

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GÜNEŞ ENERJİLİ OTOMATİK BİTKİ SULAMA SİSTEMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HASAN DEMİRBAŞ

DENİZLİ, OCAK - 2021

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



GÜNEŞ ENERJİLİ OTOMATİK BİTKİ SULAMA SİSTEMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HASAN DEMİRBAŞ

DENİZLİ, OCAK - 2021

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

Hasan DEMİRBAŞ

ÖZET

GÜNEŞ ENERJİLİ OTOMATİK BİTKİ SULAMA SİSTEMİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
HASAN DEMİRBAŞ
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. HARUN KEMAL ÖZTÜRK)

DENİZLİ, OCAK - 2021

Artan nüfus ve enerji ihtiyacı ile günümüzde tatlı su kaynaklarının kullanımı giderek azalmaktadır. Tatlı su kaynaklarının azalması içme suyunun teminini zorlaştıracak bilinmektedir. Tatlı su kaynaklarının en çok kullanıldığı alanlardan biri tarımsal sulama uygulamalarıdır. Tarımsal sulamada kontrolsüz sulama yapılması hem su kaynaklarının azalmasına hem de toprakların verimsizleşmesine sebep olmaktadır.

Bu çalışmada tarımsal sulamada suyu kontrollü bir şekilde kullanacak aynı zamanda bitkinin ihtiyaç duyduğu su miktarını tespit ederek otomasyonlu sulama yapacak, ihtiyaç duyduğu elektriği yenilebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi ile karşılayacak bir sulama sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistem domates ve biber bitkilerinin ekili olduğu tarımsal arazide deneysel çalışmaları yapılarak otomasyonsuz sulanan damla sulama sistemi ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre otomasyonlu sulanan sistemde su tüketim miktarında azalma olduğu ve bitki verimliliğine de olumlu yönde katkı yaptığı görülmüştür. Otomatik sulamada su tüketiminde %16.5'lik su tasarrufu gözlemlenirken, bitki ortalama ağırlıklarına göre domates %20.57 ve biber bitkisinde %26.44'lük verimde artış meydana gelmiştir. Tasarım gerçek arazi koşullarında uygulanabilirliği kanıtlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELE:Toprak nem sensörü, güneş enerjisi, otomatik sulama, sulama sistemleri

ABSTRACT

SOLAR POWERED AUTOMATIC PLANT IRRIGATION SYSTEM

MSC THESIS

HASAN DEMİRBAŞ

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR:PROF. DR. HARUN KEMAL ÖZTÜRK)

DENİZLİ, JANUARY 2021

With the increasing population and energy need, the use of freshwater resources is gradually decreasing today. It is known that the decrease in freshwater resources will make it difficult to supply drinking water. One of the areas where freshwater resources are mostly used is agricultural irrigation practices. Uncontrolled irrigation in agricultural irrigation causes both the reduction of water resources and the inefficiency of soils.

In this study, an irrigation system was designed to use water in agricultural irrigation in a controlled manner, at the same time to determine the amount of water needed by the plant, to make automated irrigation, to meet the electricity it needs with solar energy, which is one of the renewable energy sources. Experimental studies of the designed system were made in the agricultural land where tomato and pepper plants were cultivated and compared with the drip irrigation system, which was irrigated without automation. According to the findings obtained, it has been observed that there is a decrease in the amount of water consumption in the automated irrigation system and it contributes positively to plant productivity. In automatic irrigation, water savings of 16.5% were observed in water consumption, while an increase of 20.57% in tomato and 26.44% in a pepper plant was observed according to the average plant weight. The design has proven to be applicable in real field conditions.

KEYWORDS:Soil moisture sensor, solar energy, automatic irrigation, irrigation systems

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL VE KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Konusu ve İçeriği	2
1.2 Tezin Önemi	3
1.3 Literatür Özeti	4
2. ENERJİ KAYNAKLARI VE ÇEŞİTLERİ	15
2.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları	16
2.1.1 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Önemi	16
2.1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları Çeşitleri	17
2.1.3 Güneş Enerjisi	18
2.1.3.1 Güneş Enerjisinin Önemi	19
2.1.3.2 Dünyada Güneş Enerjisi	20
2.1.3.3 Türkiye’de Güneş Enerjisi	21
2.1.3.4 Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi	23
3. SULAMA SİSTEMLERİ VE TOPRAK NEM ÖLÇÜMÜ.....	25
3.1 Sulamanın Tarihçesi	26
3.2 Sulama Yöntemleri	27
3.2.1 Yüzey Sulama Yöntemleri	28
3.2.2 Basınçlı Sulama Yöntemleri	29
3.3 Damlama Sulama Yöntemi	31
3.3.1 Damlama Sulamanın Avantajları:	31
3.3.2 Damlama Sulama Sistemlerinin Uygulanacağı Koşullar	32
3.3.3 Damlama Sulama Sistemleri Elemanları	33
3.3.3.1 Damlatıcılar	33
3.3.3.2 Lateral Boru Hatları	34
3.3.3.3 Ana Boru Hattı	34
3.3.3.4 Yan Boru Hattı (Manifold)	34
3.3.3.5 Kontrol Birimi	34
3.3.3.6 Pompa Birimi	36
3.3.4 Damla Sulama Sisteminde Su Tüketimi	36
3.3.4.1 Bitki Su Tüketimi	36
3.3.4.1.1 Bitki Su Tüketimini Etkileyen Faktörler	38
3.3.4.1.2 Bitki Su Tüketiminin Belirlenmesi	39
3.3.4.1.3 Bitki Katsayısı (K_c)	40
3.3.5 Damla Sulama Yöntemi Tasarımı ve Hesaplamaları	41
3.3.5.1 Sulama Yönünden Önemli Toprak Nemi Sabitleri	41

3.3.5.2	Damlatıcı Debisi ve Aralığı	42
3.3.5.3	Islatılan Alan Oranı (P)	43
3.3.5.4	Damla Sulamada Su İhtiyacı	44
3.4	Güneş Enerjili Sulama Sistemleri	47
3.4.1	Güneş Enerjili Sulama Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi	48
3.4.2	Güneş Enerjili Sulama Sistemlerinin Çalışma Prensibi	49
3.4.2.1	Paneller	50
3.4.2.2	Pompalar	51
3.4.2.3	Şarj Regülatörleri	51
3.4.2.4	İnverterler	51
3.4.2.5	Aküler	52
3.4.2.6	Su Deposu	52
3.4.3	Güneş Enerjili Sulama Sistemlerinin Tasarımı	52
3.4.4	Güneş Enerjili Sulama Sistemlerinin Çeşitleri	54
3.5	Toprak Nemi Ölçüm Yöntemleri	55
3.5.1	Toprak Nem İçeriği	56
3.5.2	Toprak Nem Ölçümü ve Önemi	56
3.5.3	Toprak Nem Ölçümünde Kullanılan Teknikler	57
3.5.4	Klasik Toprak Nem Ölçüm Yöntemleri	57
3.5.5	Modern Toprak Ölçüm Yöntemleri	58
3.5.5.1	Nötron Saçılma Yöntemi	58
3.5.5.2	Tansiyometre ile Toprak Nem Ölçümü	58
3.5.5.3	Gama Zayıflatma Tekniği	59
3.5.5.4	Termal Dağıtım Blok Tekniği	59
3.5.5.5	Isı Akısı Sensörü Tekniği	59
3.5.5.6	Optik Teknikler	60
3.5.5.7	Dielektrik (Elektromanyetik Yansıma) Teknikler	61
3.5.5.8	Elektrik Empedans Sensörü	63
3.5.5.9	Elektromanyetik İletim Ölçer Yöntemi (TDT)	63
3.5.6	Önemli Toprak Nemi Ölçme Tekniklerinin Karşılaştırılması	63
4.	MATERYAL VE YÖNTEM	65
4.1	Normal (Otomasyonsuz) Olarak Sulanacak Damla Sulama Sistemi	66
4.1.1	Otomasyonsuz Damla Sulama Sisteminin Hesaplamaları	66
4.2	Otomatik Sulama Sistemi ve Tasarımı	72
4.2.1	Sistemin Çalışma Prensibi	73
4.2.2	Sistemin Donanım ve Yazılım Bileşenleri	75
4.2.3	Toprak Nem Sensörünün Kalibrasyonu	81
4.2.3.1	Birinci Kalibrasyon Deneyi	81
4.2.3.2	İkinci Kalibrasyon Deneyi	83
5.	BULGULAR	85
5.1	Toprak Nem Sensörü Kalibrasyon Sonuçları	85
5.2	Sensör Okumaları ve Sulamanın Kontrol Edilmesi	88
5.3	Su Tüketim Değerlerinin Karşılaştırılması	91
5.4	Bitki Verimlerinin Karşılaştırılması	95
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	98
7.	KAYNAKÇA	100
8.	ÖZGEÇMİŞ	107

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Güneş enerjili damla sulama yöntemi.....	2
Şekil 1.2: PV ve toprak nem sensörü ile çalışan otomatik sulama sistemi	3
Şekil 2.1: Enerji kaynakları sınıflandırılması (Koç ve Şenel 2013).....	15
Şekil 2.2: Dünyaya gelen güneş ışınımının dağılımı (Url-2)	18
Şekil 2.3: Güneş pillerinin yapısı (Url-3).....	19
Şekil 2.4: Dünyadaki kurulu güneş sistemleri gelişimi (Url-4)	21
Şekil 2.5: Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli haritası (Kılıç 2015)	21
Şekil 2.6: Türkiye global radyasyon değerleri (KWh/m ² -gün) (Url-5).....	22
Şekil 2.7: Türkiye'nin aylara göre güneşlenme süreleri (Url-5)	22
Şekil 2.8: Yıllara göre GES gelişimi (Özgür 2020)	23
Şekil 3.1: Bitkilerde su-verim ilişkisi eğrisi (Url-6)	25
Şekil 3.2: Hindistan'da Antik Çağda inşa edilmiş bir sulama kanalı (Url-7)	26
Şekil 3.3: Damlama sulama sistemi tasarımı (Ünlükara 2019).....	33
Şekil 3.4: Kontrol birimi elemanları (Url-9)	35
Şekil 3.5: Bitki su tüketiminde buharlaşma ve terleme (Allen ve diğ. 1998) ...	38
Şekil 3.6: Evapotranspirasyonu etkileyen faktörler (Allen ve diğ. 1998).....	39
Şekil 3.7: Toprak nemi sabitleri (Ünlükara 2019)	42
Şekil 3.8: Fotovoltaik sulama pompalarının kapasite artışı (Anonim 2018)	48
Şekil 3.9: Fotovoltaik sulama sistemi şeması (Yılmaz ve diğ. 2014)	49
Şekil 3.10: Bir PV hücresi yapısı (Url-10).....	50
Şekil 3.11: Solar inverter (Url-12)	52
Şekil 3.12: Akü destekli GESP sistemi (Sontake ve Kalamkar 2016).....	54
Şekil 3.13: Toprak nem ölçüm yöntemleri.....	55
Şekil 3.14: Isı akısı tekniği (Susha Lekshmi ve diğ. 2014).....	60
Şekil 3.15: TDR yöntemi (Susha Lekshmi ve diğ 2014)	62
Şekil 3.16: FDR sensör (Karaca ve diğ. 2017)	62
Şekil 3.17: TDT sensörü (Karaca ve diğ. 2017).....	63
Şekil 4.1: Tasarlanan güneş enerjili otomatik bitki sulama sistemi	65
Şekil 4.2: Domates için dönemlere göre sulama suyu miktarı değişimi	71
Şekil 4.3: Biber için dönemlere göre sulama suyu miktarı değişimi	72
Şekil 4.4: Otomatik sulama sistemi blok diyagramı	74
Şekil 4.5: Sistemin çalışmasına ait akış şeması	74
Şekil 4.6: Ekranda gösterilen nem değerleri ve sulama durumu.....	75
Şekil 4.7: Otomatik sulama sistemi tasarım ekipmanları ve akış şeması.....	76
Şekil 4.8: Güneş enerjisi sistemi a) 10 W güneş paneli b) panel ayağı	77
Şekil 4.9: Sistemde kullanılan şarj kontrol cihazı	78
Şekil 4.10: Sistemde kullanılan 12 V 7A değerindeki akü	78
Şekil 4.11: Selenoid vana çalışma prensibi (Url-13)	79
Şekil 4.12: Röle kartı devresi	79
Şekil 4.13: Sistemde kullanılan toprak nem sensörü	80
Şekil 4.14: Arduino Uno R3 mikrodenetleyici	80
Şekil 4.15: Toprak nem sensörü ölçüm sistemi (Url-14)	81
Şekil 5.1: Toprak nem değerleri ile analog değer arasındaki ilişki.....	85
Şekil 5.2: Toprak nem içeriği ile gerilim arasındaki ilişki.....	86
Şekil 5.3: Hacimsel toprak nem içeriğiyle çıkış gerilimi arasındaki ilişki	87

Şekil 5.4: Hacimsel toprak nem içeriği ile analog değerler arasındaki ilişki....	88
Şekil 5.5: Sensör üzerinden okunan değerler	90
Şekil 5.6: Sulamanın yapıldığı süreler	90
Şekil 5.7: Temmuz ayına ait su tüketim değerleri.....	91
Şekil 5.8: Temmuz ayına ait su tasarrufu	92
Şekil 5.9: Ağustos ayına ait su tüketim değerleri.....	93
Şekil 5.10: Ağustos ayına ait su tasarrufu	94
Şekil 5.11: Aylara göre su tasarrufu.....	95
Şekil 5.12: Ürün verimlerinin karşılaştırılması.....	96



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Gelecekteki yenilenebilir enerji tahminleri (Önal ve Yarbay 2010)	16
Tablo 2.2: Bölgelerin ısıtım değerleri ve güneşlenme süreleri (Özgür 2020)	23
Tablo 2.3: Kurulu Gücün Yıllara Göre Dağılımı (Özgür 2020)	24
Tablo 3.1: Sulama yöntemlerinin sınıflandırılması (Yıldırım 2008)	28
Tablo 3.2: Sulama türüne göre su uygulama randımanı	46
Tablo 3.3: Toprak nemi ölçme tekniklerinin karşılaştırılması	64
Tablo 4.1: Denizli ili için bitki su tüketimi ve yağış miktarları	67
Tablo 4.2: Damla sulama sistemi tasarım verileri	70
Tablo 4.3: Domates bitkisinin aylara ve dönemlere göre su tüketim değerleri	70
Tablo 4.4: Biber bitkisinin aylara ve dönemlere göre su tüketim değerleri	71
Tablo 4.5: Otomasyon sistemi için kullanılan panelin özellikleri	77
Tablo 4.6: Sensör verilerinin kalibrasyon sonuçları	82
Tablo 4.7: Deney sonucunda elde edilen veriler	84
Tablo 5.1: Sensörün limit değerleri	88
Tablo 5.2: Sensör üzerinden günlük okunan değerler	89
Tablo 5.3: Temmuz ayına ait sulamada su tüketim değerleri	91
Tablo 5.4: Temmuz ayına ait otomatik sulamada su tasarrufu	92
Tablo 5.5: Ağustos ayına ait sulamada su tüketim değerleri	93
Tablo 5.6: Ağustos ayına ait otomatik sulamada su tasarrufu	94
Tablo 5.7: 1. Hasat dönemi ortalama bitki ağırlıkları	95
Tablo 5.8: 2. Hasat dönemi ortalama bitki ağırlıkları	96

SEMBOL VE KISALTMA LİSTESİ

PV	:	Fotovoltaik
DC	:	Doğru Akım
AC	:	Alternatif Akım
ET	:	Evapotranspirasyon
KW	:	Kilowatt
TK	:	Tarla Kapasitesi
SN	:	Solma Noktası
CO₂	:	Karbondiyoksit
I	:	Akım (A)
V	:	Gerilim (Voltaj)
ET_c	:	Bitki Su Tüketimi (mm/gün)
ET₀	:	Referans Bitki Su Tüketimi (mm/gün)
T	:	Sıcaklık (°C)
Δ	:	Buhar Basıncı Eğrisi Eğimi (KPa/°C)
γ	:	Psikrometrik Sabit (KPa/°C)
d_t	:	Toplam Sulama Suyu İhtiyacı (mm/gün veya mm)
d_n	:	Net Sulama Suyu İhtiyacı (mm/gün veya mm)
d_k	:	Kullanılabilir Su Tutma Kapasitesi (mm/m)
V_w	:	Topraktaki Suyun Hacmi (cm ³)
P_w	:	Toprak Nem Miktarının Ağırlık Yüzdesi Cinsinden İfadesi (%)
γ_t	:	Toprağın Hacim Ağırlığı (g/cm ³)
γ_w	:	Suyun Hacim Ağırlığı (g/cm ³)

ÖNSÖZ

Bu çalışmada bilgilerini ve tecrübelerini bana aktaran ve tez sürecim boyunca yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım sayın Prof. Dr. Harun Kemal Öztürk' e yüksek lisans eğitimi boyunca derslerime girmiş ve bilgilerini benimle paylaşmış üzerimde emeği olan Prof. Dr. Cemal Meran, Prof. Dr. Rasim Karabacak, Doç. Dr. Gülay Yakar ve Doç. Dr. Burçin Deda Altan' a katkılarından dolayı teşekkür ediyorum.

Bu zorlu süreçte yardımlarını benden esirgemeyen tüm ailem ve sevdiklerime, yanımda oldukları ve desteklerini esirgemedikleri için ayrı ayrı teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknoloji ve küresel ısınmayla birlikte su kaynaklarının giderek azalması ve tatlı su ihtiyacının karşılanamaması, su kaynaklarının kullanımı konusunda insanları harekete geçirmiştir. Günümüzde var olan su kaynaklarının kontrollü kullanılmasında; yağmur suyunun değerlendirilmesi, tarımsal sulamada su kullanımının optimize edilmesi, kontrollü sulama yapılması, atık suların arıtılması ve tekrar kullanıma sunulması gibi birçok uygulama yapılmıştır. Halen bu konu üzerinde yapılan çalışmalar devam etmektedir.

İnsan yaşamının devam etmesi için su en temel ihtiyacımızdır. Bu temel ihtiyaç günümüzde ve gelecekte üzerinde çalışılması gereken en önemli konulardan biri haline gelmiştir. Su kaynaklarının kullanımında en önemli yere sahip olan uygulama da tarımsal faaliyetlerde olmaktadır. Geleneksel tarımda yapılan sulamada bitkinin ihtiyacından fazla su kullanılmakta ve suyun birçoğu bitki tarafından kullanılmadan buharlaşmaktadır. Sulamada suyu kontrollü bir şekilde kullanmanın hem su tüketiminin azalmasında hem de bitkilerden daha fazla verim elde edilebilmesinde faydalı olduğu bilimsel çalışmalarla ispatlanmıştır.

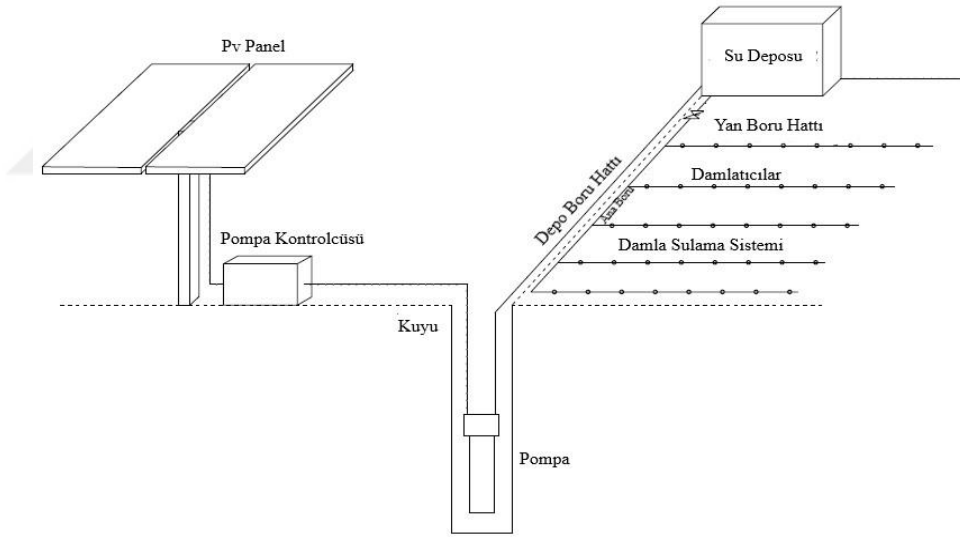
Bununla birlikte sulama sistemlerinde pompaların ihtiyaç duyduğu enerji yaygın olarak şebeke üzerinden sağlanmaktadır. Fakat günümüzde artan enerji ihtiyacı ile birlikte geleneksel enerji üretiminde kullanılan fosil kaynakların giderek azalması ve aynı zamanda bu kaynakların çevre kirliliğine yol açması alternatif enerji kaynaklarına yönelmeyi zorunlu hale getirmiştir. Bu enerji kaynaklarının arasında da tükenmez ve temiz enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi özellikle elektrik üretiminde önem kazanmıştır.

Bu tez çalışmasında; tarımsal sulamada su kullanımını verimli hale getirecek, toprak nem sensörü kullanarak bitkinin ihtiyaç duyduğu oranda sulama yapacak sistem tasarlanacaktır. Sulama sisteminde; pompa, vana, mikroişlemci ve kontrol elemanlarının ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisi güneş panelleriyle karşılanacaktır. Tasarlanan sistemin verimliliğini karşılaştırabilmek için normal (otomasyonsuz) sulama uygulaması yapılacak ve tasarlanan otomasyonlu sistem ile su tüketimi, ürün

verimliliği ve bitki gelişimi karşılaştırılacaktır. Yapılan çalışmalar doğrultusunda su kullanım miktarında azalma, bitkinin gelişimi ve yetiştirilen ürünlerin kalitesinde artış olması beklenmektedir.

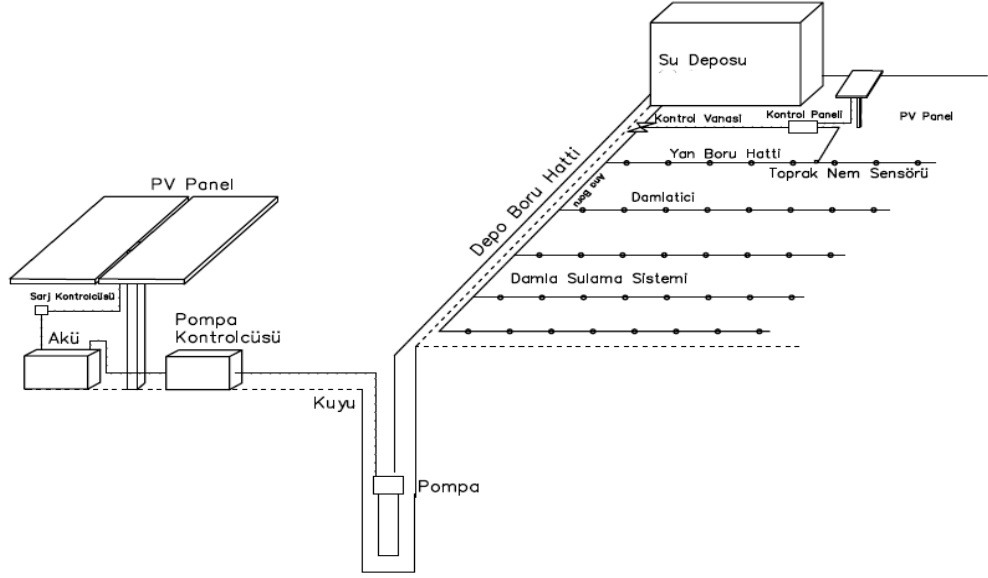
1.1 Tezin Konusu ve İçeriği

Tarımsal sulama uygulamalarında güneş enerjisinden yararlanılmaktadır. Sulama sistemlerinde su ihtiyacı, fotovoltaik paneller yardımıyla su pompalama işlemiyle gerçekleştirilmektedir. Su bir kaynaktan pompalar yardımıyla taşınarak bir su deposuna aktarılır. Sulama yöntemine göre su deposunda depolanan su ihtiyaç dahilinde sulama alanına ulaştırılmakta ve damlama sulama yöntemine göre sulama işlemi gerçekleştirilmektedir. Güneş enerjisi kullanarak çalışan damla sulama sistemi ve güneş enerjisi ile su kuyusundan su pompalama Şekil 1.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 1.1: Güneş enerjili damla sulama yöntemi

Bu tez çalışması kapsamında toprak nem sensörü kullanarak çalışan otomatik damla sulama sistemi tasarlanmış ve gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Güneş enerjili otomatik damla sulama sistemi; PV panel, DC su pompası, kontrol ünitesi, toprak nem sensörü, damla sulama sistemi parçaları, pompa kontrol ünitesi, su tankı, kontrol vanasından oluşmaktadır. Güneş enerjisiyle çalışan ve toprak nem sensörü kullanılarak otomatik sulama uygulaması yapan sisteme ait örnek tasarım şematik olarak Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.2: PV ve toprak nem sensörü ile çalışan otomatik sulama sistemi

Tasarlanan sistemde iki adet sulama yöntemi seçilmiştir. İlk yöntemde kontrol elemanları kullanılmadan bir vana yardımıyla belirlenen süre kadar belirli aralıklarla sulama yapılmıştır. İkinci yöntem ise toprak nem sensörü yardımıyla toprak içerisindeki nem değerini belirleyerek bitkinin ihtiyaç duyduğu su miktarına göre sulama işlemini gerçekleştirilmiştir. İki aylık sürede, normal sulama ve otomatik sulama ile yetiştirilmiş bitkilerin gelişimi boyunca su tüketimi belirlenmiştir. Yetiştirilen bitkilerin ürün kaliteleri; ağırlık ve adet olarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafik ve tablolar ile gösterilmiştir. Ayrıca toprak nem ölçümünün tarımsal sulamada kullanılabilirliği araştırılmıştır.

1.2 Tezin Önemi

Gelişen teknoloji ve artan nüfus ile birlikte su kaynaklarının tüketimi giderek artmaktadır. Bu durum giderek su kaynaklarının azalmasına ve tüm canlıların temel yaşam ihtiyacı olan suya ulaşamaması gibi büyük sorunları meydana getirmiştir. Tatlı su kaynaklarının en yaygın olarak kullanıldığı alanlardan biri tarımsal faaliyetlerdir. Tarımsal faaliyetlerde yapılan geleneksel sulama yöntemleriyle su kaynakları bilinçsiz olarak kullanılmakta ve bu durumda ileride su kaynaklarının azalmasında büyük önem teşkil etmektedir. Tasarlayacağımız sistemle birlikte

tarımsal sulamada kullanılan su miktarını azaltarak bitkinin ihtiyaç duyduğu miktarda sulama yapılacak. Bu bitki sulama sistemi sayesinde tarımsal uygulamalarda su tüketimi azaltılacak ve gelecekte en önemli sorunlardan biri olan su kaynaklarının azalması sorununa tarımsal alanda çözüm getirecektir. Tasarlanan çalışma, toprak nem sensörü vasıtasıyla toprak nemini belirleyerek büyük bir tarımsal arazide sulama yapılmasını sağlamaktadır. Ayrıca su tüketimi, bitki kalitesi gibi verileri normal (otomasyonsuz) sulama ile karşılaştıran literatürdeki ilk tez çalışmasıdır. Bu çalışmayla birlikte tarımsal sulamada büyük araziler için toprak nem sensörü kullanımının mümkün olup olmadığı araştırılmıştır. Bu sebeple geleneksel sulama yöntemlerinin yerini otomatik sulama sistemlerinin alması yolunda bilimsel bir katkı sağlamıştır. Toprak nem sensörlerinin tarımsal sulamada su tüketimi ve dikilen bitki verimliliği üzerine etkileri de incelenmiştir.

1.3 Literatür Özeti

Otomatik sulama sistemleri literatürde çok geniş yer tutmaktadır. Tez çalışmasında otomatik sulama sistemlerinin tasarımını anlamak, toprak nem sensörlerinin otomatik sulamada kullanımını, kalibrasyonunu, etkinliğini, kullanılabilirliğini ve çalışma şekillerini görmek. Ayrıca sistemde otomasyon ve su pompalamanın ihtiyaç duyduğu enerji güneş enerjisinden karşılanacağı için tarımsal sulamada fotovoltaik sistemlerinin kullanımı, tasarım kriterleri, verimlilikleri gibi konuları literatürde görmek amacıyla geniş kapsamlı bir tarama yapılmıştır. Yapılan literatür çalışmaları aşağıda verilmiştir.

Barkunan ve diğ. (2019); günümüzde tarımda yaygın olarak kullanılan damla sulama sistemine mikrodenetleyici, akıllı telefon, sensörler, motor ve gsm modülü kullanarak akıllı sulama sistemi haline getirmişlerdir. Sensörler ve yakalanan görüntüler bir mikrodenetleyici tarafından değerlendirilerek topraktaki nem miktarı tespit edilmiş ve sulamayı bu nem miktarına göre otomatik olarak gerçekleştirmişlerdir. Mevcut tasarımı bir dönümlük çeltik tarlası üzerinde uygulamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre akıllı sensör bazlı sulama sistemi taşkın sulama sistemiyle karşılaştırıldığında yaklaşık % 41,43 damlama sulama sistemiyle karşılaştırıldığında ise % 13,03 tasarruf sağladığını göstermişlerdir.

Sudharshan ve diğ. (2019); otomatik sulama sistemlerinin fikir olarak çalışmalarını yapmışlardır. Sistemde önemli üç adet sensör kullanmışlardır. Bu sensörler; toprak nem sensörü, nem sensörü ve sıcaklık sensörüdür. Bu sensörleri kullanarak elde ettikleri verileri incelemişlerdir. Tasarladıkları sistemde ihtiyaç duyulan gücü güneş panellerinden karşılamışlardır. Otomatik akıllı sulama sistemi sayesinde bulanık mantığı, nem ve DHT sensörü gibi çeşitli sensörlerden aldıkları veriler ile arazinin ne sıklıkla sulanacağını belirlemişlerdir. Tasarladıkları sistemle önemli ölçüde kaynak israfının önüne geçilmesini ve insan gücüne duyulan ihtiyacı azaltarak daha fazla arazinin kullanım alanı oluşturmasını sağlamışlardır.

Küçüksayan (2010) çalışmasında; peyzaj alanlarının sulanması konusunda sulama sisteminin planlanması, kullanılacak bitkinin su tüketimi oranının belirlenmesini amaçlamıştır. Ankara iline ait farklı peyzaj alanlarındaki sulama yöntemleri, şekilleri, miktarları, seçim kriterleri analiz edilerek farklı peyzaj uygulamaları için farklı sulama yöntemleri saptamıştır. Yapılan çalışma sonucunda sulama tekniğinin peyzaj alanlarında yer alan ögelerin ve alanın coğrafik özelliklerinin sulama sistemi seçimini etkilediği gözlemlenmiştir. Bu özellikler göz önüne alınarak; yapılacak olan peyzaj çalışmalarına uygun sulama sistemlerinin kullanılması, suyun sürdürülebilirliğini artırılması ve yeşil alanların kullanım ömürlerinin uzatılması gibi faktörleri beraberinde getireceği gözlemlenmiştir.

Uzun (2017); Kayseri ilinde bezelye yetiştiriciliği ve sulama suyunun verim üzerindeki etkisini incelemiştir. Araştırma konuları farklı sulama suyu uygulama oranları % 0 (I0), % 25 (I25), % 50 (I50), % 75 (I75) ve % 100 (I100 tam sulama) olarak belirlemiştir. Sulamaları 5 günde bir olmak koşuluyla damlama sulama sistemiyle uygulanmış ve bitkinin etkili kök bölgesindeki kullanılabilir su kapasitesinin % 40 (± 5)'i tüketildiği zaman yapmıştır. Çalışmalar sonucunda elde edilen verilere göre; tohum verimi 95.90-374.20 kg/da sulama suyu kullanım randımanı (IWUE), su kullanım randımanı (WUE) 0.409-0.754 kg/m³ ise 1.358-2.740 kg/m³ olarak bulmuştur. Verim tepki faktörü k_y ise 1.36 olarak hesaplamış ve bezelyenin su stresine karşı duyarlı olduğunu tespit etmiştir. Yaptığı hesaplamalar sonucunda sulama suyu seviyesi arttıkça verimin arttığını gözlemlenmiştir. Kayseri için I75 sulama konusunun daha uygun olduğunu, suyun kısıtlı olması durumunda ise I50 sulama konusunu önermiştir.

Taşkesen (2018) tez çalışmasında; uzak tarım alanları için bitki sulamada bir akıllı sulama sistemini ele almıştır. Sistemde NodeMcu sayesinde Wİ-Fİ teknolojisinden yararlanarak mekandan uzak tarım arazileri için bağımsız şekilde sulama işlemini gerçekleştirmiştir. Bitkilerin ihtiyaç duyduğu su miktarı, nem, sıcaklık ve yağmur durumu gibi faktörleri kablosuz iletişim sistemiyle uzaktan kullanıcı tarafından izlenilmesini sağlamıştır. Bitkilerin sulama zamanlarını otomatik hale getirerek su tasarrufu sağlamıştır. Tarım alanlarında kullanılabilecek etkin bir sistem geliştirmiştir.

Çakır ve Çalış (2007) bu çalışmada; mikrodenetleyici kontrol devresi ile uzaktan kontrol yapılabilen, telefon hattı üzerinden elle veya otomatik sulama yapabilen bir sulama sistemi geliştirmişlerdir. Otomatik modda ve mikrodenetleyici üzerinden çalışan program, topraktan aldığı nem değeri ile bitkinin ihtiyacı olan asıl nem değerini karşılaştırıp ihtiyaç halinde otomatik çalıştırmışlar ve nem ihtiyacı aşıldığında ise sulamayı otomatik olarak durdurulmasını sağlamışlardır. Bu sayede toprağın sulama dengesizliğini ortadan kaldırmışlardır. Sistem PSTN hizmetinin olduğu her yerde kullanılabildiğinden hem su miktarından hem de insan gücü ve zamandan bolca tasarruf sağlamışlardır.

Romero ve diğ. (2012), tatlı su ihtiyacı dünyaca önemli konulardan biridir. Bu ihtiyaç tarımda su kullanım tedbirini de göz önüne getirmektedir. Suyun sürdürülebilir ve rasyonel kullanımı için bu konuya yönelik otomatik sulama sistemleri üzerine gelişmeler sürdürülmektedir. Bu çalışma içerisinde de otomatik kontrol sistemlerine ait bilgiler ve en son gelişmelere yer vermişlerdir. Güney İspanya bölgesine ait meyve ağaçlarına uygulanan 4 ayrı kontrol stratejisinin olumlu sonuçlarını deneysel verileri ile birlikte sunmuşlardır. Yapılan araştırmalar ve deneyler ile birlikte suyun sürdürülebilirliği için otomatik sulama sistemlerinin çiftçiler tarafından da kabul edilmesi ve daha çok ticarileştirilmesi sonucuna varmışlardır.

Domínguez-Niño ve diğ. (2020), damlama sulama sistemi referans alınarak sensörlerin programlama yaklaşımına nasıl entegre edileceğini araştırmışlardır. Denemeyi iki yıl boyunca deneysel bir web uygulaması olan IRRIX tarafından incelemişlerdir. Yapılan deneyler ile sensör tabanlı sulama planlamasının uygulanabilirliğini göstermişlerdir. Sensörlerden gelen geri bildirimler yoluyla

ayarlanan algoritma, mevsim boyunca hassas sulama dozları sağlayarak, kendisini hava koşullarına ve mahsulün mevsimsel bitki örtüsü döngüsüne adapte ettiğini göstermişlerdir. İnsansız yorumlar ve karar verme hızları ile tutarlı bir mekanizma sağlamışlardır.

Allen ve diğ. (2006); dünya üzerinde elektronik hava durumu istasyonları ağının sürekli değişimi ETO'nun saatlik hesaplanabilmesi için hava durumu verilerinin kullanılabilirliğini arttırmıştır. Bu çalışmada, FAO-PM yönteminin performansını saatlik periyotlar için $r_s = 70 \text{ s m}^{-1}$ gündüz için $r_s = 50 \text{ s m}^{-1}$ değeri, gece $r_s = 200 \text{ s m}^{-1}$ değeri kullanılarak gözden geçirmişlerdir. ABD'de ulusal bir çalışmaya dayalı araştırmacılar, saatlik veya daha kısa uygulamalar için gündüz $r_s = 50 \text{ s m}^{-1}$ ve $r_s = 200 \text{ s m}^{-1}$ kullanılmasını önermişlerdir.

