

UZAKTAN ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ İLE EVAPOTRANSPIRASYONUN BELİRLENMESİ

Doktora Tezi

Ümit Haluk ATASEVER

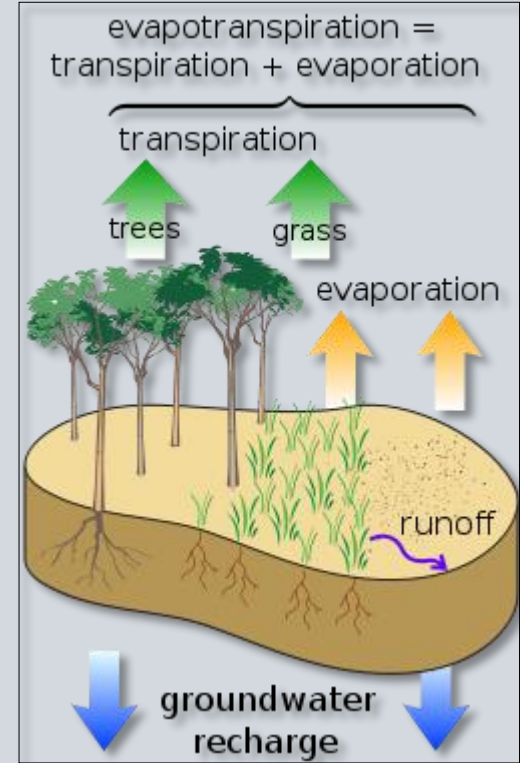
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Coşkun ÖZKAN



T. C. Erciyes Üniversitesi
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

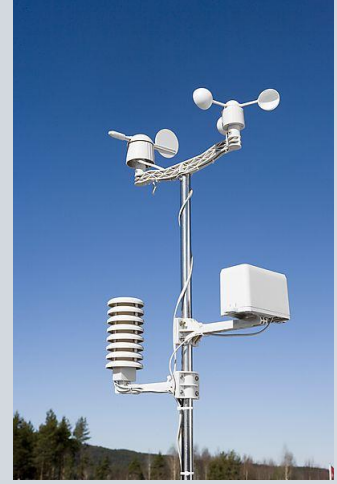
Giriş

- Evapotranspirasyon buharlaşma ve bitki terlemesinden kaynaklanan toplam su kaybıdır.
- Suyun etkin biçimde kullanımı günümüzün en önemli konularından biridir.
- Gerçek evapotranspirasyon su yönetimindeki en önemli bileşenlerden biridir.
- Yakın zamana kadar noktasal olarak hesaplanabiliyordu.



Giriş

- Noktasal hesaplamalar için FAO-Penman, Blaney-Criddle gibi tekniklerle veya lizimetreler ya da Bowen sistemleri aracılığıyla noktasal olarak hesaplanabilmektedir.
- Ancak, gerçek anlamda etkin bir su yönetimi için bölgesel evapotranspirasyon haritalarına ihtiyaç duyulmaktadır.
- Bu amaçla geliştirilmiş olan SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land), uydu görüntülerini kullanarak gerçek evapotranspirasyon haritalarını üretebilen çok kanallı bir görüntü işleme algoritmasıdır.



Literatür Özeti

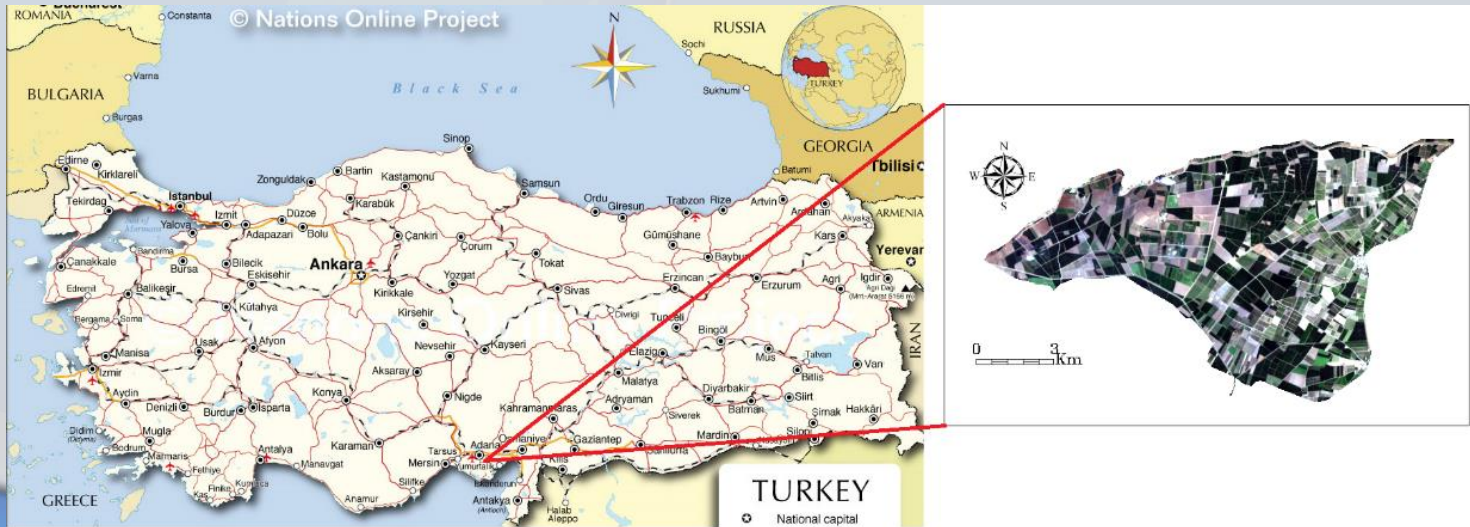
Araştırmacılar	Kullanılan Uydu Görüntüsü	Çalışma bölgesi
Hongjun Li ve ark.	NOAA/AVHRR	Kuzey Çin Ovası
Kimura ve ark.	Landsat 5	Çin'e ait Loess Platosu
Kongo ve arkadaşları	MODIS	Güney Afrika'nın Yukarı-Thukela Havzası
Sun ve arkadaşları	Landsat 7 ETM	Çin'in Nansi Gölü Sulak alanları
Chemin ve arkadaşları	NOAA/AVHRR	Özbekistan'ın Fergana şehri
Mutiga ve arkadaşları	MODIS	Kenya'da Yukarı Ewaso Ng'iro Kuzey Havzası
Teixeira ve arkadaşları	Landsat 5	Brezilya'daki Sao Francisco Nehri Havzası
Jang ve arkadaşları	MODIS	Kore'nin Gwangneung ve Haenam ; Japonya Takayama Ormanı ve Tomakomai şehri

Literatür Özeti

Araştırmacılar	Kullanılan Uydu Görüntüsü	Çalışma bölgesi
Batra ve arkadaşları	MODIS ve AVHRR	ABD'nin Büyük Güney Ovası Bölgesi
Sánchez ve arkadaşları	Landsat 5 ve 7 görüntüleri	İtalya'nın güneyindeki Basilicata Bölgesi
Singh ve arkadaşları	Landsat 5 ve 7 görüntüleri	ABD, Güney Nebraska
Hafeez ve arkadaşları	Terra ASTER, Landsat 7 ETM+ ve MODIS	Filipinler, Luzon Bölgesi
Guo ve arkadaşları	Landsat 7 ETM+	Çin, Tibet Platosu
Chuansheng ve arkadaşları	Landsat ETM+	Çin'e ait Tarım Havzası
*Tasumi	Landsat 5 ve 7 görüntüleri	ABD, Güney Idaho

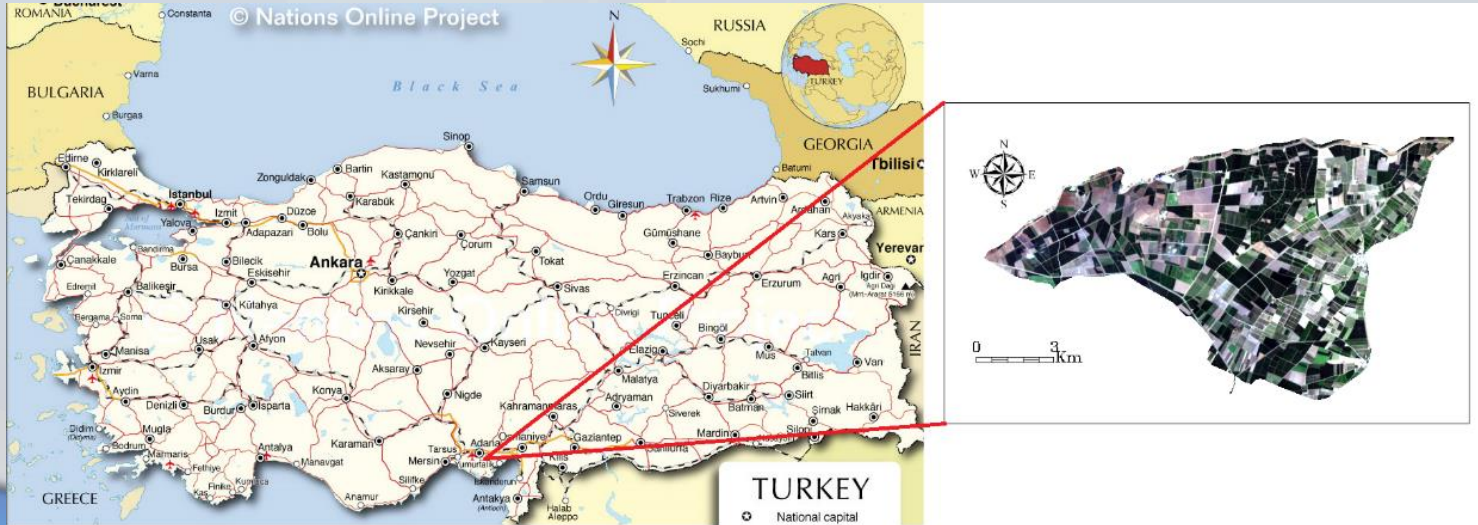
Çalışma Bölgesi

- Çalışma bölgesi, Türkiye'nin en önemli tarım bölgelerinden biri olan Çukurova'nın sınırları içerisinde yer almaktadır.
- Coğrafi bakımdan $36^{\circ} 51' 46''$ - $36^{\circ} 57' 00''$ kuzey enlemleri ve $35^{\circ} 24' 10''$ - $35^{\circ} 36' 34''$ doğu boylamları arasındadır.
- Çalışma alanı 9495 ha yüzölçümüne sahiptir.



Çalışma Bölgesi

- Çukurova'nın en önemli tarım alanlarından biridir.
- Kışları buğday, soğan, patates ve kısmen marul; yazları çoğunlukla mısır, pamuk olmak üzere soya yer fıstığı ve susam tarımı yapılmasına ek olarak narenciye üretimi oldukça yüksektir..
- Ekilebilir tarım arazilerinin büyük bir kısmı kanallar yardımıyla sulanmaktadır.



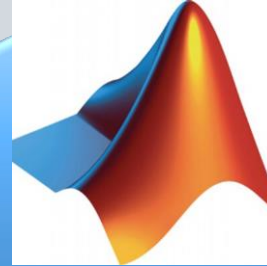
Tez Kapsamında Kullanılan Yazılım ve Donanımlar

Arazi Çalışmalarında:

Lp Pyra 05 Albedometre

Comet S6011 Datalogger

Meteoroloji İstasyonu



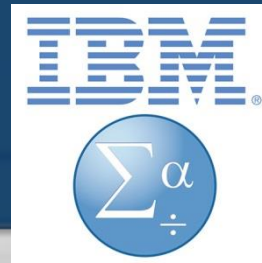
Simülasyon Çalışmalarında:

Landsat 8 Uydu Görüntüleri

Envi 5.2 Yazılımı

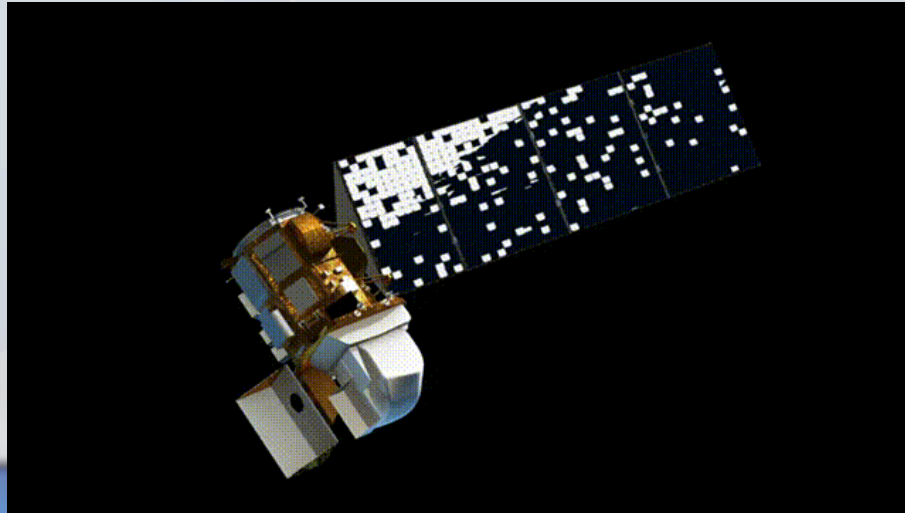
Matlab Yazılımı

SPSS Statistics 23 Yazılımı



Landsat 8 (LDCM) Verisi ve Özellikleri

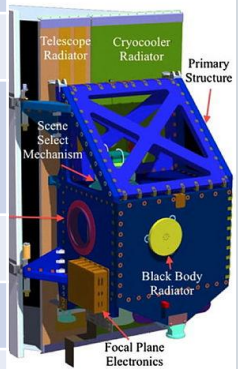
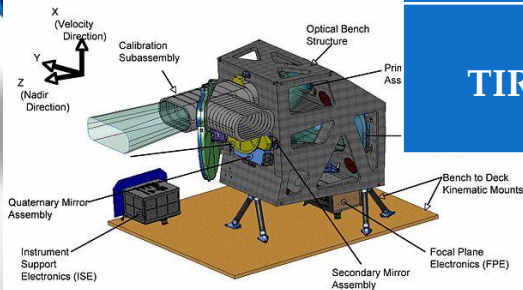
- Günde yaklaşık 700 görüntü alabilmektedir.
- Uydunun görüntü formatı GeoTiff; projeksiyonu UTM, datumu WGS 84 ve yeniden örnekleme tekniği Kübik Konvolüsyondur.
- Yaklaşık 5.5 yılda geliştirilen bu uydunun kullanım süresinin 10 yıl olacağı düşünülmektedir. Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) ve Thermal Infrared Sensor (TIRS) olmak üzere iki sensörle algılama yapmaktadır.



