



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Hassas tarım uygulamaları için yeni nesil damla sulama sistemi tasarımı ve gerçekleştirilmesi

Design and implementation of a new generation drip irrigation system for use in precision agriculture application

Yazar(lar) (Author(s)): Mustafa BURUNKAYA

ORCID: 0000-0002-3971-0590

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(Tocitetothisarticle): Burunkaya M., “Hassas tarım uygulamaları için yeni nesil damla sulama sistemi tasarımı ve gerçekleştirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 785-792, (2019).

Erişim linki(To link to this article):<http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.450792

Hassas Tarım Uygulamaları için Yeni Nesil Damla Sulama Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Mustafa BURUNKAYA*

Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received :03.08.2018; Kabul/Accepted : 17.09.2018)

ÖZ

Bu çalışmada, hassas tarım uygulamaları için, akıllı algılayıcılar ile beraber kullanılmaya hazırlık olmak üzere, sınırlı toprak ve su kaynaklarının daha verimli kullanılması amaçlanan yeni nesil bir damla sulama sistemi gerçekleştirilmiştir. Sistem bir hassas tarım uygulaması ürün yetiştiriciliğinde kullanılarak test edilmiştir. Sistemde kontrol işlemleri için bir mikrodenetleyici kullanılmıştır. Bu şekilde düşük maliyetli ve yazılım yolu ile kontrol edilebilen esnek bir kontrol sistemi elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hassas tarım, nem algılayıcı, mikrodenetleyici, damla sulama.

Design And Implementation of a New Generation Drip Irrigation System For Use In Precision Agriculture Application

ABSTRACT

In this study, a new generation drip irrigation system, which is a preliminary study for designing a system compatible with smart sensors, which aims to use limited agriculture land and water resources more efficiently, has been implemented for use in precision agriculture application. The system efficiency has been tested by using in a precision agriculture application. A microcontroller was used for the control operations in the system. In this way, a flexible control system has been achieved which is low cost and can be controlled via software.

Keywords: Precision agriculture, humidity sensor, microcontroller, drip irrigation.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hızlı şehirleşme, nüfus artışı, sanayileşme, kirlilik vb. nedenlerle su kaynakları giderek azalmaktadır [1-4]. Bunların sonucu olarak küresel ısınmanın artmasıyla birlikte ise zaten sınırlı olan su, toprak vb. kaynaklar [5, 6] daha da azalmış ve yaşamsal faaliyetler için suya olan ihtiyaç daha kritik bir hal almaya başlamıştır [1,7-10]. Bu sebeple diğer bütün alanlarda olduğu gibi, tarımsal uygulamalarda da suyun etkin kullanımı için çeşitli çalışmalar yapılmış, birtakım sistem, yöntem ve teknikler geliştirilmiştir. Bunların uygulanması ile bazı durumlarda jeolojik, iklimsel, vejetasyon ve topografik yönlerden bazı avantajlar sağlanmış olsa da su israfı artabilmektedir [4, 11]. Bu konuda, literatürde su kaynaklarının azalması durumuna karşı örneğin “sınırlı sulama yönetimi” gibi yöntemlere başvurulduğu görülmektedir [12]. Bitkilerin gelişimi üzerinde su doğrudan etkili olmasına karşılık, kurak ve yarı kurak iklimte sahip olan bölgelerde ise yağışlar genellikle bitkilerin vejetasyon döneminin dışında gerçekleşmektedir. Diğer bir deyişle, suya ihtiyaç duyulan dönemlerde su kaynakları azalır iken, duyulan ihtiyaç ise artmaktadır. Bu nedenlerle gerek israf, gerekse kuraklık vb. hangi sebeplerle olursa olsun su

kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılması ve sulamanın daha ekonomik hale getirilmesi gerekmektedir [1,7, 10, 11,13-16].

Günümüzde tarımsal uygulamalarda mekanizasyon gelişmekte, sulama işlemlerinde yeni yöntem ve teknikler araştırılmakta, geleneksel ve manuel sulama yöntemleri yerine otomatik sistemler üzerinde çalışılmaktadır. Eski yöntemlerde iş gücü gereksinimi, maliyet, su kaynaklarının verimsiz kullanımı, eksik sulama, rekolte, verim, kalite düşüklüğü vb. çok farklı nedenlerle, onların yerine otomatik sulama yöntemleri tercih edilmektedir [3, 5-8, 10, 15-17]. Yapılan çalışmalar ve yeni teknolojiler ile bir yandan kaynakları etkin kullanabilmek için gereksiz sulamanın önlenmesine çalışılırken [5], öte yandan da israflar azaltılmaya çalışılmaktadır [4]. Ayrıca kuraklık uygulanmayan sulama destekli parsellerden yüksek verim alındığı değerlendirilmektedir [18].

Özellikle bütün arazi yüzeyi yerine, sadece gerekli ve gerektiğinde sulamanın yapıldığı yöntemlerinin kullanımı su tüketiminin azalmasını sağlamaktadır [5]. Bunların arasında ise damla sulama yöntemi, hem sebze ve meyvecilikte ve hem de tarla bitkilerinin üretiminde olumlu sonuçlar vermekte ve böylece sınırlı tarım arazilerinin ve su kaynaklarının daha etkin ve verimli kullanılması sağlanmaktadır [2, 3, 8, 15, 16]. Bu işlemler

*Sorumlu yazar (Corresponding Author)
e-posta : bmustafa@gazi.edu.tr

sırasında gerektiğinde toprağın nemini ölçmek için algılayıcılar kullanılmaktadır [5, 10, 13, 19, 20]. Sistemin etkinliğini daha da artırabilmek için yarıiletken temelli olanlardan fiber optik tabanlı olanlara kadar çok farklı prensiplerle çalışan algılayıcılar ile toprağın veya havanın sıcaklığının ölçülmesi, hava durumu verilerinin alınması, ortamın bağıl neminin ölçülmesi, toprak türünün belirlenmesi vb. fiziksel büyüklüklerin doğrudan veya dolaylı etkilerinin göz önüne alınarak sulama işlemlerinin düzenlenmesi sağlanabilir [3-5, 8, 13, 21-24]. Böylece el ile kontrol edilen sulama uygulamalarına göre daha kontrollü sulama işlemleri gerçekleştirilebilir [15]. Bu yöntem ile, gerektiğinde sulama sırasında bitki besin maddelerinin verilmesi, ilaçlama ve zararlılarla mücadele edilebilmesi de mümkün olabilmektedir [14, 25].