Zotarelli ve diğ. (2009) bu çalışmada, bitkinin adım adım su tüketim süreci hesaplamasını vermişlerdir. Evapotranspirasyon değerleri FAWN sisteminde (<http://fawn.ifas.ufl.edu/>) bulunan iklim koşullarına göre belirlemişlerdir. Ayrıntılı Penman-Monteith ET tahmininin Florida koşulları için en doğru olduğu ve daha iyi sulama yönetimi için günlük olarak uygulanabildiğini göstermişlerdir.

Al-Ali ve diğ (2019), nesnelerin interneti (IoT) geliştikçe, güneş enerjisi kaynakları uzaktan izlenebilir, çalıştırılabilir ve kontrol edilebilir hale gelmiştir. Akıllı sulama sistemleri için de IoT tabanlı bir güneş enerjisi sisteminin tasarımı, dünyadaki su kıtlığı ve elektrik sıkıntısı çeken bölgeler için oldukça gereklidir. Bu yazıda da bu sistem üzerine tasarımlar yapmışlardır. Sistemde yerleşik Wi-Fi bağlantısına sahip bir sistem denetleyicisi ve gerekli işletim gücünü sağlamak için güneş pili bağlantıları kullanmışlardır. Denetleyici toprak nem, nem ve sıcaklık verilerini okuyup ve sulama pompalarını çalıştırmak için uygun komutları vermiştir. Sistemin elektrik ihtiyacını hesaplamışlar ve gerekli panelleri kullanmışlardır. Sistemin üç modu bulunmaktadır; yerel kontrol modu, mobil izleme modu ve bulanık mantık tabanlı kontrol modu.

Powell ve diğ. (2019) yaptıkları çalışmada, Avustralya'da şeker kamışı yetiştiriciliğinde sulama için yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı avantajlarından bahsetmişlerdir. Avustralya şeker kamışı üretiminin %90'ını ulusal elektrik şebekesinden karşılamaktadır. Bu çalışmada; çiftlik enerji çalışması, Avustralya'nın

Queensland şehrinde yüksek derecede düzenlenmiş elektrik pazarında küçük ölçekli, mevsimsel sulamada (<100MWper yıl) mikro şebekeler kullanılarak enerji maliyetinin düşürülebileceğini göstermişlerdir. 25 yıllık bir yatırım dönemi boyunca % 26'ya varan enerji maliyetlerinde azalma ve 1303t / CO₂e'den kaçınılması ve sektör genelinde potansiyel kazanımları göstermişlerdir.

Ersin (2015) yapmış olduğu tez çalışmasında, toprak nem sensörü yardımıyla bitkinin ihtiyaç duyduğu su miktarını mikrodenetleyici yardımıyla kontrol etmiştir. Girilen bitki türüne göre nem oranı hesaplanmıştır. Bitkinin ihtiyaç duyduğu topraktaki nem miktarı düştüğü zaman sulama sistemini devreye sokan, sulama yapılmadan önce bitkinin fotoğrafını çeken, daha sonrasında topraktaki nem miktarı istenilen seviyeye ulaştığında sulama sistemini kapatan ve sulandıktan sonra fotoğrafı çekip bu fotoğrafı mail olarak gönderen bir sistem tasarlamıştır. Sistemin ihtiyaç duyduğu elektrik ihtiyacını güneş paneliyle karşılamış, sistemin güneş olmadığı zamanlarda çalışması için sistemde elektrik enerjisi depolayan bir akü kullanmıştır. Yaptığı çalışma sonucunda elektrik enerjisine ihtiyaç duymadan sulama gerçekleştirilmiş. Ayrıca bitkinin sulama ihtiyacını uzaktan kontrolle sağlayabilmiştir.

Altunbaş (2018); bitki üzerine yerleştirmiş olduğu nem sensörleri yardımıyla aldıkları verileri mikrodenetleyici ile işlemiş elde ettiği veriler doğrultusunda sulama ihtiyacı olduğu durumda sistem üzerinde yer alan selenoid vana yardımıyla, otomatik olarak devreye giren ve bitkide su ihtiyacı karşılandıktan sonra sistem üzerinde yer alan vanayı kapatarak sulama işlemini kesen sistem tasarlamıştır. Bu yapmış olduğu tasarımı karşılaştırabilmek amacıyla bitkilerin dikildiği arazi üzerine normal olarak çalışan sulama sistemi de konularak karşılaştırmalarını yapmıştır. Gözlemler ve ölçümleri sonucunda elde ettikleri verilere göre normal sulamada yetişen ürünlerin sensör yardımıyla çalışan sulama sisteminde yetişen ürünlere göre daha az verimli olduğunu kanıtlamıştır.

Karaca ve diğ. (2017), tarımsal sulamada yaygın olarak kullanılan, topraktaki nem miktarını belirlemekte kullanılan toprak nem sensörlerini araştırmışlardır. Bu sensörlerin sürdürülebilir tarım açısından önemini belirlemeye çalışmışlardır. Araştırmaları ve incelemeleri sonucunda FDR tipi toprak nem sensörlerinin düşük maliyetlere sahip olduğu için daha yaygın kullanıldığı fakat bazı dezavantajlarının

olduğu görmüşlerdir. Bu sensörlerin tarımsal sulamada kullanılması ve sürdürülebilir bir tarım elde edilebilmesi için bu konuda çiftçilerin bilgilendirilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Kızıl ve diğ. (2018), kolay bulana bilen ve ucuz maliyete sahip rezistif toprak nem sensörlerinin kalibrasyon ve veri ürete bilme becerilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Bu çalışmayı yaparken özel olarak tasarlanmış bir cihaz yardımıyla kumdaki nem miktarının azalmasını sensör yardımıyla ölçüp bu verileri ağırlık azalımıyla karşılaştırmışlardır. Yapılan bu kontrollü deneyler sonucunda ortalama belirtme katsayısı 0.91 olarak tespit edilmiş bu değerin istatistiksel açıdan önemli olduğu bulmuşlardır.

Suman ve diğ. (2017), toprak nemi seviyesi mahsul için son derece önemlidir. Bu çalışmada çiftçilerin toprak nemi seviyesini kontrol altında tutmaları için gerekli araştırmalar yapmışlardır. Projeyi otomatik sulama sistemi şeklinde uygulamışlar ve gelişmeye açık olduğunu söylemişlerdir. Yağmur suyu toplama teknolojisi ile çalışan sistemi akıllı kablosuz sensörler ile desteklemişlerdir. Projenin temel yapısı nem sensörleridir. DTMF teknolojisi ile istediğimiz alanın istediğimiz miktarda sulanmasını sağlamışlardır. Ayrıca yangını önlemek için duman sensörü de eklenebileceğine değinmişlerdir. Güneş panelleri ile gücü üreterek sistemin verimliliğini arttırmayı sağlamışlardır.

Soulis ve diğ. (2015) yaptıkları çalışmada; toprak nem sensörleri konumlandırmasının, yüzey damla sulama programlama sistemlerinin performansını nasıl etkileyebileceği araştırmışlardır. Bu amaçla, toprak nemi esaslı sulama sistemlerini simüle etmek için sisteme bağlı sınır koşulu içeren bir matematiksel model kullanarak birkaç sayısal deney gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda toprak nem sensörlerini konumlandırma ve doğruluğunun toprak nemi bazlı damla sulama sistemlerinde sulama verimliliğini etkilediğini görmüşlerdir.

Kang ve diğ. (2019) yaptıkları çalışmada; kök büyümesinin doğru hacimsel su içeriği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışma yapılırken marul fidelerini kullanmışlar ve fideleri topraksız substrat ile doldurulmuş 10 cm'lik yuvarlak kaplara yerleştirmişlerdir. Dört adet EC-5 toprak nemi sensörünü sekiz haftalık sürede kök

sistemi boyutunun sensör kalibrasyonu üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre gerçek hacimsel su içeriği ile ölçülen hacimsel su içeriği arasında % 8.7'lik bir fark bulmuşlardır. Bu durumun önemli bir hatayı gösterdiğini bahsetmişlerdir Büyümekte olan bitkilerde yapılan araştırmalar sonucunda FDR tipi toprak nem sensörleri ile doğru hacimsel su içeriği sağlamanın zor olduğunu göstermişlerdir.

Kumar ve diğ. (2015); Hindistan toprakları üzerinde yer alan küçük ölçekli tarım arazileri için uygulanan güneş enerjisi ile çalışan mikro sulama sistemi tasarlamışlardır. Geliştirdikleri sistemde performansın standart değerlerle karşılaştırıldığında yeterli olduğunu ve böyle bir sistemin kurak araziler için 0.5 dönümlük bir araziye sulama sağlayabileceğini incelemişlerdir.

Hamidat ve diğ. (2003) yaptıkları çalışmada, Cezayir'de yer alan Sahra bölgesinde, bu bölgenin iklim koşulları altında güneş panellerinin performansını değerlendirmek amacıyla matematiksel bir yazılım geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri yazılım panelinin özellikleri, pompanın özellikleri, sıcaklık ve radyasyon değerleri gibi parametreleri kullanarak, sistemin elektrik gücü, pompalanan su miktarı, su pompalama işlemi ve tüm fotovoltaiik sistemin verimini yazılım yardımıyla hesaplamışlardır. Elde edilen veriler doğrultusunda küçük ölçekli bitki sulamada güneş enerjili sulama sistemlerinin kullanılmasının mümkün olduğunu göstermişlerdir.

Kelley ve diğ. (2010) yaptıkları çalışmada, güneş enerjisi ile çalışan sulama sistemlerinin teknik ve ekonomik olarak uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre PV sulamada güneş panelleri için yeterli alan bulunması şartıyla hem ekonomik açıdan hem de teknik açıdan uygun olduğunu kanıtlamışlardır.

Sontake ve Kalamkar (2016) yaptıkları derleme çalışmasında, 1975 ile 2014 yılları arasında yer alan güneş enerjili su pompalama sistemleri konusunu içeren literatürü incelemişlerdir. Güneş enerjili sulama sistemlerinin performansı, verimliliği ve ekonomik analizi gibi konuları ayrıntılı olarak makalede yer vermişlerdir. Literatür a"raştırmaları sonucunda elde ettikleri araştırma verilerine

göre güneş enerjili su pompalama sistemlerinin gelişmekte olan ülkeler içerisinde sulama ve içme amaçlı kullanılabilecek bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir.

Li ve diğ. (2017) yazdıkları derleme çalışmasında, güneş enerjili su pompalama sistemlerinin durumunu incelemişlerdir. Bu inceleme çalışmasını derlemede üç ana bölümde yer vermişlerdir. Derlemenin birinci bölümünde güneş enerjili su pompalama sisteminin bileşenlerini ve bu bileşenlerin sistem üzerindeki görevlerini anlatmışlardır. İkinici bölümde ise çevresel faktörler ve sistem bileşenlerinin güneş enerjili su pompalamada sistem performansı üzerine etkilerini literatür çalışmalarıyla anlatmışlardır. Derlemenin nc bölümünde güneş enerjili sulama sistemlerinin performans değerlerini arttırmak için optimizasyon yöntemleri önerilmiş ve bu yöntemlerin sistem performansı üzerindeki etkilerini anlatmışlardır. Ayrıca makalede farklı bölgelerde ki güneş enerjili su pompalama sistemi uygulamalarına da derlemede yer vermişlerdir.

Atay ve diğ. (2011) şanlıurfa ilinde yaptıkları çalışmada; güneş enerjisinden yararlanılarak tasarlanan sulama sisteminin arazi koşullarındaki performansını incelemişlerdir. Sistem, PV panellere bağlı, doğru akım ile çalışan fırçasız pompadan oluşmakta olup, damlama sulama sistemi ile sulanan bir arazinin sulanmasında kullanmışlardır. AC ile çalışan bir pompa ile de iki sistem arasında karşılaştırma yapmışlardır. Yapılan deney sonucunda, DC pompa ile çalışan sistemin batarya sistemi ile birlikte kullanıldığından güneşin olmadığı durumlarda da 16,76 saat kesintisiz çalıştığı ve bu süre içinde 68,7 ton su pompaladığını gözlemlemişlerdir. Özellikle sık sık yaşanan elektrik kesintileri sebebiyle AC pompa kesintiye uğrarken, DC pompanın sorunsuz bir şekilde çalışmaya devam ettiğini görmüşlerdir. Herhangi bir işletme masrafı olmayacağından elektrik şebekesinin uzanmadığı kırsal bölgelerde de yüksek yatırımlara kıyasla daha ekonomik bir çözüm olarak ortaya sunmuşlardır.

Seyitoğlu (2012) yaptığı çalışmada, Kayseri ilinde şebeke elektrik bağlantısı olmayan sulama sistemleri üzerinde durmuş ve maliyet analizleri çıkarmıştır. Çalışma içinde Kayseri iline ait saatlik, günlük, aylık ve yıllık güneş enerjisi elektrik üretim verilerini inceleyip çıkarmıştır. Belirlenen elektrik üretim miktarlarına göre panelleri seçmiştir. İhtiyaç halindeki su miktarına göre de pompa seçimleri ve sistem için gerekli olan inverter, regülatör seçimlerini yapmıştır. Yapılan alışmalar

sonucunda Kayseri ili için güneş enerjisi rejiminin fazla olmaması nedeni ile şebekeden bağımsız şekilde yapılacak olan sistem tasarımının uygun olmadığını göstermiştir. Sulama sistemlerinde seçilen pompanın ilk çalışma esnasında fazla akım çekmesi nedeniyle kW değeri arttıkça güneş panellerinin üretim miktarının düşük olması sebebiyle saat başına düşen elektrik ücretinin arttığını gözlemlemiştir. Bu yüzden en azından sadece pompanın ilk çalışma anında çektiği fazla akım için şebeke elektriğinin kullanılmasının daha uygun olduğunu görmüştür. Gerekli anlarda şebekeden destek almak ve üretilen fazla elektriğin de şebekeye satılması amacıyla çift yönlü sayaç yöntemini değerlendirmiştir. Sisteme eklenecek çift yönlü sayaç sayesinde ilk akıma uygun inverter yerine daha normal boyutlarda inverterler seçmiştir ve bundan dolayı fiyatlarda da aynı oranda düşüş olduğunu göstermiştir.

Taşkaya (2015) yaptığı çalışma kapsamında, İç Anadolu Bölgesi'nin güneş enerjisi potansiyelini hesaplamıştır. Hesaplamalar sonucunda özellikle Niğde ilinde yüksek bir güneş enerjisi potansiyeli olduğunu ortaya koymuştur. Hesaplamalar doğrultusunda Niğde iline teorik olarak bir pompaj tesisi kurmuş ve sistemin gücünü karşılayacak fotovoltaik sistem gücünü hesaplamıştır. Örnek olarak 1 hektar alan üzerinde yer alan elmanın günlük su ihtiyacını karşılamak üzere 100 m derinlikten su elde etmek için 2,5 kW gücünde bir kurulu güç gereksinimi tespit etmiştir. Sistemi bilgisayar programı üzerinden de modellemiştir. Sistemi çeşitli iller ve çeşitli bitkiler üzerinde de uygulamış ve hesaplamalarını göstermiştir. Panel sayısına en çok etki eden faktörlerin günlük su ihtiyacı, manometrik yükseklik ve ısınım şiddeti olduğunu gözlemlemiştir. Sistemin şebekeden elektrik çektiği durum için de gerekli hesaplamaları yapmış ve bakım onarım masrafları dahil olmak üzere şebekeli sulama sisteminin çiftçi için oldukça zararlı hale geleceğini tespit etmiştir. Fotovoltaik sulama sistemlerinin çiftçi için daha ekonomik olduğunu gözlemlemiş ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması sağlanacağından ülke ekonomisine olumlu yönde etki edeceğini gözlemlemiştir.

Yılmaz (2019) çalışmasında; bir fındık bahçesine yapılacak olan damlama sulama yöntemi ile yine sulama amaçlı kurulan 5 kWh fotovoltaik sistemin kurulumu ve etkinlik değerlendirilmesini yapmıştır. Temmuz ve ağustos ayları için fındık bahçesinde toprak nem sensörü verilerine göre sulama yapmıştır. Çalışma ile fındıkta % 89 oranında artış olduğunu göstermiştir. Fındık verimini etkileyen yaprak su

potansiyeli, meyve ağırlığı ve meyve iç ağırlığı parametrelerinin de olumlu yönde etkilendiğini göstermiştir.

García ve diğ. (2018) yaptıkları çalışmada; Akıllı Fotovoltaik Sulama Yöneticisi (SPIM) adı verilen, sulama sistemlerinde fotovoltaik ile güç sağlayan bir model geliştirmişlerdir. SPIM, 2013 yılının sulama mevsimi boyunca güney ispanyadaki bir zeytin bahçesinin fotovoltaik sulamanın yönetimini simüle etmek için uygulamışlardır. Bu modelin ana özelliği güneş sulama sistemini verimli bir şekilde çalıştırmak için; ortak iklim, mahsul, hidrolik ve toprak verilerini kullanma ve sulama mevsimi boyunca mahsul sulama ihtiyaçlarını karşılamaktır. Sulama yeterli seviyede olmazsa sistem bunu tespit edip sonraki günler için de sulama süresini arttırmaktadır. Yalnızca panellerden üretilen elektrik kullanıldığında 1,2 ton CO₂ emisyonunu önlediğini görmüşlerdir.

Rehman ve diğ. (2017) çalışmalarında; manuel sulama yöntemi ile oluşan eksikliklerin otomatik sulama yöntemi ile giderilebileceğini söylemişlerdir. Makale çalışmaları otomatik sulama yöntemi fikirlerini değerlendirmekte ve gerekli araştırmalar ile bu fikri sürdürmektedir. Nem, sıcaklık ve toprak nem sensörü gibi parametreler otomatik sulama için en önemli elemanlardır. İncelenen tasarımda bu sistemi GSM özelliği ile ele almışlardır. Sistemin ihtiyaç duyduğu gücü güneş panelleri aracılığıyla sağlamışlardır. Toprak kullanıcı tarafından belirlenen alt veya üst sınır değerlerine ulaştığında motorlar otomatik olarak çalıştırılıp durdurulacak şekilde tasarlamışlardır. Motor her çalıştığında veya durdurulduğunda kullanıcıya SMS yoluyla bilgi iletilmesini sağlamışlardır. Projenin israf edilen suyu azalttığını göstermişler. Daha az işçilik nedeniyle daha az hata payı sağlamışlar ve güneş enerjisi sayesinde kesintisiz elektrik teminini sağlamışlardır.

Wazed ve diğ. (2018) bu araştırmada; Sahra bölgesinde uzak kırsal çiftliklerin sulanması için su pompalamak adına PV ve güneş termal teknolojileri üzerine araştırmalar yapmışlardır. Çalışmalar sonucunda, PV ile çalışan sistemin maliyetini ve tasarımını optimize etmenin en iyi yolunun, mahsulün gereksinimlerini anlamak ve sistemin çalışma koşullarını analiz etmek için kapsamlı saha araştırması yapmak olduğunu göstermişlerdir. PV sistemin maliyetinin diğer motorlu sistemlere göre daha düşük olduğu, çevresel sorunlar üzerinde etkili olduğu ve karbon ayak izini azalttığını görmüşlerdir. Bu çalışma, güneş enerjisi teknolojisinin küçük ölçekli

kırsal çiftliğin gereksinimlerini karşılaması için büyük bir potansiyel bulundurduğunu ancak bu sistemler üzerindeki araştırmaların minimum düzeyde olduğunu ve fizibilite ile ilgili çok az veri bulunduğunu tespit etmişlerdir.

Saleh ve diğ. (2016) yaptıkları çalışmada; düşük maliyetli dirençli toprak nem sensörlerinin sera koşullarında performanslarını incelemişlerdir. Sensörleri çeşitli kalibrasyon ve değerlendirme deneyleriyle değerlendirmişlerdir. Yaptıkları deneylerde toprak nem yüzdelerini günlük olarak kaydetmişler ve elde ettikleri sonuçlara göre direnç bazlı sensörlerin farklı çevre ve toprak koşullarında sürekli izleme yapılması için kullanılmaması gerektiğini önermişlerdir.

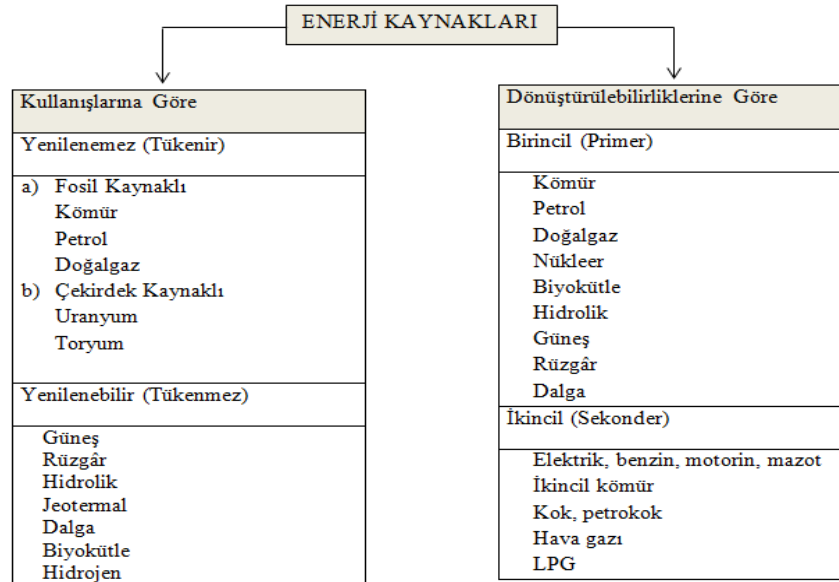
Kumar ve diğ. (2017) yaptıkları çalışmada; mikro denetleyici, sıcaklık ve nem sensörü kullanarak otomatik sulama sistemi tasarlamışlardır. Ortamın sıcaklık ve nem değişimlerini sensörler yardımıyla algılanmasını ve mikro denetleyici tarafından sinyal gönderilerek pompanın çalışmasını sağlayan sistem oluşturmuşlardır. Tasarladıkları sisteminin diğer sistemlere göre daha az maliyetli olduğu belirtmişlerdir. Sistemi kullanarak, çiftçilerin gecede sulama yapabilmesini ve sulama yapılırken fiziksel olarak bulunması gerekmediğini belirtmişlerdir.

Taneja ve Bhatia (2017); sulamada suyu daha verimli kullanabilmek için Arduino ile birlikte sensör teknolojisini kullanarak otomatik sulama sistemi geliştirmişlerdir. Tasarladıkları sistemde; bitkileri, toprağın içine yerleştirilen toprak nem sensörü ve sulamada suyun pompalanacağı su tankına yerleştirilmiş su seviye sensörü kullanmışlardır. Toprak içerisindeki su miktarını belirlemek için toprak nem sensörünü, belirledikleri eşik değerleriyle algoritmasını oluşturmuşlar ve tanktaki su seviyesini ölçebilmek için su seviye sensörü kullanmışlardır. Elde ettikleri bulgulara göre; sistemin su kaynaklarının kullanımını optimize etmek için yeterli bir otomatik sulama sistemi olduğunu göstermişlerdir. Su seviyesinin düşük olduğu alanlarda sulama yardımı olduğunu ve sürdürülebilirliğini sağladığını belirtmişlerdir.

2. ENERJİ KAYNAKLARI VE ÇEŞİTLERİ

Enerji, ülkelerin ekonomik ve sosyal kalkınma durumuna katkı sağlayan en temel gereksinimlerden biridir. Elektronik aygıtlardan insanlara kadar akla gelebilecek her türlü maddenin enerjiye ihtiyacı vardır. Enerji kelime anlamı olarak iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Birçok formda bulunabilir ve asla kaybolmaz. Bir formdan başka bir forma dönüştürülebilir.

Enerji kaynakları kullanışlarına ve dönüştürülebilirliklerine göre iki ana başlıkta incelenebilir. Doğal kaynaklı tükenmeyen ve kendi kendini yenileyebilen kaynaklara yenilenebilir, tükenen kaynağı sınırsız olmayan kaynaklara ise yenilenemez kaynaklar denir. Herhangi bir kaynaktan türememiş kendi kendine oluşan kaynaklara birincil ve bu kaynaklardan türeyenlere ise ikincil enerji kaynağı denir (Koç ve Şenel 2013). Şekil 2.1’de enerji kaynaklarının sınıflandırılması gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Enerji kaynakları sınıflandırılması (Koç ve Şenel 2013)

Birincil enerji kaynakları arasında; kömür, petrol, doğalgaz, nükleer, biyokütle, hidrolik, güneş, rüzgar ve dalga enerjisi gösterilmektedir. Bu kaynaklardan türeyen ikincil enerji kaynakları ise; elektrik, benzin, motorin, ikincil kömür, kok kömürü, petrokok, hava gazı ve LPG olarak sınıflandırılmaktadır.

2.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji, tükenmeyen ve kendi kendini yenileyen enerji kaynaklarına denir. Çevre kirliliği ve tükenmemesi bakımından yenilenemez enerji kaynaklarına göre avantajlıdır. Dünyada toplam enerji tüketiminin beşte biri yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmaktadır. Avrupa Yenilenebilir Enerji Konseyi (EREC) tahminlerince, 2040 yılı itibariyle global enerji ihtiyacının yaklaşık yarısı yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması beklenmektedir. Gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarına ait enerji tahminleri ton eşdeğer petrol (TEP) olarak Tablo 2.1’ de gösterilmiştir (Önal ve Yarbay 2010).

Tablo 2.1: Gelecekteki yenilenebilir enerji tahminleri (Önal ve Yarbay 2010)

	2001	2010	2020	2030	2040
Toplam Tüketim (TEP)	10038	10549	11425	12352	13310
Biyokütle	1080	1313	1791	2483	3271
Büyük Hidrogüç	22,7	266	309	341	358
Jeotermal	43,2	86	186	333	493
Küçük Hidrogüç	9,5	19	49	106	189
Rüzgar	4,7	44	266	542	688
Güneş	4,1	15	66	244	480
Fotovoltaik	0,2	2	24	221	784
Güneş Termal Elektrik	0,1	0,4	3	16	68
Gel-Git	0,05	0,1	0,4	3	20
Toplam YEK	1365,5	1745,5	2694,4	4289	6351

2.1.1 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Önemi

Gelecek nesillere daha temiz bir çevre ve daha sorunsuz enerji kaynağı arayışı bırakmamız için sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelmemiz gerekmektedir. Sürdürülebilir enerji kaynakları, tükenme tehlikesi olmadan gerekli olan ihtiyacı karşılamak için üretilen enerjiye denir. Yenilenebilir enerji kaynakları da ihtiyacı karşılama ve devamlılığı sürdürme konusunda en önemli rolü oynuyor (Url-1). Bunların dışında;

- Ülke kalkınması için oldukça önemlidir,
- Çevresel zararları azaltır,
- Yerli kaynakların geliştirilmesi konusunda büyük öneme sahiptir,
- Dışa bağımlılığı azaltır,
- Uluslararası anlaşmalara uyum sağlar,
- Yeni iş alanı oluşturur ve işsizliği azaltır.

2.1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları Çeşitleri

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında; hidrolik enerji, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, güneş enerjisi, biyokütle enerjisi, hidrojen enerjisi, dalga enerjisi gibi kaynaklar yaygın olarak kullanılan enerji kaynakları arasında gösterilebilir. Bu enerji kaynakları aşağıda gösterilmektedir.

Hidrolik Enerji: Suyun akış gücünden elde edilen dünya üzerinde en geniş kaynağa sahip olan ucuz bir enerji kaynağıdır. Belli bir potansiyel enerjiye ulaşmış suyun baraj bünyesindeki çeşitli düzeneklerle enerjinin dönüşümü prensibine göre önce türbinler aracılığıyla kinetik enerjiye (mekanik enerjiye) oradan da türbin çarkına bağlı jeneratör motorun dönmesi yardımıyla elektrik enerjisine çevrilir. Dünya çapında elektrik enerjisi üretiminde yaklaşık % 20'i paya sahip yenilenebilir bir enerji kaynağıdır (Önal ve Yarbay 2010).

Rüzgar Enerjisi: Güneş enerjisinden doğan bir kaynaktır. Yeryüzüne düşen güneş ışınlarının dünyaya geliş açılarındaki farklılıklar sebebiyle oluşan basınç ve dünyanın dönüşü ile ortaya çıkan hava akımıdır. Güvenilir, temiz ve kolay bulunabilir bir kaynak olması sebebiyle çok tercih edilir. Dünya üzerinde oluşan güneş enerjisinin yaklaşık %2'si kadarı rüzgar enerjisine çevrilmektedir (Önal ve Yarbay 2010).

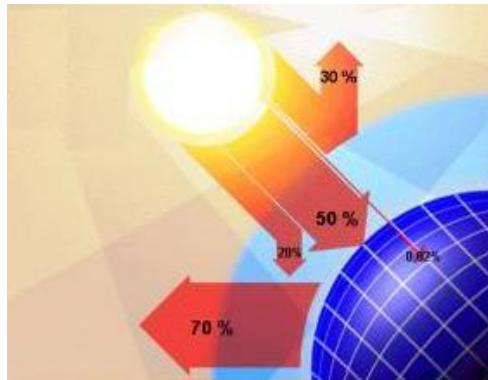
Jeotermal Enerji: Jeotermal enerji, yerkabuğu içindeki kayalarda bulunan ısı enerjisidir. Temiz, ucuz ve yenilenebilir olması nedeniyle önemli bir yere sahiptir. Isıtma, sıcak su üretme, kuru buz üretimi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bugünkü şartlar doğrultusunda sadece jeotermal kuşak diye adlandırdığımız bölgelerde bulunmaktadır. Jeotermal enerji kaynakları potansiyeli bakımından Türkiye, dünyada zengin ülkeler arasında yer almaktadır (Önal ve Yarbay 2010).

Biyokütle Enerjisi: Biyokütle, odun ve odun atıkları, zirai mahsül ve atık yan ürünleri, endüstriyel ya da belediye atık ürünleri, hayvan atıkları, gıda işleme proseslerinin atıkları gibi materyallerden üretilir. Bu materyallerin yakılarak veya farklı işlemlerden geçirilerek kullanılması sonucuna biyokütle enerjisi denir (Url-1).

Hidrojen Enerjisi: Hidrojen elementi dünyada en çok bulunan elementtir. Doğada bileşikler halinde bulunur, işlenmesi ve dönüştürülmesi ile enerji kaynağı olarak kullanılır. Hidrojen birincil bir yakıt olmadığı için, çeşitli kaynaklardan üretilir. Doğal bir enerji kaynağı değildir fakat sürdürülebilir olarak kabul edilir.

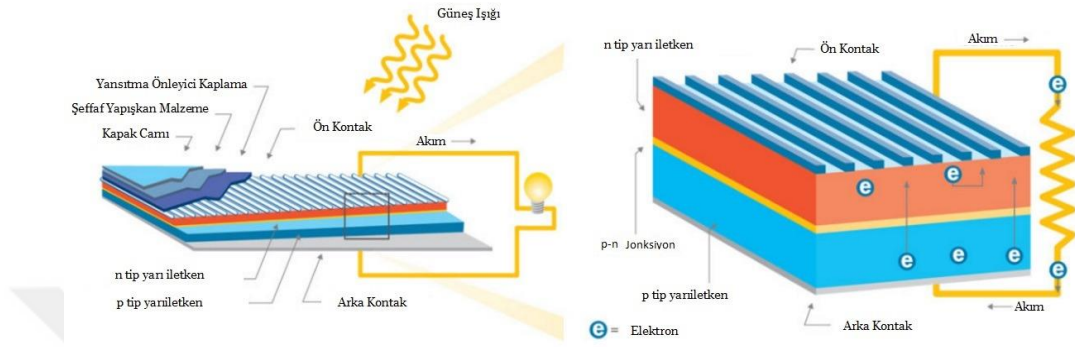
2.1.3 Güneş Enerjisi

Güneş 1,4 milyon km çapında, Dünya'dan 110 kat daha fazla büyüklüğünde ve Dünya'dan 1.496×10^8 km uzaklıkta bulunan yüksek basınçlı ve sıcaklıklı bir yıldızdır. Yüzey sıcaklığı yaklaşık 6000 K olarak bilinmektedir. İç bölgelerindeki sıcaklığı ise 8×10^6 K ile 40×10^6 K arasında değiştiği tahmin edilmektedir. Güneşte her saniyede 564 milyon ton hidrojen, 560 milyon ton helyuma dönüşmekte ve bu sayede güneş enerjisi ortaya çıkmaktadır (Kılıç 2015). Açığa çıkan güneş radyasyonundan yaklaşık % 20'si atmosferi ısıtmak için kullanılırken, % 30'u uzaya tekrar geri döner. Geriye kalan % 50'lik değeri ise yeryüzüne düşmektedir. Atmosferde güneş enerjisinin değeri 1370 W/m^2 iken yeryüzüne düşen enerjinin değeri $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında yer almaktadır. Buradan da anlaşılacağı gibi güneşten dünyaya gelen çok küçük bir miktar bile mevcut enerji tüketimimizden çok fazladır (Url-2). Şekil 2.2'de güneş ışıınımlarının dağılım yüzdeleri gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Dünyaya gelen güneş ışıınımlarının dağılımı (Url-2)

Yeryüzüne düşen güneş ışınları elektrik ya da ısı enerjisi olarak kullanılabilir. Elektrik enerjisine dönüştürmeye yarayan yapılara güneş pilleri denir. Çevreye hiçbir zararı yoktur. Önceleri daha çok maliyetli olan bu enerji türü teknolojinin gelişmesiyle birlikte uygun hale gelmiştir. Kullanım alanları oldukça yaygındır ve hızla artmaktadır. Şekil 2.3'te güneş pillerinin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Güneş pillerinin yapısı (Url-3)

2.1.3.1 Güneş Enerjisinin Önemi

Yaşamı sürdürmenin her alanında enerji tüketimi sürekli olarak artmaktadır. Artan enerji ihtiyacı doğrultusunda insanlar, sürekliliği olan daha uygun kaynak arayışı içine girmişlerdir. Tüm etkenler göz önünde bulundurulduğunda bu şartları karşılayabilecek yönelimin yenilenebilir enerji kaynakları olduğu ortadadır. Güneş enerjisi, kaynak bakımından sürekli ve çevresel etkileri bakımından da oldukça zararsız bir kaynaktır. Son yıllarda kullanımı daha çok yaygınlaşmış ve bununla beraber ekonomikleşmiştir. Güneş enerjisinden tarımdan, haberleşmeye, ısınmaya, elektrik üretimine vb. birçok konuda yararlanılmaktadır. Yapılan uygulamalara da bakıldığında dünya görüşü olarak da yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin yavaş yavaş arttığı görülmektedir. Güneş enerjisi kullanımının avantajlarını belirtecek olursak;

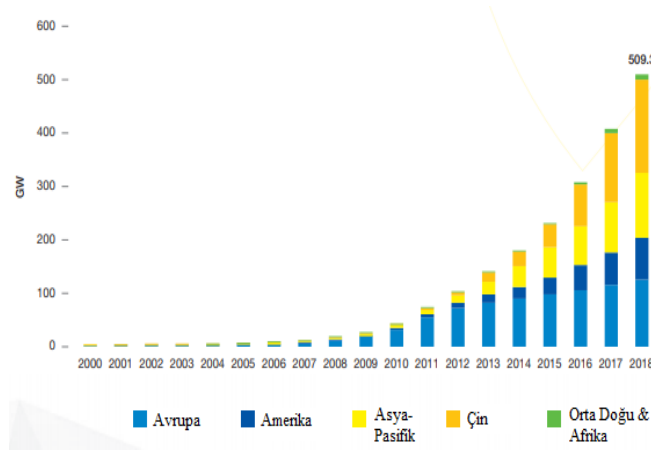
- İstenildiğinde taşınabilir ve güneş olan her yere kurulabilir.
- Sistemin gücü istek doğrultusunda değiştirilebilir.
- Dağıtım ve iletim masrafları oldukça azdır.
- Ömürleri 25 yıl civarındır, gürültülü değildir.
- Atık içermeyen, çevreye ve canlılara zararı olmayan bir enerji türüdür.