Landsat 8 (LDCM) Verisi ve Özellikleri

Sensör	Spektral Bant	Dalgaboyu (μm)	Çözünürlük (m)
OLI	Band 1 Coastal Aerosol	0.43-0.50	30
	Band 2 Blue	0.45-0.50	30
	Band 3 Green	0.53-0.59	30
	Band 4 Red	0.64-0.67	30
	Band 5 Near Infrared (NIR)	0.85-0.88	30
	Band 6 SWIR1	1.57-1.65	30
	Band 7 SWIR2	2.11-2.29	30
	Band 8 Panchromatic	0.50-0.68	15
	Band 9 Cirrus	1.36-1.38	30
TIRS	Band 10 Thermal Infrared1	10.60-11.19	100
	Band 11 Thermal Infrared2	11.50-12.51	100

OLI Instrument Overview



Albedometre

- Albedometre olarak LP PYRA 05 tercih edilmiştir.
- Bu albedometrede 1. Sınıf kalitede iki ayrı pasif piranometre bulunmaktadır.
- Cihaz $0.3 \mu m - 2.8 \mu m$ spektral aralığındaki elektromanyetik enerjinin yeryüzü yansıtım karakterine göre ortak bir albedo değeri üretmektedir.

Özellikler	Değer
Öz Direnç	$30\Omega \div 60\Omega$
Ölçüm Aralığı	$0-2000W/m^2$
Görüş Açısı	2π rs
Spektral Çalışma Aralığı	305nm-2800nm
Çalışma Sıcaklığı	$-40^{\circ}C-80^{\circ}C$
Ağırlık	1.35 kg



Meteoroloji İstasyonu ve Veri Kaydedici (Datalogger)

Çalışma bölgesindeki meteoroloji istasyonundan :

- Min, Maks. ve Ortalama Sıcaklık
- Ort. Günlük Rüzgar Hızı
- Günlük Ort. Net Radyasyon
- Günlük Toplam Yağmur Miktarı
- Günlük Ort. Bağlı Nem



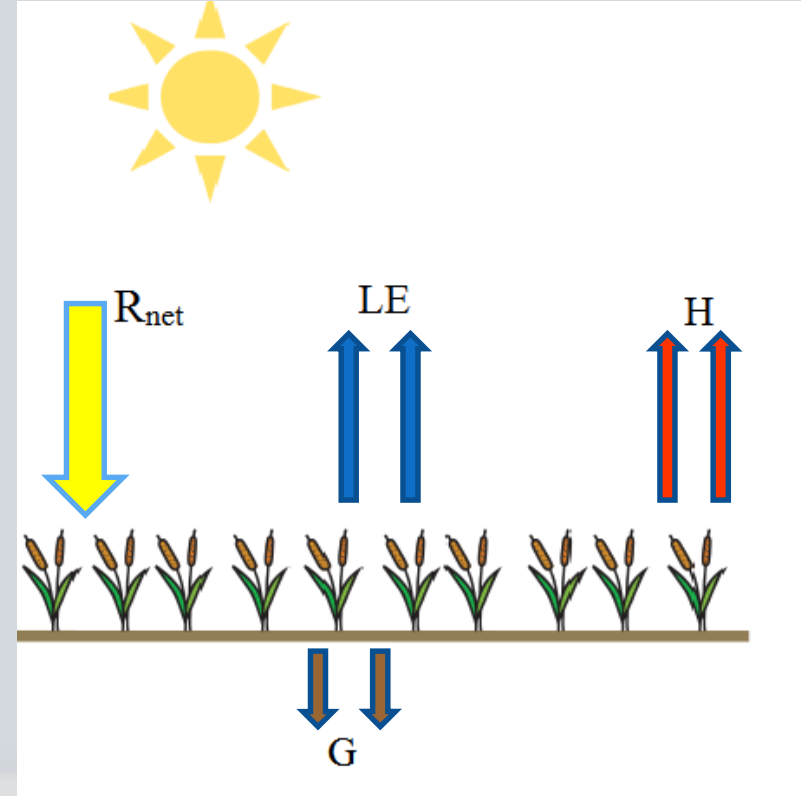
Tez kapsamında Comet S6011 veri kaydedici tercih edilmiştir.

Albedometre tarafından üretilen değerlerin okunmasını ve kaydedilmesini sağlar.



Sunulan Yaklaşım (SEBAL-DS)

- Uydu görüntüleri kullanılarak geniş alanlara ilişkin ETa haritaları rahatlıkla hesaplanabilmektedir.
- Bu teknik toprak veya bitki türüne ihtiyaç duymamaktadır.
- Uydu görüntüsünün her bir pikseli için enerji dengesi eşitliği uygulanır.



$$LE = R_{net} - H - G$$

- Eşitlikte LE gizli ısı akısı (Wm^{-2}); R_{net} net radyasyon (Wm^{-2}); H hissedilebilir ısı akısı (Wm^{-2}); G ise toprak ısı akısıdır (Wm^{-2}).

Piksel Değerlerinden Radyans ve Reflektans Değerlerinin Hesaplanması

Radyans Değerleri

- Klasik SEBAL tekniğinde olduğu gibi sunulan yaklaşımın ilk aşamasında da piksel parlaklık radyans değerlerine dönüştürülür.
- Eşitlik her bir banda ayrı ayrı uygulanır.
- Eşitlikteki dönüşüm parametreleri görüntüyle beraber gelen meta veri dosyasından alınır

$$L_{\lambda} = M_L \times Q_{cal} + A_L$$

L_{λ} TOA spektral radyans
(Watts/($m^2 \times \text{srad} \times \mu m$)):

M_L meta veriden elde edilen banda özgü çarpım faktörü

A_L banda özgü toplam faktörü;

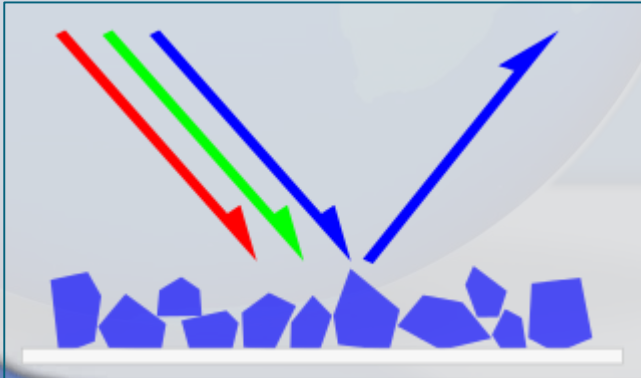
Q_{cal} kalibre edilmiş piksel değerleridir

Piksel Değerlerinden Radyans ve Reflektans Değerlerinin Hesaplanması

$$p\lambda' = M_P \times Q_{calP} + A_P$$

$$p\lambda = \frac{p\lambda'}{\cos(\theta_{sz})}$$

- $p\lambda'$ gezegensel reflektans
- M_P banda özgü çarpım faktörü
- A_P banda özgü toplam faktörü
- Q_{calP} kalibre edilmiş piksel değerleri
- $p\lambda$ düzeltme yapılmış reflektans değeri
- θ_{sz} yerel güneş zenit açısı



Reflektans Değerleri

- Landsat 8 uydusunun OLI sensörüne ait band reflektans değerlerine dönüştürülürler.
- Eşitlik her bir banda ayrı ayrı uygulanır.
- Eşitlikteki dönüşüm parametreleri görüntüyle beraber gelen meta veri dosyasından alınır

Yüzey Sıcaklıklarının Hesaplanması

- İlk olarak radyometrik sıcaklık değerleri bulunur:

$$T_R = \frac{C_2}{\ln\left(\frac{C_1}{L_\lambda} + 1\right)}$$

Eşitlik 6'daki T_R (K) radyometrik sıcaklık; L_λ TOA spektral radyans değerleri ($Watts/(m^2 \times srad \times \mu m)$); C_1 ve C_2 dönüşüm sabitleridir.

- Ardından yüzey sıcaklıkları hesaplanır:

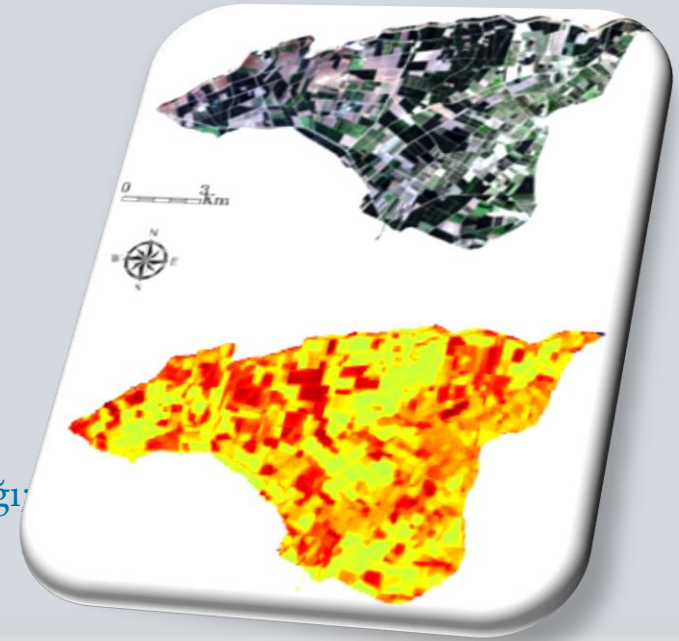
$$T_s = \frac{T_R}{\varepsilon_s^{0.25}}$$

Denklemi buraya yazın. Eşitlik 7'deki T_s (Kelvin) yüzey sıcaklığı, T_R (Kelvin) radyometrik sıcaklık ve ε_s ise yüzey emisivite değerleridir.

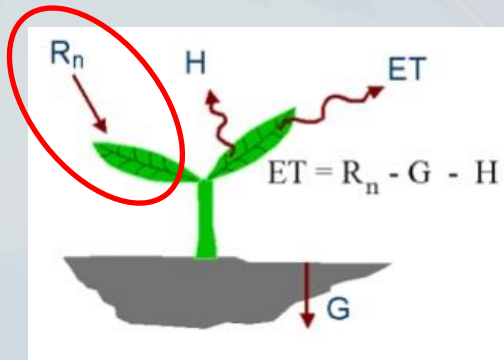
- Yüzey emisivite değeri ise:

$$\varepsilon_s = 1.009 + 0.04 \times \log(NFBI)$$

Eşitlik 8'de log doğal logaritma fonksiyonudur.



Net Radyasyonun Hesaplanması



- Gelen radyasyondan giden radyasyonun farkı olarak tanımlanabilir.

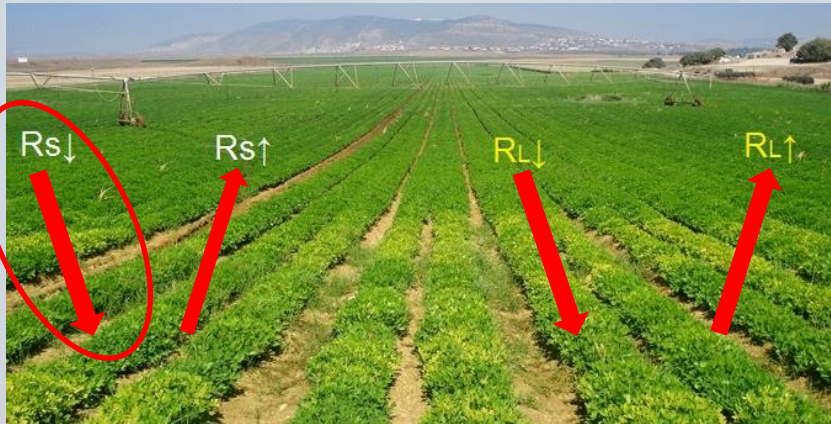
$$R_{net} = R_{s\downarrow}(1 - \alpha) + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow}$$



- $R_{s\downarrow}$ gelen kısa dalga radyasyon (Wm^{-2});
- α geniş bant yüzey albedo değeri;
- $R_{L\downarrow}$ gelen uzun dalga radyasyon (Wm^{-2});
- $R_{L\uparrow}$ giden uzun dalga radyasyon dur (Wm^{-2})

Anlık Gelen Kısa Dalga Radyasyonun Hesaplanması

- Arazi yüzeyine ulaşan kısa dalga radyasyon miktarı atmosferik soğurma ve saçılmaya bağlıdır.



$$R_{s\downarrow} = \tau \times R_{s\downarrow}^{TOA}$$

$$\begin{aligned} R_{s\downarrow}^{TOA} &= sc \times Ecc_0 \\ &\times (\sin(\delta) \times \sin(\phi) + \cos(\delta) \times \cos(\phi) \times \cos(w_s)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ecc_0 &= 1.00011 + 0.034221 \times \cos(d_{ang}) \\ &+ 0.00128 \times \sin(d_{ang}) \\ &+ 0.000719 \times \cos(2 \times d_{ang}) \\ &+ 0.000077 \times \sin(2 \times d_{ang}) \end{aligned}$$

$$d_{ang} = 2 \times \pi \times \frac{(day_{num} - 1)}{365}$$

$$\tau = 0.75 + 2 \times 10^{-5} \times z$$

Anlık Gelen ve Giden Uzun Dalga Boylu Radyasyonun Hesaplanması

Gelen Uzun Dalga Boylu Radyasyon

- Gelen uzun dalga boylu radyasyon atmosferden yüzeye inen termal radyasyon olarak tanımlanabilir.
- Gelen uzun dalga boylu radyasyon Stefan-Boltzman eşitliği kullanılarak hesaplanabilir.

