlı diğeri bağımsız değişken olarak) gösterebilmektedir. Böylece değişkenlerden birinin değeri bilindiğinde diğeri hakkında kestirim yapılabilmektedir (Anonim 2022b). Pearson Katsayısı (korelasyon), iki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin yönü ve gücü hakkında bilgi vermektedir. Korelasyon, -1 ile +1 değerleri arasında değişmektedir. Korelasyon; -1 değeri aldığı anda negatif yönde mükemmel uyum olduğunu, +1 değerinde ise pozitif yönde mükemmel uyum olduğunu göstermektedir. Korelasyon, 0 değeri aldığı anda ise iki değişkenin arasında bir ilişki bulunmadığı anlamına gelmektedir. Eşitlik 3.37’de görüldüğü üzere R^2 hesaplanması için öncelikle Pearson Katsayısı (korelasyon) hesaplanması ve ardından r nin karesinin alınması gerekmektedir (Anonim 2022c).

B) Ortalama Karekök Hatası (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (\text{Eşitlik 3.38})$$

Burada;

i: i. veri,

n: verinin sayısı,

X: i. gözlenen veri,

Y: i. tahmin edilen veridir.

Eşitlik 3.38’den görüldüğü üzere Ortalama Karekök Hatası (RMSE) yöntemi gözlenen değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki fark miktarının ikinci dereceden ortalamasını alarak tek bir anlamlı değere dönüştürmek için kullanılmaktadır. Bu sayede gözlenen ile tahmin edilen iki veri seti arasında ne kadar hata olduğunu ölçmektedir. Sonuç sıfır değeri alırsa karşılaştırılan veriler arasında hata oranı yok yani tahmin mükemmel demektir (Anonim 2022c).

C) Ortalama Mutlak Hata (MAE):

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad (\text{Eşitlik 3.39})$$

Burada;

i: i. veri,

n: verinin sayısı,

X: i. gözlenen veri,

Y: i. tahmin edilen veridir.

Eşitlik 3.39’den görüldüğü üzere Ortalama Mutlak Hata (MAE) yöntemi gözlenen değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki mutlak hataların ortalamasını alarak tek bir anlamlı değere dönüştürmek için kullanılmaktadır. Bu yöntemde, gözlenen değer ile tahmin edilen değer arasındaki tüm bireysel farklılıkların eşit ağırlığa (veri seti açısından) sahip olduğu varsayılmaktadır. Kullanılan tahmin modeli ile ileride yapılacak bir tahminde gerçekten ne kadar büyüklükte bir sapma (ortalama olarak) beklenebileceği MAE yöntemi ile tespit edilmektedir. Bu yöntemde sonuç hep pozitif değerlidir. Ancak gerçekte sapma pozitif ya da negatif yönde olabilmektedir (Anonim 2022c).

G) Willmott İndeksi:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|Y_i - X| + |X_i - X|)^2} \quad (\text{Eşitlik 3.40})$$

Burada;

i: i. veri,

n: verinin sayısı,

X_i : i. gözlenen veri,

X: gözlenen verilerin ortalama değeri,

Y_i : i. tahmin edilen veridir.

Eşitlik 3.40'dan görüldüğü üzere Willmot Uyum İndeksi, gözlenen değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki hatanın derecesini 0 ile 1 arasında standart bir değere çevirmektedir. Bu yöntem ortalama kare hatası ile potansiyel hatanın nispi oranını standartlaştıran bir yöntemdir. Bu yöntemde değerler $0 \leq d \leq 1$ arasında değişmektedir. 1 değeri mükemmel uyumu gösterir iken 0 değeri hiçbir uyum olmadığını göstermektedir (Willmot 1981; Anonim 2022c).

F) Nash-Sutcliffe Yeterlilik Katsayısı (NSE):

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2} \quad (\text{Eşitlik 3.41})$$

Burada;

i: i. veri,

n: verinin sayısı,

X_i : i. gözlenen veri,

X: gözlenen verilerin ortalama değeri,

Y_i : i. tahmin edilen veridir.

Eşitlik 3.41'den görüldüğü üzere Nash-Sutcliffe Yeterlilik Katsayısı (1970)'e göre gözlenen veri ile tahmin edilen verinin arasındaki hatanın karesine karşılık gözlenen veri ile gözlenen verilerin ortalaması arasındaki hatanın karesinin oransal büyüklüğünü normalleştirerek belirleyen bir istatistik yöntemdir. Bu yöntem gözlenen ile tahmin edilen verilerin uyumunu göstermektedir. Bu yöntemde sonuç; 1 değeri aldığımda, gözlenen veri ile tahmin edilen veri arasında mükemmel uyum olduğu; 0 değeri aldığımda, tahmin edilen verilerin gözlenen verilerin ortalaması kadar iyi olduğunu; negatif yönde değer aldığımda, gözlenen verilerin ortalamasının tahmin verilerine göre daha iyi bir tahmin edici olduğunu anlamı taşımaktadır (Anonim 2022c; Anonim 2022d).

3.2.3 Konya Havzasında ESI'nın kullanım imkânları

3.2.3.1 Konya Havzası kuraklık yönetim planı ile karşılaştırma

Türkiye Cumhuriyeti, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Dairesi Başkanlığı tarafından Konya Havzasının mevcut durumunun tespiti ve olası bir kuraklık durumunda yapılacak çalışmalar ve alınması gereken tedbirlerin kapsamlı şekilde ortaya konduğu Konya Havzası Kuraklık Yönetim Planı hazırlanmıştır. Bu planın 3. bölümünde (Kuraklık İndis, İndikatör ve Eşik Değerleri Analizleri) Konya Havzası koşulları için uygun olan çeşitli indeks çözümlmelerine yer verilmiştir (Anonim 2015). İlgili planda yapılan çalışmalar ve bulunan bulguların bir kısmı bu tez kapsamında, ESI ile karşılaştırılmıştır. ESI direkt vejetasyonu gözlemlemekte ve herhangi bir yağış verisi istememektedir. Bu bağlamda her iki indeksin (ESI ve PDSI) hem çalışma prensipleri (kullanılan istatistik yöntem ve denklemleri) hem de istediği veriler açısından (yağış, toprak su tutma kapasitesi, LST, vs.) birbirlerinden tamamen farklı olmasına rağmen her iki yöntemin tarımsal kuraklığı tespit etmesi açısından karşılaştırılabilir olduğu düşünülmüştür. Bu sebeple ESI, Konya Havza Planındaki bazı PSDI harita ve tabloları karşılaştırılmıştır.

3.2.3.1.1 PDSI ile ESI'nın karşılaştırılması

Anonim (2015)'de PDSI gibi geleneksel indekslerde kuraklığın zamanla artışının en kolay gösteriminin, indeks değerlerin kurak dönem boyunca toplamalarının alınması olduğundan bahsedilmiş ve 04.2005 ile 07.2005 döneminde (4 ay) bütün istasyonların kuraklık gösterdiği bilgisi verilmiştir. Bahsedilen, bu ortak dönem için her bir istasyonun aylık gösterdiği PDSI değerlerinin toplamı alınarak Şekil 4.1'deki harita elde edildiği bilgisi yine aynı çalışmada verilmiştir. Bu bağlamda, PDSI ile ESI'nın karşılaştırılmasında 3 adet senaryo düşünülmüştür.

Birinci senaryo: Şekil 4.1 ile karşılaştırma yapmak amacıyla 4/2005 – 7/2005 dönemi için NASA'dan temin edilen aylık ESI haritaları toplandığında Şekil 4.2'de sunulan toplamsal ESI haritası elde edilmiştir. Bu karşılaştırmada istasyon ve piksel değerleri kullanılmıştır.

İkinci senaryo: PDSI gibi geleneksel indekslerde kuraklığın zamanla şiddet artışını saptamak için genellikle toplam alınması gerekmektedir. Bununla birlikte kuraklığın yıkıcı etkisi arazide zaten birikerek gelmektedir. ESI direkt araziye gözlemlendiği için böyle bir toplam alınmasına gerek olmayabileceği düşünülmüştür. Bu bağlamda, Şekil 4.1 ile NASA'dan temin edilen 7/2005 tarihli aylık ESI haritası (Şekil 4.3) karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada istasyon ve piksel değerleri kullanılmıştır.

Üçüncü senaryo: İstasyon ve piksel değerlerinin karşılaştırıldığı birinci ve ikinci senaryodan daha iyi istatistik sonuç veren senaryo tespit edilmiştir. Daha sonra o senaryo tüm pikseller için uygulanmıştır.

Şekil 4.1 ile 4.2 (1. senaryo) ve Şekil 4.1 ile 4.3 (2. senaryo)'ün istatistiksel yönden ne kadar uyumlu olduğu konusu araştırılmıştır. Bu bağlamda, haritalar üzerine istatistiksel değerlendirme yöntemleri uygulanmıştır. PDSI gibi geleneksel kuraklık haritaları şu yöntem ile hazırlanmaktadır. Havzada bulunan meteoroloji istasyonlarından ölçülen PDSI değerleri, çeşitli jeo-istatistik yöntemler ile alana dağıtılmakta ve böylece tüm havzayı kapsayan bir harita elde edilmektedir. Jeo-istatistik yöntemler (Havza Planında

IDW yöntemi kullanıldığı bilgisi verilmiştir.) ise bir ölçüm değil matematiksel bir tahmin olmaktadır. Bu sebeple öncelikle, Havza alanı içinde kalan 11 adet meteoroloji istasyonunun (Aksaray, Beyşehir, Cihanbeyli, Çumra, Ereğli, Karaman, Karapınar, Konya, Kulu, Niğde, Seydişehir) PDSI değeri (ölçüm değeri) elde edilmiştir. Daha sonra, bu istasyonların bulunduğu ESI piksellerinin değerleri (Piksellerin hepsi ölçümdür.) elde edilmiştir ve her iki harita böylelikle karşılaştırılmıştır. Daha sonra daha iyi istatistik sonuç veren senaryodaki haritalar tamamen karşılaştırılmıştır.

Meteoroloji istasyonlarının bulunduğu ESI piksel değerleri şu yöntemle elde edilmiştir. 11 adet meteoroloji istasyonunun koordinat bilgileri QGIS programına girilmiş ve Nokta Şekil (Shape) dosyası hazırlanmıştır. Daha sonra, 4/2005 – 7/2005 dönemi ESI aylık toplam haritası (Şekil 4.2) ile 11 adet meteoroloji istasyonunun işaretli olduğu shape dosyası eşleştirilmiş ve QGIS'in ilgili komutu (sample raster values) ile istasyonların ESI değerleri elde edilmiştir. Aynı işlem 7/2005 tarihli aylık ESI haritası (Şekil 4.3) içinde yapılmıştır.

PDSI ve ESI haritalarının tamamen karşılaştırılmasında ise şu yöntem uygulanmıştır. ESI haritasındaki piksellerinin sahip olduğu ızgara şeklini shape dosyası hazırlanmıştır. Hazırlanan bu shape dosya ile PDSI haritası ızgaralı (piksel) hale getirilmiştir. Böylece hem ESI hem de PDSI haritaları birbiriyle karşılaştırılabilir duruma gelmiştir.

Birinci senaryoda, hem PDSI hem de ESI 4'er aylık haritalar olsada her iki haritanın kendine göre sahip olduğu lejant aralığı çok farklıdır. İkinci senaryoda ise, PDSI haritası toplamsal (4 aylık) bir haritadır. ESI ise aylık bir haritadır. Bu noktada 4 aylık haritaya karşı 1 aylık harita karşılaştırılmaktadır. Ayrıca PDSI toplam alınarak hazırlandığı için haritanın lejant aralığı özgün değerinde bile değildir. Bu sebeple her bir senaryo uygulanmadan önce elde edilen değerler kendi içlerinde standardizasyon işlemine tabi tutulmuştur.

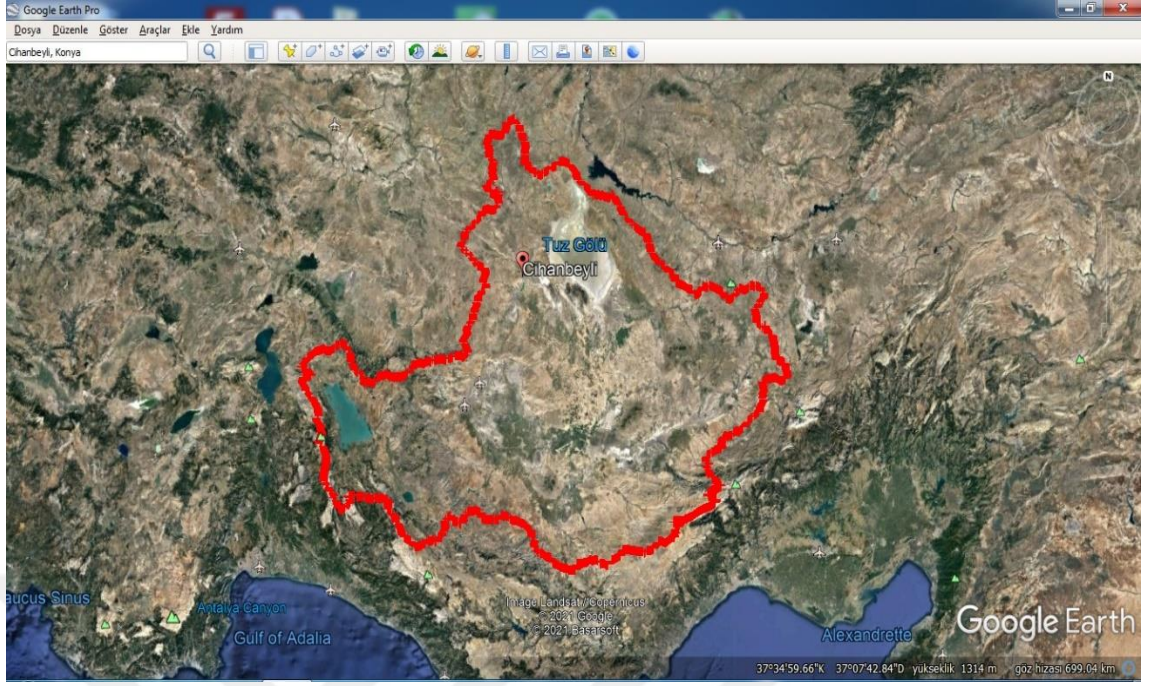
3.2.3.1.2 Konya Havza planında verilen ortak kurak dönemin ESI ile karşılaştırılması

Anonim 2015’de; 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 yıllarının kurak devre olarak tespit edildiği ve bu tarihler boyunca her bir istasyonun aylık gösterdiği PDSI değerlerinin cebirsel toplamı alındığı bilgisi sonuçları ile birlikte Tablo 5.2’de verilmiştir (Tablo 5.2 Konya Havzası ve yakın çevresindeki klimatoloji/meteoroloji istasyonlarının iklim verileri kullanılarak hesaplanan Palmer Kuraklık İndislerine göre Konya Havzası’nda büyük olasılıkla etkili olmuş olan önemli ortak kuraklık dönemlerinin istatistiksel büyüklükleri). Bu bağlamda, hem arazi gerçeklerini yansıtabilecek nispeten uzun bir süre olması (5 yıl) hem de Anderson vd. 2011 çalışması ile kıyaslanabilir olması açısından 2004 - 2008 dönemi verileri ile aynı döneme ait ESI verilerinin birbiri ile kıyaslanması amaçlanmıştır.