Bu çalışmada hassas tarım uygulamalarında kullanılmak üzere mikrodenetleyici kontrollü bir damla sulama sistemi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Bitki su tüketimi değerleri, iklim verilerine dayalı tahmini eşitlikleri kullanılması yerine, doğrudan ölçüm yapılarak kontrol işlemleri gerçekleştirilmiştir [19]. Bu çalışmanın 2. bölümünde sulama ve önemi, sulama sistemleri ve damla sulama yöntemi genel olarak incelenmiştir. 3. Bölümde gerçekleştirilen sistem, tasarım ve sistem üzerinde bazı ölçümlere yer verilmiştir. 4. Bölümde bu sistem kullanılarak yapılan bir deneysel hassas tarım uygulaması ve ürün yetiştiriciliğine ait çalışma açıklanmıştır. 5. Bölüm ise sonuç ve önerilerden oluşmaktadır.

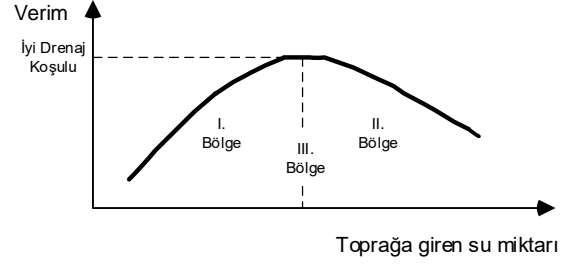
2. SULAMA ve ÖNEMİ (IRRIGATION AND ITS IMPORTANCE)

Bitkilerin normal gelişimleri için ihtiyaç duyulan suyun yağışlarla karşılanamaması durumunda, eksik kalan miktar toprağa bitki kök bölgesine verilerek tamamlanır [10, 11, 16]. Sulamanın temel elemanları toprak, su ve bitkidir. Toprak yolu ile verilen su, bitki açısından birçok kimyasal, fiziksel ve biyolojik aktiviteler için esastır. Fakat en önemlisi, besin maddelerinin çözülerek bitki organlarına taşınması sağlandığından, bitki yapısının oluşumu için gerekli olan en önemli yapı ögesi olarak görülebilir [3, 10, 19].

Bitkilerin normal gelişimlerini sürdürebilmeleri için, çok yıllık bitkilerin kış dinlenme periyodu dışında, kökleri aracılığı ile topraktan devamlı su almaları gerekir. Bu ihtiyaç vejetasyon dönemlerinde ise ayrıca artar. Bu sebeple büyüme mevsimi boyunca bitki kök bölgesinde yeterli nemin bulunması gelişimleri açısından son derece önemlidir [1, 7, 10, 11, 13-16]. Sulama ile bitkinin ihtiyaç duyduğu su kök bölgesinde depolandığından, devamlı ve kararlı bir bitki gelişimi sağlanabilir. Bu sırada topraktaki fazla tuzun yıkanması, toprak ve bitki civarındaki havanın serinletilmesi de sağlanmış olur.

Buna karşılık gereğinden az ya da fazla toprak nemi, sulama aralığı, sulamanın zamansız yapılması [2, 16] ise genellikle verim azalmasına neden olur. Bu durum Şekil

2.1' de verilen tipik bir su ve verim ilişkisi grafiği ile açıklanabilir.

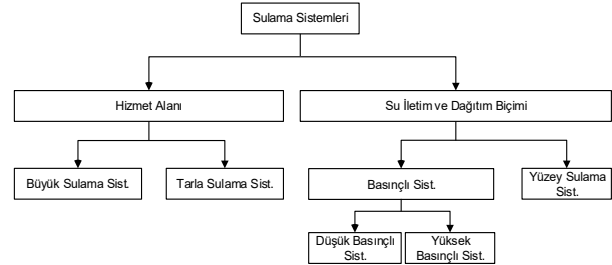


Şekil 2.1. Bitkilerde su ve verim arasındaki ilişki (Relationship between irrigation and yield in plants)

Şekilden 2.1' de görüldüğü gibi, diğer tarımsal şartların sağlanması şartı ile, topraktaki su-hava dengesi sağlanmakta, büyüme mevsimi boyunca bitki kök bölgesinde depolanan nem arttıkça verimde artış meydana gelmekte ve verim belirli bir toprak nemi seviyesinde en yüksek değere ulaşmaktadır. Bundan sonra, iyi drenaj koşullarında toprağa giren su miktarı artsa bile verim sabit kalmaktadır [10, 12, 19, 26, 27].

2.1. Sulama Sistemleri ve Yöntemleri (Irrigation Systems and its Methods)

Sulama sistemleri temel olarak hizmet alanına göre ve su iletim ve dağıtımına göre ikiye ayrılabilir. İkinci grup ise kendi içinde yüzey ve basınçlı sulama sistemleri olarak sınıflandırılabilir. Basınçlı sistemler de düşük ve yüksek basınçlı sistemler olarak ayrılabilir. Şekil 2.2' de sulama sistemlerinin bu temel çeşitleri verilmiştir.



Şekil 2.2. Sulama sistemlerinin çeşitleri (Types of irrigation systems)

Sulama sistemlerinin çeşitli yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar temel olarak salma sulama, yağmurlama sulama, sızdırma sulama, damla sulama vb. yöntemi olarak verilebilir. En uygun sulama yöntemi doğal şartlar, iklim, su kaynaklarının durumu vb. göz önüne alınarak seçilebilir [4, 10, 11, 13, 14, 19].

2.2. Damla Sulama Yöntemi (Drip Irrigation Method)

Damla sulama bitkide nem eksikliğinden kaynaklanan bir gerilim oluşturmadan, filtre edilmiş az miktarda su ve gerekirse bitki besin maddelerinin, sık aralıklarla doğrudan bitki kök bölgesine veya ortamına damlalar halinde gerektiğinde her gün, birden fazla verilmesi işlemi olarak tanımlanabilir [5, 10, 11, 16, 19]. Bitki kök bölgesindeki küçük nem eksikliklerinin anında

giderilmesi ve nemin yüksek düzeyde tutulması durumunda bitkilerde fark edilebilir bir gelişme olduğu gözlenmiştir. Bu, az ama çok sık ve düzenli bir sulama ile yani damla sulama yöntemi ile sağlanabilir. Geleneksel yüzey sulama veya yağmurlama sulama ile bu durum sağlanamamaktadır. Damla sulama yönteminde birinci temel düşünce sadece kök bölgesinin en uygun düzeyde sulanmasıdır. Sistem sadece suyu az olan ve eğimli arazilerde değil, yüksek eğimli, dalgalı, hafif bünyeli ya da yüzlek topraklarda da emniyetle uygulanabilir [10].

