



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN NİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**PLC VE SCADA TABANLI SIVI BOYA
DOZAJLAMA SİSTEMİNİN
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ VE
PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

Ali KAFALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ali Kafalı tarafından hazırlanan “PLC ve SCADA Tabanlı Sıvı Boya Dozajlama Sisteminin Gerçekleştirilmesi ve Performansının İncelenmesi” adlı tez çalışması 15/02/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Barış GÖKÇE

Danışman

Prof. Dr. Mehmet KARALI

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Kadir SABANCI

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Süleyman Savaş DURDURAN
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Ali KAFALI

Tarih: 15.02.2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PLC VE SCADA TABANLI SIVI BOYA DOZAJLAMA SİSTEMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ VE PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Ali KAFALI

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet KARALI

2019, 59 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Mehmet KARALI
Dr. Öğr. Üyesi Barış GÖKÇE
Dr. Öğr. Üyesi Kadir SABANCI

Dozajlama sistemleri, endüstriyel uygulamalarda hassasiyet, tekrarlanabilirlik, verim ve zamandan tasarruf amacıyla çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler bazen sadece tartım parametrelerinden oluşmakla birlikte bazen de daha karmaşık şekilde karşımıza çıkabilmektedirler. Dozajlaması yapılan malzemenin anlık bilgileri, çalışma parametrelerini önemli ölçüde etkilediğinde, bu parametrelerin PLC ile kontrol edilmesi sonucu akıllı ve hassas sistemler oluşturularak yüksek verimli dozajlama makineleri üretilebilmektedir. Bu çalışmada, endüstriyel boyaların dozajlama sistemi ile istenilen oranlarda karıştırılmasına ve farklı aralıklarda renklendirilmesine olanak sağlayan bir sistem tasarlanmış, 3 boyutlu katı modeli oluşturulmuş ve prototip üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen prototip dozajlama sistemi için SIMATIC STEP 7 (TIA Portal) yazılımında bir program oluşturulmuş ve bu program SIMATIC WinCC SCADA yazılımında tasarlanan arayüz ile kontrol edilmiştir. Bu arayüz sayesinde üretilmek istenen rengin CMY renk kodu ve boya miktarı SCADA ekranına girilerek boya dozajlama işlemi başlatılmış ve dozajlama sonunda oluşturulan karışım mikser kabına aktararak boyanın homojen dağılması sağlanmıştır. Karıştırma işlemi için manyetik karıştırıcı istenen süre ve devirde çalışacak şekilde programlanmış ve karıştırma işlemi sonunda sistemin çalışması otomatik olarak sonlandırılmıştır. Çalışma sonucunda PLC ve SCADA yazılımları ile boya karıştırma işleminin insan müdahalesi en aza indirilerek otomatik olarak gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Sonuç olarak sistemin hazırladığı karışımlarda %97,5 güvenilirlik ve $\pm 0,054$ ml ölçüm belirsizliği gözlenmiştir. Bütün karışımların toleranslar dahilinde hazırlandığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: CMY, Dozajlama, Endüstriyel Otomasyon, PLC, SCADA

ABSTRACT

MS THESIS

PRODUCTION OF PLC AND SCADA BASED LIQUID DYE DOSING SYSTEM AND INVESTIGATION OF ITS PERFORMANCE

Ali KAFALI

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHATRONICS ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Mehmet KARALI

2019, 59 Pages

Jury

**Prof. Dr. Mehmet KARALI
Dr. Öğr. Üyesi Barış GÖKÇE
Dr. Öğr. Üyesi Kadir SABANCI**

Dosing systems are widely used in industrial applications for precision, repeatability, efficiency and time saving. While these systems are composed of weighing parameters, sometimes they are more complex. Whenever the instantaneous information of the dosed material affects the working parameters significantly, intelligent and sensitive systems can be built by controlling these parameters with PLC and high efficiency dosing machines can be produced. In this study, a dosing system was designed to mix the industrial dyes in the desired proportions and in a wide variety of colors. 3-D solid model of the dosing system was created following prototype production. The prototype dosing system was programmed with PLC and SCADA software. In order to control the system, a user interface has been created in SCADA program by using SIMATIC STEP 7 (TIA Portal) software. With this interface, CMY (cyan, magenta, yellow) color code and dye quantity were entered into WinCC SCADA screen and dye dosing process was started. At the end of the dosing process, the desired mixture was transferred to the mixer container at the bottom of the system in the prescription amount. After the dye transfer operation, the magnetic stirrer was automatically programmed to run through the desired duration and the operation of the system was terminated at the end of the mixing process. As a result of the study, it was ensured that dye mixing process was carried out automatically by PLC and SCADA software while minimizing human intervention. Consequently, 97.5% reliability and ± 0.054 ml measurement uncertainty were observed in the mixtures prepared by the system. It was determined that all mixtures were prepared within tolerances.

Keywords: CMY, Dosing, Industrial Automation, PLC, SCADA

ÖNSÖZ

Çalışmam boyunca her türlü bilgi ve tecrübelerini paylaşarak desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Mehmet KARALI'ya teşekkür ederim. Her zaman olduğu gibi maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen aileme saygılarımı sunarım. Ayrıca çalışmamın başından sonuna kadar beni destekleyen ve yardımcı olan dostlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ali KAFALI
KONYA-2019



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. BOYA DOZAJLAMA SİSTEMLERİ VE KULLANILAN YÖNTEMLER	8
3.1. Boya Dozajlama Sistemleri	8
3.2. Renk Üretim Süreci	9
3.3. Uygulamada Tercih Edilen Yöntem	10
3.4. Renk Bileşimi ve Dönüştürme Yöntemleri.....	12
3.5. Renk Dönüşüm İlkeleri.....	13
4. PLC VE SCADA SİSTEMLERİ	15
4.1. Programlanabilir Lojik Kontrolör (PLC).....	15
4.1.1. Genel tanım.....	15
4.1.2. PLC kullanım alanları.....	16
4.1.3. PLC temel yapısı.....	16
4.1.4. PLC’de program işleme mantığı.....	18
4.1.5. PLC’nin avantajları.....	19
4.1.6. Haberleşme modülleri.....	20
4.1.7. PLC’nin programlanması.....	21
4.2. Merkezi Denetim ve Veri Toplama Sistemi (SCADA).....	23
4.2.1. SCADA’nın tanımı ve tarihçesi.....	23
4.2.2. SCADA’nın avantajları.....	23
4.2.3. SCADA’nın kullanım alanları	24
5. PROTOTİP SİSTEMİNİN TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ	25
5.1. Giriş	25
5.2. Sistemin Fiziksel Yapısı	25
5.2.1. Sistemin blok diyagramı	25
5.2.2. Sistemin modellenmesi	26
5.2.3. Tasarlanan modelin üretilmesi.....	27
5.2.4. Sistemin elektronik aksamı	31
5.3. Sistemin Programsal Yapısı.....	32
5.3.1. PLC’nin programlanması.....	32
5.3.2. SCADA yazılımının geliştirilmesi.....	33

6. SİSTEMİN PERFORMANSININ İNCELENMESİ VE ANALİZİ.....	39
6.1. Mekanik Sistemin Hassasiyeti	39
6.2. Hacimsel Hassasiyet Testi	40
6.3. Minimum Kararlı Hacim Testi	40
6.4. Renk Ayırt Etme Eşik Testi	41
6.5. Birim Dozajlama Değerleri ve İstatistik Analizleri	43
6.6. Renk Yakınsaklığı.....	47
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	53
7.1. Sonuçlar	53
7.2. Öneriler	53
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	59

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

AC	: Alternative Current (Alternatif Akım)
A	: Amper
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
I/O	: Input/Output (Giriş/Çıkış)
kB	: Kilobayt
Mbit	: Megabit
ml	: Milliliter (Mililitre)
ms	: Millisecond (Milisaniye)
S_s	: Standard Deviation (Standart Sapma)
Qs	: Step Angle (Adım açısı)
V	: Volt

Kısaltmalar

CMY	: Cyan, Magenta, Yellow (Cyan, Magenta, Sarı)
CPU	: Central Processing Unit (Merkezi İşlemci Ünitesi)
FBD	: Function Block Diagram (Fonksiyon Blok Diyagramı)
GPRS	: General Packet Radio Service (Genel Paket Radyo Servisi)
HMI	: Human - Machine Interface (İnsan - Makine Arayüzü)
LAD	: Ladder Diagram (Merdiven Diyagramı)
PLC	: Programmable Logic Controller (Programlanabilir Lojik Kontrolör)
Profinet	: Process Field Net (Ağ Haberleşme Protokolü)
RGB	: Red, Green, Blue (Kırmızı, Yeşil, Mavi)
SCADA	: Supervisory Control And Data Acquisition (Merkezi Denetim ve Veri Toplama Sistemi)

1. GİRİŞ

Boya karıştırma sistemleri pek çok endüstriyel alanda sıklıkla kullanılmaktadır. Fakat bu sistemlerde karıştırma işlemleri genellikle insan eliyle gerçekleştirildiğinden dolayı zaman kaybına ve maddi kayıplara sebep olmaktadır. Büyük sektörlerdeki üretim süreci göz önünde bulundurulduğunda küçük bir zaman kaybının bile pek çok zarara neden olabileceği görülmektedir. Bu sebeple boya karışımının zaman kaybına sebebiyet vermeyerek, hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Boya karıştırma sürecinin otomatik bir şekilde gerçekleştirilmesi, zaman kayıplarını en aza indirerek bu tarz problemlerle karşılaşan sektörler için çözüm sunmaktadır. Bu sistemlerin kullanım amaçları şu şekilde sıralanabilir;

- Boya karıştırma sürecinde görev alan çalışanları üretimin sürecindeki olumsuz kimyasal etkileşimlerden korumak.
- Tartım aşamasında meydana gelebilecek hataların önüne geçmek.
- Kimyasal ürünlerin kullanımında tasarruflar sağlamak.
- İşletmelerde standardizasyon elde etmek.
- Fabrikalarda çalıştırılan personellerin iş yükünü hafifletmek.
- Boya üretimi için kullanılan kimyasalların stok durumunu kontrollü bir şekilde sağlamak.
- Boya üretim sürecinde harcanan süreyi kısaltmak (Odesi, 2018).

Boya üretimi yapılan işyerlerinde kimyasal etkenler, iş sağlığı ve güvenliği açısından tehlikeli grupta bulunmaktadır. Bu etkenler çalışma ortamında bulunan gaz, buhar ve uçucu organik bileşenlerdir. Kimyasal maddeler deride tahrişe neden olabileceği gibi cilt yüzeyinden emilerek bazı organlarda hasara yol açabilmektedir. Üretimde kullanılan çözücüler, boya üretiminde en önemli sağlık riski taşıyan etkenlerden biridir. Kimyasal çözücüler, solunması halinde solunum sisteminde rahatsızlıklara sebep olmakta, göz ve cilt ile temas ettirildiğinde ise tahriş edici bir etki meydana getirmektedir. Birçok kimyasalın solunabilir parçacıkları solunduğunda akciğerde birikerek alerjik reaksiyonlara neden olabilmekte, çalışanların iş ortamında bulunan tozları yutması veya ellerini yeteri kadar temizlememesi sebebiyle de ciddi sağlık sorunları ortaya çıkabilmektedir (ÇSGB, 2005).