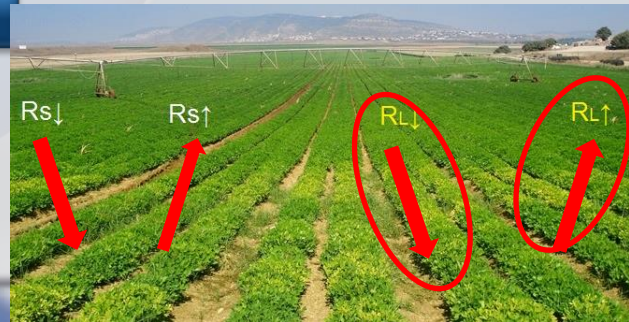
$$R_{L\downarrow} = \epsilon_a \times \sigma \times T_a^4$$

$$\epsilon_a = 0.85 \times (-\ln \tau)$$

Giden Uzun Dalga Boylu Radyasyon

- Giden uzun dalga boylu radyasyon yüzeyden ayrılarak yükselen termal radyasyondur.
- Giden uzun dalga boylu radyasyon Stefan-Boltzman eşitliği kullanılarak hesaplanabilir.

$$R_{L\uparrow} = \epsilon_s \times \sigma \times T_s^4 + (1 - \epsilon_s) \times R_{L\downarrow}$$



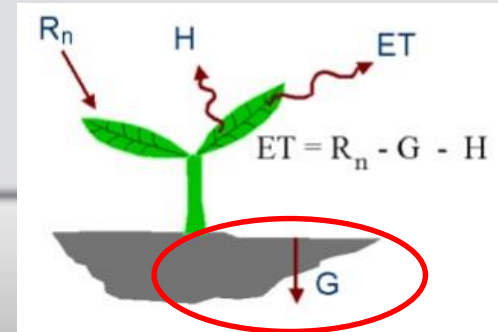
Toprak Isı Akısının Hesaplanması

- Toprak ısı akısı, kısaca toprağın ısınmasına veya soğumasına neden olan enerji miktarı olarak tanımlanır.
- Toprak ısı akısının hesaplanması sırasında en önemli işlem adımlarından biri yüzey albedosunun hesaplanmasıdır.
- Literatürde Landsat 8 için geliştirilmiş bir eşitlik bulunmamaktadır.

G

$$= R_{net} \times \left(\frac{T_s - 273}{\alpha} \right) \times (0.0032 \times (c1 \times \alpha) + 0.0062 \times (c1 \times \alpha)^2) \times (1 - 0.97 \times NFBI^4)$$

R_{net} net radyasyon (Wm^{-2});
 T_s yüzey sıcaklığı(Kelvin);
NFBI normalleştirilmiş fark
bitki indeksi değerleri;
 $c1$ düzeltme parametresi
(genelde 1.1 alınır);
 α yüzey albedo değeridir.



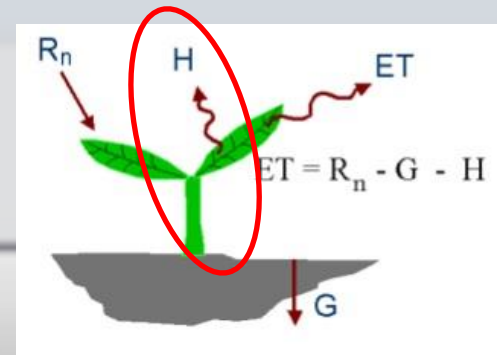
Hissedilebilir Isı Akısının Hesaplanması

- Hissedilebilir ısı akısı, yüzey ve hava arasındaki sıcaklık farkından kaynaklanan ısı transferinin genel adıdır.
- Klasik SEBAL tekniğinde $dT = a + b \times (T_s)$ eşitliğine uygun olarak a ve b katsayıların hesaplanabilmesi için uydu görüntüsü üzerinde uç piksel seçim işlemi gerçekleştirilir.
- Tez kapsamında a ve b katsayılarının hesaplanabilmesi için Diferansiyel arama algoritması kullanılmıştır

$$H = \rho_a \times C_p \times \left(\frac{dT}{r_{ah}} \right)$$

$$dT = a + b \times (T_s)$$

- H hissedilebilir ısı akısı (Wm^{-2});
- ρ_a hava yoğunluğu ($kg m^{-3}$);
- C_p havanın ısı kapasitesi ($Jkg^{-1}K^{-1}$);
- dT hava sıcaklığı ve yüzey sıcaklığı arasındaki fark (K);
- r_{ah} ise ısı transferine karşı aerodinamik dirençtir (sm^{-1}).



Günlük Gerçek Evapotranspirasyonun Hesaplanması

$$ET_{act24} = \frac{86400 \times \Lambda \times (R_{net24} - G_{24})}{\rho_w \times \lambda}$$

$$\Lambda = \frac{LE}{R_{net} - G}$$

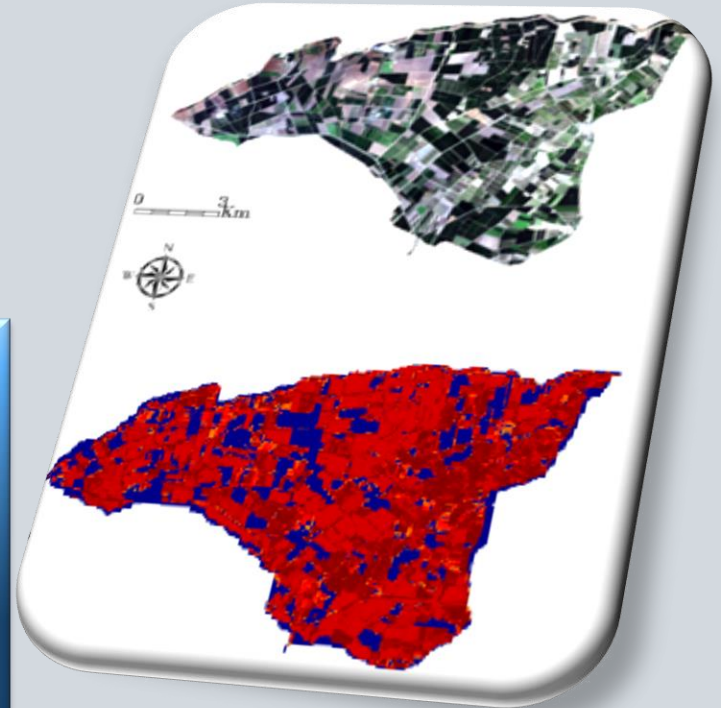
ET_{act24} günlük gerçek evapotranspirasyon değeri ($mm\ d^{-1}$);

Λ buharlaşma fraksiyonu

R_{net24} günlük net radyasyon (Wm^{-2});

G_{24} günlük toprak ısı akısı (Wm^{-2});

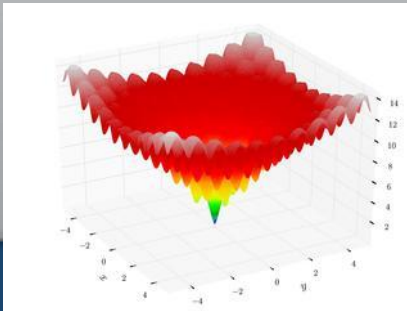
ρ_w su yoğunluğu ($kg\ m^{-3}$) λ buharlaşma latent ısıdır ($J\ kg^{-1}$).



Diferansiyel Arama Algoritması

Optimizasyon, bir gerçel fonksiyonu minimize ya da maksimize etmek amacı ile gerçek ya da tamsayı değerlerini tanımlı bir aralıkta seçip fonksiyona yerleştirerek sistematik olarak bir problemi incelemek ya da çözmek işlemlerini ifade eder.

$$f(x,y) = -20 \exp \left(-0.2 \sqrt{0.5 (x^2 + y^2)} \right) - \exp (0.5 (\cos (2\pi x) + \cos (2\pi y))) + e + 20$$



Diferansiyel arama, gerçel değerli optimizasyon problemlerinin çözümü için geliştirilmiş popülasyon tabanlı iteratif yarı-sezgisel bir optimizasyon algoritmasıdır.

Diferansiyel arama algoritması bir süper-organizmanın göç etmek amacıyla kullandığı brownian benzeri rastgele yürüme hareketini simüle eder.

Ölçek Faktörleri

R=lognrnd(rand,5*rand);

R=1./gamrnd(1,0.5);

R=1/normrnd(0.5,0.5)

R=4*randg;

R=4*randn;

R=1/normrnd(0,5);

Bijective DS

Surjective DS

Elitist DS

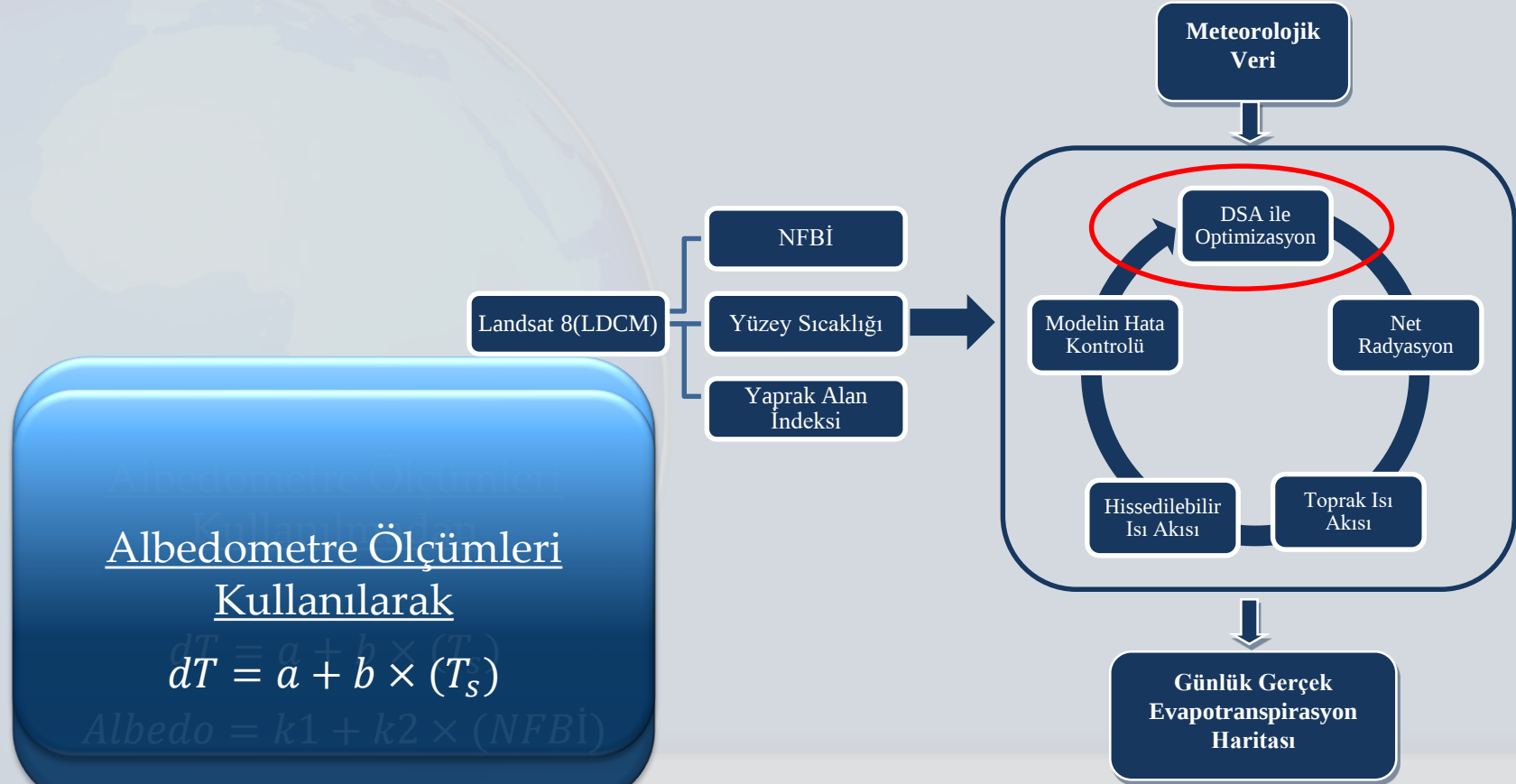
Parametre Optimizasyonunda Kullanılan Maliyet Fonksiyonu

- NFBİ ile evapotranspirasyon değerleri arasında güçlü bir ilişki olduğu bilinmektedir.
- Maliyet fonksiyonun tasarımında, hem bu ilişkiyi hem de yer kontrol bölgelerinden elde edilen ölçümleri kullanan bir yapı sunulmuştur.

