



T.C.

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

**REFERANS EVAPOTRANSPIRASYON HESABINDA
KULLANILACAK ANDROİD TABANLI BİR UYGULAMANIN
GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NESLİHAN BİRCAN

**Tez Danışmanı
PROF.DR. ÜNAL KIZIL**

ÇANAKKALE – 2023



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

**REFERANS EVAPOTRANSPIRASYON HESABINDA KULLANILACAK
ANDROİD TABANLI BİR UYGULAMANIN GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NESLİHAN BİRCAN

Tez Danışmanı
PROF. DR. ÜNAL KIZIL

ÇANAKKALE – 2023

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Neslihan BİRCAN

14/08/2023

TEŞEKKÜR

“Bu tezin gerçekleştirilmesinde çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Ünal KIZIL’ a yol gösterici tavsiyeleri, sabır ve özverili rehberliği için minnettarlığımı belirtmek isterim, bana kattığı her şey için sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Tez jüri üyelerim Sayın Prof. Dr. Kemal Sulhi GÜNDOĞDU ve Prof. Dr. Gökhan ÇAMOĞLU hocalarıma çalışmama ayırdığı zamanı, değerli eleştirileri ve önerileri için ayrıca teşekkür ederim. Son olarak çalışma süresince yardımlarını ve değerli görüşlerini esirgemeyen Dr. Sefa AKSU hocama ve hayatımın her evresinde bana destek olan, inanan, tüm zorluklara karşı durabilmeyi öğreten çok kıymetli Aile’me sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.”

Neslihan BİRCAN
Çanakkale, Ağustos 2023

ÖZET

REFERANS EVAPOTRANSPIRASYON HESABINDA KULLANILACAK ANDROİD TABANLI BİR UYGULAMANIN GELİŞTİRİLMESİ

Neslihan BİRCAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ünal KIZIL

14/08/2023, 33

Hidrolojik döngünün en önemli parametrelerinden biri olan evapotranspirasyon (ET) ya da bitki su tüketimi, sulama sistemlerinin projelendirilmesi, sulama programlarının hazırlanması için gereklidir bu çalışma ile ET_0 değerlerinin hızlı ve pratik bir şekilde elde edilebilmesi amaçlanmıştır. Akıllı cihaz olarak adlandırılan tablet ve cep telefonlarında en yaygın kullanılan Android işletim sistemleri üzerinde çalışabilen referans evapotranspirasyon hesabı yapan bir uygulama geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulamayla on yedi adımda hesaplanan, birçok meteorolojik veriye ve tablo değerine ihtiyaç duyulan referans bitki su tüketimi değeri sadece il ve enlem derecesi seçimi yapılarak kolayca hesaplanabilmektedir. Meteorolojik veriler Uygulama Programlama Arayüzü (API) bağlantısı gerçekleştirilerek online veri tabanından alınması sağlanmıştır. Akıllı cihazın Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) sensörüyle elde edilen enlem derecesine göre aylık bazı tablo değerleri regresyon eşitlikleri kullanılarak kodlanmıştır. Uygulama Google'ın MIT App Inventor 2 platformunda geliştirilmiştir. Başka sensörlerle bluetooth ve GSM şebekesi üzerinden bağlantı kurabilme yeteneğine sahip olan uygulama yardımıyla sulama sistemlerinin otomasyonunda kullanılabilecek, dinamik, veri transfer ve depolama işlevi de olan bir araç geliştirilmiştir. Bu çalışmada uygulamanın geliştirilme aşama ve yöntemleri tartışılmış örnek bir çözüm hem uygulama ile hem de el ile yapılarak uygulamanın genel performansı değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sulama, Akıllı Cihaz, Evapotranspirasyon, Android İşletim Sistemi, Akıllı Uygulama

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF AN ANDROID-BASED APPLICATION TO BE USED IN REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION ACCOUNT

Neslihan BİRCAN

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Department of Agricultural Structures and Irrigation

Supervisor: Prof. Dr. Ünal KIZIL

14/08/2023, 33

An application that calculates reference plant water consumption or reference evapotranspiration has been developed that can run on Android operating system based tablets and mobile phones, called smart devices. With the developed application, the reference plant water consumption value, which is calculated in 17 steps and needs many meteorological data and table values, can be easily calculated by simply selecting the province and latitude. Depending on the selected province information, the meteorological data are retrieved from the online database by making an Application Programming nterface (API) connection,. According to the latitude obtained with the GPS sensor of the smart device, some monthly table values were coded using regression equations. The application was developed on the MIT App Inventor 2 platform, which is supported by Google and can be coded according to the drag-and-drop technique. With the application, which has the ability to connect with other sensors via Bluetooth and GSM networks, a dynamic tool with data transfer and storage function that can be used in the automation of irrigation systems has been developed. In this study, the development stages and methods of the application were discussed, and a sample solution was evaluated both by application and by hand, and the overall performance of the application was discussed.

Keywords: Irrigation, Smart Device, Evapotranspiration, Android Operating System, Smart Application

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ETİK BEYAN.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	v
TABLolar DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1

İKİNCİ BÖLÜM

KURAMSAL ÇERÇEVE

3

2.1. Bitki Su Tüketimi	4
2.2. Penman-Monteith ve Modifiye Penman-Monteith.....	6
2.3. Android Programlama.....	7
2.4. Önceki Çalışmalar.....	9

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL YÖNTEM

12

3.1. MIT App Inventor II.....	12
3.2. Penman-Monteith Yöntemi ile Referans Bitki Su Tüketiminin Hesaplanması	14
3.3. Eşitlikte Kullanılan Parametrelerin Elde Edilmesi	16
3.4. Uygulama Ara Yüzü ve Kullanılması	20

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

23

BEŞİNCİ BÖLÜM
SONUÇ ve ÖNERİLER

27

KAYNAKÇA	29
EKLER	I
EK 1. ATMOSFERİN DIŞ YÜZEYİNE ULAŞAN RADYASYON DEĞERLERİ...	I
EK 2. SICAKLIK FONKSİYONU DEĞERLERİ.....	II
EK 3. BUHAR BASINCI FONKSİYONU DEĞERLERİ.....	III
EK 4. ORTALAMA HAVA SICAKLIĞINDAKİ DOYGUN BUHAR BASINCI DEĞERLERİ.....	IV
EK 5. GÜNEŞLENME ORANI FONKSİYONU DEĞERLERİ.....	V
EK 6. OLASI MAKSİMUM GÜNEŞLENME SÜRESİ DEĞERLERİ.....	VI

SİMGELER VE KISALTMALAR

FAO	Food and Agriculture Organization (Gıda ve Tarım Örgütü)
TAGEM	Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü
ET	Evapotranspirasyon
ET0	Referans evapotranspirasyon
ETc	Bitki Su Tüketimi
API	Uygulama Programlama Arayüzü
JVM	Java Sanal Makinesi
%	Yüzde oranı
m/s	Metre/Saniye
m	Metre
Kg	Kilogram
T	Sıcaklık
h	Saat
Ort.	Ortalama
GSM	Global Mobil İletişim Sistemi
IOS	iPhone Operating System
Kc	Bitki Katsayısı
Web	World Wide Web (Dünya Çapında Ağ)
SMS	Short Message Service (Kısa Mesaj Hizmeti)
P	Atmosfer Basıncı
kPa	Kilopascal
MJ	Megajul
m ²	Metrekare
°C	Santigrat derece
δ	Buhar basıncı eğrisinin eğimi
γ^*	Modifiye psikometrik sabite
γ	Psikrometrik sabit
P	Atmosfer basıncı
R _n	Bitki yüzeyindeki net radyasyon
R _a	Atmosferin dış yüzeyine ulaşan radyasyon

R_s	Yeryüzüne ulaşan kısa dalgalı radyasyon
$F(T)$	Sıcaklık fonksiyonu
$f(e_d)$	Buhar basıncı fonksiyonu
e_d	Ortalama hava sıcaklığındaki gerçek buhar basıncı
e_a	Ortalama hava sıcaklığındaki doygun buhar basıncı
$f(n/N)$	Güneşlenme oranı fonksiyonu,
G	Zemin ısı değişim yoğunluğu
u_2	2 m yükseklikteki ortalama rüzgâr hızı
u_{10}	10 m yükseklikteki ortalama rüzgâr hızı
n	Güneşlenme süresi
N	Olası maksimum güneşlenme süresi
λ	Buharlaştırma gizli ısı
u_z	Rüzgar hızının ölçüldüğü yükseklik
RH	Ortalama bağıl nem
R^2	Regrasyon Katsayısı
ED	Enlam Derecesi
mm	Milimetre
MB	Megabayt
GPS	Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)

TABLULAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	ET ₀ hesabında kullanılan veriler ve elde edilme yöntemleri	17
Tablo 2	Aylara göre olası maksimum güneşlenme süresi (N) için regresyon eşitlikleri	18
Tablo 3	Aylara göre atmosfer dış yüzeyine ulaşan radyasyon (Ra) için regresyon eşitlikleri	19
Tablo 4	Örnek hesaplamanın yapıldığı konum ve diğer koşullar	24
Tablo 5	Örnek hesaplamanın el ile çözümü	25

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	MIT App Inventor II kullanıcı arayüzü geliştirme penceresi	12
Şekil 2	MIT App Inventor kodlama geliştirme penceresi	13
Şekil 3	Uygulama kullanıcı ara yüzü	21
Şekil 4	Uygulama akış diyagramı	22
Şekil 5	Örnek Rapor	27



BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Hidrolojik döngünün en önemli parametrelerinden biri olan evapotranspirasyon (ET) ya da bitki su tüketimi, sulama sistemlerinin projelendirilmesi, sulama programlarının hazırlanması ve hidrolojik çalışmalarda yoğun şekilde kullanılmaktadır. Bu nedenle ET'nin doğru tahmin edilmesi su dengesi, çevrenin korunması, sulama sistemlerinin tasarımı ve su kaynakları yönetimi için önemlidir. Bitkisel üretimde yetersiz ve gereğinden fazla uygulanan su toprağı, ürünü, tarımsal üretim girdisini ve verimi olumsuz yönde etkiler. Kaliteli ve yüksek verimde ürün elde edilebilmesi için bitki su tüketimi dikkate alınarak en uygun sulama programının oluşturulması gerekir (Karaman vd., 2010; Çakmak vd., 2013)

Evapotranspirasyon, toprak yüzeyinden olan buharlaşma (evaporasyon) ile bitki tarafından yapılan terleme (transpirasyon) sonucu atmosfere aktarılan toplam su buharı olarak da tanımlanabilir (Karaca vd., 2017a; Karaca vd., 2017b). Doğrudan lizimetreler ile belirlenebildiğı gibi iklimsel veriler kullanarak çeşitli ampirik yöntemlerle tahmin de edilebilir. Lizimetreler ET tahmininde en doğru ve güvenilir yöntemlerdir ancak uygulaması zor ve oldukça pahalı bir yöntemdir (Karaca vd., 2017b). Dolayısıyla, ET hesabında kullanılan eşitlikleri, referans bir bitkinin evapotranspirasyon (ET₀) değerlerini kullanarak standartlaştırma fikri ortaya atılmıştır (Jensen, 1968; Jensen vd., 1971).

