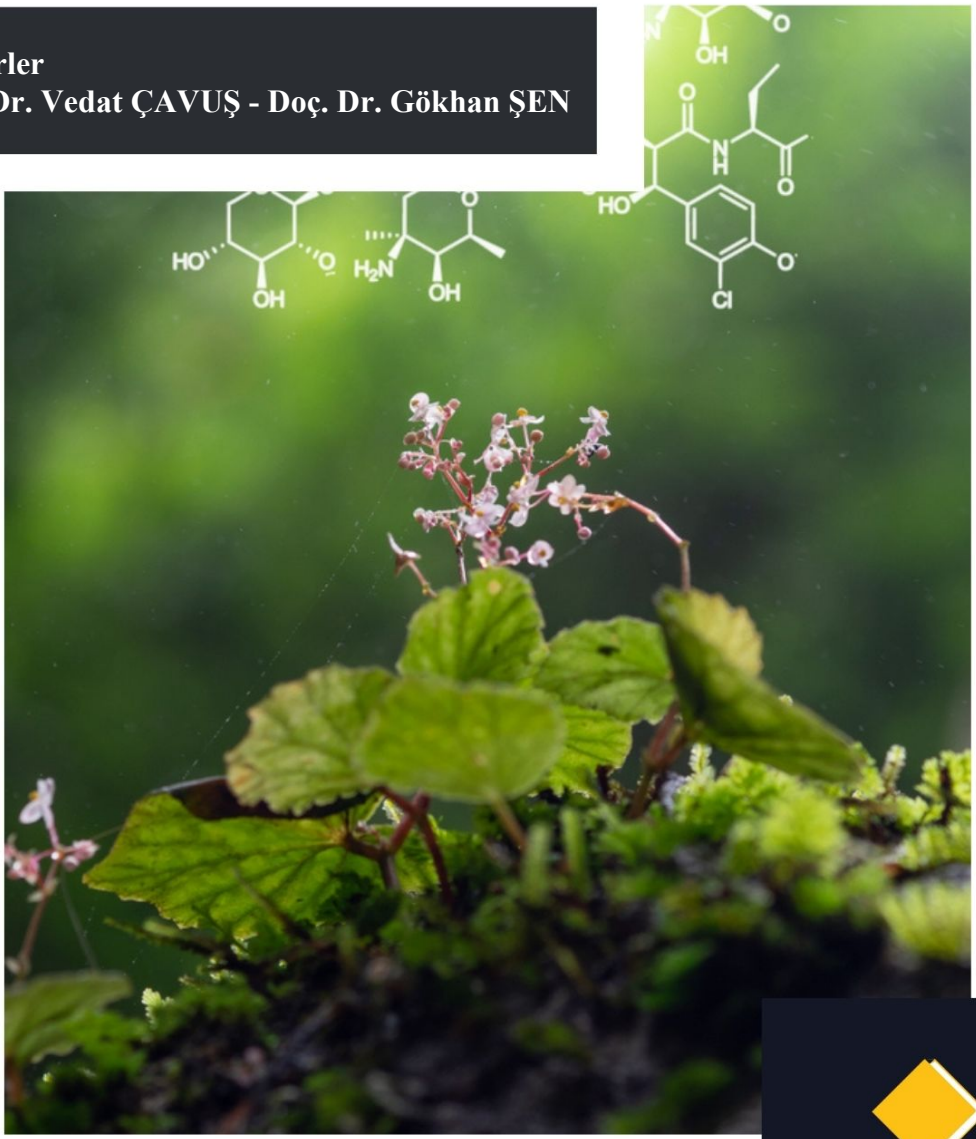
TARIM, ORMAN VE SU BİLİMLERİNDE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Editörler
Doç. Dr. Vedat ÇAVUŞ - Doç. Dr. Gökhan ŞEN



DUVAR

TARIM, ORMAN VE SU BİLİMLERİNDE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Editörler

Doç. Dr. Vedat ÇAVUŞ

Doç. Dr. Gökhan ŞEN



Tarım, Orman ve Su Bilimlerinde Güncel Yaklaşımlar
Editörler: Doç. Dr. Vedat ÇAVUŞ, Doç. Dr. Gökhan ŞEN

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek
Kapak ve Sayfa Tasarımı: Duvar Design
Baskı: EKİM 2023
Yayıncı Sertifika No: 49837
ISBN: 978-625-6585-04-1

© Duvar Yayınları
853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir
Tel: 0 232 484 88 68

www.duvaryayinlari.com
duvarkitabevi@gmail.com

İÇİNDEKİLER

Bölüm 1.....7
Ekolojik Döngüde Organik Koruyucu Yağların
Ahşap Malzemede Fiziksel Performansı Düzeyine Etkileri
Abdi ATILGAN

Bölüm 2.....29
Balıklarda Bağışıklık Sistemi
Engin ŞEKER, Ayşegül PALA, Faruk ZORLAR

Bölüm 3.....57
Kestane Kanserinin Biyolojik Kontrolünde
Cryphonectria parasitica'nın Vejetatif Uyum Gruplarının Önemi
Birsen GEÇİOĞLU ERİNCİK

Bölüm 4.....81
Büyükbaş Hayvan Beslemede Alternatif Kaba Yem Kaynağı
'İtalyan Çimi'***(Lolium Multiflorum)*** Kullanımı
Yaşar Deray SAYGI

Bölüm 5.....95
Balıklarda Büyüme ve Büyüme Analizleri
Fahrettin YÜKSEL, Gülderen KURT KAYA

Bölüm 6.....123
Uzunçayır Baraj Gölü'ndeki Siraz
(Capoeta umbla Heckel, 1843) Populasyonunda Otolit Morfometrisi
Fahrettin YÜKSEL, Rahmi AYDIN

Bölüm 7.....151
Kırsal Nüfusun Yaşlanması ve Kırsalda Sürdürülebilirlik
Hacer ÇELİK ATEŞ

Bölüm 8.....167
Kırsal Gençlik: Sorunlar ve Çözüm Önerileri
Hacer ÇELİK ATEŞ

Bölüm 9.....177
Çeltik Yetiştiriciliğinde İnsanız Hava Araçlarının Kullanımı
Hakan NAR, Gökhan ÇAMOĞLU

Bölüm 10.....191
Toprak Solarizasyonu Uygulamasının Etki ve Esasları
-Yeni Yaklaşımlar-
Hasan ÖZ

Bölüm 11.....205
Tarla Pülverizatörlerinde Traktör Kuyruk Mili Dönüş Hızının
Uygulama Debisi ve Basıncı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi
Üzerine Bir Araştırma
Hayrettin KARADÖL ,Ali AYBEK

Bölüm 12.....215
Balıklarda Biyolüminesans
İbrahim CENGİZLER, Selçuk DUMAN

Bölüm 13.....225
Çinko Biyoyarayışlılığı Bakımından Fitik Asit-Çinko İlişkisi ve
Çinko Gübrelemesinin Önemi
İbrahim ERDAL

Bölüm 14.....249
Türkiye Sürdürülebilir Orman Yönetimi Kriter ve
Gösterge Setinin Gelişim Aşamaları
Ayşe Esra HAKVERDİ, Ayhan AKYOL, Ahmet TOLUNAY

Bölüm 15.....265
Akvaryum Balıklarında Stres Faktörleri
Muhammet Kürşat DURNA , Engin ŞEKER,
Nermin KARATON KUZGUN

Bölüm 16..... 303
Sodyum Borhidrür'ün Sisal(***Agave sisalana***) Kâğıt Hamuru
Verimine ve Selüloz Kristalitesine Etkisi
Nasır NARLIOĞLU, Nihat Sami ÇETİN, Nilgül ÇETİN

Bölüm 17.....315
Meyve Ağaçlarında Döllenme,
Kısırlıklar ve Uyuşmazlıklar
Özgün KALKIŞIM, Mehmet Zahit AYDIN
Bölüm 18.....331

Su Ürünlerinin Gastronomideki Yeri ve Önemi
Pınar OĞUZHAN YILDIZ[1], Nilay KIZILOĞLU

Bölüm 19.....343
Sucul Ortamlarda Kullanılan Biyoindikatör, Biyobelirteç,
Serbest Radikal ve Antioksidanlar
Rahmi AYDIN[1], Ayşe Nur AYDIN
Osman SERDAR

Bölüm 20.....373
Önemli Bir Avcı Olan ***Anthocoris spp***'nin 'Kitle Üretimi ve
Salımdaki' Etkinliği ve Zeytinde Kullanım Olanakları
N. Sıray KARAKOYUN

Bölüm 21.....391
İklim Değişikliğinin Sucul Ortamlar Üzerine Etkisi İklim
Değişikliğinin Sucul Ortamlar Üzerine Etkisi
Selçuk DUMAN, İbrahim CENGİZLER

Bölüm 22.....401
Programlanabilir Lojik Kontrolör (PLC) Tabanlı Otomasyon
Sistemi Tarafından Yönetilen Bir İklim İstasyonu Geliştirilmesi
Selçuk USTA

Bölüm 23.....431
Pestisit Potansiyeline Sahip Bitki Sekonder Metabolitleri
Sevil SAĞLAM YILMAZ[1]

Bölüm 24.....459
Uydu ve İnsansız Hava Araçları Tabanlı Tarımsal
Uzaktan Algılama Uygulamaları
Sinan DEMİR, Levent BAŞAYİĞİT

Bölüm 25.....481
Türkiye'nin Akdeniz Bölgesine Özgü Bal Arısı (*Apis mellifera* L.,)
Populasyonlarında Morfolojik Çeşitliliğinin Araştırılması
Ulviye KUMOVA

Bölüm 26.....519
Parmak Birleştirmeli Kereste (Finger-Jointed Lumber)
Vedat ÇAVUŞ, Bekir Cihad BAL

Bölüm 27.....533
Dal Örneklerinde Mikroskobik Analizler
Hakan ENGİN, Zeliha GÖKBAYRAK

Bölüm 28.....549
Epibrassinolid Uygulanan Domates Bitkilerinin *Meloidogyne incognita*
Stresine Gösterdiği Tepkinin Zamana Göre Değişimi
Zeliha GÖKBAYRAK, Çiğdem GÖZEL

Bölüm 29.....569
Anamur, Bozyazı Muz Alanlarında Nematodların
Yaygınlık Yoğunluklarının Belirlenmesi
Gamze DENİZ, Adem ÖZARSLANDAN

Bölüm 30.....585
Çim Yetiştiriciliğinde Bitki Koruma sorunları ve mücadelesi
Mümine ÖZARSLANDAN, Adem ÖZARSLANDAN

Bölüm 22

Programlanabilir Lojik Kontrolör (PLC) Tabanlı Otomasyon Sistemi Tarafından Yönetilen Bir İklim İstasyonu Geliştirilmesi

Selçuk USTA[1]

[1] *Dr. Öğr. Üyesi; Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Van Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü. susta@yyu.edu.tr*
ORCID No: 0000-0001-8970-7333

ÖZET

Bu çalışmada, kırsal bölgelerde kullanılabilecek PLC kontrollü bir iklim istasyonunun geliştirilmesi amaçlanmıştır. Öncelikle güç kaynağı, PLC ve analog – dijital modüllerle birlikte, rüzgâr hızı, solar radyasyon, sıcaklık, nem, rüzgâr yönü ve yağış sensörleri bir araya getirilerek iklim istasyonu donanımı oluşturulmuştur. Daha sonra donanımı PLC ile kontrol edebilmek için CODESYS programlama dili kullanılarak bir yazılım hazırlanmış ve PLC'ye yüklenmiştir. PLC bir günlük sürelerde sensörler vasıtasıyla her saat başı sıcaklık ve nemi, yarım saatte bir solar radyasyon ve rüzgâr hızını ölçerek kaydetmiştir. Gün sonunda bu verilerin ortalamalarını belirlemiştir. Yağış sensörünün yağışla dolup boşalan toplam kefe sayısını kefe hacmi ile çarparak elde ettiği yağış hacmini sensörün yüzey alanına bölerek, yükseklik cinsinden günlük yağışı belirlemiştir. Gün sonunda verileri üzerindeki SD karta kaydettikten sonra, kendisini sıfırlayarak sonraki günler için aynı işlemleri döngü halinde tekrarlamıştır. PLC kontrollü iklim istasyonu kullanılarak 2019 yılı Haziran – Ekim dönemi boyunca Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesinde ölçülen günlük veriler 10 km mesafedeki Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsünde aynı dönemde ölçülen verilerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma kriteri olarak dikkate alınan ortalama mutlak göreceli hata oranı (MAPE) sıcaklık, yağış ve solar radyasyon için sırasıyla %2.53, %5.31 ve %10.74 ile çok düşük sevilerde gerçekleşirken, nem ve rüzgâr hızı için sırasıyla %17.46 ve %30.14 ile kabul edilebilir (MAPE= %20 – 50) sınırlar içerisinde gerçekleşmiştir. Her iki bölgede ölçülen veri gruplarının ortalamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). PLC kontrollü iklim istasyonu ile yapılan günlük sıcaklık, yağış ve solar radyasyon ölçümlerin yüksek, nem ve rüzgâr hızı ölçümlerinin ise kabul edilebilir düzeyde tutarlılık ve hassasiyete sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler – Codesys, İklim istasyonu, Otomasyon, PLC, Sensör.