- Eşitlikte $corr(NFBİ, ET_a)$ NFBİ haritası ile ET_a haritası arasındaki Pearson korelasyon katsayısı
- n yer kontrol nokta sayısı
- $ET_{gc(j)}$ j nci yer kontrol noktasından elde edilen ET_a değeri
- $ET_{a(j)}$ j nci yer kontrol noktasının SEBAL-DS ile elde edilen ET_a değeri | | mutlak değer fonksiyonu
- $pval$ kontrol noktaları ile her bir iterasyonda modelin ürettiği ET_a değerlerinin farklarına Eşlenik T Testi uygulanarak elde edilen P değeri

$$objval(i) = \frac{1}{corr(NFBİ, ET_a)} \times \left(\frac{\sum_{j=1}^n |ET_{gc(j)} - ET_{a(j)}|}{n} \right)^2 \times \left(\frac{1}{pval} \right)$$

Sunulan Yaklaşımın İşlem Akışı Diyagramı



$$objval(i) = \frac{1}{corr(NFBİ, ET_a)} \times \left(\frac{\sum_{j=1}^n |ET_{gc(j)} - ET_{a(j)}|}{n} \right)^2 \times \left(\frac{1}{pval} \right)$$

İstatistiksel Testler

Lilliefors Testi

- Lilliefors Testi temelde Kolmogorov–Smirnov (KS) testine dayanan bir normallik testidir
- Lilliefors Testi temel istatistik olarak KS ile aynı modeli kullanmasına rağmen kritik değerler için farklı bir tablo kullanır

$$D = \max |(F(x) - S_n(x))|$$

T-Testi

- Örnekler bağımsız ve tesadüfi ve ana kütle normal veya normale yakın bir dağılım gösteriyorsa T testi kullanılabilir.
- Tez kapsamında T-Testinin özel bir hali olan Eşlenik Çift T-Testi kullanılmıştır.

İstatistiksel Testler

Eşlenik Çift T Testi

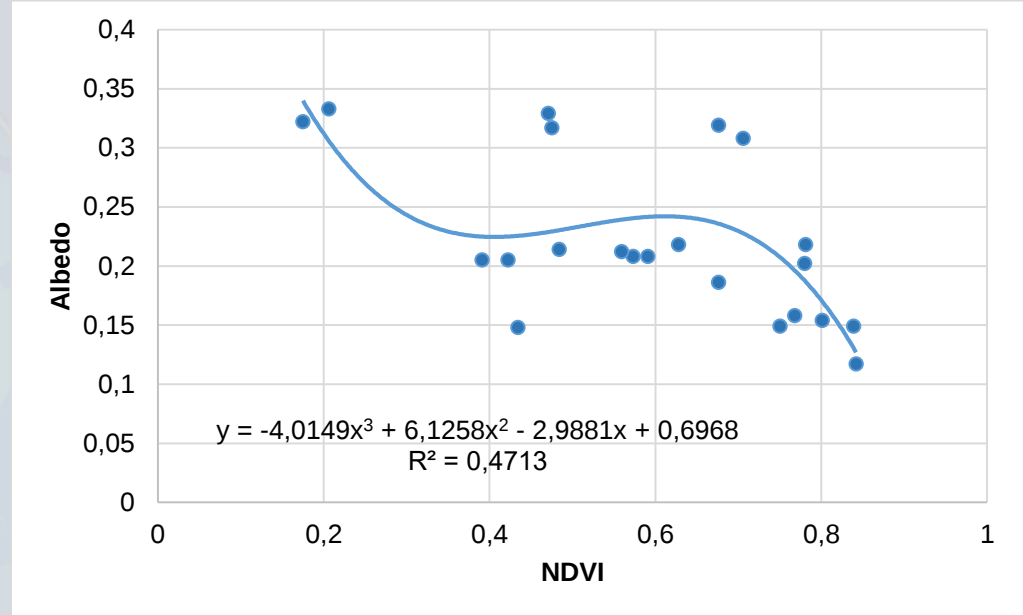
- Eşlenik çift T-testi birbiriyle eşlenebilen bir çift popülasyonun karşılaştırılabilmesi için kullanılır
- Özellikle iki farklı metot ile elde edilen ölçüm veya bulguların karşılaştırılması için kullanımı uygundur.

Wilcoxon Eşlenik Çift Testi

- Parametrik olmayan bir testtir.
- Kategorik olmayan ve tam anlamıyla normal dağılıma uymayan verilerin analizinde kullanılmaktadır.
- Bu testte hem çiftlere ait farkların yönü hem de miktarı dikkate alınmaktadır.

Albedometre Ölçümleri ve NFBİ Değerlerinin İlişkilendirilmesi (22 Ocak 2015)

Nokta Adı	NFBİ	Albedo	Hesaplanan Albedo
1	0.591	0.208	0.242
2	0.628	0.218	0.242
3	0.573	0.208	0.241
4	0.768	0.158	0.196
5	0.801	0.154	0.170
6	0.839	0.149	0.131
7	0.750	0.149	0.207
8	0.434	0.148	0.226
9	0.559	0.212	0.239
10	0.780	0.202	0.188
11	0.781	0.218	0.187
12	0.676	0.319	0.236
13	0.706	0.308	0.228
14	0.676	0.186	0.236
15	0.842	0.117	0.127
.	.	.	.
22	0.422	0.205	0.225

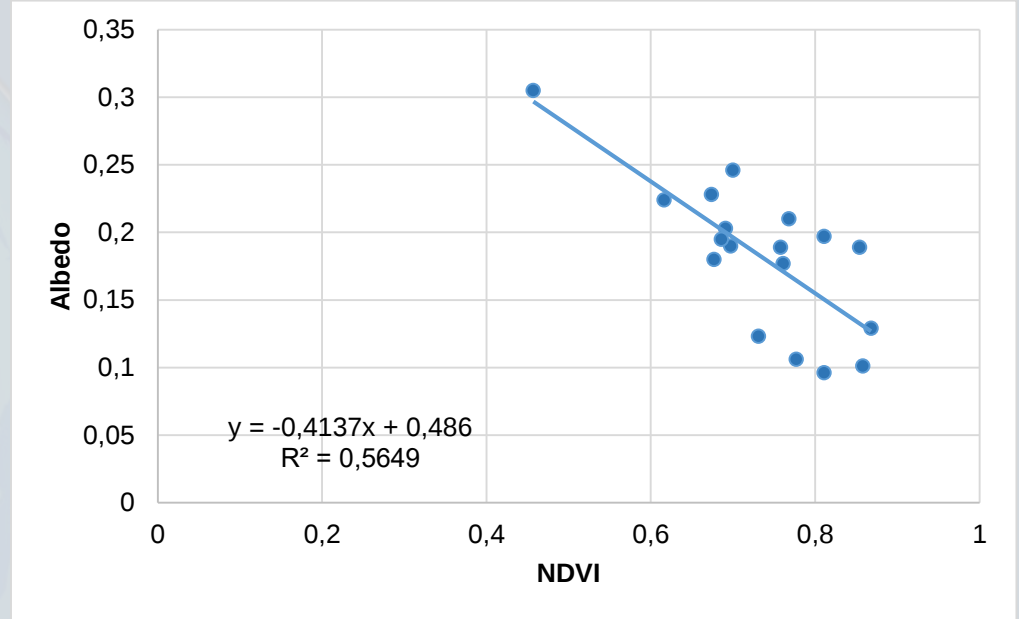


Karesel Ortalama Hata Değeri (MSE)	0.0024
Mutlak Oransal Hata Değeri (MARE)	0.1824

R²	P
0.47	Sabit: 0.044 NFBİ: 0.046 NFBİ²: 0.038 NFBİ³: 0.0015

Albedometre Ölçümleri ve NFBİ Değerlerinin İlişkilendirilmesi (28 Nisan 2015)

Nokta Adı	NFBİ	Albedo	Hesaplanan Albedo
1	0.677	0.180	0.206
2	0.768	0.210	0.168
3	0.868	0.129	0.127
4	0.858	0.101	0.131
5	0.811	0.197	0.150
6	0.691	0.203	0.200
7	0.761	0.177	0.171
8	0.697	0.190	0.197
9	0.731	0.123	0.183
10	0.854	0.189	0.132
11	0.811	0.096	0.150
12	0.777	0.106	0.165
13	0.758	0.189	0.172
14	0.457	0.305	0.296
15	0.686	0.195	0.202
16	0.616	0.224	0.231
17	0.674	0.228	0.207
18	0.700	0.246	0.196

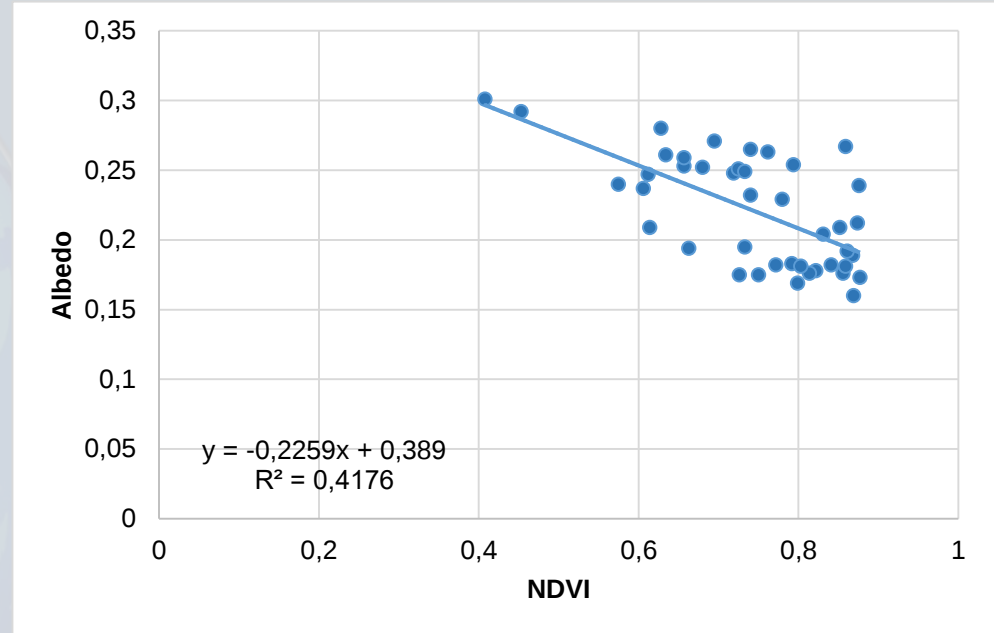


Karesel Ortalama Hata Değeri (MSE)	0.0012
Mutlak Oransal Hata Değeri (MARE)	0.1873

R^2	P
0.56	Sabit: 3.260×10^{-4} NFBİ: 2.003×10^{-6}

Albedometre Ölçümleri ve NFBİ Değerlerinin İlişkilendirilmesi (01 Temmuz 2015)

Nokta Adı	NFBİ	Albedo	Hesaplanan Albedo
1	0.614	0.209	0.250
2	0.780	0.229	0.213
3	0.634	0.261	0.246
4	0.657	0.253	0.241
5	0.822	0.178	0.203
6	0.869	0.160	0.193
7	0.762	0.263	0.217
8	0.695	0.271	0.232
9	0.794	0.254	0.210
10	0.831	0.204	0.201
11	0.657	0.259	0.240
12	0.719	0.248	0.226
13	0.740	0.232	0.222
14	0.874	0.212	0.191
15	0.841	0.182	0.199
.	.	.	.
.	.	.	.
42	0.861	0.192	0.194



Karesel Ortalama Hata Değeri (MSE)	0.00089
Mutlak Oransal Hata Değeri (MARE)	0.1195

R ²	P
0.42	Sabit: 3.85×10^{-6} NFBİ: 4.05×10^{-15}

Albedometre Ölçümleri ve NFBİ Değerlerinin İlişkilendirilmesi (Genel Eşitlik)

Karesel Ortalama Hata Değeri (MSE)	0.0019
Mutlak Oransal Hata Değeri (MARE)	0.1844

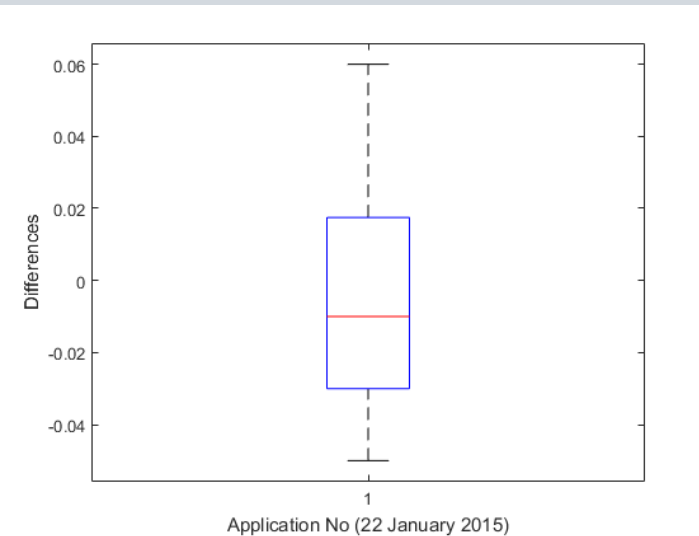
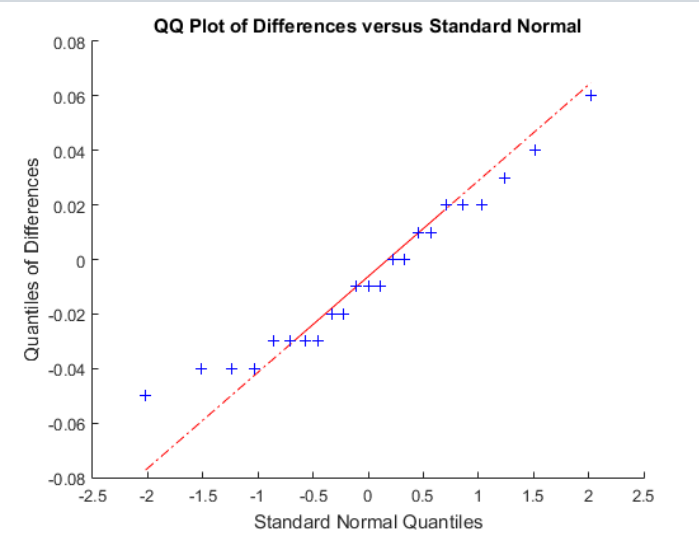
R ²	P
0.32	Sabit: 2.34x10 ⁻⁸ NFBİ: 4.02x10 ⁻²⁵

$$albedo = -0.2039 \times NFBİ + 0.3556$$

- Yapılan tüm ölçümler için genel bir lineer regresyon eşitliği de hesaplanmıştır.
- Modelin karesel ortalama hatası (MSE) 0.0019 ve ortalama mutlak oransal hata değeri (MARE) %18.44 olarak bulunmuştur.