Penman (1948), enerji dengesi ve kütle transferlerini temel alarak farklı eşitlikler geliştirmiştir. Bu eşitlikler yıllar içerisinde birçok araştırmacı tarafından geliştirilerek bazı sabitelerin kullanımıyla hesaplanabileceğı şekle getirilmiştir. Penman (1948) geliştirdiğı yöntemle güneşlenme, sıcaklık, nem ve rüzgâr hızı gibi iklim değerlerini esas alarak açık su yüzeyinden gerçekleşecek buharlaşmayı formüle etmiştir. Monteith (1981) bu yöntemi aerodinamik ve yüzey direnci faktörlerini de göz önüne alınarak bitkilerden olan terlemeyi de tahmin eden daha kapsamlı bir yönteme dönüştürmüştür. Bu yöntem Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), tarafından, birçok uzman bir araya getirilerek FAO Penman-Monteith adıyla son halini almış ve potansiyel su tüketimi yerine “referans bitki su tüketimi kavramı ile FAO56- PM olarak kullanılmaya başlamıştır (Allen vd., 1994; Allen

vd., 1998). Söz konusu hesaplama birden fazla parametreye bağı veriler kullanılarak karmaşık işlemlerle yapılır. Bu hesaplamayı kolaylaştırabilmek için birçok bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Günümüzde bilgisayar ve yazılım teknolojilerinin sağladığı imkânlar ile oldukça zor olan ET hesaplamaları yapılabilmektedir. Bu yazılımlardan bazıları IRSIS, BUDGET, CROPWAT ve AQUACROP gibi içerisinde sulama programlama olanağı bulunan çeşitleriyle kullanılmaktadır (FAO, 2009; Raes vd., 1988; Raes vd., 2006; Köksal, 2018).

Özellikle bilgi ve iletişim teknolojileri hayatın her alanında olduğu gibi tarım alanında yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır. Böylece tarımsal uygulamaların daha hassas ve sistematik hale gelmesi sağlanmaktadır. Günümüzde yoğun bir şekilde kullandığımız GSM ve internet ile entegre Android ve IOS teknolojilerine dayalı hizmetler bitkisel ve hayvansal ürünlerin üretilmesi, kalite ve verimliliklerinin yükseltilmesi, uygun koşullarda korunması, işlenip değerlendirilmesi ve pazarlaması süreçlerinde mühendisler destek sağlamaktadır. Sulama mühendisliğinde de yeni yaklaşımlar ve teknolojik değişiklikler, mobil ağlar ve uygulamaları kullanmayı zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda yapılacak mobil uygulama çalışmaları ve yeni teknolojilerin uygulanması, iş yükünü önemli ölçüde azaltacağı gibi suyun daha etkin kullanımını sağlayacaktır. Bu çalışmada, referans bitki su tüketimi hesabı yapan Android tabanlı akıllı cihazlarda çalışabilecek kullanımı kolay, herkes tarafından ulaşılabilir bir uygulama geliştirilmesi hedeflenmiştir. Geliştirilen uygulama sayesinde sulama programı oluşturmada kullanılacak olan hesaplama adımları arazi koşullarında dahi hızlı ve pratik bir şekilde yapılabilir hale gelmiştir.

İKİNCİ BÖLÜM

KURAMSAL ÇERÇEVE

Sulama, bitkilerin büyüme ve gelişme sürecinde ihtiyaç duydukları suyun sağlanması işlemidir. Sulama, bitkilerin yetiştirildiği alanlarda doğal yağış miktarının yetersiz olduğu durumlarda veya bitkilerin su ihtiyacını karşılamak için yapay olarak gerçekleştirilir (Lazarova vd., 2020). Bu süreç, bitkilerin büyümesi, gelişmesi ve ürün verimi için gereklidir (Allen vd., 1998).

Bitkilerin su ihtiyacı, büyüme aşamalarına, türlerine ve yetiştirildikleri çevre koşullarına bağlı olarak değişir. Su, bitkilerin büyümesi, fotosentez yapması, besinlerin taşınması ve sıcaklık düzenlenmesi gibi temel fonksiyonları için gereklidir. Bitkiler su ihtiyaçlarını topraktan çeken kök sistemleri aracılığıyla karşılar. Kökler, topraktaki suyu ve mineralleri emer ve bitkinin diğer kısımlarına taşır. Bu süreç, suyun bitkilerde dolaşımını ve bitkinin su ihtiyacının karşılanmasını sağlar (Allen vd., 1998).

Sulama, bitkilerin sağlıklı büyümesini ve verimli bir şekilde ürün vermelerini sağlamak için önemli bir tarım uygulamasıdır (Geçoğlan, 1999). Doğru sulama yöntemleri ve suyun uygun miktarının kullanılması, bitkilerin ihtiyaçlarını karşılarken su kaynaklarının sürdürülebilir şekilde kullanılmasını sağlar (Jensen vd., 1990). Bu nedenle, tarım alanlarında uygun sulama yöntemlerinin seçilmesi ve su kaynaklarının etkin kullanımı büyük bir önem taşır.

Sulama yöntemleri, bitkilere suyun etkili bir şekilde ulaştırılmasını sağlayan farklı tekniklerdir. Yüzey sulaması, tarla yüzeyine suyun yayılarak bitkilere ulaştığı bir yöntemdir. Bu yöntem, düşük maliyetli olup kolay uygulanabilir, Ancak, suyun verimli kullanımını zorlaştırabilir ve toprak erozyonuna yol açabilir (Meral, 2017).

Damla sulama yöntemi, bitkilerin kök bölgelerine doğrudan suyun damlacıklar halinde verildiği bir yöntemdir. Bu yöntem, suyun ihtiyaç duyulan miktarda ve doğrudan

bitkilere verilmesini sağlar, böylece su tasarrufu sağlanır. Damla sulama sistemi, su buharlaşmasını azaltarak topraktaki suyu tutar ve bitkilerin su ihtiyacını optimal düzeyde karşılar (Aras, 2006).

Yağmurlama sulama yöntemi ise suyun yüksek basınçlı püskürtme veya püskürtme başlıkları aracılığıyla bitkilere dağıtıldığı bir sulama yöntemidir. Bu yöntem, tarlanın geniş bir alanını kaplayabilir ve bitkilerin büyüklüğüne ve su ihtiyacına göre ayarlanabilir. Yağmurlama sulama sistemi, suyun daha homojen bir şekilde dağılmasını sağlar ve bitkilerin suya eşit erişimini sağlar (Çetin vd., 2010).

2.1. Bitki Su Tüketimi

Bitki su tüketimi ve su ihtiyacının belirlenmesi, ürün ve kalitesi bakımından son derece önemli bir konudur. Bitki su ihtiyacı ve sulama stratejileri, tarımsal üretimde verimlilik ve sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşır. Bitkilerin ihtiyaç duyduğu su miktarını belirlemek ve uygun sulama yöntemlerini kullanmak, su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılmasını sağlar ve bitki büyümesini destekler (Allen vd.,1998; Allen vd., 2006).

Bitki su ihtiyacının belirlenmesi için birçok faktör göz önünde bulundurulmalıdır. Araştırmalar, bitki türü, çevresel koşullar, toprak özellikleri ve hava durumu gibi faktörlerin bitki su ihtiyacını etkilediğini göstermektedir (Chaves vd., 2020). Örneğin, Chaves vd. (2020) tarafından yapılan bir araştırma, bitkilerin su stresine yanıt olarak fotosentez ve büyüme stratejilerini nasıl değiştirdiğini incelemiştir. Bu çalışma, bitki su ihtiyacının belirlenmesi ve su stresine dayanıklı bitki çeşitlerinin seçilmesi konusunda önemli bir kaynak olarak kullanılabilir.

Bitki su ihtiyacının belirlenmesi için evapotranspirasyon hesaplamaları da yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Evapotranspirasyon, bitkilerin yüzeyden su buharlaştırması ve bitki dokuları aracılığıyla suyun atmosfere taşınması sürecidir (Monteith, 1965; Jensen, vd., 1990). Bu süreç, bitkilerin su ihtiyacını karşılamak için

önemlidir ve tarımsal sulama ve su kaynakları yönetimi açısından önemli bir parametredir. Referans bitki su tüketimi (ET_0) ise belirli bir bitki türüne ve belirli büyüme koşullarına sahip bir referans bitkinin, ideal yetişme koşullarında ne kadar su tükettiğini temsil eden bir değerdir (Allen vd., 1998).

ET_0 , bitkilerin su buharı kaybını temsil eden evapotranspirasyon (ET) oranının referans noktasını temsil eder. Ayrıca, iklim koşulları, bitki örtüsü ve diğer çevresel faktörler gibi bir dizi değişkene bağlı olarak farklılık gösterebilir. Bu değer doğru bir şekilde hesaplanması, bitkilerin optimal büyüme ve verimlilik düzeylerine ulaşmasında önemli rol oynar (Allen vd., 1998; Penman, 1948).

Evapotranspirasyon hesaplama yöntemleri, referans bitki su tüketimini tahmin etmek için kullanılan farklı matematiksel modeller ve formülleri içerir. En yaygın kullanılan yöntemler arasında Penman-Monteith, Jensen-Haise, Priestley-Taylor ve Hargreaves-Samani gibi yöntemler bulunmaktadır (Karaca vd., 2017b).

Penman-Monteith yöntemi, FAO tarafından önerilen ve en yaygın kullanılan referans evapotranspirasyon hesaplama yöntemidir (Allen vd., 1998; Penman, 1948). Bu yöntem, meteorolojik verileri, bitki özelliklerini ve toprak parametrelerini dikkate alarak referans evapotranspirasyonu hesaplar. Jensen-Haise yöntemi, iklim verilerine dayanarak referans evapotranspirasyonunu tahmin eder (Jensen vd., 1971). Priestley-Taylor yöntemi, potansiyel buharlaşma oranını kullanarak referans evapotranspirasyonu tahmin eder (Raes vd., 1988). Hargreaves-Samani yöntemi ise minimum ve maksimum sıcaklık verilerini kullanarak referans evapotranspirasyonunu hesaplar (Hargreaves ve Samani, 1985).