Günümüzde hazırlanan kimyasal karışımlar bazı kimyasal malzemelerin farklı miktarlarda tartılıp bir mikser aracılığıyla karıştırılmasıyla oluşturulmaktadır. Boya endüstrisinde de renklerin istenilen görünümde olması için farklı boya renklerinin laboratuvar şartlarında oluşturulan bir reçeteye göre bulundukları depolardan otomatik sistem ile çağrılıp istenilen miktarlarda alınması ve karıştırılıp ürüne (kumaş, kâğıt, sac vs.) uygulanmasıyla gerçekleşmektedir. Dozajlanan rengin istenilen orana yakınlığı sistemin kalitesini göstermektedir. Dozaj işleminin yeterli hassasiyette olmaması durumunda, renkler de istenilen görünümde olmayacak ve dozajlama başarısız olacaktır.

Otomasyon sistemleri sayesinde çok sayıda makinenin üretim kalitesi ve verimliliği artırılarak; hem insanların tehlikeli ortamlarda görev yapmasının önüne geçilmiş hem de tesislerin çalışma süresine ve çıkan kaliteli ürün miktarına kayda değer seviyede katkılar sağlanmıştır. Endüstriyel otomasyon sistemleri, üretim endüstrilerinin başlıca nimetlerindendir ve bu sistemler sayesinde endüstrilerin, az maliyet, yüksek verimlilik ve doğruluk gibi talepleri yüksek oranda karşılanabilmektedir.

Endüstriyel otomasyonun bir bileşeni olan PLC'ler (Programlanabilir Lojik Kontrolör) uygulama pratikliği sağlaması ve hassas veri işleme hususunda oldukça başarılı donanımlardır. PLC'ler ile haberleştirilen ve kullanıcı arayüzü oluşturmaya imkân sağlayan SCADA (Merkezi Denetim ve Veri Toplama) sistemleri, esnek programlama, veri giriş-çıkışı ve grafiksel görselleştirme imkanları sunabilmektedir.

Bu çalışmada, endüstriyel boyaların üretilmesinde kullanılan ana renk boyaların istenilen oranlarda dozajlama işlemi yapılarak, yüksek hassasiyette ve çeşitlilikte renk elde edilmesine imkân sağlayan bir otomasyon sisteminin SCADA ile kontrol edilmesi gerçekleştirilmiştir. Sistemin bilgisayar ile haberleşebilmesi için SIMATIC WinCC RT yazılımı ile bir kullanıcı arayüzü hazırlanmıştır. Çalışmada, CMY (Cyan, Magenta, Yellow) renklerinden uygun oranlarda dozajlama işlemi yapılarak istenilen renk elde edilmeye çalışılmıştır. Bu işlem için iki farklı seçenek sunulmuştur. Birinci seçenekte; operatör, SCADA ekranında daha önceden reçete değerleri belirlenmiş renklerden birini seçerek renk dozajlama işlemini başlatabilmektedir. İkinci seçenekte ise; operatör tarafından üretilmek istenen rengin CMY sayısal oranları SCADA ekranında girilerek renk üretimi gerçekleştirilebilmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatür araştırmasının yapıldığı bu bölümde PLC ve SCADA sistemleri ile kontrol edilen hassas dozajlama ve karıştırma konularında yapılmış akademik çalışmalara yer verilmiştir.

Günay (1992) yapmış olduğu çalışmada otomatik dozajlama ünitesi, mikroişlemci temelli bir kontrol ünitesi ve yine mikrobilgisayar temelli bir elektronik göstergeden oluşan sistemi değişik hammaddelerin, ağırlık baz alınarak hassas ve otomatik olarak karışımını kontrol etmek amacıyla tasarlamıştır. Sistemin temeli, endüstride büyük kalite sorunlarına ve hammadde kayıplarına yol açan, karışım hazırlama tanklarının tam otomatik olarak kontrol edilmesidir. Bu çalışmasında, yüksek teknoloji gerektiren bu tip bir uygulamanın ucuz elemanlar kullanılarak üretilmesi yoluna gitmiştir. Sistem 16 değişik malzemeyi, daha önce programlanmış olan reçetelere uygun olarak, bir karışım tankı içerisinde tam otomatik olarak karıştırmaktadır. Reçetelerde kullanılan ölçü birimi ağırlık birimlerinden herhangi birisi olabilir ve malzeme sayısı artırılabilir. Bilgisayar ve yazıcı bağlantısı ile karışım bilgileri manyetik bir ortam üzerine kaydedilebilir veya kâğıt üzerine basılabilir bir sistem gerçekleştirmiştir. Sistem, hammaddelerin silolardan bir karışım tankına boşaltılması, teker teker tartılmaları ve bir motor yardımı ile karıştırılmaları aşamalarını kontrol etmektedir.

Bayındır vd. (2011) geliştirdikleri SCADA yazılımında, algılayıcılar ile alınan seviye, sıcaklık ve basınç verilerinin PLC ile kontrol edilmesini sağlamıştır. Bu çalışma ile sıcaklık, seviye ve basınç değerlerinin ofis ortamından gözlemlenip kontrol edilebilmesi sağlanarak endüstriyel alanlarda sıklıkla kullanılan sıvı depolama tanklarında meydana gelebilecek problemlerin ve sistem arızalarının uzaktan kontrolüne imkân tanınmıştır. Sistemlerinin kurulum maliyetini azaltmak amacıyla klasik kumanda sistemlerinde kullanılan kontaktör, röle, sayıcı ve dönüştürme kartı gibi elemanlar geliştirilen bu sistemlerde kullanılmamıştır. Bunun yanında sistemde sıcaklık, basınç ve sıvı seviyesi verilerinin bilgisayar üzerinden eşzamanlı olarak izlenebilmesiyle sistemin takip edilebilmesi sağlanmış ve meydana gelebilecek arızaların bildirimlerle daha kolay tespit edilebilmesi amaçlanmıştır. Böylece meydana gelen arızalara daha hızlı bir şekilde müdahale edilebilmesine imkân sağlanmıştır.

Becerikli (2013) yapmış olduğu çalışmasında PLC ve SCADA sistemleriyle gerçekleştirilen tartım ve dozajlama işlemlerinde karşılaşılan problemlere değinerek,

çözümler üretmeye çalışmıştır. Çalışmasında yer alan tartım sisteminde tartım hassasiyetinin artırılması üzerinde yoğunlaşarak, malzemenin ana tank veya depodan tartılacağı hazneye boşalırken, dış bozucu etkenlerin tartım kalitesini düşürmesini engelleyip çok hassas üretimler gerçekleştirmeyi amaçlamıştır. Geliştirilen bu sistemde üç farklı haznede aç-kapa uygulaması pnömatik kontrollü tartım, manuel düzeltme katsayılarının kullanıldığı pnömatik kontrollü tartım ve PID kontrolörünün kullanıldığı oransal pnömatik valf ile tartım sistemleri karşılaştırılmıştır. Çalıştırılan dozaj sistemi otomatik hale getirilmiş ve bu sistemin endüstriyel olarak uygunluğu sağlanmıştır.

Değirmencioğlu (2008) gerçekleştirdiği çalışmada ağırlık duyarlı elma sınıflandırma otomasyonu tasarlamış ve prototipini imal etmiştir. Bu prototiple dört ayrı ağırlık grubu oluşturularak bu ağırlık gruplarına göre pnömatik alt yapılı bir sistem, PLC kontrollü olarak SCADA yazılımı ile veri haberleşme ve veri depolama uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma uygulamaları sırasındaki deneysel çalışmalarda sürme, tartma ve sınıflandırmanın genel işlem basamağı olduğu ve sınıflandırma toleranslarının tartım aşamasındaki titreşim etkilerinden doğrudan etkilendiği görülmüştür. Bu nedenle ağırlık duyarlı sınıflandırma uygulamalarında sınıflandırma toleransı tartım ve sistem titreşimine bağlı olarak 20 gr.'lık hata payı ile gerçekleştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Aykaç (2010) yaptığı çalışmada, şeker fabrikalarında kullanılan paketleme ve tartım yapan makinelerin tartım doğruluğunu artırmak amacıyla bir prototip tasarlamıştır. Yapılan bu çalışmada üretilen prototip ile fabrika şartlarında tartım ve paketleme sürecinde meydana gelen bazı hataların önüne geçmek amacıyla, çuvallardaki fazla şekeri alan ve eksik şekeri ise dolduran bir sistem geliştirilmiştir. Sistem bir prototip olarak üretildiğinden 50 kg'lık çuvallar yerine 1 kg'lık çuvallara uygun olacak şekilde tasarlanmıştır. Şeker çekme ve doldurma işlemlerinde ihtiyaç duyulan miktar istatistiksel analiz ile belirlenmiş, emiş için vakum dolum için ise küresel bir ventil kullanılmıştır. Pnömatik bir silindir aracılığıyla haznenin yukarı-aşağı hareketi sağlanmış ve tartım bilgileri ise bir indikatör ve yük hücresi yardımıyla alınmıştır. Sistemin kontrolünün gerçekleştirilmesi amacıyla PLC donanımıyla birlikte SCADA arayüzünden yararlanılmıştır.

Büyükgüçlü vd. (2009) yaptıkları çalışmada, SCADA arayüzü ve Borland Delphi nesne yönelimli programlama yazılımı aracılığıyla, malzeme silosu, ağırlık ölçüm ünitesi ve karıştırma ünitesinden oluşan iki malzemeli yem üretimine ait bir otomasyon sistemi tasarlamıştır. Bilgisayar ile tasarlanan sistem arasındaki iletişimi

sağlamak amacıyla seri iletişim portu üzerinden veri akışı sağlayan PLC donanımı kullanılmıştır. Geliştirilen SCADA arayüzünde üretim ile ilgili çeşitli bilgilerle birlikte stok durumu ve sipariş kayıtları gibi veri tabanına ait bilgiler de yer almaktadır. Geliştirilen bu sistemde üretim esnasında, kapakların hangi konumda oldukları, kantarın sahip olduğu değer ve PLC'ye ait veri akışları gerçek zamanlı olarak görülebilmektedir.

Sanamdikar vd. (2013) PLC kullanarak renk üretim ve karıştırma işlemini gerçekleştirmiştir. Bir renk fabrikasında boyaların otomasyonu için en önemli süreç olan renk üretiminin proses kontrolü, yaptığı çalışmanın ana gayesidir. Karıştırma tanklarının yardımı ile procesten gelen tüm renkler reçete değeri miktarınca boya karıştırılarak üç renkten dokuz renk elde etmiştir. Bu sistemi izlemek için SCADA kullanılırken, PLC yardımıyla da kontrol etme ve otomatikleştirme işlemi gerçekleştirmiştir.

Dhiman vd. (2014), çalışmasında PLC ve SCADA kullanarak kimyasal sıvıyı otomatik olarak şişelere doldurmak ve SCADA ekranında görselleştirmek için hibrid yöntemini tasarlamıştır. Geliştirilen bu yöntemle programlama esnek, hızlı ve kolay hala getirilerek bu sayede toplam ürün üretimini artırmayı ve üretimdeki bu artıştan da önemli finansal faydalar ve tasarruflar sağlayabilmeyi amaçlamıştır. Birçok otomasyonda süreçler belirli bir zamanda istenen bir talebin elde edilmesi için gereklidir. Örneğin üretim hızı dakikada 35 şişe ise ve talep dakikada 65 şişeye yükselirse, işletim hızının artırılması gerekir, ancak talep aniden düşerse üretim oranının düşürülmesi gerekir. Yapılan bu araştırma; iyileştirilmiş operasyonel parametrelere sahip olmak için hız kontrol problemlerinin üstesinden gelmeye yönelik bir çalışmadır.