Bu bağlamda karşılaştırmanın mümkün olduğunca eşit şartlarda yapılabilmesi için. PDSI (Tablo 5.2) sonuçlarının elde edildiği şekilde ESI sonuçları elde edilmeye çalışılmıştır. 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 yılları boyunca her ayın sonuna denk gelen 4 haftalık ESI haritaları elde edilmiştir. Toplamda 1 yılda 12 ay (12 görüntü) ve 5 yıl için toplamda 60 görüntü elde edilmiştir. Bu görüntüler ASC formatta hazırlanıp excel’de açılmış ve makroda kod yazılarak değerler tek sütunda alt alta hizalanmıştır. Bu sayede 4160 satır elde edilmiştir. Bu 4160 satır değer 60 görüntüde yanyana toplandıktan sonra excel’de tekrar kod yazılarak matris haline geri çevrilmiş ve QGIS yazılımı ile nihai ESI haritası elde edilmiştir. Daha sonra, nihai ESI haritası ile 11 adet meteoroloji istasyonunun işaretli olduğu shape dosyası eşleştirilmiş ve QGIS’in ilgili komutu (sample raster values) ile istasyonların bulunduğu piksellerin ESI değerleri elde edilmiştir. Ardından, elde edilen bu ESI değerleri ile Anonim 2015 (Tablo 5.2)’de verilen 2004-2008 ortak kurak dönem değerleri ile karşılaştırılmıştır.

3.2.3.2 Konya Havzası içerisinde tesadüfi olarak seçilen bir arazinin detaylı incelenmesi

ESI'nın daha detaylı bir incelemesini yapabilmek için Konya Havzasında tesadüfi olarak bir arazi parçası belirlenmiştir. Tesadüfi olarak belirlenen arazi parçasının seçiminde tarımsal amaçlı kullanılmasına ve nispeten doğal yağışa dayalı tarımın yapıldığı bir bölge olmasına dikkat edilmiştir. Aslında ESI için sulama yapılıp yapılmaması fark etmemektedir. ESI her iki (sulu, susuz) durumu da algılayabilmektedir. Ancak elde edilen ESI sonuçları, meteoroloji istasyonu ölçüm sonuçları ile karşılaştırılacağı için ve karşılaştırmanın eşit şartlarda olması açısından yağışa dayalı (sulanmayan) tarımın yapıldığı bir bölge seçilmesine dikkat edilmiştir. Bu bağlamda öncelikle Google Earth Pro yazılımına Konya Havzası şekil (shape) dosyası yüklenmiştir. Daha sonra Cihanbeyli ilçesi'nin hemen kuzeyinde ve ilçeye nispeten (meteoroloji istasyonuna yakın) yakın bir bölge belirlenmiştir. Ardından belirlenen bu bölgede tesadüfi olarak 4 adet nokta işaretlenmiştir (Şekil 3.6 ve 3.7). ESI pikselleri kare olduğundan noktalar işaretlenirken nispeten kare ya da dikdörtgen tarzı bir şekil oluşmasına özen gösterilmiştir. İşaretlenen bu noktaların, koordinatlarını kullanarak QGIS yazılımı ile bir shape dosyası oluşturulmuştur. Ardından 2007, 2008 ve 2009 yıllarına ait ESI görüntüleri iki haftada bir olacak şekilde kesilmiştir. Kesilen her bir görüntü içerisine düşen piksellerin (2 adet) aritmetik ortalaması alınmış ve 2007, 2008 ve 2009 yıllarına ait ESI yıl içi kuraklık grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 3.6 Konya Havzası kesim şekli ve Cihanbeyli ilçesi



Şekil 3.7 Cihanbeyli ilçesinin hemen kuzeyinde ve ilçeye nispeten yakın bir arazi parçası

3.2.3.2.1 ESI yıl içi kuraklık grafiğinin MGM sonuçları ile karşılaştırılması

ESI'nın 2007-2008-2009 yıllarına ait yıl içi kuraklık grafiği elde edildikten sonra bu grafik, MGM Kuraklık İzleme Sistemi 3.0'dan elde edilen SPI ile karşılaştırılmıştır. Bu sistem; il, ilçe, dönem ve çözümlemenin bitirileceği son ay bilgisi istemektedir (Anonim 2021c). SPI yöntemi ile Tarımsal Kuraklık tespitinde 9 ve 12 aylık dönemler kullanılmaktadır (Anonim 2021c, Şimşek vd. 2008, 2012). Bu bağlamda sadece bu iki dönem için çözümleme yapılmıştır. Son ay seçilirken ise eşit bir kıyaslama olması amacı ile ESI grafiğinde kuraklığın başladığı ve bittiği bir döneme denk düşen son ay seçimine önem verilmiştir.

3.2.3.3 ESI haritalarının yüksek çözünürlükte hazırlanması

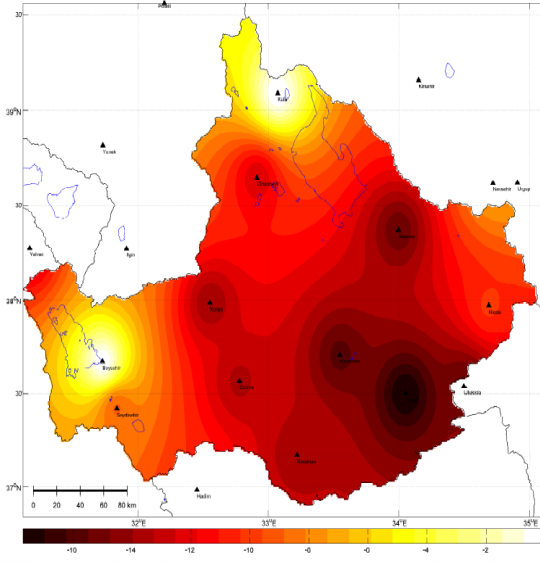
ESI direkt tarımsal kuraklık açısından sonuç vermektedir. Bu yönüyle çok kullanışlı olacağı düşünülmektedir. Diğer taraftan ölçek düzeyinde incelendiğinde ise 5 km x 5 km'lik bir çözünürlüğe sahiptir. Bu çözünürlüğün ise bazı durumlar için nispeten kaba olabileceği düşünülmektedir. Bu sebeple, ESI'da ölçek küçültmesinin yapılması düşünülmüş ve ESI'yı çalıştıran alt model ALEXI çözümlenerek daha küçük ölçeklerde (yüksek çözünürlük) ESI haritaları bu tez kapsamında oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaçla; 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 (6 yıl) yıl seçilmiştir. SEVIRI sensöründen elde edilen veriler MSG Toolbox programı ile koordinatlandırılmış ve ölçeklendirilmiştir. Avrupa Uzay Ajansı ile yapılan görüşmeler neticesinde MSG Toolbox programının orijinal verinin kalitesini bozmadan ölçeklendirmeyi 2.75 km düzeyine kadar düşürebildiği öğrenilmiş ve düşürülmüştür. Daha sonra hem SEVIRI hem de MODIS sensöründen aynı tarih ve saat için alınan tüm veriler 2.75 km piksel genişliğine ayarlanarak (Her sensörün kendine özel ölçeklendirme yazılımları mevcuttur.) ET haritaları oluşturulmuştur. ET haritaları oluşturulduktan sonra tesadüfi seçilen (2009 yılı seçilmiştir.) bir yıl için aylık ESI haritaları daha yüksek çözünürlükte hazırlanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

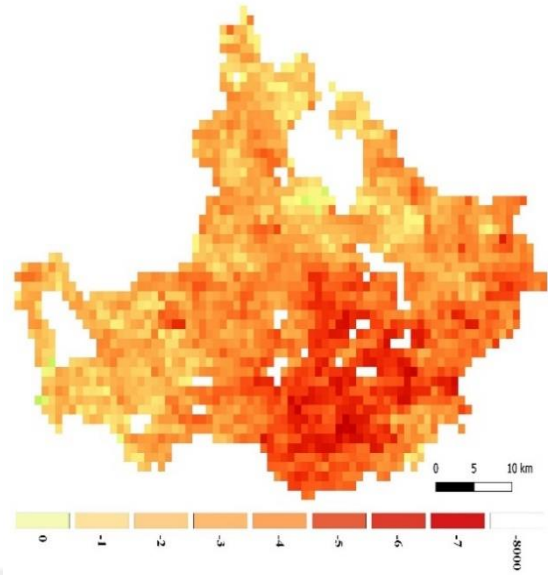
4.1 Konya Havzası Kuraklık Yönetim Planı ile Karşılaştırma

4.1.1 PDSI ile ESI'nın karşılaştırılması

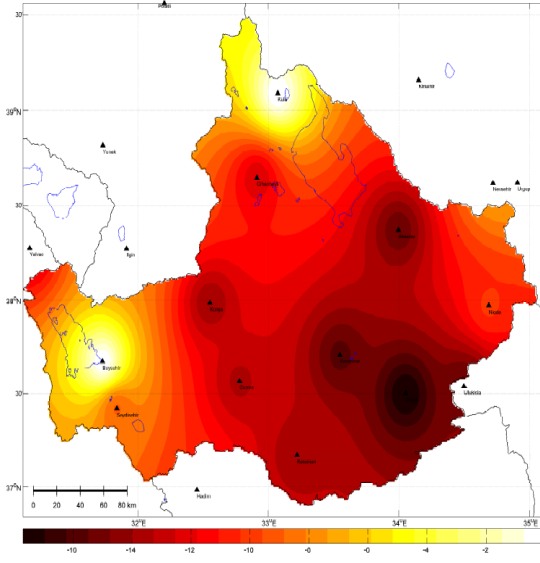
Konya Havzası Kuraklık Yönetim Planında sunulan PDSI kuraklık haritasına göre Kulu ve Beyşehir taraflarında kuraklık olayları etkili olmazken en şiddetli kuraklık olayları Havza'nın Aksaray ili, Karapınar ve Ereğli ilçeleri başta olmak üzere Konya Havzası'nın büyük bir bölümünde etkili olduğu Şekil 4.1'den görülmektedir. Bu sonuçlar, aynı dönem toplamsal ESI haritası açısından tam olarak benzer değildir (Şekil 4.2). ESI toplamsal haritasında Kulu ve Beyşehir tarafları da dâhil olmak üzere Havzanın neredeyse tamamında kuraklık yaşandığı görülmektedir. Diğer taraftan, 7/2005 tarihli aylık (1 aylık) ESI haritası (Şekil 4.3) ile Şekil 4.1 karşılaştırıldığında ise ESI haritası bu sefer Kulu tarafında kuraklık yaşanmadığını tam olarak gösterebilmiştir. Bununla beraber, hem renk dağılımı açısından hem de genel benzerlik açısından Şekil 4.1 ile 4.3'ün birbirine daha çok benzer olduğu düşünülmektedir. Bu benzerliğin, istatistiksel yönden ne kadar olduğu konusu araştırılmıştır. Bu bağlamda, öncelikle Şekil 4.1 ile 4.2 daha sonra Şekil 4.1 ile 4.3 çeşitli istatistiksel yöntemler açısından değerlendirilmiştir.



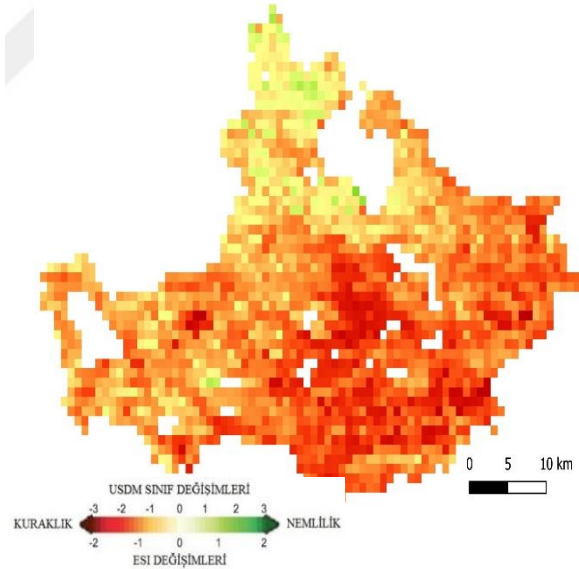
Şekil 4.1 PDSI (4/2005 – 7/2005 dönemi aylık toplamsal) haritası



Şekil 4.2 ESI (4/2005 – 7/2005 dönemi aylık toplamsal) haritası



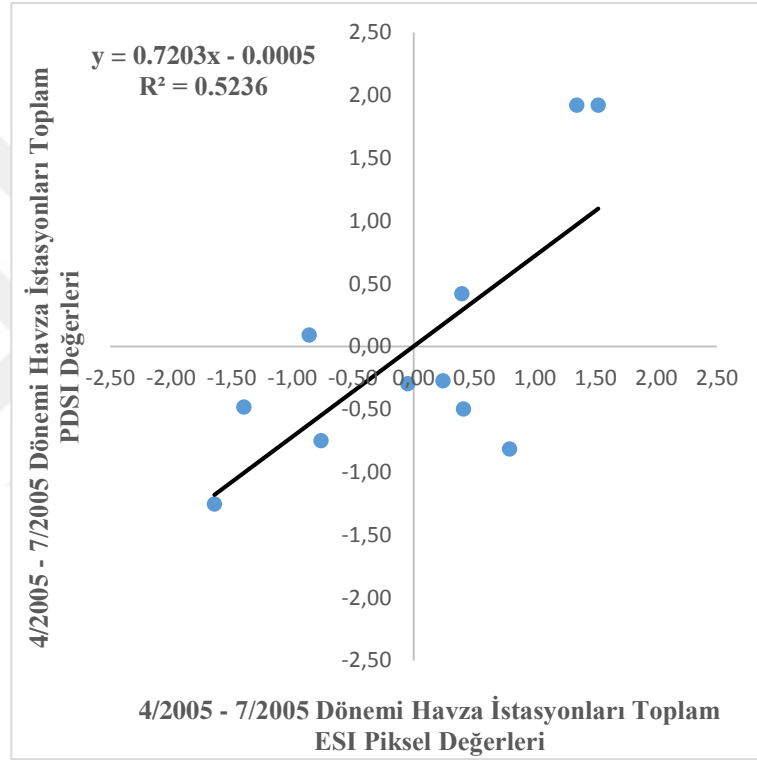
PDSI (4/2005 – 7/2005 dönemi aylık toplamsal) haritası



Şekil 4.3 ESI (7/2005 tarihli aylık) haritası

Çizelge 4.1'den görüldüğü üzere Şekil 4.1 ile Şekil 4.2 arasında yapılan karşılaştırmada R^2 , RMSE, MAE, Willmot İndeks, Nash-Sutcliffe Yeterlilik Katsayısı olarak çeşitli değerler elde edilmiştir. Şekil 4.1 ile Şekil 4.2 arasında yapılan karşılaştırma regresyon

eşitliği ile birlikte Şekil 4.4’de verilmiştir. Şekil 4.4’de görüldüğü üzere PDSI ve ESI değerleri arasında regresyon açısından % 52’lik bir kısmında doğrusal bir ilişkinin (korelasyon (r) = 0.72 – orta seviyede bir ilişki) olduğu tespit edilmiştir. RMSE açısından PDSI ve ESI arasında 0.74 seviyesinde nispeten önemsiz miktarda bir hata bulunmaktadır. Bu durumu MAE ise 0.59 ile onaylamaktadır. Diğer taraftan, Willmot İndeks açısından 0.84 ile iyi denebilecek bir ilişki bulunmaktadır. Nash-Sutcliffe Yeterlilik Katsayısı açısından ise 0.44 ile orta seviyeli bir uyum görülmektedir.