Bu yöntemler arasında avantaj ve dezavantajlar bulunmaktadır. Penman-Monteith yöntemi, en doğru sonuçları veren ve çeşitli bitki türleri ve koşulları için uygulanabilir olan kapsamlı bir yöntemdir. Ancak, meteorolojik verilere ihtiyaç duyduğu için veri gereksinimleri ve hesaplama karmaşıklığı yüksektir. Diğer yöntemler ise daha basit ve veri

gereksinimleri daha az olan alternatiflerdir, ancak spesifik bitki türleri veya iklim koşulları için belirli sınırlamalara sahip olabilirler (Şarlak ve Bağçacı, 2020).

2.2. Penman-Monteith ve Modifiye Penman-Monteith

Penman-Monteith yöntemi ve Modifiye Penman-Monteith yöntemi, bitki su tüketimini hesaplamak için kullanılan iki farklı evapotranspirasyon (ET) hesaplama yöntemidir. (Allen vd.,1998)

Penman-Monteith yöntemi, atmosferdeki su buharı basınç gradyanını ve bitki su alımını ayrıntılı bir şekilde hesaplamak için kullanır. Sıcaklık, rüzgâr hızı, bağıl nem, güneş radyasyonu ve atmosferik basınç gibi çeşitli meteorolojik verilerin yanı sıra bitki özelliklerini içeren karmaşık denklemler seti kullanır. Bu yöntem, profesyonel su kaynakları yönetimi ve sulama projeleri gibi daha ileri düzeydeki uygulamalar için yaygın olarak kullanılır (Allen vd.,1998).

Modifiye Penman-Monteith yöntemi, Penman-Monteith yönteminden türetilmiş ve hesaplama yöntemini basitleştiren bir yaklaşımdır. Bu yöntemde, bazı tahminler ve yaklaşımlar kullanarak hesaplama süreci daha kolay hale getirilmiştir. Örneğin, ortalama rüzgâr hızı, minimum ve maksimum sıcaklık gibi verileri basitleştirir. Bu yöntem, araştırma örnekleri, kullanım materyalleri ve daha genel su yönetimi uygulamaları gibi alanlarda yaygın olarak kullanılır (Allen vd.,1998).

Özetlemek gerekirse, Penman-Monteith yöntemi daha karmaşık bir işlem süreci gerektirirken, Modifiye Penman-Monteith yöntemi daha basit bir çözüme dayanır. İkinci yöntem, bazı tahminlerle hesaplamayı kolaylaştırır ve genellikle daha yaygın olarak tercih edilir (Allen vd.,1998).

Modifiye Penman-Monteith ise meteorolojik verileri kullanarak referans evapotranspirasyonu tahmin etmek için geliştirilmiştir. ET_0 , bitkilerin buharlaşma ve terleme yoluyla atmosfere su buharı kaybıdır. Belirli zamanlarda atmosferin buharlaşma

gücünü ifade eder. Yetiştirilen ürünün özelliklerini ve bulunduğu toprak faktörlerinden bağımsız hesaplanır. Elde edilen ET_0 değeri Bitki Katsayısı (K_c) ile çarpılarak ET elde edilir (Allen vd.,1998).

2.3. Android programlama

Android uygulama geliştirme sürecinde Java ve Kotlin gibi programlama dilleri kullanılır. Java, Oracle tarafından sunulan bir programlama dilidir. Nesne oluşturmaya ve genel amaçlıdır, yani farklı platformlarda çalışabilen uygulamaları oluşturmak için kullanılabilir. Java, yazılım geliştiricilere platform bağımsız bir ortam sağlar, başka bir ifade ile bir kez girilen bir Java programını farklı şekilde çalıştırabilir. Java programları, Java Virtual Machine (JVM) adı verilen bir sanal makine üzerinde çalışır. JVM, Java bytecode'u (derlenmiş Java kodu) gerçek makine koduna çevirir ve işletim sistemi üzerinde çalıştırır. Bu, Java uygulamalarının farklı tablet sistemleri ve donanım üzerinde çalışabilmesini sağlar. Java'nın güçlü yanlarından biri, zengin bir standart kütüphane sunması ve geniş bir geliştirici topluluğuna sahip olmasıdır (Friesen, 2016; Java, 2021).

Linux, Linus Torvalds tarafından üretilen açık kaynaklı bir tablet sistemidir. Linux, genellikle sunucular, süper bilgisayarlar ve mobil cihazlar gibi farklı bellekler kullanılır. Linux, ekran, performans, güvenlik ve özel yürütmelik gibi özellikler ile öne çıkar. Linux, birçok çeşidi olan (Ubuntu, Fedora, Debian, vb.) bir işletim sistemidir ve ücretsiz olarak kullanılabilir. Linux, açık kaynaklı olması nedeniyle geliştiriciler tarafından sürekli olarak güncellenir ve geliştirilir (Linux, 2021).

Google Dalvik VM, özellikle Android tablet sistemi için geliştirilmiş bir sanal makinedir. Android uygulamaları, Java belgeleri ve Dalvik VM tarafından çalıştırılır. Dalvik VM, Android uygulamalarının çalıştırılabilmesi için Java bytecode'u yerine Dex (Dalvik Executable) adı verilen bir formatı kullanır. Dex, daha küçük boyutlu ve daha etkili bir şekilde çalışabilen özel bir formattır. Dalvik VM, Android işlemci sistemi için optimize edilmiş bir sanal makinedir ve düşük bellek ve işlemci gücü kullanımını sağlar (Dalvik VM, 2021).

Android programlama, mobil cihazlar için uygulama geliştirmeyi amaçlar. Android, Google tarafından bir geliştirilmiş bir işletim sistemidir ve günümüzde geniş bir kullanıcı kitlesine sahiptir. İşletim sistemi, farklı marka ve modellerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Android, açık kaynaklı bir platform olmasıyla da geliştiricilere hız ve özgürlük sunar (Android Geliştiricileri, 2021).

Android programlama, 2003 yılında Andy Rubin, Rich Miner, Nick Sears ve Chris White tarafından kurulan Android Incorporated Őirketi (Inc.) tarafından ilk kez tanıtıldı. Őirket, mobil cihazlar için daha gelişmiş ve kullanıcı dostu bir cihaz sistemi geliştirmeye başladı. 2005 yılında Google tarafından satın alınan Android Inc., Android işletim sistemini geliştirmeye devam etti. 2008 yılında, ilk Android işletim sistemine sahip cihaz olan HTC Dream (T-Mobile G1) piyasaya sürüldü ve bu, Android işletim sisteminin başlangıcını temsil etti (Android Geliştiricileri, 2021).

Başlangıçta Android, Java programlama dili üzerinde yoğunlaşmıştı ve Java dili, Android uygulama geliştiriminin ana dillerinden biri olarak kabul edilmekteydi. Java, nesne oluşturmalı bir programlama dili olup, basit ve anlaşılır söz dizimiyle geliştiricilere kolaylık sağlar. Android uygulama geliştiricileri, Java yöntemlerini kullanarak kullanıcı değerlendirmelerini sağlar, veri işleme modellerini gerçekleştirebilir ve sistem kaynaklarına erişebilir (Friesen, 2016).

Android uygulamaları, mobil işletimde sistemi çalışan ve çeşitli işlevler sunan yazılımlardır. Bu uygulamalar, Android işletim sistemi üzerinde çalışan ve Google Play Store gibi platformlardan indirilebilen dosyalardır. Android uygulamaları, kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılamak, eğlence sağlamak, bilgi sunmak veya belirli bir görevi yerine getirmek gibi amaçlarla geliştirilir. Bu uygulamalar, geniş bir yelpazede farklı kategorileri içerir. Örneğin, sosyal medya uygulamaları, haber ve hava durumu uygulamaları, oyunlar, e-ticaret uygulamaları, sağlık ve spor uygulamaları, üretkenlik araçları ve daha fazlası gibi çeşitli türlerde uygulamalar mevcuttur. Her bir uygulama, belirli bir amaca hizmet etmek için geliştirilmiştir (Android Geliştiricileri, 2021).

Android uygulama geliştirmede kullanılan platform Google tarafından çıkarılmış ve Massachusetts Institute of Technology tarafından geliştirilerek MIT App Inventor adıyla kullanıma sunulmuştur. Daha sonra güncellenerek MIT App Inventor 2 versiyonu yayınlanmış olan platform ücretsiz bir uygulama geliştirme aracı sunmaktadır. MIT Media Lab tarafından sağlanan bu platform, görsel programlama arayüzü ve blok temelli bir programlama dili sunar, bu da geliştiricilere karmaşık kod yazma olmadan uygulamaları oluşturmayı kolaylaştırır. Basit temelli programlama yaklaşımına dayanmaktadır (MIT App Inventor, 2021).

2.4. nceki alışmalar

Allen vd. (1994) alışmasında FAO Penman-Monteith denklemini kullanarak çim referans evapotranspirasyonu (ET) hesaplamada kullanılacak denklemler ve prosedürleri hem saatlik hem de 24 saatlik hesaplamalar için sunmuştur. Denklemler, toplu bir yüzeye sahip 0.12 m krpılmış imden buharlaşma olarak tanımlanan varsayımsal çim referansı ET_0 'ı temsil eder. Net radyasyon ve buhar basıncı açığını hesaplamaya yönelik denklemler, hesaplama gereksinimlerini azaltmak için basitleştirilmiş formlarda sunulmuştur. Varsayımsal im referansını temsil eden direnç parametreleri için hesaplamalar, geleneksel bir denklem formuyla sonuçlanan Penman-Monteith denkleminde birleştirilmiştir.

Allen vd. (1998), bitki su gereksinimlerinin hesaplanmasında kullanılan rehber niteliğinde bir kaynaktır. FAO tarafından yayınlanmış olan bu belgede, bitki su tüketiminin hesaplanması için çeşitli yöntemler ve formüller sunulmaktadır.

FAO (2009), Cropwat yazılımının kullanımı hakkında ayrıntılı bilgiler içeren kaynak bir kılavuz hükmündedir. Cropwat, bitki su tüketimi ve sulama gereksinimlerini hesaplamak için yaygın olarak kullanılan bir araçtır.

Karaca vd. (2017b) su tasarrufu yönetimi, sulama ürünleri tasarımı, uygun sulama programlaması ve çevrenin korunması için bitki su tüketiminin (ETc) belirlenmesinin

önemini vurgulamıştır. Çalışmada ET_0 'nun belirlenmesi için bugüne kadar geliştirilmiş 71 adet farklı yöntem derlenmiştir, bunların 9 adeti pan değişkenine dayalı, 15 adeti sıcaklığa, 22 adet radyasyona, 14 adet kütle aktarımına ve 11 adet kombinasyona dayalı olarak elde edilmiştir. Bu kombinasyonlar farklı iklim koşullarına uygun ET_0 performanslarının değerlendirilmesiyle karşılaştırılmıştır. FAO56-PM etkilerinin genellikle diğer yöntemlere göre en doğru tahminlerin ölçüldüğü ve standart bir yöntem olarak kabul edildiği görülmüştür. Pan tahminine dayalı tahmini genellikle düşük tahminler yaparken, sıcaklığa dayalı tahmini az miktarda iklimsel veri için alternatif bir seçenek olabilir. Maksimum ve minimum sıcaklık ölçümlerinin kullanılması radyasyona dayalı yöntemlerde daha doğru tahminler yapılmasına yardımcı olmaktadır. Bu çalışma, farklı iklimlerde ET_0 tahminlerinin sınırlandırılması ve en uygun yöntemlerin seçilmesi için önemli bir kaynak sağlar.