Giri vd. (2014) geliştirdiği boya karıştırma makinesinde üç ana renk olarak kırmızı, mavi ve sarı rengi kullanmıştır. Üç tankı da seviye sensörü ile donatmış ve hidrolik hat ile solenoid valfleri beslemiştir. Tanktaki kırmızı, mavi ve sarı renk boyalar, hidrolik hattan solenoid valf aracılığıyla karıştırma tankına akar. Solenoid valf, PLC'ye bağlı bir dijital çıkış cihazıdır. Beyaz renk tonunu, siparişteki gereken orana göre 4. tanktan aktarır. Karıştırma tankının ağırlığını bir ağırlık ölçüm sensörü ile hesaplamıştır. Karıştırma tankında bulunan karıştırıcı ile de mevcut olan rengi karıştırarak istenilen rengi elde etmiştir.

Hassan (2015) çalışmasında; renk karıştırma makinesinin tasarımının aşaması dahil tüm süreçte karşılaşılabilecek problemleri ele almıştır. Tasarımı farklı renklerdeki sıvıların depolama tankından istenilen renk verilerinin aktarılmasına ve karıştırma işleminin yapılmasına dayanır. Bu sistemdeki tüm süreci, istenilen rengi algılanması,

tanktaki vananın açılması ve kapanması, ısıtma ve çalkalama gibi işlemlerin yapılması ve karışımın doldurulmasını otomatik olarak yapmıştır. Ayrıca kullanıcının üç ana rengi kendi belirlediği oranda karıştırarak istediği rengi üretmesini sağlamıştır. Tüm üretim aşamasını izlemek için SCADA'dan yararlanmıştır.

Brindha vd. (2018), çalışmasında PLC ve SCADA ile renk karıştırma mekanizmasını Arduino kullanarak tam otomatik bir renklendirme makinesine dönüştürülmesinde yer alan işlem aşamalarını açıklamıştır. Yaptığı tasarımında, MATLAB GUI'de renk seçimiyle renk karıştırma girdilerinin aktarılmasına ve ana renkler ile işlem yapılmasına odaklanmış olup karıştırma tanklarının yardımı ile prosesten gelen tüm renkleri istenilen oranda karıştırmıştır. Çalışmasında RBY (Red, Blue, Yellow) renklerini kullanmış olup, diğer farklı renkleri istenilen oranlarda karıştırarak üretmiştir. Arduino'yu, dijital veya analog giriş / çıkış modülleri üzerinden proses işlemlerini kontrol etmek için kullanmış olup bu yöntemle; endüstriyel sektörün ihtiyaçlarına cevap vermenin temel amacı olan düşük maliyet, kompakt sistem, üstün kalite, artan verimlilik ve yüksek kâr gibi çeşitli hedeflere ulaşmayı amaçlamıştır.

Avhad vd. (2017) çalışmalarında, bir kontrolör olarak PLC kullanılarak, yeşil ve mavi renkteki iki sıvıyı karıştırıp Cyan rengini üretmiştir. Konveyör bandı üzerinde hareket eden şişeleri algılamak için fotoelektrik sensör kullanmıştır. Konveyör bandı AC motor kullanarak hareket ettirmiş, her seferinde sabit miktarda ürün üretmek için renk seviyesini algılayan sensör kullanmıştır. PLC ile arayüze bir dizi otomasyon komutu girip, SCADA ile de bilgisayar ekranında renk üretimini görselleştirmiştir.

Gadhe vd. (2018) çalışmasında, farklı tipteki sıvıların sabit miktarlarda karıştırılması ve şişelere doldurulması için karışımın istenilen şekilde ölçüm ve dozajlanmasını sağlayarak ürettikleri makinede düşük işletme maliyeti, düşük güç tüketimi, doğruluk ve esneklik kazandırmaya çalışmış ve hata olasılığını en aza indirerek ürün kalitesini korumayı amaçlamıştır. Karıştırma, seviye kontrolü ve şişe doldurma işleminin süresi, kullanıcı tanımlı merdiven mantığı programına dayalı olarak PLC üzerinden kontrol etmiştir. Prototip sistem herhangi bir sayıda sıvının değişen oranlarda karıştırılmasına uygun olup, gereksiz sıvı dökülmelerinin etkili bir şekilde önüne geçilmiştir.

Sreejeth vd. (2016) yaptıkları çalışmada, endüstrideki tekrarlanan görevleri otomatikleştirerek verimliliği arttırmak, hata olasılığını azaltmak ve ürün kalitesini korumak amacıyla PLC tabanlı otomatik sıvı karıştırma ve şişe doldurma sisteminin bir laboratuvar prototipini geliştirmiştir. Önceden tanımlanmış oranda iki farklı sıvının

kontrolünü ve karışımını otomatikleştirerek ve üretilen karışımı doldurmak için kalite kontrolünü sağlayarak, insan müdahalesini en aza indirmeye çalışmıştır. Karıştırma sistemi iki farklı depolama tankından sıvıları çeker ve bunları kullanıcı tarafından önceden tanımlanan bir oranda karıştırarak bir üst haznede depolar. Şişeleme sisteminde konveyörde bekleyen boş şişelere sıvılar üst depodan aktarır. Geliştirilen prototip sistemde, yüksek ve düşük seviye sıvı sensörlerine sahiptir ayrıca operatörü uyarmak için acil durum alarmı ve otomatik durdurma özellikleri mevcuttur. Projesindeki otomasyon sistemi sayesinde işletme maliyetlerini azaltmış ayrıca daha iyi kalite kontrol ve endüstriyel güvenlik standartları sağlamıştır.

Sebastian vd. (2015) çalışmasında boya karışımında otomasyon sistemi kullanarak sabit orantıda farklı renklerin karıştırılmasıyla boya üretimini gerçekleştiren bir sistem geliştirmiştir. Tüm sistemin kontrolü SCADA sistemi tarafından denetlenmiş ve PLC ile programlanması yapılmıştır. Dozajlama işlemi, boya karıştırma, taşıma ve paketleme bölümü dahil olmak üzere 3 ayrı prosesten oluşmaktadır. Başlangıçta boya, istenen renk oranına göre oluşturulmuş ve konveyör bant ile paketleme bölümüne sevk edilmiştir. Son olarak paketleme bölümünde paketlenerek işlem sonlandırılmıştır. Bu sistemde kullanıcı SCADA üzerinden istenilen miktarda renk girebilmektedir. Geliştirdikleri otomatik boya karıştırma ünitesi ile insan müdahalesi en aza indirilmiş olup renklerin üretilmesinde, süreci etkileyecek büyük hataların önüne geçilmesini sağlamıştır.

3. BOYA DOZAJLAMA SİSTEMLERİ VE KULLANILAN YÖNTEMLER

3.1. Boya Dozajlama Sistemleri

Boya dozajlama sistemleri, bir renklendirme süreci boyunca reçeteden alınan değerleri, operatör inisiyatifi olmadan doğru oranda ve miktarda dozajlama işlemi gerçekleştiren makinalardır. Bu sistemlerin temel amacı insan kaynaklı hataları ortadan kaldırmak ve renklendirme işleminde standardizasyonu sağlamaktır. Böylece çalışanlar korozif kimyasallara maruz kalmadan farklı renklerin üretimi otomatik bir şekilde gerçekleştirilir.

Boya renklendirme işleminde, baz adı verilen ürünler fabrikalarda renksiz olarak üretilir ve son tüketiciye ulaşması için satış noktalarına gönderilir. Satış noktalarında bulunan makineler yardımıyla bu bazlar müşterinin talep ettiği tonda renklendirilerek müşteriye sunulur. Dozajlama makineleri bazlar, renk katalogları, renk formülleri ve sistem bileşenleri gibi tüm elemanları belirli standartlarda tutarak, üretilen renk tonunun her seferinde aynı tonda üretilmesini garanti eder. Bu sistemler binlerce renk üretimine imkân sağlayarak tüketici taleplerini yüksek oranda karşılar. Ayrıca bu sistemler üretici firmalar ve bayiler için de son derece avantajlıdır. Bu avantajlardan bazıları şunlardır;

- Dozajlama sistemleri bazların çok büyük miktarda üretimine olanak tanıdığından litre başına üretim maliyetini düşürür.
- Her bir renk tonu için ayrı ayrı üretim ve depolama ihtiyacı ortadan kalktığı için satış maliyetleri azalır.
- Az miktarda talep edilen ürünler kolay ve ekonomik bir şekilde üretilebilir.
- Talep edilen her renk tonu üretilebildiğinden bayiler daha fazla ürün üreterek hazır renklerden daha fazla seçenek sunar. Böylece daha fazla kâr elde eder.

Renklendirme sistemleri avantajlarının yanında çeşitli dezavantajlara da sahiptir. Öncelikle sistemi kullanacak bayilerin, sistemin kullanımı konusunda yeterli bilgi ve beceriye sahip olmaları zaman alabilmektedir. Örneğin sistem tarafından renklendirilen ürünler ile fabrika renkleri arasında zaman zaman ton farkı olabilmekte ve buna dikkat edilmediği durumlarda çeşitli sıkıntılar meydana gelebilmektedir. Benzer şekilde bazların kimi zaman aynı tonda üretilmemesi bu bazlardan üretilen renkler arasında da

ton farklılıkları olmasına sebep olabilmektedir. Bu tür problemlerin giderilmesi tecrübe gerektirdiğinden dozajlama sistemine geçiş süreci sıkıntılı olabilmektedir. Bu sebeple sistemi kullanacak olan operatörlerin bilgilendirilmesi ve gerekli eğitimlerin verilmesi ortaya çıkabilecek problemlerin ve müşteri şikayetlerinin önüne geçilmesi açısından önem arz etmektedir (Mixservis, 2015).

Kimyasal ürün tesislerinde olduğu gibi katı ve sıvı tüketim ürünlerinin de uygulama alanları çok geniştir. Bu ürünlerde insan sağlığını yakından ilgilendirdiğinden dolayı ürünlerin el değmeden otomatik sistem aracılığıyla üretilmesi ürünün kaliteli, yüksek verimli ve hijyenik olmasını sağlayacaktır. Bu uygulamalarda da dozaj sistemlerinin mutlaka olması gerekmektedir. Bir bisküvi fabrikasının üretim prosesi un, şeker ve diğer katkı malzemelerinin belli bir oranda alınıp karıştırılıp diğer ünitelere sevk edilmesinden oluşmaktadır. Aynı şekilde meyve suyu üretiminden, hazır çorba üretimine kadar birçok üretim alanı mevcuttur. Bu alanların tamamında dozajlamanın hassas ve istenilen miktarlarda gerçekleşmesi tesislerin üretim kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir.

3.2. Renk Üretim Süreci

Günümüzde renk karıştırma sistemleri için uygulamada kolaylık sağladığı ve daha sağlıklı sonuçlar verdiğinden, renk formülasyonlarının içeriğinin açıklandığı ve yüzde olarak hangi renkten ne oranda bulunduğunu gösteren kataloglar kullanılmaktadır. Bu kataloglardan seçilen rengin reçete değeri ne ise dozajlama cihazları o oranda boya dozajlayarak müşterinin istediği rengi elde etmektedir.