2.1.3.2 Dünyada Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi başta olmak üzere diğer yenilenebilir enerji kaynakları da ülkelerin kalkınması için önemli bir role sahiptirler. Yenilenebilir enerji kaynaklarındaki verimin fazla olması dolayısıyla dünya ülkeleri zaman içinde özellikle güneş enerjisi alanında olan yatırımlarına hız vermiştir. Avrupa birliği ülkeleri, yapılan yatırımların yönlendirilmesi ve yönetilmesi için çeşitli örgütler kurarak destekleme çalışmaları sürdürmektedir. Yılmaz (2012), yatırımların artmasına karşın nüfus artışı doğrultusunda da enerji kaynakları tüketimindeki artış hızla devam etmektedir. Yapılan araştırmalara göre dünyada 2010-2040 yılları arasında birincil enerji tüketiminin % 56 oranında artması öngörülmektedir. Enerji talebinde ki bu artış her ülke için değişiklik göstermektedir. Özellikle 1990'lı yıllardan sonra gelişmiş ülkelerde enerji taleplerinde yavaşlama görülürken, gelişmekte olan ülkelerde ise talep artışı hızla devam etmektedir.

Güneş enerjisi günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Bu konuda AR-GE çalışmaları özellikle 1970 yılından sonra artış göstermiştir. En çok tercih edilenler düşük maliyetli solar fırınlar, su ve alan ısıtıcıları, fotovoltaiik pillerdir. PV pillerde Almanya ve Japonya 400 MW ve 250 MW üzerinde fotovoltaiiklerle bu alanda öncü olmuştur. Aynı zamanda Japonya ev tipi solar termal kollektörlerde dünyanın en ileri gelen öncüsüdür. Günümüzde güneş enerjisinde PV sistemlerin kullanıldığı kadar, aynalar ve mercekler ile sağlanan yoğunlaştırılmış güneş enerjisi de önemsenmeye başlanmıştır. Endüstriyel alanda görülen bu tür santrallerin ilk örnekleri ABD ve İspanya'da bulunmaktadır (Önal ve Yarbay 2010).

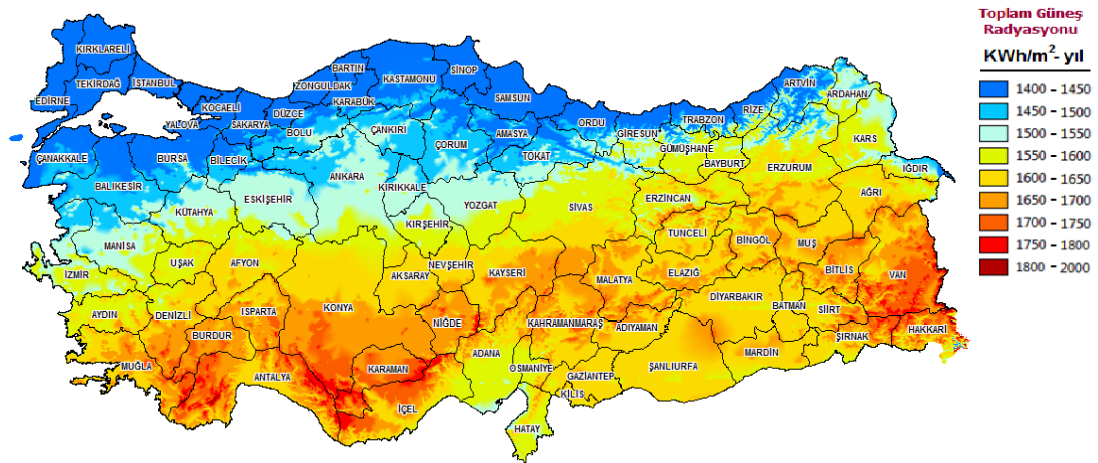
Dünyada kurulu güneş kapasitesi 2018 yılı sonu verilerine göre 509 GW'a ulaştığı gözlemlenmiş olup; bu kapasitenin %34 Çin'de (173 GW); %12 USD'de (61GW); %11'i Japonya'da (56GW); %9'u Almanya'da (46GW); %5'i Hindistan'da (26 GW) bulunmaktadır. Bu değerlere her yıl 100 GW'ın üzerinde güç kapasiteleri de eklenmektedir. Kurulu güç bakımından 2023 yılında güneş enerjisinde ülkelerin sıralaması sırasıyla; Çin (448GW), USA (132GW) , Hindistan (116GW), Japonya (82GW), Almanya (72GW), Avustralya (45 GW), İtalya (29GW), İspanya (25GW), Güney Kore (24GW), Fransa (22GW) olması tahmin edilmektedir. Dünyanın yıllar içerisindeki kurulu güneş istemi artışı Şekil 2.4'de verilmiştir (Url-4).



Şekil 2.4: Dünyadaki kurulu güneş sistemleri gelişimi (Url-4)

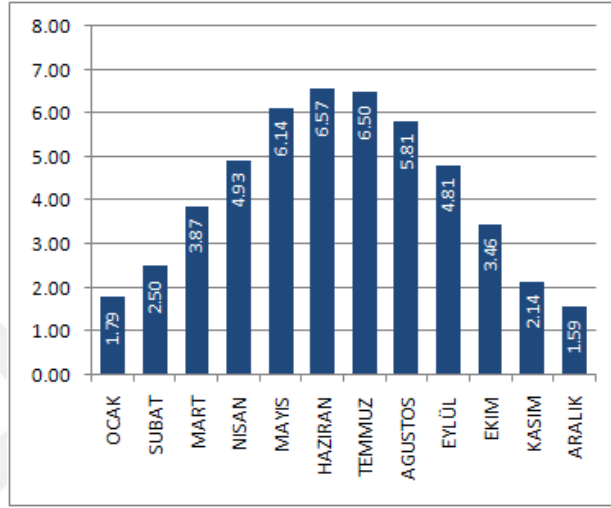
2.1.3.3 Türkiye’de Güneş Enerjisi

Türkiye bulunduğu coğrafi konumu nedeniyle güneş enerjisi potansiyeli bakımından dünya üzerindeki birçok ülkeden çok daha avantajlıdır. Ortalama potansiyelin çok üzerinde olmasına rağmen güneş enerjisi eldesi ve kullanımında öngörülenden daha geridedir. Türkiye’de güneş enerjisine teşvik olarak mevzuatlarda çeşitli değişiklikler de yapılmıştır. Türkiye’nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2737 saat, yıllık toplam gelen güneş enerjisi ise 1527 kWh/m²-yıl değerinde verilmiştir. Türkiye yıllık güneşlenme potansiyeli olarak 110 gün gibi yüksek bir değere sahiptir ve zaman içinde daha çok önem kazanması durumunda yılda birim kare başına ortalama 1100 kWh’lık güneş enerjisi üretebilir. Şekil 2.5’de Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyeli atlası gösterilmiştir (Kılıç 2015).



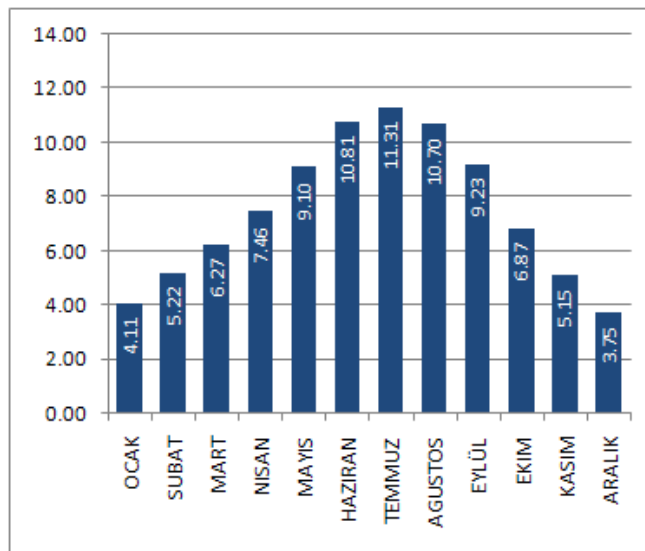
Şekil 2.5: Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyeli haritası (Kılıç 2015)

Şekil 2.5’deki haritada da görüldüğü gibi kuzeye doğru gittikçe güneş enerjisi potansiyeli azalmaktadır. Dünyada güneş enerjisinde lokomotif ülke olan Almanya’nın aldığı ışıınım değeri, Türkiye’nin en az ışıınım alan Karadeniz bölgesi ile hemen hemen aynıdır. Buna göre Türkiye’nin aldığı güneş enerjisinden faydalanma oranının oldukça düşük olduğunu görebiliriz (Özgür 2020). Şekil 2.6’ da Türkiye’nin global radyasyon değerleri gösterilmiştir.



Şekil 2.6: Türkiye global radyasyon değerleri (KWh/m²-gün) (Url-5)

Türkiye’de en yüksek global radyasyon değeri haziran, temmuz ve ağustos aylarına aittir. Türkiye güneşlenme süresi bakımından da zengin bir ülkedir. Türkiye’nin aylara göre güneşlenme süresi Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Türkiye’nin aylara göre güneşlenme süreleri (Url-5)

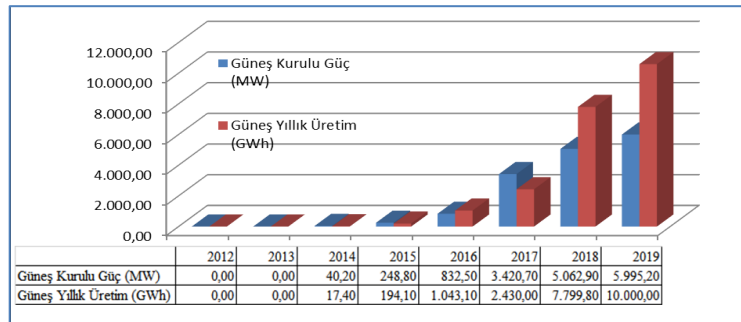
Güneşlenme süresi en yüksek olduğu aylar haziran, temmuz ve ağustos aylarıdır. Türkiye’de bölgelerin ısınım ve güneşlenme süreleri Tablo 2.2’ de gösterilmiştir.

Tablo 2.2: Bölgelerin ısınım değerleri ve güneşlenme süreleri (Özgür 2020)

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)
G. Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

2.1.3.4 Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi

Ülkemiz güneşten elektrik üretmeye 2014 yılında başlamıştır. 2018 yılında üretim 7799.8 GWh olarak gerçekleşmiş olup bu dört yılda üretim neredeyse 7.5 katına çıkmıştır. Ülkemiz güneş enerjisinden çok geç faydalanmaya başlasa da geçen yıllar içinde artış hızla büyümüştür. 2019 yılı üretimi ise 10500 GWh değerinde olmuştur. Şekil 2.5’de verilen güneş enerjisi potansiyeli haritasına göre yapılan hesaplamalarda santral kurmaya elverişli metrekaresi 1650 kWh’den yüksek 4600 km² alan ortaya çıkmıştır. Bu da ülkemizin güneş enerjisinden elektrik üretme potansiyelinin ne kadar yüksek olduğunu göstermektedir. Ancak kurulu güç ve güneşlenme oranına bakarsak, güneşlenme süresinin bu kadar fazla olduğu ülkemizde kurulu güç oranımız yaklaşık olarak % 6.57’dir. Yıllara göre olan GES kurulu gücü ve elektrik üretimi verileri Şekil 2.8’de verilmiştir (Özgür 2020).



Şekil 2.8: Yıllara göre GES gelişimi (Özgür 2020)

Yapılan hesaplara göre mevcut GES kurulu gücü sayesinde elektrik üretiminde doğalgaza harcanan yıllık 600 milyon dolarlık bütçeden tasarruf etmemizi sağladı. GES santrallerinin 30 yıllık teknik ömrü olduğu düşünülürse, toplamda 18 milyar dolarlık tasarruf edilmesi ve bu meblağın ülkemize kazandırılması anlamına gelmektedir. Türkiye bu büyük güneş enerjisi potansiyelinin farkına vararak kullanım alanlarını geliştirirse, ekonomisine çok büyük miktarda katkı sağlamış olacaktır. Tablo 2.3'te yıllar içinde Türkiye'deki toplam kurulu güç, yenilenebilir kaynakların toplam kurulu gücü ve güneş enerjisine dayalı toplam kurulu güç ile bunların toplam güç içindeki payları hakkında bilgiler verilmiştir.

Tablo 2.3: Kurulu Gücün Yıllara Göre Dağılımı (Özgür 2020)

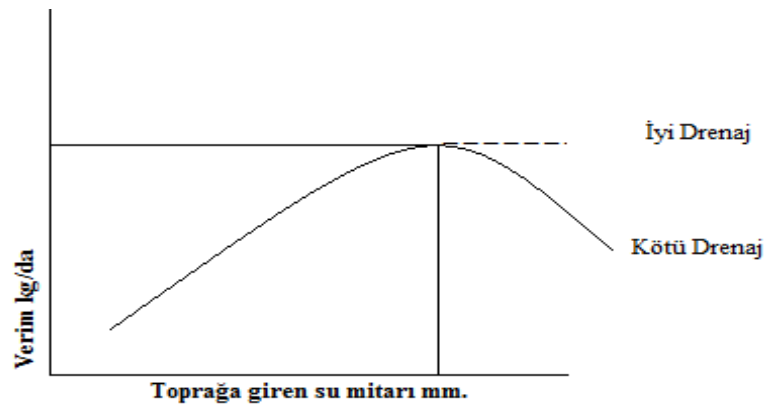
Yıl	GES (MW)	Yenilenebilir Kaynaklara Dayalı Toplam Kurulu Güç (MW)	Türkiye Toplam Kurulu Gücü (MW)	GES'lerin Toplam Kurulu Gücünün Türkiye Toplam Kurulu Güç İçindeki Payı (%)	Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Santraller İçinde GES'lerin Kurulu Güç Payı (%)
2014	40,2	28.017,1	69.519,8	0,06	0,14
2015	248,8	31.613,8	73.146,7	0,34	0,79
2016	832,5	34.582,2	78.497,4	1,06	2,41
2017	3.420,7	38.273,7	85.200,0	4,01	8,94
2018	5.062,9	41.642,1	88.550,8	5,72	12,16
2019	5.995,2	44.767,5	91.267,0	6,57	13,39

Tablo 2.3 incelendiğinde 2019 verilerine göre GES kurulu gücü artışında yavaşlama görülmektedir. Özellikle 2017 ve 2018 senelerinde kurulu güçte oldukça yüksek bir tırmanış söz konusudur. Güneş enerjisinin kullanımını arttırmak için yapılacak olan her hamle ülkemizin refahı için gereklidir. Güneşten elektrik üretme potansiyelimiz oldukça yüksektir ve bu konuda dışa bağımlılığı azaltmak için her birim güneşlenme metrekaresinden faydalanmalı, verimli ve çevreci bir politika sürdürmeye de devam etmelidir.

3. SULAMA SİSTEMLERİ VE TOPRAK NEM ÖLÇÜMÜ

Tarımsal sulamada, sulama sistemleri önemli yer tutmaktadır. Arazinin boyutlarına, toprak yapısına, arazinin yapısına, su kaynaklarına ve bitki türüne göre çeşitlilik göstermektedir. Bu bölümde sulama sistemlerinin tanımı, önemi, tarihçesi, damla sulama sistemi ve su pompalamada kullanılan fotovoltaiik sulama konularına yer verilmiştir. Bitkilerin büyümesini sürdürebilmesi için ve en iyi şekilde verim verebilmesi için en önemli şart yeterli ve dengeli miktarda sulamanın yapılmasıdır. Yağmur suyu ile doğal sulama olurken yetmediği durumlarda da sulama yöntemleri ile eksik olan kısım tamamlanmaktadır. Bunlara uygun olarak sulama doğal faktörlerin yetersiz kaldığı durumlarda, ihtiyaç duydukları su miktarını bitkinin kök bölgesine verilmesi olarak tanımlanabilir.

Suyun dağılımı dünya üzerinde yer yer farklılıklar göstermektedir. 200 mm'den az yağış alan bölgeye kurak, 200-500 mm arasında yağış alan bölgeye yarı kurak, 500-750 mm arasında yağış alan bölgeye yarı nemli, 750 mm'den fazla yağış alan bölgeye ise nemli bölge adı verilmektedir. Bu bölgelerin durumuna göre sulama fazlasıyla önem arz etmektedir. Ülkemizin kaynaklarına bakacak olursak, zaman içinde insanların tüketimi veya buharlaşma göz önüne alınarak su zengini değil, su azlığı yaşayan bir ülkedir. Tarım amaçlı kullanılan su, su tasarrufu sağlamada en büyük etkidir. Tüm bu sebeplerden dolayı sulama amaçlı kullanılan suyun en az şekilde ve en yüksek verimle kullanılması amaçlanmalıdır. Daha etkin su kullanımı hakkında gelişmeler günümüzde de devam etmektedir (Yıldırım 2008). Şekil 3.1'de bitkilerde su verimliliği ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Bitkilerde su-verim ilişkisi eğrisi (Url-6)

3.1 Sulamanın Tarihçesi

İnsanlık tarihi boyunca sulama hep var olmuştur. Medeniyetlerin kurulması bile suyun daha çok bulunduğu ya da suya yakın alanlarda olmuştur. Sulamanın ilk uygulandığı ülkenin Mısır olduğu öngörülmektedir. Sulama tarihi milattan önceki zamanlara denk düştüğü söylenmektedir. MÖ. 5000 yıllarında Nil nehrinden su arığı çıkartılarak tarım alanlarını sulama amaçlı kullanılmıştır. MÖ. 3000 yıllarında ise dünyanın bilinen ilk kaya dolgu barajı Nil nehri üzerine yapılmıştır. MÖ. 2000 yılında ise Mısır kraliçesi sulama kanalları inşa etmiştir. Bu kanallar günümüzde bile halen kullanılmaktadır. MÖ. 5000 yıllarında Hindistan'ın İndus vadisinde çağına göre oldukça gelişmiş sayılabilecek bir sulama drenaj sistemi kurulmuştur. Babil kralı MÖ. 1700 yıllarında çıkardığı kanun ile sulama sistemlerinin kurulmasını sağlamış ve kurallara uymayan çiftçiler için cezalar uygulamıştır (Yıldırım 2008). Hindistan'da antik çağda inşa edilmiş bir sulama kanalı Şekil 3.2'de gösterilmiştir



Şekil 3.2: Hindistan'da Antik Çağda inşa edilmiş bir sulama kanalı (Url-7)

Ülkemizde sulamanın 5000 yıl önceye kadar dayandığı öngörülmektedir. Eski uygarlıkların inşa ettiği ve kullandığı birçok yapı, bugün Anadolu'nun çeşitli yerlerinde bulunmaktadır. Orta, Doğu, Güney ve Güneydoğu bölgelerimizde Hititler, Urartu, Roma, Bizans ve Osmanlı İmparatorluğu dönemlerinden kalma sulama yapılarına rastlanmaktadır. Bu yapılardan bazıları bugün hala kullanılmaktadır. Bizanslar döneminde inşa edilen Kütahya-Çavdarhisar, Çorum-Örükaya, Niğde-Böğet barajları en önemli sulama yapılarımızdandır (Kanber ve diğ. 2005).

Osmanlı döneminde sulama amaçlı inşa edilen su yapıları çok azdır. Daha çok içme suyu amaçlı barajlar inşa edilmiştir. İlk sulama şebekesi olarak yine Osmanlılar döneminde Konya-Çumra ovasına 1908 senesinde Beyşehir gölü bağlanması ile elde edilmiştir. Cumhuriyet dönemine gelindiğinde ise Çubuk 1 barajı inşa edilmiş ve Nazilli, Sarayköy, Seyhan, Berdan, Kazova sulamalarının temelleri atılmıştır. Cumhuriyet döneminde ilk büyük sulama şebekesi 1943 senesinde hizmete dahil edilen Nazilli sulama şebekesi olmuştur. Daha sonraki yıllarda 6200 sayılı yasa ile DSİ Genel Müdürlüğü'nün kurulması ile sulamaya olan yatırımlarda hızlı bir artış yaşanmıştır. 1963-1980 yılları arasındaki devlet bütçesinin % 20-33'lük kısmı arazi iyileştirme ve sulama alanı için olacak yatırımlara ayrılmıştır. DSİ'nin kurulması ile birlikte sulamaya daha çok önem verilmiştir. 1960'tan sonra yılda ortalama 20-40 bin hektarlık alan sulamaya açılmıştır (Kanber ve diğ. 2005).

Tarih boyunca sulama sistemleri hakkında uygulamalar devam etmiştir. Birçok alanda asırlardır gelişmeler devam etse de yüzey sulamada hala eski zamana benzerlik göstermektedir. Dünyanın birçok yerinde de yüzey sulama konusunda eski zamanlar benzerlikler mevcuttur. Bu durum da eski sistemlerin oldukça başarılı, üst düzey ustalık gerektiren sistemler olduklarını göstermektedir. Türkiye'de de devlet sulama alanında birçok yatırımlar yapmıştır ve bu alanda beklenilmeyen ölçüde başarılar elde edilmiştir. Yapılan yatırımlar birçok ülkede model oluşturmıştır. Günümüzde de çeşitli projelerle sulama desteklenmektedir ve yatırımları devam etmektedir.

3.2 Sulama Yöntemleri

Sulama yöntemleri bitkinin köküne verilecek suyun biçimi, suyun kaynaktan alınarak bitkiye verilmesine kadar oluşan sistemin bütününe kapsar. Sulama yöntemleri, yüzey sulama ve basınçlı sulama olmak üzere iki ana başlıkta incelenir. Yüzey sulamada su toprak yüzeyinden verilir. Su yerçekimi etkisi ile köke doğru ilerler ve bitki kök bölgesinde depolanır. Basınçlı sulamada ise basınçlı yağmurlama tekniği veya su damlacıklarının damlatılması halinde toprağa verilir ve su bitki köküne ulaşır. Sulama yöntemlerinin hepsinin kendine özgü sistemleri vardır. Bu sistemler toprağın konumuna, su kaynağına, iklime, ekonomik veya sosyal durum

gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu koşullara en uygun sulama yöntemi seçilmeli ve ona göre kurulup işletilmelidir (Url-8). Tablo 3.1’ de sulama yöntemleri gösterilmektedir.

Tablo 3.1: Sulama yöntemlerinin sınıflandırılması (Yıldırım 2008)

Sulama Yöntemleri	
A) Yüzey Sulama Yöntemleri	B) Basıncılı Sulama Yöntemleri
a) Salma Sulama Yöntemleri	a) Yağmurlama Sulama Yöntemi
b) Tava Sulama Yöntemleri	b) Ağaç Aktı Mikro Yağmurlama Sulama Yöntemi
c) Uzun Tava Sulama Yöntemleri	c) Sızdırma Sulama Yöntemi
d) Karık Sulama Yöntemleri	d) Damla Sulama Yöntemi

Tarımsal sulamada birinci kural tarla başına kadar getirilmiş olan suyun, en az kayıpla bitkilere eşit miktarda dağıtılmasıdır. Tarımsal sulamada tatlı su kaynaklarımızı doğru yöntemlerle kullanmak, daha az su, enerji ve işgücü sağlayan teknolojilerle birleştirmek ülkemizin üretimde sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Bitkinin yetişmesi için; toprak kalitesi, tohum kalitesi ve gerekli olan ısıнын bir anlam ifade edebilmesi için toprağın nemli olması gerekir. Yeterince nemden sonra bitki çimlenir ve bitkinin yaşamını sürdürebilmesi için yine suya ihtiyacı vardır. Bu yüzden sulama bitkinin yaşamı için oldukça önemlidir. Sulamanın kabul edilen esasta iki amacı vardır. Birincisi bitkinin gelişmesi ve yaşamını sürdürebilmesi için nemi ve besini sağlamak, ikincisi ise topraktaki tuzu çözelti haline getirmektir.

3.2.1 Yüzey Sulama Yöntemleri

Yüzey sulama yöntemlerinde, bitkiye verilecek su tarlaların göllendirilerek zaman içinde kök bölgesinde sızmaya bırakılır veya kök bölgesinde sızıncaya kadar arazi yüzeyinden akması sağlanır (Url-8). Yüzey sulama yöntemleri; (a) salma sulama yöntemi, (b) tava sulama yöntemi, (c) uzun tava sulama yöntemi, (d) karık sulama yöntemi olarak sınıflandırılmaktadır.

a) Salma Sulama Yöntemleri:

Salma sulama yönteminde kaynaktan getirilen su, araziye salınarak ilerlemesi ve bitki köklerinde birikmesi sağlanır. Arazideki engebeli zemin suyun ilerlemesine engel olacaktır. Topraktaki nem durumuna duyarlı değildir. Sık aralıklı bitkilerin sulanmasında kullanılabilir (Url-8).

b) Tava Sulama Yöntemleri:

Bu yöntemde tarlada sulanacak alanın etrafında toprak seddelerle çevrilmiş eğimsiz tavalar oluşturulur. Tavaların yüzey alanları birkaç m²'den 10 ha'a kadar değişkenlik gösterebilir. Verilen suyun debisi yüksek olmalıdır. Bu sayede tava kısa sürede su ile kaplanır. Su tavada göllenir ve zamanla toprak tarafından emilerek kök bölgesine ulaşır (Url-8).

c) Uzun Tava Sulama Yöntemleri:

Bu yöntemde, tarlada sulanacak alan eğim doğrultusunda dar ve uzun şeritlere bölünür. Enleri 3-30 m boyları ise 100-800 m arasında değişkenlik göstermektedir. Tava sulamadaki gibi alanlarda su göllendirilmesi yapılmaz. Şerit uzunluğundaki tavanın sonu açık olur ve sondan çıkan su bir kanal vasıtasıyla alandan uzaklaştırılır (Yıldırım 2008).

d) Karık Sulama Yöntemleri

Bu yöntemde su akıtılma sistemine dayanır. Karıklar gerekli suyu taşıyabilecek büyüklükte olmalıdır. Sırayla ekilmiş bitkilerin sulanmasında kullanılır. Su tutma kapasitesi yüksek olan toprak çeşitlerinde kullanılması tercih edilir. Sulanacak alanın eğimi % 1'den az olmalıdır. Eğimli olan arazilerde, tesviye eğrilerine paralel olacak şekilde karıklar hazırlanır. Kök boğazı ıslatılmasından zarar gören bitkilerin sulanmasında kullanılır (Url-8).

3.2.2 Basınçlı Sulama Yöntemleri

Günümüzde su kaynakları konusunda sıkıntı yaşanmaktadır. Buna karşılık su kullanımının çeşitli sektörlerde kullanımı gittikçe artmaktadır. Basınçlı sulama yöntemleri yüzey akışıyla ve derine sızma ile meydana gelen su kayıplarına engel

olduğu için günümüzde tercih edilen en yaygın yöntemler haline gelmişlerdir. Basınçlı sulama yöntemleri; (a) yağmurlama sulama yöntemi, (b) ağaç altı mikro yağmurlama sulama yöntemi, (c) sızdırma sulama yöntemi, damla sulama yöntemi olarak sınıflandırılmaktadır.

a) Yağmurlama Sulama Yöntemi:

Bu yöntem kaynaktan aldığı suyu bir basınç altında kapalı bir sistem içinde tarlaya kadar iletir ve dışarıya damlacıklar halinde püskürtür. Bu yöntem içeriğinde farklı özellikler ve kapasiteler olduğu için değişik bitki türlerinde ve çok ağır topraklar hariç her türlü toprak cinsinde kullanılabilir. Her türlü iklime uygundur. Bu sistemde arazi tesviyesine gerek yoktur bu nedenle dik ve engebeli arazilerde erozyona sebep olmadan uygulanabilir. Fazla işgücüne ihtiyaç duymadan az miktarda sulama suyu kullanarak sulama yapılabilir (Url-8).

b) Ağaç Altı Mikro Yağmurlama Sulama Yöntemi:

Bu yöntem ile sulama suyu bitki gövdelerine yakın olacak şekilde yerleştirilen sprinkler adı verilen yağmurlayıcılar aracılığı ile dışarıya püskürtülerek toprağa verilmektedir. Damlama sulama yöntemine göre işçiliği daha az olan bu yöntem ile daha geniş toprak hacmi ıslatılabilir (Yıldırım 2008).

c) Sızdırma Sulama Yöntemi

Bu yöntemde su doğrudan bitki köküne verilir. Bunun için arazide boyuna ve enine belirli uzunluklarda çukurlar açılır. Bu çukurların alt kısmına üzerinde eşit aralıklı deliklere sahip olan borular yerleştirilir. Bir ağzları kapatılarak diğer ağzları sulama borusuna monte edilir. boruların üzerine çakıl, taş, kum vs. doldurularak, çukur tamamen toprakla doldurulur. Borulara su verildiğinde cidarlardan sızan su kök bölgesini ıslatır ve bitkinin su gereksinimi karşılanmış olur. Sistem oldukça düşük basınçta çalışmaktadır. İstenilirse su içine eriyik besin maddesi katılır ve gübreleme de yapılmış olur. İlk yatırım giderleri yüksektir (Yıldırım 2008).

3.3 Damlama Sulama Yöntemi

Damlama sulama yöntemi sık aralıklarla ve her seferinde deliklerden azar azar damlacıklar halinde su bırakarak uygulanan bir yöntemdir. Sulamaya yüksek nem ile başlanır böylece yetersiz nem miktarı sorunu yaşanmaz. Az işçilik, az enerji kullanımı ve yüksek verimi sayesinde günümüzde en çok tercih edilen sulama yöntemidir.

Damlama sulama toprak yüzeyine veya içine yerleştirilmiş haznedeki delikler sayesinde yüzeye veya içerisine arıtılmış suyu veren bir sistemdir. Kaynaktan alınan sulama suyu önce bir kontrol biriminde toplanır ve burada kum, katı cisimler vs. arındırılır. Sistemin basıncı veya debisi kullanıcı tarafından denetlenebilir. Su, basınçlı boru ağı ile bitki yakınındaki deliklere kadar gelir ve oradan da düşük basınç ve düşük debi ile toprağa verilir. Bu sistem ile bitkileri donatmış boru aracılığı sayesinde her bitki sulanır. Bitki sıraları boyunca şerit halinde ıslaklık elde edilir, aralarda ıslatılmayan alan da kalır. Büyük alanda kuru bölge kalması göz önünde bulundurulursa su tasarrufu bakımından oldukça etkilidir. Yöntem genellikle bitkinin günlük veya birkaç günlük su ihtiyacını karşılar. Gerektiği zaman ise bitki için besin maddeleri sulama suyuna karıştırılabilir. İyi bir tasarım ile birlikte suda derine sızma veya yüzey akışı olmaz bu sayede de kullanılan sudan en verimli şekilde yararlanılmış olur (Aras 2006).

3.3.1 Damlama Sulamanın Avantajları:

Damla sulama yöntemi diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında birçok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajları aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Damlama sulama yönteminde toprak yüzeyinde oluşan buharlaşma ve buna bağlı olarak su tüketimi yüzeysel sistemlere göre daha düşüktür. Bunun nedeni, bitki aralarında kuru alanların kalması ve ıslak alana da genellikle bitkinin gölge oluşturulmasıdır.
- Tarlanın her yerindeki bitkilerin eşit miktarda sulanması da birim alanda su gereksiniminin düşmesini ve su kaynağından tasarruf etmemizi sağlar.

- Bitki nem miktarı konusunda sıkıntıya girmez. Bu da bitkinin daha iyi gelişmesini ve daha verimli olmasını sağlar.
- Derine sızma ve yüzey akış oluşturmayaacağından besin kayıpları da oluşmaz. Son derece etkili olan bu gübreleme yöntemi ile yine bitki daha verimli hale gelir.
- Bitkilerin toprağın üzerinde kalan kısımlarında ıslaklık oluşmayacağından bu yolla oluşan hastalıklar da en aza indirgenmiş olur.
- Yüksek eğimli bölgelere bile güvenle uygulanabilir.
- Diğer yöntemlere göre işletme basıncı düşük olduğundan daha az enerji harcar ve işçiliği daha azdır.
- Bitki aralarındaki kuru alanlar sayesinde sulama esnasında bile iş makineleri çalışabilir.
- Yabancı otlara daha az rastlanır.
- Bitki besin maddeleri sulama suyu ile birlikte bitki köklerine verilebilir.
- Bitki üstü organlar ıslanmadığından bu yolla oluşan hastalıklar önlenir.
- Toprak altında bulunan ıslatma alanı dış cepheye doğru itildiğinden tuzlar yüzünden oluşacak olan ozmatik basınç azalır ve suyun alınımını kolaylaştırır (Aras 2006).

3.3.2 Damlama Sulama Sistemlerinin Uygulanacağı Koşullar

1) Toprak ve topografya:

Damlama sulama yöntemi her türlü toprak çeşidine uygulanabilir. Bununla birlikte düşük ya da yüksek eğimli, engebeli topografyada da uygulanabilir. Ancak uygulanacak arazinin durumuna göre uygun bir sistem tertibinin yapılması önemlidir.

2) Bitki özellikleri:

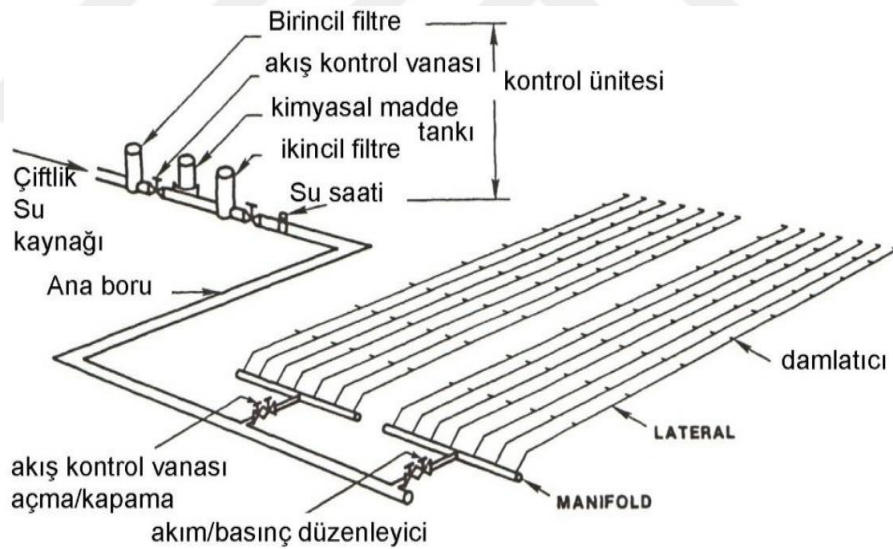
Genel olarak sık ekilen bitkiler dışında her türlü tarla bahçe bitkilerinde uygulanabilir. Yüksek sistem maliyeti nedeniyle fazla ekonomik olmadığından pazar değeri yüksek olan bitkiler için daha uygundur. Geniş sulama alanı sayesinde mısır, pamuk, patates gibi tarla bitkilerine de damlama sulama yönteminin uygulanması mümkündür.

3) Su kaynağı özellikleri:

Su kapasitesi çok düşük de olsa her türlü yer altı veya yer üstü su kaynaklarından yararlanılabilir. Suyun çok fazla katı cisim içermemesi, içerse bile gerekli ekipmanlar ile suyun bu cisimlerden ayrıştırılması önemlidir (Yıldırım 2008).

3.3.3 Damlama Sulama Sistemleri Elemanları

Damlama sulama sistemi basınçlı sulama sistemleri arasında olup, suyun kaynaktan alınıp belli aşamalardan geçerek bitki kök bölgesine kadar kontrollü bir biçimde geçecek olan gerekli yapı, makine, alet, boru ve araçlardan oluşur. Genellikle sabit bir sistem durumundadır. Elemanların yeri mevsim boyunca aynı konumdadır (Yıldırım 2008). Damla sulama sistemi; damlatıcılar, lateral boru hatları, ana boru hattı, yan boru hattı, kontrol birimi ve pompa biriminden oluşmaktadır. Şekil 3.3’ de damla sulama sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Damlama sulama sistemi tasarımı (Ünlükara 2019)

3.3.3.1 Damlatıcılar

Damlatıcılar, damlama sulama sisteminin en önemli elemanıdır. Damlatıcılar lateral boru hatları üzerinde bulunur ve bu borularda bulunan basınçlı suyu toprak yüzeyine vermeye yarar. İçerisinde suyun basıncını kırmaya yarayan çeşitli şekillerde küçük kanalcıklar barındırır. Lateral üzerine geçirilmiş ve lateral içine

geçirilmiş damlatıcılar olmak üzere iki çeşidi mevcuttur. Lateral üzerine geçirilmiş damlatıcılarda damlatıcı aralıkları istenilen mesafelerde yerleştirilirken, lateral içine geçirilmiş damlatıcılarda damlatıcı mesafeleri gerekli hesaplar neticesinde belirli aralıklarla yerleştirilir (Aras 2006).