GİRİŞ

Tarım sektörü meteorolojik olaylara bağımlılığı çok yüksek düzeylerde olan bir çalışma alanıdır. Bir bölgede yetiştirilecek bitki türünün seçimi, toprağın işlenmesi, ekim, dikim, sulama, budama, çapalama, gübreleme ve hasat gibi kültürel işlemleri yönlendiren en önemli etkenlerin başında meteorolojik olaylar gelmektedir. Bununla birlikte sera, ahır, ağıl, kümes ve yem deposu gibi tarımsal üretim yapılarının iklim özellikleri ile uyumlu olacak şekilde projelendirilmeleri gereklidir. İklim özellikleri dikkate alınmadan yapılan yatırımların bir bölümü daha sonra atıl kalabilmektedir. Bu durum ekonomik kayıplara ve hedeflenen verimin elde edilememesine neden olmaktadır (Karaoğlu, 2018).

Bitki su tüketimi ve sulama suyu ihtiyacı bitki, toprak ve iklim özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bitki türü, gelişim evresi ve vejetasyon periyodu gibi bitkiye has özellikler ile nem içeriği, tuzluluk oranı ve toprak yönetimi gibi toprağa has özellikler üreticiler tarafından kontrol edilerek, ıslah edilebilmektedir. Hava sıcaklığı, oransal nem, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, solar radyasyon ve yağış gibi üreticilerin kontrolü dışında gerçekleşen iklim parametrelerinin ise devamlı ve düzenli olarak takip edilmesi gereklidir. Bununla birlikte ekonomik değeri yüksek bitkilerin yetiştirildiği bölgelerde don riskinin izlenerek erken uyarı yapılması, bitki hastalık ve zararlılarına karşı mücadelede en uygun dönemin belirlenmesi gibi çalışmalar kapsamında da yine yukarıda belirtilen iklim parametrelerine ihtiyaç duyulmaktadır (Şimşek ve ark., 2015).

İklim parametreleri daha çok yerleşim yeri merkezlerinde bulunan meteoroloji yer gözlem istasyonları tarafından devamlı ve düzenli olarak ölçülebilmektedir. Tarımsal üretim faaliyetleri ise daha çok kırsal alanlarda yürütülmektedir. İklim parametreleri bitki örtüsü, topografya ve rakıma bağlı olarak değişkenlik gösterdiğinden dolayı, yerleşim yeri merkezlerinde ölçülen iklim verileri kırsal alanları yeterli düzeyde temsil etmemektedir. Bu durum kırsal alanlarda portatif iklim istasyonlarının kullanılmasını zorunlu hale gelmektedir. Ancak, bu istasyonların maliyetleri üreticilerin satın alma gücünün çok üzerindedir. Bu nedenle ilk kurulum, işletme ve bakım giderleri düşük, iş gücü ve zaman kullanımını en aza indiren otomasyon kontrollü iklim istasyonlarının geliştirilmesine ve kullanımlarının yaygınlaştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda birçok çalışma yapılmıştır. Soe ve ark. (2014), Musa ve Bashir (2018), Kelebekler (2019) sırasıyla nem, sıcaklık, solar radyasyon, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü ve hava basıncı sensörlerini bir araya getirerek mikrodenetleyici tabanlı iklim istasyonları geliştirmişlerdir. Otomasyon sistemleri ile kontrol edilen bu iklim istasyonlarındaki analog ve dijital çıkışlı sensörlerin sırasıyla %0 – 100, -55 – 125^{o}C, 0 – 2000 Watt m^{-2}, 0 – 50 m s^{-1}, 0 – 360^{o} ve 15 – 115 kPa aralıklarında ölçtükleri iklim parametreleri için mA, µV veya V cinsinden

ürettikleri çıkış sinyalleri analog – dijital sinyal modülleri üzerinden mikrodenetleyiciye iletilmektedir. Mikrodenetleyici bu sinyaller için önce sayısal değerler üretmekte ve daha sonra önceden hazırlanarak üzerine yüklenen otomasyon programını kullanıp, sayısal değerleri gerçek iklim verilerine dönüştürmektedir. Son olarak SD karta kaydettiği verileri aynı anda bir web arayüzüne iletmektedir. Kullanıcılar bu arayüz üzerinden gerçek zamanlı verilere ulaşabilmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri California'da su kaynaklarının daha verimli kullanılması ve sulama konusunda üreticilere rehberlik yapılması amacıyla, California Üniversitesi ve California eyaleti Su Kaynakları Birimi (DWR) tarafından California Sulama Yönetim Bilgi Sistemi (California Irrigation Management Information System-CIMIS) oluşturulmuştur. CIMIS ile eyalet genelinde iklim parametrelerinin ölçülmesi, bu parametrelere bağlı olarak günlük referans evapotranspirasyon (ET_o) miktarlarının tahmin edilmesi ve üreticilere sunulması hedeflemiştir. Bu kapsamda günlük hava sıcaklığı, oransal nem, solar radyasyon, rüzgâr hızı ve yağış parametrelerini ölçmek amacıyla eyaletin farklı yerlerine 145 adet iklim istasyonu kurulmuş ve bir entegre iklim istasyonu ağı oluşturulmuştur. İklim istasyonları dakika bazında yaptıkları ölçümler ile günlük ortalama iklim verilerini belirlemekte ve bu verileri kullanarak da günlük ET_o miktarlarını hesaplayabilmektedirler. DWR merkezindeki bir ana bilgisayar aracılığı ile ağ üzerinden tüm iklim istasyonlarına ulaşılarak, günlük iklim verileri ve ET_o miktarları CIMIS'ta depolanmaktadır. Üreticiler ağ üzerinden CIMIS'a bağlanarak günlük iklim verilerine ve ET_o miktarlarına ulaşabilmektedir (CIMIS, 1982). Bu çalışmalara benzer şekilde Kahramanmaraş ilinde gerçekleştirilen bu çalışmada PLC cihazı tabanlı otomasyon sistemi tarafından yönetilen bir iklim istasyonunun geliştirilmesi ve yöre koşullarında test edilerek, kullanılabilirlik düzeyinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

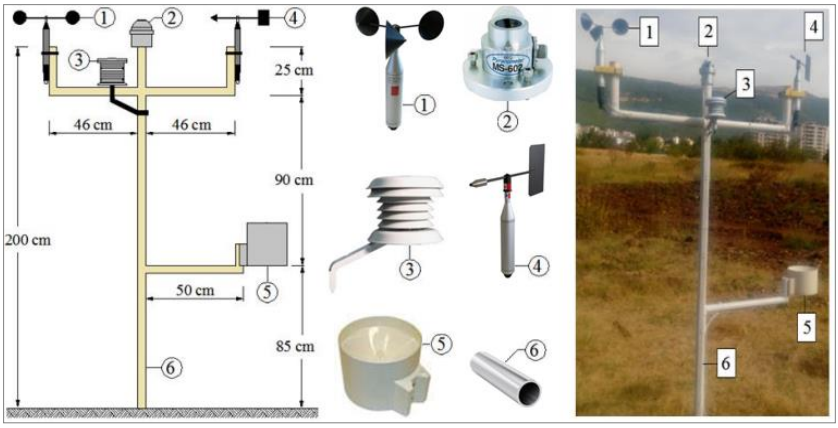
MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi (KSÜ) Ziraat Fakültesi Uygulama Bahçelerinde oluşturulan araştırma alanında, 2019 yılı Haziran – Ekim döneminde yürütülmüştür. Araştırma alanının rakımı 508 metre olup, 37° 35' 36" kuzey enlemi ve 36° 49' 20" doğu boylamı arasında yer almaktadır. Çalışma kapsamında öncelikle iklim istasyonunun donanımı oluşturulmuştur. Daha sonra CODESYS-ST programlama dili kullanılarak bir yazılım hazırlanmış ve PLC'ye yüklenmiştir. Araştırma alanında kurularak PLC – donanım konfigürasyonu yapılan iklim istasyonu ile 2019 yılı Haziran – Ekim dönemi boyunca günlük hava sıcaklığı, oransal nem, rüzgâr hızı, solar radyasyon ve yağış ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçülen verilerinin doğruluk ve tutarlılık düzeyleri, 10 km

mesafedeki Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsünde (DAGTEM) bulunan iklim istasyonu tarafından ölçülen veriler kullanılarak test edilmiştir. Her iki bölgede aynı dönemde ölçülen günlük iklim verileri karşılaştırılmıştır.

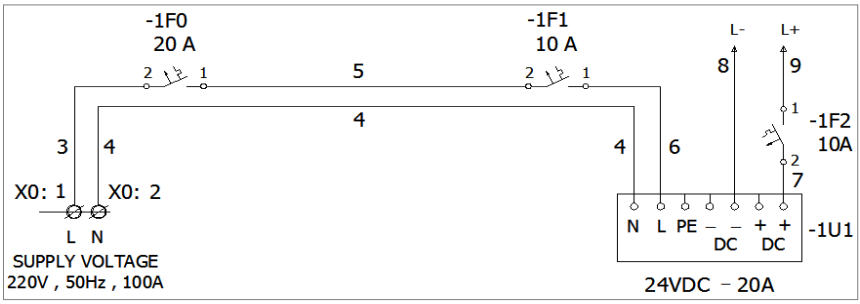
2.1. İklim İstasyonu Donanımının Oluşturulması

İklim istasyonu donanımı; bir pano içerisine yerleştirilen güç kaynağı, PLC, analog modül ve dijital modül ile birlikte rüzgâr hızı (1), solar radyasyon (2), hava sıcaklığı – oransal nem (3), rüzgâr yönü (4) ve yağış (5) sensörlerinden oluşturulmuştur. Sensörler 40 mm çaplı çelik boru profilden imal edilen bir platform (6) üzerine monte edilmiştir (Şekil 1).



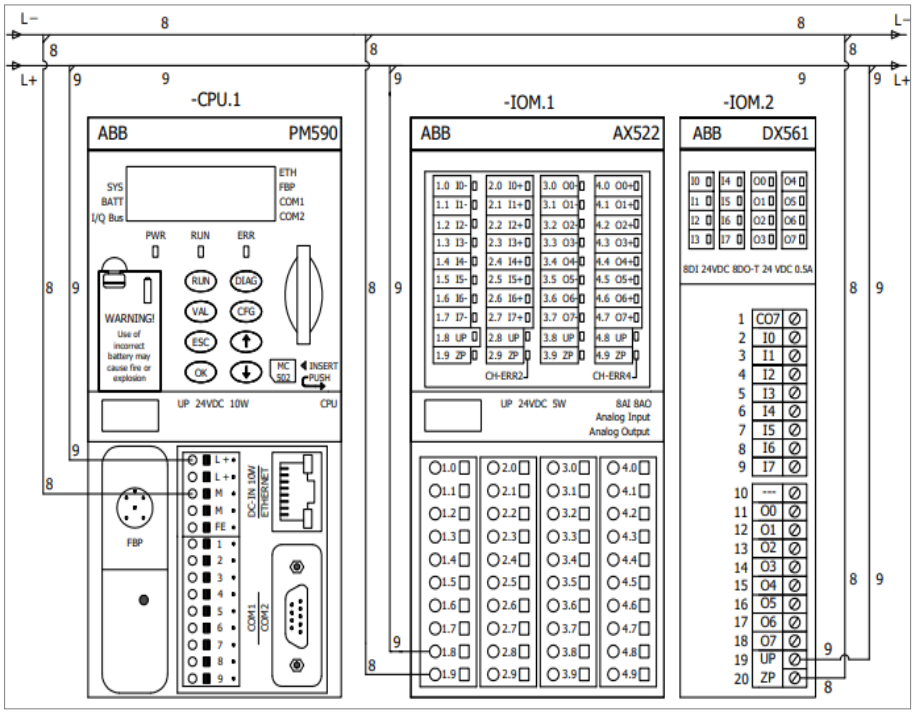
Şekil 1: PLC Kontrollü İklim İstasyonu

İklim istasyonu panosu için bir proje hazırlanmış ve bu projeye uygun pano oluşturulmuştur. Elektrik kesintilerinde istasyonuna enerji sağlamak amacıyla bir güç kaynağı (1U1) kullanılmıştır. Güç kaynağının girişi 100/240 VAC, 50/60 Hz, 6.10 Amperdir. Çıkışı ise 24 VDC ve 20 Amperdir (OMRON, 2018). Panoda üç adet sigorta (1FO, 1F1, 1F2) kullanılmıştır. Pano enerji girişi ve güç kaynağı bağlantısı Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2: Pano Enerji Girişi ve Güç Kaynağı Bağlantısı