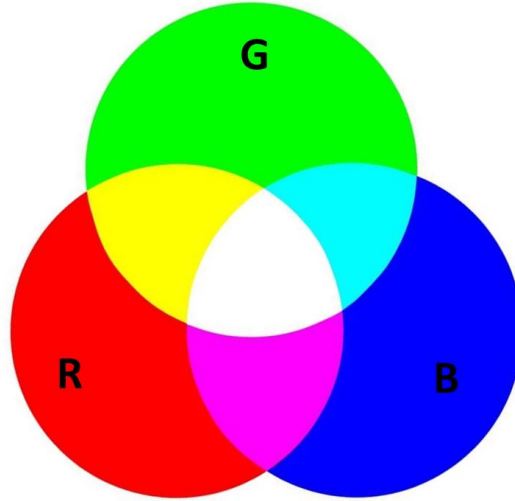
Belirli bir renk tonuna ilişkin talep oluştuğunda hangi renklerin kullanacağı, renklerin maliyeti gibi veriler bir bilgisayar yazılımında işlenerek renk formülleri çıkarılır. Bu formüller bazların renklendirilmesinde kullanılmak üzere renklendirme cihazlarında test edilerek gerekli görüldüğünde düzeltmeler yapılır. Müşterilerden gelen yeni talepler doğrultusunda formül çalışmaları da sürekli olarak geliştirilmektedir. Bu sebeple altyapı çalışmaları da sürekli olarak devam etmektedir.

Renklerin üretiminde bazlar üretim sürecinin önemli bir aşamasını oluşturmaktadır. Bazlar sayesinde renk üretiminde maliyet son derece düşmektedir. Bazlarda meydana gelecek en küçük sapmalar bile renk tonlarında farklılıklara sebep olacağından bazların sürekli olarak aynı değerde üretilmesi gerekir (Mixservis, 2015).

Sistemde renklendirici ilavesi yapılan baz kabı genellikle jiroskopik mikser veya çalkalayıcı ile karıştırılır. Bunlar kapalı kap karıştırıcılardır. Kaplar kapalı ortamda karıştırıldığı için hem saf ve temiz bir renk elde edilmiş olur hem de el mikseri gibi bir aparat kullanımına gerek kalmadığından çevre kirliliğinin önüne geçilmiş olur. Bu karıştırıcılara birden fazla kap konulması genellikle önerilmez. Jiroskopik mikserler daha yumuşak bir çalışma sistemine sahip olduğundan dolayı kap hasarı az olur fakat boya sızma olasılığı daha fazladır.

3.3. Uygulamada Tercih Edilen Yöntem

Günümüzde neredeyse tüm görüntüleme sistemleri RGB (Red, Green, Blue) olarak da bilinen ışık renk teorisi ile çalışmaktadır. Bu teoriye göre bütün renkler ana renkler olan kırmızı, yeşil ve mavi renklerinin çeşitli oranlarda karışımından elde edilebilmektedir (Polat, 2012). Mavi ile yeşil renk ışınların birleşimiyle cyan, kırmızı ile mavi renk ışınlarının birleşimiyle magenta, kırmızı ile yeşil renk ışınlarının birleşimiyle de sarı renk elde edilmektedir. Bu üç renk ışınının birleşiminden ise beyaz renk meydana gelmektedir (Canikligil, 2014). Bu üç temel rengin çeşitli oranlarda birleşiminden tüm renkler oluşabilmektedir. Ancak bu üç renk hiçbir karışım ile elde edilemeyen temel renklerdir (Seylan, 2005).



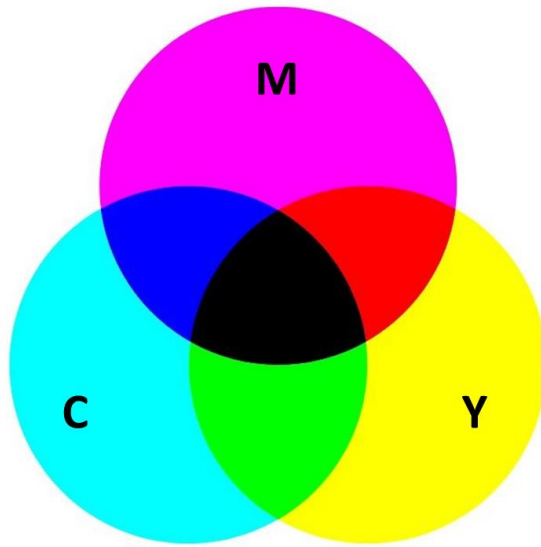
Şekil 3.1. RGB ışık bileşimi (Karataş, 2017)

Işık renklerinin oluşumunda, karışıma ışık eklenerek renk üretimi gerçekleştiği için bu işlem eklemeli karışım olarak ifade edilir. Eklemeli karışım yoluyla elde edilen renkler daha açıktır. Bu sebeple üç ana ışık kaynağından çıkan renkler karıştırıldığında beyaz ışık meydana gelir. Bu ışık renklerinin her birisi değişen yoğunluklarda kullanıldığında, görünür spektrumdaki her rengi üretebilir, ancak monitörler yalnızca belirli bir aralıkta görüntü verebilir (Polat, 2012).

Nesnelere rengini veren maddeler ise pigment olarak adlandırılır. Pigmentler gerek doğal kaynaklardan ve gerekse laboratuvar ortamında üretilen kimyevi maddelerden elde edilir. Günlük hayatta kullanılan boya ve mürekkepler bu yolla elde edilen pigmentler yardımıyla renklendirilir (Ketenci & Bilgili, 2006)

Pigment renklerinin birbiriyle karışması neticesinde karışımdan yansıyan ışınlar azaldığından bu işleme çıkarmalı karışım adı verilmektedir. Işığı azaltarak renk kazanan pigmentler bu yolla nesneleri boyar. Buradaki pigment renkleriyle boyama işlemi ışığın renklendirmesi sürecindeki işlemin tam tersidir. Bu renklerin birbirleriyle karışması, yansıyan ışığın azalmasına neden olacağından işlem sonucunda siyah renk elde edilir. Çıkarmalı karışım renkleri, eklemeli karışım renklerine göre daha koyudur (Hasanusta, 2013).

Işık renk modelinde kırmızı, yeşil, mavi renkler ana renk iken, pigmentlerle üretim yapılan boya endüstrisinde ise CMY (Cyan, Magenta, Yellow) renkleri ana pigmentleri oluşturmaktadır.



Şekil 3.2. CMY renk modeli (Karataş, 2017)

CMYK olarak da tabir edilen bu renk modeli, yazıcılar ve matbaa işlerinde kullanılan cihazlar gibi renkli baskı elde etmek için kullanılan cihazlarda tercih edilen bir renk modelidir. CMYK adını oluşturan harflerde C, M ve Y harfleri Cyan, Magenta ve Yellow olarak ifade edilen renkleri temsil ederken K harfinin siyahı temsil etmesi, siyah rengin “Key Color” yani anahtar renk olarak ele alınmasından kaynaklanmaktadır (Altunoğlu, 2017). Siyah renk, koyu tonları belirginleştirmek ve kontrast oluşturmak amacıyla baskı işlemlerinde yardımcı bir filtre olarak kullanılır.

CMYK renk modeli, daha hafif, genellikle beyaz bir arka plan üzerinde renkleri kısmen veya tamamen maskeleyerek çalışır. RGB gibi ışık renk modellerinde beyaz, tüm ana renk ışıkların birleşiminden oluşur, siyah ise ışığın hiç olmamasıdır. CMYK modelinde tam tersi: beyaz, kâğıdın veya diğer arka planın doğal rengidir. Teorik olarak, CMY renkleri eşit oranda karıştırıldıklarında bütün renkleri soğuracağı için ışık yansımaz ve ortaya siyah renk ortaya çıkar. Fakat kâğıdın yüzeyi beyaz renk olduğu için yansıma olacağından bu renk tam olarak siyah değil, koyu kahverengimsi gibi görünmesine neden olmaktadır. Ayrıca mürekkepten tasarruf sağlamak ve daha derin tonda renkler üretmek için cyan, magenta ve sarı kombinasyonu yerine siyah mürekkep kullanılarak doymamış ve daha koyu tonda renkler üretilir (MEB, 2011b).

Bu çalışmada çıkarmalı modelin tercih edilmesinin sebebi gerçek ortamda renk üretimi gerçekleştirildiği için daha uygun olmasıdır. Eğer renk dönüşüm şemasına tekrar bakılırsa RGB ara renklerinin CMY renklerini verdiği, CMY ara renklerinin de RGB renklerini karşıladığını görülmektedir. Bu nedenle ana renklerin karışımından ara renkleri üretmek için CMY renk modeli kullanılmaya karar verilmiştir.

3.4. Renk Bileşimi ve Dönüştürme Yöntemleri

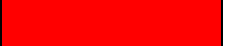
Gerçek hayattaki renklerin tamamı bu RGB (Kırmızı, Yeşil, Mavi) renk uzayı birleşimleri ile elde edilebilir. Görüntü işleme aşamasındaki tüm işlemler görüntüyü oluşturan piksellerin sahip oldukları renk bilgileri üzerinden gerçekleştirilir. Görüntünün her bir pikseli, parlaklık yoğunluğunu gösteren pozitif bir tamsayı değeri ile ifade edilir. Görüntü elemanının minimum ve maksimum genlik değerleri aralığı, adımlara ayrılır ve piksel, karşılık gelen adım değerine en yakın olan görüntü değerini elde eder.

Renkli görüntülerin tümü ekranın üstüne binen, RGB olarak kodlanmış aynı nesnenin görüntüsünden oluşur. Renkli görüntüyü oluşturan bu üç renge bant denir.

Renkli görüntülerde her piksel bilgisayar ekranlarında 24 bitlik veri olarak görüntülenir. Yani bir pikseldeki her bir renk kodu (RGB) için 8 bitlik (1 Byte) bellek alanı ayrılmıştır. Bir başka deyişle, her bir renk 8 bit ($2^8 = 256$) ile kodlanacağından, üç renk (RGB) $3 \times 8 = 24$ bit ile kodlanacaktır (Kızılkaya, 2008). Bu durumda, RGB renklerinde oluşan her piksel, $2^8 * 2^8 * 2^8 = 2^{24} = 16.777.216$ (yaklaşık 17 milyon) adet farklı renk değerine sahip olacaktır (Rapidtables, 2019). Bu renklerin birleşiminin değer aralığı RGB = (0, 0, 0), ..., (255, 255, 255) olarak gösterilir.

Aşağıdaki çizelgede bazı standart renkler ve RGB değerleri listelenmiştir;

Çizelge 3.1. Bazı temel renklerin RGB değerleri

Renk	Kırmızı Değeri	Yeşil Değeri	Mavi Değeri	Görünüm
Kırmızı	255	0	0	
Yeşil	0	255	0	
Mavi	0	0	255	
Beyaz	255	255	255	
Siyah	0	0	0	
Cyan	0	255	255	
Magenta	255	0	255	
Sarı	255	255	0	

3.5. Renk Dönüşüm İlkeleri

Işık renkleri, çıkarmalı renkler olarak bilinen CMY renklerinden daha geniş bir spektruma sahiptir. Baskı işlerinde kullanılan çıkarmalı renklere gelince, üretebileceği renk yelpazesi RGB renklerinden daha küçüktür. RGB'nin daha dinamik haldeki renk tonlarını CMY renklerinde canlı görünmüyor olabilir. Bu nedenle her zaman, baskı için alınan resim ile ekran görüntüsü arasında farklılık oluşmaktadır.

Bir RGB görüntüsü yazdırıldığında, yazıcının doğru şekilde işlenmesi için görüntüyü CMY olarak değiştirmesi gerekmektedir. CMY renk uzayı; cyan - kırmızı rengi, magenta - yeşili ve sarı da mavi rengi tamamladığı için RGB renk uzayının tamamlayıcısıdır. RGB ve CMY birbirinin tamamlayıcısı olduğu için, bu iki renk uzayı arasında dönüşüm yapılabilir. RGB'den CMY'ye geçmek için, beyaz ışıktan çıkarma işlemi uygulanır.