3.3.3.2 Lateral Boru Hatları

Lateral boru hatları, bitki sıralarınca yerleştirilen ve üzerinde damlatıcıları bulunduran boru hatlarıdır. Ana borulardan gelen suyu damlatıcılara iletirler. Genellikle toprak yüzeyine yerleştirilirler. Bazen de bağlarda olduğu gibi bitki sırası boyunca yerleştirilmiş olan direkler üzerindeki en alt tele bağlanırlar. Bu borular genellikle güneş ışınımına dayanıklı, yumuşak ve 2,5-4 atm basınçta çalışabilen PE borulardan oluşur (Yıldırım 2008).

3.3.3.3 Ana Boru Hattı

Ana boru hattı, suyu kaynaktan alıp yan boru hattına iletmeyi sağlayan borulardır. Genelde gömülü halde bulunurlar ve 6 atm basınçta dayanıklıdırlar. Küçük sistemlerde toprak yüzeyine yerleştirilebilirler. Genellikle PVC ya da PE malzemelerden üretilirler (Aras 2006).

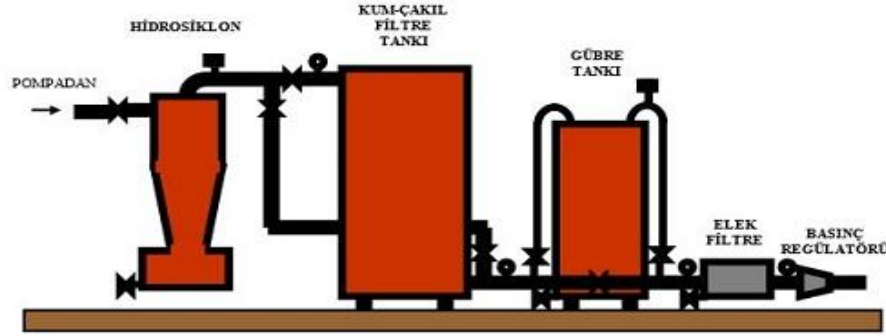
3.3.3.4 Yan Boru Hattı (Manifold)

Yan boru hattı (manifold), ana borulardan aldığı sulama suyunu laterallere ulaştırır. Yan boru hatlarının olmaması durumunda, lateraller doğrudan ana boruya bağlanır ve her bağlantıya bir vana eklenir. Bu da maliyeti oldukça arttırır. Yan boru hattı, ana boru hattına dik veya paralel bağlanabilir (Aras 2006).

3.3.3.5 Kontrol Birimi

Damlama sulama sisteminde suyun süzülmesi çok önemlidir. Kaliteli bir süzülme olmazsa damlatıcılarda tıkanma meydana gelebilir. Süzülme işlemi kontrol biriminde gerçekleştirilir. Ayrıca suyun basınç kontrolü ve miktarı da belirlenir. Bitkiye verilecek besinler suya bu birimde karıştırılır. Genelde ana boru hattının

başlangıcında yer alır. Bu birimde hidrosiklon, filtre tankı, gübre tankı, kum-çakıl filtre tankı, elek filtre, basınç regülatörü, su ölçüm araçları, manometreler ve vanalar bulunmaktadır. Şekil 3.4’ de kontrol birimine ait elemanlar gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Kontrol birimi elemanları (Url-9)

Hidrosiklon; suda bulunan katı kum parçacıklarının sisteme gitmeden önce tutulduğu bölümdür. Su hidrosiklon çeperinden içeriye girer ve aşağı doğru iner. Sonra orta kısımdan yukarıya doğru yükselir ve katı kum tanecikleri ağır olduğundan tabanda birikir. Arıtılmış olan su sisteme giderken, tabanda kalan katı kum tanecikleri belirli aralıklarla temizlenir (Güngör ve diğ. 2004).

Kum-çakıl filtre tankı; sulama suyunda bulunan yüzen cisimleri ve sedimentleri tutmaya yarar. Filtre tankının içinde çakıl-kum-çakıl katmanları sırası ile bulunur. Bu bölüme gelen su, yüzen cisimlerden ve sedimentlerden arınarak temizlenir ve alt bölmeden sisteme aktarılır. Tankın alt kısmında bir elek mevcuttur. Tank temizliği sırasında tersine yıkama yapılır (Çetin 2012).

Gübre tankı; damlama sulamada bitki besin ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla su ile besinin karıştığı kısımdır. Bu tank; aside dayanıklı, sert, paslanmaz metal ya da plastikten yapılır. 40-200 L arasında hacimleri vardır. Gübre tankı ana boruya iki noktadan bağlıdır ve gübrelenen suyun geri sisteme verilmesi bu borular ile olur. Bu iki boru arasında basınç farkı sağlamak amacı ile basınç düşürücü vana yerleştirilir. Bu sayede gübreli su tekrar sisteme dönebilir. Damlama sulamada gübreleme olayı sulamanın yaklaşık % 75-80’i kadar sürmektedir. Bu uygulama oldukça yaygındır. Olmadığı durumlarda ise, enjeksiyon pompaları kullanılmaktadır (Yıldırım 2008).

Elek filtre; hidrosiklon ve kum-çakıl filtre tankında tutulamayan küçük parçacıkları veya gübreleme işleminden sonra gelebilecek ufak gübre tortularını tutmak amacıyla gübreleme tankından sonra yerleştirilir. Genellikle silindir biçiminde bulunur (Çetin 2012).

Basınç regülatörü; elek filtreden sonra sulama suyunun sisteme sabit basınç altında verilmesini sağlamak amacıyla yerleştirilir. Değişik tip ve özelliklerde regülatörler olsa da amaçları basıncı istenen değerde ayarlamaktır. Manifold girişlerindeki basınç farkı, işletme basıncının % 20'sinden fazla ise her manifold girişine basınç regülatörü koymak gereklidir (Yıldırım 2008).

3.3.3.6 Pompa Birimi

Su kaynağı yüksekliğinin yetersiz olduğu zamanlarda gerekli basıncı sağlamak için kullanılır. Elektrik ya da diesel motoru ile çalıştırılabilir. Bakımının kolay olması ve masraflarının az olması nedeniyle elektrik motorlu pompa önerilir. Su kaynağına göre santrifüj, derin kuyu veya dalgıç olmak üzere üç tipi mevcuttur (Yıldırım 2008).

3.3.4 Damla Sulama Sisteminde Su Tüketimi

Damla sulama yönteminde normal (otomasyonsuz) olarak sulanacak alanın, bitkilerin ihtiyaç duyduğu su tüketim değerlerine göre sulamada kullanılacak su miktarı, sulama süresi, sulama aralıklarının hesaplanması ayrıca bitki su tüketimi hakkında kavramlar ve eşitlikler anlatılmıştır.

3.3.4.1 Bitki Su Tüketimi

Dünya üzerinde, artan nüfus ile su kaynaklarının tüketimi gün geçtikçe artmaya devam etmektedir. Bu durum tatlı su kaynaklarının azalmasına sebep olmaktadır. Su kaynaklarının zamanla azalmaya başlaması su kaynaklarının yönetimini gittikçe önemli hale getirmektedir. Su kaynaklarının etkin kullanımında en önemli tüketim kaynaklarından biri de tarımsal sulama uygulamalarıdır. Su

kaynaklarının kontrollü ve etkin kullanımında tarımsal sulamada kullanılan su kaynaklarının verimli kullanılmasından geçmektedir. Sulama sistemlerinin projelendirilmesi, kuraklığın izlenilmesinin yanı sıra sulamada en önemli faktörde bitki su tüketimi (Evapotranspirasyon) ET olmaktadır (TAGEM 2016).

Bitki su tüketiminin hesaplanmasında birçok matematiksel model geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en çok tercih edileni Penman-Monteith yöntemidir. Bu yöntem Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization of the United Nations) FAO tarafından bir grup araştırmacının katıldığı 56 sayılı Sulama ve Drenaj yayınında (FAO-56) yer almaktadır. Birçok ulusal yayın ve kaynakta Evapotranspirasyon (c) olarak adlandırılan ET kısaltmasıyla kullanılan bitki su tüketimi tanımlaması kabul görmektedir. Bu kavram topraktan ve bitkiden buharlaşan suyu ifade etmektedir. Evaporasyon (a) ve transpirasyon (b) olaylarının birlikte meydana gelmesiyle oluşmaktadır.

a) Evaporasyon (Buharlaşma):

Evaporasyon sıvı haldeki bir maddenin buharlaşarak atmosfere hareket etmesi olarak ifade edilmektedir. Toprak ve açık su yüzeylerinden suyun buharlaşması evaporasyon olarak adlandırılmaktadır. Buharlaşmanın gerçekleşmesi için suya enerji verilmesi gerekir. Toprakta bu enerjinin kaynağı güneş radyasyonu ve hava sıcaklığıdır. Buharlaşan suyun harekete geçebilmesi için atmosfer ile suyun bulunduğu yüzey arasında ki buhar basınç farkıdır.

Buharlaşma güneş radyasyonu, hava sıcaklığı, havanın nem durumu ve rüzgar hızı gibi çevresel faktörlere bağlıdır. Bu faktörlerin yanı sıra bitkilerin gölgelenme miktarı, toprak derinliği buharlaşma miktarına önemli ölçüde etki etmektedir.

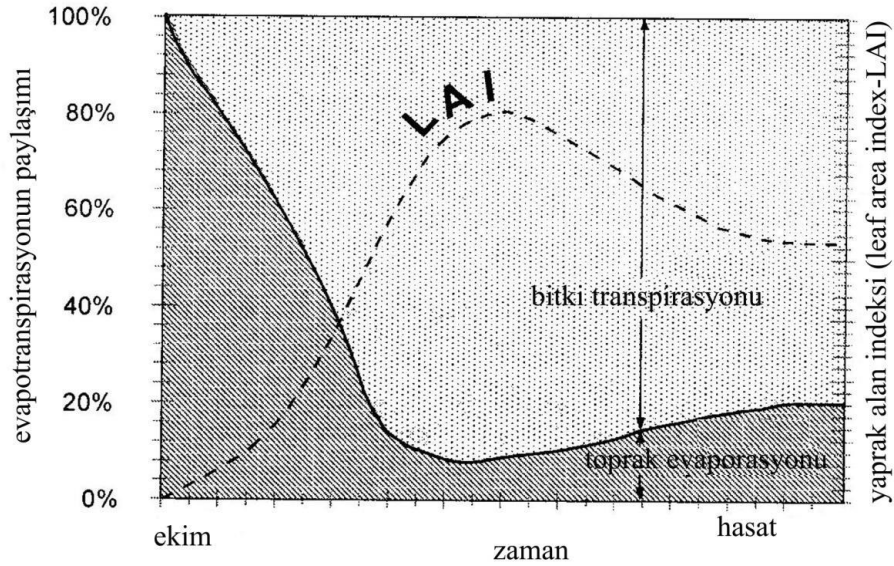
b) Transpirasyon (Terleme ile Su Kaybetme):

Bitki içerisinde yer alan suyun buharlaşarak atmosfere karışmasına transpirasyon denmektedir. Buharlaşma ile terleme arasındaki fark buharlaşmada suyun enerjiyi alarak gaz fazına geçmesi iken terlemede bitki bünyesinden buhar olarak atılmasıdır. Bitki kökler yardımıyla aldığı besinleri su ile almaktadır. Bitki içişiindeki su terlemenin etkisiyle stomalara kadar hareket ederek buharlaşmaktadır.

Terlemede de enerji, buhar basıncı, rüzgar gibi faktörlere dayanmaktadır. Aynı zamanda tuzluluk, toprağın su tutma kapasitesi, köklerin suya ulaşma durumu gibi etmenlerde bitki terlemesi üzerinde etkilidir.

c) Evapotranspirasyon (ET):

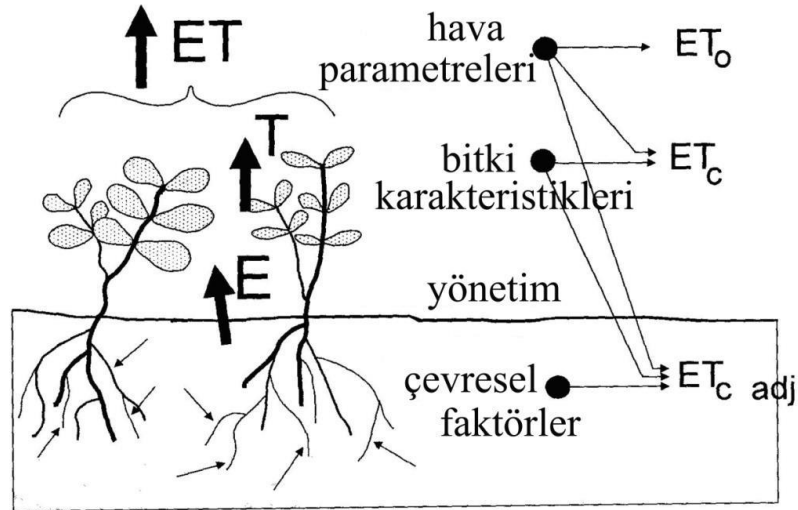
Buharlaşıma ve terlemenin aynı anda gerçekleşmesine Evapotranspirasyon (ET) denilmektedir. Toprağın üzerinde yer alan su toprak yüzeyinde güneş radyasyonu ile buharlaşır. Bu buharlaşma ürün geliştikçe, ürün zeminde daha çok yer kapladıkça ve zemin gölgelendikçe toprak yüzeyindeki su kaybolur. Mahsul geliştikçe terleme ana süreç haline gelir (Allen ve diğ. 1998). Şekil 3.5’ de bu durum gösterilmiştir.



Şekil 3.5: Bitki su tüketiminde buharlaşma ve terleme (Allen ve diğ. 1998)

3.3.4.1.1 Bitki Su Tüketimini Etkileyen Faktörler

Bitki su tüketiminde radyasyon, hava sıcaklığı, nem ve rüzgar hızı gibi iklim özellikleri; bitki türü, çeşitliliği, gelişme aşaması gibi mahsul özellikleri ve toprak tuzluluğu, zayıf toprak verimliliği, gübreleme, zayıf toprak yönetimi gibi çevresel faktörler buharlaşmaya etki etmektedir (Allen ve diğ. 1998). Bitki su tüketimini etkileyen faktörler Şekil 3.6’da gösterilmiştir. Transpirasyon (T), Evaporasyon (E), Evapotranspirasyon (ET) ile gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Evapotranspirasyonu etkileyen faktörler (Allen ve diğ. 1998)

3.3.4.1.2 Bitki Su Tüketiminin Belirlenmesi

Bitki su tüketimi (Evapotranspirasyon) ET_c , kısa boylu bitki su tüketimi (Evapotranspirasyon kısa boylu bitkiler) ET_0 olarak tanımlanır. Bir bitkide herhangi bir hastalık olmadığı, bitkinin besin elementleri bakımından eksiklik görülmediği ve su stresi olmadığı normal koşullarda ki su tüketimi ET_c olarak kabul edilmektedir. ET_0 , kısa boylu (ortalama 12 cm) ve tam örtüye sahip bir bitkinin (çoğunlukla çim olarak kabul edilir) ele alınan bir dönemde, normal koşullarda su tüketimidir. Bitkilerin su tüketimi belirlemek amacıyla birçok denklem kullanılmaktadır. Bu denklemlerden günümüzde en yaygın olarak kullanılanı FAO-Penman-Monteith yaklaşımıdır (Allen ve diğ. 1998). Denklem (3.1)'de bitki su tüketiminin hesaplanması gösterilmiştir.

$$ET_c = K_c ET_0 \quad (3.1)$$

Eşitlikte:

ET_c : Bitki su tüketimi (mm/gün)

ET_0 : Referans bitki su tüketimi (mm/gün)

K_c : Bitki kat sayısını ifade etmektedir.

ET_0 hesabında Penman-Monteith eşitliğinden Denklem (3.2) yararlanılmıştır (Allen ve diğ. 1998).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0.34u_2)} \quad (3.2)$$

Eşitlikte:

- ET₀ : Referans bitki su tüketimi (mm/gün)
R_n : Mahsul yüzeyindeki net radyasyon (MJ m⁻²gün⁻¹)
G : Toprak ısı akısı yoğunluğu (MJ m⁻²gün⁻¹)
T : 2 m yükseklikte günlük ortalama hava sıcaklığı (°C)
u₂ : 2 m yükseklikte rüzgar hızı (m/s)
e_s : Doygunluk buhar basıncı (KPa)
e_a : Gerçek buhar basıncı (KPa)
Δ : Buhar basıncı eğrisi eğimi (KPa/°C)
γ : Psikrometrik sabit (KPa/°C) göstermektedir.

3.3.4.1.3 Bitki Katsayısı (K_c)

Standart koşullarda bitki su tüketiminin referans bitki su tüketimine oranına bitki kat sayısı K_c denilmektedir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü bitki katsayısını tanımlamak için bitkiyi farklı dönemlere ayırmıştır. Bu dönemler başlangıç, orta ve son dönemler olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Bitki su tüketimi bitkinin ilk dikim zamanlarında en düşük değere sahipken ortam dönemde en yüksek seviyeye ulaşmaktadır. Son dönemde ise bitki su tüketimi düzenli bir azalış göstermektedir.

a) Başlangıç Dönemi

Başlangıç dönemi bitkilerin ekim zamanı ile yaklaşık olarak toprağın % 10 oranında örtüğü dönem olarak sınıflandırılmıştır. Bu dönem ağaçlarda ise tomurcuklanmanın başladığı dönem ile başlar yaprakların belirginleştiği döneme kadar devam etmektedir. Çok yıllık bitkilerde ise bitkinin uyanması ile başlayıp yeşilliğin olduğu dönemde son bulmaktadır. Bitki su tüketiminin bu dönemde sabit kaldığı varsayılmaktadır.

b) Gelişme Dönemi

Gelişme dönemi bitkilerin başlangıç döneminin sonlarına doğru başlar ve bitkilerin yeşil kısımlarının geliştiği dönemi kapsamaktadır. Bitkinin gelişiminin yavaşladığı dönemle birlikte gelişme dönemi sona ermektedir. Bitki kat sayısının bu dönemde her gün arttığı varsayılmaktadır.

c) Orta Dönem

Bitkinin orta dönemi yeşil kısımlarının gelişiminin yavaşladığı ve daha çok çiçeklenmenin ardından meyve vermenin başladığı dönemdir. Yapraklarda ki sararmanın başlamasıyla sona ermektedir. Bu dönemde de bitki katsayısının sabit kaldığı varsayılmaktadır.

d) Son Dönem

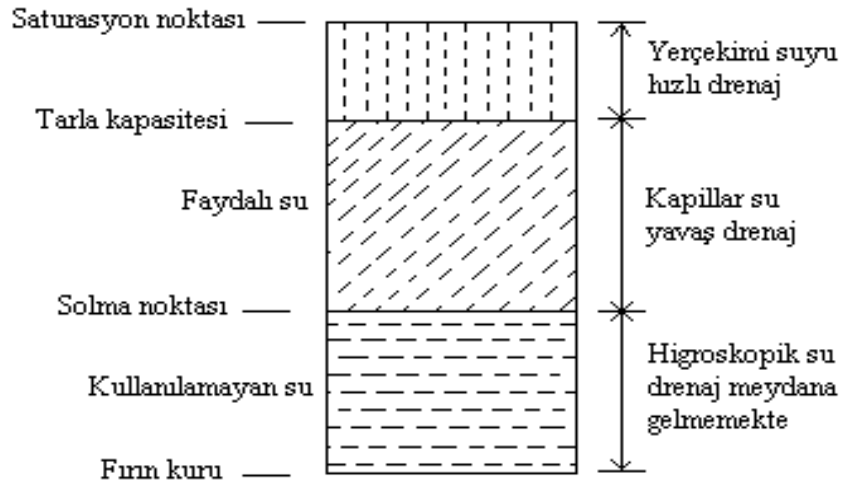
Bu dönem orta dönemin sona ermesiyle başlar ve son hasat ile bitmektedir. Bu dönem ağaçlarda ise yaprakların dökülmesi ile başlayıp yaprak miktarının azalmaya başlaması arasındaki dönem olarak kabul edilmektedir. Bu dönemde bitki katsayısı azalmaktadır.

3.3.5 Damla Sulama Yöntemi Tasarımı ve Hesaplamaları

Damla sulama yönteminde arazi ve bitki şartlarına uygun ekonomik bir sistem tasarımı yapılması gerekmektedir (Yıldırım 2008). Damla sulama sistemi tasarımı damlatıcı debilerinin belirlenmesi, damlatıcı ve yan boru hatlarının aralıklarının tespit edilmesi ve sulama suyu ihtiyacının belirlenmesi gerekmektedir.

3.3.5.1 Sulama Yönünden Önemli Toprak Nemi Sabitleri

Sulama sisteminde toprak nem içeriğini tespit etmek amacıyla bazı kavramlar kullanılmaktadır. Bu kavramlar doyma noktası (DN), tarla kapasitesi (TK), solma noktası (SN) ve fırın kuru (FK) olarak tanımlanmıştır. Şekil 3.7' de toprak nemi sabitleri gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Toprak nemi sabitleri (Ünlükara 2019)

Doyma Noktası: Toprak gözeneklerinin tamamen su ile dolduğu duruma doyma noktası denilmektedir. Sulama uygulamalarında toprak içerisindeki hava tamamen dışarı çıkamaz bu durumda gözenek hacminin % 85 - % 90'lık kısmı su ile doludur.

Tarla Kapasitesi: Toprak içerisinde yer alan tanelerin yer çekimine karşı tuttuğu nem miktarına tarla kapasitesi denilmektedir. Toprağın sınıfı, yapısı ve toprak tanelerinin şekline bağlı olarak tarla kapasitesi değişmektedir.

Solma Noktası: Bitkilerin kökleri yardımıyla köklerinden su alamadığı, bu nedenle solmaya başladığı noktaya solma noktası denilmektedir. Ağır bünyeli topraklarda solma noktası yüksek, hafif bünyeli topraklarda ise düşüktür.

Fırın Kuru: Topraktan alınan örneğin 105 °C sıcaklıkta kurutulduktan sonra toprak içerisinde bulunan nem miktarına fırın kuru denilmektedir. Fırın kurudaki toprak ağırlığı, toprak tanelerinin ağırlığına eşit olarak kabul edilmektedir.

3.3.5.2 Damlatıcı Debisi ve Aralığı

Damlatıcı debileri belirlenirken toprak tipi ve toprağın su alma hızlarına bakılmaktadır. Su alma hızı yüksek topraklar ağır bünyeli ve su alma hızı düşük topraklar ise hafif bünyeli olarak sınıflandırılmaktadır. Debi belirlenirken; ağır bünyeli topraklarda 2-4 L/h, orta bünyeli topraklarda 4-6 L/h, hafif bünyeli topraklarda ise 6-16 L/h kullanılması önerilmektedir (Güngör ve diğ. 2004).

Damlaticı aralığı hesaplanırken toprağın su alma hızı ve damlaticı debisi kullanılmaktadır. Eşitlik (3.3)'de damlaticı aralığı hesaplanması gösterilmektedir (Yıldırım 2008).

$$S_d = 0.9 \sqrt{\frac{q}{l}} \quad (3.3)$$

Eşitlikte;

S_d : Damlaticı aralığı (m)

q : Damlaticı debisi (L/h)

l : Toprağın su alma hızı (mm/h) göstermektedir.

Lateral boru hatlarının mesafesi belirlenirken bitki sıra aralıklarına (S_s) bakılır. Tarla bitkileri ve sebzelerde bitki sıra aralığı damlaticı aralığından büyük olduğu durumlarda her bitki sırasına bir lateral boru hattı döşenir. Damlaticı aralığı bitki sıra aralığına eşit veya bitki sıra aralığından büyük olduğu durumlarda ise her iki bitki sırasına bir lateral döşenmektedir (Yıldırım 2008).

3.3.5.3 Islatılan Alan Oranı (P)

Damla sulama sisteminde ıslatılan alan oranı tarla bitkileri ve sebzelerde damlaticı aralığının, lateral aralığına bölünmesiyle elde edilir. Islatma alan oranını Eşitlik (3.4)' de gösterilmiştir (Güngör ve diğ. 2004).

$$P = k \frac{S_d}{S_l} \quad (3.4)$$

Eşitlikte;

P : Islatılan alan oranı

S_d : Damlaticı aralığı (m)

S_l : Lateral aralığı (m)

k : Katsayı

Bitki cinsi ve toprak koşuluna göre k katsayıları değişmektedir. Tarla bitkileri ve sebzelerde k katsayısı bir ($k=1$) alınmaktadır (Güngör ve diğ. 2004).

3.3.5.4 Damla Sulamada Su İhtiyacı

Damla sulamada su ihtiyacının belirlenmesinde ilk olarak her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı hesaplanmaktadır. Ardından damla sulama için gerekli su miktarı belirlendikten sonra sulama aralığı belirlenir ve net sulama suyu ihtiyacı hesaplanmaktadır. Hesaplanan net sulama suyu ihtiyacına göre toplam sulama suyu ihtiyacı gerekli katsayılarla bölünerek bulunur.

a) Her Sulamada Uygulanacak Maksimum Net Sulama Suyu Miktarı:

Damla sulama sistemlerinde su ihtiyacı belirlenirken her sulamada uygulanacak maksimum sulama suyu miktarı tespit edilmelidir. Her sulamada uygulanacak net sulama suyu ihtiyacı hesaplanırken kullanılabilir su tutma kapasitesinin yüzdesi olarak veya kullanılabilir su tutma kapasitesinin derinlik cinsinden ifade edilmektedir.

Her sulamada uygulanacak maksimum net sulama suyu miktarı kullanılabilir su tutma kapasitesinin derinlik cinsinden ifadesi Eşitlik (3.5)'de gösterilmektedir (Yıldırım 2008).

$$d_{n(max)} = d_k D R_y P \quad (3.5)$$

Eşitlikte;

$d_{n(max)}$: Her sulamada uygulanacak maksimum net sulama suyu miktarı (mm)

d_k : Kullanılabilir su tutma kapasitesi (mm/m)

D : Islatılacak toprak derinliği (mm veya m)

R_y : Kullanılabilir su tutma kapasitesinin tüketilmesine izin verilen kısmı

P : Islatılan alan oranı

Damla sulama sisteminde; ıslatılacak toprak derinliği genellikle bitki kök derinliğine eşit alınmaktadır. Kullanılabilir su tutma kapasitesinin genellikle % 30 tüketildiğinde sulama işlemine başlanmaktadır ($R_y=0.30$) (Güngör ve diğ. 2004).

b) Damla Sulama Sisteminde Bitki Su Tüketimi:

Bitki su tüketimi farklı sulama türleri için hesaplanmaktadır. Sulama yöntemi olarak damlama sulama sistemi seçildiği için damlama sulama yöntemine göre bitki su tüketiminin hesaplanması gösterilmiştir. Damla sulama sisteminde düzeltilmiş

bitki su tüketimi değeri kullanılmaktadır. Eşitlik (3.6)' da damla sulama bitki su tüketimi gösterilmektedir (Güngör ve diğ. 2004).

$$T=ET_c \frac{P_s}{85} \quad (3.6)$$

Eşitlikte;

T : Damla sulama sisteminde bitki su tüketimi (mm/gün)

ET_c : Geleneksel yöntemlerle hesaplanan bitki su tüketimi (mm/gün)

P_s : Bitki tarafından gölgelenen alan yüzdesini ifade etmektedir.

Bitki çeşidine göre gölgelenen alan yüzdeleri; tarla bitkileri ve sebzelerde %80, dikim aralıkları sıkı olan meyve ağaçlarında % 75, dikim sıra aralıkları geniş olan meyve ağaçların da % 70 olarak alınmaktadır (Yıldırım 2008).

c) Damla Sulama Sisteminin Sulama Aralığı ve Net Sulama Miktarı:

Damla sulama yönteminde sulama belirli aralıklarla yapılmaktadır. Sulama aralıklarının belirlenmesinde Eşitlik (3.7) kullanılmaktadır (Yıldırım 2008).

$$S.A = \frac{d_{n(max)}}{T} \quad (3.7)$$

Eşitlikte;

S.A : Sulama aralığı (gün)

d_{n(max)} : Her sulamada uygulanacak maksimum net sulama suyu miktarı (mm)

T : Damla sulama için bitki su tüketimi (mm/gün) göstermektedir.

Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı ise iki farklı eşitlikle gösterilmiştir. Eşitlik (3.8) sulama aralığına bağlı olarak toplam su tüketimini gösterirken (Yıldırım 2008). Eşitlik (3.9) yağış miktarına göre sulama suyu ihtiyacını göstermektedir.

$$d_n = T(S.A) \quad (3.8)$$

Eşitlikte;

S.A : Sulama aralığı (gün)

d_n : Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı (mm)

T : Damla sulama için bitki su tüketimi (mm/gün) göstermektedir.

Etkili yağış miktarına bağlı hesaplama ise Eşitlik (3.9)' da gösterilmiştir (TAGEM, 2016).

$$d_n = T - P_e \quad (3.9)$$

Eşitlikte;

d_n : Net sulama suyu ihtiyacı (mm/gün)

T : Damla sulama sisteminde bitki su tüketimi (mm/gün)

P_e : Etkili yağış miktarı (mm/gün) (Düşen yağışın % 80 eşit olan yağış olarak kabul edilir).

Toplam sulama suyunun belirlenmesinde ise Eşitlik (3.10)' de gösterilmiştir (Güngör ve diğ. 2004).

$$d_t = \frac{d_n}{E_a E_c} \quad (3.10)$$

Eşitlikte;

d_t : Toplam sulama suyu ihtiyacı (mm/gün veya mm)

d_n : Net sulama suyu ihtiyacı (mm/gün veya mm)

E_c : Su iletim randımanı (Basınçlı damlama sulama sisteminde % 98 alınmaktadır)

E_a : Su uygulama randımanı göstermektedir.

Sulama uygulamalarına göre su uygulama randımanı değerleri Tablo 3.2' de gösterilmiştir (TAGEM 2006).

Tablo 3.2: Sulama türüne göre su uygulama randımanı

Sulama Türü	E_a (%)
Taşınabilir yağmurlama sulama yöntemi	70
Sabit yağmurlama sulama yöntemi	75
Center Pivot ve Lineer Move yağmurlama sulama yöntemi	82.5
Ağaçaltı mikro yağmurlama sulama yöntemi	87.5
Yüzey damla sulama yöntemi	87.5
Yüzeyaltı damla sulama yöntemi	90

d) Damla Sulama Sisteminde Damlatıcı Sayısı:

Damlatıcı sayısı hesaplanırken 1 dekar alan 1000 m² alana eşittir. Damlatıcı aralığı ve lateral aralığı hesaba katılarak denklem (3.11) ile belirlenmektedir (Yıldırım 2008).

$$N_d = \frac{1000}{S_d S_l} \quad (3.11)$$

Eşitlikte;

N_d : Birim alandaki damlatıcı sayısı (adet/da)

S_d : Damlatıcı aralığı (m)

S_l : Lateral aralığı (m) göstermektedir.

e) Damlama Sulama Yönteminde Sulama Süresi:

Damla sulama sisteminde sulama süresi hesaplanmasında denklem (3.12) kullanılarak belirlenmektedir (Yıldırım 2008).

$$T_n = \frac{1000 d_t}{q N_d} \quad (3.12)$$

Eşitlikte;

T_n : Sulama süresi (h)

d_t : Toplam sulama suyu ihtiyacı (mm/gün veya mm)

q : Damlatıcı debisi (L/h)

N_d : Birim alandaki damlatıcı sayısı (adet/da) göstermektedir.

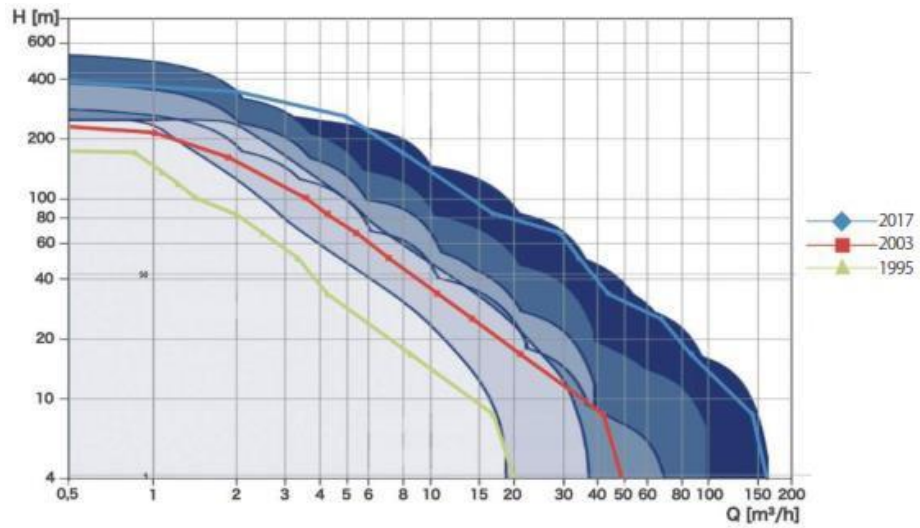
3.4 Güneş Enerjili Sulama Sistemleri

Ülkemizde tarımsal sulama; konvansiyonel enerji kaynakları kullanılarak çalıştırılan pompalar ile yapılmaktadır. Bu tip pompaların olduğu sistemlerin günlük bakıma ihtiyacı vardır. Güneş enerjisi ile çalışan sistemlerde günlük bakım ihtiyacı olmaksızın güneşin yeterli olduğu her yerde kurulmaları gibi avantajları vardır. İlk kurulum maliyetleri yüksek olsa da devreye alındıktan sonraki yakıt ve bakım ihtiyaçları olmadığından daha ekonomik konuma geçer. Son yıllarda her alanda

olduğu gibi tarımsal alanda da enerji tüketiminin artmasına karşın çözümler aranmıştır. Pratik olması, çevreye zararı olmaması, kullanım ömrü uzun olması, yakıt gerektirmemesi gibi birçok neden dolayısıyla oldukça tercih edilen konuma yükselmiştir. Ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli bakımından zengin olması da en büyük avantajlardan biridir (Atmaca ve diğ. 2014).

3.4.1 Güneş Enerjili Sulama Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi

Su pompalamada güneş enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmek için yapılan çalışmalar 15-19. yüzyıla kadar uzanmaktadır. İlk güneş enerjili su pompalama çalışmaları 1964 yılında Sovyetler Birliği tarafından bildirilmiştir. Bildirilen bu çalışmada su akış hızı ve basma yüksekliğinin düşük olduğu incelenmiştir. İlk büyük ölçekli çalışma olan PV pompalama sistemi ise 1977 yılında ABD'nin Mead şehrinde deneysel çalışmalar için kurulmuştur. Tasarlanan bu sistemin su pompalama kapasitesi dakikada 3.8 m^3 ve günlük 12 saat çalışma kapasitesi bulunduğu belirtilmiştir (Sarı 2019). Fotovoltaik sulamada pompaların yıllara göre kapasite artışı Şekil 3.8' de gösterilmiştir.