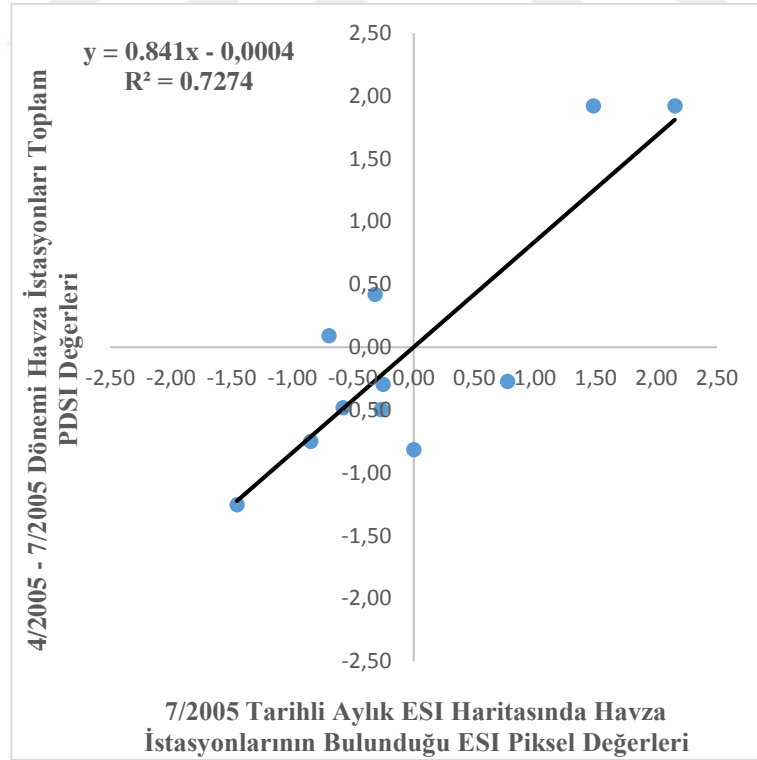


Şekil 4.4 PDSI (4/2005 – 7/2005 dönemi aylık toplamsal) ve ESI (4/2005 – 7/2005 dönemi aylık toplamsal) haritalarından alınan istasyon değerlerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.1 PDSI (4/2005 – 7/2005 dönemi aylık toplamsal) ve ESI (4/2005 – 7/2005 dönemi aylık toplamsal) haritalarından alınan istasyon değerlerinin istatistikleri

R ²	RMSE	MAE	Willmot İndeks	NSE
0.52	0.74	0.59	0.84	0.446

Çizelge 4.2'den görüldüğü üzere Şekil 4.1 ile Şekil 4.3 arasında yapılan karşılaştırmada R^2 , RMSE, MAE, Willmot İndeks, Nash-Sutcliffe Yeterlilik Katsayısı olarak çeşitli değerler elde edilmiştir. Şekil 4.1 ile Şekil 4.3 arasında yapılan karşılaştırma regresyon eşitliği ile birlikte Şekil 4.5'de verilmiştir. Şekil 4.5'de görüldüğü üzere PDSI ve ESI değerleri arasında regresyon açısından % 72'lik bir kısmında doğrusal bir ilişkinin (korelasyon (r) = 0.84 – güçlü seviyede bir ilişki) olduğu tespit edilmiştir. RMSE açısından PDSI ve ESI arasında 0.54 seviyesinde önemsiz miktarda bir hata bulunmaktadır. Bu durumu MAE ise 0.43 ile onaylamaktadır. Diğer taraftan, Willmot İndeks açısından 0.92 ile mükemmel yakın bir ilişki göstermektedir. Nash-Sutcliffe Yeterlilik Katsayısı açısından ise 0.70 ile iyi denebilecek bir seviyede uyum görülmektedir. Kuraklığın arazide verdiği hasar yığışımli (birikerek) olarak ilerlemektedir. Bu sebeple geleneksel kuraklık indekslerinde kurak dönemlerin toplamı alınmaktadır. Bu bulgulara dayanarak, geleneksel indekslerde olan aylık sonuçların toplamı alınması işlemine ESI'da gerek olmadığı söylenebilmektedir. Muhtemelen bu durum ESI'nın direkt vejetasyonu gözlemlemesi avantajından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.5 PDSI (4/2005 – 7/2005 dönemi aylık toplamsal) ve ESI (7/2005 tarihli aylık) haritalarından alınan istasyon değerlerinin karşılaştırılması

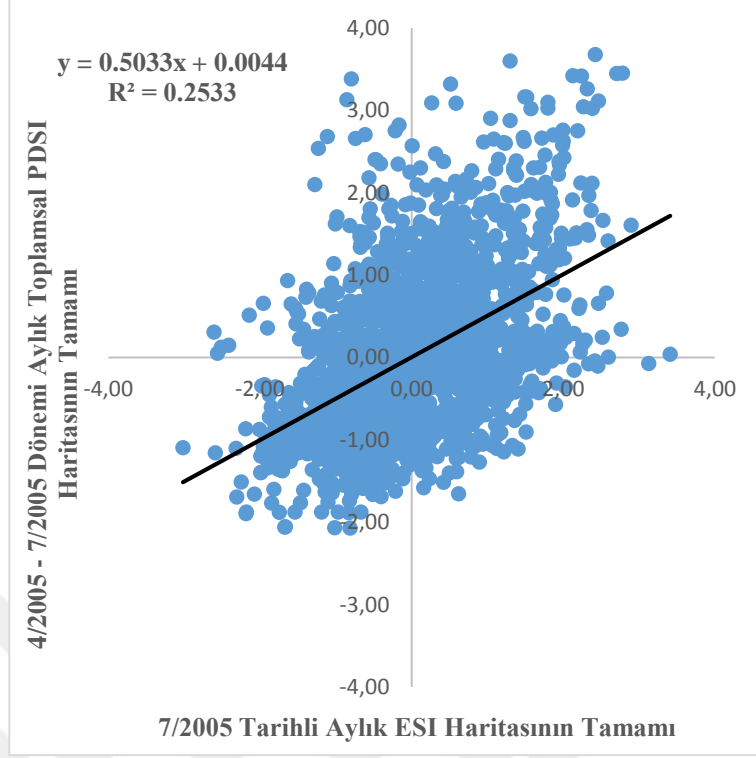
Çizelge 4.2 PDSI (4/2005 – 7/2005 dönemi aylık toplamsal) ve ESI (7/2005 tarihli aylık) haritalarından alınan istasyon değerlerinin istatistikleri

R ²	RMSE	MAE	Willmot İndeks	NSE
0.72	0.54	0.43	0.92	0.7

Şekil 4.1 ile Şekil 4.3 arasında yapılan karşılaştırmada noktasal (istasyon konumu) PDSI değerine (ölçüm) karşılık noktanın bulunduğu ESI pikseli (ölçüm) karşılaştırıldığında 0.84 seviyesinde güçlü bir ilişki bulunmuştur. PDSI (Şekil 4.1) ile ESI (Şekil 4.3)'nın Havza haritalarındaki haritaların tamamı (tüm piksellerin) karşılaştırılması konusu araştırılmıştır. Çizelge 4.3'den görüldüğü üzere Şekil 4.1 ile Şekil 4.3 arasında tüm pikseller için yapılan karşılaştırmada R², RMSE, MAE, Willmot İndeks, Nash-Sutcliffe Yeterlilik Katsayısı olarak çeşitli değerler elde edilmiştir. Bu karşılaştırmada regresyon eşitliği ile birlikte Şekil 4.6'de verilmiştir. Şekil 4.6'dan görüldüğü üzere PDSI ve ESI değerleri arasında regresyon açısından % 25'lik bir kısmında doğrusal bir ilişkinin (korelasyon (r) = 0.50 – düşük seviyede bir ilişki) olduğu tespit edilmiştir. RMSE açısından PDSI ve ESI arasında 0.99 seviyesinde nispeten önemli miktarda bir hata bulunmaktadır. Bu durumu MAE ise 0.78 ile onaylamaktadır. Diğer taraftan, Willmot İndeks açısından 0.67 ile orta seviyede bir ilişki bulunmaktadır. Nash-Sutcliffe Yeterlilik Katsayısı açısından ise 0.006 ile bir ilişki bulunamamıştır.

Çizelge 4.3 PDSI (4/2005 – 7/2005 dönemi aylık toplamsal) ve ESI (7/2005 tarihli aylık) istatistik değerleri (haritaların tamamen karşılaştırılması)

R ²	RMSE	MAE	Willmot İndeks	NSE
0.25	0.99	0.78	0.67	0.006



Şekil 4.6 PDSI (4/2005 – 7/2005 dönemi aylık toplamsal) ve ESI (7/2005 tarihli aylık) haritalarının tamamının karşılaştırılması.

Şekil 4.1 ile Şekil 4.3 arasında yapılan karşılaştırmada noktasal (istasyon konumu) PDSI değerine (ölçüm) karşılık noktanın bulunduğu ESI pikseli (ölçüm) karşılaştırıldığında 0.84 seviyesinde güçlü bir ilişki bulunmuştur. Ancak Şekil 4.1 ile Şekil 4.3 arasında haritaların tamamı için yapılan karşılaştırmada istatistik sonuçlar açısından tatmin edici değerler elde edilememiştir. Bu durumun şu nedenden kaynaklandığı düşünülmektedir. PDSI haritası, Havzada bulunan meteoroloji istasyonlardan elde edilen PDSI değerlerinin jeo-istatistik yöntem ile alana dağıtılmasıyla oluşturulmuştur. Jeo-istatistik (enterpolasyon) yöntemler ise bir ölçüm değil matematiksel bir tahmin olmaktadır. ESI’da ise alan üzerine böyle bir değer dağıtımı söz konusu değildir. Direkt arazi piksel piksel gözlemlenmektedir. Muhtemelen Havza planında her bir piksel için PDSI çözümü olsaydı Çizelge 4.2’te ki gibi yüksek istatistik sonuçlar ile karşılaşılacaktı. Bu durum ise enterpolasyon yöntemlerinin bazı durumlarda son derece hatalı sonuçlar verebileceğini göstermektedir. Sonuç olarak ESI’nın kuraklık tahmininde araziyi piksel piksel gözlemlenmesi onu enterpolasyon yöntemi kullanan PDSI’ya göre daha avantajlı hale getirmektedir.

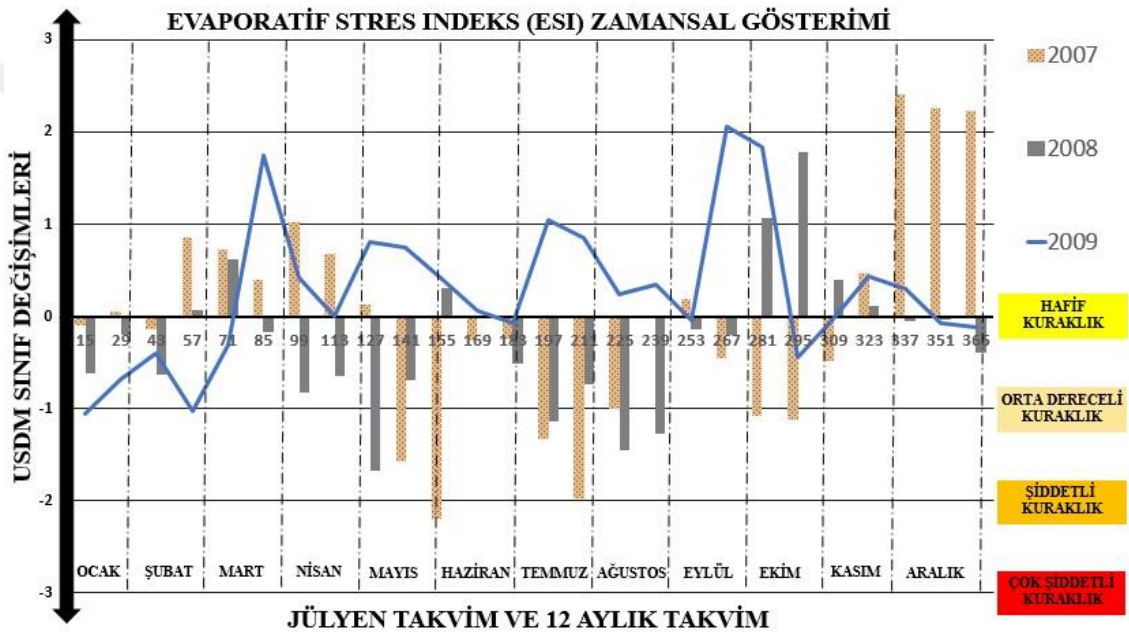
4.1.2 Konya Havza planında verilen ortak kurak dönemin ESI ile karşılaştırılması

Anonim 2015’de; 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 yıllarının kurak devre olarak tespit edildiği ve bu tarihler boyunca her bir istasyonun aylık gösterdiği PDSI değerlerinin toplamı alınarak Tablo 5.2’nin elde edildiği bilgisi verilmiştir. Bu bağlamda karşılaştırma yapmak amacıyla bahsedilen yıllar boyunca aylık ESI değerleri toplanmış ve nihai ESI haritası elde edilmiştir. Ardından nihai ESI haritasında istasyonların bulunduğu piksel değerleri ile Tablo 5.2 değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmada, anlamlı ilişkiler tespit edilememiştir. Nihai ESI haritası oluşturulurken farklı senaryolar denenmiş (tüm değerlerin toplamının alınması, tüm değerlerin ortalamasının alınması, eksi değerlerin toplamının alınması, vs.) ancak yine de anlamlı ilişkiler tespit edilememiştir. Bununla birlikte Anderson vd. (2011a ve 2012b)’de yapılan çalışmalara göre PDSI gibi geleneksel indeksler ile ESI’nin kısa vadeli (6 aya kadar) süreler için uyum gösterdiği ifade edilmiştir. Geleneksel kuraklık indekslerinin genellikle yaşanan bir kuraklığı kuraklık olup bittikten sonra değerlendirmek üzerine çalıştığını aksine ESI’nin kuraklığın gidişatını izlemek için üretildiği bilgisi yine aynı çalışmalarda yer almaktadır.