Damla sulama yönteminde su basınçlı bir boru ağıyla bitki yakınına yerleştirilen damlatıcılara kadar iletilir ve damlatıcılardan düşük basınç altında toprak yüzeyine verilir. Su buradan infiltrasyonla toprak içerisine girer, yerçekimi ve kapılar kuvvetlerin etkisi ile sadece bitki köklerinin geliştiği toprak hacmi ıslatılır. Yani, bu yöntemde genellikle arazinin tamamı ıslatılmaz. Bitki sıraları arasında ıslatılmayan kuru alanlar kalır. Böylece sulama suyundan önemli ölçüde tasarruf sağlanır. Fakat damla sulamada kök sistemi, damlatıcı çevresindeki küçük bir toprak hacminde yoğunlaşmaktadır [2, 3, 10, 11, 16, 19].

Damla sulama yöntemiyle daha az su uygulandığından topraktaki bitki besin maddelerinin yıkanarak derine sızması ve buna bağlı olarak, çevre kirliliği önenebilmektedir. Öte yandan yabancı otların çoğalması da engellenmiş olur. Damla sulamada, toprakta bulunan tuzlar ıslak şeridin çevresine doğru itilir ve bu bölgelerde birikir. Dolayısıyla tuzlu topraklarda da tarım yapılması mümkün olabilir. Bu yöntemle ayrıca ilaçlama yapabilmek de mümkündür [2, 14, 25].

Damla sulama yönteminde bitki için günlük su gereksinimi (ET_c) Doorenbos ve Pruitt'in pan-buharlaşma (ET_p) denklemi kullanılarak aşağıdaki gibi tahmin edilebilir:

$$ET_c = ET_p \cdot K_p \cdot K_c$$

Bu denklemdeki parametreler aşağıda açıklanmıştır:

ET_c : Bitki günlük su gereksinimi ($mm \cdot gün^{-1}$),

ET_p : Pan sınıfı,

A : Buharlaşma ($mm \cdot gün^{-1}$),

K_p : Pan katsayısı (Doorenbos ve Pruitt'e göre 0.8),

K_c : Bitki katsayısı.

Örneğin kiraz ağaçlarının farklı büyüme evreleri için K_c bölgeye göre rüzgar hızı ve nem dikkate alınabilir.

Damla sulamada, toprak yüzeyinin sadece bir bölümü, çoğunlukla da örtülü (canopy) alan ıslatılır. Bu nedenle, fiili sulama suyunun (I) tahmininde alan yüzdesi (A %) ve etkili yağış miktarı (Re) dikkate alınır.

$$I = (ET_c - Re) \cdot A \cdot 10$$

Bu denklemdeki parametreler aşağıda açıklanmıştır:

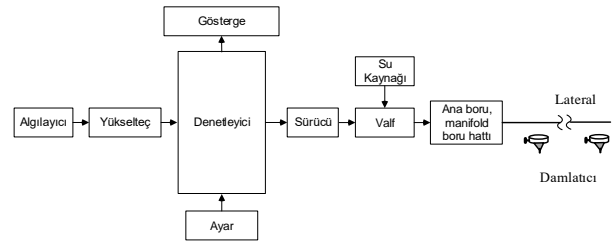
I : Fiili sulama suyu ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot day^{-1}$),

Re : Etkili yağış miktarı ($mm \cdot gün^{-1}$),

Farklı sulama seviyeleri için, (ET_c) sırasıyla 0.75 ve 0.5 ile çarpılır [15].

3. GERÇEKLEŞTİRİLEN SİSTEM (REALISED SYSTEM)

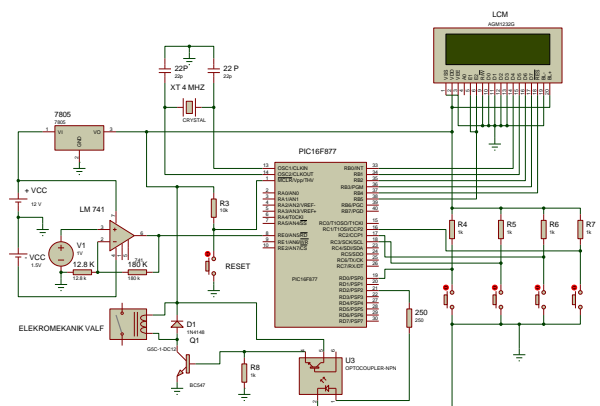
Gerçekleştirilen damla sulama sisteminde nem algılayıcı ile toprağın nem içeriği ölçülmekte ve bununla orantılı bir çıkış gerilimi üretilmektedir. Ölçülen değer bir DC yükselteç ile yükseltilerek, % 0 ve % 100 nem değerine karşılık sırası ile 0 V ve 5 V elde edilmektedir. Daha sonra denetleyicide analog/sayısal çevrime tabi tutulmakta ve elde edilen sayısal değer hem bir 2x16 karakter LCM göstergede görüntülenmekte ve hem de daha önce girilen ön ayar değeri ile karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma sonucuna göre bir sürücü ile 12V'luk bir elektromekanik valf sürülmekte ve sulama işlemi başlamakta veya tam tersi olduğunda da durmaktadır. Bu çalışmada, iklim, bitki, toprak çeşidi vb. verilere dayalı tahmini eşitliklerin kullanılarak bitki su tüketiminin saptanması ve sulama yapılması yerine, ölçüm yapılarak gerçekleştirilen doğrudan yöntem kullanılmıştır [19]. Gerçekleştirilen sistemin blok yapısı Şekil 3.1' de ve açık devresi ise Şekil 3.2' de verilmiştir.



Şekil 3.1. Damla sulama sisteminin blok şeması (Block diagram of the drip irrigation system)

3.1. Sistemin Donanımı (System Hardware)

Gerçekleştirilen sistemde kontrol işlemleri için Microchip firmasının bir ürünü olan PIC16F877 denetleyici entegre devresi kullanılmıştır. Sistemin açık devre şeması Şekil 3.2' de verilmiştir.