Karaca vd. (2017a), çalışmasında farklı ET_0 hesaplama yazılımları olan DailyET, CROPWAT, DSS_ET, REF_ET, ETo Calculator, IAM_ETo ve ETO programları karşılaştırmıştır. Bu yazılımların hepsi ücretsiz olarak kullanılabilir, ancak REF-ET programında genel yazılımlar için teknik destek sunulmamaktadır. Farklı zaman aralıklarında ET_0 değerlerini hesaplamadaki değişkenliklerini gösterirler; ET_0 ve DailyET yazılımları sadece günlük veya aylık ET_0 değerlerini hesaplayabilirken, sezonluk değerleri hesaplanamaz. CROPWAT yazılımı her ay için günlük ortalama ET_0 değerlerini hesaplayabilir, ancak her gün için ayrı ayrı hesap yapılamaz. DSS_ET, IAM_ETo ve ETo Calculator yazılımlarıyla günlük, 10 günlük, aylık ve sezonluk ET_0 değerleri hesaplanabilirken, REF-ET, günlük, 10 günlük, aylık ve sezonluk ET_0 değerlerini hesaplayabilir. Bu yazılımlar farklı Windows sürümleriyle uyumluluk gösterir, yazılımların bir kısmı güncelliğini yitirmiş olmakla beraber (Daily ET ve IAM_ETo) bir kısmı günceldir ve internet ortamından indirilmesi mümkündür. CROPWAT ve ETo Calculator hesaplamaları Penman-Monteith eşitliğini esas alırken diğerleri birden fazla ET_0 hesaplama versiyonlarını kullanır. CROPWAT ve ETo Calculator yazılımları FAO tarafından geliştirilmiş olup CLIMWAT yazılımıyla tümleşik dünya genelindeki birçok meteorolojik istasyon verisine erişim sağlar. Bu sebeple bölgesel olarak kullanım alanı geniştir ve hesaplamada avantajlıdır. Basit kullanım yönünden DailyET, ETO ve CROPWAT yazılımlarının diğerlerine göre öne çıkmakta olduğu ifade edilmiş ve diğer yazılımlar daha

karmaşık olup daha fazla bilgi ve deneyim gerektirdiğini Karaca vd. (2017a) bu çalışmasında ortaya koymuştur.

Köksal (2018) çalışmasında, bitkisel üretimde sulama, gübreleme, ilaçlama ve ekonomik değerlendirme gibi konularda destek sağlamayı hedefleyen bir yazılım olan AGROS'u bitki su üretimi ve sulama yönetimi modülünün, Bafra'da 2010 yılında yapılan bir arazi denemesiyle değerlendirmiştir. AGROS yazılımı ile uyumlu bir şekilde bitki su kullanımı ve sulama programlamasında etkili olduğunu sonucuna varmış. Gelecekte, AGROS'un daha yaygın kullanımıyla birlikte kullanıcı geri bildirimlerinin yazılımın gelişmesine katkıda bulunacağı öngörüldüğünü ortaya koymuştur.

TAGEM-SuET (2023) yazılımı, Türkiye'nin 81 ilinde yetiştirilen bitkiler için sulama programları oluşturulması amacı ile hazırlanmıştır. Yazılım, ilgili denetimi eklediği alanı meteorolojik istasyon kümelerini kullanarak Referans Bitki Su Tüketimi (ET_0) hesaplamasını yapar. Bu hesaplama için farklı yöntemler (Std. Penman Monteith, Blaney Criddle, Makking, Priestly and Taylor, Jensen-Haise, Hargreaves, Turc) kullanılabilir. Ayrıca toprak özellikleri ve sulama yöntemi seçimi de yapılabilir. En uygun sulama programı belirlendikten sonra, bu program çeşitli şekillerde (xlsx, docx, pdf, jpeg, vb.) kaydedilebilir ve istenilen şekilde düzenlenebilen bir yazılım ortaya koymuş ve kullanıcılara sunmuştur.

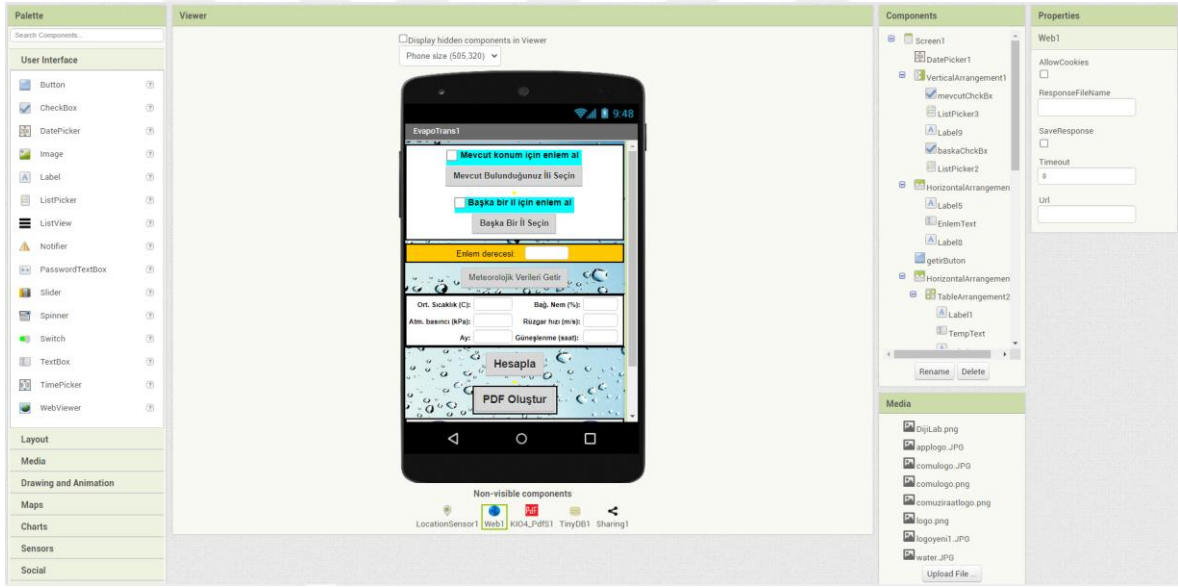
Sonuç olarak, referans evapotranspirasyon hesaplamalarıyla ilgili literatürde önemli çalışmalar bulunmaktadır. Hızla gelişen günümüz teknolojilerinin sunduğu imkanlardan istifade ederek günlük hayatımızın hemen her alanında kullanılan mobil cihazları sulamada kullanılabilir duruma getirmek bu tez çalışmasının en önemli hedefidir. İnternet bağlantısı, değişik sensörler, veri transfer ve depolama imkanları sunan akıllı mobil cihazlarda kullanılan ve tamamen açık kaynak kodlu bir yazılım platformunda geliştirilen uygulama ile yerli, Türkçe ve kullanımı kolay bir sistem geliştirilmiştir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. MIT App Inventor II

MIT App Inventor 2 ücretsiz bir uygulama geliştirme aracı sunmaktadır. Kullanıcıların Android işletim sistemi için blok kodlama yöntemiyle uygulama geliştirmesine olanak sağlayan (App Inventor, 2021) platform MIT App Inventor 2 web tarayıcısını kullanmaktadır. Bu platform iki ana çalışma ekranından oluşmaktadır. Birinci ekranda uygulamanın kullanıcı arayüzü tasarlanmaktadır (Şekil 1).



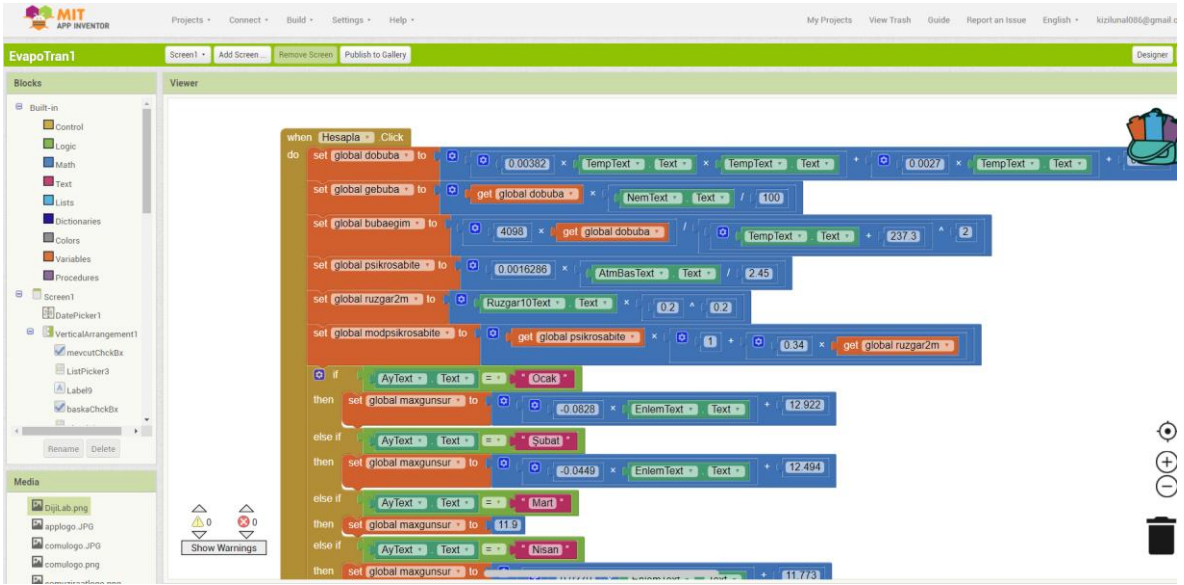
Şekil 1. MIT App Inventor II kullanıcı arayüzü geliştirme penceresi

Sanal bir Android cihaz üzerinde, uygulamada kullanılacak tüm bileşen, donatı ve sensörler istenilen yerleşim planı dahilinde yerleştirilmiştir. Burada standart textbox, label ve button gibi arayüz elemanlarının haricinde farklı bileşen ve eklentiler (extensions) de kullanılmıştır. Bunlar, konum bilgilerini almak için LocationSensor, Internet üzerinden meteorolojik verileri alabilmek için Web, verileri akıllı cihazda depolayabilmek için TinyDB, sonuçları bir PDF dosyası halinde özetleyebilmek için KIO4_PDFS ve hesaplama

sonucu elde edilen verilerin başka akıllı cihazlara e-posta, WhatsApp mesajı veya SMS olarak gönderilmesini sağlayabilmek için Sharing bileşen veya eklentileridir.