RGB => CMY renk dönüşümü için;

$$C = 1 - (R / 255) \quad (3.1)$$

$$M = 1 - (G / 255)$$

$$Y = 1 - (B / 255)$$

formülü uygulanmaktadır (Ford, 1998).

Formüle göre RGB renk kodu (127, 0, 127) olan mor rengin CMY kodu karşılığı (0.5, 1, 0.5) olmaktadır.

Diğer bir renk uzayı olan CMYK'nın da CMY renk uzayına dönüşümü gerçekleştirilebilir. Yalnız burada dönüşüm yapmak için K (Key Color) bileşeni C, M ve Y bileşenlerine eklenir (Briggs, 2019). Aşağıdaki adımlar da bu işlem aşamalarından bahsedilmiştir.

(CMYK)₂ => (CMY)₁ renk dönüşümü için;

$$C_1 = C_2 (1 - K) + K \quad (3.2)$$

$$M_1 = M_2 (1 - K) + K$$

$$Y_1 = Y_2 (1 - K) + K$$

formülü uygulanmaktadır (Ford, 1998).

Koyu yeşil rengin CMYK renk kodu (0.12, 0, 0.51, 0.60) iken hesaplama sonucu CMY kodu (0.65, 0.6, 0.80) olmaktadır.

CMY => CMYK dönüşümlerinde ise $K = \min(C, M, Y)$ işlemi geçerlidir. Yani K değeri için CMY bileşenlerinden minimum değerde olanı alınarak formülde dönüşüm gerçekleştirilir.

4. PLC VE SCADA SİSTEMLERİ

Günümüz modern üretim süreçlerinde bilgisayar destekli otomasyon sistemleri yaygınlaşmakta olup PLC ve SCADA sistemleri bu otomasyon sisteminde en çok tercih edilen uygulamalardır. Endüstriyel işletmelerde otomasyon sistemleri etkili bir şekilde kullanıldığında iş hızı, kalitesi ve üretim miktarının arttığı, endüstriyel kazalar ve insan hatalarının da azaldığı görülmektedir. Bu gibi sebeplerden dolayı otomasyon sistemleri endüstride en çok tercih edilen sistemler olup, PLC ve SCADA' da bu sistemler içinde en çok tercih edilenleridir.

Otomatik kontrol sistemleri, geleneksel kontrol sistemlerine göre daha geniş ölçekte ve kolaylıkta bilgi toplama, değerlendirme, saklama ve kaydetme gibi imkânlar sağlamaktadır (Eminoğlu, 2017). Ayrıca bu sistemler analog ve dijital giriş ve çıkışların yapıldığı, değerlendirildiği ve işlem kontrol ünitelerinde mantık devrelerinin programlanabildiği PLC sistemlerinden, operatör ve uzaktan kontrol ünitelerinden ve bu elektronik cihazlar arasında haberleşmeyi sağlayan SCADA sistemlerinden oluşmaktadır.

Bu çalışmada sistem; PLC ile programlandığı ve SCADA ile izlenip, kontrol edildiği için bu bölümde PLC ve SCADA sistemleri hakkında genel bilgi verilmektedir.

4.1. Programlanabilir Lojik Kontrolör (PLC)

4.1.1. Genel tanım

Programmable Logic Controller kelimelerinin baş harfleri alınarak kısaltılması oluşturulan PLC giriş cihazlarının durumunu sürekli olarak izleyen ve çıkış cihazlarının durumunu kontrol etmek için özel bir programa dayalı kararlar veren bir mikro bilgisayardır. Genellikle endüstriyel ortamlarda kullanılmak üzere üretilmiştir. Süreçleri veya sistemleri kontrol etmek ve yönetmek için birçok giriş ve çıkış portu PLC'ye entegre edilmiştir. Buna ek olarak, endüstriyel uygulamada kullanılan bazı iletişim protokolleri PLC'de mevcuttur.

PLC sistemlerinin geliştirilmesi ile otomatik kontrol ünitelerinde hız, kontrol, ürün kalitesi ve güvenlik önemlerindeki artışın yanı sıra, yeni ürünler imal etmek için yeniden kumanda devrelerinin oluşturulması, montajı ve bağlantı aparatlarındaki değişiklikler yerine sadece PLC programlama ile giderilmesi işletmelere çok büyük

kullanım kolaylığı ve esnekliği sağlamaktadır. Bu tarz avantajlar endüstriyel otomasyon devrelerinde PLC tabanlı kontrol sistemlerine duyulan ihtiyacın giderek artmasına neden olmuştur.

4.1.2. PLC kullanım alanları

PLC'ler genellikle paketleme ve ambalaj sistemlerinde, taşıma sistemlerinde, tekstil, kimya ve otomotiv endüstrisinde, çimento sanayisinde, havalandırma ve soğutma tesislerinde, gıda endüstrisi vb. alanlarda kullanılmaktadır. PLC'nin genel uygulama alanları şu şekildedir;

- **Sıralı Kontrol:** PLC'nin en büyük özelliğinden birisi de sıralı çalışmadır. Bu nedenle röleli sistemlere yakındır. Genellikle asansör ve paketleme sistemlerinde kullanılır.

- **Hareket Kontrolü:** Doğrusal ya da döner hareket sistemlerinin PLC'de entegrasyonudur. Genellikle Kartezyen robotlar, film, kauçuk, kumaş ve tekstil üretiminde kullanılır.

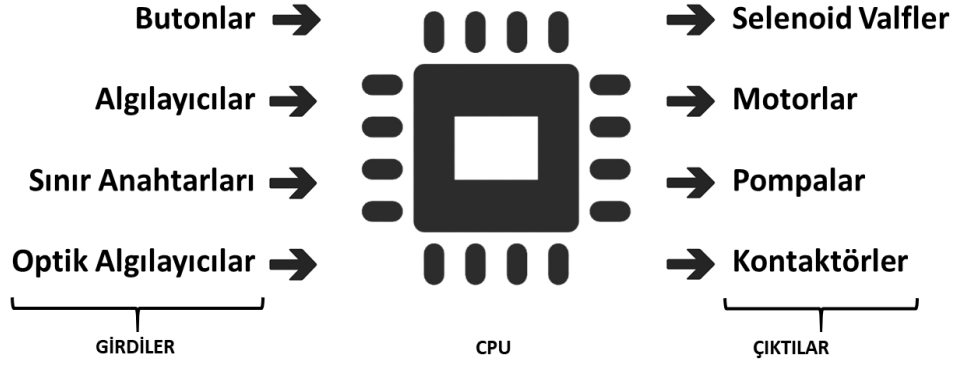
- **Süreç Denetimi:** PLC'nin birkaç parametreyi denetlediği bir adımdır. Bu alana plastik enjeksiyon makineleri, ısıtma fırınları gibi sıcaklık, basınç, debi, ağırlık gibi denetimlerin yapıldığı alanlar verilebilir.

- **Veri Yönetimi:** PLC'ler denetlediği sistemler hakkında veri toplayabilir. Sonra bu verileri, denetleyicinin belleğindeki referans veri ile karşılaştırma yaparak, rapor hazırlamak için bir aygıtı veri aktarılabilir. Bu uygulama da stoklama gerektiren büyük işletmelerde kullanılır (Altın, 2011).

4.1.3. PLC temel yapısı

PLC'ler mikroişlemci tabanlı otomasyon sistemlerinde, kumanda devrelerinde kullanılan yardımcı röle, zamanlayıcı ve sayıcı gibi elemanların yerine kullanılan cihazlardır. Hızlı ve güvenli bir şekilde karmaşık otomasyon problemlerini çözmek bu sistemler sayesinde mümkündür (MEB, 2011a).

PLC'nin yapısı Şekil 4.1.'de gösterildiği gibi üç temel yapıdan oluşmaktadır.

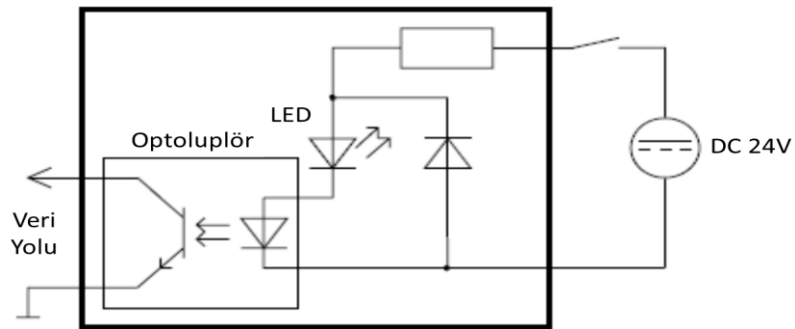


Şekil 4.1. PLC temel yapısı

4.1.3.1. Giriş belleği

Kontrol edilen sistemin basınç, seviye, sıcaklık gibi değerleri sensörler aracılığıyla okuyan, buton ve sınır anahtarları gibi elemanlardan (algılayıcılar) alınan elektriksel değerleri (giriş sinyalleri) lojik değerlere dönüştürerek CPU'ya (Giriş Görüntü Belleği) aktaran birimlerdir (Eminoğlu, 2014). Markalarına ve modellerine bağlı olarak, PLC'ler yalnızca dijital veya hem dijital hem de analog giriş birimlerine sahip olabilir.

PLC'nin giriş belleği, kontaksız girişler olarak tasarlanmıştır. PLC'ye diğer elemanlardan gelen sinyaller optokuplör ile elektriksel olarak yalıtılmıştır. PLC giriş sinyal gerilimleri genelde DC 24V olarak üretilmektedir. Bir giriş PLC tarafından sorgulanırken kontrolörün giriş terminalindeki voltaj ölçülür. Dijital giriş oldukları için yalnızca "1" veya "0" şeklinde iki sinyal değerine sahiptir. Giriş terminalindeki sinyal değişimleri modülün tipine göre değişmektedir (Karayel, 2013).



Şekil 4.2. PLC giriş modülü genel yapısı (Arı, 2011)

4.1.3.2. CPU (Merkezi işlem birimi)

Merkezi işlem birimleri PLC sistemlerinin beyin kısmını oluşturur. CPU, kontrol röleleri, sayıcılar, zamanlayıcılar ve sıralayıcıların yerine geçen çok işlemcili bir sistemdir. Sayısal verileri işlerken, hesaplamalar, ölçüm, kontrol ve kayıt işlemlerinin yanı sıra ikili koddaki sinyallerin basit işleminden geçirilmesinde PLC işlemcileri kullanılır. CPU, çeşitli algılama aygıtlarından giriş verilerini kabul eder, depolanan kullanıcı programını bellekten yürütür ve kontrol aygıtına uygun komutlar gönderir.

4.1.3.3. Çıkış belleği

Bu üniteler, CPU tarafından çıkış görüntü hafızasına yazılan lojik değerleri (0-1 veya analog sinyaller) elektriksel işaretlere dönüştüren birimlerdir. Kontaktör, röle ve solenoid gibi sistemdeki kontrol bileşenlerini sürmeye uygun donanımdadır. Çıkış ünitesi röle, transistör veya triyak çıkışlı olabilir (Özer, 2016).