Şekil 3.2. Damla sulama sisteminin açık devre şeması (Circuit diagram of the drip irrigation system)

Kontrol işlemleri için kullanılan PIC16F877 denetleyici entegre devresinin temel tercih sebepleri şöyle özetlenebilir: İlave donanım gereksinimi azdır. Analog ve sayısal giriş/çıkış portlarına sahip olup, elektriksel olarak programlanabilir. Çalışma hızı DC 20 MHz'e kadar çıkabilir. 10 bitlik A/D çeviricilere sahiptir. Bu sebeplerle donanım geliştirme açısından ve kontrol işlemlerinde insan faktörü etkileri azaltılarak otomatik yapıldığı için maliyet önemli derecede düşmektedir [10, 28, 29].

3.1.1. Nem algılayıcısının karakteristiğinin çıkarılması ve tekrarlanabilirlik ölçümleri (Determination of the characteristic of the moisture sensor and its repeatability measurements)

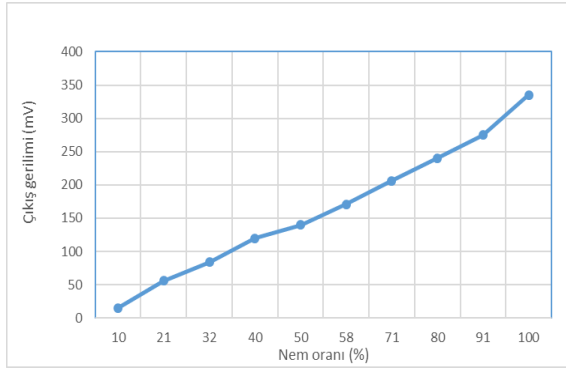
Gerçekleştirilen sistemde bitkilerin kök seviyesinde toprak nem içeriğini ölçmek için hali hazırda kullanımda

olan ama elektriksel çıkışı mevcut olmayan bir algılayıcı kullanılmıştır. Yaklaşık 90 g, 38x52x300 mm boyutlara sahip olan bu algılayıcı el ile kontrol edilen nem, ışık ve pH ölçülere sahiptir. Algılayıcının doğrudan su ile temas etmesi ve ölçme için toprakta uzun zaman tutulmaması gerekmektedir [30, 31].

Algılayıcı elektriksel çıkışa sahip olmadığı ve elektriksel olarak giriş-çıkış cevabı verilmediğinden, ölçme işlemlerinde kullanılabilmesi için öncelikle karakteristiğinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için aşağıda sunulan ölçümler ve güvenilirliğini belirlemek için tekrarlanabilirlik ölçümleri yapılmıştır. Ortam sıcaklığını ölçmek civalı cam termometre kullanılmıştır. Algılayıcının tekrarlanabilirlik ölçüm sonuçları Çizelge 3.1' de ve bu ölçüm sonuçlarına göre elde edilen çıkış karakteristiği ise Şekil.3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Nem algılayıcısının çıkış karakteristiği ölçümleri (Output characteristic measurements of the moisture sensor)

Ortam sıcaklığı	Nem oranı - %	10	21	32	40	50	58	71	80	91	100
23.1°C	Çıkış voltajı - mV	15	56	84	120	140	171	206	240	275	336
	Nem oranı - %	9	19	32	41	51	59	67	79	90	100
22.4°C	Çıkış voltajı - mV	13	54	83	121	143	172	195	238	276	330
	Nem oranı - %	11	22	30	39	49	60	72	79	91	100
23.2°C	Çıkış voltajı - mV	14	54	83	120	141	172	206	235	275	333
	Nem oranı - %	11	22	30	39	49	60	72	79	91	100

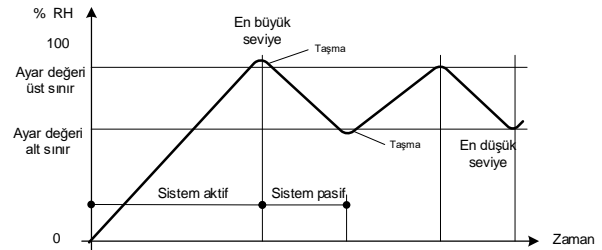


Şekil 3.3. Toprak nem algılayıcısının ölçülen giriş ve çıkış karakteristiği (Measured input-output characteristics of the soil moisture sensor)

Çizelge 3.1'de giriş-çıkış cevabına ait ölçümleri verilen algılayıcının tekrarlanabilirlik ölçüm sonuçlarına göre, girişe çıkış değer değişimlerinin ölçme hataları da göz önüne alınarak makul sayılabileceği ve ölçümlerde kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Ayrıca ölçüm sonuçlarına göre, algılayıcının aralığın tamamında olmasa da lineer bir çıkışa sahip olduğu kabul edilebilir. Bununla birlikte yüksek nem değerlerinde duyarlılık değerinin, aralığın diğer bölgelerine oranla daha fazla olması sebebi ile çıkış geriliminin daha fazla değiştiği değerlendirilmektedir.

3.2. Sistemin Yazılımı (Software of the System)

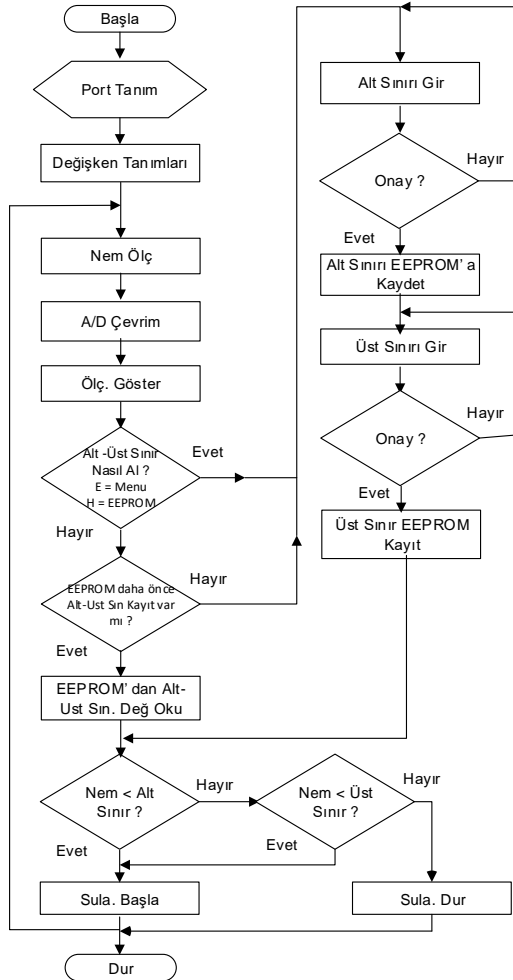
Gerçekleştirilen sistemde algılayıcı ile toprağın nem içeriği ölçülmekte ve denetleyicide ön ayar değeri ile karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma sonucuna göre sulama işlemi başlamakta veya durmaktadır. Sistemin ölçülen ve ön ayar değerlerine göre davranışı Şekil 3.4'de ve bu işlemlerin gerçekleştirilebilmesi için kullanılan yazılımın akış şeması ise Şekil 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Sistemin ölçülen ve ön ayar değerlerine göre davranışı (Response of system to measured and preset values)