4.2 Konya Havzası İçerisinde Tesadüfi Olarak Seçilen Bir Arazinin Detaylı İncelenmesi

Ülkemizde 2007 ve 2008 yıllarında yaşanan tarımsal kuraklığın etkisinin maliyeti yaklaşık 2 milyon dolar olup 435.000 çifti bu durumdan ciddi bir şekilde etkilenmiştir (Anonymous 2017b). Bu bağlamda ESI’nin daha detaylı bir incelemesini yapabilmek için Konya Havzası’nda tesadüfi olarak bir arazi parçası belirlenmiştir. Tesadüfi olarak belirlenen arazi parçasının seçiminde tarımsal amaçlı kullanılmasına ve nispeten doğal yağışa dayalı tarımın yapıldığı bir bölge olmasına dikkat edilmiştir (bkz. Şekil 3.5 ve 3.6). Bölgenin seçiminde ve ESI haritası ile ilişkilendirilmesinde Google Earth Pro yazılımından faydalanılmıştır. Çeşitli hesaplama ve sayısallaştırma işlemlerinden (bkz. tez yöntem) sonra Cihanbeyli ilçesi’nin hemen kuzeyindeki bir arazi parçasının 2007, 2008 ve 2009 yıllarında yaşadığı tarımsal kuraklıklar ay ay tespit edilmiştir (Şekil 4.7). Genel olarak 2007 ve 2008 yıllarının kurak 2009 yılının ise nemli bir yıl olduğu bilinmektedir. ESI gerçekten de 2007 ve 2008 yıllarını kurak, 2009 yılını nemli bir yıl

olarak gösterebilmiştir (Şekil 4.7). Özellikle 2007 ve 2008 yıllarında bitkisel üretimin yoğun olarak yapıldığı mayıs, haziran, temmuz, ağustos aylarında tarımsal kuraklık yaşandığı görülmektedir. Bununla birlikte, 2007 ve 2008 yıllarında yaşanan kuraklıkların tarzının da farklı olduğu görülmektedir. 2007 yılında hafif düzeyli kuraklık giderken aniden şiddetli kuraklığa dönüştüğü görülmekte iken 2008 yılında ise orta dereceli bir kuraklığın uzun bir süre devam ettiği görülmektedir. Diğer taraftan; ocak, şubat ve ekim ayları hariç tutulduğunda 2009 yılının genel olarak nemli bir yıl olduğu görülmektedir (Şekil 4.7).

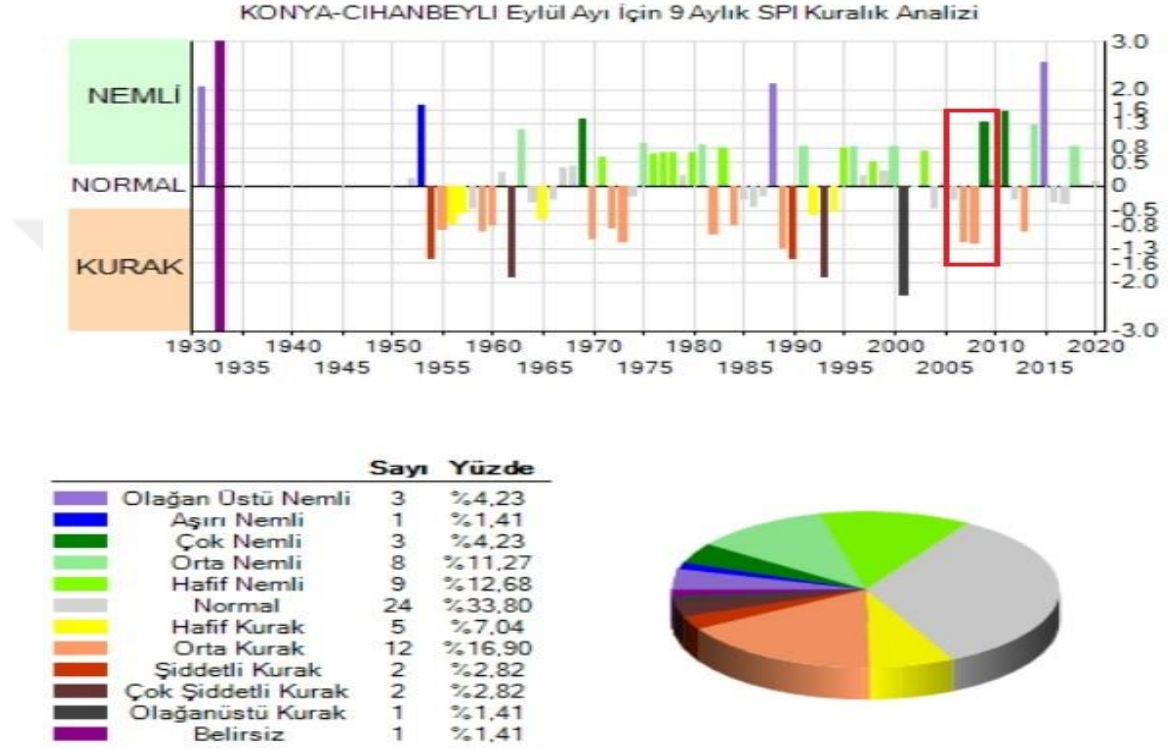


Şekil 4.7 2007-2008-2009 yıllarına ait ESI yıl içi kuraklık grafiği

4.2.1 ESI yıl içi kuraklık grafiğinin MGM sonuçları ile karşılaştırılması

SPI Metodu ile Tarımsal Kuraklık tespitinde 9 ve 12 aylık dönemler kullanılmaktadır (Anonim 2021c, Şimşek vd. 2008, 2012). Bu bağlamda sadece bu iki dönem için çözümleme yapılmıştır. Son ay seçilirken ise eşit bir kıyaslama olması amacı ile ESI grafiğinde kuraklığın başladığı ve bittiği bir döneme denk düşen son ay seçimine önem verilmiştir. Şekil 4.7'den görüldüğü üzere 2007 ve 2008 yılları beraber değerlendirildiğinde genel olarak ocak ve eylül ayları arası devam eden bir kuraklık görülmektedir. Bu bağlamda MGM Kuraklık İzleme Sistemi 3.0'da son ay eylül ayı

olarak 9 aylık dönem seçildiğinde Şekil 4.8’ den görüldüğü üzere 2007 ve 2008 yılları için neredeyse şiddetli kuraklık sınırına gelmiş olarak orta kuraklık görülmektedir. Diğer taraftan MGM Kuraklık İzleme Sistemi 3.0’da son ay aralık ayı seçilip 12 aylık bir dönem için SPI grafiği hazırlandığında ise 2007 normal ve 2008 yılı ise hafif kurak olarak görülmektedir (Şekil 4.9).



Şekil 4.8 Konya ili Cihanbeyli ilçesi ocak-eylül dönemi 9 aylık SPI grafiği (Anonim 2021c)

9 ve 12 aylık SPI grafiklerinde oluşan bu fark ancak Şekil 4.7’den ESI grafiği incelendiğinde anlaşılabilir. Özellikle 2007 yılı aralık ayının aşırı nemli geçmesi diğer bütün aylarda olan kuraklığı neredeyse kapattığı şeklinde yorum yapılabilir. Aynı şekilde, 2008 yılı ekim ayının nemli geçmesi ise diğer bütün aylarda olan kuraklığı büyük ölçüde azalttığı şeklinde yorum yapılabilir. Klimatolojik ya da meteorolojik bakış açısı ile özellikle 2007 yılı için kuraklık yok denilebilecektir. Ancak, tarımsal açıdan düşünüldüğünde özellikle bitkisel ürünlerin tarlada olduğu dönem için kesinlikle tarımsal kuraklık vardır denilebilir. Ancak 12 aylık yaklaşım ile bu kuraklık

görülememektedir. Diğer taraftan ESI, tarımsal kuraklığı çok rahatlıkla fark edebilmekte ve aylık olarak gösterebilmektedir.



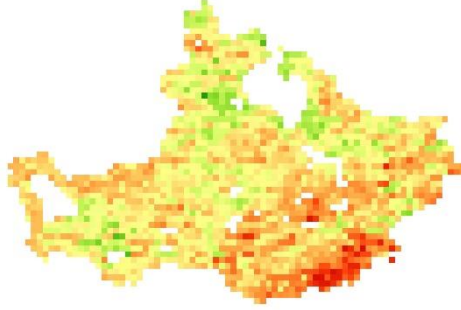
	Sayı	Yüzde
Olğan Üstü Nemli	1	%1,35
Aşırı Nemli	1	%1,35
Çok Nemli	5	%6,76
Orta Nemli	10	%13,51
Hafif Nemli	6	%8,11
Normal	24	%32,43
Hafif Kurak	7	%9,46
Orta Kurak	8	%10,81
Şiddetli Kurak	4	%5,41
Çok Şiddetli Kurak	3	%4,05
Olğanüstü Kurak	1	%1,35
Belirsiz	4	%5,41



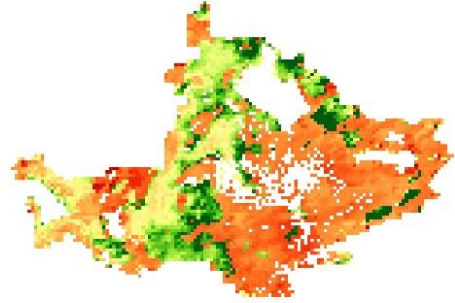
Şekil 4.9 Konya ili Cihanbeyli ilçesi ocak-aralık dönemi 12 aylık SPI grafiği (Anonim 2021c)

4.3 ESI Haritalarının Yüksek Çözünürlükte Hazırlanması

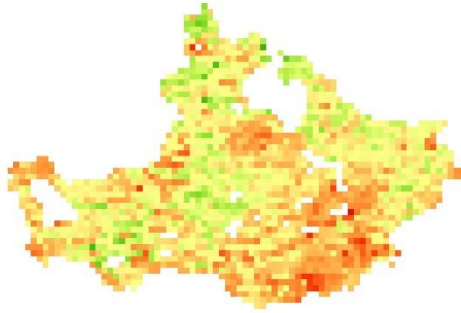
ESI direkt tarımsal kuraklık açısından sonuç vermektedir. Bu yönüyle çok kullanışlı olacağı düşünülmektedir. Diğer taraftan ölçek düzeyinde incelendiğinde ise 5 km x 5 km'lik bir çözünürlüğe sahiptir. Bu çözünürlüğün ise bazı durumlar için nispeten kaba olabileceği düşünülmektedir. Bu sebeple ESI'yı çalıştıran alt model ALEXI çözümlenerek daha küçük ölçeklerde ESI haritaları bu tez kapsamında oluşturulmuştur. Bu bağlamda, tesadüfi olarak seçilen bir yılın (2009 yılı) yüksek çözünürlükte hazırlanan ESI haritaları aylık olarak aşağıda verilmiştir. Aşağıda sol tarafta (düşük çözünürlük) NASA tarafından servis edilen 5 km x 5 km'lik 2009 yılı ESI haritaları, sağ tarafta (yüksek çözünürlük) bu tez kapsamında hazırlanan 2.75 km x 2.75 km'lik 2009 yılı ESI haritaları sunulmuştur.



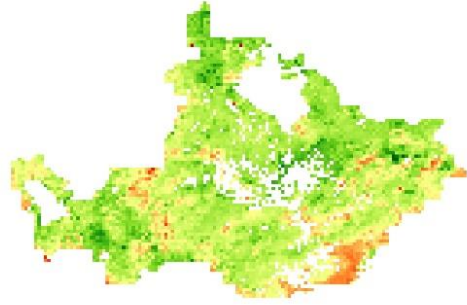
Şekil 4.10 2009 yılı mayıs ayı (5 km x 5 km) ESI haritası



Şekil 4.11 2009 yılı mayıs ayı (2.75 km x 2.75 km) ESI haritası



Şekil 4.12 2009 yılı haziran ayı (5 km x 5 km) ESI haritası



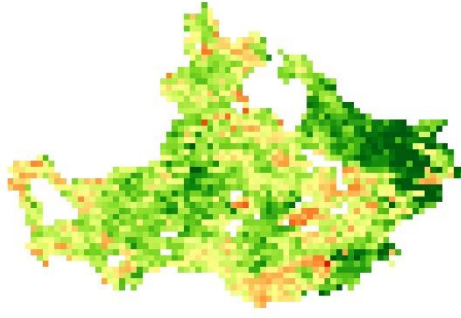
Şekil 4.13 2009 yılı haziran ayı (2.75 km x 2.75 km) ESI haritası



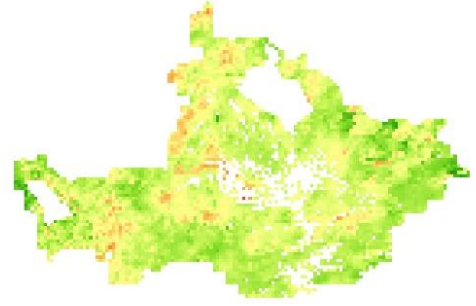
Şekil 4.14 2009 yılı temmuz ayı (5 km x 5 km) ESI haritası



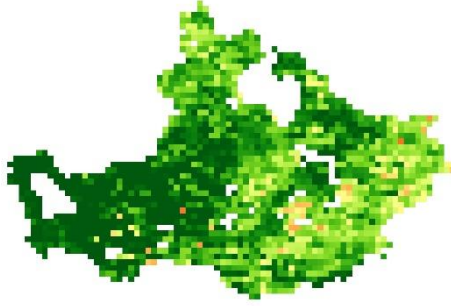
Şekil 4.15 2009 yılı temmuz ayı (2.75 km x 2.75 km) ESI haritası