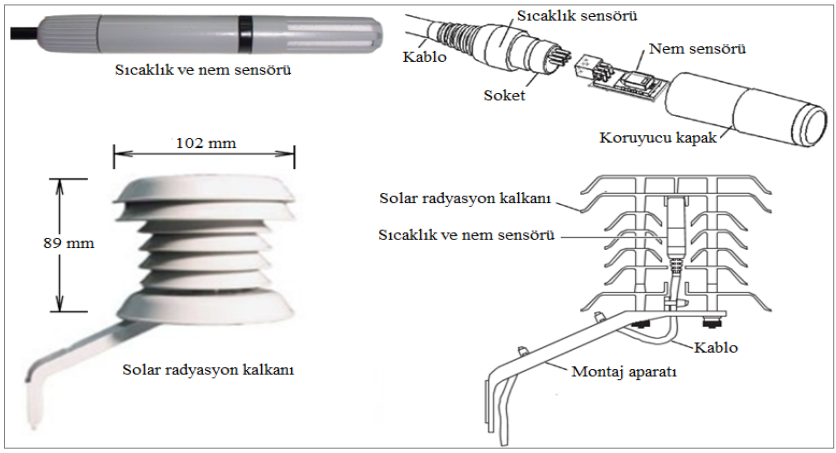
İklim istasyonu merkezi işlem birimi (CPU) olarak PM 590 ETH PLC kullanılmıştır. Bu PLC (CPU.1) 2 MB program hafızasına, RS 232/485 seri haberleşme protokolüne, ethernet, SD kart ve gerçek zamanlı saat (Real Time Clock-RTC) modüllerine sahip olup, üzerinde 2 GB hafızalı bir SD kart bulunmaktadır. PLC'nin giriş voltajı 24 VDC ve çıkışı 0.20 Amper olup, 0^{o}C ile +60^{o}C hava sıcaklığı aralığında çalışabilmektedir. Maksimum 10 analog modül ve 10 dijital modül eklenebilen PM 590 ETH PLC, sensörler tarafından kendisine iletilen 4-20 mA veya 0-10 V aralığında değişen giriş sinyallerine karşılık 1-27648 aralığında değişen sayısal değerler (NV) üretmektedir (ABB, 2018a). Analog çıkışlı rüzgâr hızı, solar radyasyon, hava sıcaklığı – oransal nem ve rüzgâr yönü sensörlerinin PLC ile haberleştirilmesini sağlamak amacıyla PLC'ye bir adet AX522 analog modül (IOM.1) eklenmiştir. Benzer şekilde dijital çıkışlı yağış sensörünün PLC ile haberleştirilmesini sağlamak için PLC'ye bir adet DX561 dijital modül (IOM.2) eklenmiştir. Analog modül 8 analog giriş (AI) ve 8 analog çıkışa (AO), dijital modül ise 8 dijital giriş (DI) ve 8 dijital çıkışa (DO) sahiptir. Modüllerin her ikisinin de girişi 24 VDC olup, 0^{o}C ile +60^{o}C hava sıcaklığı aralığında çalışabilmektedirler (ABB, 2018a). PLC, analog modül ve dijital modülün genel görünümleri Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3: PLC, Analog Modül ve Dijital Modül Bağlantısı

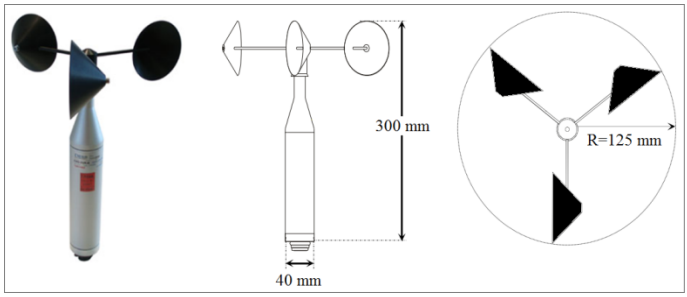
Şekil 3'de görüleceği üzere PM590 PLC'ye güç sağlamak amacıyla 24 VDC enerji girişi L+ kontağına, 0 VDC uç ise M kontağına bağlanmıştır. Benzer şekilde AX522 analog modülüne ve DX561 dijital modülüne güç sağlamak için 24 VDC enerji girişleri modüllerin üzerlerindeki UP kontağına, 0 VDC uçlar ise ZP kontağına bağlanmıştır.

Hava sıcaklığı ve oransal nemi ölçmek amacıyla Şekil 4'de verilen sensörler kullanılmıştır. Bu sensörler sırasıyla 0 – 50 °C ve %10 – 90 aralığında ±0.21 °C ve ±%2.50 hassasiyetle ölçüm yapabilmektedirler. Giriş gerilimleri 24 VDC olup, ölçtükleri değerleri için 4 – 20 mA aralığında değişen çıkış sinyalleri üretmektedirler. Her ikisi de analog çıkışlı olup, çıkışları PLC'ye giriş olarak bağlanmıştır (ONSET, 2018).



Şekil 4: Hava Sıcaklığı ve Oransal Nem Sensörleri

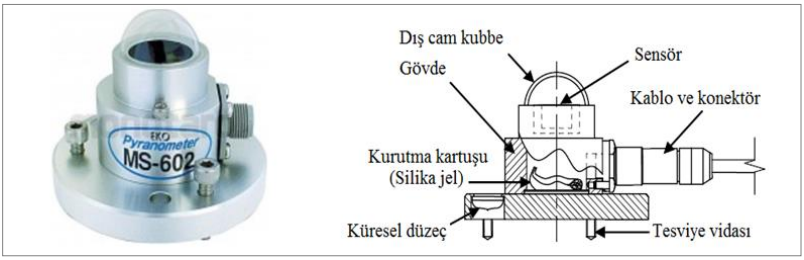
Rüzgâr hızı ölçümlerinde Şekil 5'de verilen sensör kullanılmıştır. Üç adet konik kupaya sahip olan bu sensör, kupa çukur yüzeylerine tümsek yüzeylere oranla daha fazla rüzgâr kuvvetinin etki etmesi prensibiyle çalışmaktadır. Rüzgâr kuvveti etkisiyle düşey eksen etrafında dönen kupaların ürettiği dönme enerjisi, sensör içerisine yerleştirilen manyetik transdüser vasıtasıyla önce elektrik enerjisine ve daha sonra elektrik akımına çevrilerek rüzgâr hızının ölçülmesi sağlanmaktadır (Oral ve Behçet, 2015). Sensör 0.28 – 50 m s^{-1} aralığında 0.10 m s^{-1} hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir. Giriş gerilimi 10 – 28 VDC aralığında olup, ölçtüğü rüzgâr hızı değerleri için 0 – 10 V aralığında çıkış sinyalleri üretmektedir. Sensör analog çıkışlı olup, çıkışı PLC'ye giriş olarak bağlanmıştır (NESA, 2018).



Şekil 5: Rüzgâr Hızı Sensörü (Anemometre)

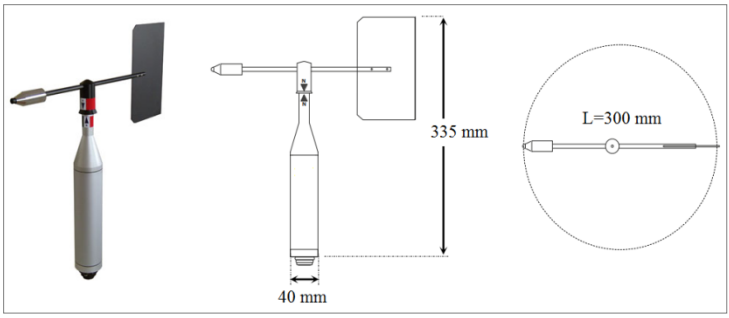
Solar radyasyon ölçümlerinde Şekil 6'da verilen analog çıkışlı sensör (Piranometre) kullanılmıştır. Bu sensör, çift katlı camdan yapılan bir yarım küre ve bu kürenin altına yerleştirilmiş konstantan içeren siyah renkli bir metalden

oluşmaktadır. Konstantan, içerisinde %45 nikel ve %55 bakır bulunan bir ısıl çift (termoçift) alaşımdır. Isıl çiftin sıcak eklemleri siyah metal yüzeyin alt tarafına, soğuk eklemleri ise solar radyasyonu almayacak şekilde daha alt tarafına yerleştirilmiştir. Siyah yüzeyin gelen radyasyonu emmesiyle birlikte sıcak eklemler soğuk eklemlerden daha yüksek sıcaklığa ulaşmaktadır. Isıl çiftteki sıcaklık değişimi nedeniyle oluşan potansiyel farkın belirli bir zaman aralığında integrali alınarak, gerilim cinsinden solar radyasyon miktarı belirlenmektedir (Kökey, 2013; KIPP&ZONEN, 2018). Solar radyasyon sensörü 0 – 2000 Watt m^{-2} aralığında 7.00 µV $Watt^{-1}$ m^{-2} hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir. Giriş gerilimi 12 – 24 VDC aralığında olup, ölçtüğü radyasyon değerleri için 0 – 10 V aralığında çıkış sinyalleri üretmektedir. Çıkışı PLC'ye giriş olarak bağlanmıştır (EKO, 2018).



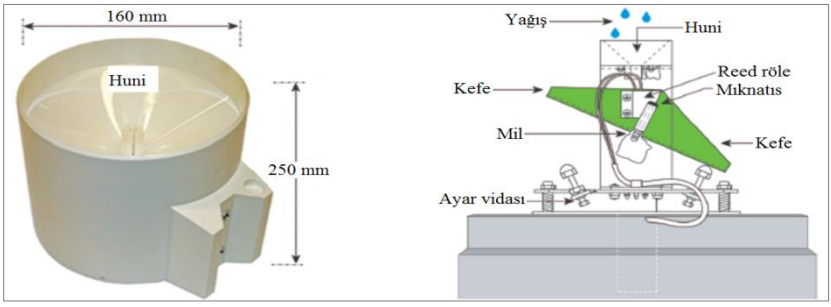
Şekil 6: Solar Radyasyon Sensörü (Piranometre)

Rüzgâr yönünü belirlemek amacıyla Şekil 7'de verilen sensör kullanılmıştır. Rüzgâr kanadı ve ona bağlı bir potansiyometrik transdüserden oluşan bu sensör rüzgâr yönünü 0 – 360° aralığında ±1° hassasiyetle tayin edebilmektedir. Rüzgâr kanadı döndüğünde ona bağlı potansiyometredeki çubuk da dönmeye başlayarak, farklı açısal değerlerdeki rüzgâr yönleri için farklı gerilim değerleri üretmektedir. Sensörün girişi 10 – 28 VDC aralığında olup, 0 – 10 V aralığında çıkış sinyalleri üretmektedir (NESA, 2018).