Albedometre Ölçümleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Uygulamalar (22 Ocak 2015 Tarihli Uygulama)

Nokta No	Bitki Katsayısı Yöntemi (mm/gün)	SEBAL-DS (Jacknife Yöntemi) (mm/gün)
1	0.62	0.65
2	0.62	0.63
3	0.62	0.64
4	0.68	0.66
5	0.62	0.56
6	0.62	0.60
7	0.62	0.66
8	0.62	0.59
9	0.62	0.61
10	0.62	0.65
11	0.62	0.61
12	0.62	0.62
13	0.62	0.62
14	0.62	0.63
15	0.62	0.63
.	.	.
.	.	.
23	0.57	0.60

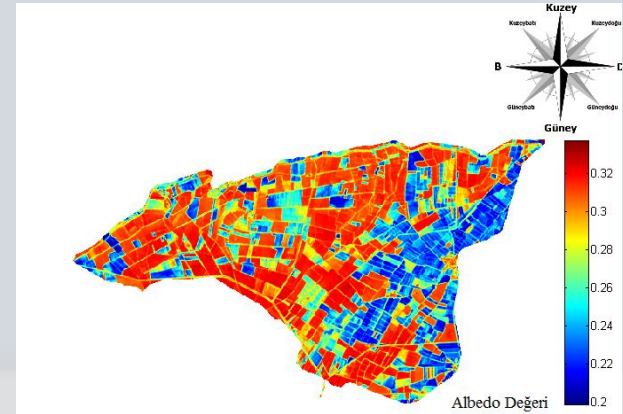
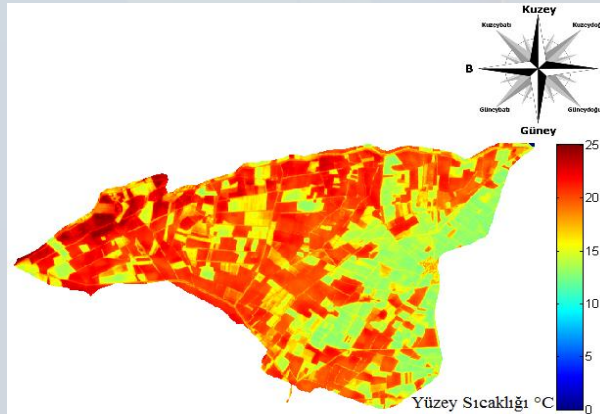
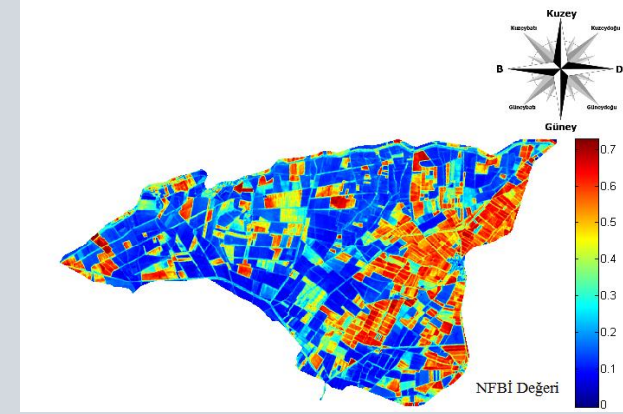
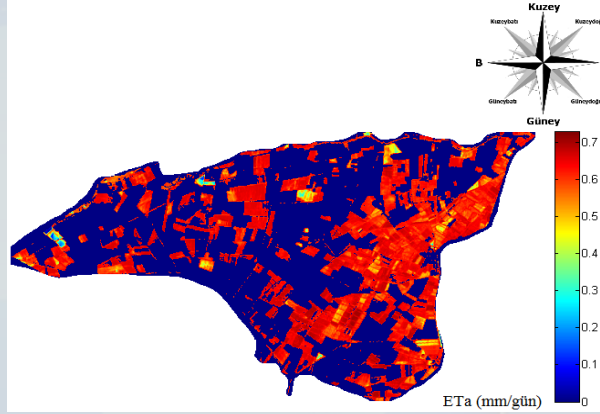


Albedometre Ölçümleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Uygulamalar (22 Ocak 2015 Tarihli Uygulama)

Lilliefors Testi P Değeri	0.2889
Ortalama Mutlak Hata Değeri (MAE) (mm/gün)	0.0248
Ortalama Karesel Hata Değerinin Karekökü (RMSE) (mm/gün)	0.2910
Ortalama Mutlak Oransal Hata Değeri (MARE)	0.0400
NFBİ ve ET_a arasındaki Pearson Korelasyon Katsayısı	0.9270

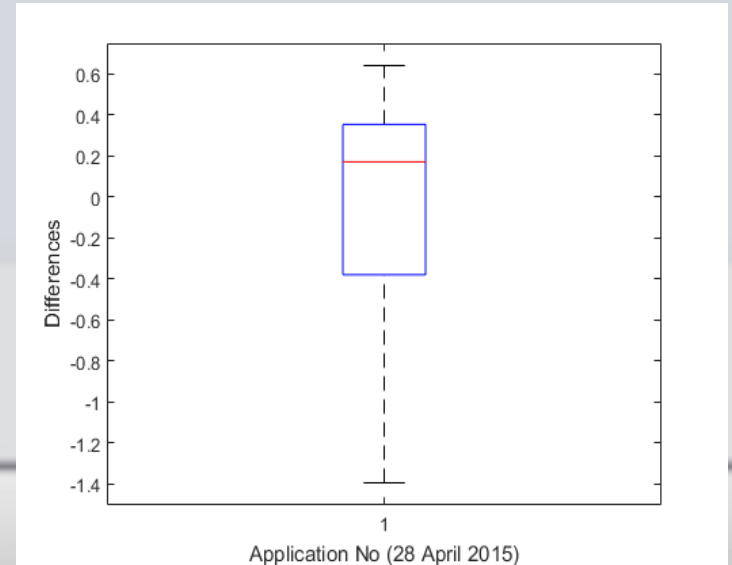
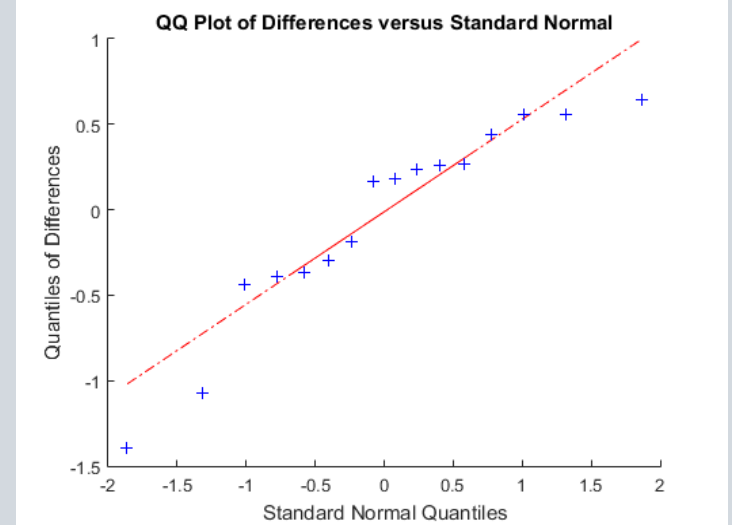
Eşlenik Örnekler T-Testi						
$\alpha= 0.05$	Ort.	Std. Sapma	Std. Hata Ort.	t-Değeri	S.D.	P
Model - Bitki Katsayısı Yöntemi	-0.00675	0.0293	0.00611	-1.105	22	0.281
Wilcoxon Eşlenik Çift (İşaret) Testi						
H_0 Hipotezi	P	Pozitif Farklar	Negatif Farklar	Test İstatistiği (T)	Karar ($\alpha=0.05$)	
Fark Yoktur	0.181	14	9	182	H_0 reddedilmez	

Albedometre Ölçümleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Uygulamalar (22 Ocak 2015 Tarihli Uygulama)



Albedometre Ölçümleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Uygulamalar (28 Nisan 2015 Tarihli Uygulama)

Nokta No	Bitki Katsayısı Yöntemi (mm/gün)	SEBAL-DS (Jacknife Yöntemi) (mm/gün)
1	5.75	5.48
2	5.47	5.91
3	5.75	5.11
4	5.75	5.31
5	4.51	5.59
6	5.47	5.86
7	4.51	5.91
8	5.47	5.66
9	5.47	5.77
10	5.47	5.84
11	5.47	5.29
12	5.75	5.19
13	5.75	5.19
14	5.75	5.59
15	5.75	5.51
16	5.75	5.49

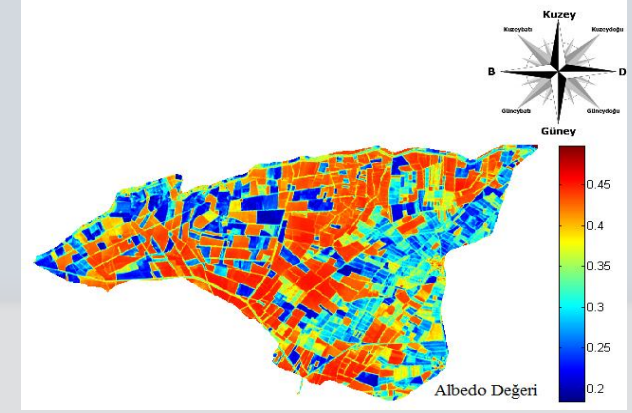
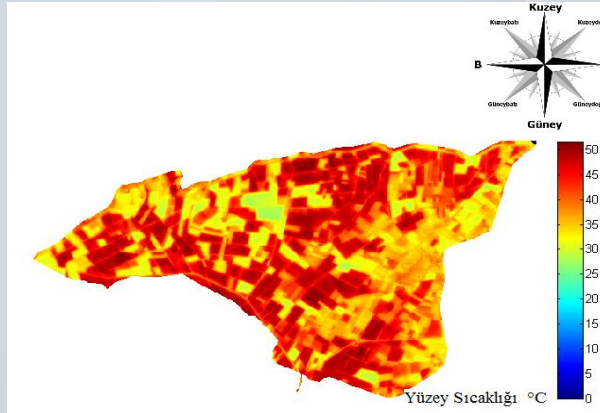
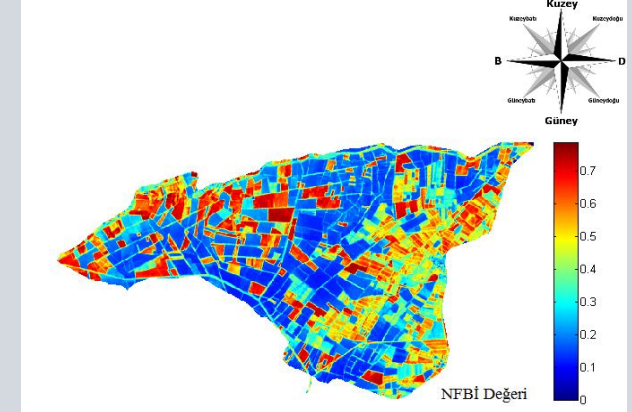
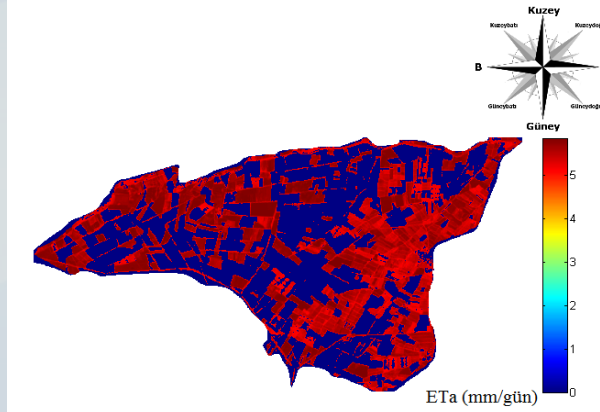