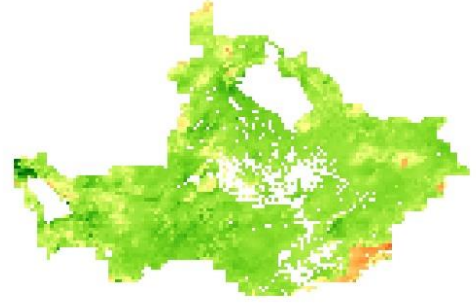
Şekil 4.16 2009 yılı ağustos ayı (5 km x 5 km) ESI haritası



Şekil 4.17 2009 yılı ağustos ayı (2.75 km x 2.75 km) ESI haritası



Şekil 4.18 2009 yılı eylül ayı (5 km x 5 km) ESI haritası



Şekil 4.19 2009 yılı eylül ayı (2.75 km x 2.75 km) ESI haritası

Şekil 4.10 incelendiğinde Karaman, Karapınar, Ereğli, Niğde, Aksaray taraflarında kuraklıklar yaşandığı görülmektedir. Bu durum Şekil 4.11 tarafından da fark edilmiş ancak daha şiddetli olarak gösterilmektedir. Bununla birlikte, Şekil 4.12 incelendiğinde ise Karaman, Karapınar, Ereğli taraflarında kuraklığın şiddetlendiği görülmektedir. Bu durum Şekil 4.13 tarafından da nispeten gösterilebilmektedir. Diğer taraftan 2009 yılı temmuz, ağustos, eylül ayları nemli geçmiştir (bkz. Şekil 4.7). Konya Havzası açısından bu durumun istisnai durumlardan olduğu ve karar verme noktasında kullanılabileceği düşünülmektedir. Bu bağlamda bu tez kapsamında hazırlanan Şekil 4.15'nin Şekil 4.14'e büyük oranda benzer çıkması bir başarı olarak düşünülmektedir. Bununla birlikte, 2009 yılı ağustos ayı, 2009 yılı temmuz ayına göre daha az nemli olması rağmen yine de nemli bir ay olmuştur (bkz. Şekil 4.7). Bu durumun da, Konya Havzası açısından bir istisna olduğu ve karar verme noktasında kullanılabileceği düşünülmektedir. Bu bağlamda Şekil 4.17'nin Şekil 4.16'ya büyük oranda benzer çıkması yine bir başarı olarak

düşünülmektedir. Ayrıca, 2009 yılı eylül ayı yağışlı geçmiş ve nemlilik pik seviyelere ulaşmıştır (bkz. Şekil 4.7). Bu bağlamda Şekil 4.19'un Şekil 4.18'e büyük oranda benzer çıkması yine bir başarı olarak düşünülmektedir. Bu tez kapsamında hazırlanan haritalar NASA tarafından servis edilen haritalar ile karşılaştırıldığında büyük oranda benzer oldukları görülmektedir. Ancak, kuraklık ya da nemlilik şiddetini gösteren renk tonları her ay için birebir oranında yakalanamamıştır. Bunun en büyük sebebinin sınırlı veri kullanımından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu haritalar her ne 6 yıllık veri ile hazırlanmış olsalar bile NASA'nın uzun yıllar verisi ile hazırladığı haritalar ile birebir aynı olması zaten beklenmemektedir.

Bu tez kapsamında hazırlanan ESI görüntülerinin piksel büyüklüğü 2.75 km x 2.75 km'dir. NASA tarafından servis edilen haritaların piksel büyüklüğünün neredeyse yarı büyüklüğü ile daha fazla detay gösterebilmektedir. Daha açıklayıcı bir ifade ile neredeyse bir piksel den 4 piksel çıkmıştır. Bu sayede hem harita daha detaylı olmakta hem de renk tonlarının birbiri üzerine geçişi daha akıcı görülebilmektedir. Sonuç olarak, ESI'da ölçek küçültmesi (yüksek çözünürlük) yapılabileceği tespit edilmiştir ve yapılması tavsiye edilmektedir.

5. SONUÇ

Son yıllarda hem dünyada hem ülkemizde sıklıkla söz edilen iklim değişikliği ve kuraklık tarımı yani dolaylı olarak insan yaşamını tehdit eder hale gelmiştir. Kuraklıklar içerisinde özellikle bitkisel üretim ve gıda tedariki ile ilişki olduğu için tarımsal kuraklığın ayrı bir yeri olduğu düşünülmektedir. Bitkisel üretimle uğraşan insanlar (çiftçiler); sertifikalı tohumluk kullanmak, toprak işleme, gübreleme, hastalık ve zararlılar ile mücadele gibi kültürel işlemleri zaten yapmaktadırlar. Ancak doğal yağışlara dayalı üretim yapılan yerlerde yetersiz yağış miktarı, düzensiz yağış rejimi ve değişken yağış yoğunluğu gibi faktörler çiftçilerin 1 yıllık emeğini heba edebilmektedir. Birkaç yıl üst üste giden böyle bir durum ardından çiftçiler topraklarını dahi terk edebilmektedir.

Toprakta suyun depolanabilmesi nedeniyle tarımsal kuraklık, meteorolojik kuraklıktan sonra hidrolojik kuraklıktan önce ortaya çıkan tipik bir durumdur. Tarımsal kuraklığı tespit edebilmenin kolay bir yolu bulunmamaktadır. Meteorolojik kuraklığı tespit etmek için geliştirilen indekslerin (SPI, NPI, vb.) daha uzun zaman zarfı için değerlendirilmesi ya da Hidrolojik kuraklık için geliştirilen yöntemler gibi (nehir akış ölçümlerindeki azalmanın tespit edilmesi) yaklaşımlar ile tarımsal kuraklık vardır veya yoktur denilebilmektedir. Geleneksel olarak isimlendirilen bu indeksler aslında yağış, sıcaklık, toprak su tutma kapasitesi gibi bir ya da birkaç meteorolojik parametrenin uzun zaman için tespit edilmiş olan standardından olan farkını göstermektedir. Örnek vermek gerekirse SPI uzun yıllar olmuş olan yağışlara göre bir standart belirlemekte ve bu standarda göre meteorolojik kuraklığı yorumlanmaktadır. Aslında SPI'nın tespit ettiği konu yağışta meydana gelen bir anormallik (farklılık) olmaktadır. Ayrıca, geleneksel indekslerin birçoğu hava sıcaklığı gibi buharlaşmayı direkt etkileyen bir parametreyi dikkate almadıkları için bu noktada eksik oldukları düşünülmektedir. Bu durumun ise bazı geleneksel indeksleri hataya açık hale getirdiği bilinmektedir. PDSI tarzı geleneksel indeksler ise yağış, sıcaklık, toprak su tutma kapasitesi, bitki su tüketimi, gibi nispeten daha çok parametre istediği için gerçeğe daha yakın tahmin sağladığı bilinmektedir. Ancak bu indeks ise toprak su tutma kapasitesi gibi hem derinliğe hem de alana göre değişen, tespit edilmesi nispeten zor bilgiler gerektirmektedir. Bununla birlikte, PDSI'nın üst toprak katmanı neme doyuncaya kadar alttaki (ikinci) toprak katmanına nemi

iletmediği, her iki toprak katmanı doyuncaya kadar yüzey akışı oluşmadığı ve üst toprak katmanından olan evapotranspirasyonun her zaman potansiyel oranda gerçekleştiği gibi önemli birçok varsayımları olduğu unutulmamalıdır. Diğer taraftan geleneksel olarak isimlendirilen bu indekslerin hepsi meteoroloji ya da klimatoloji istasyonlarında ölçülen noktasal veriyi IDW, Ordinary Kriging, vb. çeşitli entepolasyon yöntemleri (jeo-istatistik) ile alana yaymaktadır. Bu ise tahminin tahmini (İstasyonda tespit edilen bir kuraklık varsa o alanın tamamında kuraklık olduğu gibi bir sonuç ortaya çıkmaktadır.) gibi bir durum ortaya çıkarmakta ve gerçeği yansıtması açısından başka bir problem oluşturmaktadır. Bölgenin toprak yapısı, bitki yetiştirme durumu, bitki deseni, arazilerin eğimi, topraktaki tuzluluk, taban suyu, topraktaki kimyasal bileşenler, sulama, vs. kuraklık oluşumunu engellemiş olabilmektedir. Bununla birlikte geleneksel indeksler ile olmuş ve geçmiş (yığılımlı ilerleme) veriler üzerinden hesaplama yapılması zorunlu olmaktadır. Bu durum ise geleneksel indekslerin en büyük problemi olan tarımsal kuraklık oluştuktan çok sonra kuraklığı tespit etmelerine sebep olmaktadır.

Dünya artık bu noktadaki boşluğu; uydulardan temin edilen uzaktan algılama verileri ve coğrafi bilgi sistemlerinin beraber kullanılması ile çözümlenmektedir. Sağlıklı bitkiler kırmızı ışığı emer iken near-infrared tarzı ısıtıcı ışınları yansıtırlar. Ayrıca sağlıklı, su stresi yaşamayan bitkiler kökleriyle devamlı havaya su buharı verirler bu esnada hem su buharını verdikleri hava hem de suyu ileten kendi bünyeleri mevcut hava sıcaklığına göre daha serin olmaktadır. Bu tip bilgilerden yola çıkılarak zaman içinde çeşitli uzaktan algılama indeksleri geliştirilmiş ve kuraklık yorumlanmaya çalışılmıştır. Bu indekslerden bir kısmı NDVI, EVI, VCI, TCI, VHI, vb. tamamen uzaktan algılama verileri ile çalışır iken bir kısmı CWSI, SWSI, WDI, vb. hem uzaktan algılama hem de yer verisi (melez indeks) istemektedir. Bu indekslerin ise kendilerine göre çeşitli problemleri bulunmaktadır. Birçoğu yerel meteorolojik ölçüm istemesi sebebiyle büyük ölçekli çalışmalara uyarlanamamakta ya da vejetasyonun tam örtü durumunda olması (toprak yansımalarından etkilenmemesi için) gerekliliği gibi problemleri bulunmaktadır. Diğer taraftan bu indeksler, vejetasyonun belirli dalga boylarında ışınları yansıtma durumu veya vejetasyonun sıcaklık durumu gibi vejetasyona ait tek bir parametreye odaklanmakta ve ona göre değerler vermektedirler. Bu durum ise vejetasyon açısından bütüncül bir yaklaşımdan uzaklaştığı için çeşitli hatalara sebep olmaktadır. Bu tür indekslerin en

büyük problemleri ise kuraklık oluştuktan sonra kuraklığı tespit edebilmeleridir. Çünkü bitkiler genel olarak dayanabilecekleri son noktaya kadar ciddi bir kuraklık belirtisi göstermemektedirler.

Gelişen uydu teknolojileri ile birlikte son yıllarda Evaporatif Stres İndeks (ESI) isimli yeni bir kuraklık indeksi geliştirilmiştir. Bu indeks ile vejetasyonun oransal su tüketimi uzun yıllar boyunca standartlaştırılmakta ve olası herhangi bir anormallik nemlilik ya da kuraklık olarak yorumlanmaktadır. ESI isimli bu yeni indeks direkt arazide vejetasyonu gözlemlediği için vejetasyon açısından bütüncül bir yaklaşım barındırmaktadır. Yürütülen bu doktora çalışmasında Konya Havzasında ESI'nın kullanım imkânları araştırılmıştır.

Araştırmaya ilk olarak Konya Havzası Kuraklık Yönetim Planında sunulan PDSI kuraklık haritası ile başlanılmıştır. Bu haritanın 04.2005 ile 07.2005 ortak kurak dönemde her bir istasyonun aylık gösterdiği PDSI değerlerinin toplamı alınarak (toplamsal PDSI) elde edildiği bilgisi verilmiştir (bkz. Şekil 4.1). Çalışmanın bu bölümünde öncelikle toplamsal PDSI ile toplamsal ESI (aynı döneme denk gelen) haritası karşılaştırılmıştır (bkz. Şekil 4.1 ve 4.2). Daha sonra toplamsal PDSI ile aylık ESI (7/2005 tarihli aylık) haritası karşılaştırılmıştır (bkz. Şekil 4.1 ve 4.3). İstasyon ile pikselin eşleştirildiği bu durumlara (senaryo 1 ve 2) göre toplamsal PDSI ile toplamsal ESI haritası arasında regresyon açısından % 52'lik bir kısmında doğrusal bir ilişki, toplamsal PDSI ile 1 aylık ESI haritası arasında regresyon açısından % 72'lik bir kısmında doğrusal bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçları diğer istatistik yöntemlerde doğrulamaktadır (bkz. Çizelge 4.1 ve 4.2). Bu sonuçlara göre ESI'nın da PDSI gibi kuraklık tahmin etmede başarılı olduğu tespit edilmiştir. Ancak ESI haritasında, PDSI haritasında olduğu gibi toplam alma işlemine gerek olmadığı anlaşılmıştır. Toplamsal PDSI'ya karşılık aylık ESI kullanılması önerilmektedir. Daha sonra 3. senaryo uygulanmıştır. Bu bağlamda toplamsal PDSI ile 1 aylık ESI haritasının tamamı (tüm pikseller) karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada regresyon açısından % 25'lik bir kısmında doğrusal bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre geleneksel indeks haritalarında uygulanan enterpolasyon yöntemlerinin bazı durumlarda son derece hatalı sonuçlar ortaya koyabildiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak ESI'nın kuraklık tahmininde araziyi piksel

piksel gözlememesi onu enterpolasyon yöntemi kullanan PDSI'ya göre daha avantajlı hale getirmektedir.

İkinci olarak, Anonim 2015'de; 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 yıllarının kurak devre olarak tespit edildiği ve bu tarihler boyunca her bir istasyonun aylık gösterdiği PDSI değerlerinin toplamı alınarak Tablo 5.2'nin elde edildiği bilgisi verilmiştir. Bu bağlamda karşılaştırma yapmak amacıyla bahsedilen yıllar boyunca aylık ESI değerleri toplanmış ve nihai ESI haritası elde edilmiştir. Ardından nihai ESI haritasında istasyonların bulunduğu piksel değerleri ile Tablo 5.2 değerleri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak yapılan bu karşılaştırmada, anlamlı ilişkiler tespit edilememiştir. Bununla birlikte Anderson vd. (2011a ve 2012b)'de yapılan çalışmalara göre PDSI gibi geleneksel indeksler ile ESI'nin kısa vadeli (6 aya kadar) süreler için uyum gösterdiği ifade edilmiştir. Geleneksel kuraklık indekslerinin genellikle yaşanan bir kuraklığı kuraklık olup bittikten sonra değerlendirmek üzerine çalıştığını aksine ESI'nin kuraklığın gidişatını izlemek için üretildiği bilgisi yine aynı çalışmalarda yer almaktadır.