4.1.4. PLC’de program işleme mantığı

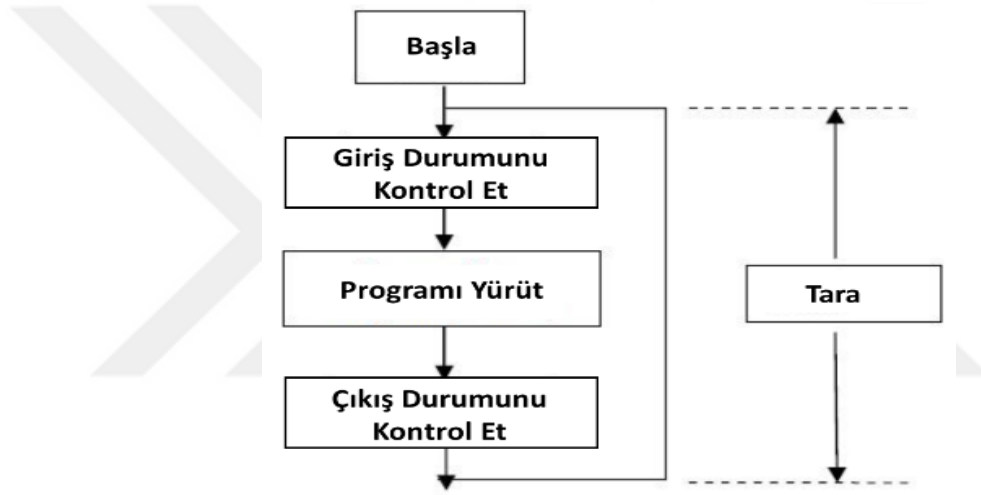
PLC pasif haldeyken çalışma (RUN) moduna alındığında çıkış hafızasını sıfırlama işlemi yapar. Sonra giriş elemanlarından alınan veriler okunur ve giriş hafızasına kaydedilir. PLC’nin çalışma mantığı, yazılmış olan bir programı sürekli tarayarak gerçekleşmektedir. Tarama döngüsü üç temel adımda gerçekleşir. PLC stop moduna alınıncaya kadar çevrim işlemini sürekli olarak tekrar eder.

- **Adım 1: Giriş Durumunu Kontrol Et:** İlk olarak, PLC hangi girişin açık veya kapalı olduğunu görmek için girişlerin her birini kontrol eder. Başka bir deyişle, bir anahtarın veya sensörün aktif olup olmadığını kontrol eder. İşlemcinin bu adımda elde ettiği bilgi, aşağıdaki adımlarda kullanılmak üzere hafızada saklanır.

- **Adım 2: Programı Yürüt:** Burada PLC, yüklenen programa dayalı olarak ve bir önceki adımda elde edilen verilerin durumuna göre program talimatı yürütür ve uygun eylemi gerçekleştirilir. Eylem bazı çıkışların aktivasyonu olabilir ve sonuçlar bir sonraki adımda kullanılmak üzere belleğe alınır ve saklanır.

• **Adım 3: Çıkış Durumunu Kontrol Et:** Son olarak, çıkış sinyallerini kontrol eder ve gerekli ayarlamaları yapar. Değişiklikler, ilk adımda okunan giriş durumuna ve ikinci adımda program yürütme sonucuna bağlı olarak gerçekleştirilir. Üçüncü adımı uygulanmasının ardından, PLC döngünün başına döner ve bu adımları sürekli tekrar eder.

Bir çevrimin süresi PLC'nin çalışma hızına, kullanılan komutlara ve kontrol programının uzunluğuna bağlı olarak değişim göstermektedir. Genelde bir çevrimlik tarama süresi 3 ms ile 10 ms arasında değişmektedir. Eğer çevrim süresi çok uzun olursa girişlerden gelen sinyal değişiklikleri algılanamayabilir (Yılmaz, 2001). PLC'nin çalışma mantığı Şekil 4.3.'te gösterilmektedir.



Şekil 4.3. PLC tarama çevrimi

4.1.5. PLC'nin avantajları

PLC ile kontrol edilen otomasyon sistemleri endüstride kullanılan en önemli yöntemler arasındadır. Endüstriyel dozajlama işlemi, PLC'nin endüstriyel bir işlemin kontrolüne yönelik çeşitli uygulamalarından birisidir. Şirketlerin; üstün kalite, artırılmış verimlilik ve yüksek kâr gibi isteklerinin karşılanması ve sanayi sektörünün öncelikli diğer hedefleri, otomasyona duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır. Dünya genelindeki tüm tesislerde otomasyon sistemine geçişlere hızla önem verilmektedir. PLC ile yapılan başarılı çalışmalar, mevcut tüm tesislerde ticari olarak otomasyonun uyarlanması zemin hazırlamıştır.

Endüstriyel kontrol uygulamalarında kullanılan PLC'ler klasik kumanda sistemleri ile karşılaştırıldığında çok büyük avantajlara sahiptir. PLC sistemlerinin endüstride kontrol elemanı olarak yaygın kullanımının avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz (MEB, 2011a);

- Geleneksel kumandalı sistem uygulamalarına göre PLC programlama tekniği çok kolaydır.
- PLC'lerde hata düzeltme olayı oldukça basittir. Program üzerindeki değişiklik ile hatalar giderilebilir.
- Kumandalı sistemlerdeki elemanlarla çözülmesi mümkün olmayan problemler PLC'nin donanımı sayesinde çözümlenir.
- Otomasyon sistemlerinin bulunduğu nemli, tozlu ve kirli ortamlardan etkilenmeden çalışır.
- Montajı kolaydır.
- Dayanıklı ve uzun ömürlüdür.
- Dijital ve analog giriş-çıkış üniteleri ek modüller ile artırılabilir.
- PLC'ler haberleşme portları aracılığıyla birbirleriyle irtibat kurabilir.
- PLC'ler yüksek çalışma hızlarına uyum sağlayabilir.
- Mekanik parçası olmadığından arıza oranı düşüktür ve bakım gerektirmez.
- Elektronik yapılı eleman olduklarından enerji tüketimleri azdır.
- Kullanıcı kontrol sürecini izleyebilir gereken yerlerde müdahale bulunabilir.
- PLC'ler sınırsız zamanlayıcı, sayıcı ve röle kullanımına imkân sağlamaktadır.

4.1.6. Haberleşme modülleri

Profibus, Profinet, RS232, RS485 ve GPRS gibi iletişim modülleri, PLC'ler veya diğer cihazlarla iletişim kurmak için kullanılır. S7-1200 model PLC'lerin bilgisayar ile haberleşmesi için Profinet bağlantı kablosu kullanılır. Profinet kablosu gürültüden etkilenmeyen özelliğe sahiptir ve saniyede 10/100 Mbit'e kadar veri aktarımını desteklemektedir (Siemens, 2019).



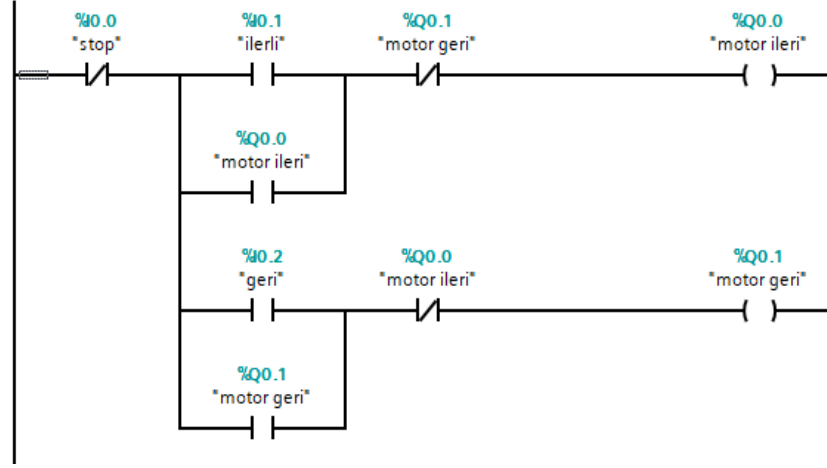
Şekil 4.4. PLC haberleşme modülleri (Siemens, 2019)

4.1.7. PLC'nin programlanması

PLC'ler, sistemlerin kontrol edilmesinde röleler kullanılarak hazırlanan kumanda devrelerinin programsal hale dönüştürülmüş biçimidir. Bu nedenle PLC'nin programlanması gerçekleştirilirken kumanda devrelerine tüm detayları ile hâkim olmak gerekmektedir. PLC birçok programlama diline sahip olsa da en çok Ladder ve FBD programlama dilleri tercih edilmektedir.

4.1.7.1. Merdiven diyagramı (LADDER)

Bu programlama şekli kumanda devrelerinin elektriksel şemasına benzer şekle sahiptir. Ladder programlamada tıpkı gerçek devrelerde kullanıldığı gibi kontaklar ve röleleri temsil eden çıkışlar kullanılmaktadır. Ladder programlama kumanda devlerinin aksine devrelerin hazırlanması yatay eksende yapılmaktadır. Sol taraftan enerjinin alınıp sağ tarafta çıkışa aktarılması esasına dayalıdır. Şekil 4.5.'te merdiven diyagramı şeklinde yazılan örnek bir mühürleme devresi verilmektedir.



Şekil 4.5. Merdiven (LADDER) diyagramı.

4.1.7.2. Fonksiyon blok diyagramı (FBD)

Fonksiyon blok diyagramı, lojik kapılar mantığına dayanan ve görsel bir şekil sunan programlama dilidir. Burada kullanılan lojik terimler sembollerle ifade edilir. FBD dilinde de sol taraf giriş sinyallerini, sağ taraf ise çıkış sinyallerini temsil eder. Kontrol sistemi algoritmaları ve mantığının birbirine bağlanması açısından çok kullanışlıdır. Yukarıdaki mühürleme devresinin fonksiyon blok diyagramı şeklinde gösterimi Şekil 4.6.'da verilmektedir.



Şekil 4.6. Fonksiyon blok (FBD) diyagramı.

4.2. Merkezi Denetim ve Veri Toplama Sistemi (SCADA)

4.2.1. SCADA'nın tanımı ve tarihçesi

SCADA terimi, İngilizce “Supervisory Control and Data Acquisition” kelimelerinin ilk harflerinin alınmasından oluşur. SCADA sistemleri, geniş bir bölgede bulunan birimlerin merkez bilgisayar aracılığıyla kontrol edilmesi, izlenmesi, birimlere ait geçmiş verilerin saklanma vazifesini yapan sistemlere verilen genel bir isimdir (Özdemir, 2015).

Operatörler, SCADA sistemlerini sayesinde bir prosesin işleyişini görüntüleyerek kontrol ve kumanda ederler. Endüstriyel proseslerde telekomünikasyon sistemlerinde, ulaşım sektöründe, enerji santrallerinin kontrolünde kullanılmaktadırlar. SCADA sistemleri sayıları yüzbinleri bulan prosesleri kontrol edebilmektedir (Mohamed, 2017).

SCADA sistemleri, özet olarak; en az maliyetle, kontrol edilen sistemde belirlenen hedefleri tutturabilecek üretim ve denetim sürecinin ve bu süreçte yer alan sistem elemanlarının anlık olarak izlenmesi ve kontrolünün gerçekleştirilmesini sağlayan uygulamalardır (Arı, 2011).

4.2.2. SCADA'nın avantajları

Teknolojinin hızla gelişmekte olduğu günümüz dünyasında otomatik kontrol sistemleri de buna paralel olarak hızla gelişmektedir. İleri endüstriyel toplumlarının hepsinde kullanılmakta olan ve ülkemizde de hemen hemen her alanda yaygınlaşmaya başlayan otomatik kontrol sistemleri hakkında kısa bir inceleme sunulacaktır. Modern üretim süreçlerinde endüstriyel otomasyon sistemlerinin vazgeçilmez oluşu yüksek verim ve kaliteli üretim ile, bu sistemleri kontrol eden elemanların hem ucuz oluşu hem de istenilen vazifeleri tam olarak yerine getirmesinden kaynaklanmaktadır. Böylece iş hızı ve üretim kalitesini artırmakla kalmayıp endüstriyel kazalar ve iş hatalarının da azaltılması sağlanmıştır. Bu gibi sebeplerden dolayı üretim süreçlerinde PLC ve SCADA sistemleri endüstride en çok tercih edilen sistemler haline gelmiştir (Karafil, 2010).