Şekil 7: Rüzgâr Yönü Sensörü

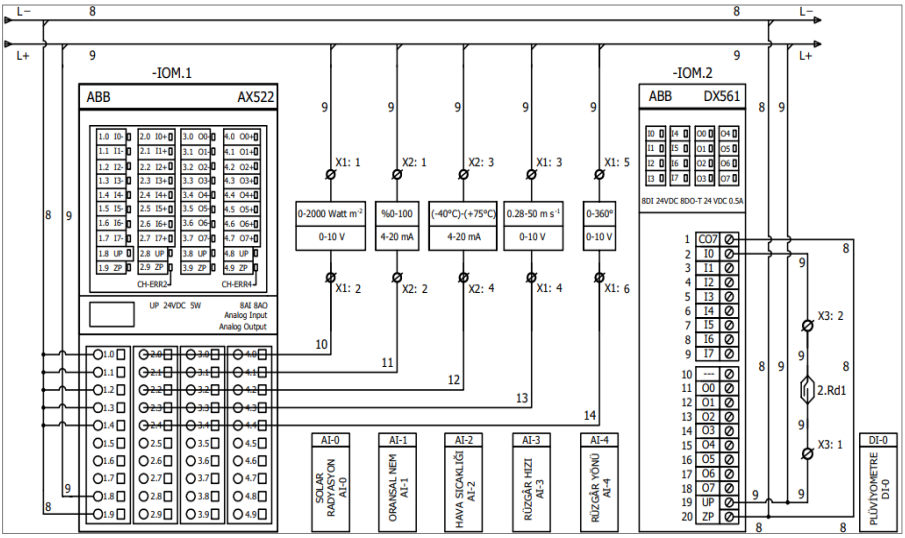
Günlük yağış miktarının ölçülmesi amacıyla Şekil 8'de verilen kefeli plüviyometre kullanılmıştır. Bu plüviyometre, silindir biçimli bir gövde içerisine yerleştirilen eşit hacimli iki kefe ve bunların ortasına yerleştirilmiş bir reed (dil) röleden oluşmaktadır. Plüviyometre gövdesinin yağışı alan üst yüzeyi huni biçimli olup, ağız çapı 160 mm ve yüzey alanı 20096 mm^2 büyüklüğündedir. Kefelerin her birinin hacmi 4448 mm^3 olup, huni biçimli konik yüzeyden gövde içerisine giren yağış ile dolarak devrilebilmektedirler. Belirli bir zaman aralığında yağış ile dolup boşalan (devrilen) toplam kefe sayısı, kefe hacmi ile çarpılarak yağış hacmi belirlenmektedir. Bu hacim plüviyometre yüzey alanına bölünerek, yükseklik cinsinden yağış miktarı elde edilmektedir. Plüviyometrenin giriş ve çıkış gerilimleri 24 VDC olup, dijital çıkışlıdır. Çıkışı PLC'ye giriş olarak bağlanmıştır (METOS, 2018).



Şekil 8: Yağış Sensörü (Plüviyometre)

Sensörlerin analog (AX522) ve dijital (DX561) modüller ile bağlantısı Şekil 9'da gösterilmiştir. Aynı türden (0 – 10 V) çıkış sinyalleri üreten solar radyasyon (AI-0), rüzgâr hızı (AI-3) ve rüzgâr yönü (AI-4) sensörlerinin girişlerine X1 klemens grubunun sırasıyla 1, 3 ve 5 numaralı klemensleri aracılığı ile 24 VDC uygulanarak, çıkışları X1 klemens grubunun sırasıyla 2, 4 ve 6 numaralı klemensleri aracılığı ile AX522 analog modülünün sırasıyla 2.0 numaralı I0+ kontağına, 2.3 numaralı I3+ kontağına ve 2.4 numaralı I4+ kontağına bağlanmıştır. Paralel bağlantıları ise sırasıyla 1.0 numaralı I0- kontağına, 1.3 numaralı I3- Kontağına ve 1.4 numaralı I4- kontağına bağlanmıştır. Her ikisi de 4 – 20 mA aralığında çıkış sinyalleri üreten analog oransal nem (AI-1) ve hava sıcaklığı (AI-2) sensörlerinin girişlerine X2 klemens grubunun sırasıyla 1 ve 3 numaralı klemensleri aracılığı ile 24 VDC uygulanarak, çıkışları X1 klemens grubunun sırasıyla 2 ve 4 numaralı klemensleri aracılığı ile AX522 analog modülünün sırasıyla 2.1 numaralı I1+ kontağına ve 2.2 numaralı I2+ kontağına bağlanmıştır. Paralel bağlantıları ise sırasıyla 1.1 numaralı I1- kontağına ve 1.2 numaralı I2- kontağına bağlanmıştır. Yağış sensörünün (DI-0) girişine X3

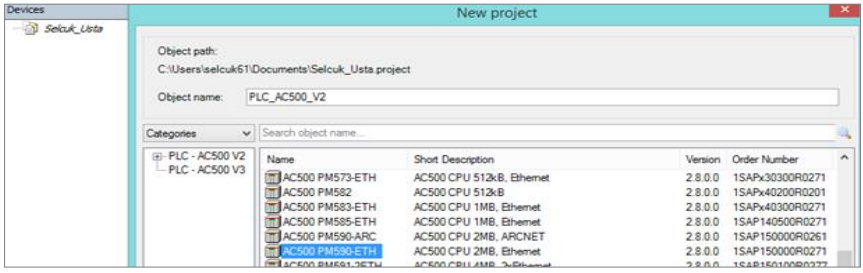
klemens grubunun 1 numaralı klemensi aracılığı ile 24 VDC uygulanmıştır. Sensörün çıkışı X3 klemens grubunun 2 numaralı klemens bağlantısı üzerinden DX561 dijital modülünün I0 kontağına, paralel bağlantısı ise CO7 kontağına bağlanmıştır



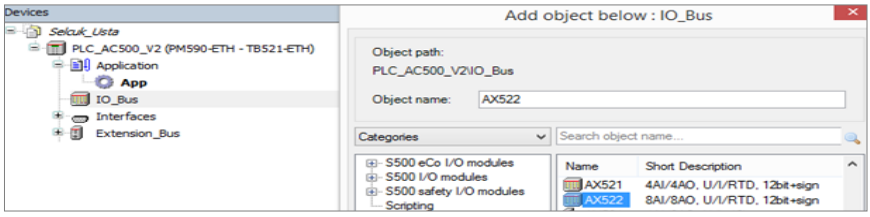
Şekil 9: Analog Modül ve Dijital Modülün Sensörler ile Bağlantısı

2.2. PLC – İklim İstasyonu Konfigürasyonunun Yapılması

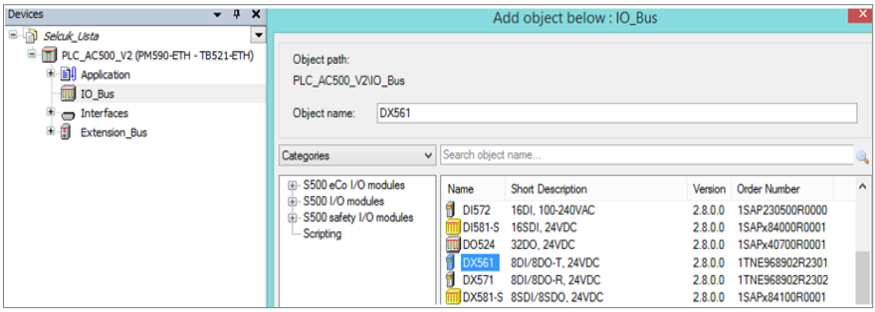
İklim istasyonu donanımı ile PLC'ye yüklenen yazılım arasındaki uyumu sağlamak amacıyla Automation Panel Builder programı kullanılarak PLC – donanım konfigürasyonu yapılmıştır (ABB, 2018b). Yeni bir proje dosyası (New Project) oluşturularak, donanımı oluşturan birimler sırasıyla bu projeye tanıtılmıştır. Konfigürasyon işlemine PM 590 PLC cihazının seçilmesiyle başlanılmıştır (Şekil 10). Daha sonra projeye AX 522 analog modülü (Şekil 11) ve DX 561 dijital modülü (Şekil 12) eklenmiştir.



Şekil 10: PM590 ETH PLC Cihazının Projeye Eklenmesi

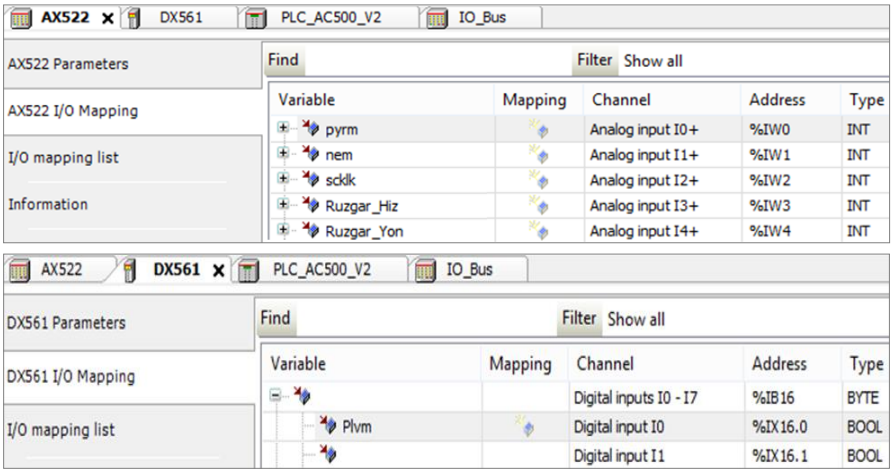


Şekil 11: AX522 Analog Modülünün Projeye Eklenmesi



Şekil 12: DX561 Dijital Modülünün Projeye Eklenmesi

İklim istasyonunda bulunan solar radyasyon, oransal nem, hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü ve yağış sensörleri projeye eklenmiştir. Bu sensörlerin tanıtılmasında çıkış sinyali türü (analog/dijital), çıkış büyüklüğü (4 – 20 mA, 0 10 V) ve analog – dijital modüller üzerinde bağlandıkları kanallar (I/O) dikkate alınmıştır. AX 522 analog modülü üzerinden PLC ile haberleştirilen solar radyasyon, oransal nem, hava sıcaklığı, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü sensörlerine sırasıyla "pyrm", "nem", "scklk", "Ruzgar_Hiz" ve "Ruzgar_Yon" global değişkenleri atanmıştır (Şekil 13). Bu sensörlerin PLC ile haberleştirilmesi AX522 analog modülünün sırasıyla IW0, IW1, IW2, IW3 ve IW4 kanalları üzerinden gerçekleştirilmiştir. Benzer şekilde DX561 dijital modülü üzerinden PLC ile haberleştirilen yağış sensörüne "Plvm" global değişkenleri atanmıştır (Şekil 13). Bu sensör DX561 dijital modülünün IX16.0 kanalı üzerinden PLC ile haberleştirilmiştir. Sensörler Şekil 9'da verilen "Analog modül ve dijital modülün sensörler ile bağlantı projesi" doğrultusunda projeye eklenmişlerdir. İklim istasyonundaki analog çıkışlı sensörlerin analog modüle bağlandıkları kanallar dikkate alınarak, çıkış büyüklükleri (4 – 20 mA, 0 – 10 V) atanmıştır.



Şekil 13: Analog – Dijital Çıkışlı Sensörlerin Projeye Eklenmesi

2.3. İklim İstasyonu Yazılımının Oluşturulması

İklim istasyonunu oluşturan sensörlerin insan müdahalesi olmadan PLC kontrollü otomasyon sistemi ile kontrol edilebilmesini sağlamak amacıyla CODESYS-ST programlama dili kullanılarak bir yazılım hazırlanmış ve PLC cihazına yüklenmiştir (ABB, 2018b). Bu yazılım kapsamında sırasıyla; iklim verilerini ölçmek amacıyla "iklim_veri_olcme [PRG]" programı, ölçülen verilen kaydedilmesi amacıyla "iklim_veri_kayit [PRG]" programı ve kaydedilen verilerin PLC üzerindeki SD karta yazdırılması amacıyla da "sd_card_veri_yaz [PRG]" programı hazırlanmıştır. Yazılım ilk işlem olarak, "iklim_veri_olcme [PRG]" programını kullanıp bir günlük süre boyunca gerçekleşen toplam yağış miktarı ile birlikte bir günlük süreler boyunca her saat başı hava sıcaklığı ve oransal nemi, her yarım saatte bir solar radyasyon ve rüzgâr hızını ölçmüştür. İkinci işlem olarak, "iklim_veri_olcme [PRG]" programına bağlı bir alt program olarak hazırlanan "Ortalama_RH_T [PRG]" programını kullanıp, saatlik hava sıcaklığı ve oransal nem değerlerini gün sonunda önce büyükten küçüğe doğru sıralayarak günlük maksimum ve minimum değerlerini belirlemiş ve daha sonra aritmetik ortalamalarını alarak günlük ortalama değerlerini belirlemiştir. Benzer şekilde "iklim_veri_olcme [PRG]" programını kullanarak ölçtüğü yarım saatlik solar radyasyon ve rüzgâr hızı değerlerini aynı program kapsamında yığışımlı olarak toplayıp, gün sonunda elde ettiği toplam değerleri ölçüm sayısına (48) bölerek günlük ortalama değerlerini belirlemiştir. Yazılımda bir günlük süre olarak bir önceki gün 08:59:30 ile bir sonraki gün 08:59:30 arasındaki 24 saatlik süre dikkate alınmıştır. Yazılım son işlem olarak, bir günlük süre boyunca ölçerek belirlediği günlük iklim verilerini gün sonunda önce "iklim_veri_kayit [PRG]" programı ile kaydetmiş ve daha sonra "sd_card_veri_yaz [PRG]" programı ile

SD karta yazdırmıştır. Solar radyasyon ve rüzgâr hızı gün içerisinde kısa zaman aralıklarında büyük değişimler gösterebilmektedir. Bu nedenle anlık değişimleri yakalayabilmek amacıyla ölçüm periyodu 30 dakika olarak alınmıştır (Zotarelli ve ark., 2018).