Üçüncü olarak, Konya Havzasında tesadüfi seçilen bir arazide nemliliği veya kuraklığı ESI'nin gösterip gösteremeyeceği araştırılmış ve sonuçlar MGM Kuraklık İzleme Sistemi 3.0'dan elde edilen SPI sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karar vericiler açısından, SPI gibi geleneksel indekslerde 3 adet temel sorun bulunmaktadır. İlk sorun, kaç aylık bir süre (dönem) seçilmesi gerektiğidir. 9 aylık bir süre seçildiğinde tarımsal kuraklık vardır (bkz. Şekil 4.8). 12 aylık bir süre seçildiğinde tarımsal kuraklık neredeyse yoktur (bkz. Şekil 4.9). İkinci sorun ise, çözümlene için son ay olarak hangi ay seçileceğidir. Çünkü yağışın standart dağılımı değişeceği için sonuçlar tamamen değişecektir. Üçüncü ve asıl sorun ise, bu tip indeksler direkt olarak tarımsal kuraklığı değil meteorolojik kuraklığı tespit etmektedirler. Tespit edilen bir meteorolojik kuraklıktan yola çıkarak tarımsal kuraklığı yorumlamaktadırlar. Diğer taraftan, ESI direkt olarak tarımsal kuraklık için üretilmiş bir indekstir ve ESI için bu tip problemler bulunmamaktadır. Sonuç olarak, 2007 ve 2008 yıllarında tarımsal kuraklık vardır ve ESI bu durumu rahatlıkla fark edebilmiştir. Ayrıca, ESI'nin kuraklık başlamasını, şiddetlenmesini ve yayılımını araziden izlemeye imkân verdiği görülmektedir (bkz. Şekil 4.7). Tarımsal kuraklığın tespiti için ESI'nin kullanılması önerilmektedir.

Dördüncü olarak, ESI haritalarının daha yüksek çözünürlükte hazırlanması konusu araştırılmıştır. ESI, direkt tarımsal kuraklık açısından sonuç vermektedir. Bu yönüyle çok kullanışlı olacağı düşünülmektedir. Diğer taraftan ölçek düzeyinde incelendiğinde ise 5 km x 5 km'lik bir çözünürlüğe sahiptir. Bu çözünürlüğün ise bazı durumlar için nispeten kaba olabileceği düşünülmüştür. Bu bağlamda, ESI'yi çalıştıran alt model ALEXI çözümlenerek tesadüfi olarak seçilen bir yılın (2009 yılı) yüksek çözünürlükte ESI haritaları bu tez kapsamında oluşturulmuştur. Konya Havzasında, kuraklık genel olarak beklenen bir durumdur. Ayrıca, yaz aylarında (temmuz, ağustos) kuraklık yaşanmasına neredeyse kesin gözüyle bakılmaktadır. Bu bağlamda 2009 yılı nemli bir yıl olarak sıra dışı bir yıldır. Özellikle 2009 yılının temmuz ve ağustos aylarının aşırı nemli olması ise çok istisnai bir durum olduğu düşünülmektedir. Bu bağlamda bu tez kapsamında hazırlanan ESI haritalarının, NASA tarafından servis edilen haritalar ile karşılaştırıldığında büyük oranda benzer oldukları görülmektedir. Ancak, kuraklık ya da nemlilik şiddetini gösteren renk tonları her ay için birebir yakalanamamıştır. Bunun en büyük sebebinin sınırlı veri kullanımından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu haritalar her ne 6 yıllık veri ile hazırlanmış olsalar bile NASA'nın uzun yıllar verisi ile hazırladığı haritalar ile birebir aynı olması zaten beklenmemektedir. Bu tez kapsamında hazırlanan ESI görüntülerinin piksel büyüklüğü 2.75 km x 2.75 km'dir. NASA tarafından servis edilen haritaların piksel büyüklüğünün neredeyse yarı büyüklüğü ile daha fazla detay gösterebilmektedir. Daha açıklayıcı bir ifade ile neredeyse her bir piksel den 4 piksel çıkmıştır. Bu sayede hem harita daha detaylı olmakta hem de renk tonlarının birbiri üzerine geçişi daha akıcı görülebilmektedir. Sonuç olarak, ESI'da ölçek küçültmesi (yüksek çözünürlük) yapılabileceği tespit edilmiştir ve yapılması tavsiye edilmektedir.

Sonuç olarak, yürütülen bu doktora çalışmasıyla Konya Havzasında ESI ile tarımsal kuraklığın tespit edilebildiği gösterilmiştir. Bununla birlikte uzaktan algılama tabanlı ESI'nın; yağış verisi istememesi, toprak su tutma kapasitesi ile ilgili bilgi istememesi, topraktaki nem miktarı ile ilgili bilgi istememesi, uzun hesaplama sürelerine ihtiyaç duymaması, sulama olduysa fark edebilmesi, yüzeye yakın yeraltı su tablasını fark edebilmesi, düşen bir yağışı anlayabilmesi, kuraklığı operasyonel olarak izleyebilmesi ve en önemlisi ise tüm bunları her bir piksel için (enterpolasyon istememesi) ayrı ayrı

yapabilmesi gibi özelliklerle geleneksel indekslerden (SPI, NPI, PDSI, vs.) olan farkını rahatlıkla ortaya koyabilmiştir. Diğer taraftan, geleneksel indeksler hiçbir zaman önemini kaybetmeyecektir. Amaca, yere, çalışma süresi uzunluğuna, geçmişin değerlendirildiği veya kararsız kalınan durumda, vb. onlarda her zaman için bir ölçüt olarak kullanılacaktır.

DSİ tarafından sunulan bilgilere göre Türkiye'nin yüzölçümü 78 milyon hektardır. Bu alanın yaklaşık üçte biri 24 milyon hektarlık kısmını tarım arazileri oluşturmaktadır. Yapılan etütlere göre, teknik ve ekonomik anlamda sulanabilecek arazi miktarı 8.5 milyon hektar olarak hesaplanmaktadır. 8.5 milyon hektar alanın 2019 yılı itibari ile toplam 6.65 milyon hektarlık kısmı sulamaya açılmıştır (Anonim 2021e). Bu bilgilerden anlaşılacağı üzere, tüm teknik ve ekonomik önlemler alınsa bile yine de en az 15.5 milyon hektarlık alanın su ihtiyacı doğal yağışlar ile karşılanmak zorundadır. Her an için kuraklık tehlikesiyle karşı karşıya kalınma riski olduğu unutulmamalıdır.

Gelecekte, doğal yağışa dayalı tarım koşullarında (sulamasız) tek tip bitki örtüsüne sahip bir alanda nötron prob ile takip edilen toprak neminin ESI görüntüleri ile karşılaştırılması ve bu araştırmaya bitki verimin de dâhil edilerek ayrı bir çalışmanın yapılmasının yararlı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Alderfasi, A. A. and Nielsen, D. C. 2001. Use of Crop Water Stress Index For Monitoring Water Status and Scheduling Irrigation in Wheat. *Agricultural Water Management*, 47:69–75.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. 1998. *Crop Evapotranspiration: Guidelines For Computing Crop Water Requirements*. Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, Italy.
- Allen, R. G., Tasumi, M., Morse, A. and Trezza, R. 2005. A LANDSAT-Based Energy Balance and Evapotranspiration Model in Western US Water Rights Regulation and Planning. *Irrigation and Drainage Systems* 19(3/4): 251–268.
- Allen, R.G., Tasumi, M., Trezza, R. 2007. Satellite-Based Energy Balance For Mapping Evapotranspiration With Internalized Calibration (METRIC)–Model. *J. Irrig. Drain. Eng. ASCE* 133 (4), 380–394.
- Anderson, M.C., Norman, J.M., Diak, G.R., Kustas, W.P. and Mecikalski, J.R. 1997. A Two-Source Time-Integrated Model For Estimating Surface Fluxes Using Thermal Infrared Remote Sensing. *Remote Sens. Environ.*, 60, 195-216, 1997.
- Anderson, M.C., Norman, J.M., Kustas, W.P., Li, F., Prueger, J.H., and Mecikalski, J.R. 2005. Effects of Vegetation Clumping on Two-Source Model Estimates of Surface Energy Fluxes From an Agricultural Landscape During SMACEX. *Journal of Hydrometeorology - Special Section*, Vol. (6), 892-909.
- Anderson, M.C., Norman, J.M., Mecikalski, J.R., Otkin, J.A. and Kustas, W.P. 2007a. A Climatological Study of Evapotranspiration and Moisture Stress Across The Continental United States Based on Thermal Remote Sensing: 1. Model Formulation. *J. Geophys. Res.*, 112, D10117, doi:10.1029/2006JD007506.
- Anderson, M.C., Norman, J.M., Mecikalski, J.R., Otkin, J.A., and Kustas, W.P. 2007b. A Climatological Study of Evapotranspiration and Moisture Stress Across the Continental U.S. based on thermal remote sensing: II. Surface moisture climatology. *Journal of Geophysical Research*, VOL. 112, D11112. DOI:10.1029/2006JD007507
- Anderson, M.C., Hain, C.R., Wardlow, B., Pimstein, A., Mecikalski, J.R., Kustas, W.P. 2011a. Evaluation of Drought Indices Based on Thermal Remote Sensing of Evapotranspiration Over the Continental U.S. *Journal of Climate*, Volume: 24, 2025–2044. DOI: 10.1175/2010JCLI3812.1
- Anderson, M.C., Kustas, W.P., Norman, J.M., Hain, C.R., Mecikalski, J.R., Schultz, L., Gonzalez-Dugo, M.P., Cammalleri, C., d’Urso, G., Pimstein, A., Gao, F. 2011b. Mapping Daily Evapotranspiration at Field to Continental Scales Using

Geostationary and Polar Orbiting Satellite Imagery. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15, 223–239.

- Anderson, M.C., Allen, R.G., Morse, A., Kustas, W.P. 2012a. Use of Landsat Thermal Imagery in Monitoring Evapotranspiration and Managing Water Resources. *Remote Sens. Environ.* 122, 50–65.
- Anderson, M.C., Hain, C.R., Wardlow, B., Pimstein A., Mecikalski, J.R., Kustas, W.P. 2012b. Thermal-Based Evaporative Stress Index For Monitoring Surface Moisture Depletion. Drought Mitigation Center Faculty Publications. 106.
- Anderson, M.C., Hain, C.R., Otkin, J.A., Zhan, X., Mo, K.C., Svoboda, M., Wardlow, B., Pimstein, A. 2013a. An İntercomparison of Drought İndicators Based on Thermal Remote Sensing and NLDAS-2 Simulations with U.S. Drought Monitor Classifications. *Journal Hydrometeorol.* 14, 1035–1056. DOI: 10.1175/JHM-D-12-0140.1
- Anderson. M.C., Zolin, C.A., Hain. C.R., Semmens. K., Yılmaz, M.T. 2015. Comparison of Satellite-Derived LAI and Precipitation Anomalies Over Brazil with a Thermal İnfrared-Based Evaporative Stress Index For 2003–2013. *Journal of Hydrology* 526 (2015) 287–302. DOI:10.1016/j.jhydrol.2015.01.005
- Anderson. M.C., Zolin, C.A., Sentelhas. P.C., Hain. C.R., Semmens. K., Yılmaz, M.T., Gao. F., Otkin, J.A., Tetrault, R. 2016. The Evaporative Stress Index as an İndicator of Agricultural Drought in Brazil: An Assessment Based on Crop Yield İmpacts. *Remote Sensing of Environment* 174 (2016) 82–99. DOI:10.1016/j.rse.2015.11.034
- Anonim 1997. Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi. Çevre Bakanlığı Yayınları, Ankara.
- Anonim 2013. Türkiyede İklim Değişikliği 6. Bildirimi. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonim 2015. Konya Havzası Kuraklık Yönetim Planı. Türkiye Cumhuriyeti Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Taşkın Ve Kuraklık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Anonim 2017a. Konya Kapalı Havzası Sektörel Su Tahsis Planını Hazırlanmasına Yönelik Teknik Destek Hizmet Alımı İşi. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.
- Anonim. 2021a. Web Sitesi: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/kuraklik-analizi.aspx?d=yontemsinif> Erişim Tarihi: 17.09.2021
- Anonim. 2021b. Web Sitesi: <https://www.mgm.gov.tr/arastirma/dogal-afetler.aspx?s=kuraklik> Erişim Tarihi: 17.09.2021

- Anonim. 2021c. Web Sitesi: <http://kuraklikizle.mgm.gov.tr/> Erişim Tarihi: 17.09.2021
- Anonim. 2021d. Web Sitesi: https://tr.wikipedia.org/wiki/Konya_kapalı_havzası Erişim Tarihi: 17.09.2021
- Anonim. 2021e. Web Sitesi: <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754> Erişim Tarihi: 20.09.2021
- Anonim 2022a. Web Sitesi: <https://www.wwf.org.tr/?4660/konyadasuyunbugunu> Konya'da Suyun Bugünü Raporu. Dünya Doğayı Koruma Vakfı (World Wide Fund for Nature)
- Anonim 2022b. Web Sitesi: https://tr.wikipedia.org/wiki/Regresyon_analizi
- Anonim 2022c. Web Site: <https://agrimetsoft.com/calculators/correlation%20coefficient>
- Anonim 2022d. Web Site: https://en.wikipedia.org/wiki/Nash%E2%80%93Sutcliffe_model_efficiency_coefficient
- Anonymous. 2017b. Drought Characteristics and Management in Central Asia and Turkey. FAO Water Reports 44. ISSN 1020-1203.
- Anton, J.A. and Ross, J.K. 1987. Emissivity of the Vegetation-Soil System. Soc. J. Remote Sens. 5:49-55 (in Russian with English Summary).
- Aydın, O. ve Çiçek, İ. 2013. Ege Bölgesi'nde Yağışın Mekânsal Dağılımı. Coğrafi Bilimler Dergisi, 11(2): 101-120
- Barbara, Hofer, Carrão Hugo, and Mcinerney Daniel. 2012. Multi-Disciplinary Forest Fire Danger Assessment in Europe: The Potential to Integrate Long-Term Drought Information. International Journal (7): 300-322.
- Bastiaanssen, W., Menenti, M., Feddes, R.A. and Holtslag, A.A.M. 1998a. A Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm For Land (SEBAL) - 1. Formulation. Journal of Hydrology, 212(1-4): 198-212. DOI: 10.1016/S0022-1694(98)00253-4
- Bastiaanssen, W., Pelgrum, H., Wang, J., Ma, Y., Moreno, J. F., Roerink, G. J. and van der Wal, T. 1998b. A Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm For Land (SEBAL) - 2. Validation. Journal of Hydrology, 212(1-4): 213-229. DOI: 10.1016/S0022-1694(98)00254-6
- Bastiaanssen, W. 2000. SEBAL-Based Sensible and Latent Heat Fluxes in The Irrigated Gediz Basin, Turkey. Journal of Hydrology, 229(1-2): 87-100. DOI: 10.1016/S0022-1694(99)00202-4
- Bayissa, Y., Maskey, S., Tadesse, T., Andel, S.J., Moges, S., Griensven, A. and Solomatine, D. 2018. Comparison of the Performance of Six Drought Indices

in Characterizing Historical Drought For the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Geosciences* 2018, 8, 81. DOI:10.3390/geosciences8030081