Bu aşamadaki görsel tasarım tamamen kullanıcının tercihlerine ve amaca göre gerçekleştirilmiştir. ET_0 hesabında kullanılacak en önemli parametreler meteorolojik veriler ve bu verilere ulaşabilmek için gerekli konum bilgileridir. Burada kullanılan konum sensörü (Location Sensör) bileşeni cihazın GPS sensörü verilerini alarak adres bilgisine ve enlem derecesi bilgisine dönüştürmektedir.

Bu akış mantığına göre görsel arayüzü tasarlanan uygulamanın ikinci aşamada ise kodlamaları sürükleyip bırakarak blok kodlama yöntemiyle farklı bir ekranda (Blocks) yapılmaktadır (Şekil 2). Bu aşamada kullanıcı arayüzünde kullanılmış her bir bileşen ve eklentinin hangi fonksiyonları nasıl gerçekleştireceği ve elde edilen sonuçların nasıl yönlendirileceği kodlanmaktadır. Başka bir ifadeyle bileşen ve eklentiler fonksiyonel hale getirilmektedir.



Şekil 2. MIT App Inventor kodlama geliştirme penceresi

Kodlamaların yapılabilmesi için gerekli mantıksal ve matematiksel işlemler için farklı şekil ve renkteki bloklar bir araya getirilerek kodlama işlemi yapılmıştır. Örneğin Şekil 2’de “Hesapla” butonuna basıldığında hangi değişkenlerin oluşturulacağı, bunların hangi verileri alarak hangi parametreleri hesaplanacağı görülmektedir.

Uygulama bu şekilde hazırlandıktan sonra örnek bir hesaplama el ile yapıp sonuçlar kıyaslanmış ve gerekli hata ayıklamaları yapılarak uygulamanın apk dosyası hazır hale getirilmiştir.

3.2. Penman-Monteith Yöntemi ile Referans Bitki Su Tüketiminin Hesaplanması

Çalışmanın temelini oluşturan ve FAO 56 tarafından modifiye edilmiş Penman-Monteith eşitliği (Eşitlik 1) aşağıda verilmiştir. Eşitlikteki parametreler konumsal ve mevsimsel bilgilere dayalı meteorolojik verilerdir. Dolayısıyla, referans evapotranspirasyon hesabının en önemli aşaması söz konusu verilere sahip olabilmektir. Uygulamanın geliştirilmesinde, birçok çizelgeden ve meteorolojik veri kaynaklarından elde edilen bu verilerin kısa sürede elde edilmesi ve çizelge değerlerinin regresyon eşitlikleri sayesinde belirlenmesi başlıca iş yükünü oluşturmuştur.

$$ET_0 = \frac{\delta}{\delta + \gamma^*} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{\delta + \gamma^*} \frac{900}{(T + 275)} u_2 (e_a e_d) \quad (1)$$

Eşitlikte kullanılan parametreler ve onların hesaplamasında kullanılan yardımcı eşitlikler ise şöyledir;

$$\delta = \frac{4098 e_a}{(T + 237.3)^2} \quad (2)$$

$$\lambda = 2.501 - (2.361 \times 10^{-3})T \quad (3)$$

$$\gamma = 0.0016286 \frac{P}{\lambda} \quad (4)$$

$$\gamma^* = \gamma(1 + 0.34u_2) \quad (5)$$

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (6)$$

$$R_{ns} = 0.75R_s \quad (7)$$

$$R_{nl} = 2.451 f(T)f(e_d)f\left(\frac{n}{N}\right) \quad (8)$$

$$R_s \cong (0.25 + 0.50 \frac{n}{N})R_a \quad (9)$$

$$e_d = e_a \frac{RH}{100} \quad (10)$$

$$u_2 = u_z \left(\frac{z}{Z}\right)^{0.2} \quad (11)$$

Eşitliklerde;

E_{t0} : Referans evapotranspirasyon (mm/gün),

δ : Buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa/°C),

γ^* : Modifiye psikometrik sabite (kPa/°C),

γ : Psikrometrik sabit (kPa /°C),

P : Atmosfer basıncı (kPa),

R_n : Bitki yüzeyindeki net radyasyon(MJ/m²/gün),

R_a : Atmosferin dış yüzeyine ulaşan radyasyon (MJ/m²/gün),

R_s : Yeryüzüne ulaşan kısa dalgalı radyasyon (MJ/m²/gün),

R_{ns} : Kısa dalgalı net radyasyon (MJ/m²/gün),

R_{nl} : Uzun dalgalı net radyasyon (MJ/m²/gün),

$F(T)$: Sıcaklık fonksiyonu,

$f(e_d)$: Buhar basıncı fonksiyonu,

e_d : Ortalama hava sıcaklığındaki gerçek buhar basıncı (kPa),

e_a : Ortalama hava sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı (kPa),

$f(n/N)$: Güneşlenme oranı fonksiyonu,

G : Zemin ısı değişim yoğunluğu ($MJ/m^2/gün$),

T : Sıcaklık ($^{\circ}C$),

u_2 : 2 m yükseklikteki ortalama rüzgâr hızı (m/s),

n : Güneşlenme süresi (h),

N : Olası maksimum güneşlenme süresi (h),

G : Topraktaki ısı akımı ($MJ/m^2/gün$)

λ : Buharlaşma gizli ısı, (MJ/kg) (Ort. bir değer olarak $2.45 MJ/kg$ alınabilir),

u_z : Rüzgâr hızının ölçüldüğü yükseklik (m),

RH : Ortalama bağıl nem (%).

Hesaplamaları yapmak için bölgeye ait iklim verileri ve Ortalama hava sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı (kPa), Olası maksimum güneşlenme süresi (h), Atmosferin dış yüzeyine ulaşan, Sıcaklık fonksiyonu, Buhar basıncı fonksiyonu, Güneşlenme oranı fonksiyonu çizelgelerinin çizelge değerlerinin kullanılabilmesi için enlem derecesi gibi verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Ele alınan verilerin çizelgelere kullanılmasıyla eşitliklerde kullanılacak parametreler hesaplanmaktadır.

3.3.Eşitlikte Kullanılan Parametrelerin Elde Edilmesi

Uygulama ile meteorolojik verilere göre referans evapotranspirasyonun hızlıca ve minimum veri girişi sağlayarak hesaplanması hedeflenmektedir. Bu amaçla, gerekli bazı veriler API (Uygulama Programlama Ara yüzü) kullanılarak online meteorolojik veri sitesinden çekilmektedir. Gerekli verilerin bu şekilde elde edilebilmesi için hesaplamanın

yapıldığı ilin seçilmesi gerekmektedir. Seçilen il referans alınarak gerekli günlük meteorolojik veriler otomatik olarak kaynak siteden ekrana getirilmektedir. Hesaplamalarda kaynak siteden çekilen meteorolojik veriler ortalama günlük sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), atmosfer basıncı (kPa), ortalama günlük bağıl nem (%), ortalama rüzgâr hızı (m/s) ve günlük güneşlenme süresi (saat)' dir.

Kullanılan diğer parametreler ise Eklerde sunulmuş olan çizelgelerden elde edilmektedir. Çizelgelerdeki değerlerin bir kısmı API kullanılarak elde edilmiş olan günlük ortalama sıcaklık değerine göre hesaplanmaktadır. Bir kısmı ise hesaplamanın yapıldığı konumun enlem derecesine ve aya göre belirlenmektedir. Bu aşamada enlem derecesinin bilinmesi gerekmektedir. Enlem derecesi belirlenirken ya akıllı cihazın (telefon veya tablet) GPS sensörü kullanılarak daha gerçekçi bir değer elde edilmektedir ya da her ili temsilen uygulamanın veri tabanına girilmiş olan değer seçilebilmektedir. Ay ise kullanılan akıllı cihazın tarih bilgisinden kodlama ile otomatik olarak elde edilmektedir. Uygulamanın hesaplama aşamalarında kullanılan çizelgelerden elde edilen veriler ve bu verilerin nasıl elde edildiği aşağıda verilmiştir (Tablo 1). Diğer parametreler de yukarıda verilmiş olan eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 1

ET_0 hesabında kullanılan veriler ve elde edilme yöntemleri

Parametre	Sembol	Kaynak
Ortalama hava sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı (kPa)	e_a	Ortalama günlük sıcaklığa bağlı olarak gerekli çizelgeden
Olası maksimum güneşlenme süresi (h)	N	Hesaplamanın yapıldığı ay ve enlem derecesine bağlı olarak gerekli çizelgeden
Atmosferin dış yüzeyine ulaşan radyasyon ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{gün}$),	R_a	Hesaplamanın yapıldığı ay ve enlem derecesine bağlı olarak gerekli çizelgeden
Sıcaklık fonksiyonu	$f(T)$	Ortalama günlük sıcaklığa bağlı olarak gerekli çizelgeden
Buhar basıncı fonksiyonu	$f(e_a)$	Ortalama hava sıcaklığındaki gerçek buhar basıncı (e_a) için çizelgeden
Güneşlenme oranı fonksiyonu	$f(n/N)$	n/N oranına bağlı olarak gerekli çizelgeden

Gerekli verilerin çizelgeleri kullanarak belirleyebilmek için regresyon eşitlikleri hazırlanmıştır. Aşağıda günlük ortalama sıcaklığın (T) bir fonksiyonu olarak doygun buhar basıncının (e_a) belirlendiği regresyon eşitliği ve ilgili R^2 değeri verilmiştir.

$$e_a = 0,0038T^2 + 0,0027T + 0,7614 \quad (R^2 = 0,999) \quad (12)$$

Olası maksimum güneşlenme süresi (N) enlem derecesine (ED) göre her bir ay için ayrı ayrı geliştirilmiş regresyon eşitlikleriyle belirlenmiştir. Aylık olası maksimum güneşlenme süresini veren regresyon eşitlikleri ve R^2 değerleri aşağıda verilmiştir (Tablo2).

Tablo 2

Aylara göre olası maksimum güneşlenme süresi (N) için regresyon eşitlikleri

Eşitlik	Ay	R^2	Eşitlik No
$N = -0,0828ED + 12,922$	Ocak	0,989	(13)
$N = -0,0449ED + 12,494$	Şubat	0,968	(14)
$N = 11,9$	Mart	1,000	(15)
$N = 0,0379ED + 11,773$	Nisan	0,984	(16)
$N = 0,0803ED + 11,193$	Mayıs	0,998	(17)
$N = 0,1ED + 11$	Haziran	1,000	(18)
$N = 0,0893ED + 11,189$	Temmuz	0,987	(19)
$N = 0,0562ED + 11,513$	Ağustos	0,988	(20)
$N = 0,0163ED + 11,877$	Eylül	0,856	(21)
$N = -0,0335ED + 12,501$	Ekim	0,979	(22)
$N = -0,0651ED + 12,565$	Kasım	0,995	(23)
$N = -0,0936ED + 13,037$	Aralık	0,998	(24)

Benzer şekilde atmosferin dış yüzeyine ulaşan radyasyon (R_a) değeri de her ay için ve enlem derecesine bağlı olarak geliştirilen regresyon eşitlikleriyle hesaplanmıştır (Tablo 3).