Hava sıcaklığı ve nem sensörleri sırasıyla 0 – 100 °C ve %0 – 100 arasında değişen hava sıcaklığı ve oransal nem değerleri için 4-20 mA arasında değişen çıkış sinyalleri üretmektedirler. Bu sinyaller önce PLC tarafından 0 ile 27648 arasında değişen sayısal değerlere, ardından yazılım tarafından °C cinsinden saatlik gerçek hava sıcaklığı ve % olarak saatlik gerçek oransal nem değerlerine dönüştürülmüştür. Hava sıcaklığı ve oransal nem sensörlerinin ölçtükleri değerler için her saat başı mA cinsinden ürettikleri çıkış sinyallerinin bir karşılığı olarak, PLC tarafından üretilen sayısal değerlere yazılımda sırasıyla "nem" ve "scklk" değişkenleri atanmıştır. Saatlik gerçek oransal nem ve hava sıcaklığı değerlerine ise sırasıyla "Or_Nem" ve "sicaklik" değişkenleri atanmıştır. Sırasıyla Eşitlik (1) ve Eşitlik (2) kullanılarak, sayısal değerler gerçek oransal nem ve hava sıcaklığı değerlerine dönüştürülmüştür.

$$Or_Nem = [(nem).95]/27648 \quad (1)$$

$$sicaklik = [(scklk).95]/27648 \quad (2)$$

Eşitliklerde; nem: oransal nem için PLC tarafından üretilen sayısal değeri (1-27648), Or_Nem: gerçek saatlik oransal nemi (%), scklk: saatlik sıcaklık için PLC tarafından üretilen sayısal değeri (1-27648) ve sicaklik: gerçek saatlik hava sıcaklığını (^{o}C) ifade etmektedir.

Saatlik hava sıcaklığı (sicaklik) ve oransal nem (Or_Nem) değerleri gün sonunda yazılım tarafından büyükten küçüğe doğru sıralanarak önce günlük maksimum ve minimum değerleri ve daha sonra bu değerlerin aritmetik ortalamaları hesaplanarak günlük ortalamaları belirlenmiştir. Yazılım kapsamında günlük ölçülen en düşük "Or_nem" ve "sicaklik" değerleri sırasıyla "iklim_dat[1].RH" ve "iklim_dat[1].T", günlük ölçülen en yüksek "Or_nem" ve "sicaklik" değerleri ise sırasıyla "iklim_dat[24].RH" ve "iklim_dat[24].T" dizi yapı değişkenlerine atanmıştır. Sırasıyla Eşitlik (3) ve Eşitlik (4) kullanılarak günlük ortalama oransal nem (Ortalama_RH) ve hava sıcaklığı (Ortalama_T) değerleri belirlenmiştir.

$$Ortalama_RH = [(iklim_dat[1].RH)+(iklim_dat[24].RH)]/2 \quad (3)$$

$$Ortalama_T = [(iklim_dat[1].T)+(iklim_dat[24].T)]/2 \quad (4)$$

Eşitliklerde; iklim_dat[1].RH: günlük en düşük oransal nemi (%), iklim_dat[24].RH: günlük en yüksek oransal nemi (%), iklim_dat[1].T: günlük en düşük hava sıcaklığını (°C), iklim_dat[24].T: günlük en yüksek hava sıcaklığı (°C), Ortalama_RH: günlük ortalama oransal nemi (%) ve Ortalama_T: günlük ortalama hava sıcaklığını (°C) ifade etmektedir.

Radyasyon sensörü her yarım saatte bir ölçtüğü 0 – 2000 Watt m^{-2} aralığında değişen solar radyasyon değerleri için 0 – 10 V arasında değişen çıkış sinyalleri üretmektedir. Bu sinyaller önce PLC tarafından 0 ile 27648 arasında değişen sayısal değerlere, ardından yazılım tarafından MJ m^{-2} $gün^{-1}$ cinsinden yarım saatlik gerçek solar radyasyon değerlerine dönüştürülmüştür. Sensörün ölçtüğü değerler için her yarım saate bir V cinsinden ürettiği çıkış sinyallerinin bir karşılığı olarak, PLC tarafından üretilen sayısal değerlere yazılımda "pyrm" değişkeni atanmıştır. Yarım saatlik gerçek solar radyasyon miktarlarına ise "solar_rad" değişkeni atanmıştır. "pyrm" sayısal değerlerini gerçek "solar_rad" miktarlarına dönüştürmek amacıyla, bir dijital piranometre kullanılarak kalibrasyon yapılmıştır. Bu piranometre, solar radyasyonu 0 – 2000 Watt m^{-2} aralığında 1.00 Watt m^{-2} hassasiyetle ölçebilmektedir. Bulutsuz – açık gökyüzü koşullarının hakim olduğu bir günde 30 dakikalık aralıklarla dijital piranometrenin ölçtüğü solar radyasyon miktarları (solar_rad) ve iklim istasyonundaki analog piranometrenin çıkış sinyallerine karşılık PLC'nin ürettiği sayısal değerler (pyrm) aynı anda okunarak kaydedilmiştir. Microsoft Excel paket programı kullanılarak yapılan basit doğrusal regresyon analizi sonucunda "solar_rad" ve "pyrm" değişkenleri arasındaki istatistikî ilişki "y=ax+b" kalibrasyon eşitliği ile ortaya koyulmuştur. Eşitlikteki "y" gerçek solar radyasyonu (solar_rad), "x" ise PLC'nin ürettiği sayısal değerleri (pyrm) ifade etmektedir. Kalibrasyon eşitliği kullanılarak, "pyrm" sayısal değerleri Watt m^{-2} cinsinden gerçek "solar_rad" miktarlarına dönüştürülmüştür (Eşitlik 5). Bir günlük süreler boyunca her 30 dakikada bir ölçülen solar radyasyon miktarları (solar_rad) yığışımlı olarak toplanıp, gün sonunda günlük toplam solar radyasyon miktarı (Toplam_Rs) belirlenmiştir (Eşitlik 6). "Toplam_Rs" miktarı ölçüm sayısına (48 adet) bölünerek günlük ortalama solar radyasyon (Ortalama_Rs) belirlenmiştir (Eşitlik 7). Sensörün Watt m^{-2} cinsinden ölçtüğü "Toplam_Rs" 0.0864 katsayısı ile çarpılarak, MJ m^{-2} $gün^{-1}$ birimine dönüştürülmüştür (1 Watt m^{-2} = 0.0864 MJ m^{-2} $gün^{-1}$).

$$solar_rad = a.(pyrm) + b \quad (5)$$

$$Toplam_Rs = Toplam_Rs + solar_rad \quad (6)$$

$$Ortalama_Rs = [0.0864(Toplam_Rs)]/48 \quad (7)$$

Eşitliklerde; solar_rad: yarım saatte bir okunan solar radyasyonu (Watt m^{-2}), pyrm: solar radyasyon için PLC tarafından üretilen sayısal değeri (1-27648), Toplam_Rs: günlük toplam solar radyasyonu (Watt m^{-2}), Ortalama_Rs: günlük ortalama solar radyasyonu (MJ m^{-2} $gün^{-1}$) ve a, b: kalibrasyon katsayılarını ifade etmektedir.

Rüzgâr hızı sensörü her yarım saatte bir ölçtüğü 0.28 – 50 m s^{-1} aralığında değişen hız değerleri için 0 – 10 V arasında değişen çıkış sinyalleri üretmektedir. Bu sinyaller önce PLC tarafından 0 ile 5530 arasında değişen sayısal değerlere ve ardından yazılım tarafından m s^{-1} cinsinden yarım saatlik gerçek hız değerlerine dönüştürülmüştür. PLC maksimum rüzgâr hızı (50 m s^{-1}) için 5530 sayısal değerini üretmektedir. Sensörün ölçtüğü değerler için her yarım saatte bir V cinsinden ürettiği çıkış sinyallerinin bir karşılığı olarak, PLC tarafından üretilen sayısal değerlere yazılımda "Ruzgar_Hiz" değişkeni atanmıştır. Yarım saatlik gerçek rüzgâr hızı değerlerine ise "Ruz_Hizi" değişkenleri atanmıştır. Eşitlik (8) kullanılarak, sayısal değerler gerçek hız değerlerine dönüştürülmüştür. Bir günlük süreler boyunca her 30 dakikada bir ölçülen hız değerleri (Ruz_Hizi) yığışımlı olarak toplanıp, gün sonunda toplam rüzgâr hızı (Toplam_U2) belirlenmiştir (Eşitlik 9). "Toplam_U2" ölçüm sayısına (48 adet) bölünerek günlük ortalama rüzgâr hızı (Ortalama_U2) elde edilmiştir (Eşitlik 10).

$$Ruz_Hizi = [(Ruzgar_Hiz).50]/5530 \quad (8)$$

$$Toplam_U2 = Toplam_U2 + Ruz_Hizi \quad (9)$$

$$Ortalama_U2 = (Toplam_U2)/48 \quad (10)$$

Eşitliklerde; Ruzgar_Hiz: hız için PLC tarafından üretilen sayısal değeri (0-5530), Ruz_Hizi: yarım saatte bir okunan rüzgâr hızını (m s^{-1}), Toplam_U2: günlük toplam rüzgâr hızını (m s^{-1}) ve Ortalama_U2: günlük ortalama rüzgâr hızını (m s^{-1}) ifade etmektedir.

Yazılım kapsamında yağış sensörüne (plüviyometre) "Plvm" değişkeni atanmıştır. Sensörün bir günlük süre boyunca yağış ile dolup boşalan (devrilen) toplam kefe sayısı (yagis) kefe hacmi (Bir_Hac) ile çarpılarak günlük toplam yağış hacmi belirlenmiştir. Yağış hacmi plüviyometre yüzey alanına (Pluv_alani) bölünerek, yükseklik cinsinden (mm) günlük yağış miktarı (g_yagis) elde edilmiştir (Eşitlik 11).

$$g_yagis:=[(yagis).(Bir_Hac)]/Pluv_alani \quad (11)$$

Eşitlikte; g_yagis: günlük yağışı (mm), yagis: yağışla dolup boşalan kefe sayısını (adet), Bir_Hac: plüviyometre kefe hacmini (4448 mm^3) ve Pluv_alani: plüviyometre yüzey alanını (20096 mm^2) ifade etmektedir.

2.4. PLC Kontrollü İklim İstasyonunun Test Edilmesi

KSÜ yerleşkesindeki araştırma alanına kurulan PLC kontrollü iklim istasyonu ile 2019 yılı Haziran – Ekim dönemi boyunca ölçülen günlük iklim verileri 10 km mesafedeki DAGTEM bölgesinde aynı dönemde ölçülen günlük iklim verileri ile karşılaştırılmıştır. Her iki bölgede ölçülen veriler arasındaki sapmanın bir ifadesi olarak; ortalama mutlak hata (Eşitlik 12), ortalama mutlak göreceli hata oranı (Eşitlik 13) ve karekök ortalama karesel hata (Eşitlik 14) dikkate alınmıştır. Her iki bölgede ölçülen veriler arasındaki uyum düzeyi; MAPE %10'un altında ise "çok iyi", %10 – 20 arasında ise "iyi", %20 – 50 arasında ise "kabul edilebilir", %50'nin üzerinde ise "uyumsuz" olarak değerlendirilmiştir (Lewis, 1982).

$$MAE=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\left|Y_i-\hat{Y}_i\right|\right) \quad (12)$$

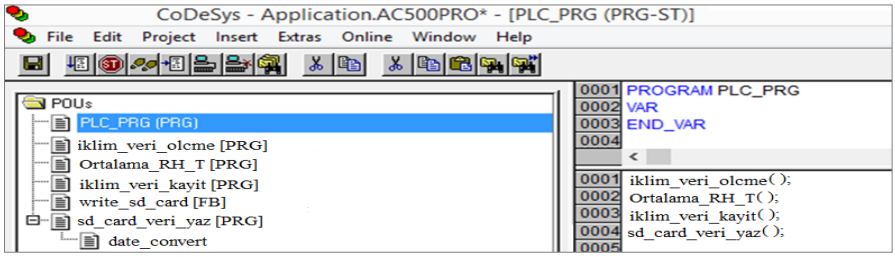
$$MAPE=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\left|Y_i-\hat{Y}_i\right|}{Y_i}100\right) \quad (13)$$

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i-\hat{Y}_i\right)^2} \quad (14)$$

Eşitliklerde; MAE: ortalama mutlak hatayı, MAPE: ortalama mutlak göreceli hata oranını, RMSE: karekök ortalama karesel hatayı, Y_i: DAGTEM'de ölçülen verileri, $\hat{Y}_i$: KSÜ'de ölçülen verileri ve n: gözlem sayısını ifade etmektedir.