- Becker, F. and Li, Z.-L. 1990. Temperature-Independent Spectral Indices in Thermal Infrared Bands. *Remote Sens. Environ.* 32:17-33.
- Berhan, G., Hill, S., Tadesse, T. and Atnafu, S. 2011. Using Satellite Images For Drought Monitoring: A Knowledge Discovery Approach. *Journal of Strategic Innovation and Sustainability*. Vol.7(1)
- Bhuiyan, C., Singh, R.P. and Kogan, F.N. 2006. Monitoring Drought Dynamics in the Aravalli Region (India) Using Different Indices Based on Ground and Remote Sensing Data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8 (2006) 289–302.
- Bloomfield, J. P. ve Marchant, B. P. 2013. Analysis of Groundwater Drought Building on the Standardised Precipitation Index Approach. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(12), 4769-4787.
- Bora, E. 2019. Seyhan Havzası'nda Uzaktan Algılama Yöntemleri Kullanılarak Gerçek Bitki Su Tüketiminin Tahmin Edilmesi ve Tarımsal Kuraklık Risk Analizi. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. Uzmanlık Tezi.
- Brutsaert, W. 1982. *Evaporation Into the Atmosphere: Theory, History and Applications* (Vol. 1). Springer Science-Business Media. DOI 10.1007/978-94-017-1497-6
- Caccamo, G., Chisholm, L.A., Bradstock, R.A. and Puotinen, M.L. 2011. Assessing the Sensitivity of MODIS to Monitor Drought in High Biomass Ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 115(10), 2626–2639. DOI:10.1016/j.rse.2011.05.018
- Campbell, G. S., and Norman J. M. 1998. *An introduction to environmental biophysics*. Springer-Verlag, New York.
- Castelli, M., Anderson, M. C., Yang, Y., Wohlfahrt, G., Bertoldi, G., Niedrist, G., Hammerle, A., Zhao, P., Zebisch, M. and Notarnicola, C. 2018. Two-Source Energy Balance Modeling of Evapotranspiration in Alpine Grasslands. *Remote Sensing of Environment*, 209, 327-342.
- Choudhury, B.J., Idso, S.B. and Reginato R.J. 1987. Analysis of an Empirical Model For Soil Heat Flux Under a Growing Wheat Crop For Estimating Evaporation by an Infrared-Temperature-Based Energy Balance Equation. *Agric. For. Meteorol.* 39, 283–297.
- Colaizzi, P. D., Evett, S. R., Howell, T. A., Li, F., Kustas, W. P., and Anderson, M. C. 2012. Radiation Model For Row Crops: I. Geometric View Factors and Parameter Optimization. *Agronomy Journal*, 104(2), 225-240.

- Colaizzi, P. D., Agam, N., Tolk, J. A., Evett, S. R., Howell Sr, T. A., O'Shaughnessy, S. A., Gowda, P.H., Kustas, W.P. and Anderson, M. C. 2016. Advances in a Two-Source Energy Balance Model: Partitioning of Evaporation and Transpiration For Cotton. *Transactions of the ASABE*, 59(1), 181-197.
- Conrad, C., Dech, S.W., Hafeez, M., Lamers, J., Martius, C., Strunz, G. 2007. Mapping and Assessing Water Use in a Central Asian Irrigation System by Utilizing MODIS Remote Sensing Products. *Irrig. Drainage Syst.* 21, 197-218. DOI: 10.1007/s10795-007-9029-z
- Courault, D., Seguin, B. and Olioso, A. 2005. Review on Estimation of Evapotranspiration from Remote Sensing Data: from Empirical to Numerical Modeling Approaches. *Irrigation and Drainage Systems*, 19:223–239.
- Çamoğlu, G. ve Genç, L. 2013. Taze Fasulyede Su Stresinin Belirlenmesinde Termal Görüntülerin ve Spektral Verilerin Kullanımı. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2013: 1 (1): 15–27
- Ehrler, W.L., Idso, S.B., Jackson, R.D. and Reginato, R.J. 1978a. Diurnal Changes in Plant Water Potential and Canopy Temperature of Wheat as Affected by Drought. *Agronomy J.*, 70:999-1009.
- Ehrler, W.L., Idso, S.B., Jackson, R.D. and Reginato, R.J. 1978b. Wheat Canopy Temperature: Relation to Plant Water Potential. *Agronomy J.*, 70:252-256.
- El-Hendawy, S.E., Hassan, W.M., Al-Suhaibani, N.A. and Schmidhalter, U. 2017. Spectral Assessment of Drought Tolerance Indices and Grain Yield in Advanced Spring Wheat Lines Grown Under Full and Limited Water Irrigation. *Agricultural Water Management*, 182, 1–12. DOI:10.1016/j.agwat.2016.12.003
- Eroğlu, T. A. and Apaydin, H. 2020. Estimation of Drought by Streamflow Drought Index (SDI) and Artificial Neural Networks (ANNs) in Ankara-Nallihan Region. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(2), 348-357.
- Fisher, J.B., Tu, K.P. and Baldocchi, D.D. 2008. Global Estimates of the Land-Atmosphere Water Flux Based on Monthly AVHRR and ISLSCP-II Data, Validated at 16 Fluxnet Sites. *Remote Sensing of Environment*, 112, 901-919.
- French A.N., Jacob F., Anderson, M.C., Kustas, W.P., Timmermans, W., Gieske, A., Su, Z., Su, H., McCabe, M. F., Li, F., Prueger, J. and Brunsell, N. 2005. Surface Energy Fluxes with the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) at the Iowa 2002 SMACEX Site (USA). *Remote Sensing of Environment* 99, 55 – 65.

- Gowda, P.H., Chavez, J.L., Colaizzi, P.D., Evett, S.R., Howell, T.A. and Tolk, J.A. 2008. ET Mapping For Agricultural Water Management: Present Status and Challenges. *Irrigation Science*, 26, 223-237.
- Guzinski, R., Anderson M.C., Kustas, W.P., Nieto, H. and Sandholt, I. 2013. Using a Thermal-Based Two Source Energy Balance Model with Time-Differencing to Estimate Surface Energy Fluxes with Day–Night MODIS Observations. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 2809–2825. DOI:10.5194/hess-17-2809-2013
- Güngör, Y., Erözel, Z. ve Yıldırım, O. 2012. Sulama. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 1592, Ankara.
- Gürkan, H., Bayraktar, N. ve BULUT, H. 2017. İklim Değişikliği Nedeniyle Artan Kuraklığın Ayçiçeği ve Pamuk Verimi Üzerine Etkileri. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 20, 216-221. DOI: 10.18016/ksudobil.349207
- Hain, C.R., Mecikalski, J.R. and Anderson, M.C. 2009. Retrieval of an Available Waterbased Soil Moisture Proxy from Thermal İnfrared Remote Sensing. Part I: Methodology and Validation. *Journal of Hydrometeorology*, 10, 665-683.
- Hain, C.R., Crow, W.T., Mecikalski, J.R., Anderson, M.C., Holmes, T. 2011. An İntercomparison of Available Soil Moisture Estimates from Thermal-İnfrared and Passive Microwave Remote Sensing and Land-Surface Modeling. *J. Geophys. Res.* 116, D15107. DOI: 10.1029/2011JD015633
- Hain, C.R., Crow, W.T., Anderson, M.C., Mecikalski, J.R. 2012. Developing a Dual Assimilation Approach For Thermal İnfrared and Passive Microwave Soil Moisture Retrievals. *Water Resour. Res.* 48, W11517. DOI: 10.1029/2011WR011268
- Hasaniha, H. 2008. İnan'ın Kuzeybatısında Kuraklık ve Verim İlişkisinin Analizi. Doktora Tezi, A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Ankara.
- Hatfield, J.L. 1979. Canopy Temperatures: The Usefulness and Reliability of Remote Measurements. *Agronomy Journal*, 71:889-892.
- Jackson, R.D., Reginato, R.J. and Idso, S.B. 1977. Wheat Canopy Temperature: A Practical Tool For Evaluating Water Requirements. *Water Resources Research*, 13(3):651-656.
- Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J. and Pinter, P.J. 1981. Canopy Temperature as a Crop Water Stress İndicator. *Water Resources Research*, 17(4):1133-1138.
- Jackson, R. D. 1982. Soil Moisture İnferences from Thermal-İnfrared Measurements of Vegetation Temperatures. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* GE-20:282-285.

- Jain, S.K., Keshri, R., Goswami, A., Sarkar, A. and Chaudhry, A. 2009. Identification of Drought Vulnerable Areas Using NOAA AVHRR Data. *International Journal of Remote Sensing*, 30(10), 2653- 2668.
- Ji, L. and Peters, A.J. 2003. Assessing Vegetation Response to Drought in the Northern Great Plains Using Vegetation and Drought Indices. *Remote Sensing of Environment*, 87(1), 85-98.
- Jin, Y. 2003. Consistency of MODIS Surface Bidirectional Reflectance Distribution Function and Albedo Retrievals: 2. Validation, *J. Geophys.Res.*, 108, 1–15, 2003.
- Kalma, J.D., McVicar, T.R. and McCabe., M.F. 2008. Estimating Land Surface Evaporation: A Review of Methods Using Remotely Sensing Surface Temperature Data. *Surveys in Geophysics* 29(4–5):421–469.
- Karataş, B.S., Akkuzu, E., ve Aşık, Ş. 2006. Uzaktan Algılama ile Bitki Su Tüketiminin Zamansal ve Alansal Değişiminin Belirlenmesi: Menemen Sulama Birlikleri Örneği. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 43 (3),55-66.
- Kodal, S. 1996. Ankara-Beypazarı Ekolojisinde Yeterli ve Kısıtlı Su Koşullarında Sulama Programlaması, İşletme Optimizasyonu ve Optimum Su Dağıtımı. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 1465, Ankara.
- Kogan, F.N. 1995. Application of Vegetation Index and Brightness Temperature For Drought Detection. *Advances in Space Research*. Vol. 15, No. 11, 1995, Pages 91-100. DOI: 10.1016/0273-1177(95)00079-T
- Köksal, E.S. 2006. Sulama Suyu Düzeylerinin Şeker Pancarının Verim, Kalite ve Fizyolojik Özellikleri Üzerindeki Etkisinin, İnfrared Termometre ve Spektrometre ile Belirlenmesi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Ankara.
- Köksal E.S., Kara T., Apan M., Üstün H., İlbeyi A. 2008. A Estimation of Green Bean Yield, Water Deficiency and Productivity Using Spectral Indexes During the Growing Season. *Irrig Drainage Syst*, 22,209-223.
- Köksal, E. S., Kodal, S., Üstün, H., ve Yıldırım, Y. E. 2010. Estimation of Dwarf Green Bean Water Use Under Semi - Arid Climate Conditions Through Ground - Based Remote Sensing Techniques. *Agricultural Water Management*, 98(2), 353-360. DOI:10.1016/j.agwat.2010.09.009
- Köksal, E. S. ve Yıldırım, Y. E. 2011. Şeker Pancarı Sulama Zamanı Belirlenmesinde Bitki Su Stres İndeksinin Kullanım Olanakları. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(1): 57-62.
- Kustas, W.P. and Daughtry, C.S.T. 1990. Estimation of the Soil Heat Flux/Net Radiation Ratio from Spectral Data. *Agricultural and Forest Meteorology*. 49:205-223.

- Kustas, W.P. and Norman, J.M. 1997. A Two-Source Approach For Estimating Turbulent Fluxes Using Multiple Angle Thermal Infrared Observations. *Water Resources Research*, Vol. 33, No. 6, Pages 1495-1508.
- Kustas, W. P., Zhang, Z. and Schmugge T. J. 1998. Combining Optical and Microwave Remote Sensing For Mapping Energy Fluxes in a Semiarid Watershed. *Remote Sens. Environ.*, 64, 116–131.
- Labeledzki, L. and E. Kanecka-Geszke. 2009. Standardized Evapotranspiration as an Agricultural Drought Index. *Irrigation and Drainage* 58,607–616.
- Lee, Y. and Kim, S. 2016. The Modified SEBAL For Mapping Daily Spatial Evapotranspiration of South Korea Using Three Flux Towers and Terra MODIS Data. *Remote Sensing*, 8(12). DOI: ARTN 98310.3390/rs8120983
- Lettau, H. H. and Lettau, K. 1978. Exploring the World's Driest Climate. IES Rep. 101, University of Wisconsin—Madison, 264pp. [Available from Schwerdtfeger Library, SSEC, University of Wisconsin—Madison, Madison, WI 53706.]
- Li, H., Lei, Y., Zheng, L. and Mao, R. 2005. Calculating Regional Drought Indices Using Evapotranspiration (ET) Distribution Derived from Landsat7 ETM+Data. *Remote Sensing and Modeling of Ecosystems For Sustainability II*. DOI:10.1117/12.615880
- Losgedaragh, S. Z. and Rahimzadegan, M. 2018. Evaluation of SEBS, SEBAL, and METRIC Models in Estimation of the Evaporation from the Freshwater Lakes (Case study: Amirkabir dam, Iran). *Journal of Hydrology*, 561: 523–531. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.04.025
- Lott, N. and Ross, T. 2006. Tracking and Evaluating U.S. Billion Dollar Weather Disasters, 1980–2005. Preprints, AMS Forum: Environmental Risk and Impacts on Society: Successes and Challenges, Atlanta, GA, Amer. Meteor. Soc., 1.2. [Available online at <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/100686.pdf>.]
- Lucht, W., Schaaf, C. B. and Strahler, A. H. 2000. An Algorithm For the Retrieval of Albedo from Space Using Semiempirical BRDF Models, *IEEE T. Geosci. Remote*, 38, 977–998, 2000.
- Mecikalski, J.M., Diak, G.R., Anderson, M.C., Norman, J.M. 1998. Estimating Fluxes on Continental Scales Using Remotely-Sensed Data in an Atmosphere-Land Exchange Model. *J. Appl. Meteorol.* 38, 1352–1369.
- Mohamed, Y., Bastiaanssen, W. and Savenije, H. 2004. Spatial Variability of Evaporation and Moisture Storage in the Swamps of the Upper Nile Studied by Remote Sensing Techniques. *Journal of Hydrology*, 289(1-4): 145-164.