Şekil 3.8: Fotovoltaik sulama pompalarının kapasite artışı (Anonim 2018)

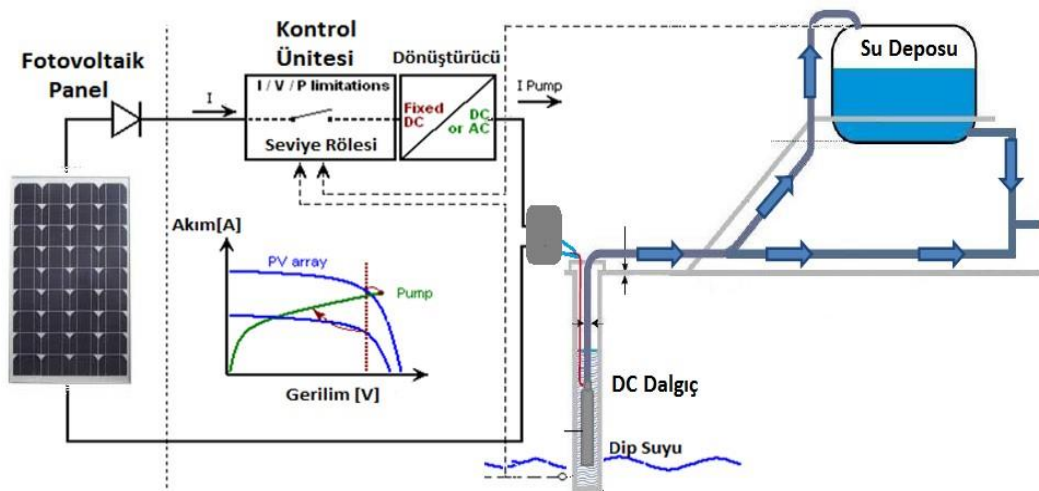
Şekil 3.8'de görüldüğü gibi yıllar içerisinde güneş enerjili sulama sistemlerinin kapasitelerinde artış gözlemlenmiştir. Son 10 yılda gelişen teknoloji ile birlikte dünyada bu konuda büyük gelişmeler meydana gelmiştir. 10 yıl öncesine

bakıldığında sistemlerin düşük performansları nedeniyle derin sularda (>200 m) ve yüksek debilerde ($500 \text{ m}^3/\text{g}$) bu sistem uygun olmaktadır. günümüzde, 500 m üzeri derinliklerde ve $1500 \text{ m}^3/\text{g}$ debilerinde de güneş enerjili sulama sistemleri başarıyla çalışmaktadır.

Yıllar içinde FV panel fiyatlarının da düşmüş olması güneş enerjili sulama sistemlerinin kurulum maliyetlerini düşürmüş ve kullanımını arttırmıştır. 2000’li yılların başında 5 \$/Wp olan FV hücre fiyatları üreticilerin artması ve pazarda rekabeti doğurması nedeniyle günümüzde 0,4 \$/Wp seviyelerine kadar düşmüştür. (Sarı 2019).

3.4.2 Güneş Enerjili Sulama Sistemlerinin Çalışma Prensibi

Güneş enerjili sulama sistemleri temelde; paneller, pompa, akü, kontrol ünitesi ve su deposundan oluşur. Bu elemanların seçilmesi sistem gereksinimine göre değişiklik gösterir. Paneller aracılığı ile yeryüzüne ulaşan güneş ışınları elektriğe dönüşür. Elektrik enerjisi pompaya ihtiyaç halinde kontrol ünitesi tarafından gönderilir. Pompanın çalışması ile birlikte su borular aracılığı ile depolama tankına iletilmektedir. Depolanan su istenildiği zaman sulama için kullanılabilir (Sarı 2019). Şekil 3.9’ da fotovoltaik sulama sisteminin şeması gösterilmiştir.

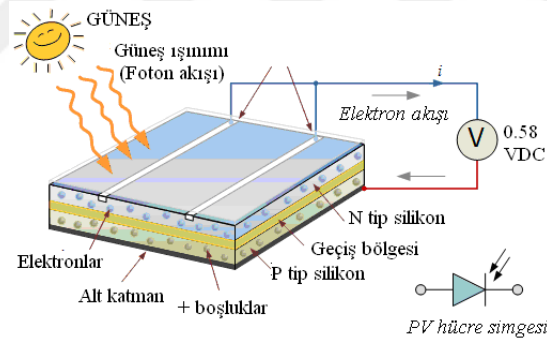


Şekil 3.9: Fotovoltaik sulama sistemi şeması (Yılmaz ve diğ. 2014)

3.4.2.1 Paneller

Fotovoltaik paneller, yeryüzüne düşen güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yapılardır. Panellerin standart özelliklerinde, 1 kW/m^2 'lik güneş enerjisi ve 25°C pil sıcaklığı standart ölçü olarak alınır. Maksimum verim elde edebilmek için paneller gün boyu en çok güneş alan yöne çevrilmelidir. Bulundukları enleme göre yatay ile alacakları açı değişir. Genelde kış ayları için bulunan enlemden 15° daha dik olmalıdır. Yaz ayları içinse güneş ışınları daha dik olduğu için açı, bulunan enlemden 15° daha aşağıda olmalıdır. Fakat bu eğimi sistem kurulduktan sonra değiştirmek pek mümkün olmadığından açı kış aylarına göre ayarlanır (Gençoğlu 2015).

Güç talebine göre seri veya paralel olarak bağlanabilirler. Elektriksel ve mekaniksel koşullara göre farklı tiplerde üretimleri mevcuttur. Sistem tasarımı yapılırken panellerin tiplerinin iyi belirlenmesi sistemin verimliliği açısından çok önemlidir. Bir PV hücresinin yapısı Şekil 3.10' da gösterilmiştir.



Şekil 3.10: Bir PV hücresi yapısı (Url-10)

Güneş hücreleri;

1. Monokristal ve polikristal gibi silisyum tabanlı güneş hücreleri,
2. Amorf silisyum, kadminyum tellür ve kadminyum sülfür gibi ince film güneş hücreleri,
3. Yığın heteroeklem ve hibrit peroskite gibi organik/inorganik tabanlı güneş hücreleri,
4. Güneş ışığının yoğunlaştırıldığı teknolojiye ve uzay uygulamalarında kullanılan GaAs, GaInAs ve GaInP gibi III-V tabanlı güneş hücreleri olmak üzere dört grupta incelenilebilir (Karadavut 2019).

3.4.2.2 Pompalar

Güneş enerjili sulama sistemlerinde pompalar çalışma şekillerine göre doğru akımla çalışan ve alternatif akımla çalışan su pompaları olmak üzere iki sınıfa ayrılır. İki tip için de yüzeyde veya dalgıç şeklinde çalışan pompalar tasarlanmıştır.

Güneş panelleri doğru akım ürettiği için sulamada alternatif akımla çalışan pompa kullanılacağı zaman sisteme inverter eklenmesi gerekir. İnverter doğru akımı alternatif akıma çevirir. Sulamada doğru akımla çalışan pompa kullanılması durumunda ise invertere ihtiyaç duyulmayacağından maliyet açısından sistem daha avantajlı hale gelmektedir. DA pompalar AA pompalara göre daha verimlidirler. Bunun nedeni AA pompalarda inverter kullanıldığından, inverter kayıpları sistem verimini olumsuz yönde etkilemektedir (Sarı 2019).

3.4.2.3 Şarj Regülatörleri

Şarj regülatörleri üretilen gerilimi istenilen gerilime düşürmeyi sağlar. Genelde off-grid sistemlerde kullanılmaktadır. Akülerin şarj olup yüksek deşarjdan korunmasını sağlar. Böylece aküde meydana gelecek çeşitli hasarlardan koruyarak kullanım ömrünü uzatmış olur. Şarj regülatörleri oldukça hassas elemanlardır. Bozulması durumunda akü değişimi gerekebilir ve bakım maliyetleri oldukça yüksek miktardadır (Gençoğlu 2015).

3.4.2.4 İnverterler

İnverterler panellerde üretilen doğru akımı alternatif akıma çevirmeye yarayan güç elemanlarıdır. Gelen doğru akımı ve gerilimi, şebeke tarafında ise alternatif akımı, gerilim ve frekansını kontrol eder. Transistör, tristör, mosfet, IGBT gibi anahtarlama elemanları kullanılır. Bunlar güç büyüklüğüne göre tercih edilir. PV sistemler içinde en çok arızası bulunan elemanlardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşması ile birlikte inverter kullanımı da bu doğrultuda artmıştır. Hem tek fazlı sistemlerde hem de üç fazlı sistemlerde kullanılmaktadır. Seçim tercihi yapılırken; sistemin gücüne, kurulum yüzey durumuna ve sistemin hangi bölgede kurulduğuna dikkat edilmelidir (Url-11). Solar inverter Şekil 3.11' de gösterilmiştir.



Şekil 3.11: Solar inverter (Url-12)

3.4.2.5 Aküler

Aküler elektrik enerjisini, kimyasal enerji biçiminde depo etmeye yararlar. Gerek duyulduğu takdirde ise bu enerjiyi elektrik enerjisi olarak sisteme verirler. Güneşin olmadığı zamanlarda veya güneşsiz havalarda depoladığı enerji sayesinde sistemin elektrik enerjisini karşılar. Bölgenin güneş almayan gün miktarı ve saati hesaplanarak bu parametreler ile birlikte akü kapasitesi belirlenir. Güneş enerjisi ile üretilen enerjinin depolanmasında en çok kullanılan akü çeşitleri; OPzS aküler, jel aküler, kuru aküler olarak sıralanabilir.

3.4.2.6 Su Deposu

Su deposu, güneş enerjisi ile çalışan sulama sistemlerinde suyu depolamak ve güneşsiz havalarda suyu kullanmak için kullanılır. Su deposunun yerden yüksekliği, hidrolik enerji için mümkün olduğunca az olmalı ve depo çapının yüksekliğine oranı yüksek olmalıdır (Gençoğlu 2015).

3.4.3 Güneş Enerjili Sulama Sistemlerinin Tasarımı

Güneş enerjili sulama sistemleri tasarımı yapılırken su talebi, su kaynağı, tasarım debisi, su depolama, toplam dinamik düşü, FV dize tasarımı, ışınlm miktarı parametrelerinin analizinin en iyi şekilde yapılması gerekir. Bu parametrelere göre sistem boyutlandırması yapılarak ürün seçimi yapılır ve sistem maliyeti hesaplanır. Bu parametreler aşağıda açıklanmıştır (Sarı 2019).

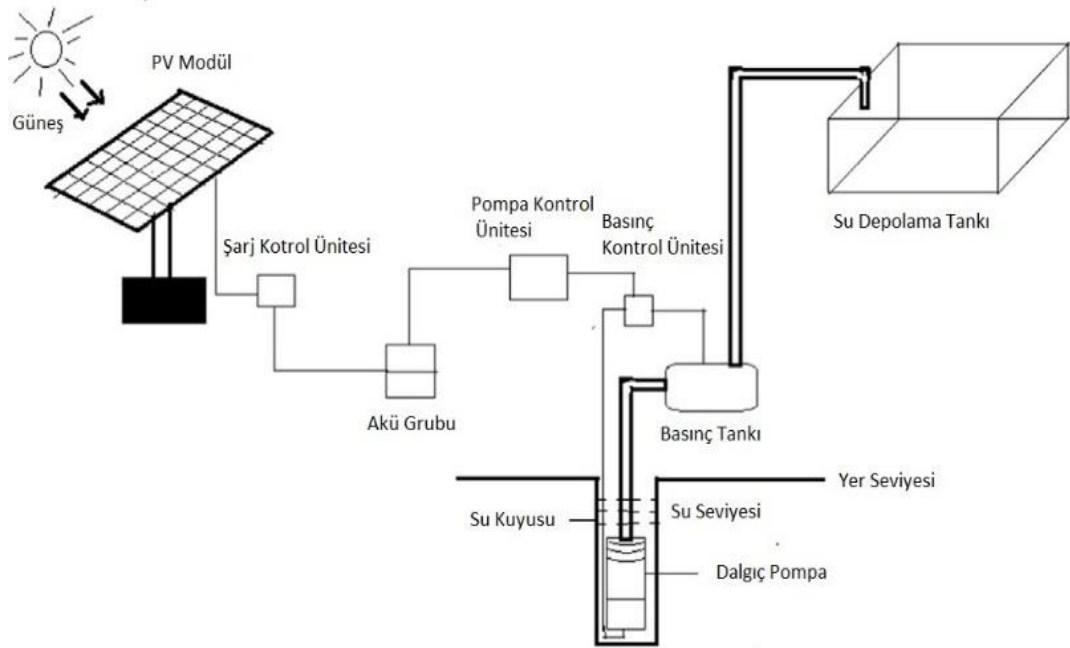
- Su talebi: Su talebi sistemin büyüklüğünü belirlemede oldukça önemlidir. Nerede kullanılacağına göre $m^3/gün$ cinsinden hesaplanması yapılır. Sulama suyu talebi belirlenmesi işlemi daha kompleks yapıdadır. Sulama alanının büyüklüğü, buharlaşma özellikleri, toprak yapısı, ekilen ürünün cinsi, sulama tipi vb. parametreler göz önünde bulundurulur. Sulama suyunu belirlemede ülkenin su işleri bakanlıkları veya sular idaresi tarafından belirlenir.
- Su kaynağı: Sulamada kullanılan çeşitli su kaynakları mevcuttur. Kırsal alanlarda genellikle kuyu suları bulunmaktadır. Su kaynakları değerlendirilirken mevcudiyeti ve pompalama seviyelerine dikkat edilmelidir.
- Tasarım debisi: Güneşlenme süresi baz alınarak günlük pompalama saatleri tahmin edilir. Bu debi kaynaktan pompalanabilecek maksimum debiyi aşmamalıdır.
- Su depolama: Performans ve güvenilirliği arttırmak için depolama kapasitesi önemlidir. Güneşsiz saatlerde depolama tanklarından su temini yapılacağından bu tankların boyutları iyi hesaplanmalıdır. Genelde 2-3 gün su temini depolayacak şekilde boyutlandırılmalıdır. En uygun tank boyutlandırılması, saatlik su talebi ve tankın kurulacağı alana göre yapılmalıdır.
- Toplam dinamik düşü: Düşü, suyun seviyesinden pompalanması gereken yüksekliği ifade etmektedir. Toplam Dinamik Düşü, statik düşü, sürtünme kayıpları, basma düşüsü olarak belirtilen üç ana parametrenin toplamına eşittir. Statik düşü, su kaynağının yüzeye olan mesafesine denir. basma düşüsü, yer yüzeyinden su tankları arasındaki yükseklik farkına denir. sürtünme kayıpları borularda oluşan düşü kayıplarıdır ve boru çapına, cinsine göre değişiklik göstermektedir.
- FV dizelerin tasarımı: Pompaya ve su kaynağına yakın, uygun eğim açısında, gölgelendirme durumuna dikkat edilerek kurulmalıdır. Her parametre panel yerleşimi sırasında önemlidir. Paneller pompadan uzak bir yere yerleştirilirse uzun kablolarla ihtiyaç duyulur. Bu da kablolardan olacak güç kaybını artırır.

- Işınım miktarı: Belirli bir alanda belirli bir süre içerisinde alınan güneş ışıının miktarına denir ve kWh/m².gün olarak ifade edilir. Enlem, bulutlu gün yoğunluğu, nem, mevsimsel değişimler gibi etkenler ışıının değerini etkilemektedir. FV modüllerin en verimli olduğu zamanlar güneş ışıının panellere dik geldiği anlardır.

3.4.4 Güneş Enerjili Sulama Sistemlerinin Çeşitleri

Güneş enerjili sulama sistemlerinde enerji depolama durumuna göre akülü veya direkt, pompa türüne göre santrifüj veya emiş pompalı, PV dizilerinin hareketine göre sabit veya hareketli sistemler olarak üç ana başlıkta incelenebilir.

Akü destekli sistemlerde, enerji akülerde depolanır. Aküler enerji üretiminin olmadığı zaman aralıklarında depolama yapması sayesinde pompalama işleminin devam etmesini sağlamaktadır. Bu sistemlerde depo tankı genellikle mevcut değildir. Şekil 3.12’de akü destekli sistemlerin şeması verilmiştir (Sarı 2019).



Şekil 3.12: Akü destekli GESP sistemi (Sontake ve Kalamkar 2016)

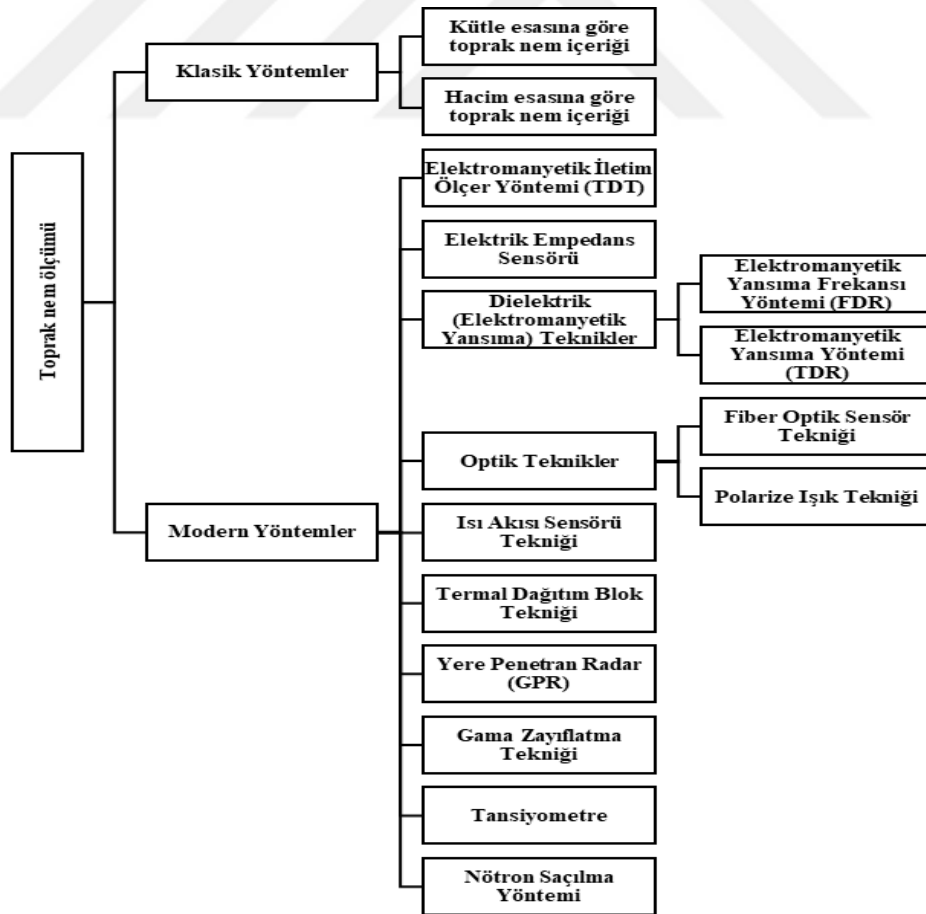
Direkt sistemlerde, akü desteği bulunmamaktadır. Enerjinin depolanması için depolanma tankı kullanılmaktadır

Santrifüj pompalı sistemler, su yüzeyine yakın bir yerde kullanılır. Genellikle yatay mesafeli boru hatlarına iletim için kullanılmaktadır. Suyun pompaya kendisinin ulaşması mümkün ise bu tip pompalar kullanılmaktadır (Sarı 2019).

Emiş pompalı sistemler, yer yüzeyinin altında çalıştırılır. Pompa tamamen su içinde bulunmalıdır aksi takdirde çalışmazlar. PV sistemlerde en yaygın olarak kullanılan pompa sistemidir. AA olarak veya DA olarak da çalıştırılabilir.

3.5 Toprak Nemi Ölçüm Yöntemleri

Su kaynaklarının azalması ile tarımsal sulamada toprak nem içeriğinin belirlenmesi önemli hale gelmiştir. Toprağın ihtiyacı olan su miktarını belirleyerek fazla sulamanın önüne geçilmesi ve aynı zamanda verimliliğin artırılabilmesi sağlanmıştır. Toprak nem ölçüm yöntemleri Şekil 3.13’de gösterildiği gibi sınıflandırılmaktadır.



Şekil 3.13: Toprak nem ölçüm yöntemleri

3.5.1 Toprak Nem İçeriği

Toprak nemi; toprakta yerçekimi nemi, kılcal nem ve higroskopik nem olmak uzere  şekilde yer almaktadır. Yer ekimi nemi, yer çekimi ile toprakta hareket eden serbest nem olarak tanımlanmaktadır. Yağmurdan 2-3 gün sonra topraktan dışarı atılır. Kılcal nem; toprağın mikro gözeneklerinde bulunan nem olarak tanımlanır. Bu nem gözenek nemi olarak da bilinir. Toprak ile evre arasındaki etkileşimlerden (Fiziksel, kimyasal, biyolojik vb.) sorumludur. Higroskopik nem; toprak parçacıklarının yüzeyini tutunan ve ince bir film oluşturan toprak nemidir. Gözeneklere tutunamaz. Solma noktası olarak bilinen kalıcı solma noktası altında bitkiler yetersiz nem nedeniyle solmaya başlarlar. Bu parametre toprak içeriği, toprak nemi potansiyeli bakımından her tür toprak için farklıdır. Toprakta tutulan nem miktarı; toprağın yapısı, gözeneklilik, yüzey alanı, toprak derinliği, tuzluluk ve sıcaklık gibi parametrelere bağlıdır (Susha Lekshmi ve diğ. 2014).

3.5.2 Toprak Nem lm ve nemi

Toprak nemi, toprak içerisinde yer alan su kapasitesi veya toprağın su tutma kapasitesi olarak tanımlanmıştır. Toprağın su tutma kapasitesi yüksek olursa toprağa ve toprak içerisindeki yaşama zarar verebilir. Bu durum toprak veriminin düşmesine sebep olabilmektedir. Bu yüzden toprak neminin belirlenmesi için toprak nemi ölçümleri önem kazanmıştır. Toprağın ve toprak içerisinde yer alan canlı yaşamının verimini artırabilmek, toprağı kaliteli bir duruma getirmek amacıyla toprak nemini doğru ve güvenilir biçimde ölçmek gerekmektedir. Toprak nemini belirlemekte birçok yöntem kullanılmaktadır. Fakat bu yöntemlerin güvenirliği konusunda tartışmalar devam etmektedir. Toprak nem ölçümünü doğru ve güvenilir olarak ölçmek aşağıda yer alan konulara fayda sağlamaktadır. (Uytun ve diğ. 2013).

- Su tüketimini kontrol eder. Bu da günümüzün ve geleceğimizin büyük sorunlarından biri olan su kaynaklarının tükenmesini önler ve korunmasına katkı sağlar.
- Sulama fazla su kullanıma bağlı olarak, toprakta meydana gelen tuzlaşma sorunu ile yok olan tarım alanlarının kontrol altına alınmasını sağlar.

- Sulama sistemlerinin çalışma verimliliklerinin artırılmasını sağlar.
- Toprak ve sulama kalitesinin artmasıyla birlikte yetişen ürün kalitesinin de artmasını sağlar.
- Toprak verimini etkileyen toprak içerisinde yaşayan canlı organizmaların yaşam kalitesini arttırılması ve buna bağlı olarak toprak kalitesinin artması gibi birçok sebep toprak nem ölçümünün önemini artırmıştır.

3.5.3 Toprak Nem Ölçümünde Kullanılan Teknikler

Topraktaki nem miktarını belirlemek için araştırmacılar farklı teknikler belirlemişlerdir. Toprak nem içeriğinin belirlenmesinde klasik ve modern teknikler olmak üzere çeşitli teknikler kullanılmıştır. Klasik toprak nemi ölçümü arasında termo-gravimetrik ve kalsiyum karbür tekniği bulunmaktadır. Modern teknikler arasında ise toprak direnç sensörü, tansiyometre, kızılötesi nem dengesi, dielektrik teknikler, zaman alanlı reflektometri (Time Domain Reflectometry) TDR, frekans alanlı reflektometri (Frequency Domain Reflectometry) FDR, kapasitans tekniği, ısı akısı toprak nem sensörleri, mikro-elektro mekanik sistemler ve optik teknikler gibi yöntemler bulunmaktadır (Susha Lekshmi ve diğ. 2014).

3.5.4 Klasik Toprak Nem Ölçüm Yöntemleri

Klasik toprak nemi ölçüm tekniklerinde termo-gravimetrik ve kalsiyum karbür teknikleri olmak üzere iki teknik bulunur. Termo-gravimetrik tekniği toprak nem içeriğini ölçmek için en yaygın olarak kullanılan tekniktir. Islak toprak örneği 105 °C fırında 24 saat boyunca kurutulur ardından kuru toprak ağırlığı kaydedilir. Bu teknik yıkıcı bir test olduğu için toprak yapısı bozulabilir ve toprak tekrar tekrar kullanılamaz. Kalsiyum karbür tekniği ise daha hızlı sonuç veren bir tekniktir ve daha çok laboratuvarlarda kullanılır. Toprakta bulunan nem miktarı yüzde olarak gravimetrik toprak nemi olarak w veya hacimsel toprak nemi içeriği olarak θ ile ifade edilir. θ , mevcut nem hacminin toprağın toplam hacmine oranı olarak tanımlanır ve Denklem (3.13) ile hesaplanmaktadır (Susha Lekshmi ve diğ. 2014).

$$\Theta = w. (\gamma_d/\gamma_w) \quad (3.13)$$

Burada; γ_d toprak kütlesinin kuru birim ağırlığı, γ_w suyun birim ağırlığını gösterir.

3.5.5 Modern Toprak Ölçüm Yöntemleri

Modern toprak ölçüm teknikleri toprağın elektriksel özelliklerini (dielektrik sabiti, empedans, kapasitans ve toprak direnci) ve kızılötesi ışınlar, nötron saçılması, gama zayıflaması, optik teknikler gibi radyoaktif teknikler kullanarak ölçüm yapılan yöntemlere modern toprak ölçüm yöntemleri denilmektedir.

3.5.5.1 Nötron Saçılma Yöntemi

Nötron saçılma yöntemi ile toprak nemi ölçme işlemi yüksek yavaşlatma kapasitesine sahip hidrojen atomlarının bu aygıtın radyoaktif kaynağından yayılan çekirdekte bulunan nötronları yavaşlatması ve bu sayede toprak içinde yer alan suyun hidrojen atomlarını tespit etmesi temeline dayanarak çalışır. Toprakta hidrojen atomuna en çok sahip olan su olduğu için toprak su içeriğinin ölçülmesinde iyi bir yol olarak kabul edilmektedir.

3.5.5.2 Tansiyometre ile Toprak Nem Ölçümü

Tansiyometreler, toprak çok kuru olmadığı durumlarda topraktaki matrik potansiyeli ölçmek için kullanılan toprak nem sensörlerinden biridir. Tansiyometre adı verilen toprak nem sensörleri; geçirgen seramik uç, vakum göstergesi (manometre) ve içi su ile dolu plastik bir gövdeden meydana gelmektedir. Toprak içerisindeki nem miktarı azalmaya başladığında toprak kuru hale gelmeye başlar bu nedenle toprak taneleri daha güçlü su tutmaya başlar. Tansiyometreler toprak içerisine yerleştirildikten sonra nem miktarına bağlı olarak seramik uçlardan toprağa doğru su geçmeye başlar. Seramik ucun etrafında yer alan toprak, toprak içindeki suyu emmeye başladığında tansiyometre içerisinde bir vakum meydana gelir. Manometre yardımıyla bu vakum değeri izlenilir (Karaca ve diğ. 2017).

3.5.5.3 Gama Zayıflatma Tekniği

Gama ışını zayıflatma tekniğinde 25 mm veya daha az toprak derinliğine sahip toprak nemi içeriğinin belirlenmesinde kullanılan radyoaktif bir yöntemdir. Bu yöntemde gama ışınlarının saçılması ve Emilimi ışığın yoluna çıkan maddelerin yoğunluğu ile ilişkili olarak doymuş yoğunluk toprak nemimde ki artış veya azalmayla değiştikçe toprağın özgül ağırlığının sabit kaldığı kabul edilmektedir. Doymuş yoğunluktaki değişiklikler gama iletim yöntemiyle ölçülmektedir. Nem içeriği bu yoğunluk değişikliklerinden belirlenmektedir. Bu teknik hacimsel nem içeriğini belirlemekte kullanılmakta ve yaklaşık olarak bir dakikadan kısa bir sürede ölçebilen bir yöntemdir. Bu yöntem toprak kütle yoğunluğu değişimlerinden etkilenmektedir. Ayrıca bu yöntem maliyetli bir yöntemdir (Susha Lekshmi ve diğ 2014).

3.5.5.4 Termal Dağıtım Blok Tekniği

Termal dağıtım blok tekniğinde kullanılan termal bloklar gözenekli seramiklerden icat edilmiştir. Toprağın içerisine sokulan ve bir kablo yardımı ile yüzeye yerleştirilen bir sıcaklık sensörü tutturulan gözenekli bloğun içerisine küçük bir ısıtıcı yerleştirilir. Bu ısıtıcıya belirli miktarda gerilim uygulanarak, ısıtıcıdan uzağa doğru olan ısı dağılımı ölçülür. Bu ısı dağılımı toprak içerisindeki nem miktarı hakkında bilgi verir. Cihaz kalibrasyon gerektirmektedir (Susha Lekshmi ve diğ 2014).

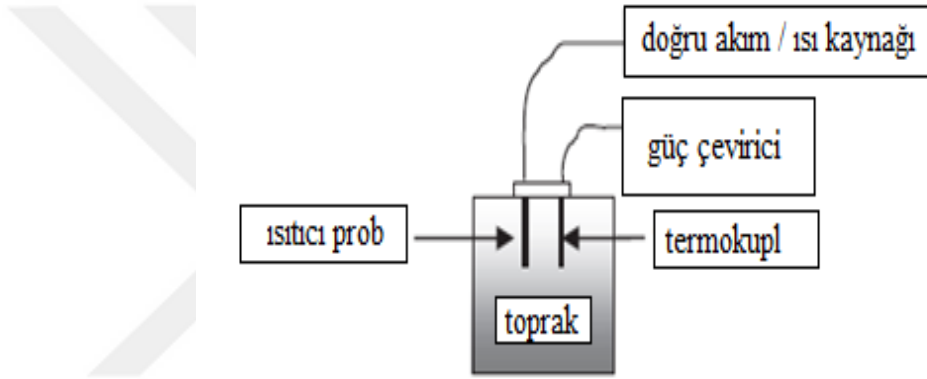
3.5.5.5 Isı Akısı Sensörü Tekniği

Çift Prop Isı Darbe (Dual Probe Heat Pulse, DPHP) sensör tekniği iki proptan oluşmaktadır. Toprağın hacimsel nem içeriğini ölçmek için ısıtıcı ve sıcaklık sensör problemleri bulunmaktadır. Yöntemde sonsuz uzunlukta bir hat kaynağına anlık bir ısı darbesi uygulanmasıyla çalışır. Isı darbesinden kaynaklanan sıcaklık artışı ölçülür. Bu sıcaklık değer hat ısı kaynağından kısa bir mesafede ölçülür. Bu değer toprak hacimsel ısı kapasitesiyle ters orantılıdır. Yapılan çalışmalarda geçici ısı darbesini kullanarak hacimsel ısı kapasitesini belirlemek için Denklemler (3.14) ve (3.15) elde etmişlerdir. (Susha Lekshmi ve diğ. 2014).

$$\rho c_p = \frac{q}{\pi r^2 \Delta T_m} \quad (3.14)$$

$$\rho c_p = 1.92X_m + 2.50X_0 + 4.18\theta \quad (3.15)$$

Burada; ρ toprak kütle yoğunluğu, c_p toprağın özgül ısısı, e doğal logaritmanın tabanıdır, q ısıtıcının birim uzunluğu başına uygulanan enerjidir, r ısıtıcı ve sıcaklık sensörü arasındaki mesafe, ΔT_m sıcaklıktaki maksimum artış, X_m , X_0 , θ sırasıyla mineral ve organik bileşenlerin ve nemin hacimsel katsayısıdır. Isı akısı sensörü tekniği Şekil 3.14' de gösterilmiştir.



Şekil 3.14: Isı akısı sensörü tekniği (Susha Lekshmi ve diğ. 2014)

3.5.5.6 Optik Teknikler

Optik teknikler, gelen ve yansıyan ışığın toprak kütlesinden geçerken ışığın özelliklerindeki değişimine dayanır. Bu yöntemler polarize ışık, fiber optik sensörler ve yakın kızılötesi sensörlerin kullanımı içerir. Optik sensörlerin toprak nemi ölçümünde pratik uygulamaları bulunmamaktadır.

a) Polarize Işık Tekniği

Polarize ışık tekniği, yansıma yüzeyindeki nem mevcudiyetinin yansıyan ışıkta polarizasyona neden olması ilkesine dayanmaktadır. Toprağın yüzeyine tek renkli bir ışık yönlendirilir. Topraktan yansıyan ışık polarizörden fotosele geçer. Polarizör döndükçe yatay ve dikey polarizasyon sinyalleri oluşmaktadır. Bu sinyaller

fotosel tarafından belirlenmektedir. Polarize görünür ışığın yüzdesi belirlenerek toprak nem içeriği belirlenmektedir. Bu yöntemin kalibrasyonu toprak tipi ve toprağın pürüzlülüğünden etkilenmektedir (Susha Lekshmi ve diğ. 2014).

b) Fiber Optik Sensör Tekniği

Bu yöntemde toprağa gömülmüş ve kaplanmış bir fiber kullanılır. Fiberdeki hafif zayıflama fibere temas eden toprak nemi miktarıyla değişim gösterir. Kırılma indisi ve ışık dalgasının iç sürtünmesinin kritik açısı toprak nem içeriğiyle birlikte değişim gösterir.

3.5.5.7 Dielektrik (Elektromanyetik Yansımaya) Teknikler

Toprak nemini belirlemede toprağın dielektrik özelliğini esas alan toprak nem ölçme yöntemleri son zamanlarda artmıştır. Bu teknikte temel kavram, kuru toprakta dielektrik sabiti 2-5 arasında iken saf suyun sabiti 81'dir. Bu ikisi arasındaki fark oldukça büyüktür. Bu farktan yararlanılarak ölçümler yapılabilir. Bu teknikte 2 farklı yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler elektromanyetik yansımaya zamanı (Time Domain Reflectometry) TDR ve elektromanyetik yansımaya frekansı (Frequency Domain Reflectometry) FDR yöntemleridir (Karaca ve diğ. 2017).

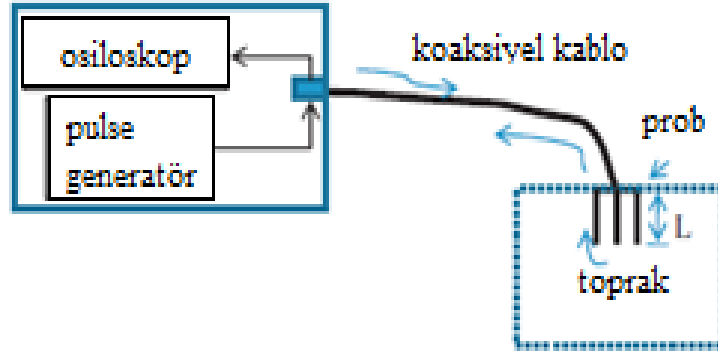
a) Elektromanyetik Yansımaya Yöntemi (TDR)

TDR yöntemi Şekil 3.15'de gösterilmiştir. TDR yönteminde toprak içerisine yerleştirilen iki veya daha fazla sayıdaki prob boyunca, belirlenen kaynak üzerinden elektromanyetik dalgalar gönderilmesi temeline bağlı olarak çalışır. Alınan sinyal vurma ve çarpma olarak tek bir hareket biçimindedir. Gönderilen dalgalar problemler üzerinde yol alır ve bu dalgalar toprağa çarpar ve tekrardan kaynağa yansımaya olarak dönüş yapar. Bu dalga'nın, prob uzunluğu boyunca aldığı yol ile kaynak üzerine geri dönüş süresi ölçülür. Aşağıda Denklemler (3.16) ve (3.17) kullanılarak toprak nem miktarı hesaplanır. (Karaca ve diğ. 2017).

$$k_a = [c \times t / 2L]^2 \quad (3.16)$$

$$\theta = 4.3 \times 10^{-6} k_a^3 - 5.5 \times 10^{-4} k_a^2 + 2.92 \times 10^{-2} k_a - 5.3 \times 10^{-2} \quad (3.17)$$

Burada; k_a toprağın dielektrik sabitini, θ toprağın hacimsel su içeriğini, c elektromanyetik dalganın boşluktaki yayılma hızını, t zamanı, L probun uzunluğunu göstermektedir.



Şekil 3.15: TDR yöntemi (Susha Lekshmi ve diğ 2014)

b) Elektromanyetik Yansıma Frekansı Yöntemi (FDR)

FDR yöntemi ile ölçüm yapan nem sensörü Şekil 3.16’da gösterilmiştir. TDR yöntemine benzer şekilde çalışır. TDR yönteminde manyetik dalgaların yol aldığı süreyi ölçerken FDR yönteminde elektromanyetik dalgaların frekans değerlerini ölçer. Bu sensörlerin dairesel metal yüzey ve birbirine paralel iki uç şeklinde iki farklı tipi sahiptir. Paralel iki ucu sahip olan doğrudan toprak içerisine gömülürken dairesel olan tüp içerisinde yer almaktadır (Karaca ve diğ. 2017).