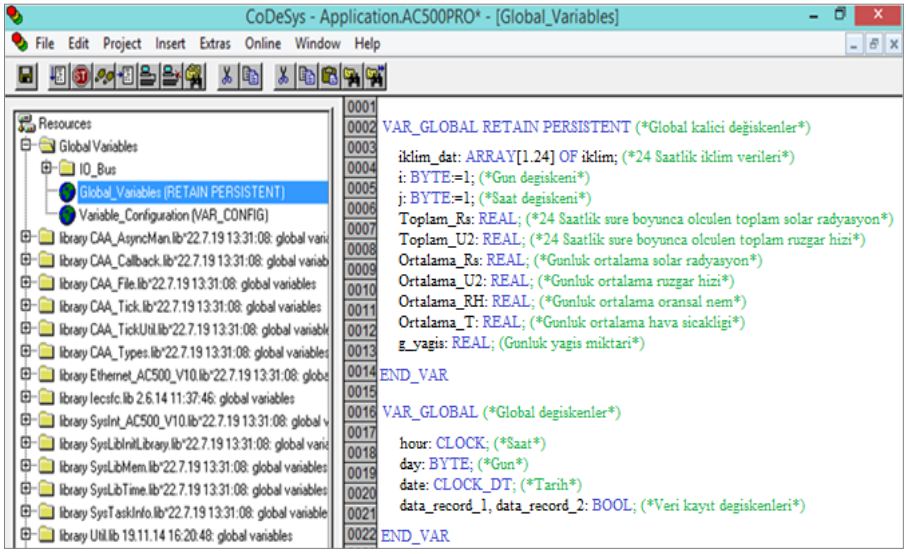
BULGULAR VE TARTIŞMA

PLC_PRG [PRG] ana programı altında "iklim_veri_ölçme [PRG]", "ortalama_RH_T [PRG], "iklim_veri_kayit [PRG]" ve "sd_card_veri_yaz [PRG]" alt programları ile "write_sd_card [FB] fonksiyon bloğundan meydana gelen bir iklim istasyonu yazılımı oluşturulmuştur. CODESYS-ST dilinde hazırlanan bu programlar PLC cihazına yüklenerek Şekil 14'de verilen CODESYS arayüzü içerisinde bir arada çalıştırılmıştır.



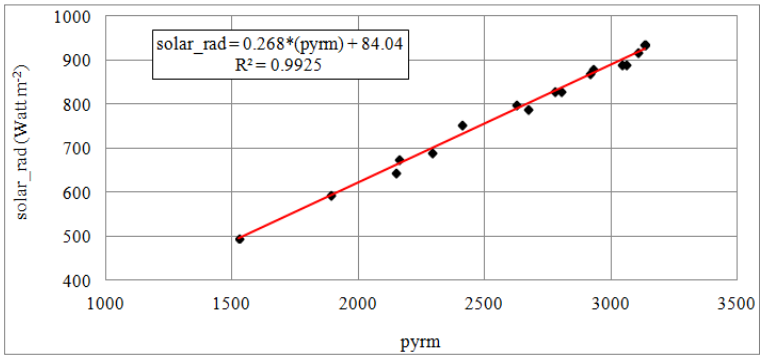
Şekil 14: İklim İstasyonu Yazılımı ve CODESYS Arayüzü

"sd_card_veri_yaz [PRG]" altında bir tarih dönüşüm (date_convert) aksiyonu tanımlanmıştır. Yazılımı oluşturan diğer programlar kapsamında WORD, BYTE ve REAL değişken türlerinde tanımlanan bazı değişkenler bu aksiyonda STRING değişkenlere dönüştürülmüştür. Her programın yerel (VAR) değişkenleri kendi içerisinde tanımlanmıştır. Ortak kullanılan global değişkenler (VAR_GLOBAL) ile global kalıcı değişkenler (VAR_GLOBAL RETAIN PERSISTENT) ise Şekil 15'de gösterildiği gibi tanımlanmıştır.



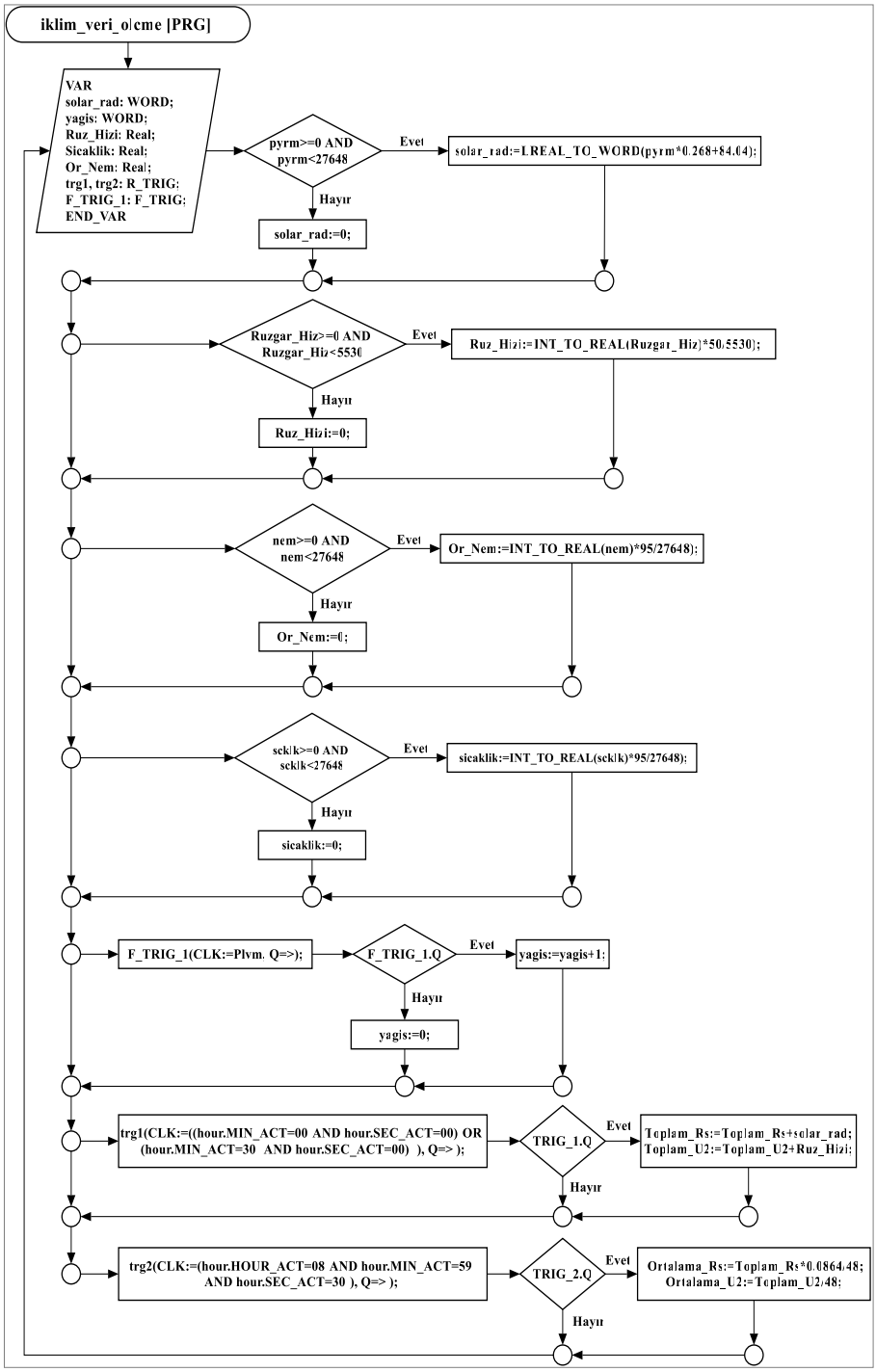
Şekil 15: İklim İstasyonu Yazılımı Global Değişkenleri

Piranometrenin her yarım saate bir ölçtüğü solar radyasyon değerleri için ürettiği çıkış sinyallerinin bir karşılığı olarak, PLC tarafından üretilen "pyrm" değişkenlerini gerçek radyasyon miktarlarına dönüştürmek amacıyla yapılan regresyon analizi sonucunda "solar_rad= 0.268 * (pyrm) + 84.04" kalibrasyon eşitliği elde edilmiştir (Şekil 16). Bu eşitlik "iklim_veri_ölçme [PRG] programına aynen yansıtılmıştır.