Tablo 3

Aylara göre atmosfer dış yüzeyine ulaşan radyasyon (R_a) için regresyon eşitlikleri

Eşitlik	Ay	R^2	Eşitlik No
$R_a = -0,6042ED + 39,769$	Ocak	0,999	(25)
$R_a = -0,0726ED^2 + 4,3439ED - 32,354$	Şubat	0,927	(26)
$R_a = -0,4443ED + 45,644$	Mart	0,996	(27)
$R_a = -0,2729ED + 45,758$	Nisan	0,982	(28)
$R_a = -0,0929ED + 43,571$	Mayıs	0,922	(29)
$R_a = 44,20$	Haziran	1,000	(30)
$R_a = 40,91$	Temmuz	1,000	(31)
$R_a = -0,0165ED^2 + 1,1041ED + 19,473$	Ağustos	0,981	(32)
$R_a = -0,3629ED + 45,151$	Eylül	0,999	(33)
$R_a = -0,5443ED + 45,244$	Ekim	0,991	(34)
$R_a = -0,6016ED + 41,227$	Kasım	0,999	(35)
$R_a = -0,63ED + 39,171$	Aralık	0,999	(36)

Sıcaklık fonksiyonu $f(T)$ da günlük ortalama sıcaklığın bir fonksiyonu olarak geliştirilmiş regresyon eşitliği kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$f(T) = 0,1979T + 10,77 \quad R^2 = 0,997 \quad (37)$$

Buhar basıncı fonksiyonu (f_{ed}) ortalama hava sıcaklığındaki gerçek buhar basıncı (e_d) için verilmiş çizelge değerlerinin regresyon eşitliğine dönüştürülerek hesaplanmıştır.

$$f_{ed} = 0,0057 e_d^2 - 0,0754 e_d + 0,2731 \quad R^2 = 0,991 \quad (38)$$

Günlük güneşlenme süresinin (n) olası maksimum günlük güneşlenme süresi (N) oranına bağlı olarak (GO) da güneşlenme oranı fonksiyonu için de aşağıdaki regresyon eşitliği geliştirilmiştir.

$$f(n/N) = 0,9008GO + 0,1021 \quad R^2 = 0,999 \quad (39)$$

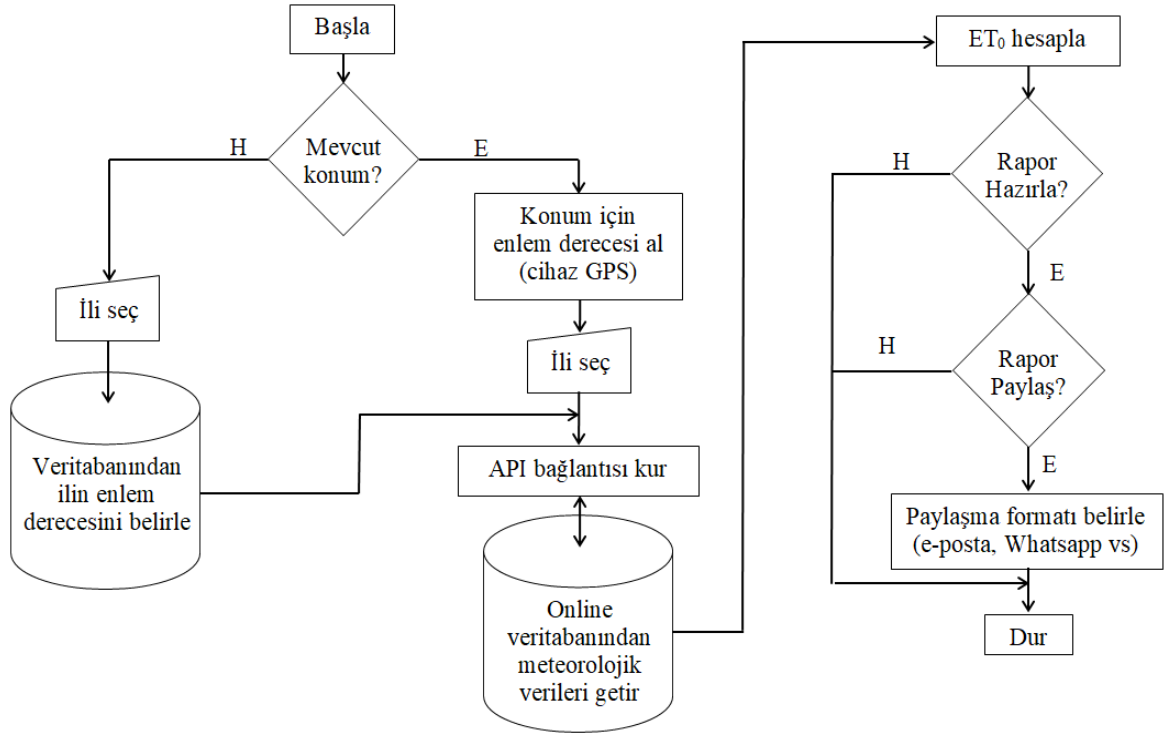
3.4. Uygulama Ara Yüzü ve Kullanılması

Uygulamanın kullanıcı ara yüzüne ait ekran görüntüsü Şekil 3’de verilmiştir. Hesaplama adımları yukarıdan aşağıya doğru takip edilmektedir. İlk aşamada hesaplama yapılacak il ve o ile ait enlem derecesinin seçilmesi gerekmektedir. Burada “Mevcut konum için enlem al” seçeneği tercih edildiğinde mevcut bulunan konumun enlem derecesi cihazın GPS sensörü marifetiyle otomatik olarak ekrana getirilmektedir. Eğer başka bir konum için hesaplama yapılacaksa “Başka bir il için enlem al” seçeneği tercih edilmelidir. Bu seçenek tercih edildiğinde “Başka Bir İl Seçin” düğmesine basılarak hesaplamanın yapılacağı il ve o ili temsil eden enlem derecesi uygulamanın veri tabanından seçilmektedir. Şayet hesaplama yapılacak konumun enlem derecesi biliniyorsa doğrudan ekrandaki Enlem derecesi veri giriş hanesine el ile de yazılabilir.



Şekil 3. Uygulama kullanıcı ara yüzü

Bu şekilde konum ve il verisi seçildikten sonra yapılması gereken şey o güne ait meteorolojik verilerin sağlanmasıdır. Bu ise “Meteorolojik Verileri Getir” düğmesine basıldığında API bağlantısı üzerinden otomatik olarak gerçekleşmektedir. Burada da yine alternatif olarak el ile veri girişi yapılarak başka bir güne ait veriler hesaplamada kullanılabilir. Bu aşamadan sonra “Hesapla” düğmesine basılarak o gün için referans bitki su tüketimi hesaplanmaktadır. Uygulamanın sağladığı diğer bir avantaj ise el ile çözüm yapıldığında toplam 17 adımda gerçekleşen hesaplamaların bütün adımlarını detaylı bir rapor olarak da hazırlayabilmesidir. Bunun için “PDF Oluştur” düğmesine basmak yeterlidir. Açılacak olan yeni ekranda bütün aşamalar ve kullanılan parametreler detaylı bir rapor halinde hazırlanacaktır. Açılan bu rapor sayfasının üstünde bulunan “PDF Paylaş” düğmesine basılarak da hazırlanmış olan rapor pdf formatında elektronik posta yoluyla ya da WhatsApp mesajı eklentisi olarak paylaşılabilir. Bununla ilgili örnek bir sonraki bulgular ve tartışma bölümünde verilecektir. Geliştirilmiş olan uygulamanın çalışma prensibinin daha iyi anlaşılabilmesi için akış diyagramı Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Uygulama akış diyagramı

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

Referans bitki su tüketimi hesabında kullanılan Penman-Monteith yöntemi ampirik eşitliklere dayanan hesaplama teknikleri arasında en yaygın kullanıma sahip olan yöntemlerden birisidir. Dolayısıyla söz konusu yöntemi esas alarak geliştirilecek yazılım ve/veya uygulamalarda esas incelenmesi ve tartışılması gereken noktalar geliştirilen söz konusu uygulama/yazılımların kullanım kolaylığı, erişilebilirliği, hesaplamalarda olabilecek muhtemel hatalar ve ileride farklı amaçlara uygun olarak modifiye edilebilme ya da başka bir ifadeyle sağladığı esneklikler olmalıdır. Bu anlamda geliştirilen uygulamanın çok farklı örneklerle test edilmesi sağlanmıştır.

Yukarıda da açıklandığı üzere geliştirilen uygulama akıllı bir telefon kullanabilme becerisine sahip herkes tarafından rahatlıkla kullanılabilir olacak kolaylıktadır. Sadece 2 veri seçimi (il ve enlem) ile referans bitki su tüketimi hesaplanabilmektedir. Burada kullanım aşamasında meteorolojik verilerin çekilmesi ve mevcut konum için enlem derecesinin alınması konusunda dikkat edilmesi gereken noktalar vardır. API bağlantısı üzerinden meteorolojik verilerin alınabilmesi için uygulamanın çalıştığı cihazın internet bağlantısı sağlaması gerekmektedir. Hesaplama eğer mevcut bulunulan konum için yapılacaksa ve eğer iç ortamda iken enlem derecesi bilgisi alınacaksa cihazın GPS sensörünün enlem derecesi bilgisini alması anında olmayabilir ve yaklaşık 20-30 saniyelik bir gecikme söz konusu olabilir. Bu yüzden mümkünse enlem derecesinin açık havada alınması önerilir. Kapalı ortamda alınacaksa pencere kenarına giderek ve biraz hareket ederek bu süre kısaltılabilir.

Uygulamanın akıllı cihazlara yüklenebilmesi için iki alternatif yöntem mevcuttur. Geliştirilen uygulamanın Google Play Store üzerinde yayınlanması ve böyle kullanıcılar tarafından erişimin sağlanması en yaygın yöntemdir. Diğer bir yöntem ise MIT App Inventor II'de geliştirme işlemi tamamlandıktan sonra apk uzantılı dosyanın USB bağlantısı üzerinden ya da elektronik posta ile kurulumun yapılacağı cihaza gönderilip standart kurulum aşamalarının takip edilmesidir. Bu çalışmada geliştirilen uygulama

sadece 6,05 MB boyutunda olup mail ile ya da diğer veri taşıma yöntemleriyle rahatlıkla taşınabilmektedir. Bu bağlamda kolay ve hızlı bir şekilde erişim ve kurulum sağlanarak kullanıma geçilebilecektir.