Akış şemasına göre, başlangıç işlemlerinden sonra giriş-çıkış portları ve değişkenler tanımlanmıştır. Daha sonra ölçüm yapılmış, A/D dönüşüm işlemi gerçekleştirilmiş ve görüntülenmiştir. Daha sonra sınır değerlerinin nasıl belirleneceği sorgulanmıştır. Bu değerler kullanıcının tercihine göre ya bellekten okunmuş veya el ile girilerek belleğe kayıt edilmiş ve kontrol faaliyetleri buna göre gerçekleştirilmiştir. Eğer ölçülen değer alt sınırdan küçük

veya alt sınırdan büyük ve üst sınırdan küçük ise sulama başlatılmış ve durum ekranda görüntülenmiştir. Eğer ölçülen değer alt sınırdan ve üst sınırdan büyük ise sulama durdurulmuş ve durum yine ekranda görüntülenmiştir.



Şekil 3.5. Gerçekleştirilen sistemin akış şeması (Flow chart of the system)

4. SAHA UYGULAMASI (EXPERIMENTS)

Tasarlanan sistem bir hassas tarım uygulaması ve ürün yetiştiriciliği uygulamasında kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu bölümde gerçekleştirilen bu çalışmalar açıklanmaktadır.

4.1. Çimlenme ve Fidan Aşaması (Stage of Germination and Plant)

Tasarlanan sistem biber bitkisi yetiştiriciliğinde kullanılmıştır. Öncelikle bitkilerin çimlendirilmesi gerekmektedir. Bu aşama saksı ortamında gerçekleştirilmiştir [25]. Bu amaçla tamamen kuru olan, toplam 688 g humuslu toprak, 1-6 arasındaki numaralar ile numaralanmış olan 6 adet şeffaf plastik saksılara, iyice karıştırılarak homojen biçimde, her birine 117 g olmak üzere eşit miktarda paylaştırılmıştır.

Başlangıç aşamasında bulunulduğundan, çimlenmenin başarısızlık ihtimali göz önüne alınarak, birisi yedek olmak üzere, her bir saksıya ikişer adet aynı anaçtan alınan tohum dikilmiştir. Bu işlem için önce her birinden 36 g toprak ayrılmış ve tohumlar saksılara konulduktan sonra üzerlerine ayrılan bu toprak eklenerek, üstleri kapatılmıştır. Daha sonra her bir saksıya 100 ml su eklenmiş ve alt drenaj deliklerinden su sızdığı gözlenerek, toprağın suya doyduğu değerlendirilmiştir. Böylece kuru olan tohumların daha fazla su alarak daha hızlı çimlenmesi hedeflenmiştir. Bu sırada, ortam şartları ölçüm günü ve saatlerine göre değişmek kaydı ile sıcaklığın tüm çimlenme periyodu boyunca 22 -31.4 °C arasında, bağıl nem değerinin ise 26.4 - 40.4 RH arasında değiştiği gözlenmiştir. Bu ölçümler için civalı cam termometre, RH ölçer (HT3004) ve referans ölçü aleti olarak ise RH ölçerin dijital termometresi kullanılmıştır.

Yukarıda açıklanan toprak miktarlarında toplamda meydana gelen farkların, kayıplar ve ağırlık ölçü aletinin toleransından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Bitkilerin hepsinin aynı anaçtan alınmasının nedeni, gelişmelerini etkileyebilecek olan etkenleri azaltmak içindir. Fakat önceki bölümlerde de değinildiği üzere, bitki gelişimini etkileyen parametreler çok fazladır. Bu işlemler haziran ayı içinde gerçekleştirilmiştir. Bitki gruplarına göre değişmekle birlikte, yaklaşık 3 gün sonra toprak yüzeyinde ilk çimlenme olayları gözlemlenmeye başlanmış, yaklaşık 5 gün sonra ilk yapraklar gelişmiş, yaklaşık 9 gün sonra ilk asıl yapraklar, yaklaşık 5 gün sonra ikinci yapraklar, yaklaşık 5 gün sonra ise üçüncü yapraklar belirmeye başlamış ve gelişmeler bu şekilde devam etmiştir. Bu sırada her birinin, değişen günlük şartlara bağlı olarak 5 ml ile 20 ml arasında su ihtiyacının olduğu görülmüştür. Bazı saksılardaki bitkilerin bazılarının yaklaşık 12cm boya ulaştığı gözlenmiştir. Şekil 4.1' de ise çimlenmiş ve seyreltme yapılmış olan bu biber fidanları görülmektedir.