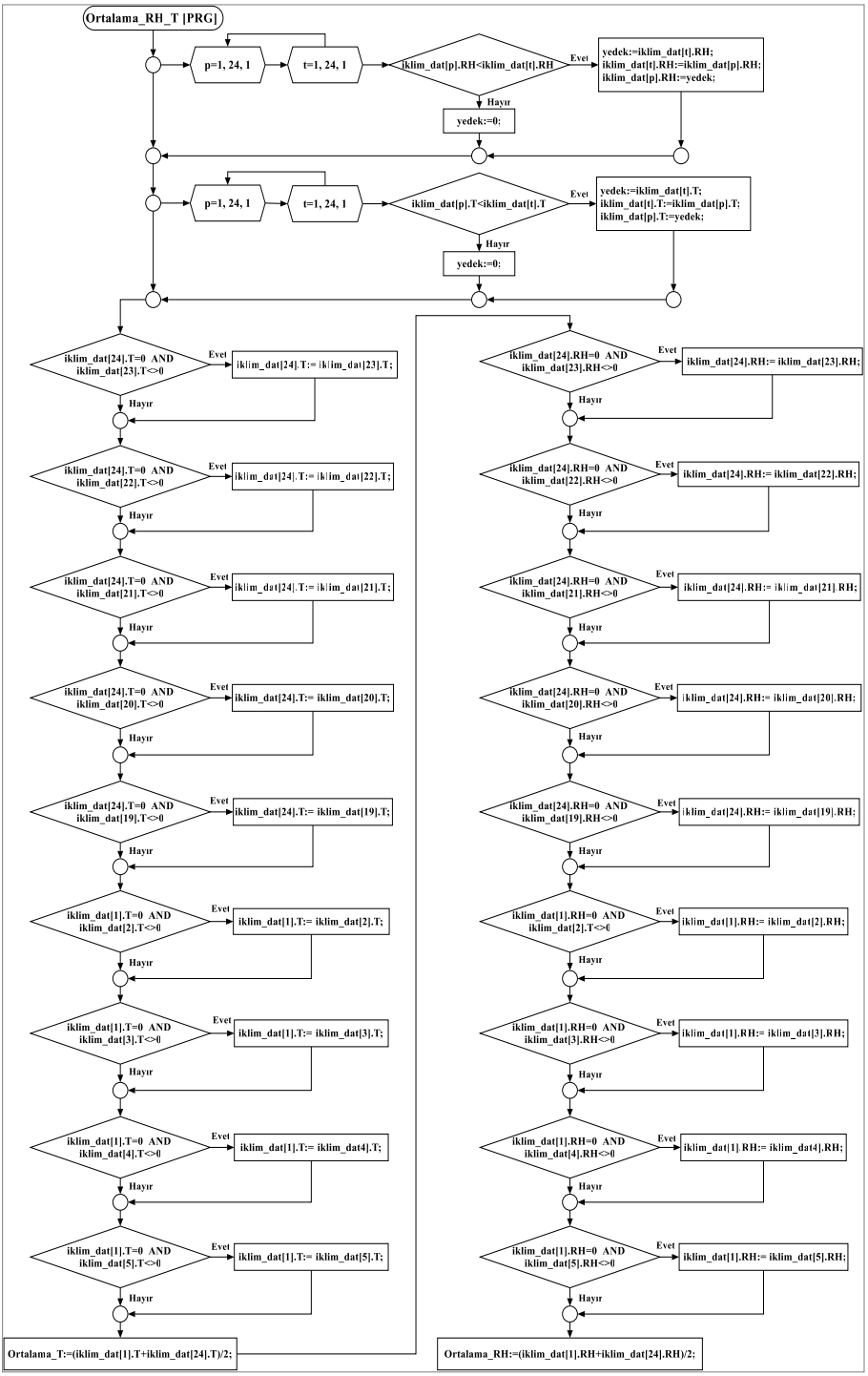


Şekil 16: Solar Radyasyon Sensörü Kalibrasyon Eşitliği

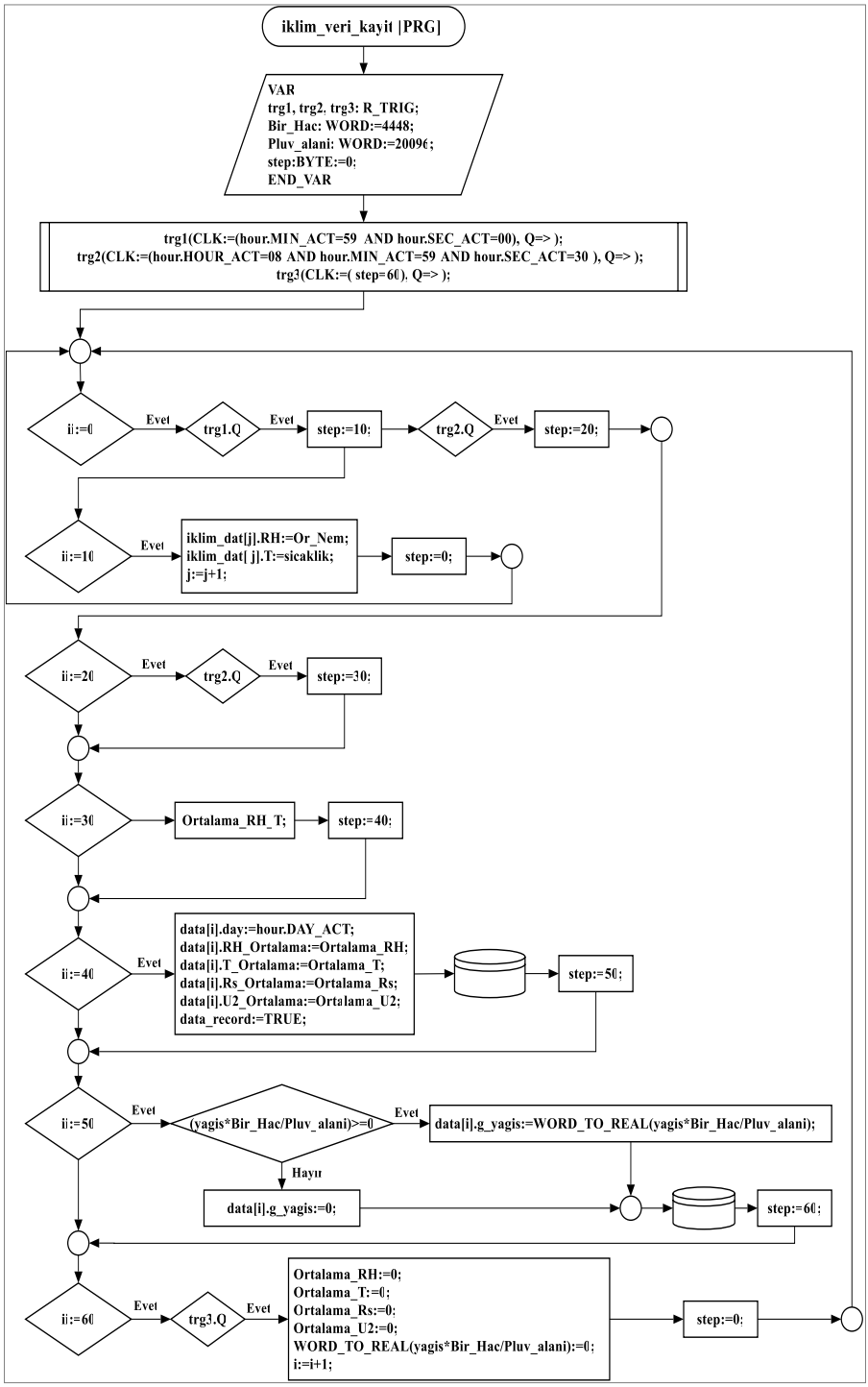
İklim istasyonu yazılımını oluşturan "iklim_veri_ölçme [PRG]", "ortalama_RH_T [PRG], "iklim_veri_kayit [PRG]" ve "sd_card_veri_yaz [PRG]" programlarının iş akış diyagramları Şekil 17 – 20'de verilmiştir. Yazılım iş akış diyagramları sırasıyla Şekil 17 ve Şekil 18'de verilen "iklim_veri_olcme [PRG]" ve "Ortalama_RH_T [PRG]" programlarını kullanarak, sensörler aracılığı ile bir günlük süre boyunca her yarım saatte bir solar radyasyon ve rüzgâr hızını, her saat başı sıcaklık ve nemi ölçerek gün sonunda saat 08:59:30'da günlük ortalama değerlerini belirlemiştir. Aynı saatte iş akış diyagramı Şekil 19'de verilen "iklim_veri_kayit [PRG]" programını kullanarak ölçme işlemlerinin yapıldığı günün saatini (hour.DAY_ACT) "data[i].day" dizi yapı değişkenine, günlük ortalama iklim verileri (Ortalama_RH, Ortalama_T, Ortalama_U2, Ortalama_Rs) ile yağış miktarını sırasıyla "data[i].RH_Ortalama", "data[i].T_Ortalama", "data[i].U2_Ortalama", "data[i].Rs_Ortalama" ve "data[i].g_yagis" dizi yapı değişkenlerine atayarak kaydetmiştir. Yazılım bir günlük iş akış diyagramı Şekil 20'de verilen "sd_card_veri_yaz [PRG]" programını kullanarak "write_sd_card [FB]" aracılığı ile günlük verileri PLC üzerindeki SD kartta bulunan "iklim_veri.csv" dosyasına yazdırmıştır. Ölçme işleminin yapıldığı güne ait gün (act_day), ay (act_month) ve yıl (act_year) değişkenlerini noktalı virgül (;) ile birleştirerek (CONCAT) "iklim_veri.csv" dosyasının A sütününa, benzer şekilde "RH_Ortalama", "T_Ortalama", "U2_Ortalama", "Rs_Ortalama" ve "g_yagis" verilerini birleştirerek sırasıyla B, C, D, E ve F sütunlarına yazdırmıştır. İklim istasyonu yazılımı gün sonunda verileri sıfırlayarak gün değişkenini (i+1) bir artırmış, bir sonraki ve daha sonraki günler için aynı işlemleri bir kapalı devre döngü halinde tekrarlamıştır.



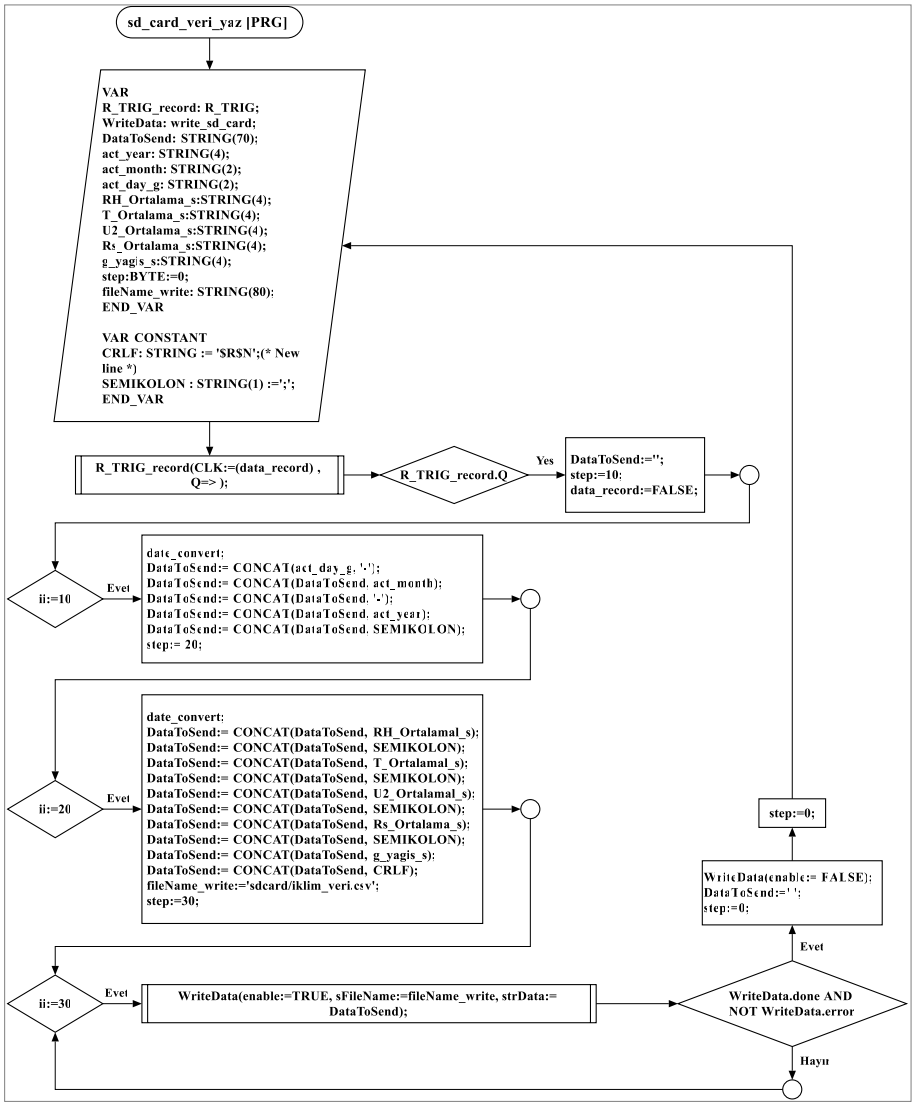
Şekil 17: "iklim_veri_ölçme [PRG]" Programı İş Akış Diyagramı



Şekil 18: "Ortalama_RH_T [PRG]" Programı İş Akış Diyagramı



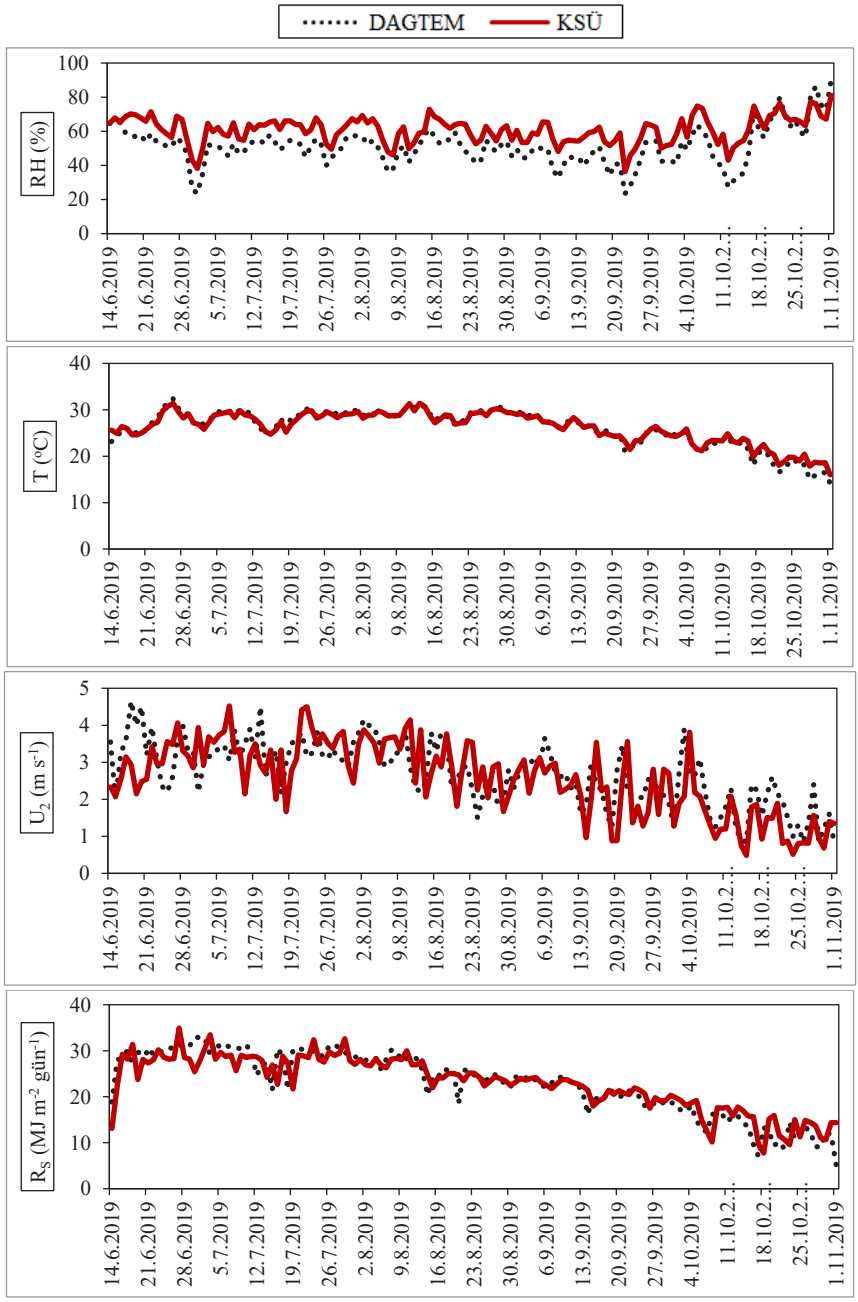
Şekil 19: "iklim_veri_kayit [PRG]" Programı İş Akış Diyagramı