Albedometre Ölçümleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Uygulamalar (28 Nisan 2015 Tarihli Uygulama)

Ortalama Mutlak Hata Değeri (MAE) (mm/gün)	0.4675
Ortalama Karesel Hata Değerinin Karekökü (RMSE) (mm/gün)	0.5713
Ortalama Mutlak Oransal Hata Değeri (MARE) (mm/gün)	0.0890
NFBİ ve ET_a arasındaki Pearson Korelasyon Katsayısı	0.8913

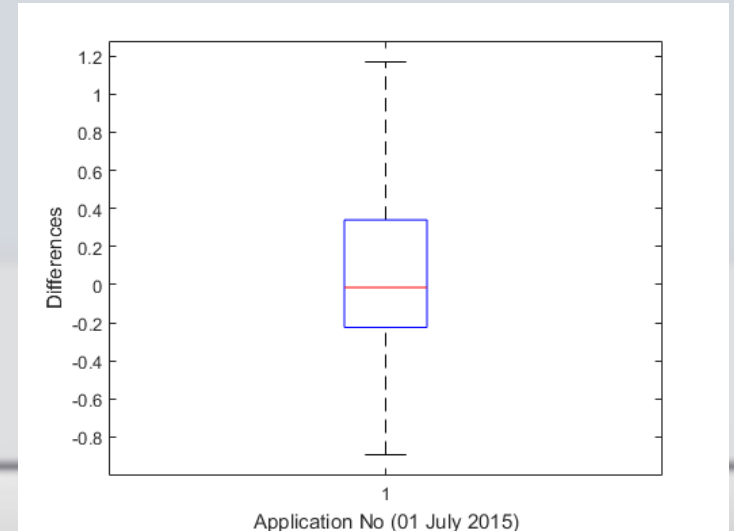
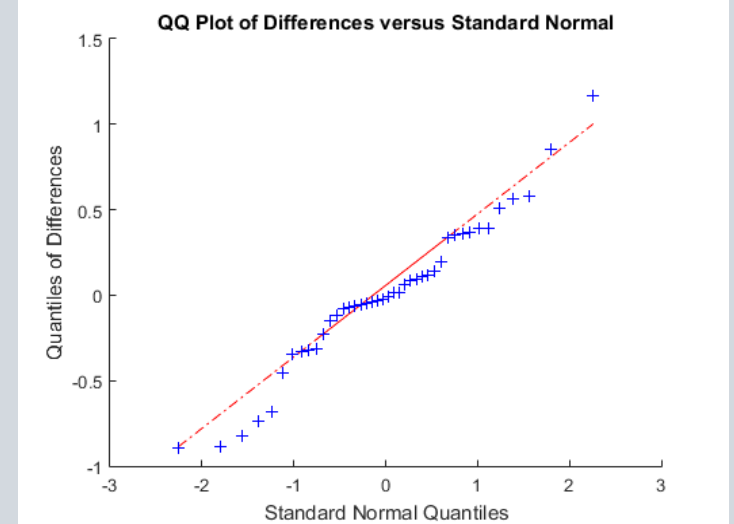
Wilcoxon Eşlenik Çift (İşaret) Testi					
H_0 Hipotezi	P	Pozitif Farklar	Negatif Farklar	Test İstatistiği (T)	Karar ($\alpha=0.05$)
Bulgular Arasında Anlamlı Bir Fark Yoktur	1	7	9	68	H_0 reddedilmez

Albedometre Ölçümleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Uygulamalar (28 Nisan 2015 Tarihli Uygulama)



Albedometre Ölçümleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Uygulamalar (01 Temmuz 2015 Tarihli Uygulama)

Nokta Adı	Bitki Katsayısı Yöntemi (mm/gün)	SEBAL-DS (Jackknife Yöntemi) (mm/gün)
1	6.18	6.18
2	5.91	5.82
3	5.37	6.19
4	5.37	6.11
5	6.18	6.08
6	6.18	5.32
7	6.18	6.22
8	6.18	5.79
9	6.18	6.16
10	6.18	6.07
11	5.37	6.26
12	6.18	6.06
13	6.18	6.20
14	6.18	5.84
15	6.18	6.21
.	.	.
.	.	.
42	6.18	6.03

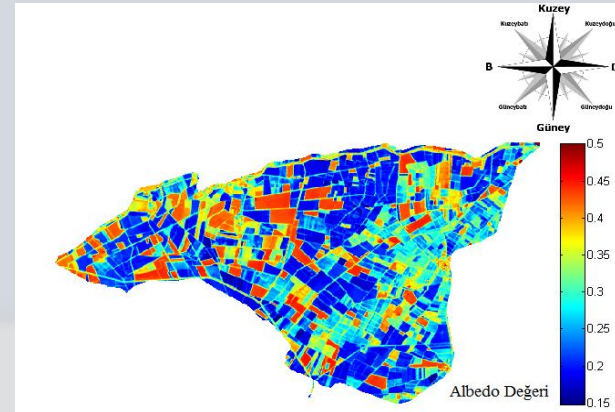
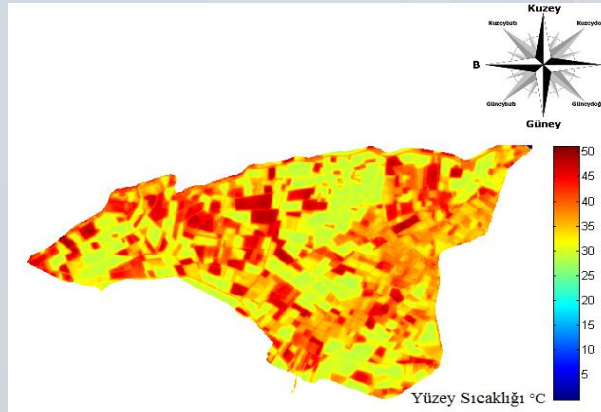
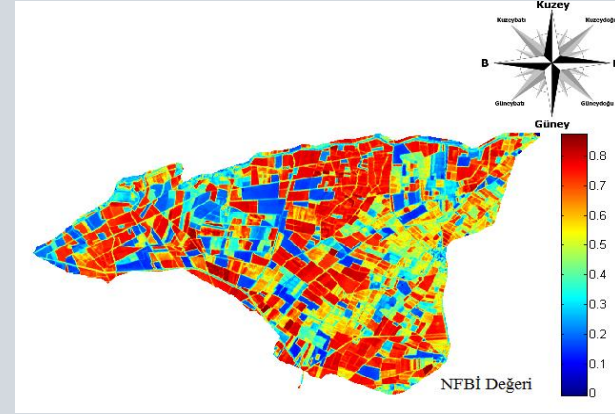
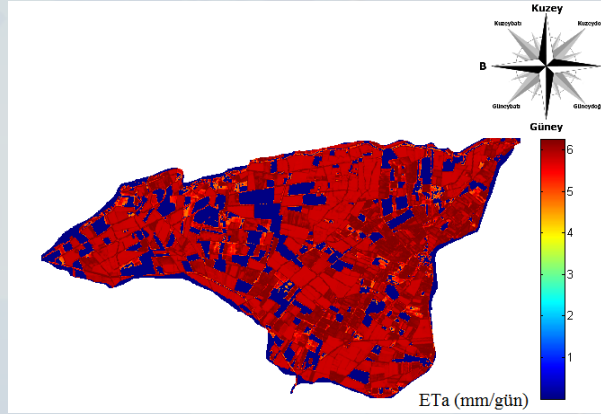


Albedometre Ölçümleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Uygulamalar (01 Temmuz 2015 Tarihli Uygulama)

Ortalama Mutlak Hata Değeri (MAE) (mm/gün)	0.3190
Ortalama Karesel Hata Değerinin Karekökü (RMSE) (mm/gün)	0.4350
Ortalama Mutlak Oransal Hata Değeri (MARE)	0.0540
NFBİ ve ET_a arasındaki Pearson Korelasyon Katsayısı	0.9229

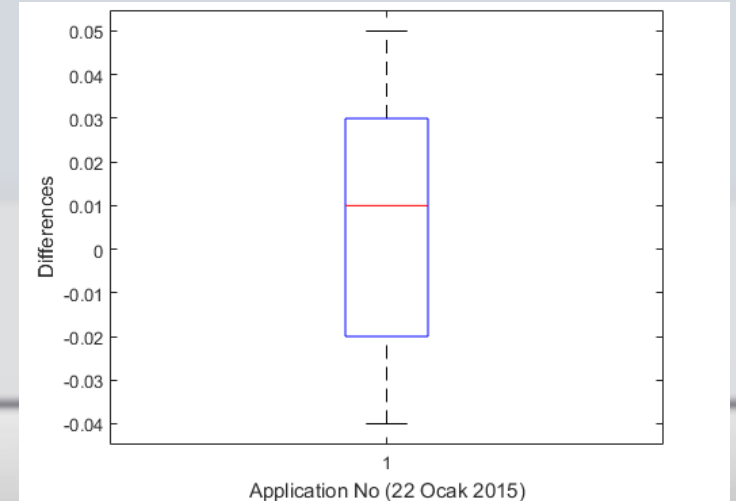
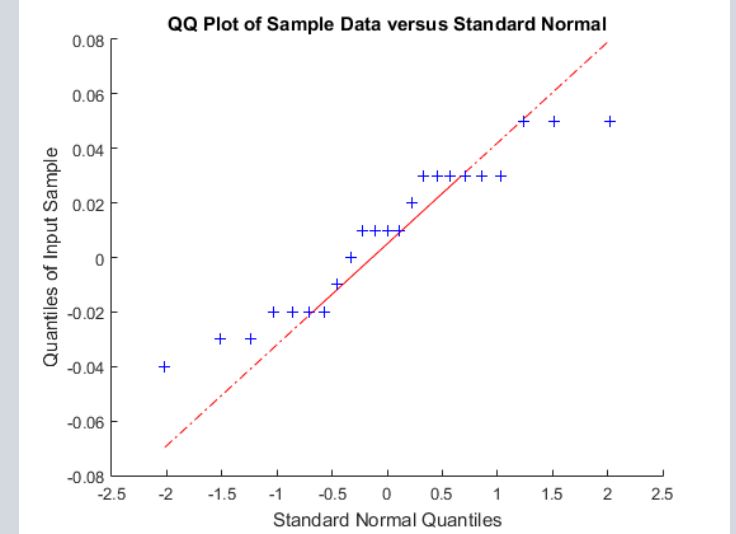
Eşlenik Örnekler T-Testi						
$\alpha= 0.05$	Ort.	Std. Sapma	Std. Hata Ort.	t-Değeri	S.D.	P
Model - Bitki Katsayısı Yöntemi	-0.1410	0.99	0.15	-0.908	41	0.369

Albedometre Ölçümleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Uygulamalar (01 Temmuz 2015 Tarihli Uygulama)



Albedometre Ölçümleri Kullanılmadan Gerçekleştirilen Uygulamalar (22 Ocak 2015 Tarihli Uygulama)

Nokta No	Bitki Katsayısı Yöntemi (mm/gün)	SEBAL-DS (Jacknife Yöntemi) (mm/gün)
1	0.62	0.57
2	0.62	0.64
3	0.62	0.61
4	0.68	0.65
5	0.62	0.61
6	0.62	0.60
7	0.62	0.61
8	0.62	0.59
9	0.62	0.59
10	0.62	0.57
11	0.62	0.57
12	0.62	0.59
13	0.62	0.66
14	0.62	0.64
15	0.62	0.64
.	.	.
.	.	.
23	0.57	0.60