Şekil 4.1. İlk aşamada yetiştirilen fidanların görünümü (Appearance of seedlings grown in the first stage)

4.2. Fidan ve Hasat Aşaması (Stage of Plant and Harvesting)

Daha önceki aşamada yetiştirilen fidanlar, rastgele, 70x30x40 cm (uzunlukxgenişlikxderinlik) ebatlarındaki strafor malzemeden yapılmış saksıya dikilmiştir. Bunun için 10 kg kaba parçalardan arındırılmış ve ezilmiş toprak kullanılmıştır. Bitkilerin dikiminden hemen sonra, toprakta bitkiler için gerekli olandan daha fazla boşluk

kalmamasını ve dolayısı ile gerekli olandan fazla hava boşluğu kalmaması için, toprak bitki köklerine zarara vermeyecek kadar sıkıştırılmıştır. İlk aşamada bütün toprağın tamamen ıslanması sağlanacak biçimde sulama yapılmıştır. Bunun gerçekleştiği, saksının alt drenaj deliklerinden suyun sızmaya başlaması gözlenerek kontrol edilmiştir [32]. Böylece toprağın sıkıştırılmasına rağmen, geriye kalan ve gereğinden fazla olabilecek toprak ve hava boşluklarının giderilmesi yani toprağın yerleşmesi amaçlanmıştır. Bu işlem için iki litre su kullanılmıştır. İlk nakildeki bitki gelişim durumları, fidan aşamasındaki son durum olup, genel olarak bu durumda bitkiler yaklaşık 3 günde 2 yaprak daha geliştirmişlerdir. Yine aynı ölçü aletleri kullanılmış, ölçüm zamanına ve günlük olarak değişen şartlara bağlı olmakla birlikte, bu ilk şartlarda ortamda sıcaklık yaklaşık 24.6 °C ve nem %30 RH olarak ölçülmüştür. Sulama işlemleri gerçekleştirilen kontrol sistemi ile yapılmış, nem seviyesi sulama işlemlerinden sonra yaklaşık % 100 seviyelerinde tutulmuştur. Gelişim periyotları boyunca ortamda sıcaklık yaklaşık 37 °C ve nem ise %56 RH üst seviye değerlerinde ölçülmüştür.

Kullanılacak su miktarı, bitki büyüklüğü, toprak tipi ve hava şartlarına göre değişebilmektedir. Kullanılacak su miktarının hesaplanmasında aşağıdaki formüllerden faydalanılabilir. Sulama uygulamalarında ağaç taç hacmi ile su tüketimi arasında doğrusal ilişki olduğundan, bitki izdüşüm çapı 1,2 m den az olduğunda $0,772 \times \text{Alan}$ ile hesaplanan (Lt/gün) miktarında su verilmesi tavsiye edilmekte ve bu şekilde damla sulama sisteminde salma sulama sistemine göre 1/7'si kadar daha az su kullanılabilirliği ifade edilmektedir [33, 34]. Bununla birlikte verilen alan değerleri yeni gelişen fidanlar ve küçük bitkiler için oldukça fazladır. Bu sebeplerle bitki gelişim evreleri ve mevsimi boyunca, beslenen su miktarı takip edilmeye çalışılmış ama bundan daha çok, sulamanın hedefi olan bitki solmadan, toprağın suyu kabul edebileceği oranda, yerçekimi ile akmayacak ve evapotranspirasyonu karşılayacak miktarda su sağlanmaya çalışılmıştır. Çünkü daha önce de açıklandığı gibi, bitki kök bölgesindeki küçük nem eksikliklerinin anında giderilmesi ve nemin yüksek düzeyde tutulması durumunda bitkilerde belirgin bir gelişme olmaktadır [10]. Yine de fazla nemin toprak gözeneklerini doldurması ve kök bölgesinin hava almasını engelleyerek gelişimini olumsuz yönde etkilemesini engellemek için suyun fazla verilmemesine ve drenajın iyi yapılmasına da dikkat edilmiştir [2, 10, 12, 16, 19, 26, 27].

Çizelge 4.1'de biber bitkisinin bahsedilen yaklaşık büyüme evreleri ve bu çalışmada gözlenen, genel duruma karşılık gelen evreler kıyaslamalı olarak verilmiştir. Çizelgenin oluşturulmasında bitkinin toprak yüzeyini örtme derecesi yaklaşık olarak alınmıştır. Buna göre bitkilerin verilen genel gelişim periyotlarına uygun bir gelişim gösterdiği gözlenmiştir. Ortalama olarak verilmiş olan değerlerdeki farklılıkların bitkilerin gelişimlerinin yöresel koşullara da bağlı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [19]. Ayrıca Şekil 4.2'de yetiştiriciliği yapılan bitkilerin genel gelişimi ve görünümünden de

görülebileceği gibi solmamış, canlı ve homojen renkli yeşil yapraklar, bol çiçeklenme ve meyvelenme gözlenerek sağlıklı bir büyümenin gerçekleştiği değerlendirilmiştir. Ayrıca sadece kök bölgesi ıslatılarak ve yaprak ve gövde ıslatılmadığından zararlı canlılar ve böceklerin gelişmesi için uygun ortamın önüne geçilmiştir. Bütün süreç ve gelişme periyodu boyunca bu tür hiçbir zarara raslanmamıştır.

Çizelge 4.1. Tek yıllık bir bitki olan biber bitkisinin ortalama büyüme evreleri (Average growth stages of a single year plant, the pepper plant)

Biber	Büyüme Evresi - gün				Büyüme Mevsimi - gün
	1. Evre	2. Evre	3. Evre	4. Evre	
Genel (gün)	30	35	40	20	125
Gözlem (gün)	25	33	35	25	118

Bu arada bir kültür bitkisi olan biber bitkisinin olgunlaşma dönemine ait etkili kök derinliği 60 cm olarak verilmektedir. Bu derinlik, uygulamada kullanılan deney ortamında en büyük olabilecek olan 40 cm'den daha fazla olarak belirlenmiştir [19].



Şekil 4.2. Hasat aşamasına gelmiş bitkilerin görünümü (Appearance of plants at harvest stage)

Damla sulama sistemi pompa birimi, kontrol birimi, ana boru hattı, manifold boru hattı, lateral boru hatları ve damlatıcılardan oluşmaktadır. Şekil 4.2' de yetiştirilen bitkinin genel durumuna ilave olarak, gerçekleştirilen ve uygulanan damla sulama sisteminin unsurları görülmektedir. Bunlar aşağıda açıklanmıştır:

Su kaynağı olarak 25 litrelik bir depo kullanılmıştır. Depo sulama yapılan bitkilerden yüksekte olduğu için yeterli işletme basıncı sağlanmış ve **pompa** kullanmaya gerek kalmamıştır. Damla sulama işleminde dinlendirilmiş şebeke suyu kullanıldığı için filtre işlemine gerek kalmamıştır. Yeterli basınç sağlandığı için basınç kontrol edilmemiştir. Bu çalışmada bitki besin maddeleri kullanılmamıştır. **Kontrol birimi** ile algılayıcıdan gelen toprak nem içeriği ile ön ayar değerlerinin alt ve üst sınırları karşılaştırılmıştır. **Ana boru hattı**, manifold boru hattı ve lateraller aynı seri hat üzerindedir. **Lateral** esnek malzemenin yapılmıştır. Küçük bir sistem olduğu için boru hattı toprak yüzeyine döşenmiştir. Lateral doğrudan ana boru hattına

bağlandığı için ve bir adet lateral olduğu için su kaynağının çıkışında bir mekanik vana ve laterale su girişini denetlemek için 12V'luk bir elektromekanik valf kullanılmıştır. **Damlaticılar** lateral borular üzerine yerleştirilmiştir. Damlaticıya ulaşana kadar suyun enerjisi sürtünme ile önemli ölçüde düştüğünden, su damlaticıdan sadece nerede ise yerçekimin etkisi ile damlalar halinde düşük debi ile çıkmakta ve toprağa infiltre olmaktadır [10, 19].