Şekil 20: "sd_card_veri_yaz [PRG]" Programı İş Akış Diyagramı

PLC kontrollü iklim istasyonu ile 2019 yılı Haziran – Ekim dönemi boyunca KSÜ yerleşkesinde ölçülerek "iklim_veri.csv" dosyasına kaydedilen günlük ortalama RH, T, U_2 ve R_s verileri, araştırma alanına 10 km mesafede bulunan DAGTEM'de aynı dönemde ölçülen veriler ile karşılaştırılmıştır. Her iki bölgede ölçülen günlük iklim verilerinin zamana bağlı olarak değişimleri Şekil 21'de verilen grafiklerde gösterilmiştir. KSÜ'de ölçülen RH ve T verileri sırasıyla %36.30-77.20 ve 17.85-31.40^{o}C aralığında değerler alırken, DAGTEM

bölgesinde ölçülen veriler sırasıyla %23.44-86.26 ve 15.02-32.39ºC aralığında değişmiştir.



Şekil 21: KSÜ ve DAGTEM'de Ölçülen Günlük İklim Verileri

KSÜ'de ölçülen RH verilerinin DAGTEM bölgesinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumun KSÜ yerleşkesi yakınındaki baraj gölünden kaynaklandığı düşünülmektedir. KSÜ ve DAGTEM bölgesinde ölçülen günlük RH ve T verileri arasındaki sapma miktarlarının bir ifadesi olarak belirlenen hata değerleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir. Her iki bölgede ölçülen RH verileri arasındaki uyum düzeyi Eylül ayında "kabul edilebilir" (MAPE= %20-50), diğer aylarda ise "iyi" olarak belirlenmiştir (MAPE= %10-20). T verilerinin "çok iyi" düzeyde bir uyuma sahip olduğu görülmüştür (MAPE= %0-10).

Tablo 1: Oransal Nem Değerleri Arasındaki İlişki (KSÜ – DAGTEM)

Ay	MAE (%)	MAPE (%)	RMSE (%)	Uyum düzeyi
Haziran	8.990	14.510	10.130	İyi
Temmuz	10.660	17.950	10.920	İyi
Ağustos	9.830	16.350	10.240	İyi
Eylül	12.460	22.750	12.900	Kabul edilebilir
Ekim	9.370	15.740	11.100	İyi

Tablo 2: Hava Sıcaklığı Değerleri Arasındaki İlişki (KSÜ – DAGTEM)

Ay	MAE (°C)	MAPE (%)	RMSE (°C)	Uyum düzeyi
Haziran	0.646	2.372	0.855	Çok iyi
Temmuz	0.510	1.838	0.613	Çok iyi
Ağustos	0.374	1.292	0.458	Çok iyi
Eylül	0.443	1.734	0.626	Çok iyi
Ekim	1.095	5.396	1.366	Çok iyi

KSÜ yerleşkesinde ölçülen U_2 ve R_s verileri sırasıyla 0.49-4.52 m s^{-1} ve 7.75-34.91 MJ m^{-2} $gün^{-1}$ aralığında değişmiştir. DAGTEM'de ölçülen veriler ise 0.85-4.65 m s^{-1} ve 7.00-33.00 MJ m^{-2} $gün^{-1}$ aralığında değerler almıştır. Her iki bölgede ölçülen U_2 verileri arasında Ağustos ayında "iyi" (MAPE= %0-10), diğer aylarda ise "kabul edilebilir" düzeyde bir uyum olduğu görülmüştür (MAPE= %20-50) (Tablo 3). R_s verileri için uyum düzeyi Haziran ve Temmuz aylarında "iyi" (MAPE= %10-20), Ağustos ve Eylül aylarında "çok iyi" (MAPE= %0-10), Ekim ayında ise "kabul edilebilir" (MAPE= %20-50) olarak belirlenmiştir (Tablo 4).

Tablo 3: Rüzgâr Hızı Değerleri Arasındaki İlişki (KSÜ – DAGTEM)

Ay	MAE (m s^{-1})	MAPE (%)	RMSE (m s^{-1})	Uyum düzeyi
Haziran	0.815	29.653	1.007	Kabul edilebilir
Temmuz	0.700	23.075	0.854	Kabul edilebilir
Ağustos	0.578	19.649	0.704	İyi
Eylül	0.619	34.399	0.745	Kabul edilebilir
Ekim	0.547	43.943	0.670	Kabul edilebilir

Tablo 4: Solar Radyasyon Değerleri Arasındaki İlişki (KSÜ – DAGTEM)

Ay	MAE (MJ m^{-2} $gün^{-1}$)	MAPE (%)	RMSE (MJ m^{-2} $gün^{-1}$)	Uyum düzeyi
Haziran	3.124	12.922	3.754	İyi
Temmuz	2.758	10.231	3.456	İyi
Ağustos	1.348	5.344	1.855	Çok iyi
Eylül	1.002	4.811	1.435	Çok iyi
Ekim	2.679	20.387	3.183	Kabul edilebilir

KSÜ ve DAGTEM'de gerçekleşen toplam yağış miktarları sırasıyla 32.00 mm ve 33.70 mm olarak ölçülmüştür. Bu miktarlar arasındaki sapma %5.31 olarak belirlenmiştir. Bu değer PLC kontrollü plüviyometre ile yapılan ölçümlerin yüksek doğruluk oranına sahip olduğunu göstermiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada rüzgâr hızı, solar radyasyon, hava sıcaklığı, oransal nem, rüzgâr yönü ve yağış sensörlerinden oluşan PLC kontrollü bir iklim istasyonu tasarlanmıştır. Sensörlerin PLC ile kontrol edilebilmesini sağlamak amacıyla CODESYS-ST dili kullanılarak bir yazılım hazırlanmış ve PLC'ye yüklenmiştir. Yazılım sensörler vasıtasıyla bir günlük periyotlarda her saat başı sıcaklık ve nemi, yarım saatte bir solar radyasyon ve rüzgâr hızını ölçerek kaydetmiştir. Gün sonunda bu verilerin günlük ortalamalarını belirlemiştir. Bir günlük süre boyunca plüviyometrenin yağışla dolup boşalan toplam kefe sayısını kefe hacmi ile çarparak elde ettiği yağış hacmini plüviyometre yüzey alanına bölerek, yükseklik cinsinden günlük yağış miktarını belirlemiştir. Yazılım bir günlük iklim verilerini gün sonunda PLC üzerindeki SD karta kaydetmiştir. Verileri sıfırlayarak daha sonraki günler için aynı işlemleri döngü halinde tekrarlamıştır.

KSÜ yerleşkesindeki araştırma alanına kurulan PLC kontrollü iklim istasyonu ile 2019 yılı Haziran – Ekim dönemi boyunca ölçülen günlük iklim verileri 10 km mesafedeki DAGTEM bölgesinde aynı dönemde ölçülen verilerle karşılaştırılmıştır. Genel olarak her iki bölgede ölçülen veri gruplarının ortalamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır

($p>0.05$). Her iki bölgede ölçülen günlük iklim verilerinin birbirlerinin yerine kullanılabileceği ve PLC kontrollü iklim istasyonu ile yapılan ölçümlerin yüksek tutarlılık ve hassasiyete sahip olduğunu sonucuna ulaşılmıştır. Otomasyon kontrollü sensörlerin ölçme hatalarını en aza indirerek, işgücü ve zamandan tasarruf sağladığı gözlemlenmiştir. İklim parametrelerinin ölçülmesinde kullanılan sensörlerin bağımsız birer sistem olarak kullanılması yerine, otomasyon kontrollü bir iklim istasyonunun parçası olarak kullanılmaları önerilmektedir. Böylece sensörlerin ve iklim istasyonunun kurulum, işletme ve bakım giderleri azaltılmış olacaktır.

REFERANSLAR

ABB, (2018a). Detailed information for: PM590 ETH, AX522 and DX561. https://global.abb/group/en adresinden 3 Şubat 2018 tarihinde alınmıştır.

ABB, (2018b). Automation Builder V1.2.2 basic software installation. https://new.abb.com/plc/automationbuilder/platform/software adresinden 3 Şubat 2018 tarihinde alınmıştır.

EKO, (2018). Pyranometers MS-802/402/410/602-instruction manual ver. https://media. eko-eu.com/assets/media/MS-402_Manual.pdf adresinden 12 Haziran 2018 tarihinde alınmıştır.

Karaoğlu, M. (2018). Türkiye ziraat eğitiminde ziraî meteoroloji. *Journal of Agriculture*, 1(1), 42-48.

Kelebekler, E. (2019). Nesnelerin interneti tabanlı meteorolojik veri takip sistemi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1), 650-663.

KIPP&ZONEN, (2018). The working principle of a thermopile pyranometer. https://www.kippzonen.com/News/572/The-Working-Principle-of-a-Thermo pile-Pyranometer#.Xb24Q1UzbIU adresinden 20 Temmuz 2018 tarihinde alınmıştır.

Kökey, İ. (2013). Güneş enerji santrallerinin kurulumunda güneş ölçümünün önemi ve Türkiye'de yasal mevzuat. *VIII. Ulusal Ölçübilim Kongresine Sunulmuş Bildiri.*

Lewis, C. D. (1982). *Industrial and business forecasting methods: A practical guide to exponential smoothing and curve fitting*. London: Butterworths Scientific.

METOS, (2018). Rain gauge (pluviometer). https://metos.at/portfolio/rain-gauge/. adresinden 18 Mayıs 2018 tarihinde alınmıştır.

Musa, A. I., Bashir, S. M. (2018). Micro-controller-based weather monitor system. *American Journal of Embedded Systems and Applications*, 6(1), 23-29.

NESA, (2018). Wind speed and wind direction sensors. http://www.nesasrl.eu /media/pdf adresinden 18 Mayıs 2018 tarihinde alınmıştır.

OMRON, (2018). Power supplies. https://industrial.omron.com.tr/tr/products/power-supplies adresinden 5 Mart 2018 tarihinde alınmıştır.

ONSET, (2018). Temperature/RH smart sensor (S-THB-M00x). https://www. onsetcomp.com/files/manual_pdfs/11427-E-MAN-S-THB.pdf adresinden 12 Temmuz 2018 tarihinde alınmıştır.

Oral, F., Behçet, R. (2015). Rüzgâr verilerinin enerji üretimi amaçlı değerlendirilmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(2), 173-182.

Soe, L. N., Lwin, K. S., Tun, H. M. (2014). Implementation of microcontroller based sensing unit in transmitter for wireless weather station. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research*, 6(3), 1613-1617.

Şimşek, O., Nadaroğlu, Y., Yücel, G., Yıldırım, M. (2015). *Ziraî meteoroloji kurs notları*. Ankara: Meteoroloji Genel Müdürlüğü.

Zotarelli, L., Dukes, M. D., Romero, C. C., Migliaccio, K. W., Morgan, K. T. (2018). Step by step calculation of the Penman-Monteith evapotranspiration (FAO-56). https://www.agraria.unirc.it/documentazione/materiale_didattico/1462_2016 _412_24509.pdf adresinden 28 Ocak 2018 tarihinde alınmıştır.