Uygulamanın kodlanması aşamasında söz konusu formüllerin ve geliştirilen regresyon eşitliklerinin doğru bir şekilde girilip girilmediğini görebilmek için örnek bir hesaplama hem el ile hem de uygulama ile çözülmüştür. Söz konusu örnek çözüm için hesaplanın yapıldığı il ve gerekli diğer veriler aşağıda özetlenmiştir (Tablo 4).

Tablo 4

Örnek hesaplanın yapıldığı konum ve diğer koşullar

İl:	Ankara
Enlem derecesi (ED):	39° 57'
Hesaplanın yapıldığı ay:	Temmuz
Ortalama günlük sıcaklık (T):	23.1 °C
10 M'de ölçülen rüzgâr hızı (u_{10}):	3,6 m/s
Ortalama günlük bağıl nem (RH):	%42
Günlük güneşlenme süresi (n):	12 h 27 dak.
Atmosfer basıncı (P):	91.08 kPa

Uygulama başka bir il, ay ve bilinen meteorolojik veriler için çalıştırılacağı için bütün veriler veri tabanından seçilmiş olan Ankara iline ait enlem derecesi ve için hesaplanmıştır. Ayrıca hesaplanın yapılacağı ay için ise yine akıllı cihazın tarih modu kullanılmamış olup “Temmuz” ayı el ile girilmiştir. Tablo 4'teki verilerin el ile girilmiş hali yukarıda Şekil 3' de verilmiştir. Yine aynı şekilde girilen verilerle hesaplanan referans bitki su tüketiminin 6,31 mm/gün olduğu görülmektedir. Bu bağlamda sonucun doğruluk derecesinin tartışılabilmesi için gerekli hesaplama el ile yapılmış, işlem aşamaları ve sonuç Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5

Örnek hesaplamaların el ile çözümü

Aşama No	İşlem
1	$e_a = 2,83 \text{ kPa}$ (23,1 °C için) (EK 4)
2	$e_d = e_a \frac{RH}{100} = 2,83x = e_a \frac{42}{100} = 1,19 \text{ kPa}$
3	$\delta = \frac{4098e_a}{(T + 237,3)^2} = \frac{4098x2,83}{(23,1 + 237,3)^2} = 0,171 \text{ kPa/}^\circ\text{C}$
4	$\gamma = 0,0016286 \frac{P}{\lambda} = 0,0016286 \frac{91,08}{2,45} = 0,0605 \frac{\text{kPa}}{^\circ\text{C}}$
5	$u_z = u_z \left(\frac{2}{z}\right)^{0,2} = 3,6x \left(\frac{2}{10}\right)^{0,2} = 2,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
6	$\gamma^* = \gamma(1 + 0,34u_z) = 0,0605x(1 + 0,34x2,6) = 0,114 \frac{\text{kPa}}{^\circ\text{C}}$
7	$N = 14,7$ (h 39° 57' enlemi ve Temmuz ayı için) (Ek 6)
8	$n/N = 12,45/14,7 = 0,85$
9	$R_a = 40,9 \text{ MJ/m}^2/\text{gün}$ (39° 57' enlemi ve Temmuz ayı için) (EK 1)
10	$R_s = (0,25 + 0,50 n/N) R_a = (0,25 + 0,50 + 0,85) x 40,9 = 27,6 \text{ MJ/m}^2/\text{gün}$
11	$R_{ns} = 0,75x R_s = 0,75x27,6 = 20,7 \text{ MJ/m}^2/\text{gün}$
12	$f(T) = 15,2$ (23,1 °C için) (EK 2)
13	$f(e_d) = 0,19$ ($e_d = 1,19 \text{ kPa}$ için) (EK 3)
14	$f(n/N)$ ($n/N = 0,85$ için) = 0,87 (EK 5)
15	$R_{nl} = 2,451 f(T)f(e_d)f\left(\frac{n}{N}\right) = 2,45x15,2x0,19x0,87 = 6,16 \text{ MJ/m}^2/\text{gün}$
16	$R_n = R_{ns} - R_{nl} = 20,7 - 6,16 = 14,54 \text{ MJ/m}^2/\text{gün}$
17	$ET_o = 6,3 \text{ mm/gün}$ (Eşitlik 1'den)

Görüldüğü gibi, Penman-Monteith yönteminin FAO modifikasyonu ile referans bitki su tüketiminin elle hesaplanması oldukça zaman alıcı ve gerekli veriler için çizelgelere gereksinim vardır. Ayrıca çoğu zaman çizelge değerlerinin istenen koşullar için interpolasyonla belirlenmesi gerekir ki bu oldukça zaman alıcıdır. Geliştirilmiş olan uygulama ile ve el ile yapılan çözümde referans bitki su tüketimi her iki koşulda da 6,3 mm/gün olarak hesaplanmıştır.

Verilerin bir araya getirilmesi, kullanım kolaylığı yaygın olarak kullanılabilme potansiyelinin yanı sıra hesaplanan referans bitki su tüketimini ve gereksinim duyuluyorsa hesaplama adımlarını da raporlama imkânı sağlayan uygulamanın yukarıdaki örnek çözüme ilişkin ürettiği pdf formatındaki rapor aşağıda verilmiştir (Şekil 5). Ayrıca bu raporun anında paylaşılabilme imkânı da uygulamanın sağladığı önemli avantajlardan birisi olarak karşımıza çıkmaktadır.

EVAPOTRAN1 Uygulaması İle Referans Bitki Su Tüketimi Hesabı

Özet:

İl: Ankara

Enlem derecesi: 39.92077

Ortalama bağıl nem: % 42

Ortalama sıcaklık: 23.1 C

10 m'deki rüzgar hızı: 3.61 m/s

Atmosfer basıncı: 91.08 kPa

Hesaplamanın yapıldığı tarih: 28:5:2021

Güneşlenme süresi (n): 12.5 saat

Doymuş buhar basıncı (ea): 2.86216 kPa

Gerçek buhar basıncı (ed) : 1.20211 kPa

Buhar basıncı eğrisinin eğimi: 0.17298 kPa/C

Psikrometrik sabite: 0.06054 kPa/C

2 m'deki rüzgar hızı: 2.61645 m/s

Modifiye psikrometrik sabite: 0.1144 kPa/C

Olası maksimum güneşlenme (N): 14.75392 saat

Güneşlenme oranı (n/N): 0.84723

Atmosferin dış yüzeyine ulaşan radyasyon (Ra): 40.91 MJ/m²/gün

Yer yüzüne ulaşan kısa dalga boylu radyasyon (Rs): 27.55763 MJ/m²/gün

Kısa dalga boylu net radyasyon (Rns): 20.66823 MJ/m²/gün

Sıcaklık fonksiyonu (f(T)): 15.34149

Buhar basıncı fonksiyonu (f(ed)): 0.1907

Güneşlenme oranı fonksiyonu (f(n/N)): 0.86529

Uzun dalga boylu net radyasyon (Rnl): 6.20465 MJ/m²/gün

Bitki yüzeyindeki net radyasyon (Rn): 14.46358 MJ/m²/gün

REFERANS BİTKİ SU TÜKETİMİ (ET_o): 6.31605 mm/gün

*Bu uygulama Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Dijital Tarım Laboratuvarında geliştirilmiştir.
Ziraat Müh. Neslihan BİRCAN & Prof. Dr. Ünal KIZIL
2021 - ÇANAKKALE*

Şekil 5. Örnek Rapor

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Gün geçtikçe önemi artan su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımıyla ilgili olarak teknolojinin sağladığı imkânları azami ölçüde kullanmak gerekmektedir. Bu bağlamda, tatlı su kaynaklarının en fazla kullanıldığı tarımsal üretimin sorumluluğu oldukça fazladır. Su israfının azaltılması ya da başka bir ifadeyle sulama performansının arttırılabilmesi için bitkinin gereksinim duyduğu miktarda suyun doğru zamanda uygulanması çok önemlidir. Bu da bitki su tüketiminin doğru hesaplanmasıyla mümkündür. Bu çalışma kapsamında geliştirilen ve kullanıma sunulacak olan Android tabanlı uygulamanın bu anlamda bir gereksinimi karşılayacağı düşünülmektedir.

Çalışmada ortaya konduğu üzere geliştirilen uygulama referans bitki su tüketimini hesaplamada kullanılan Penman-Monteith yönteminin kodlanmasıyla geliştirilmiştir. Ancak en önemli özelliği veri eldesi, kullanımı ve sonuçların paylaşılmasında oldukça büyük kolaylıklar sağlamasıdır.

Masaüstü bilgisayarlarda kullanılan yazılımların aksine akıllı cihazlar üzerinde çalışan uygulamaların bir diğer avantajı da cihazın sahip olduğu diğer donanım ve özelliklerden faydalanabilmesidir. Bu çalışmada da kullanılan GPS sensörü, tarih ve takvim verisinin yanı sıra özellikle yeni çıkan bazı akıllı cihazlar sıcaklık, bağıl nem ve hatta basınç sensörleri de içermektedir. Dolayısıyla gerekli meteorolojik verilerin bir kısmı daha hassas olarak cihaz tarafından sağlanarak daha doğru hesaplamalar yapmak mümkün olmaktadır. Geliştirilen uygulamanın bu sensörlerden gelen verileri kullanabilir hale getirilmesi oldukça basittir.

Akıllı cihazların sunduğu bir diğer avantaj ise bluetooth, GSM şebekesi üzerinden SMS ve internet bağlantısı gibi farklı veri transfer yöntemlerine sahip olmalarıdır. Dolayısıyla farklı cihaz veya sensörlerden bu bağlantı yollarını kullanarak farklı veriler kolaylıkla elde edilebilmektedir. Örneğin bir anemometre akıllı cihaza entegre edilerek

rüzgar hızı ile ilgili daha gerçekçi değerler elde edilebilmektedir. Bu ise geliştirilen uygulamaya bir dinamizm kazandırabilmektedir. Dolayısıyla gerekli veriler sadece API bağlantısını bağımlı kalmadan cihaz dışı sensörlerden de elde edilebilmektedir.

Akıllı cihazın internet bağlantısı kullanılarak cihazın sensörlerinden, harici sensörlerden ya da API bağlantısıyla elde edilmiş meteorolojik veriler bulut sistemi üzerinde depolanmıştır. Örneğin bu yöntemlerle elde edilen meteorolojik veriler Google Drive üzerinde bulunan Google Sheets ortamında MS Excel formatında istenilen sıklıkta otomatik olarak, ileride başka amaçlarla için de kullanılmak üzere depolanmıştır.