Şekil 3.16: FDR sensör (Karaca ve diğ. 2017)

3.5.5.8 Elektrik Empedans Sensörü

Elektrik empedans sensörü toprağın dielektrik sabitini ölçmekte kullanılan bir sensördür. Toprağa yayılan elektromanyetik sinyalleri osilatör tarafından üretilir. Sinyalin bir kısmı toprak tarafından geriye yansıtılır. Yansıyan sinyallerin genliği volt olarak ölçülür. Ölçülen değerler toprak nem içeriğine dönüştürülür. Bu yöntemin henüz alan uygulanabilirliği araştırılmamıştır (Susha Lekshmi ve diğ 2014).

3.5.5.9 Elektromanyetik İletim Ölçer Yöntemi (TDT)

Elektromanyetik iletim ölçer yöntemi ile toprak nemi ölçmede elektromanyetik darbelerin iletim hattı boyunca tek yönlü şekilde yayılma süresini ölçer. Bu yöntem TDR yöntemine benzemektedir fakat iletim hattının sonunda ve başında elektrik bağlantısı gerektirmektedir. Bu yöntem ayrıca TDR ölçüm yöntemleriyle karşılaştırıldığında daha basit bir yöntem olmaktadır. Toprak nem içeriği bu sistem için belirlenmiş bir denklem kullanılarak hesaplanır. Elektromanyetik iletim ölçer yöntemi Şekil 3.17' de gösterilmiştir (Karaca ve diğ. 2017).



Şekil 3.17: TDT sensörü (Karaca ve diğ. 2017)

3.5.6 Önemli Toprak Nemi Ölçme Tekniklerinin Karşılaştırılması

Yaygın olarak kullanılan toprak nemi ölçme yöntemlerinin karşılaştırılması aşağıdaki Tablo 3.3'de gösterilmiştir. Yöntemlerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Toprak yapısı, gerekli ölçüm derinliği, tepki süresi, sağlık riski taşıyıp taşıması, kalibrasyon ihtiyacı gerektirip gerektirmediği ve

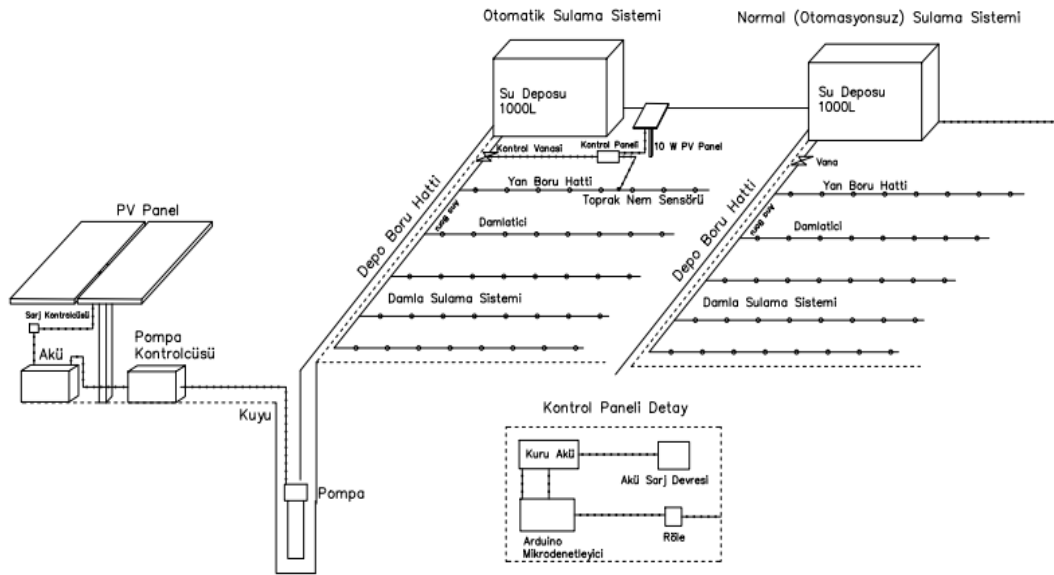
doğruluk derecesi gibi faktörlere bağlı olarak ölçüm yöntemi belirlenmektedir. Bu kriterlere bakılarak toprak nem içeriği tayin edilir. Günümüzde toprak nem ölçümünde kullanılan yöntemler arasında termo-gravimetrik, tansiyometre, nötronmetre, TDR, FDR, rezistif sensör ve termal dağıtım bloğu bulunmaktadır.

Tablo 3.3: Toprak nemi ölçme tekniklerinin karşılaştırılması

Sensör	Ölçüm Derinliği	Çalışma Prensibi	Tepki Süresi	Uyarılar
Termo-gravimetrik teknik	Herhangi bir derinlik	Buharlaşıma / kimyasal etki	24 h	Sağlık riski yok, daha fazla zaman alıcı, yıkıcı test
Nötron nem ölçer	< 0.3m	Nötron saçılması	1–2 dk.	Sağlık riski, acil müdahale, yer altı toprağında daha uygun
TDR	0.3–0.6 m	Dielektrik sabiti	28 s	Sağlık riski yok, ani tepki, yüksek oranda tuzlu topraklarda başarısız, frekansa bağlıdır.
FDR	1 m	Dielektrik sabiti	Ani	Sağlık riski yok, bireysel kalibrasyon gerektirir, yüksek oranda tuzlu topraklarda başarısız, frekansa bağlıdır.
Rezistif sensör	0.1–0.3 m	Elektrik direnci	2–3 h	Sağlık riski yok, zaman alan yöntemdir.
Termal dağıtım bloğu	0.1–0.3 m	Isı dağılımı	2–3 h	Sağlık riski yok, bireysel kalibrasyon gerektirir.
Tansiyometre	0.15–0.6 m	Vakum	2–3 h	Daha fazla zaman alır, dolaylı yöntemdir.

4. MATERİYAL VE YÖNTEM

Güneş enerjisiyle çalışan otomatik sulama sistemi tasarımı Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Tasarımda sulama için ihtiyaç duyulan su, fotovoltaik su pompalama yöntemi ile sağlanmıştır. Kuyudan dalgıç pompa yardımı ile pompalanan su, normal (otomasyonsuz) ve otomatik sulama yapılacak su tanklarına aktarılmıştır. Toprak nem sensörü ve kontrol elemanları kullanılarak sistem otomasyonlu hale getirilmiştir. Fotovoltaik su pompalamada kullanılan ekipmanlar, fotovoltaik su pompalama sisteminin çalışma prensibi ve tasarımı 3.4’de yer alan güneş enerjili sulama sistemleri başlığı altında anlatılmıştır.



Şekil 4.1: Tasarlanan güneş enerjili otomatik bitki sulama sistemi

Güneş enerjisiyle çalışan otomatik sulama sistemi tasarımında, normal (otomasyonsuz) olarak sulanacak sistemin damla sulama için su tüketimi hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçlara göre belirli aralıklarla sulama yapılmıştır. Bitkinin ihtiyaç duyduğu su miktarına göre rezistif toprak nem sensörü kalibre edilmiş ve belirli aralıklarla toprak nem değerleri kaydedilmiştir. Toprak neminin belirlendiği aralıklarda, selenoid bir vana yardımı ile sulama toprak nem içeriğine göre otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Su tüketim miktarı, ürün kalitesi, toprak nem ölçüm değerleri sonuçları incelenmiş ve otomasyonsuz sistemle karşılaştırmaları yapılmıştır.

Tasarlanan sistem; otomatik sulama ile normal (otomasyonsuz) sulama arasında ki farkları karşılaştırmak ve iki sistem arasındaki üstünlükleri belirlemek amacıyla yapılmıştır. Normal ve otomatik sulamada damla sulama sisteminin verimliliği ve su tüketiminin kontrollü olmasından dolayı damla sulama sistemi tercih edilmiştir. Normal ve otomatik sulamada damlama sulama sistemi beslemek ve su tüketimini kontrol edebilmek için iki adet 1000L’lik su tankları kullanılmıştır. Bu çalışma Denizli ilinde yer alan bir tarım arazisinde gerçekleştirilmiştir.

4.1 Normal (Otomasyonsuz) Olarak Sulanacak Damla Sulama Sistemi

Normal sulamada fotovoltaiik sistem ile pompalanan su 1000L’lik su tankına aktırılmıştır. Otomasyonsuz damla sulama için bitki su tüketimi belirlenmiş ve ardından damla sulama ekipmanlarının seçimi, sulama miktarı, sulama süresi hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucu belirli aralıklarla otomasyonsuz olarak sulama işlemi gerçekleştirilmiştir. Su tankı içerisinde yer alan su belirli aralıklarla ölçülmüş ve su tüketim değerleri kaydedilmiştir.

4.1.1 Otomasyonsuz Damla Sulama Sisteminin Hesaplamaları

Kurulumu yapılacak olan damla sulama sisteminin boyutlandırılması yapılmıştır. Dikim yapılacak alana domates ve biber bitkileri için tasarım şartları belirlenmiştir. Yıldırım (2008), yaptığı çalışmasında domates bitkisinin bitki sıra aralığının 0.60-1.20 m ve biber bitkisinin bitki sıra aralığının ise 0.60-1.00 m olduğu belirtmiştir. Ayrıca damlatıcı debisi olarak sebzelerde 2-4 L/h alınmasını önermiştir. Güngör ve diğ. (2004); yapılan tasarımda damlatıcı debisi 2 L/h olarak seçilmiştir. Tarım yapılan arazinin toprak yapısı olarak su alma hızı (I) 8 mm/h olarak belirlenmiştir. Bu verilere göre damlatıcı aralığı Eşitlik (3.3) kullanılarak hesaplanmıştır. $q=2$ L/h için;

$$S_d=0.9\sqrt{\frac{q}{I}} \quad (3.3)$$

$$S_d = 0.9 \sqrt{\frac{2}{8}} = 0.45 \text{ m}$$

Hesaplamanın sonucuna göre damlatıcı aralığı (S_d) 0.50 m olarak alınmıştır. Damlatıcı sıra aralığı, bitki sıra aralığından küçük olduğu için; her bitki sırasına bir adet lateral boru hattı konulmalıdır. Lateral boru hatları arasındaki mesafe (S_l) 0.80 m olarak belirlenmiştir (Güngör ve diğ. 2004).

Otomasyonsuz sulamada domates ve biber bitkileri için temmuz, ağustos ve eylül ayı için bitki su tüketimi ve damlama sulama sisteminde sulama ihtiyacı, sulama aralığı ve süresi için hesaplamalar yapılmıştır. Domates bitkisi için örnek hesaplama aşağıda yer almaktadır. Aynı hesaplamalar biber bitkisi içinde yapılmış ve ortalama su tüketimi belirlenmiştir.

Bitki su tüketim miktarını belirlemek için gerekli olan bilgiler Tarım ve Orman Bakanlığının hazırlamış olduğu Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Su Tüketim Rehberi kitabından alınmıştır. Bu rehberde istasyonlardan alınan ölçümlere göre yetiştirilen bitkilerin illere göre bitki su tüketimi ET_c (Evapotranspirasyon) hesaplanmış ve tablolarla verilmiştir. Her bir ay üç döneme bölünerek tablo haline getirilmiştir, her dönem 10 günlük süreyi temsil etmektedir. Domates ve biber için hesaplanmış ET_c (Evapotranspirasyon) değerleri ve Denizli ili için yağış miktarları Tablo 4.1’ de verilmiştir (TAGEM 2016).

Tablo 4.1: Denizli ili için bitki su tüketimi ve yağış miktarları

Akdeniz-Ardı Bölge için Bitki Su Tüketimi (Evapotranspirasyon) ET_c [mm]									
İstasyon adı: Denizli İstasyon numarası: 17237 Enlem: 37,7620275 Boylam: 29,09207516, Rakım (m): 425									
Bitkiler	Temmuz			Ağustos			Eylül		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Biber	63	63.2	67.9	58.4	54.5	53.7	40.5	33.7	3
Domates	68.9	69.2	74.3	63.9	59.3	55.3	39.6	31.1	2.6
Denizli İli için Yağış Miktarı [mm]									
Aylar	Temmuz			Ağustos			Eylül		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Yağış Miktarı	6.8	5.5	5.4	2.5	2.1	4.3	3.8	3.3	4.6

Örnek hesaplama domates bitkisi için yapılmıştır. Domatese ait büyüme döneminde en fazla bitki su tüketim miktarı Temmuz ayındaki 3. döneme aittir. TAGEM (2016)'ya göre, bu döneme ait bitki su tüketimi değeri (ET_c) 74.3 mm olarak belirlenmiştir. Bu on günlük süreye eşittir. Bu durumda günlük su tüketimi ortalama 7.43 mm olmaktadır. Eşitlik (3.4) kullanılarak ıslatılan alan oranı hesaplanmıştır.

$$P=k \frac{S_d}{S_l} \quad (3.4)$$

$$P=\frac{0.50}{0.80}=0.62$$

Islatılan alan oranı literatürde belirtildiği gibi 0.30' dan büyük olduğu için yapılan seçim doğrulanmıştır. Islatılacak toprak derinliği ise etkili kök derinliğine eşittir. Domates bitkisine ait kök derinliği 90 cm'dir. Bu durumda ıslatılacak toprak derinliği (D) 90 cm olarak belirlenmiştir. Kullanılabilir su tutma kapasitesinin genellikle % 30'u tüketildiğinde ($R_y=0.30$) sulama yapılmaktadır. Kullanılabilir su tutma kapasitesi ise toprak bünye sınıfına (Killi-Tın) göre ortalama 90 cm derinlikte 150 mm/m olarak seçilmiştir (Güngör ve diğ. 2004). Eşitlik (3.5) yardımıyla her sulamada uygulanacak maksimum sulama suyu miktarı hesaplanmıştır.

$$d_{n(max)}=d_k D R_y P \quad (3.5)$$

$$d_{n(max)} = 150 * 0.9 * 0.3 * 0.62$$

$$d_{n(max)} = 25.11 \text{ mm}$$

Sebzeler için gölgelenen alan yüzdesi $P_s=\%$ 80 olarak kabul edildiğinde damla sulamada bitki su tüketimi Eşitlik (3.6) yardımıyla hesaplanmıştır (Yıldırım 2008).

$$T=ET_c \frac{P_s}{85} \quad (3.6)$$

$$T = 7.43 \frac{80}{85} = 6.99 \text{ mm}$$

Sulama aralığı hesaplanırken Eşitlik (3.7) kullanılmıştır.

$$S.A = \frac{d_{n(max)}}{T} \quad (3.7)$$

$$S.A=\frac{25.11}{6.99}=3.59$$

Yapılan hesaplama göre maksimum sulama aralığı 3.59 değerine en yakın değer seçilmelidir. Damla sulama sisteminde sulama aralığı 3 gün olarak seçilmiştir. Buna göre haftada iki kez sulama yapılması gerektiği belirlenmiştir. Net sulama suyu miktarını tespit etmek için Eşitlik (3.8) veya (3.9) kullanılmaktadır. Bu çalışmada sulama aralığına göre toplam su tüketimi Eşitlik (3.8) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$d_n = T(S.A) \quad (3.8)$$

$$d_n = 6.99 * 3 = 20.97 \text{ mm}$$

Toplam sulama suyu miktarını tespit etmek için Eşitlik (3.10) kullanılmıştır. Su iletim randımanı (E_c) basınçlı sistemlerde % 98 kabul edilmektedir. Su uygulama randımanı (E_a) damla sulama sisteminde % 87.5 olarak kabul edilmektedir TAGEM (2016).

$$d_t = \frac{d_n}{E_a E_c} \quad (3.10)$$

$$d_t = \frac{20.97}{0.875 * 0.98} = 24.45 \text{ mm}$$

Birim alandaki damlatıcı sayısının belirlenmesinde Eşitlik (3.11)'den yararlanılmıştır. Damlatıcı sayısı hesaplanırken 1 dekar alan 1000 m² alana eşittir.

$$N_d = \frac{1000}{S_d S_l} \quad (3.11)$$

$$N_d = \frac{1000}{0.50 * 0.80} = 2500 \text{ adet/da}$$

Sulama süresi hesaplanırken Eşitlik (3.12) kullanılmıştır.

$$T_n = \frac{1000 d_t}{q N_d} \quad (3.12)$$

$$T_n = \frac{1000 * 24.45}{2 * 2500} = 4.89$$

Yapılan hesaplama göre sulama süresi 4.5 h olarak seçilmiştir. Hesaplamalar sonucu domates bitkisine ait tasarım parametreleri belirlenmiştir. Aynı denklemler kullanılarak biber bitkisi içinde hesaplamalar yapılmıştır. Domates ve biber bitkisi için hesaplamalar sonucu elde edilen değerler Tablo 4.2' de gösterilmiştir.

Tablo 4.2: Damla sulama sistemi tasarım verileri

Bitki Türü	Bitki Sıra Aralığı (m)	Lateral Aralığı (m)	Damlaticı Aralığı (m)	Toplam Su Tüketimi (mm)	Sulama Aralığı (gün)	Sulama Süresi (Saat)	Damlaticı Debisi (L/h)
Domates	0.80	0.80	0.50	24.45	3	4.5	2
Biber	0.60	0.60	0.50	27.87	3	4	2

Tablo 4.2’ de görüldüğü gibi domates ve biber bitkileri için tasarım verileri birbirine yakınlık göstermektedir. Farklı bitkilerle yapılacak olan sulamada bitki su tüketimi en yüksek olan domates bitkisi için damla sulama sistemi tasarlanmıştır. Tasarım sonuçlarına göre normal (otomasyonsuz) sulanacak damla sulama sisteminin tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Dönemlik su tüketim değerleri, etkili yağış miktarı, bitki su tüketimi (ET) değerine göre farklılıklar göstermektedir. Bitki su tüketiminin değişmesinde; hava sıcaklığı, güneşin radyasyon değeri, rüzgar gibi çevresel koşullardan buharlaşma miktarı değişmektedir. Bu durum bitki su tüketiminde; mevsimsel, aylık, haftalık değişimlere neden olmuştur. Ayrıca bitkinin dikim zamanında ihtiyaç duyduğu su miktarı ile gelişim süreci boyunca ihtiyaç duyduğu su miktarının da değişimi beklenmektedir. Bütün bu durumlar için aylara ve ayların bölündüğü dönemlere göre farklılıklar oluşturmuştur Domates bitkisinin dönemlere göre su tüketim değerleri Tablo 4.3’de gösterilmiştir.

Tablo 4.3: Domates bitkisinin aylara ve dönemlere göre su tüketim değerleri

Ay	Dönem	Su Tüketim Değerleri		
		ET _c (mm)	d _n (mm)	d _t (mm)
Haziran	1. Dönem	48,9	36,98	43,13
	2. Dönem	65,2	53,76	62,70
	3. Dönem	68,6	60,48	70,54
Temmuz	1. Dönem	68,9	59,41	69,28
	2. Dönem	69,2	60,73	70,82
	3. Dönem	74,3	65,61	76,51
Ağustos	1. Dönem	63,9	58,14	67,80
	2. Dönem	59,3	54,13	63,13
	3. Dönem	55,3	48,61	56,68
Eylül	1. Dönem	36,6	31,41	36,63
	2. Dönem	31,1	26,63	31,06
	3. Dönem	2,6	0,00	0,00

Not: ET_c bitki su tüketimi, d_n her sulamada uygulanacak maksimum net sulama suyu miktarı, d_t toplam sulama suyu ihtiyacını göstermektedir.

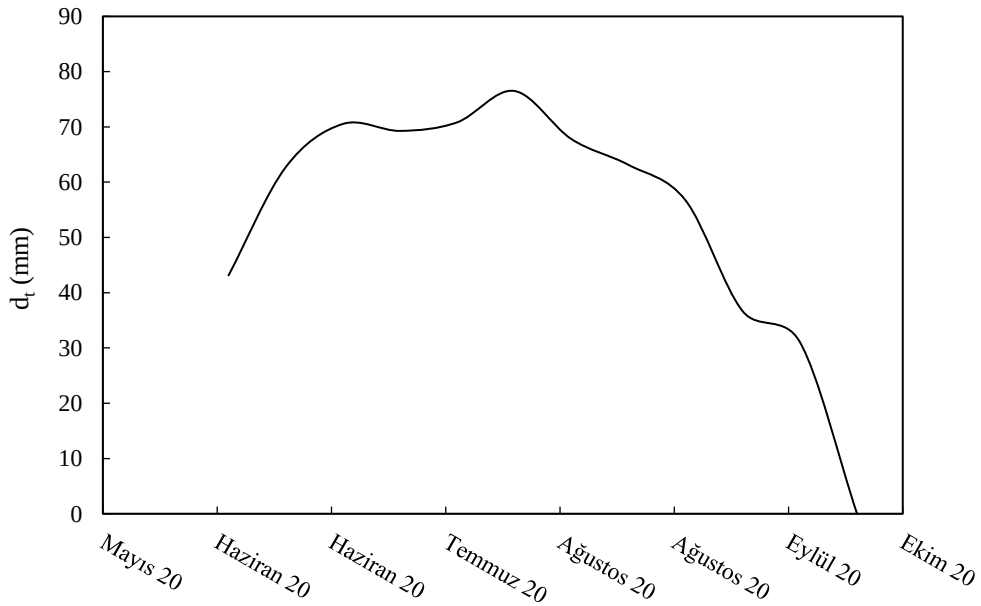
Domates için su tüketimi, hazirandan temmuza kadar geçen sürede artış göstermiştir. Temmuz 3. Dönemde maksimum noktaya ulaşmıştır. Bu durum yüksek sıcaklık ve radyasyon değeri olması ve etkin yağışın az olmasından kaynaklanmaktadır. Biber bitkisi içinde aynı hesaplamalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.4’de gösterilmiştir.

Tablo 4.4: Biber bitkisinin aylara ve dönemlere göre su tüketim değerleri

Ay	Dönem	Su Tüketim Değerleri		
		ET_c (mm)	d_n (mm)	d_t (mm)
Haziran	1. D	30	28,24	32,93
	2. D	48,5	45,65	53,23
	3. D	62,2	58,54	68,27
Temmuz	1. D	63	59,29	69,15
	2. D	63,2	59,48	69,37
	3. D	67,9	63,91	74,53
Ağustos	1. D	58,4	54,96	64,10
	2. D	54,5	51,29	59,82
	3. D	53,7	50,54	58,94
Eylül	1. D	40,5	38,12	44,45
	2. D	33,7	31,72	36,99
	3. D	3	2,82	0,00

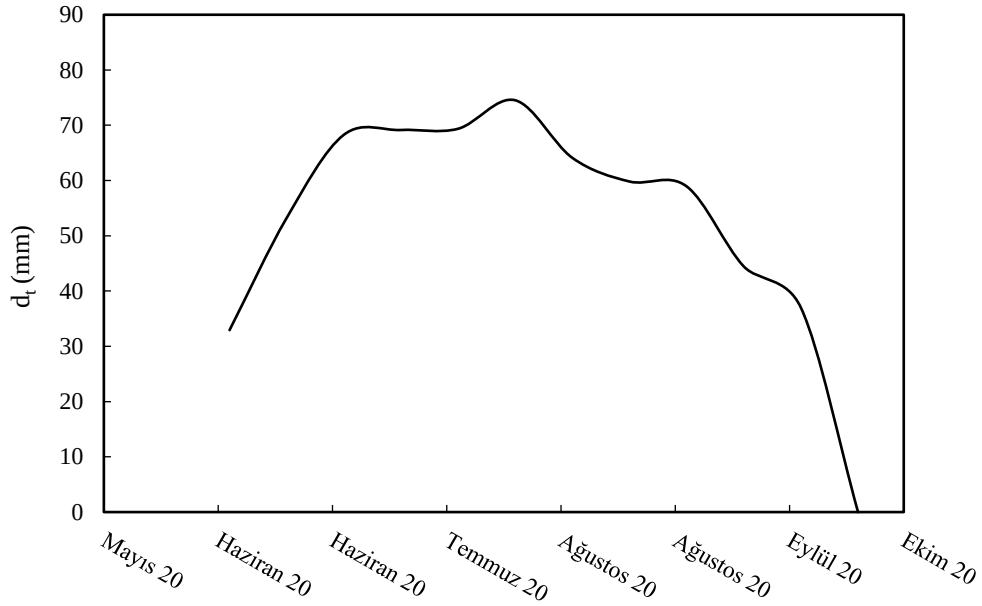
Not: ET_c bitki su tüketimi, d_n her sulamada uygulanacak maksimum net sulama suyu miktarı, d_t toplam sulama suyu ihtiyacını göstermektedir.

Biber bitkisi için toplam su tüketimi haziran ayından itibaren artmıştır ve en yüksek su tüketimi Temmuz 3. Döneme aittir. Bu dönemden sonra su tüketimi giderek azalmış ve Eylül 3. Dönemde su gereksinimi bitmiştir. Domates bitkisinin dönemlere göre toplam sulama suyu ihtiyacının değişimi Şekil 4.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.2: Domates için dönemlere göre sulama suyu miktarı değişimi

Domates bitkisine ait damla sulama sisteminde toplam su tüketimi grafiği incelendiğinde, bitki su tüketiminde olduğu gibi temmuz ayında en yüksek sulama suyu miktarına ulaşmaktadır. Bu dönemden sonra sulama suyu ihtiyacı düşmekte ve eylül ayı sonunda sulama ihtiyacı bitmektedir. Biber bitkisi için aylara göre damla sulama sisteminde toplam sulama suyu ihtiyacı Şekil 4.3’ de gösterilmektedir. Biber bitkisi içinde damla sulama ihtiyacı temmuz ayında en yüksek değere ulaşmaktadır.



Şekil 4.3: Biber için dönemlere göre sulama suyu miktarı değişimi

4.2 Otomatik Sulama Sistemi ve Tasarımı

Otomatik sulama sisteminde domates ve biber bitkilerinin sulama işlemi damla sulama yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Sistem, toprak nemini algılayarak bir mikrodenetleyici yardımıyla sensörün elde ettiği verileri işleyerek, sulama yapılması için yerleştirilmiş deponun çıkışında bulunan bir vanayı açıp kapatarak sulama işlemini gerçekleştirmektedir. Toprak nem sensöründen alınan verilere göre su tankının çıkışında bulunan selenoid vana açılmakta ve sulama işlemi otomatik olarak başlatılmaktadır. Su miktarı belirlenen seviyeye ulaştığında ise vana otomatik olarak kapanmakta ve sulama işlemi belirli nem aralıklarında devam etmektedir. Domates ve biber bitkilerini aynı debiye sahip damlatıcılarla suladığı için toprağın nem içeriği bütün bitkilerde aynı olmaktadır. Bu yüzden ölçümler tek bir toprak nem sensörü kullanılarak yapılmıştır.

Otomatik sulama sistemi; rezistif toprak nem sensörü ve sürücü kartı, mikrodenetleyici, röle kartı, güneş paneli, şarj kontrol devresi ve aküden oluşmaktadır. Rezistif toprak nem sensörü toprak içerisindeki nem miktarını belirlemekte, mikrodenetleyici toprak nem sensörün oluşturduğu verileri işlemekte, röle kartı mikrodenetleyiciden aldığı veriye göre anahtarlama görevi yapmakta ve sistemde bulunan selenoid vanayı açıp kapatmakta, sistemin duyduğu elektrik ihtiyacı 10 W gücündeki güneş panelinden sağlamaktadır. Sistem güneşin olmadığı zamanlarda kesintisiz çalışabilmesi için akü tarafından beslenmektedir. Akü güneş panelinin üretmiş olduğu elektrikle dolmaktadır. Şarj kontrol ünitesi ile sabit voltajda dolum işlemi gerçekleştirilmektedir.

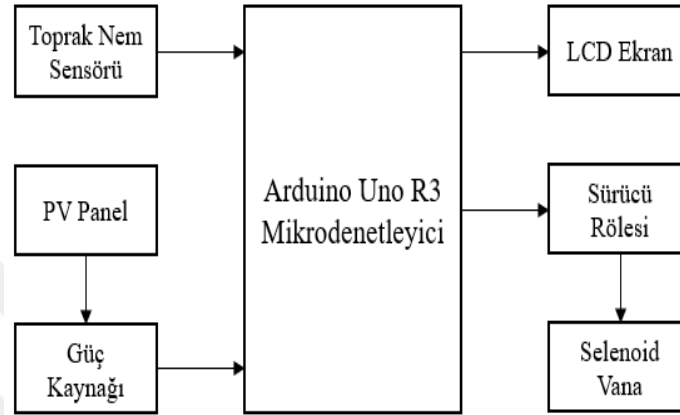
Otomatik damla sulama sistemini ile normal (otomasyonsuz) sulama sistemini karşılaştırmak için domates ve biber bitkileri belirlenen araziye dikilmiştir. Otomatik sulamada 200 adet domates fidesi ve 200 adet biber fidesinin belirlenen aralıklarla sulama yapılacak alana dikimi gerçekleştirilmiş ve ilk sulama suyu verilmiştir.

Rezistif toprak nem sensörü referans bir bitkiden aldığı değere göre ölçüm yapmaktadır. Tek sensörün kullanılmasında ölçüm açısından farklılık olmamaktadır. Sulanan alanda damlatıcılardan akan suyun miktarı sabit olduğu için tek bir ölçüm yeterli olmaktadır. Sensörün konumu haftalık olarak değiştirilmiştir.

4.2.1 Sistemin Çalışma Prensibi

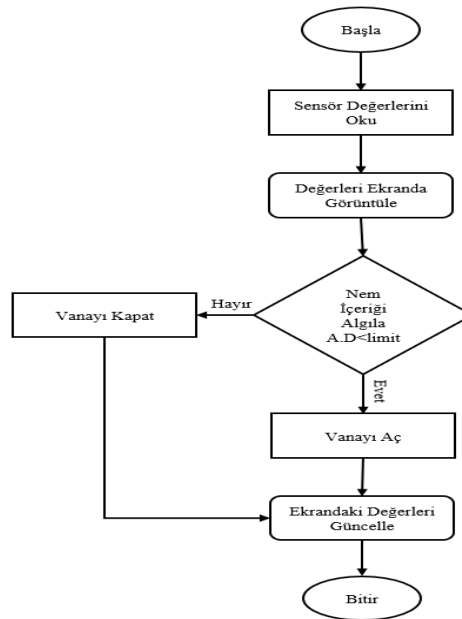
Otomatik sulama sistemi rezistif toprak nem sensörünün, toprak içerisinde yer alan nem miktarına göre bir direnç farklılığı oluşmaktadır. Bu direnç değişiminde meydana gelen farklılık analog değerler olarak Arduino üzerine aktarılmıştır. Yapılan toprak nem kalibrasyon sonuçlarına göre sulama yapılacak nem aralığı belirlenmiştir. Bu durum için sistem analog olarak alt limit 230 olarak belirlenmekte ve ekranda gösterilen nem değeri olarak % 10'luk bir değere karşılık gelmektedir. Bu değer ise toprağın solma noktasıdır. Bu noktadan sonra bitki kökleri topraktan su alamaz ve sulamanın başlatılması gerekmektedir. Toprak nem sensörünün toprak nem değerleriyle kalibrasyonu için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda toprak nem içeriği, sensörle kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Toprak nem ölçümü sonucu toprak nem değeri 230'a ulaştığı anda Arduino yazılımına yazılan kod yardımıyla sistem üzerindeki röle açılmakta ve röleye bağlı olan selenoid vana açık konuma gelmektedir. Sulama yapılmaya başladıktan sonra toprak nem değeri 900 üst sınırına ulaştığında ise sistem röleyi kapatmakta ve röleye bağlı bulunan selenoid vana kapanmaktadır. Sistemin çalışmasına ait blok diyagram Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Otomatik sulama sistemi blok diyagramı

Sistemin çalışması ve ekranda nem değerlerinin okunmasına yönelik akış şeması Şekil 4.5' de verilmiştir. Sistemin otomasyonu akış şemasında gösterildiği gibi çalışmaktadır.



Şekil 4.5: Sistemin çalışmasına ait akış şeması

Akış şemasında görüldüğü gibi sistem başlat komutunu verdikten sonra sensör tarafından elde edilen değerler okunur. Okunan değerler ekranda görüntülenir görüntülenen nem değerine göre sistemde sulamanın açık veya kapalı konumda olduğu gösterilir. Ardından nem sensörü üzerinden elde edilen verilerle denetleyiciye giriş yaptığımız değer ile karşılaştırılır. Eğer algılanan değer belirlenen değerden büyükse sistem röleyi kapalı konumda tutarak röleye bağlı selenoid vanayı kapalı tutar ve ekrana nem değerini işler, ekranda sulamanın kapalı olduğu bilgisini verir. Ekranda gösterilen değer ve sulamanın durumu Şekil 4.6’ da gösterilmiştir.



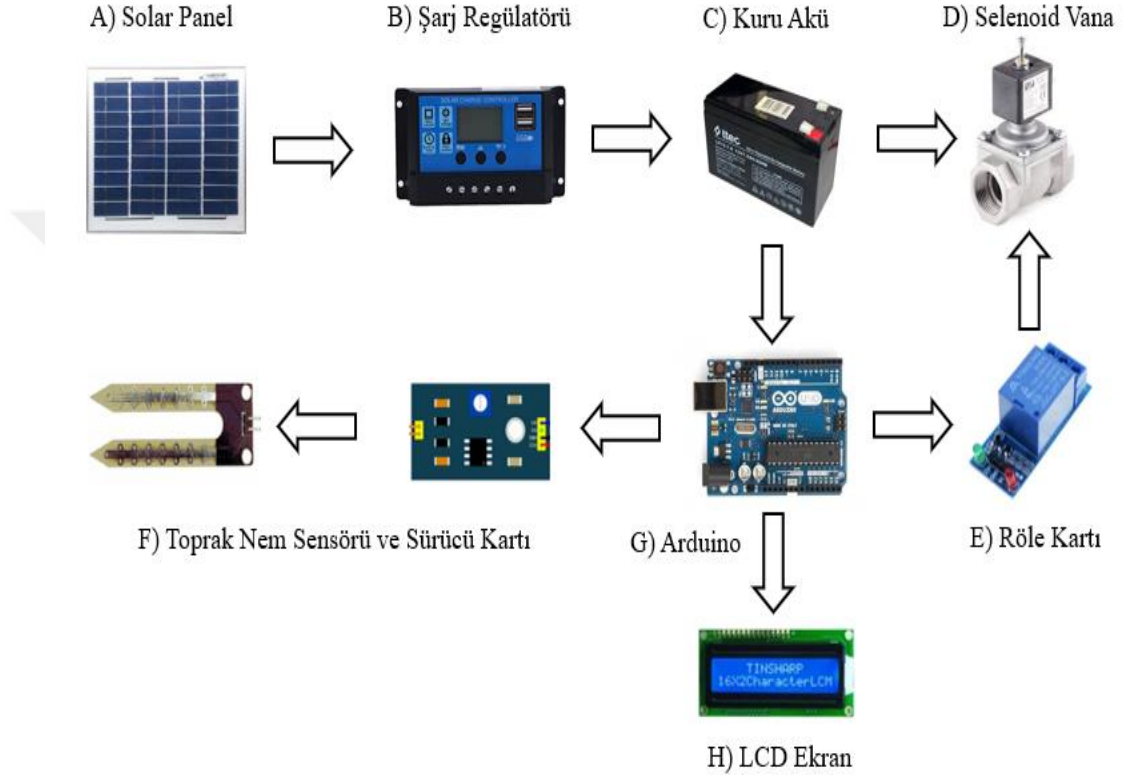
Şekil 4.6: Ekranda gösterilen nem değerleri ve sulama durumu

Eğer toprak nem sensörünün algıladığı değer, belirlenen değerden küçükse sistem denetleyici yardımıyla röleyi açık konuma getirir ve selenoid vana açılarak sulama işlemi başlatılır ve değerler ekranda güncellenir. Sisteme gecikme konularak her okuma belirli aralıklarla gerçekleştirilmiştir.