- Moran, M.S., Clarke, T.R., Inoue, Y. and Vidal, A. 1994. Estimating Crop Water Deficit Using the Relation Between Surface – Air Temperature and Spectral Vegetation Index. *Remote Sens. Environ.*, 49:246-263.
- Mo, K.C., Long, L.N., Xia, Y., Yang, S.K., Schemm, J.E. and Ek, M.B. 2010. Drought Indices Based on the Climate Forecast System Reanalysis and Ensemble NLDAS. *Journal of Hydrometeorology* 12:181–205. DOI: 10.1175/2010JHM1310.1171.
- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. Paper Presented at the Eighth Conference on Applied Climatology.
- McNaughton, K.G. and Spriggs, T.W. 1986. A Mixed-Layer Model For Regional Evaporation. *Boundary-Layer Meteorol.* 34:243-262.
- Nielsen, D.C., Clawson, K.L. and Blad, B.L. 1983. Effect of Solar Azimuth and Infrared Thermometer View Direction on Measured Soybean Canopy Temperature. *Agronomy J*, 76:607-610.
- Norman, J.M., Kustas, W.P. and Humes, K.S. 1995. Source Approach For Estimating Soil and Vegetation Energy Fluxes in Observation of Directional Radiometric Surface Temperature. *Agricultural and Forest Meteorology* 77 (1995) 263-293.
- Norman, J.M. and Becker, F. 1995. Terminology in Thermal Infrared Remote Sensing of Natural Surfaces. *Remote Sens. Rev.* 12:159-173.
- Norman, J.M., Kustas, W.P., Prueger, J.H. and Diak, G.R. 2000. Surface Flux Estimation Using Radiometric Temperature: A Dual-Temperature-Difference Method to Minimize Measurement Errors. *Water Resources Research*, Vol. 36, No. 8, Pages 2263-2274.
- Numata, I., Khand, K., Kjaersgaard, J., Cochrane, M. A. and Silva, S.S. 2017. Evaluation of Landsat-Based METRIC Modeling to Provide High-Spatial Resolution Evapotranspiration Estimates For Amazonian Forests. *Remote Sensing*, 9(1). DOI:ARTN 4610.3390/rs9010046
- Oğuz, K., Pekin, M. A., Gürkan, H., Oğuz, E. ve Coşkun, M. 2017. Doğu Akdeniz Havzasında Kuraklığın Era - İnterim Verileri ile Belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32(2), 229. DOI: 10.7161/omuanajas.321080
- Otkin, J.A., Anderson, M.C., Hain, C.R., Svoboda, M. 2013a. Examining the Relationship Between Drought Development and Rapid Changes in the Evaporative Stress Index. *J. Hydrometeorol.* 15, 938-956. DOI: 10.1175/JHM-D-13-0110.1
- Otkin, J.A., Anderson, M.C., Hain, C.R., Mladenova, I.E., Basara, J.B., Svoboda, M. 2013b. Examining Rapid Onset Drought Development Using the Thermal

Infrared Based Evaporative Stress Index. *J. Hydrometeorol.* 14, 1057–1074.
DOI: 10.1175/JHM-D-12-0144.1

- Özfidaner, M., Topaloğlu F., Baydar A. ve Şapolyo, D. 2015. Doğu Akdeniz Havzası Akım Verilerinin Hidrolojik Kuraklık Analizi: 1712 Nolu AGİ. 4. Uluslararası Katılımlı Toprak ve Su Kaynakları Kongresi 01-04 Eylül 2015. Kahramanmaraş
- Özfidaner, M., Şapolyo, D. ve Topaloğlu F. 2018. Seyhan Havzası Akım Verilerinin Hidrolojik Kuraklık Analizi. *Toprak Su Dergisi*, 7 (1): (57-64).
- Özfidaner, M. ve Topaloğlu F. 2020a. Standart Yağış İndeksi Yöntemi ile Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Kuraklık Analizi. *Toprak Su Dergisi*, 9 (2): (130-136)
- Özfidaner, M., Gönen, E. ve Kartal, S. 2020b. Adana İlinde TOPSIS Yöntemi ile Kuraklık Analizi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 33(1): 101-106
DOI: 10.29136/mediterranean.642215
- Özkan, K. 2001. Eğirdir Gölü Havzası'nın Kuraklık Etüdü ve Tarım-Ormancılık Açısından Değerlendirmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, Seri: A, Sayı 2, 2001, ISSN: 1320-7085, Sayfa: 75-96.
- Palluconi, F., Kahle, A.B., Hoover, G. and Conel, J. E. 1990. The Spectral Emissivity of Prairie and Pasture Grasses at Konza Prairie, Kansas, In Proc. Am. Meteorol. Soc. Symp on the First ISLSCP Field Experiment (FIFE), 77-78, February 7-9, 1990, Anaheim, CA, Am. Meteorol. Soc., Boston, MA.
- Parry, C. K., Nieto, H., Guillevic, P., Agam, N., Kustas, W. P., Alfieri, J., McKee, L. and McElrone, A.J., 2019. An Intercomparison of Radiation Partitioning Models in Vineyard Canopies. *Irrigation Science*, 37(3), 239-252.
- Potgieter, A.B., Power, B., Mclean, J., Davis, P. and Rodriguez, D. 2014. Spatial Estimation of Wheat Yields from Landsat's Visible, Near Infrared and Thermal Reflectance Bands. *International Journal of Remote Sensing Applications* Volume 4 Issue 3. DOI: 10.14355/ijrsa.2014.0403.03
- Priestley, C.H.B. and Taylor, R.J. 1972. On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters. *Monthly Weather Rev.*, 100 (2), pp. 81-92.
- Qu, C., Hao, X. and Qu, J. 2019. Monitoring Extreme Agricultural Drought Over the Horn of Africa (HOA) Using Remote Sensing Measurements. *Remote Sens.* 2019, 11, 902. DOI:10.3390/rs11080902
- Roderick, M.L. 1999. Estimating the Diffuse Component from Daily and Monthly Measurements of Global Radiation. *Agr. Forest Meteorol.*, 95, 169–185, 1999.

- Sadler, E.J., Bauer, P.J., Busscher, W.J. and Millen, J.A. 2000. Site Specific Analysis of a Drought Corn Crop: II. Water Use and Stress. *Agronomy J.*, 92:403-410.
- Sanchez, J. M., Kustas, W. P., Caselles, V., and Anderson, M. C. 2008. Modelling Surface Energy Fluxes Over Maize Using a Two-Source Patch Model and Radiometric Soil and Canopy Temperature Observations. *Remote Sensing of Environment*, 112(3), 1130-1143.
- Seguin, B., Courault, D. and Guerif, M. 1994. Surface Temperature and Evapotranspiration: Application of Local Scale Methods to Regional Scales Using Satellite Data. *Remote Sens. Environ.*, 49:287-295.
- Sırdaş, S. 2002. Meteorolojik Kuraklık Modellemesi ve Türkiye Uygulaması. Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Soltani, M. 2001. İsfahan'da Kuraklık ve Kuraklıktan Etkilenmiş Bazı Yaşam Çevresi Eserleri. *JDK-SBU*, S.729-735.
- 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.
- Sharma P. 2007. Precision Farming. Gene-Tech Books, New Delphi, India.
- Shen, Z., Zhang, Q., Singh, V.P., Sun, P., Song, C. and Yu, H. 2019. Agricultural Drought Monitoring Across Inner Mongolia, China: Model Development, Spatiotemporal Patterns and Impacts. *Journal of Hydrology* 571 (2019) 793–804. DOI:10.1016/j.jhydrol.2019.02.028
- Shukla, S. and Wood, A. W. 2008. Use of a Standardized Runoff Index For Characterizing Hydrologic Drought. *Geophysical Research Letters*, vol. 35, L02405. DOI:10.1029/2007GL032487
- Stisen, S., Jensen, K.H., Sandholt, I. and Grimes, D.I. 2008. A Remote Sensing Driven Distributed Hydrological Model of the Senegal River Basin. *Journal of Hydrology*, 354(1-4): 131-148
- Şimşek, O., Murat, A. ve Çakmak, B. 2008. 2006-2007 Tarım Yılı Kuraklık Analizi. Kuraklık ve Su Yönetimi Toplantısı Bildiri Kitabı, 15-16 Mayıs 2008 5. Dünya Su Forumu Bölgesel Hazırlık Süreci Türkiye Bölgesel Su Toplantısı. ÇOB DSİ Genel Müdürlüğü V. Bölge Müdürlüğü, s.199-213, Ankara.
- Şimşek, O. 2010. Türkiye'de Tarım Yılı Kuraklık Değerlendirmesi ve Bitki Gelişim Modeli İle Buğdayda Kuraklık-Verim Analizi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Ankara.

- Şimşek, O., Gördebil, N. ve Yıldırım, M. 2012. 2010–2011 Tarım Yılı'nın Kuraklık Analizi. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi Başkanlığı Yıllık Bülten.
- Tasumi, M., Trezza, R., Allen, R.G., Wright, J.L. 2005. Operational Aspects of Satellite-Based Energy Balance Models For Irrigated Crops in the Semi-Arid U.S.. *Irrig. Drain. Syst.* 19, 355–376.
- Taş, İ. ve Kırnak, H. 2011. Yarı Kurak İklim Bölgelerinde Bitki Su Tüketiminin Tahmininde Kullanılabilecek Ampirik Modeller. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, Vol. 8(1), 57-66.
- Taş, İ., Yıldırım, Y. E., Akşit, C., Özaydın, K. A. ve Gökalp, Z. 2018. Determination of Spatial Variation of Reference Evapotranspiration Case Study of Seyhan Basin. *Current Trends in Natural Sciences*, Vol. 7 (14), 251-259.
- Taş, İ. ve Yıldırım, Y. E. 2020. HadGEM2 Küresel İklim Modeli Tahminine Dayalı Konya Kapalı Havzası İçin Olası Tarımsal Kurak Dönemleri. *Toprak Su Dergisi*, Özel sayı: 56-66.
- Tennekes, H. 1973. A Model For The Dynamics of the Inversion Above a Convective Boundary Layer. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 30(4), 558-567.
- Thiruvengadachari, S. and Gopalkrishna, H.R. 1993. An Integrated PC Environment For Assessment of Drought. *International Journal of Remote Sensing*, 14(17), 3201-3208.
- Trnka, M., Žalud, Z., Eitzinger, J. and Dubrovský, M. 2005. Global Solar Radiation in Central European Lowlands Estimated by Various Empirical Formulae. *Agricultural and Forest Meteorology*, 131(1-2), 54–76. DOI:10.1016/j.agrformet.2005.05.0
- Wagle, P., Bhattarai N., Gowda P.H. and Kakani V.G. 2017. Performance of Five Surface Energy Balance Models For Estimating Daily Evapotranspiration In High Biomass Sorghum. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 128: 192-203. DOI:10.1016/j.isprsjprs.2017.03.022
- Walker, G.K. and Hatfield, J.L. 1979. Test of Stress-Degree-Day Concept Using Multiple Planting Dates of Red Kidney Beans. *Agronomy J.*,71:967-971.
- Wanjura, D.F., Upchurch, D.R. and Mahan, J.R. 1992. Automated Irrigation Based on Threshold Canopy Temperature. *Transaction of the ASAE*, 35(1):153-159.
- Wetzel, P.J., Atlas, D., and Woodward, R. 1984. Determining Soil Moisture from Geosynchronous Satellite Infrared Data: a Feasibility study. *J. Clim. Appl. Meteorol.* 23:375-391.

- Wilhite, D. and Glantz, M.R. 1987. Understanding the Drought Phenomenon - The Role of Definitions in Wilhite, David, Easterling, William and Wood, David, eds., Planning For drought: Boulder, Colo., Westview Press, p. 11-27.
- Wilhite, D. A. 2000a. Chapter 1 Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions. Drought Mitigation Center Faculty Publications, 69.
- Wilhite, D.A., Hayes, M.J., Knutson C. L. and Smith, K.H. 2000b. Planning For Drought: Moving from Crisis to Risk Management. J. Amer. Water Resour. Assoc., 36, 697–710. DOI:10.1111/j.1752-1688.2000.tb04299.x.
- Wilhite, D.A. and Pulwarty, R.S. 2005. Drought and Water Crises: Lessons Learned and the Road Ahead. Drought and Water Crises: Science, Technology and Management Issues, D. A. Wilhite, Ed., Taylor and Francis, 389–398.
- Willmott, C. J. 1981. On The Validation of Models. Physical geography, 2(2), 184-194.
- Woodhouse, C. A. and Overpeck, J.T. 1998. 2000 Years of Drought Variability in the Central United States. Bulletin of the American Meteorological Society, 79(12), 2693-2714. [10.1175/1520-0477\(1998\)079<2693:YODVIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1998)079<2693:YODVIT>2.0.CO;2)
- Yang, Y., Qiu, J., Zhang, R., Huang, S., Chen, S., Wang, H., Luo, J. and Fan, Y. 2018. Intercomparison of Three Two-Source Energy Balance Models For Partitioning Evaporation and Transpiration in Semiarid Climates. Remote Sensing, 10(7), 1149.
- Yıldırım, Y. E., Taş, İ., ve Çakmak, İ. 2016. Assessment of Irrigation Efficiencies Under Central Anatolia Conditions. Current Trends in Natural Sciences Vol, 5(10), 93-101.
- Yıldırım, Y. E., Taş, İ. ve Özyayın, K. A. 2019. Referans Evapotranspirasyonun Mekansal Değişiminin Belirlenmesinde Gediz Havzası Örneği. Toprak Su Dergisi, Özel Sayı: 153-161.
- Zhang, L., Jiao, W., Zhang, H., Huang, C. and Tong, Q. 2017. Studying Drought Phenomena in the Continental United States in 2011 and 2012 Using Various Drought Indices. Remote Sensing of Environment 190 (2017) 96-106. DOI: 10.1016/j.rse.2016.12.010
- Zhao H., Gao, G., An, W., Zou, X., Li, H. and Hou, M. 2017. Timescale Differences Between SC-PDSI and SPEI For Drought Monitoring in China. Physics and Chemistry of the Earth 102 (2017) 48-58. DOI:10.1016/j.pce.2015.10.022
- Zhuang, Q., and Wu, B. 2015. Estimating Evapotranspiration From an Improved Two-Source Energy Balance Model Using ASTER Satellite Imagery. Water, 7(12), 6673-6688. DOI:10.3390/w7126653