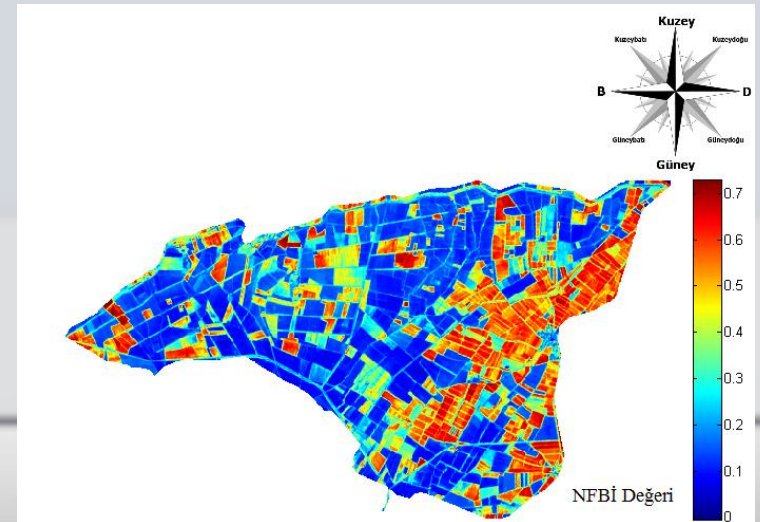
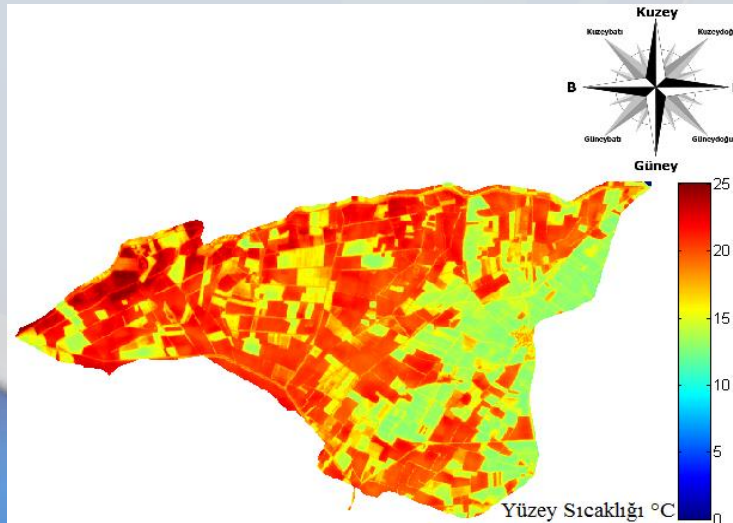
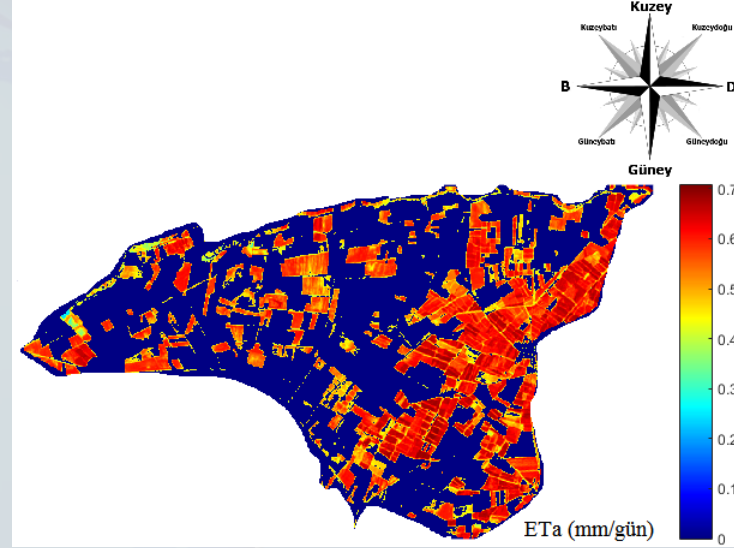
Albedometre Ölçümleri Kullanılmadan Gerçekleştirilen Uygulamalar (22 Ocak 2015 Tarihli Uygulama)

Ortalama Mutlak Hata Değeri (MAE) (mm/gün)	0.0250
Ortalama Karesel Hata Değerinin Karekökü (RMSE) (mm/gün)	0.0280
Ortalama Mutlak Oransal Hata Değeri (MARE)	0.0410
NFBİ ve ET_a arasındaki Pearson Korelasyon Katsayısı	0.8270

Eşlenik Örnekler T-Testi						
$\alpha= 0.05$	Ort.	Std. Sapma	Std. Hata Ort.	t-Değeri	S.D.	P
Model - Bitki Katsayısı Yöntemi	0.00870	0.0278	0.00581	1.498	22	0.148

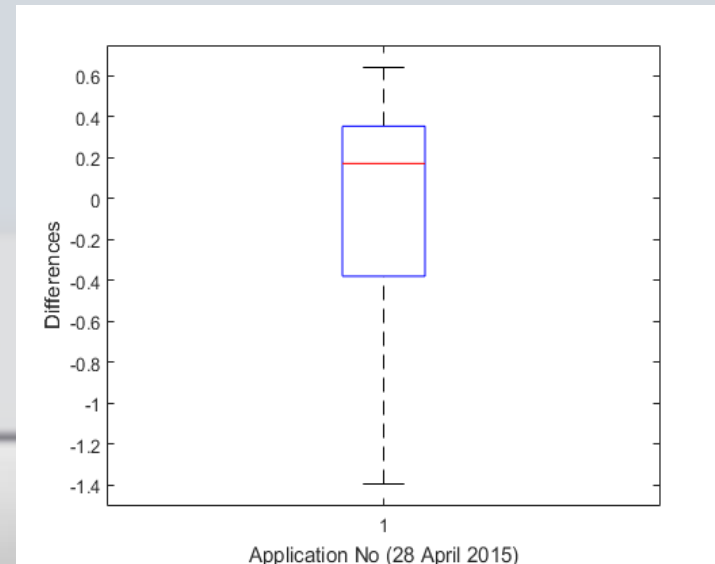
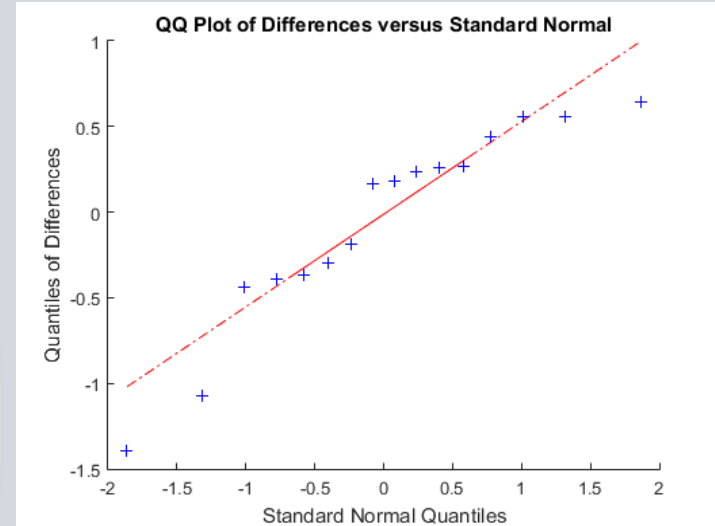
Wilcoxon Eşlenik Çift (İşaret) Testi					
H_0 Hipotezi	P	Pozitif Farklar	Negatif Farklar	Test İstatistiği (T)	Karar ($\alpha=0.05$)
Fark Yoktur	0.154	14	8	83	H_0 reddedilmez

Albedometre Ölçümleri Kullanılmadan Gerçekleştirilen Uygulamalar (22 Ocak 2015 Tarihli Uygulama)



Albedometre Ölçümleri Kullanılmadan Gerçekleştirilen Uygulamalar (28 Nisan 2015 Tarihli Uygulama)

Nokta No	Bitki Katsayısı Yöntemi (mm/gün)	SEBAL-DS (Jacknife Yöntemi) (mm/gün)
1	5.75	5.48
2	5.47	5.91
3	5.75	5.11
4	5.75	5.31
5	4.51	5.59
6	5.47	5.86
7	4.51	5.91
8	5.47	5.66
9	5.47	5.77
10	5.47	5.84
11	5.47	5.29
12	5.75	5.19
13	5.75	5.19
14	5.75	5.59
15	5.75	5.51
16	5.75	5.49

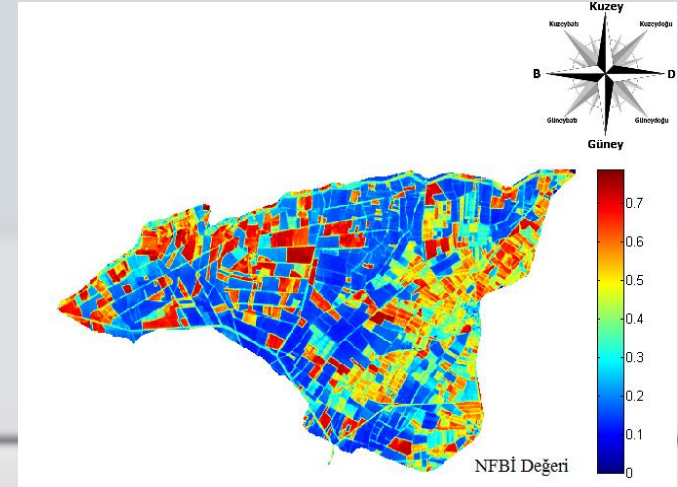
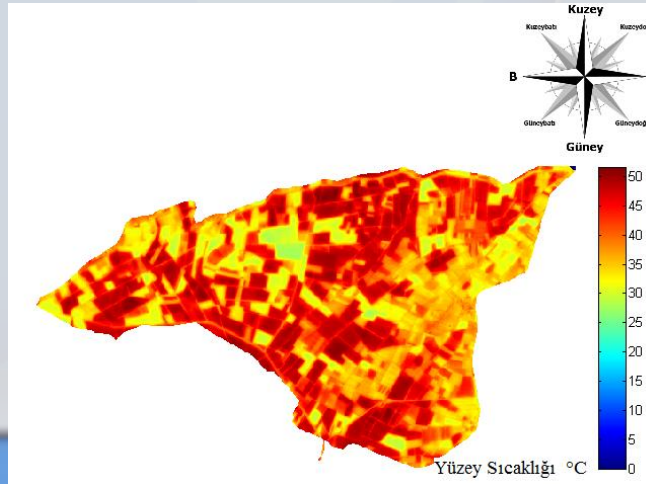
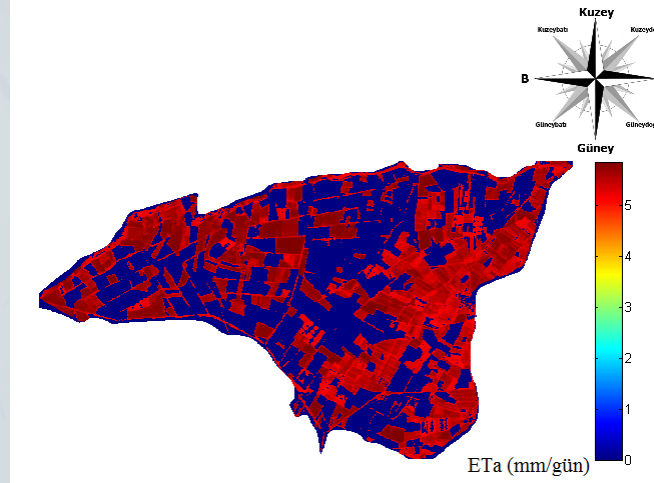


Albedometre Ölçümleri Kullanılmadan Gerçekleştirilen Uygulamalar (28 Nisan 2015 Tarihli Uygulama)

Ortalama Mutlak Hata Değeri (MAE) (mm/gün)	0.4675
Ortalama Karesel Hata Değerinin Karekökü (RMSE) (mm/gün)	0.5713
Ortalama Mutlak Oransal Hata Değeri (MARE)	0.0890
NFBİ ve ET_a arasındaki Pearson Korelasyon Katsayısı	0.8913

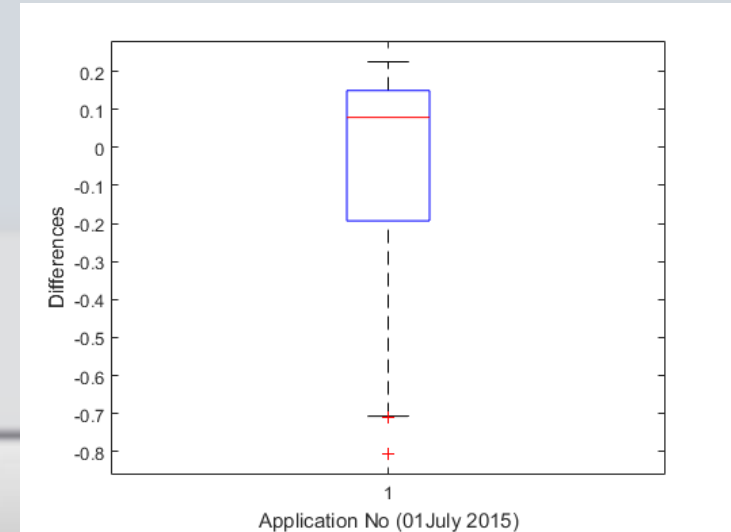
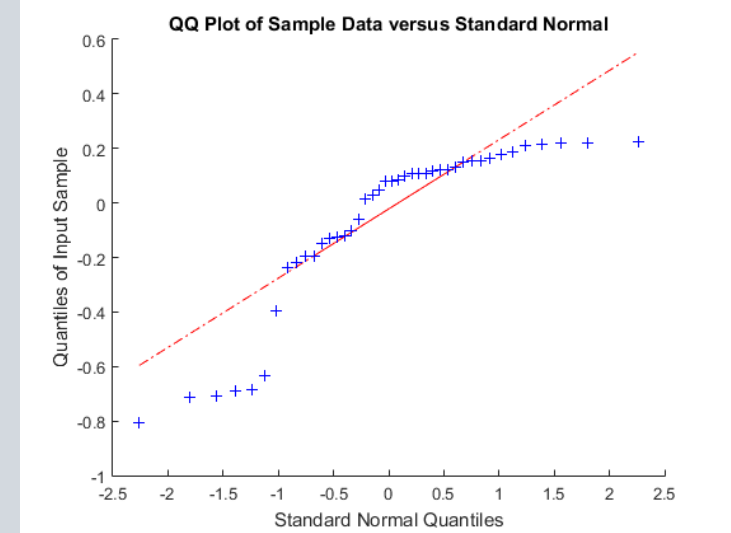
Wilcoxon Eşlenik Çift (İşaret) Testi					
H_0 Hipotezi	P	Pozitif Farklar	Negatif Farklar	Test İstatistiği (T)	Karar ($\alpha=0.05$)
Fark Yoktur	1	7	9	68	H_0 reddedilmez

Albedometre Ölçümleri Kullanılmadan Gerçekleştirilen Uygulamalar (28 Nisan 2015 Tarihli Uygulama)



Albedometre Ölçümleri Kullanılmadan Gerçekleştirilen Uygulamalar (01 Temmuz 2015 Tarihli Uygulama)