4.2.2 Sistemin Donanım ve Yazılım Bileşenleri

Sistem donanım ve yazılım kısmı olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Donanım kısmı da iki bölüme ayrılmıştır toprak nem içeriğini belirleyerek otomatik sulama yapan elemanlardan oluşmaktadır. Bu elemanlar; rezistif toprak nem sensörü, röle kartı, Arduino Uno R3 mikrodenetleyici, sıvı kristal ekran (Liquid Crystal Display) LCD, selenoid vana ve montaj elemanlarından oluşmaktadır.

İkinci kısım sistemin güç ihtiyacını sağlayan ve sistemin kesintisiz çalışmasını sağlayan bölümdür. Bu elemanlar; güneş paneli, akü, şarj kontrol devresi ve kablolardan oluşmaktadır. Yazılım kısmında ise Arduino IDE yazılım aracı kullanılarak programlaması yapılmıştır. Sistemde kullanılan ekipmanlar Şekil 4.7’ de gösterilmiştir. Ayrıca Sistemde kullanılan elemanlar aşağıda detaylı olarak açıklanmakta ve özellikleri verilmektedir..



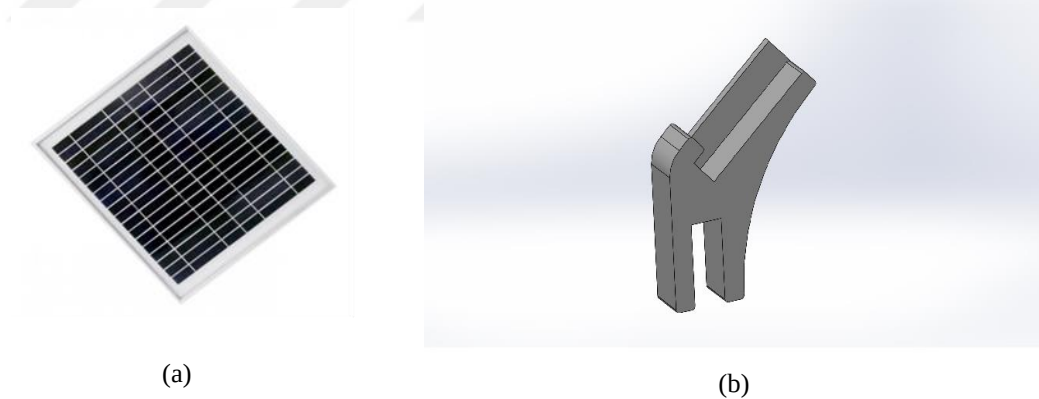
Şekil 4.7: Otomatik sulama sistemi tasarım ekipmanları ve akış şeması

A) Güneş Paneli: Güneş panelleri güneşten gelen ışığı, doğrudan elektrik enerjisine çeviren yarıiletken yapılardır. Fotovoltaik hücrelerden oluşur. Hareketli parçası yoktur. Işığın hücrelere çarpması elektronların harekete geçmesini sağlar. Hücredeki etkileşimi sonucunda katmanlar arasındaki elektronlarda bir gerilim ortaya çıkar ve dc elektrik akımına neden olur. Panellerin seri bağlanması ile gerilim artırılır, paralel bağlanması ile akım değeri artırılır. Bu sayede istenilen güç değeri elde edilmiş olur. Yapılarındaki farklılıklar nedeniyle verimleri, % 5-% 30 arasında değişiklik göstermektedir. Sistemin ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisi 10W gücünde polikristal bir panel tarafından sağlanmaktadır. Tablo 4.5’ de özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.5: Otomasyon sistemi için kullanılan panelin özellikleri

Panelin Teknik Özellikleri	
Model İsmi	ST36P10W
Maksimum Güç (P_{max})	10W
Güç Toleransı	%3
Maksimum Güç Gerilimi (V_{mp})	17V
Maksimum Güç Akımı (I_{mp})	0.59A
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	20.4V
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	0.67A
Maksimum Sistem Voltajı	1000V DC
Nominal Çalışma Hücresi Sıcaklığı (NOCT)	45 + - 2 °C
Sıcaklık Aralığı	-40°C - +85°C
Ağırlık	1.6kg
Ölçüler	260*345*17mm
Test Koşulları: 1000W/m ² /AM 1.5 / Hücresel Sıcaklığı 25 °C	

Sistemde kullanılan ve otomasyon sisteminin elektrik ihtiyacını karşılayan 10W gücündeki panel ve panelin sabitlenmesi için tasarlanan ve 3D yazıcı kullanılarak baskısı yapılan panel ayağı Şekil 4.8’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.8: Güneş enerjisi sistemi a) 10 W güneş paneli b) panel ayağı

B) Şarj Kontrol Cihazı: Şarj kontrol cihazları akü gruplarının yüksek voltajla veya fazla şarj olmasını engellemek amaçlı panellerden gelen akımı ve voltajı düzenleyen bir nevi güvenlik aracıdır. Birinci işlevi akünün sabit bir voltajla şarj olmasını sağlamak, ikinci görevi ise akünün doluluk oranına ulaştığında fazla şarj olmasını engelleyerek şarj akımını kesmektir. Şekil 4.9’ da sistemde kullanılan şarj kontrol ünitesi gösterilmiştir.



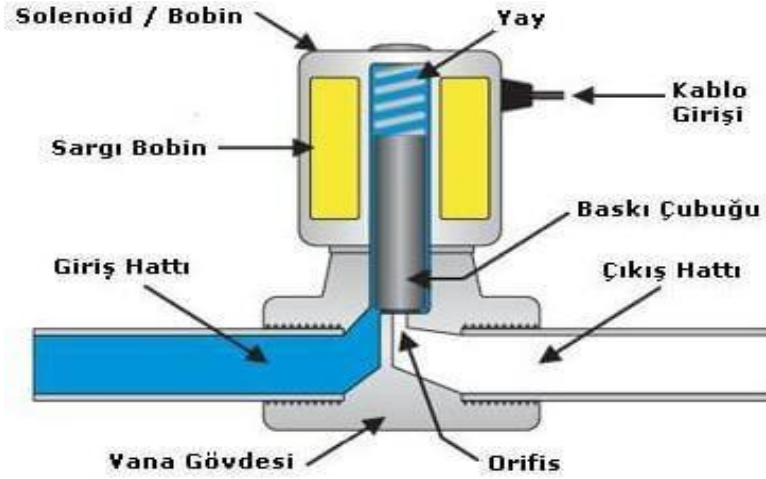
Şekil 4.9: Sistemde kullanılan şarj kontrol cihazı

C) Kuru Akü: PV sistemlerde akü kalitesi oldukça önemlidir. Aküler, üretilen elektrik enerjisini bünyesinde depolar. Güneşin olmadığı zamanlarda da depolanan elektriği kullanmamızı sağlar. Şarj-deşarj süreleri ve kapasiteleri önemlidir. Verimleri % 90 civarındadır. En çok kullanılan tipi ise kuru tip akülerdir. Sistemde TTEC LP12-7.0 model ismine sahip 12 V gerilim değeri olan ve 7 A kapasiteye sahip kuru akü kullanılmıştır. Sistemde kullanılan akü Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10: Sistemde kullanılan 12 V 7A değerindeki akü

D) Selenoid Vana: Selenoid vana, akışkanları kontrol etme amaçlı kullanılan elektromanyetik valflere denir. Selenoid vana üzerindeki bobine elektrik enerjisi vererek valfin konumunda değişiklik meydana getirir. Gerekliği anda sistemin açılıp kapatılmasını sağlar (Url-13). Şekil 4.11' de çalışma şekli gösterilmiştir. Tasarlanan sistemde deponun çıkışına sistem sulama yapacağı zaman açılan, sulama bittiği zamanda kapanan 12 V DC gerilimle çalışan selenoid vana konulmuştur.



Şekil 4.11: Selenoid vana çalışma prensibi (Url-13)

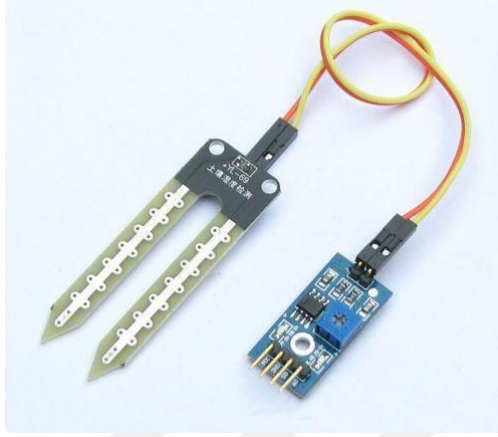
E) Röle Kartı: Röle, düşük akımlar kullanarak yüksek akım çeken cihazları anahtarlama için kullanılan bir elemandır. Rölenin bobinine enerji verildiğinde mıknatıslanan bobin, armatürü hareket ettirip kontakların birbirine temasını sağlar ve devrede iletim sistemi oluşur. Sistemde 12 V güç girişine sahip, bir kanal röle kartı kullanılmıştır. Şekil 4.12’ de 12 V güç girişine sahip, bir kanal röle gösterilmektedir.



Şekil 4.12: Röle kartı devresi

F) Rezistif Toprak Nem Sensörü ve Sürücü Kartı: Rezistif toprak nem sensörleri, topraktaki nem miktarını belirlemede kullanılan düşük maliyetli bir sensördür. Üzerine gelen akımı topraktan geçirmek için iki adet iletken probtan oluşur. Topraktaki su miktarı arttıkça toprak elektriği daha iyi iletmektedir. Elektriksel direnç değişimine göre sürücü kartında analog çıktılar vermektedir. Bu sensörler 0 ile 1023 arası analog veri üretmektedir. Sistemde 5 V çalışma gerilimine sahip, LM393

komperatörü kullanan rezistif toprak nem sensörü kullanılmıştır. Şekil 4.13’de sistemde kullanılan rezistif toprak nem sensörü ve LM393 komperatörü gösterilmiştir.



Şekil 4.13: Sistemde kullanılan toprak nem sensörü

G) Arduino Uno R3 Mikro-Denetleyici: Arduino, elektrik donanımına sahip yazılım tabanlı bir platformdur. Dışardan gelen bir veriyi işler ve sonucunda bir çıktı verir. Arduino UNO denetleyicilerinin r1, r2 ve r3 dışında SMD çeşitleri vardır. En yaygın kullanılan ve en köklü değişiklikler yaşayan r3 modelidir. Sistemde kullanılan Arduino modeli Şekil 4.14’de gösterilmiştir.

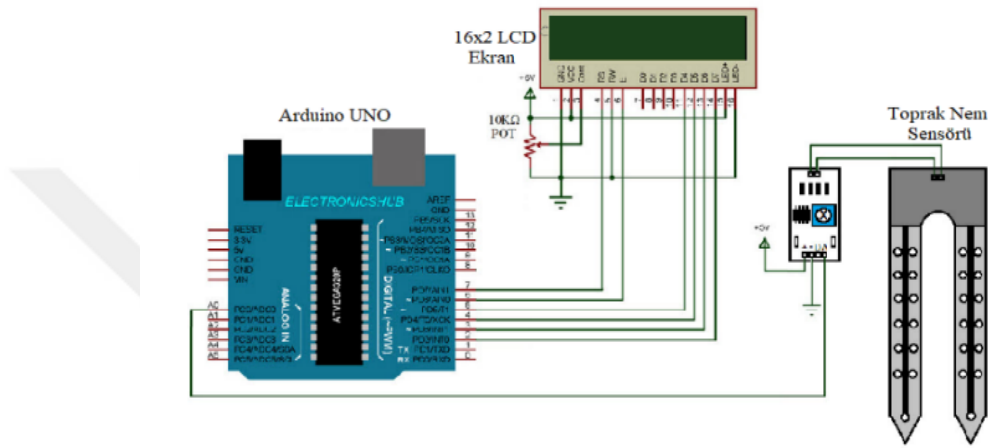


Şekil 4.14: Arduino Uno R3 mikrodenetleyici

Tasarlanan sistemde nem değerlerini, gerilim değerlerini, akülerin şarj durumunu sistemin açık veya kapalı olduğunu görmek ve sistem üzerindeki değerleri anlık grafiklerle incelemek ayrıca su deposunda ki su miktarını tespit edebilmek için kontrol paneli yazılımı geliştirilmiştir.

4.2.3 Toprak Nem Sensörünün Kalibrasyonu

Rezistif toprak nem sensörünün kalibrasyonunda Arduino kullanılarak toprak nem sensörünün üzerindeki direnç farkları analog değerlere dönüştürülmüş ve ekran üzerinden okunmuştur. Bu değerlerin, farklı deneysel çalışmalarla toprak nem içeriğine göre kalibrasyon işlemi yapılmıştır. Toprak nem sensörünün kalibrasyon denemeleri için tasarlanan sisteme ait şematik gösterim Şekil 4.15’ de yer almaktadır.



Şekil 4.15: Toprak nem sensörü ölçüm sistemi (Url-14)

Toprak nem sensörünün kalibrasyon çalışmaları için iki farklı deney düzeneği oluşturulmuştur. İlk kalibrasyon denemesi belirli miktarda su eklenerek nem içeriği oluşturularak kalibre edilirken, ikinci kalibrasyon denemesinde literatürde kullanılan kütleli ve hacimsel nem içeriğine göre kalibrasyon gerçekleştirilmiştir. İki deney sonucunda elde edilen verilere göre nem ölçüm doğrulukları değerlendirilmiştir.

4.2.3.1 Birinci Kalibrasyon Deneyi

Toprak nem sensörü ile yapılan birinci deneysel çalışmada, bilenen miktarda damıtılmış su toprağa eklenerek toprak nemi artırılmıştır. İşlem basamakları aşağıda yer almaktadır. Literatürde yer alan çalışmalara göre kalibrasyon gerçekleştirilmiştir (Saleh ve diğ 2016).

- 1) Farklı nem seviyeleri oluşturulmuştur. Deneme için; % 5, % 10, % 15, % 20, %25, % 30 ve % 35 oranlarına sahip toprak numuneleri hazırlanmıştır. Örneğin %5’lik nem elde etmek için 1000g toprağa 50 g su eklenmiştir.

- 2) Toprak içerisinde eşit bir su dağılımı elde etmek için saksı içerisine yerleştirilen toprak numuneleri karıştırılmıştır.
- 3) Sensörler saksı içerisine dik bir konumda yerleştirildikten sonra, her nem içeriğinde toprak nem sensörü ile 10 değer okunmuş ve bu değerlerin ortalaması kaydedilmiştir.
- 4) Elde edilen veriler tablolara aktararak Microsoft Excel programı ile grafikleri çizilmiş ve kalibrasyon doğruluğu tespit edilmiştir.

Okunan analog değerler voltaj değerlerine dönüştürülmüştür. Dönüşüm için Eşitlik (4.1) kullanılmıştır (Saleh ve diğ 2016).

$$V_0 = (A.D/1023)V_g \quad (4.1)$$

Eşitlikte;

A.D : Analog değer

V_0 : Çıkış voltajı (V)

V_g : Giriş voltajı (V)

Yapılan ölçümler sonucunda deney düzenekleri için eklenen su miktarına göre nem yüzdeleri ve bu nem yüzdelere karşılık gelen analog değerler ve çıkış gerilimleri Tablo 4.6' da gösterilmiştir. Nem yüzdesi arttıkça Sensörden okunan analog değer ve çıkış gerilimi de artmakta olduğu görülmektedir.

Tablo 4.6. Sensör verilerinin kalibrasyon sonuçları

Deney	Toprak Ağırlığı (g)	Eklenen Su (g)	Nem Yüzdesi (%)	Sensör Analog Değerleri	Çıkış Gerilimi (V)
1	1000	0	0	0	0,00
2	1000	50	5	129	0,63
3	1000	100	10	245	1,20
4	1000	150	15	394	1,93
5	1000	200	20	596	2,91
6	1000	250	25	724	3,54
7	1000	300	30	789	3,86
8	1000	350	35	879	4,30

4.2.3.2 İkinci Kalibrasyon Deneyi

İkinci deneysel çalışma daha doğru sonuçlar elde etmek için gerçekleştirilmiş. Toprağın ağırlık cinsinden nem içeriği belirlenerek, hacimsel nem içeriğine çevrilmiş ve sensör ile kalibrasyonu yapılmıştır.

Deneysel çalışmada toprak nem sensörünün kalibrasyonunda literatürde yer alan çalışmalar incelenmiştir (Abba ve diğ 2019; Saleh ve diğ 2016; Zilen ve diğ 2014). Deneysel sonuçlar literatür bilgileriyle karşılaştırılmıştır. Toprak nem sensörünün kalibrasyonunda deneysel süreçler aşağıda verilmiştir.

- Kuru toprak ağırlığını belirlemek için hava ile kurutma yöntemi uygulanmıştır
- Farklı ağırlıklarda toprak numuneleri alınarak belirli oranlarda su ilave edilmiştir.
- Toprak numuneleri saksılara yerleştirilmiş ve eşit bir dağılım için karıştırılmıştır.
- Toprak numuneleri tartılmış ve değerler kaydedilmiştir. Ardından her saksıdan 10 ölçüm alınmış ve ortalaması belirlenmiştir.
- Toprak içerisindeki nem tamamen bitene kadar tartılan nemli numuneler hava ile kurutulmuştur. Ardından kuru toprak numuneleri tartılmış ve değerler kaydedilmiştir.
- Toprak nem yüzdeleri toprağın ağırlığına göre Eşitlik (4.2) kullanılarak belirlenmiştir (Yıldırım 2008; Saleh ve diğ 2016).

$$P_w = 100 \frac{W - W_s}{W_s} \quad (4.2)$$

P_w : Toprak nem miktarının ağırlık yüzdesi cinsinden ifadesi (%)

W_s : Toprak örneğinin kuru ağırlığı (g)

W : Toprak örneğinin yaş ağırlığı (g)

- Belirlenen ağırlık cinsinden toprak nem içeriği toprağın hacmi belirlenerek hacimsel nem içeriğine Eşitlik (4.3) kullanılarak belirlenmiştir.

$$P_v = 100 \frac{V_w}{V} = \frac{P_w \gamma_t}{\gamma_w} = P_w \gamma_t \quad (4.3)$$

- P_v : Toprak nem miktarının hacim yüzdesi cinsinden ifadesi (%)
 V_w : Topraktaki suyun hacmi (cm^3)
 V : Toprak örneğinin toplam hacmi (cm^3)
 P_w : Toprak nem miktarının ağırlık yüzdesi cinsinden ifadesi (%)
 γ_t : Toprağın hacim ağırlığı (g/cm^3)
 γ_w : Suyun hacim ağırlığı (g/cm^3)

- Toprak hacmi ile sensör çıkış gerilimi ve analog değerleri kaydedilmiş ve tablo haline getirilmiştir. Oluşturulan tabloya göre hacimsel toprak nem içeriği ile analog çıktı değerleri ve çıkış gerilim değerleri arasındaki ilişkinin grafiği çizilmiş ve sensörün doğruluğu tespit edilmiştir. Toprak nem içeriği ve sensör verileri Tablo 4.7’ de gösterilmiştir.

Tablo 4.7: Deney sonucunda elde edilen veriler

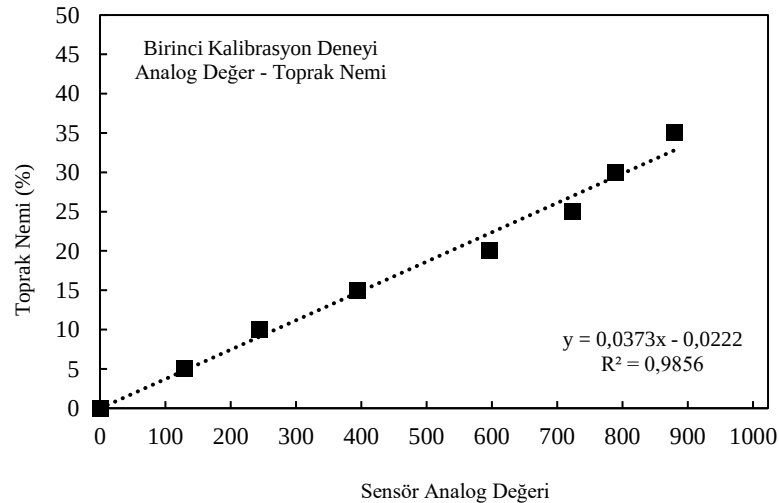
Deney No	Kuru Ağırlık (g)	Islak Ağırlık (g)	Su Kütlesi (g)	Nem Yüzdesi (%) Ağırlık	Nem Yüzdesi (%) Hacim	Analog Değerler (0-1023)	Gerilim Değeri (V)
1	74,12	75,85	1,73	2,33	3,54	93	0,45
2	70,23	74,22	3,99	5,68	8,43	193	0,94
3	66,25	72,36	6,11	9,22	13,35	332	1,62
4	64,15	72,34	8,19	12,77	18,47	512	2,50
5	55,35	66,12	10,77	19,46	25,73	729	3,56
6	50,12	65,18	15,06	30,05	39,17	993	4,85
7	42,32	57,4	15,08	35,63	40,91	1023	5,00

5. BULGULAR

Güneş enerjisi ile çalışan otomatik damla sulama sistemi ile yapılan sulamaya göre elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Normal (otomasyonsuz) sulama ile otomatik sulama arasındaki farklılıklar karşılaştırılmıştır. Sulama boyunca sensörlerden okunan değerler ve sulamanın durumu gözlemlenmiştir. Ayrıca ürün kaliteleri değerlendirilmiş, araştırma bulguları yorumlanmıştır. Domates ve biber için ortalama ağırlıklar normal ve otomatik sulama için karşılaştırılmış ve ürün kalitesi belirlenmiştir.

5.1 Toprak Nem Sensörü Kalibrasyon Sonuçları

Rezistif toprak nem sensörünün kalibrasyonu iki farklı deney ile yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen veriler tablo haline getirildi ve Microsoft Excel programında grafikleri çizilerek analizi yapıldı. Hacimsel toprak nem içeriği ile sensör okumaları arasında matematiksel bir ilişki kuruldu. Toprağın hacimsel nem içeriği ve buna karşılık gelen sensörün analog değerleri birinci kalibrasyon deneyinde Şekil 5.1’ de gösterilen grafikte verilmiştir.



Şekil 5.1: Toprak nem değerleri ile analog değer arasındaki ilişki

Şekil 5.1’ de görüldüğü gibi sensör üzerinden okunan analog değerler ile belirlenen toprak nem miktarı arasında doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Grafığe göre toprak nem

içeriği ile analog değer arasında matematiksel bir bağıntı elde edilmiştir. Bu bağıntı Eşitlik (5.1)' de gösterilmiştir.

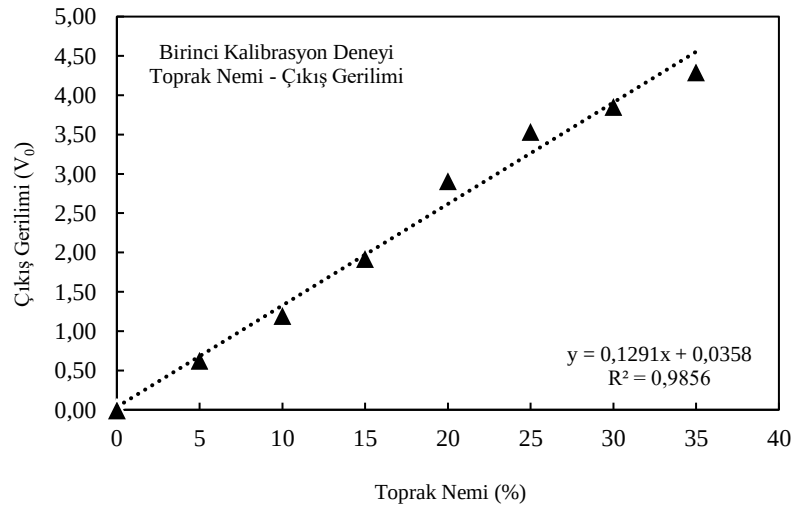
$$Q_T = 0.0373(A.D) - 0.0222 \quad (5.1)$$

Eşitlikte;

Q_T : Toprak nem içeriği (%)

A.D : Sensör analog değerini göstermektedir.

Okunan analog değerler voltaj değerlerine dönüştürülmüştür. Arduino üzerinde kodlaması yapıldıktan sonra hacimsel toprak nem içeriğine göre sensörün çıkış gerilimleri kaydedilmiştir. Kaydedilen sonuçlara göre doğruluğu yüksek bir sensör kalibrasyonu elde edilmiştir. Birinci kalibrasyon deneyi sonucunda elde edilen çıkış gerilimleri ve buna karşılık gelem hacimsel toprak nem içeriği Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2: Toprak nem içeriği ile gerilim arasındaki ilişki

Şekil 5.2' de verilen grafikte görüldüğü gibi toprak nemi çıkış gerilimi arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Toprak nemine bağlı olarak sensörün çıkış gerilimini veren ifade Eşitlik (5.2)' de gösterilmiştir.

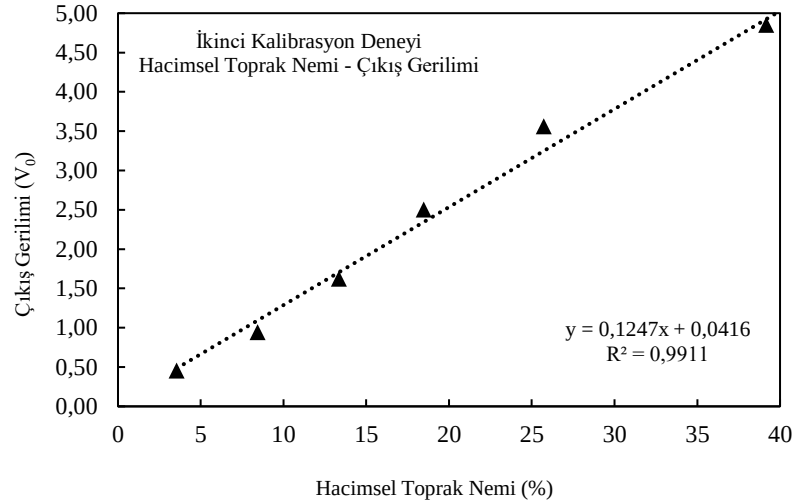
$$V_{\text{çıkış}} = 0.1291(Q_T) + 0.0358 \quad (5.2)$$

Eşitlikte;

$V_{\text{çıkış}}$: Çıkış gerilimi (V)

Q_T : Toprak nem içeriği (%) göstermektedir.

Deney sonucunda R^2 değeri 0.9856 olarak bulunmuştur. Bu değer rezistif toprak nem sensörlerinin kalibrasyonu ile ilgili çalışmalara benzerlik göstermektedir (Zilen ve diğ. 2014; Shakoor ve diğ. 2016; Saleh ve diğ. 2016). Verilerin daha doğru elde edilebilmesi ve daha hassas bir kalibrasyon için ikinci deney çalışması yapılmıştır. Bölüm 4 içerisinde ikinci kalibrasyon verilerine göre analog veriler gerilim değerlerine dönüştürülmüş ve ardından Şekil 5.3’ de gösterilen grafik elde edilmiştir.



Şekil 5.3: Hacimsel toprak nem içeriğiyle çıkış gerilimi arasındaki ilişki

Hacimsel toprak nem içeriği ile çıkış gerilimi arasında doğrusal bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir ve hacimsel toprak nemi ile çıkış gerilimi arasında matematiksel bir model elde edilmiştir. Eşitlik (5.3)’ de gösterilmektedir.

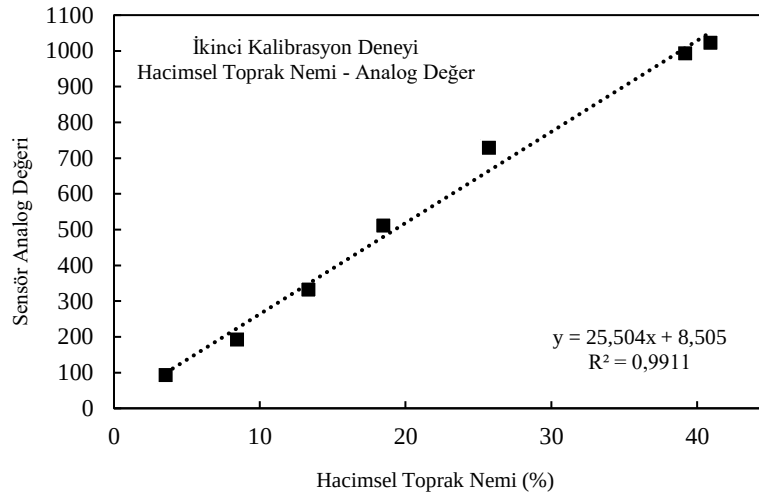
$$V_{\text{çıkış}} = 0.1247(VWC) + 0.0416 \quad (5.3)$$

Eşitlikte;

$V_{\text{çıkış}}$: Çıkış gerilimi (V)

VWC : Hacimsel toprak nem içeriği (%) göstermektedir.

Okunan analog değerler ile hacimsel toprak nem içeriği arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 5.4’de gösterilmiştir. Tasarımda analog değerlere göre kalibre edilmiş ve sensörün nem aralığı analog değerlere göre oluşturulmuştur.



Şekil 5.4: Hacimsel toprak nem içeriği ile analog değerler arasındaki ilişki

Yapılan kalibrasyon deneyleri sonucunda sensör programlanarak kurulumu hazır hale getirilmiştir. Otomatik sulama sistemi belirlenen nem değerlerinde çalışması için ayarlanmıştır.

5.2 Sensör Okumaları ve Sulamanın Kontrol Edilmesi

Tarım arazisine yerleştirilen sensörün toprak koşulları ve bitki türüne göre alt ve üst limitleri belirlenmiştir. Ardından sensörün alt limit değeri olarak solma noktasının hacimsel nem içeriği kabul edilmiş. Bu hacimsel nem içeriğine karşılık gelen sensör değeri; alt limit analog değer olarak 230 ve bu değere karşılık gelen sensör değeri %25 olarak belirlenmiştir. Sensör limit değerleri Tablo 5.1 ‘de verilmiştir.

Tablo 5.1: Sensörün limit değerleri

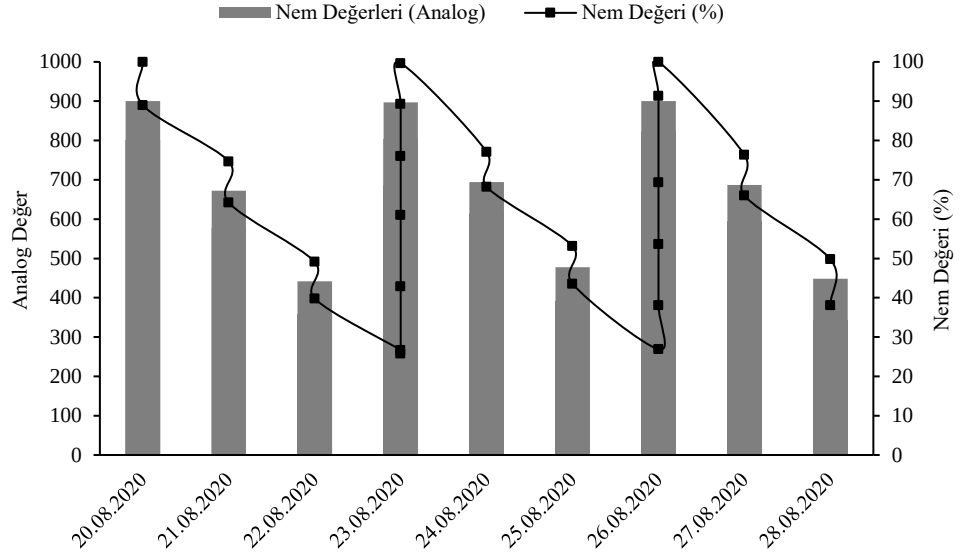
Özellikler	Toprak Nem Değeri (%)	Analog Değer	Sensör Nem Değeri (%)
Solma Noktası (SN)	%10	230	%25
Tarla Kapasitesi (TK)	%35	879	%98
Sensör Alt Limit	%10	230	%25
Sensör Üst Limit	%40	900	%100

Limit değerleri belirlenen sensörün 20.08.2020–28.08.2020 arasında ve 10.00 ile 19.00 saatlerinde sistem üzerinden sensör okumaları kaydedilmiştir. Sulamanın yapıldığı sürede sensör okumaları 30 dk aralıklarla yapılarak sulama süresi tespit edilmiştir. Okunan değerlere göre haftalık olarak sulama sıklığı, sistemin aktif kalma süresi, sulama yapılan süre ortalama olarak belirlenmiştir. Tablo 5.2’ de okunan sensör değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.2: Sensör üzerinden günlük okunan değerler

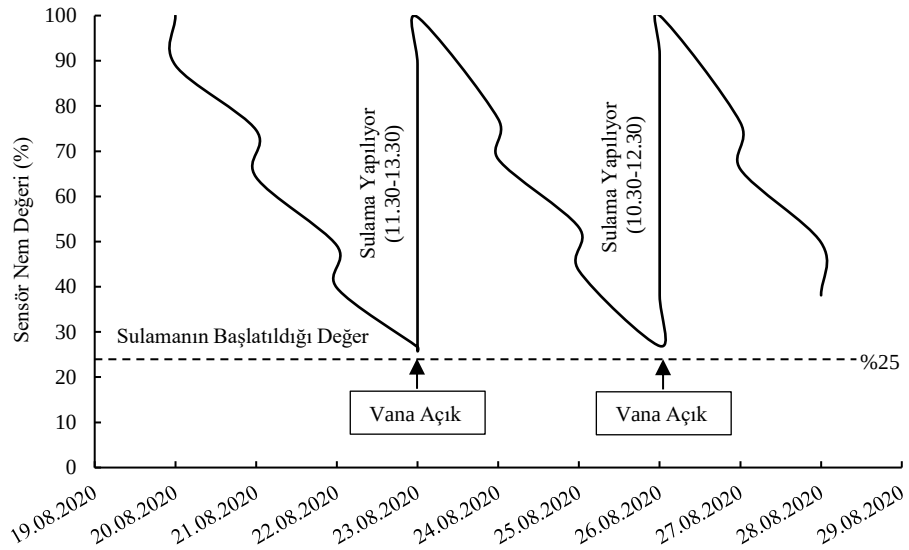
Tarih	Saat	Sulama Durumu	Analog Değer	Sensör Değeri (%)	Çıkış Gerilimi (V)
20 Ağustos 2020 Perşembe	10.00	Sulama Kapalı	900	100,0	4,40
	19.00	Sulama Kapalı	801	89,0	3,91
21 Ağustos 2020 Cuma	10.00	Sulama Kapalı	672	74,7	3,28
	19.00	Sulama Kapalı	578	64,2	2,83
22 Ağustos 2020 Cumartesi	10.00	Sulama Kapalı	442	49,1	2,16
	19.00	Sulama Kapalı	358	39,8	1,75
23 Ağustos 2020 Pazar	10.00	Sulama Kapalı	240	26,7	1,17
	11.00	Sulama Kapalı	232	25,8	1,13
	11.30	Sulama Açık	386	42,9	1,89
	12.00	Sulama Açık	549	61,0	2,68
	12.30	Sulama Açık	684	76,0	3,34
	13.00	Sulama Açık	804	89,3	3,93
	13.30	Sulama Açık	897	99,7	4,38
24 Ağustos 2020 Pazartesi	10.00	Sulama Kapalı	694	77,1	3,39
	19.00	Sulama Kapalı	614	68,2	3,00
25 Ağustos 2020 Salı	10.00	Sulama Kapalı	478	53,1	2,34
	19.00	Sulama Kapalı	392	43,6	1,92
26 Ağustos 2020 Çarşamba	10.00	Sulama Kapalı	242	26,9	1,18
	10.30	Sulama Açık	343	38,1	1,68
	11.00	Sulama Açık	483	53,7	2,36
	11.30	Sulama Açık	624	69,3	3,05
	12.00	Sulama Açık	822	91,3	4,02
	12.30	Sulama Kapalı	900	100,0	4,40
27 Ağustos 2020 Perşembe	10.00	Sulama Kapalı	687	76,3	3,36
	19.00	Sulama Kapalı	594	66,0	2,90
28 Ağustos 2020 Cuma	10.00	Sulama Kapalı	448	49,8	2,19
	19.00	Sulama Kapalı	343	38,1	1,68

Tablo 5.2’ de gösterildiği gibi 9 günlük ölçüm yapılmıştır. Haftada 2 defa sulama gerçekleşmiştir. 23 Ağustos 2020 tarihinde saat 11.30 ile 13.30 arasında 2 saat ve 26 Ağustos 2020 tarihinde 1.5 saat sulama yapılmıştır. Elde edilen verilere göre haftada toplamda 3.5 saat otomatik sulama sistemi ile sulama yapıldığı gözlemlenmiştir. Sensörlerden okunan analog ve nem değerleri Şekil 5.5’ de gösterilmiştir.