Başta PLC olmak üzere bir çok kontrolörden oluşan otomasyon sistemleri; fabrikaların otomasyon sistemlerinde ve modernizasyonlarında, iç mekanların ısıtma,

soğutma ve iklimlendirme otomasyonlarında, asansör kumanda panolarında, enerji dağıtım ağlarının yönetiminde, otomotiv endüstrisinde, fermantasyon sistemlerinde, gıda, tarım ve hayvancılık sektörlerinde, boya, tekstil, kimya ve ilaç sanayi gibi hassas dozajlamanın gerektiği noktalarda; sıcaklık, basınç, debi, hız, ağırlık vb. fiziksel parametrelerin ölçülmesi, gösterilmesi ve istenilen tolerans değerinde tutulmasında, proses verilerinin karşılaştırılması, raporlanması ve saklanması, endüstriyel tesislerin uzaktan izlenmesi ve kontrol edilmesi gibi yerlerde yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Gümüş, 2009).

Yukarıda anlatıldığı gibi minimum maliyetle, üretilen ürünün kalite ve veriminin artmasının istendiği hemen hemen her alanda kullanılan otomatik kontrol sistemleri için gerekli yapıyı kurmak; işletmelerin, üretim prosesleri arasında veri iletişimine olanak sağlayarak daha üst düzeyde yönetim ve planlanan hedeflere maksimum verimlilikte ulaşılabilmesine katkılar sağlamaktadır.

4.2.3. SCADA'nın kullanım alanları

Endüstriyel otomasyon sistemlerinin temel amacı, üretim aşamasında kullanılan insan gücünü en aza indirerek insani hataların önüne geçilmesi ve belirli bir standardizasyon sağlanarak ürün kalitesini ve hızını artırmaktır.

SCADA sistemleri uzaktan haberleşmeye olanak sağlayarak özellikle ulaşılması zor ve uzak mesafelere müdahale etmeyi kolaylaştırır ve ekonomik avantajlar sağlar (Gülle, 2004). Günümüzde enerji üretim tesislerinde, su depolama ve nakil işlemlerinde, doğalgaz dağıtım hatlarında, ulaşım ve inşaat sektöründe, güvenlik ve bankacılık sistemlerinde, yem üretimi ve iklimlendirme gibi çeşitli alanlarda bu tarz sistemler uygulanmaktadır (Çilek, 2005).

5. PROTOTİP SİSTEMİNİN TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

5.1. Giriş

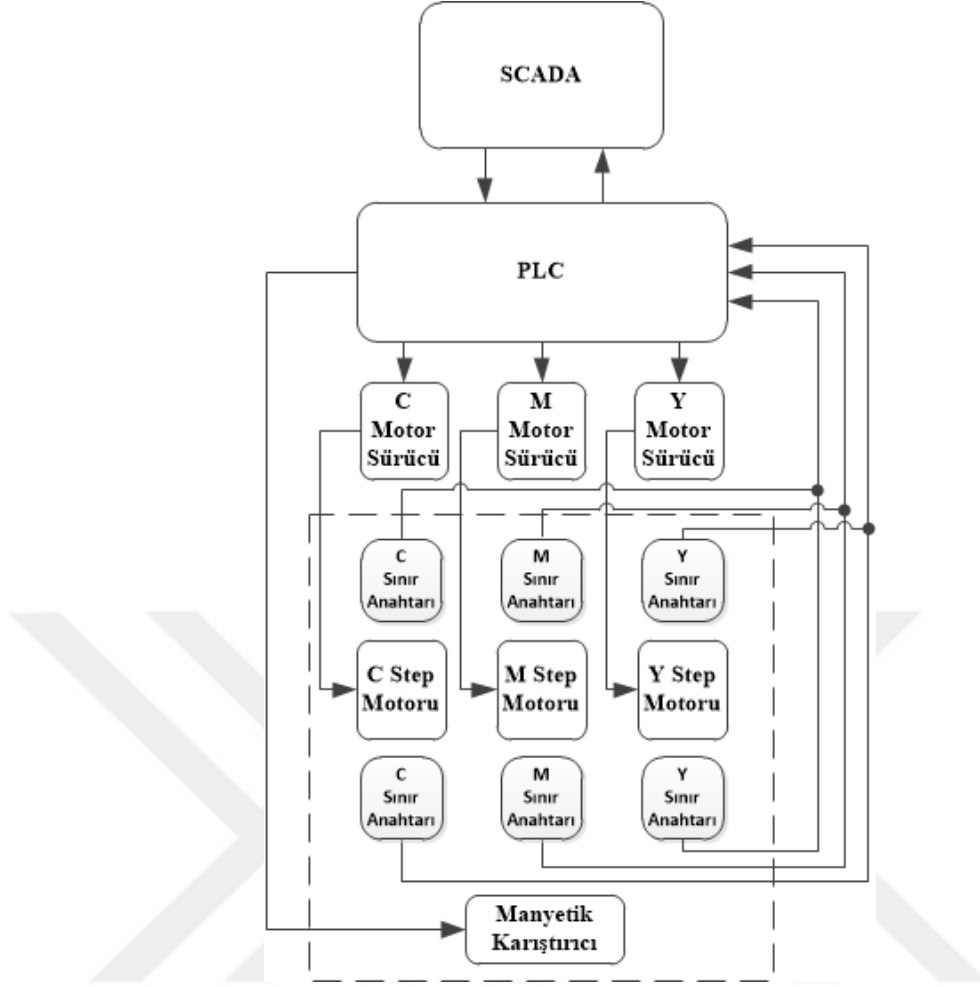
Bu bölümde boya dozajlama sisteminin tasarım aşamasından itibaren gerçekleştirilen işlem basamaklarından bahsedilmektedir. Dozajlama sistemi fiziksel ve programsal olmak üzere iki temel yapıdan oluşmaktadır. Fiziksel yapının tasarlanması sürecinde blok diyagramının çıkarılması, sistemin modellenmesi, tasarlanan modelin üretilmesi ve elektronik aksamının belirlenmesi aşamaları anlatılmaktadır. Programsal alt yapının oluşturulması sürecinde ise PLC cihazının programlanması, SCADA programının akış diyagramının çıkarılması ve arayüzünün tasarlanması aşamalarından bahsedilmektedir.

5.2. Sistemin Fiziksel Yapısı

Sistemin fiziksel yapısının geliştirilmesi sürecinde sırasıyla sistemin blok diyagramının oluşturulması, sistemde kullanılacak olan mekanik ve elektronik malzemelerin temin edilmesi, sistemin 3 boyutlu modellenmesi ve tasarlanan modele uygun prototipin imal edilmesi aşamaları takip edilmiştir. Prototipin başarılı sonuçlar vermesi amacıyla, sistemde kullanılan malzeme ve programların endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak tercih edilenler arasından seçilmesine özen gösterilmiştir.

5.2.1. Sistemin blok diyagramı

Boya dozajlama işlemini gerçekleştirmek amacıyla prototip bir sistem tasarlandı. Tasarlanan sistemde üç step motor, motor sürücüler ile bağlantısı yapılarak PLC ile haberleşmesi sağlanmıştır. PLC cihazı 24V DC gerilim ile beslendi ve haberleşme kablosu ile SCADA'ya bağlantısı yapıldı. Sistemin en alt kısmında ise dozajlanan boyaları karıştırma işlemini gerçekleştirecek üniteye yer verilmiştir. Şekil 5.1.'de sistemin gerçekleştirilebilmesi için oluşturulan blok diyagramı gösterilmektedir.



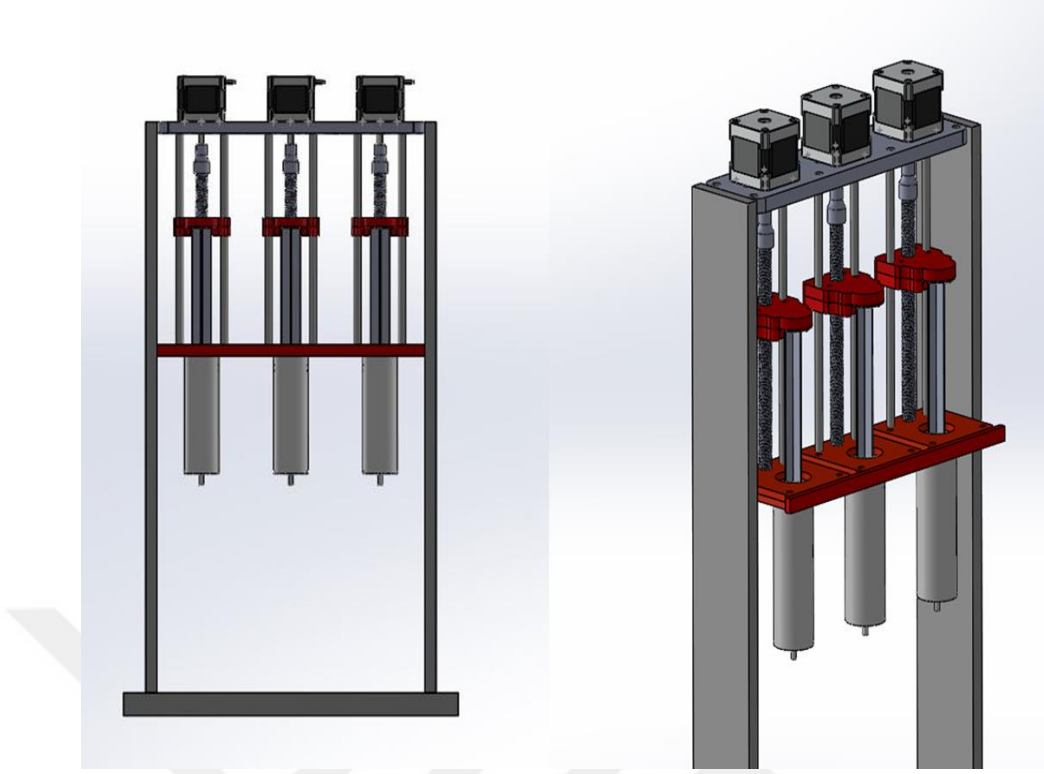
Şekil 5.1. Uygulaması gerçekleştirilen sistemin blok diyagramı

5.2.2. Sistemin modellenmesi

Mekanik tasarımı Solid Works programı ile gerçekleştirilen prototipte kullanılan bütün ekipmanlar sırayla tasarlanmış ve montaj işlemi gerçekleştirilmiştir. Tasarım çalışması tamamlandıktan sonra imalat işlemine geçilmiştir.

Sistemin istenilen sonuçları vermesi için prototip orta büyüklükte tasarlanmıştır. Tasarlanan modele ait uzunluk, genişlik ve derinlik ölçüleri 600x250x90 mm. gelmektedir.

Sistemin mekanik aksamı; pleksiglas iskelet yapı, step motorlar, vidalı miller ve 50 ml'lik enjektörlerden oluşmaktadır. Şekil 5.2.'de tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen prototipe ait görseller verilmektedir.