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (RESULTS AND SUGGESTIONS)

Küresel ısınma ile birlikte, su kaynaklarının azalması ve kirlenmesi yaşam için önemli bir risk haline gelmeye başladığından, suyun her türlü faaliyet alanında etkin kullanımı gerekmektedir. Bu konuda, tarım alanındaki sulama faaliyetlerinde geleneksel yöntemler yerine mekanizasyona geçilmesi ve otomatik sulama sistemlerinin kullanılması yararlı olabilir. Sulama yöntemleri arasında damla sulama sistemlerinin bazı avantajlar taşıdığı görülmektedir. Bu yöntem ile sınırlı tarım arazilerinin ve su kaynaklarının daha etkin ve verimli kullanılması sağlanmaktadır. Bu yöntem hem sebze ve meyvecilikte ve hem de tarla bitkilerinin üretiminde olumlu sonuçlar vermektedir. Otomasyon uygulamalarında karmaşıklığı artırmasına rağmen, daha etkin çalışma için, ilgili bütün fiziksel büyüklüklerin doğrudan veya dolaylı etkilerinde göz önüne alınarak tahmini eşitliklerin kullanılması ile, yani bitki su tüketimi değerleri, iklim verilerine dayalı tahmini eşitliklerin kullanılması vb. ile sulama işlemlerinin düzenlenmesi mümkün olabilmektedir. Ayrıca gerektiğinde sulama sırasında bitki besin maddelerinin verilmesi, ilaçlama ve zararlılarla mücadele edilebilmesi de mümkündür. Bu çalışmada kontrol işlemleri için bitki su tüketimi değerleri, iklim verilerine dayalı tahmini eşitlikleri kullanılması yerine doğrudan ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Bitkiler büyüme mevsimi boyunca kök bölgesinde yeterli nemi bulduklarında devamlı ve kararlı bir gelişime sağlandığından, toprakta suyun en küçük eksikliği hissedildiği anda, eksik kalan miktar, hızla toprağa sadece bitki kök bölgesine, az ama sık ve düzenli verilerek tamamlanmıştır. Bu amaçla öncelikle ölçme işlemleri için kullanılan algılayıcının karakteristiği belirlenmiştir. Daha sonra ölçülen fiziksel büyüklük ve sisteme girilen ön ayar değerleri kullanılarak yazılım yolu ile kontrol işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bunların sonucu olarak, yetiştiriciliği yapılan biber bitkisinin ortalama büyüme evrelerine uygun ve sağlıklı bir gelişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Ekimden sonraki başlangıç evresinde bitki su tüketimi en düşük değerlerde olmuştur. Daha sonra vejetatif gelişme ile orantılı olarak bu değer artmış ve gelişmenin tamamlandığı evrelerde en yüksek olmuştur. Çiçeklenmeden sonra olgunlaşma ve hasada kadar geçen sürede ise azalma olmuştur [19, 34].

Bu konuda yapılabilecek ileri çalışmalarda bitki su tüketimini etkileyen iklim, toprak ve bitki çeşidi ve gelişme evreleri, çevre, besin maddeleri ve su faktörleri

vb. parametrelerin ölçülerek göz önüne alınması ile su tüketimi hesaplamalarında kullanılabilecek düzeltilmiş ampirik eşitlikler geliştirilebilir. Bu durumda kontrol işlemleri daha karmaşık olabilir [19]. Fakat tahmini eşitliklerden ziyade bu parametreler eğitilebilen ve öğrenebilen sistemlere beslenerek daha etkin kontrol işlemleri gerçekleştirilebilir. Böylece gereğinden az ya da fazla toprak nemi sağlanması, sulama aralığının uygun olmaması, sulamanın zamansız yapılması vb. durumlar engellenerek bitkilerde verim azalmasının ve su kaynaklarının gereksiz kullanımının önüne geçilebileceği düşünülmektedir.

Kontrol işlemlerindeki karmaşıklığa çözüm olarak ise, bahsedilen bu görevleri yerine getirebilecek olan akıllı algılayıcılar tasarlanıp geliştirilebilir. Böylece arazi üzerinde bölgesel ölçümler yapılması ana işlemcinin işlem yükünü azaltılabilir. Bu şekilde ayrıca, gerektiğinde ana işlemcide tahmin işlemlerinin yapılabilmesi ve bu işlemlerin daha etkin olabilmesi için, sahadaki bölgesel verilerin ve parametrelerin yerinde ve anlık değerlendirilmesi ve ondan sonra ana işlemciye gönderilebilmesi de mümkün olabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Turkey Water Report Q1 2015, *Published by: Business Monitor International*, ISSN 2052-7683, (2015).
- [2] Ertek A., Kanber R., "Damla sulama yönteminin pamuk sulamasında topraktaki tuz dağılımına etkileri", Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, *Tarım Bilimleri Dergisi (J. Agric. Sci.)*, 12(2): 21-31, (2002).
- [3] Seçkin B., Şentürk N., "Damla sulama sistemi planlama esasları", *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B Cilt 41 sayı: 3-4: sayfa: 1-16, (1991).
- [4] Johar R., Bensenouci A., Bensenouci M.A., "IoT based smart sprinkling system", *15th Learning and Technology Conference (L&T)*, IEEE Conferences, Pages: 147-152, (2018).
- [5] Nagothu S.K., "Weather based smart watering system using soil sensor and GSM", *2016 World Conference on Futuristic Trends in Research and Innovation for Social Welfare (Startup Conclave)*, IEEE Conferences, pages: 1-3, (2016).
- [6] Özpınar S., Çay A., "The role of agricultural mechanization in farming system in a continental climate", *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 15(02): sayfa: 58-72, (2018).
- [7] Li Q., Chen Y., Zhou X., Songlie Y., "Effects of deficit irrigation and planting modes on leaves' water physiological characteristics and grain yield of winter wheat", *International Conference on New Technology of Agricultural*, pages: 305-308, (2011).
- [8] Uçak A.B., "Identification of water usage efficiency for corn (zeamays l.) lines irrigated with drip irrigation under green house conditions as per plant water stress index evaluations", *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, Turk J Agric Res*, 4(1): 1-9, (2017).
- [9] Kutlu O., Kocar G., "Biochar from residual biomass in Turkey, and possibility of return to the soil: an estimation of the supply and demand", *Polish Journal of Agronomy*, No. 30, sayfa: 10-24, (2017).