Nokta Adı	Bitki Katsayısı Yöntemi (mm/gün)	SEBAL-DS (Jacknife Yöntemi) (mm/gün)
1	6.18	6.02
2	5.91	5.96
3	5.37	6.08
4	5.37	6.00
5	6.18	6.09
6	6.18	6.14
7	6.18	6.02
8	6.18	5.95
9	6.18	6.01
10	6.18	6.08
11	5.37	6.05
12	6.18	6.00
13	6.18	6.06
14	6.18	6.05
15	6.18	6.06
.	.	.
.	.	.
42	6.18	6.09

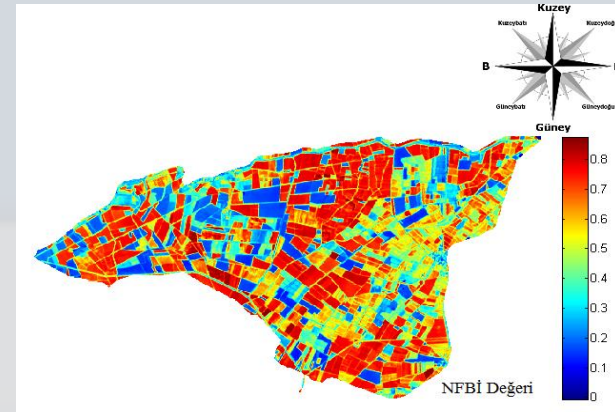
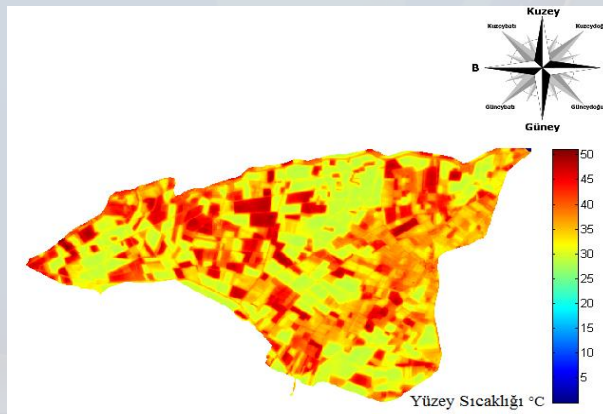
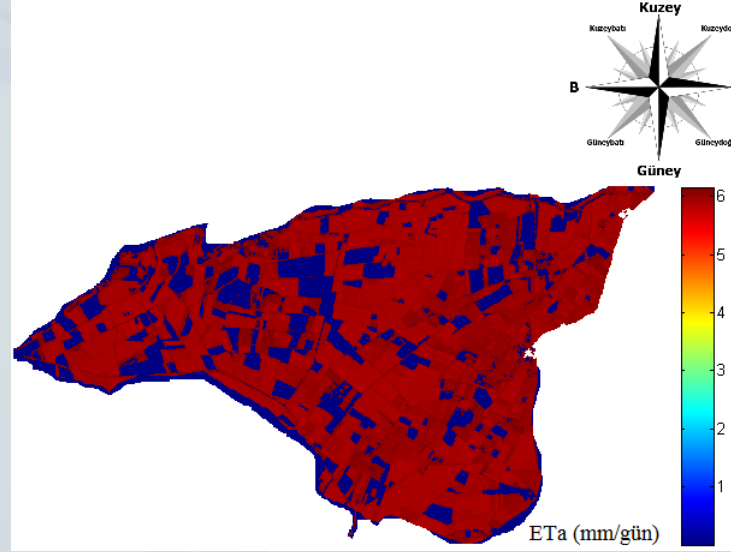


Albedometre Ölçümleri Kullanılmadan Gerçekleştirilen Uygulamalar (01 Temmuz 2015 Tarihli Uygulama)

Ortalama Mutlak Hata Değeri (MAE) (mm/gün)	0.2300
Ortalama Karesel Hata Değerinin Karekökü (RMSE) (mm/gün)	0.4300
Ortalama Mutlak Oransal Hata Değeri (MARE)	0.0390
NFBİ ve ET_a arasındaki Pearson Korelasyon Katsayısı	0.9237

Eşlenik Örnekler T-Testi						
$\alpha= 0.05$	Ort.	Std. Sapma	Std. Hata Ort.	t-Değeri	S.D.	P
Model - Bitki Katsayısı Yöntemi	-0.0590	0.3041	0.0469	-1.258	41	0.215

Albedometre Ölçümleri Kullanılmadan Gerçekleştirilen Uygulamalar (01 Temmuz 2015 Tarihli Uygulama)



Aylık Gerçek Evapotranspirasyon Haritalarının Hesaplanması

$$CET_r = \sum_{j=1}^k (ET_r)_j$$

$$K_m = \frac{CET_r}{ET_r}$$

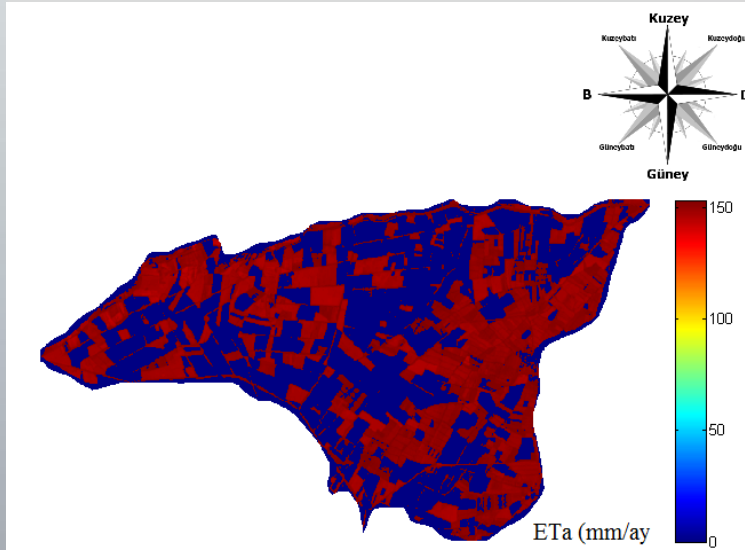
$$CET_a = \sum_{i=1}^n (ET_a)_i \times K_m$$

Aylık gerçek evapotranspirasyon günlük olarak meteorolojik verilerden hesaplanan referans ET'ye bağlı olarak hesaplanmıştır.

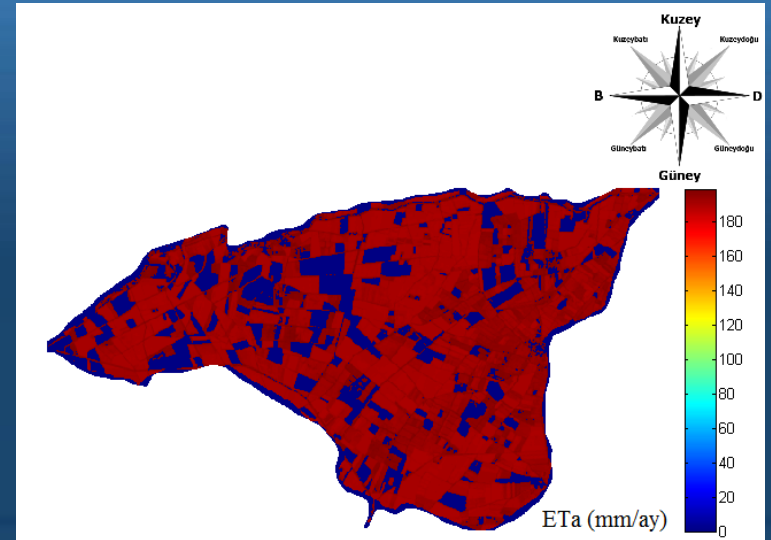
- n görüntü sayısı
- K_m kümülatif çarpım katsayısı
- CET_a hesaplanan kümülatif gerçek evapotranspirasyon değeri
- ET_a hesaplanan gerçek evapotranspirasyon değerini
- CET_r kümülatif referans evapotranspirasyon
- ET_r uydu görüntüsünün alındığı güne ait referans evapotranspirasyon değeri
- k ise bir sezon süresi için gün sayısı

Aylık Gerçek Evapotranspirasyon Haritalarının Hesaplanması

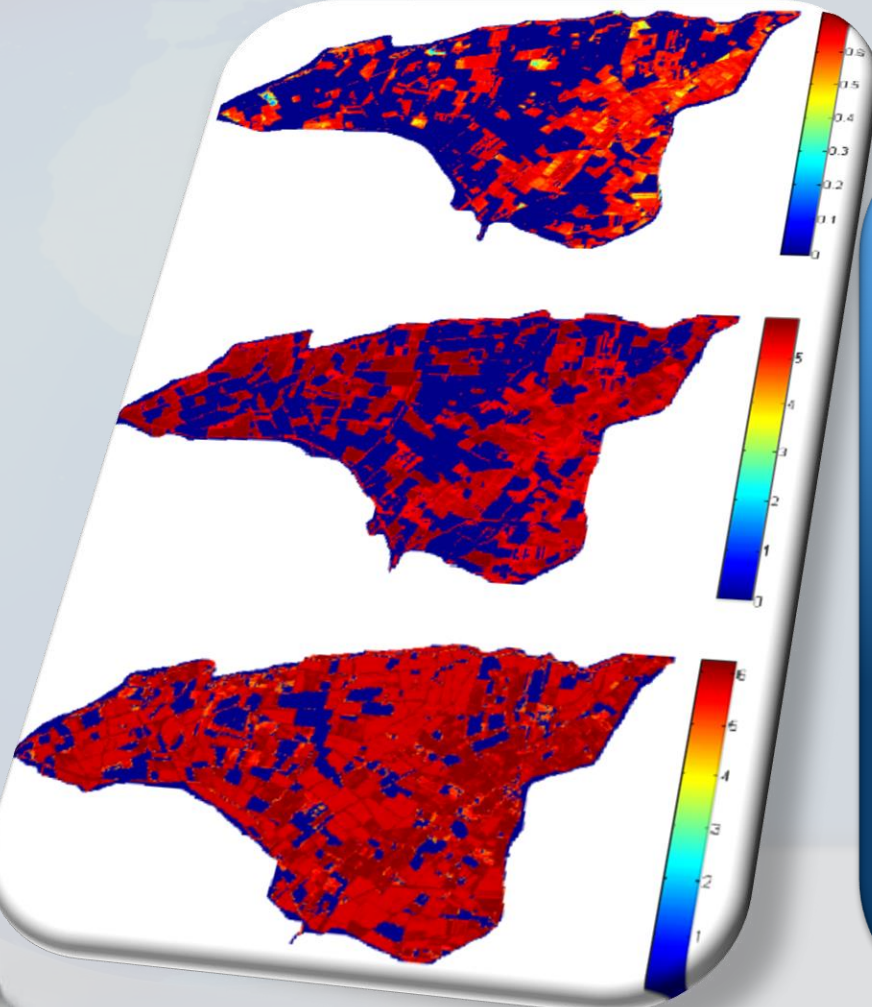
28 Nisan 2015 tarihinin referans evapotranspirasyon değeri 3.76 (mm/gün) olarak hesaplanmıştır. Aylık referans evapotranspirasyon değeri ise 100.25 mm/ay olarak hesaplanmıştır.



01 Temmuz 2015 tarihinin referans evapotranspirasyon değeri 5.38 (mm/gün) olarak hesaplanmıştır. Aylık referans evapotranspirasyon değeri ise 174.22 mm/ay olarak hesaplanmıştır.



Bitki Örtüsü ve Atmosferik Koşulların Değişiminin Model Üzerine Etkileri



- Ocak, Nisan ve Temmuz aylarında yapılan uygulamalarda farklı atmosferik koşullarda uygulamalar yapılmıştır.
- Bulgular incelendiğinde, geliştirilen yaklaşımın, Akarsu Sulama Birliği bölgesinde farklı mevsim ve bitkilerde dahi oldukça başarılı sonuçlar ürettiği istatistiksel olarak ortaya konmuştur.

UZAKTAN ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ İLE EVAPOTRANSPIRASYONUN BELİRLENMESİ SONUÇLAR



Landsat 8 görüntülerinin kullanılabildiği hem albedo ölçümleriyle hem de bu ölçümler olmadan çalışabilen yeni bir yaklaşım (SEBAL-DS) önerilmiştir



Bu tez kapsamında çalışma bölgesinde albedo ölçümleri yapılmış, NFBİ değerleri arasındaki ilişki irdelenmiş ve regresyon eşitlikleri önerilmiştir.



SEBAL-DS ile uç kullanıcı tarafından yapılması gereken uç piksel seçimi yerine DS tabanlı iteratif bir çözüm önerilmiştir.



Yapılan tüm dönüşüm (regresyon denklemleri) ve bulgular İstatistiksel olarak irdelenmiş ve SEBAL-DS 'in başarı ortaya konmuştur.



Önerilen yaklaşım yer kontrol noktaları belirlemek koşuluyla ilgili kurum ve kuruluşlarca kullanılabilir.

UZAKTAN ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ İLE EVAPOTRANSPIRASYONUN BELİRLENMESİ SONUÇLAR



Tez kapsamında Matlab dilinde yazılmış , otomatik olarak ET haritalama yapabilen bir program geliştirilmiştir.



Ayrıca daha önce Landsat 5 görüntüleri ile çalışan bir Matlab Toolbox geliştirilmiş (EvaMapper) ve dünyanın bir çok farklı noktasındaki araştırmacıların kullanımına açılmıştır.

UZAKTAN ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ İLE EVAPOTRANSPIRASYONUN BELİRLENMESİ

Doktora Tezi

Ümit Haluk ATASEVER

Dinlediğiniz için teşekkürler...

T. C. Erciyes Üniversitesi
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