Şekil 5.5: Sensör üzerinden okunan değerler

Sensör üzerinden okunan değerlere göre sisteminin aktif olarak çalıştığı ve sulamanın gerçekleştiği gün ve sulama aralığı Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6: Sulamanın yapıldığı süreler

Şekil 5.6' da görüldüğü gibi 20.08.2020 tarihi ile 28.08.2020 tarihleri arasında yapılan ölçümlere göre toprağın nem içeriği belirli bir aralıkla azalmıştır. İlk olarak toprak ön sulama uygulaması yapıldıktan sonra % 100 nem içeriği ölçülmüş ve belirlenen alt limite 3 gün sonra ulaşmıştır. 23.08.2020 tarihinde saat 11.30-13.30 saatleri arasında 2 saat ardından 26.08.2020 tarihinde 10.30-12.30 arasında 2 saat olmak üzere haftada 4 saat sulama yapılmıştır. Ardından otomatik sulama ile normal (otomasyonsuz) sulamada su tüketimleri karşılaştırılmıştır.

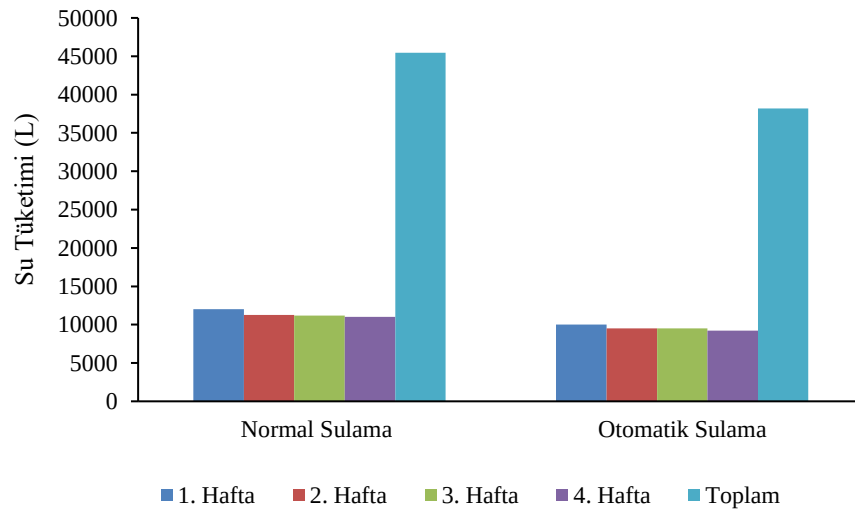
5.3 Su Tüketim Değerlerinin Karşılaştırılması

Otomatik damla sulama sistemi uygulamasında çalışmanın yapılacağı tarım arazisine 200 adet domates ve 200 adet biber dikilmiştir. Bütün dikilen bitkiler için damlatıcı debisi 2 L/h olarak belirlenmiştir (Yıldırım 2008). 3 günde 1 defa olmak üzere sulama yapılmıştır. Yapılan su tüketimi ölçümlerine göre normal sulama ve otomatik damla sulamada kullanılan temmuz ayına ait su miktarları Tablo 5.3’ de verilmiştir.

Tablo 5.3: Temmuz ayına ait sulamada su tüketim değerleri

Haftalar	Normal Sulama (L)	Otomatik Sulama (L)
1. Hafta	12000	10000
2. Hafta	11250	9500
3. Hafta	11200	9500
4. Hafta	11000	9200
Toplam	45450	38200

Temmuz ayına ait su tüketim değerleri Şekil 5.7’ de gösterilmiştir. Su tüketim miktarları haftalık olarak ölçülmüş ve ay sonunda toplam tüketime bakılarak değerlendirmeler yapılmıştır.



Şekil 5.7: Temmuz ayına ait su tüketim değerleri

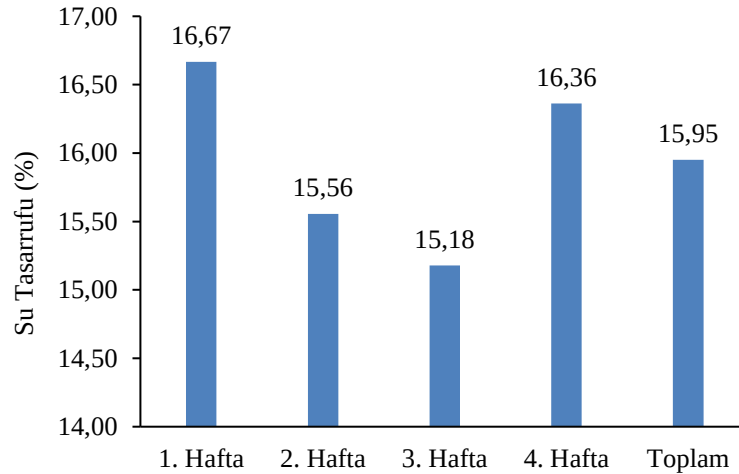
Şekil 5.7’ de görüldüğü normal sulama ile otomatik sulama arasında su tüketiminde farklılıklar meydana gelmiştir. Otomatik sulamada doğrudan toprak nemi ölçülerek

sulama gerçekleştirildiği için tahminlere göre otomatik sulamada daha az su tüketimi gerçekleşmiştir. Ortalama 1000-2000L arası su tüketiminde farklılıklar görülmektedir. Toplamda temmuz ayı sonunda ise 7250L'lik su tüketim farkı oluşmuştur. Bu tüketim miktarlarına göre normal sulamaya göre otomatik sulamada gerçekleşen su tasarrufu Tablo 5.4' de gösterilmiştir.

Tablo 5.4: Temmuz ayına ait otomatik sulamada su tasarrufu

Haftalar	Su Tasarrufu (%)
1. Hafta	16,67
2. Hafta	15,56
3. Hafta	15,18
4. Hafta	16,36
Aylık Ortalama	15,95

Tablo 5.4' de değerlere bakıldığında ortalamada otomatik damla sulama sisteminde %15.95' lik bir su tasarrufu sağlanmaktadır. Literatür çalışmalarında gösterilen değerlere yakın bir değer bulunmuştur. Su tasarrufunu gösteren grafik Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8: Temmuz ayına ait su tasarrufu

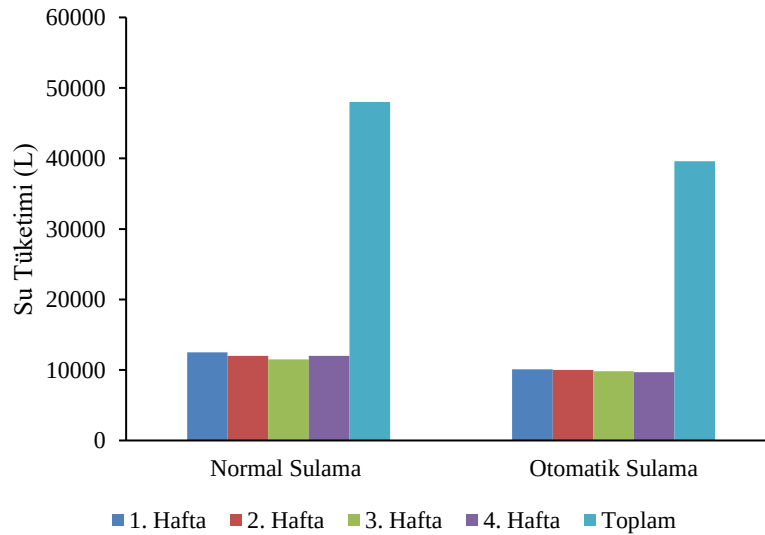
Şekil 5.8' de görüldüğü gibi haftalık olarak ortalamada % 15 ile % 17 arası su tasarrufu görülmektedir. Temmuz ayı sonunda ise toplamda % 15.95'lik su tasarrufu sağlanmıştır. Bitkinin ağustos ayında gelişme, orta ve son dönemine ait su tüketim

verileri yer almaktadır. Ağustos ayına ait su tüketim değerleri Tablo 5.5’ de gösterilmiştir.

Tablo 5.5: Ağustos ayına ait sulamada su tüketim değerleri

Haftalar	Normal Sulama (L)	Otomatik Sulama (L)
1. Hafta	12500	10100
2. Hafta	12000	10000
3. Hafta	11500	9800
4. Hafta	12000	9700
Toplam	48000	39600

Tablo 5.5’ de görüldüğü gibi temmuz ayında olduğu gibi bitkinin gelişme, orta ve son dönemlerine ait ağustos ayında normal ve otomatik sulama sistemi arasında su tüketim miktarlarında farklılık görülmüştür. Ortalamada otomatik damla sulama sisteminde 1000 ile 2000 L arasında bir fark meydana gelmektedir. Literatürde belirtildiği gibi otomatik damla sulamada daha az su tüketimi gerçekleşmiştir. Ağustos ayına ait su tüketimini gösteren grafik Şekil 5.9’ da gösterilmektedir.



Şekil 5.9: Ağustos ayına ait su tüketim değerleri

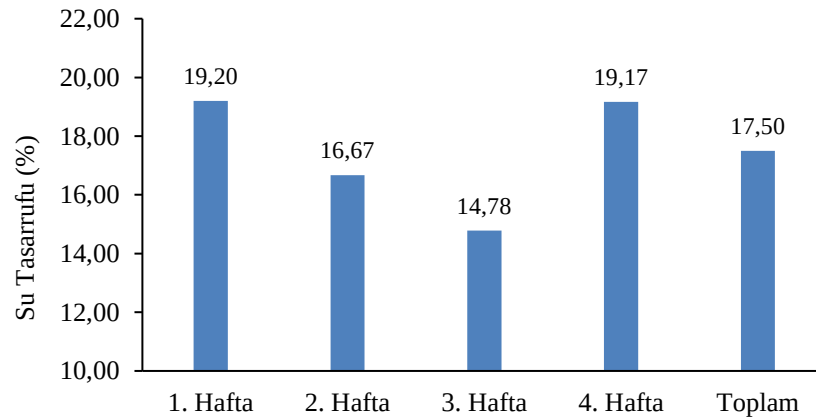
Şekil 5.9’ da görüldüğü haftalık olarak otomatik damla sulama sisteminde daha az miktarda su tüketimi gerçekleşmiştir. Normal sulamada bitki su ihtiyacı hesaplanırken çevresel koşullar ve toprak derinliğindeki su miktarları net olarak

tespit edilememektedir. Toprak nem ölçümünde ise toprak içerisinde ki nem miktarı belirlendiği ve sulama işleminin bu su miktarına göre gerçekleştiği için bitkinin gelişme, orta ve son döneminde de otomatik sulamada su tasarrufu sağlanmıştır. Normal ve otomatik sulamada ağustos ayında su tasarrufu Tablo 5.6’ da gösterilmiştir.

Tablo 5.6: Ağustos ayına ait otomatik sulamada su tasarrufu

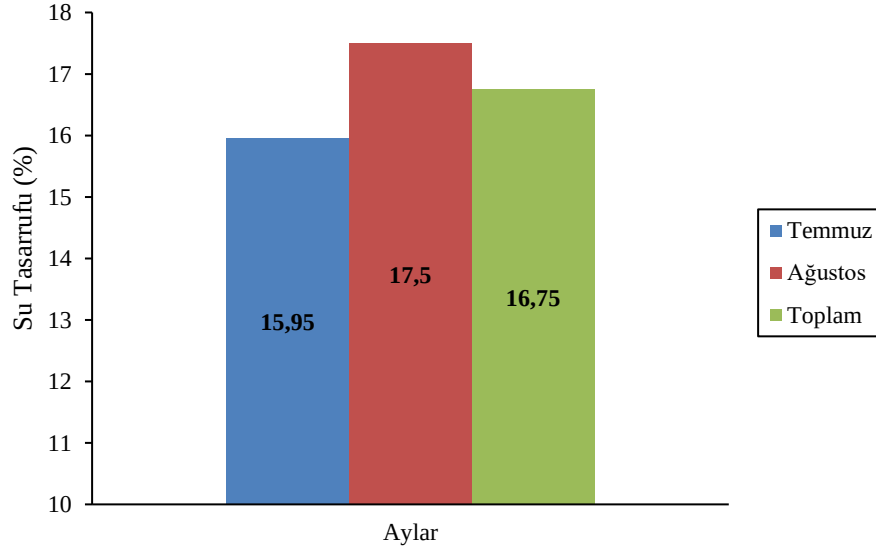
Haftalar	Su Tasarrufu (%)
1. Hafta	19,20
2. Hafta	16,67
3. Hafta	14,78
4. Hafta	19,17
Aylık Ortalama	17,50

Tablo 5.6’ da görüldüğü gibi bitkinin gelişim, orta ve son dönemlerinin olduğu ağustos ayı içinde normal sulama ile otomatik sulama arasında ortalamada % 17’ lik bir tasarruf sağlanmıştır. Ağustos ayına ait su tasarrufunu gösteren grafik Şekil 5.10’ da gösterilmiştir.



Şekil 5.10: Ağustos ayına ait su tasarrufu

Şekil 5.10’ da gösterildiği gibi ağustos ayında otomatik damlama sulamada haftalık olarak su tasarrufu sağlanmıştır. Toplamda ağustos ayı sonunda ise % 17.5’lik bir normal sulamaya göre su tasarrufu gözlemlenmiştir. Bitkiler için ortalama yetiştirme süresi iki aydır. Temmuz ve ağustos ayları için su tasarrufu değerleri Şekil 5.11’ de gösterilmiştir.



Şekil 5.11: Aylara göre su tasarrufu

Şekil 5.11’ de görüldüğü gibi toplam otomatik sulamada ortalamada % 16.75’lik normal (otomasyonsuz) sulamaya göre tasarruf sağlanmıştır.

5.4 Bitki Verimlerinin Karşılaştırılması

Domates ve biber bitkilerinin ortalama ağırlıkları normal (otomasyonsuz) ve otomatik damla sulama sistemi için belirlenmiştir. Ağırlıklarına göre otomatik ve normal sulama arasındaki verimlilik değerlendirilmiştir. Değerlendirme yapılırken 2 hasat dönemi ele alınmıştır. Bitki fideleri yetiştikten sonra iki kez toplanmış ve toplam ağırlığın toplam adet sayısına oranından ortalama ağırlıkları tespit edilmiştir. Tablo 5.7’ de 1. hasat dönemine göre domates ve biberin ortalama ağırlıkları verilmiştir.

Tablo 5.7: 1. Hasat dönemi ortalama bitki ağırlıkları

Bitki Türü	Normal (Otomasyonsuz) Sulama	Otomatik Sulama
	Ortalama Ağırlık (kg)	Ortalama Ağırlık (kg)
Domates	0,189	0,230
Biber	0,086	0,112

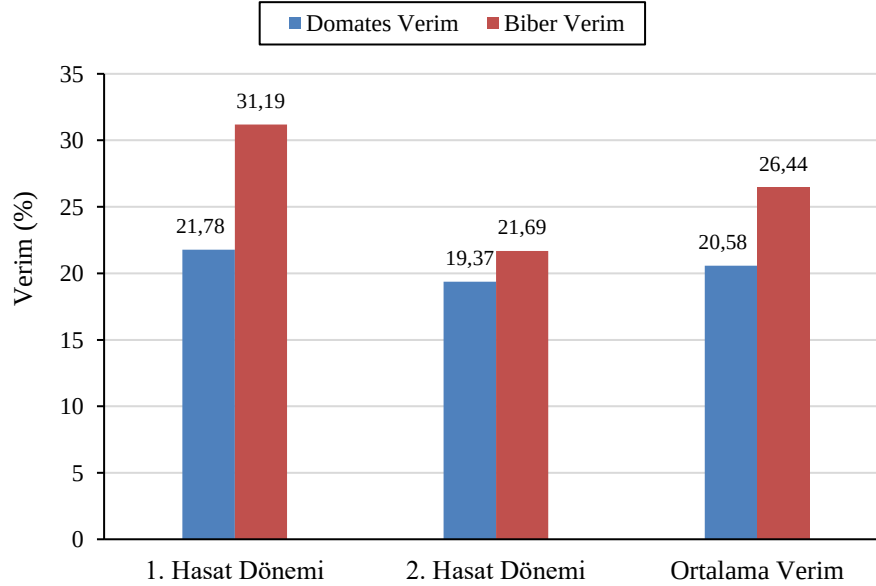
Tablo 5.7’ de görüldüğü gibi 1. Hasat döneminde domates bitkisi için ortalama ağırlıkta 41.19 g fark oluşmuştur. Biber bitkisi için ise 26.67 g fark meydana gelmiştir. Bu durum otomatik sulama sisteminde 1. hasat döneminde

ortalama ağırlıkların daha fazla olduğunu göstermiştir. Domates ve biber bitkileri için 2. Hasat döneminde elde edilen ortalama ağırlık miktarı Tablo 5.8’ de gösterilmiştir.

Tablo 5.8: 2. Hasat dönemi ortalama bitki ağırlıkları

Bitki Türü	Normal (Otomasyonsuz) Sulama	Otomatik Sulama
	Ortalama Ağırlık (kg)	Ortalama Ağırlık (kg)
Domates	0,191	0,228
Biber	0,096	0,117

Tablo 5.8’ de görüldüğü gibi 2. Hasat döneminde domates bitkisi için ortalama ağırlıkta 36.97 g fark oluşmuştur. Biber bitkisi için ise 20.81 g fark meydana gelmiştir. Bu durum otomatik sulama sisteminde 2. hasat döneminde ortalama ağırlıkların daha fazla olduğunu göstermiştir. Ortalama ağırlıklara göre hasat dönemlerine bağlı olarak normal ve otomatik sulama için verimler karşılaştırılmıştır. Şekil 5.12’ de 2 hasat dönemi ve ortalama elde edilen verim değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.12: Ürün verimlerinin karşılaştırılması

1. Hasat döneminde domates bitkisi için % 21.78’ lik bir verim farkı, biber bitkisi için % 31.19’ luk bir verim farkı meydana gelmiştir. 2. Hasat dönemi değerlendirildiğinde ise domates bitkisinde % 19,37 biber bitkisi için % 21.69’luk bir fark gözlemlenmiştir.

1. Hasat dönemi ve 2. Hasat dönemi sonunda ürünlerin ortalama ağırlıklarına göre verimleri değerlendirildiğinde, otomasyonlu sulama ile normal (otomasyonsuz) sulama arasında domates bitkisinde % 20.57 biber bitkisinde ise % 26.44'lük bir fark meydana gelmiştir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında güneş enerjisi ile çalışan otomatik bitki sulama sistemi tasarlanmıştır. Tasarımın otomasyonsuz sulama ile karşılaştırılması için mevcut bir tarım arazisinde saha çalışmaları yapılmış ve belirli parametreler karşılaştırılmıştır.

Sulama sistemi tasarımında otomatik ve normal sulama sisteminde verimlilik yüksek ayrıca kontrolü kolay olduğu için damla sulama sistemi seçilmiştir. Literatürdeki çalışmalardan faydalanılarak damla sulama sisteminin tasarım parametreleri değerlendirilmiş ve bu parametrelere bağlı olarak tasarım arazi alanına uygulanmıştır.

Tasarlanan sisteme domates ve biber bitkileri fide olarak dikilmiş ve ilk sulama yapıldıktan sonra tasarım parametrelerine göre normal sulama işlemi yapılmıştır. Otomatik sulama sistemi ise toprak nem değerine göre sulama işlemini gerçekleştirmiştir. Temmuz ve Ağustos ayları için su tüketim değerleri karşılaştırılmıştır. Hasat dönemlerine göre ise bitkilerin ortalama ağırlıkları tayin edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre:

Toprak nem sensörü için iki farklı kalibrasyon deneyi yapılmış ve kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur. Elde edilen kalibrasyon değerlerine bağlı olarak doğrusal regresyon analizi sonucu göre ortalama R^2 değeri 0.9883 olarak tespit edilmiştir. Toprak nem sensöründe R^2 değeri literatür çalışmalarına yakın elde edilmiştir. Bu değere göre literatürde belirtildiği gibi kalibrasyon sırasında çevresel faktörlerin küçük hataları meydana getirdiği tahmin edilmektedir.

Tasarlanan sistemde su verimliliklerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Belirli aralıklarla su tankından ölçümler alınmış bu ölçümler kaydedildikten sonra su tüketim değerleri tespit edilmiştir. Temmuz ve ağustos ayı sonunda ortalama su tüketiminde bitki gelişim süreci boyunca toplamda % 16.75'lik su tasarrufu gözlemlenmiştir. Bu durum ihmal edilemeyecek seviyede önemli görülmüştür.

Bitkilerin ortalama ağırlıkları tespit edilirken 2 hasat dönemi göz önüne alınmıştır. 2 hasat dönemi sonunda ortalama ağırlık cinsinden domates bitkisi için % 20.57'lik biber bitkisi için ise % 26.44'lük bir verim artışı tespit edilmiştir. Bu duruma bağlı olarak otomatik sulama sisteminde bitki verimliliğinin arttığı gözlemlenmiştir.

Sahada yapılan gözlemler sonucunda ise otomatik sulamada arazide bulunmadan sulama yapılabilirdiği ve veriler kaydedilip çiftçi istediği zaman gözlemleyebildiği için iş gücü azalmıştır. Yine otomatik sulamada, normal sulamaya göre sahada yapılan gözlemler sonucunda bitkilerin daha çok geliştiği ve hastalıklı bitki sayısının daha az olduğu tespit edilmiştir.

Tarımsal sulamada toprak nem sensörlerinin tarımsal arazide büyük bir alanda kullanımı ve toprak nem sensörleri kullanılarak tasarlanmış otomasyonlu sulama sistemlerinin tarımsal sulamada kullanılabilirliğini anlamak adına yapılmış ilk çalışma olma özelliğine sahip olmuştur. Tasarlanan sistem ve yapılan deneysel çalışmalara göre bu sistemler uygun arazi, doğru tasarım ve toprak nem sensörlerinin gelişimi ile birlikte uygulanabilir olacağı görülmektedir. Bu tasarım sayesinde üreticiler sulama işlemi için zamandan kazanacak aynı zamanda kontrollü ve toprak içerisinde yer alan nem miktarına göre sulama yapıldığı için bitkilerin daha verimli yetişmesine ve bununla birlikte günümüzde su kaynaklarının tükenmesi sorununa tarımsal anlamda katkı sağlayacaktır. Sistem ihtiyaç duyduğu enerjiyi güneş panelleriyle karşıladığı için hem çevre dostu bir sistem olarak karşımıza çıkmakta ve elektriğin olmadığı arazilerde de kullanım imkanı sunmaktadır.

Sistem üzerine farklı modüller eklenerek sulama işlemi uzaktan takip edilebilir hale getirilebilir ve tarımsal arazide toprak nem sensörlerinin sayısı artırılarak aynı zamanda sistem bileşenleri üzerinde yağmur, sıcaklık, basınç sensörleri eklenerek elde edilen veriler arttırılabilir. Buna bağlı olarak sulamada ve bitki verimliliğinde artış olması sağlanabilir.

7. KAYNAKÇA

Abba, S., Wadumi Namkusong, J., Lee, J. A., Liz Crespo, M., "Design and Performance Evaluation of a Low-Cost Autonomous Sensor Interface for a Smart IoT-Based Irrigation Monitoring and Control System", *Sensors*, 19 (17), 3643, (2019).

Al-Ali, A. R., Nabulsi, A. A., Mukhopadhyay, S., Awal, M. S., Fernandes, S., Ailabouni, K., "IoT-solar energy powered smart farm irrigation system", *Journal of Electronic Science and Technology*, 17 (4), 1-14, (2019).

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., "Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56" *FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome, (1998).

Allen, R.G., Pruitt, W. O., Wright, J. L., Howell, T. A., Ventura, F., Snyder, R., Itenfisu, D., Steduto, P., Berengena, J., Baselga, J., Smith, M., Pereira, L. S., Raes, D., Perrier, A., Alves, I., Walter, I., Elliott, R., "A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ET_o by the FAO56 Penman-Monteith method", *Agricultural Water Management*, 81, 1-22, (2006).

Altunbaş Y., "Bitki su ihtiyacına göre uzaktan kontrollü bahçe sulama sistemi", Yüksek Lisans Tezi, *Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzincan, (2018).

Anonim, Solar Pumping The Basics, International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank World Bank Publications, [online]", <http://documents1.worldbank.org/curated/en/880931517231654485/pdf/123018-WP-P159391-PUBLIC.pdf>, (2018).

Aras, İ., "Damla Sulama Yöntemi", *Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü*, Ankara, 49-60, (2006).

Atay, Ü., Işıker, Y., Yeşilata, B., "Güneş Enerjili Damla Sulama Sistemi Arazi Performansının Deneysel Değerlendirilmesi", *Mühendis ve Makine Dergisi*, 53 (634), 15-20, (2011).

Atmaca, M., Yusufoglu, G., Kurtuluş, A.B., "Güneş Enerjili Sulamanın Tarım Sektöründe Uygulaması", *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 3 (2), 142-153, (2014).

Barkunan, S. R., Bhanumathi, V., Sethuram, J., “Smart sensor for automatic drip irrigation system for paddy cultivation”, *Computers and Electrical Engineering*, 73, 180-193, (2019).

Çakır, A., Çalış, H., “Uzaktan Kontrollü Otomatik Sulama Sistemi Tasarımı ve Uygulaması”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 258-261, (2007).

Çetin, Ö.. Tarımsal Sulama Yöntemleri, Ankara, (2012).

Domínguez-Niño, J. M., Oliver-Manera, J., Girona, J., Casadesús, J., “Differential irrigation scheduling by an automated algorithm of water balance tuned by capacitance-type soil moisture sensors”, *Agricultural Water Management*, 228, 59-66, (2020).

Ersin, Ç., “Arduino mikrodnetleyici ve güneş enerjisi ile çalışan otomatik bitki sulama sistemi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, (2015).

García, A. M., García, I. F., Poyato, E. C., Barrios, P. M., Díaz, J. A. R., “Coupling irrigation scheduling with solar energy production in a smart irrigation management system”, *Cleaner Production*, 175, 670-682, (2018).

Gençoğlu, E., “Güneş Pili ile Çalışan Bir Su Pompalama Sisteminin Tasarımı Ve Gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ, (2015).

Güngör, Y., Erözel, A. Z., Yıldırım, O., *Sulama*, Ankara: Ankara Üniversitesi, (2004).

Hamidat, A., Benyoucef, B., Hartani, T., “Small-scale irrigation with photovoltaic water pumping system in Sahara regions”, *Renewable Energy*, 28, 1081-1096, (2003).

Kanber, R., Çullu, M.A., Kendirli, B., Antepli, S., Yılmaz, N., “Sulama, Drenaj ve Tuzluluk” *Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi Bildirileri*, Ankara, 213-251, (2005).

Kang, S., van Iersel, M. W., Kim, J., “Plant root growth affects FDR soil moisture sensor calibration”, *Scientia Horticulturae*, 252, 208-211, (2019).

Karaca, C., Tekelioğlu, B., Büyüктаş, D., “Sürdürülebilir Tarımsal Üretim için Toprak Nem Sensörlerinin Etkin Kullanımı”, *Acedemia Journal of Engineering and Applied Science*, 2 (3), 33-41, (2017).

Karadavut, A., “Yarı Kesik ve Tam Hücreli Fotovoltaik Modüllerin Matematiksel Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2019).

Kelley, L.C., Gilbertson, E., Sheikh, A., Eppinger, S.D., Dubowsky, S., “On the feasibility of solar-powered irrigation”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 2669-2682, (2010).

Kılıç, F. Ç., “Güneş Enerjisi, Türkiye’deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri”, *Mühendis ve Makine*, 56 (671), 28-40, (2015).

Kızıl, Ü., Aksu, S., Çamoğlu, G., “Kontrollü Ortamda Bitkisel Yetiştiricilik için Arduino Uyumlu Bir Toprak Nemi İzleme Sistemi Tasarımı” *ÇOMÜ Zir. Fak. Derg.*, 6 (2), 131-139, (2018).

Koç, E., Şenel, M. C., “Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme”, *Mühendis ve Makine*, 54 (639), 32-44, (2013).

Kumar, B. D., Srivastava, P., Agrawal, R., Tiwari, V., “Microcontroller based automatic plant irrigation system”, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4 (5), 1436-1439, (2017).

Kumar, M., Reddy, K.S., Adake, R.V., Rao, C.V.K.N., “Solar powered micro-irrigation system for small holders of dryland agriculture in India”, *Agricultural Water Management*, 158, 112-119, (2015).

Küçüksayan, C., “Peyzaj Uygulamalarında Otomatik Sulamanın Önemi ve Ankara Kent Örneğinde Uygulanmasının İrdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Bartın, (2010).

Li, G., Jin, Y., Akram, M. W., Chen, X., “Reserach and current status of the solar photovoltaic water pumping system – A review”, *Renewable and Sustainable Energy Review*, 79, 440-458, (2017).

Önal, E., Yarbay, R. Z., “Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli ve Geleceği”, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9 (18), 77-96, (2010).

Özgür, Y., “Türkiye’de Güneş Enerjisi [online]”, (28 Ağustos 2020), https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TEG-2020-12_T%C3%BCrkiye%27de%20G%C3%BCne%C5%9F%20Enerjisi_Evren%20%C3%96zg%C3%BCr.pdf, (2020).

Powell, J. W., Welsh, J. M., Pannell, D., Kingwell, R., “Can applying renewable energy for Australian sugarcane irrigation reduce energy cost and environmental impacts? A case study approach”, *Journal of Cleaner Production*, 240, (2019).

Rehman, A.U., Asif, R. M., Tariq, R., Javed, A., “Gsm Based Solar Automatic Irrigation System Using Moisture, Temperature And Humidity Sensors”, *International Conference on Engineering Technology and Technopreneurship (ICE2T)*, Pakistan, 1-4, (2017).

Romero, R., Muriel, J. L., Garcia, D., Munoz de la Pena, D., “Research on automatic irrigation control: State of the art and recent results”, *Agricultural Water Management*, 114, 59-66, (2012).

Saleh, M., Elhajj I. H., Asmar, D., Bashour, I., Kidess, S., "Experimental evaluation of low-cost resistive soil moisture sensors," *2016 IEEE International Multidisciplinary Conference on Engineering Technology (IMCET)*, Beirut, 179-184, (2016).

Sarı, E., “Pvsyst Yazılımı Kullanılarak Örnek Bir Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemi Tasarlanması Ve Konvansiyonel Sistemlerle Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Temiz Tükenmez Enerjiler Anabilim Dalı, Ankara, (2019).

Seyitoğlu, S.S., “Kayseri İlinde Güneş Enerjisi ile Sulama Sistemi Maliyet Analizi” Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri, (2012).

Shakoor, A., Khan Mehmood, Z., Ahmad, M., Wajid, A., “Design and Calibration of Semi-Automated Irrigation System Based on Soil Moisture Sensor”, *In 1st National Conference on Agricultural Engineering and Sciences*, (2016).

Sontake, V.C., Katakhar, V. R., “Solar photovoltaic water pumping system – A comprehensive review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1038-1067, (2016).

Soulis, K. X., Elmaloglou, S., Dercas, N., “Investigating the effects of soil moisture sensors positioning and accuracy on soil moisture based drip irrigation scheduling systems”, *Agricultural Water Management*, 148, 258-268, (2015).

Sudharshan N., AVS Kasturi Karthik., JS Sandeep Kiran., S. Geetha., “Renewable Energy Based Smart Irrigation System”, *Procedia Computer Science*, 165, 615–623, (2019).

Suman, S., Kumar, S., Sarkar, R., Ghosh, G., “Solar Powered Automatic Irrigation System on Sensing Moisture Content Using Arduino and GSM”, *International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering (IJARECE)*, 6, 549-555, (2017).

Susha Lekshmi S. U., Singh, D. N., Baghini, M. C., “A critical review of soil moisture measurement”, *Measurement*, 54, 92-105, (2014).

TAGEM, Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimi Rehberi, Ankara, (2016).

Taneja, K., Bhatia, S., “Automatic Irrigation System using Arduino UNO” *International Conference on Intelligent Computing and Control Systems ICICCS 2017*, Madurai-India, (2017).

Taşkaya, G., “Fotovoltaik etki ile çalışan Güneş enerjili sulama sisteminin modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, (2015).

Taşkesen, M., “Wi-Fi ve Nesnelerin İnterneti Teknolojileri Kullanılarak Güncel Hava Durumu Verileri İle Tarla Sulama Sisteminin Gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale, (2018).

Url-1: <https://www.enerjiportali.com/yenilenebilir-enerji-kaynaklari-nelerdir/>, (26 Ağustos 2020).

Url-2: http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx, (26 Ağustos 2020).

Url-3: <http://www.konyagunesenerji.com/bilgi-gunes-pili-nedir.asp>, (27 Ağustos 2020).

Url-4: <https://www.myenerjisolar.com/dunyadaki-ve-turkiye-gunes-enerjisinin-gelisimi-fotovoltaik-fv-sistemler/>,

Url-5: <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/> (28 Ağustos 2020).

Url-6: <http://gardenbotanik.blogspot.com/2014/11/sulama-teknigi-ve-drenaj.html>, (29 Ağustos 2020).

Url-7: <https://www.hidropolitikakademi.org/tr/article/6077/sulamanin-tarihcesi-ve-uygarlik>, (29 Ağustos 2020).

Url-8: https://www.ankara.bel.tr/files/2614/3893/6441/12-sulama_20_SAYFA.pdf, (30 Ağustos 2020).

Url-9: http://www.tarimkutuphanesi.com/tarimsal_sulama_00023.html

Url-10: <https://docplayer.biz.tr/34276368-Fotovoltaik-hucrelerin-yapisi-ve-calisma-prensipleri-dogrudan-elektrik-uretimi.html>

Url-11: <https://vcantugakkas.wordpress.com/2017/11/23/fv-gunes-enerji-santrallerinde-invertorler/>

Url-12: <https://www.enerjiportali.com/invertor-inverternedir-nerelerde-kullanilir/>

Url-13: <https://www.tesisat.org/selenoid-vana-calisma-prensibi-cesitleri.html>

Url-14: <https://www.electronicshub.org/wp-content/uploads/2018/12/Interfacing-Soil-Moisture-Sensor-with-Arduino-Circuit-Diagram.jpg>, (3 Eylül 2020).

Uytun, A., Pekey, B., Kalemci, M., “Toprak nemi ölçümleri”, *VII Ulusal Ölçübilim kongresi*, Gebze-KOCAELİ, (2013).

Uzun, S., “Kayseri Koşullarında Damla Sulama Sistemi ile Sulanan Bezelyede Su Verim İlişkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri, (2017).

Ünlükara, A., “Sulama Mühendisliği”, *Erciyes Üniversitesi*, Biyosistem Mühendisliği, Kayseri, (2019).

Wazed, S. M., Hughes, B.R., O’Connor, D., Calautit, J.K., “A review of sustainable solar irrigation systems for Sub-Saharan Africa”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1206-1225, (2018).

Yıldırım, O., *Sulama Sistemlerinin Tasarımı*, Ankara: Ankara Üniversitesi, (2008).

Yılmaz, A., “Fotovoltaik Sistem ve Damla Sulama Yöntemiyle Sulanan Fındıkta Sulama Uygulamalarının Verim ve Verim Bileşenlerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı, Ordu, (2019).

Yılmaz, M., “Türkiye’nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi”, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 33-54 (2012).

Yılmaz, Ş., Özçalık, H.R., Öter, A., Aydoğan, O., “Güneş Enerjili Tarımsal Sulama Sisteminin Ekonomik Analizi”, *XI. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi*, Samsun, (2014).

Zilen, X., Changjun, S., Hua, Y., & Shirui, Z., “Research and Design of Soil Water Content Sensor Based on High-frequency Capacitive”, *Sensors & Transducers*, 26, 56, (2014).

Zotarelli, L., Dukes, M. D., Romero, C. C., Migliaccio, K. W., Morgan, K. T., “Step by Step Calculation of the Penman-Monteith Evapotranspiration (FAO-56 Method)”, *UF/IFAS University of Florida*, Agricultural and Biological Engineering Department, (2009).