Uygulamanın yukarıda sözü edilen yöntemlerle veri alabilmesinin yanı sıra yine aynı kanallarla komut ve bilgi göndermesi mümkündür. Bu ise geliştirilen uygulamanın aslında sulama çalışmalarında bir otomasyon aracı olarak kullanılabilmesini de sağlanabilecektir. Bu bağlamda ileriye yönelik olarak harici sensörlerle entegre edilmiş olan basit ama fonksiyonel bir otomasyon uygulamasının geliştirilmesi planlanmaktadır. Uygulamanın bir sonraki geliştirme aşamasında ilave edilecek kc katsayılarıyla mevcut program doğrudan gerçek bitki su tüketiminin hesaplanmasını sağlayacaktır. Bunun için elbette ki birçok bitki katsayısının uygulamaya tanıtılması gerekecektir. İleriki çalışmalarımızda ayrıca elde edilecek meteorolojik verilerle birlikte sulama gereksinimi hesaplama sonuçlarının depolandığı bulut tabanlı bir veri tabanının geliştirilmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

- Allen, R. G., Smith, M., Perkier, A. and Pereira, L. S. (1994). "An Update for the Definition of Reference Evapotranspiration", *ICID Bull.*, 43(2), 1-34
- 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*. (9), (s.300). FAO: Rome, Italy.
- Allen, R. G., Pruitt, W. O., Wright, J. L., Howell, T. A., Ventura, F., Snyder, R., ... and Elliott, R. (2006). "A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO56 Penman-Monteith method". *Agricultural water management*, 81(1-2), 1-22.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.03.007>
- Android Geliştiricileri, (2021). Android Studio. Erişim: 14 Temmuz 2023, <https://developer.android.com/studio>
- App Inventor, (2021). Wikipedia Özgür Ansiklopedi. Erişim tarihi: 2 Temmuz 2023, https://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=App_Inventor&veaction=edit§ion=1
- Aras, İ. (2006). "Damla sulama yöntemi". *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 15 (1-2), 49-60.
<https://dergipark.org.tr/en/pub/tarbitderg/issue/11506/137038>
- Chaves, M. M., Pereira, J. S., Maroco, J., Rodrigues, M. L., Ricardo, C. P. P., Osório, M. L., ... and Pinheiro, C. (2002). "How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth". *Annals of botany*, 89(7), 907-916.
- Çetin, Ö., Eylen, M., ve Sönmez, F. K. (2010). "Basınçlı sulama sistemlerinin su kaynaklarının etkin kullanımındaki rolü ve mali desteklerin bu sistemlerin yaygınlaşmasındaki etkisi". *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, (2), 53-57.
- Çakmak, B. ve Gökalp, Z. (2013). "Kuraklık ve Tarımsal Su Yönetimi". *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, (4), 1-11.
<https://dergipark.org.tr/en/pub/gbad/issue/29698/319546>

- Dalvik VM: Google. (2021). Android Açık Kaynak Projesi. <https://source.android.com/devices/architecture/dalvik>
- FAO, (2009). Cropwat 8.0 for windows user guide. Rome, Italy
- Friesen, J. (2016). *Java XML ve JSON*; Apress: New York, ABD, 2016. ISBN-13 (electronic): 978-1-4842-4330-5 <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4330-5> https://www.academia.edu/42608930/Friesen_Jeff_Java_XML_and_JSON_Document_Processing_for_Java_SE_201920200403_52882_Incrslo
- Gençoğlan, C. (1999). “Kısıtlı sulamaların mısır verimine ve su kullanım etkinliğine etkileri”. *Türk Tarım ve Orman Dergisi*, 23 (2), 233-242
- Hargreaves, G. H. and Samani, Z. A. (1985). “Reference crop evapotranspiration from temperature”. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2), 96-99. (doi: 10.13031/2013.26773)
- Java, Kâhin. (2021). Java Platformu, Standart Sürüm Belgeleri. Erişim: 14 Temmuz 2023, <https://docs.oracle.com/en/java/javase/index.html>
- Jensen, M.E. (1968). “Water Consumption by Agricultural Plants.” T.T. Kozłowski (ed). *Water Deficits and Plant Growth*. (2) 1-45. Academic: New York.
- Jensen, M.E., Wright J.L. and Pratt B.J. (1971). “Estimating Soil Moisture Depletion from Climate, Crop, And Soil Data”. *ASAE*, 14(5): 954–959.
- Jensen, M. E., Burman, R. D., and Allen, R. G. (1990). “Evapotranspiration and irrigation water requirements”. *ASCE American Society of Civil Engineers*, New York, 978-0-87262-763-5 (ISBN-13) .1990, pp. 360
- Karaca, C., Büyüктаş, D. ve Tekelioğlu, B. (2017a). “Kıyas Bitki Su Tüketiminin (ET_o) Hesaplanması Amacıyla Bilgisayar Yazılımlarının Karşılaştırması”. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6, 118-128. <https://dergipark.org.tr/en/pub/gbad/issue/33361/351632>
- Karaca, C., Büyüктаş, D., Tekelioğlu, B. ve Baştuğ, R. (2017b). “Kıyas Bitki Su Tüketiminin Hesaplanmasında kullanılan Eşitliklerin Değerlendirilmesi”. *Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 144-161.

- Karaman, S. ve Gökalp, Z. (2010). “Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerine Etkileri”. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, (1), 59-66.
<https://dergipark.org.tr/en/pub/tabad/issue/34782/385074>
- Köksal, E. (2018). “Sulama Suyu Yönetiminde Yeni Geliştirilen AGROS Bilgisayar Yazılımının Kullanılma Olanakları”. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1. Uluslararası Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi, Özel Sayısı, 457-467.
- Lazarova, V., Bahri, A., Brdjanovic, D., Kollanur, D., Shuval, H., and Hoek, W. (2020). “Wastewater irrigation and health: challenges and outlooks for mitigating risks in low-income countries”. *Irrigation and Drainage*, 69(2), 185-199.
- Linux: Linux Vakfı. (2021). Linux Belgeleri. Erişim: 14 Temmuz 2023, <https://www.linuxfoundation.org/resources/publications>
- MERAL, R. (2017). “Karık Sulama Yönteminde Toprak Erozyonunu Önlemek İçin Uygun Akış Debisinin Belirlenmesi”. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 7(1), 87-94.
- MIT App Inventor, Google. (2021). App Inventor'a Genel Bakış. Erişim: 14 Temmuz 2023, <https://appinventor.mit.edu/explore/about>
- Monteith, J. L. (1965). “Evaporation and environment. In Symposia of the society for experimental biology”. *Cambridge University Press*, Cambridge, (19), 205-234.
- Monteith, J. L. (1981). “Evaporation and surface temperature”. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 107(451), 1-27.
- Penman, H. L. (1948). “Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society of London”. *Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 193(1032), 120-145.
- Raes, D., Lemmens, H., Van Aelst, P., Vanden Bulcke, M. and Smith, M. (1988). “IRSIS—Irrigation scheduling information system, vol. 1. Manual”. K.U.Leuven, Dep. *Land Management, Reference Manual 3*.
- Raes, D., Geerts, S., Kipkorir, E., Wellens, J. and Sahli, A. (2006). “Simulation of yield decline as a result of water stress with a robust soil water balance model”. *Agricultural Water Management* 81, 335–357

Şarlak, N. ve Bağçacı, S. (2020). “Ampirik potansiyel evapotranspirasyon tahmin yöntemlerinin değerlendirilmesi: Uygulama Konya kapalı havzası”. *Teknik Dergi*, 31 (1), 9755-9772.

TAGEM (2023). Sulama Yönetimi ve Bitki Su Tüketimi. Erişim: 14 Temmuz 2023, <https://tagemsuet.tarimormman.gov.tr/pages/publicDocument>



EKLER

EK 1

ATMOSFERİN DIŞ YÜZEYİNE ULAŞAN RADYASYON DEĞERLERİ

Atmosferin dış yüzeyine ulaşan radyasyon değerleri, Ra (MJ/m ² /gün)								
Enlem derecesi	Aylar							
	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
44	26	33,6	39,5	42,2	40,7	36	29,2	21,3
42	27	34,3	39,7	42,4	40,9	36,8	29,9	22,3
40	27,9	35	39,7	42,4	40,9	37,3	30,6	23,5
38	28,9	35,5	40,2	42,2	40,9	37,5	31,4	24,5
36	29,7	36	40,2	42,2	40,9	37,7	32,1	26
34	30,4	36,3	40,4	41,9	41,2	38	32,8	26,5

EK 2
SICAKLIK FONKSİYONU DEĞERİ

Sıcaklık fonksiyonu değeri f(T)									
T (°C)	2	4	6	8	10	12	14	16	18
f(T)	11,4	11,7	12	12,4	12,7	13,1	13,5	13,8	14,2
T (°C)	20	22	24	26	28	30	32	34	36
f(T)	14,6	15	15,4	15,9	16,3	16,7	17,2	17,7	18,1

EK 3
BUHAR BASINCI FONKSİYONU DEĞERLERİ

Buhar basıncı fonksiyon değerleri, f(ed)									
ed (kPa)	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2
f(ed)	0,23	0,22	0,2	0,19	0,18	0,16	0,17	0,14	0,13
ed (kPa)	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4
F(ed)	0,12	0,12	0,11	0,1	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06

EK 4**ORTALAMA HAVA SICAKLIĞINDAKİ DOYGUN BUHAR BASINCI DEĞERLERİ**

Ortalama hava sıcaklığındaki doygun buhar basıncı değerleri e_a												
T (°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
e_a (kPa)	0,66	0,71	0,76	0,81	0,87	0,93	1	1,07	1,15	1,23	1,31	1,4
T (°C)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
e_a (kPa)	1,5	1,61	1,7	1,82	1,94	2,06	2,2	2,34	2,49	2,64	2,81	2,98
T (°C)	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
e_a (kPa)	3,17	3,36	3,57	3,78	4,01	4,24	4,49	4,76	5,03	5,32	5,62	5,94

EK5**GÜNEŞLENME ORANI FONKSİYONU DEĞERLERİ**

Güneşlenme oranı fonksiyonu değerleri, f(n/N)										
n/N	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45
f(n/N)	0,1	0,15	0,19	0,24	0,28	0,33	0,37	0,42	0,46	0,51
n/N	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95
f(n/N)	0,55	0,6	0,64	0,69	0,73	0,78	0,82	0,87	0,91	0,96

EK6**OLASI MAKSİMUM GÜNEŞLENME SÜRESİ DEĞERLERİ**

Olası maksimum güneşlenme süresi değerleri, N								
Enlem derecesi	Aylar							
	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
44	11,9	13,4	14,7	15,4	15,2	14	12,6	11
42	11,9	13,4	14,6	1,2	14,9	13,9	12,6	11,1
40	11,9	13,3	14,4	15	14,7	13,7	12,5	11,2
35	11,9	13,1	14	14,5	14,3	13,5	12,4	11,3
30	12	12,9	13,6	14	13,9	13,2	12,4	11,5