- [10] Erdođan Onur B., “Kocaeli ili Sahil Peyzaj Dúzenlemesinin Sulama Sistemi Projelendirilmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, sayfa: 1, 3, 13-16, 31-33, Haziran 2002.
- [11] Kanber R., Ünlü M., Cakmak E.H., Tüzün M., “Irrigation systems performance: Turkey country report”, *Options méditerranéennes*, Series B, no:52, sayfa: 216-237, (2014).
- [12] Schneekloth J., Bauder T., Hansen N., “Limited Irrigation Management: Principles and Practices”, *Colorado State University*, Crop Series | Irrigation, FactSheet No: 4.720, pp:1-9, <http://extension.colostate.edu/topic-areas/agriculture/limited-irrigation-management/principles-and-practices-4-720>, (2018).
- [13] Singh A.K., Tiwari J., Yadav A., Gupta S., “Real time autonomous irrigation module design”, *2014 International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks*, IEEE Conferences, pages: 1209-1213, (2014).
- [14] Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., “Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements”, *FAO Irrigation and Drainage Paper 56*. Rome, Italy: FAO, (1998).
- [15] Dehghanisani H., Naseri A., Anyoji H., Eneji A.E., “Effects of deficit irrigation and fertilizer use on vegetative growth of drip irrigated cherry trees”, *Journal of Plant Nutrition*, 30: pp: 411-425, (2007).
- [16] Ertek A., Kanber R., “Damla sisteminde farklı sulama programlarının pamuk bitkisinin değişik toprak katmanlardaki su tüketimine ve kök gelişimine etkilerinin belirlenmesi”, *Türk J Agric*, for 24 (2000): 283-291, (2000).
- [17] Semerci A., Çelik A.D., “Hatay ilinde pamuk üretiminin fonksiyonel analizi”, *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 15 (02): sayfa: 78-85, (2018).
- [18] Öztürk İ., Korkut K.Z., “Ekmeklik buğday (*triticumaestivum* L)’ın farklı gelişme dönemlerinde kuraklığın verim ve verim unsurlarına etkisi”, *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 15 (02): sayfa: 128-137, (2018).
- [19] Güngör Y., Erözel Z., Yıldırım O., “Sulama”, Yayın no:1540, Ders Kitabı: 493, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakóltesi*, Ankara, (2004).
- [20] Dursun M., Özden S., “Control of soil moisture with radio frequency in a photovoltaic-powered drip irrigation system”, *Türk. J. Elec. Eng. & Comp. Sci*, 23,(2): 447-458, (2015).
- [21] Yucel M., Ozturk Torun M., Yucel M., “Design and application of a fiber Bragg grating array based temperature measurement system”, *J. Fac. Eng. Archit*, Gazi Univ., 32(3): 957-964, (2017).
- [22] Yucel M., Goktas H.H., Yucel M., Ozturk N.F., Gunduz A.E., “Experimental analysis of the temperature dependence of the brillouin gain spectrum in short-length single-mode fiber”, *Türk J Elec Eng & Comp Sci*, 25(5): 3881-3891, (2017).
- [23] Burunkaya, M., “Sınırlı hacim sıcaklıkları için kullanılan termistör karakteristiğinin doğrusallaştırılması”, *Politeknik Dergisi*, c:7, s:2, sayfa: 99-106, (2004).
- [24] Güler I., Burunkaya M., “Humidity control of an incubator using the microcontroller based active humidifier system employing an ultrasonic nebulizer”, *Journal of Medical Engineering & Technology*, 26(2): 82-88, (2002).
- [25] Köycü N.D., Sukut F., ”Buđdayda fusarium culmorum’a ruhsatlı olmayan fungusitlerin etkisi”, *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 15 (02): sayfa: 26-35, (2018).
- [26] <https://www.slideshare.net/adex25/sulama-suyu-sulama-bilgisi>, (2017).
- [27] Öztürk A., “Drenaj mühendisliğinde temel kavramlar ve drenajın tarihsel gelişimi”, Ders notları, *Selçuk Üniversitesi*, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, [https://www.selcuk.edu.tr/ziraat/tarimsal_yapilar_ve_sulama/bolum_dersleri/...](https://www.selcuk.edu.tr/ziraat/tarimsal_yapilar_ve_sulama/bolum_dersleri/)
<https://slideplayer.biz.tr/slide/2450075/>, (2018).
- [28] Burunkaya, M., Güler, I., “A microcontroller based, low cost oxygen gas controller for medical purposes”, *Instrumentation Science and Technology*, 509(527), (2006).
- [29] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/33023a.pdf>, (2017).
- [30] <https://www.conrad.com/ce/de/product/562444/Bodenm-essgeraet-TFA-481000-Schwarz>, (2017).
- [31] <https://www.indiamart.com/proddetail/ph-tester-soil-water-moisture-light-test-meter-sensor-15362456691.html>, (2017).
- [32] <http://homeguides.sfgate.com/need-water-pepper-74723.html>, (2017).
- [33] TÜRKTOB, Eğirdir Bahçe Degisi, 27-06-2012, <http://www.turktob.org.tr/tr/damla-sulamada-kullanilacak-su-miktari/8474>, Hüseyin Akgül, (2017).
- [34] KOP, TEYAP, Tarımsal Eğitim ve Yayın Projesi, “Bitki su tüketimi ve su ihtiyacının belirlenmesi”, 2016, <http://kopteyap.kop.gov.tr/upload/dokumanlar/350.pdf>, (2017).