Şekil 5.2. SolidWorks'ta tasarlanan model

5.2.3. Tasarlanan modelin üretilmesi

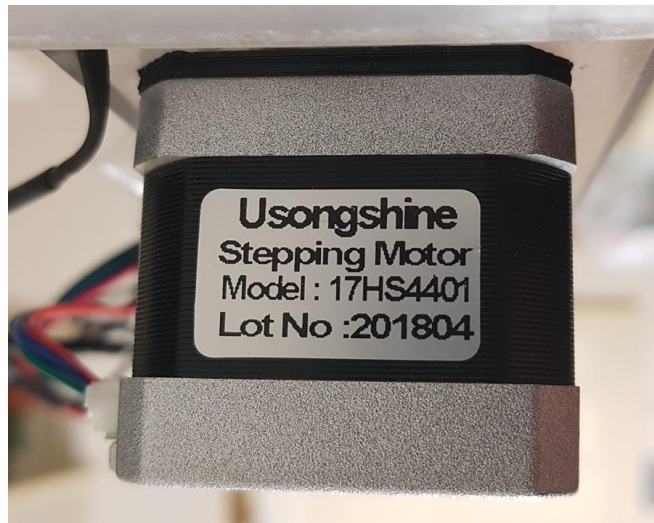
Bir otomasyon sisteminin, görevini başarıyla yerine getirebilmesi için, sağlam ve kusursuz çalışan mekanik bir düzeneğe ihtiyacı vardır. Bu yüzden gerçekleştirdiğimiz projede üzerinde durulan konulardan biri de mekanik kısmın tasarlanması olmuştur. Sistemin ana iskeleti 10 mm'lik saydam pleksiglas malzemeden imal edilmiştir. Bu yapı tek başına mekanizmayı taşıma fonksiyonunu yerine getirmektedir. Tabanında ise ağırlık merkezini yere yakın tutmak için 20 mm kalınlığında beyaz pleksiglas malzeme kullanılmıştır. Parçaların birleştirilmesi için bütün bağlantı yerlerinde cıvata kullanılarak sistemin portatif olması sağlanmıştır.

Şekil 5.3.'te pleksiglas malzemesinin üzerindeki vidalı mil yatakları ve mil deliklerinin CNC Router ile kesim işleminin gerçekleştirilmesine ait bir görsel verilmektedir.



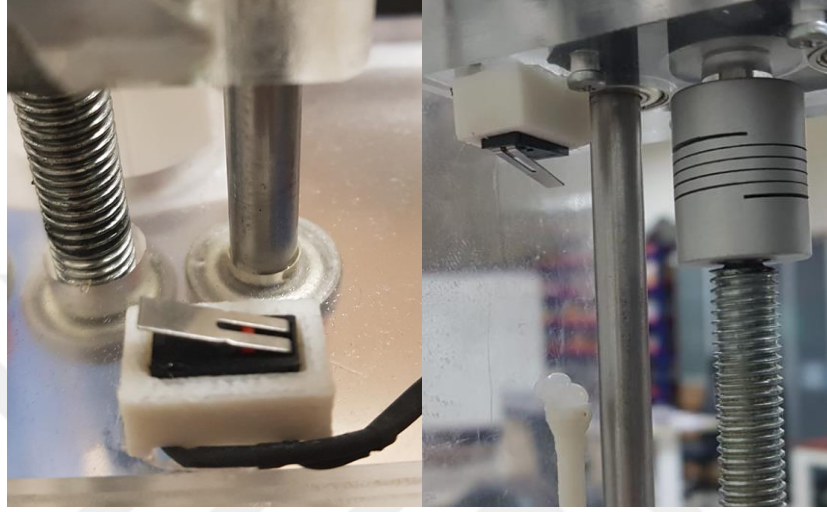
Şekil 5.3. CNC Router'da işlenen üst tabla

Prototip sistemde, enjektörlerin pozisyon ve hız kontrolünü sağlamak ve düşük devirlerde yüksek tork üretmek için bipolar step motor tercih edilmiştir. Sistemde kullanılan step motor 1.8° adım açısına (200 adım/devir) sahiptir ve 4 V'ta maksimum 2A akım çekmektedir. Şekil 5.4.'te prototip üzerindeki step motora ait bir görsel verilmektedir. Step motorlar üst tablaya 4'er cm boşluk bırakılarak yerleştirilmiştir. Vidalı miller ile yataklama millerinde, hareket sırasında oluşan sürtünme kuvvetini azaltmak ve sistemin stabil çalışmasını sağlamak için rulman kullanılmıştır. Daha sonra step motorlar ile vidalı miller kablın aracılığıyla birleştirilmiş ve böylece enjektör sisteminin yukarı-aşağı hareket etmesine olanak sağlayan düzeneğin montajı tamamlanmıştır.



Şekil 5.4. Nema 17 Step Motor

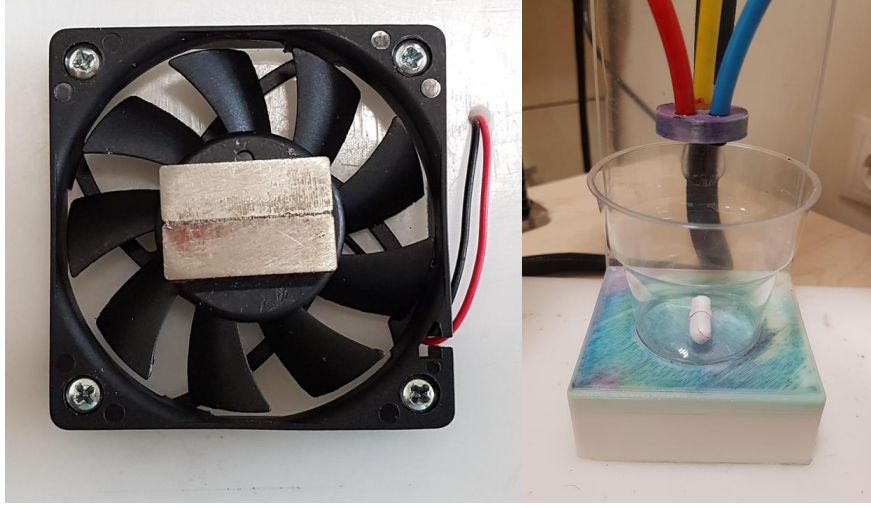
Enjektörlerin çalışma sırasında yukarı veya aşağı yönde olması gerekenden fazla hareket ederek sisteme zarar vermektedir. Bunu önlemek amacıyla enjektörlerin alt ve üst kısımlarına birer sınır anahtarları yerleştirilerek (toplam 6 adet) mekanizmanın güvenli bir şekilde hareket etmesi sağlanmıştır. Şekil 5.5.'te sınır anahtarlarının sistem üzerindeki yerlerine ait görseller verilmektedir.



Şekil 5.5. Sınır anahtarlarının konumları

Enjektörlerin hemen altında bulunan mikser kabındaki boyaları karıştırmak için gıda, ilaç, kimya, tekstil ve boya sektörlerinde, kalite kontrol ve araştırma laboratuvarlarında üzerlerine konan sıvıları karıştırma işlemlerinde kullanılan manyetik karıştırma yöntemi tercih edildi. Manyetik karıştırıcılar sessiz, sarsıntısız çalışan ve kullanımı oldukça basit olan cihazlardır. Manyetik karıştırıcının çalıştırılmasıyla DC motora bağlı bulunan mıknatıs hareket etmeye başlar ve mıknatısın oluşturduğu manyetik alan ile balıklar dönerek karışımın homojen bir şekilde dağılmasını sağlar. Manyetik balıklar, demir bilye veya boru şeklinde olabilir.

Çalışmada, mıknatısın dönerek manyetik alan oluşturması için 24V DC fan motoru kullanıldı. Manyetik karıştırıcıyı muhafaza etmesi ve boyaların dozajlanacağı kabı taşıması amacıyla tasarlanan bir tabla 3D yazıcı ile üretildi. Şekil 5.6.'da manyetik karıştırıcı için kullanılan motor ve tablaya ait görseller verilmektedir. Şekil 5.7.'de ise üretimi gerçekleştirilen prototipin genel görünümü gösterilmektedir.



Şekil 5.6. Karıştırıcıda kullanılan motor, tabla ve manyetik balığa ait görüntü

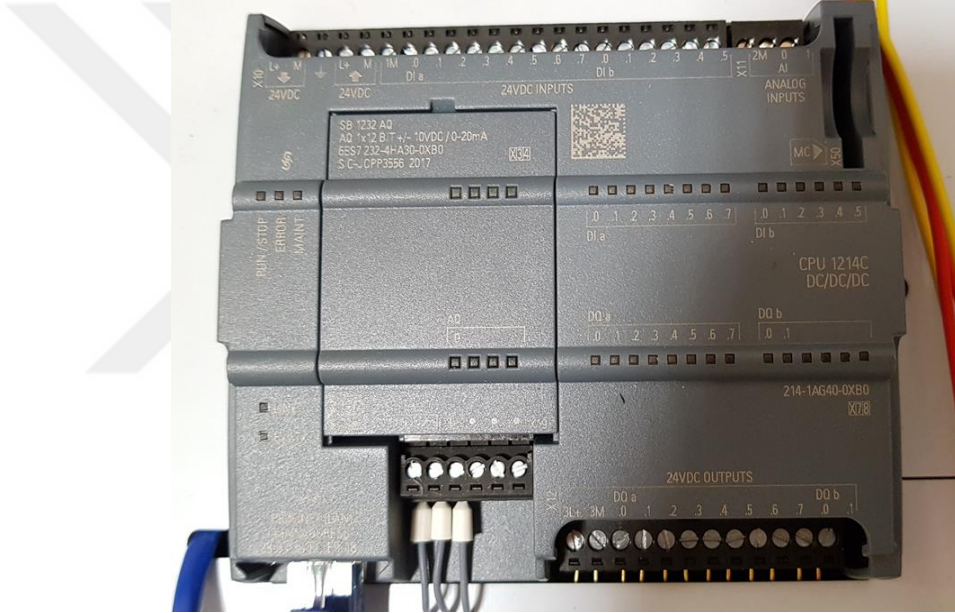


Şekil 5.7. İmalatı gerçekleştirilen prototipin genel görünümü

5.2.4. Sistemin elektronik aksamı

5.2.4.1. PLC cihazı

Boya dozajlama otomasyonunu gerçekleştirmek için Siemens firmasına ait S7-1200 CPU 1214C model PLC tercih edilmiştir. Görevi, step motorları kontrol etmek ve sistemi SCADA ekranından takip etmek ve kontrol etmektir. PLC'de 14 dijital giriş, 10 dijital çıkış ve 2 analog giriş bulunmaktadır. CPU belleği 100 kB'tır ancak gerektiğinde 4 GB'lık ek bir bellek kartı eklenebilir. Şekil 5.8.'de sistemde kullanılan PLC'ye ait görsel verilmektedir.



Şekil 5.8. Sistemde kullanılan Siemens S7-1200 model PLC

5.2.4.2. Sistemde kullanılan motor sürücü kartı

PLC'den gelen sinyaller doğrultusunda step motorların pozisyon kontrolünü sağlamak amacıyla sistemde üç adet bipolar step motor sürücü kartı kullanılmıştır. Bu motor sürücüler aynı zamanda hız ve tork kontrolü için gerekli değişiklikleri sağlayan (1, 1/2, 1/4, 1/8 ve 1/16 ayarlanabilir modda mikroadım kontrolü) butonlara da sahiptir. Sürücü kartlarda yüksek akım, yüksek voltaj ve düşük voltaj koruması vardır ve 50V 4A değerlerine kadar gücü desteklemektedir. Üzerinde bulunan büyük alüminyum blok

sayesinde oluşan ısıyı kolayca dağıtmaktadır. Kullanılan step motor sürücü kartlarına ait görsel Şekil 5.9.'da verilmektedir.



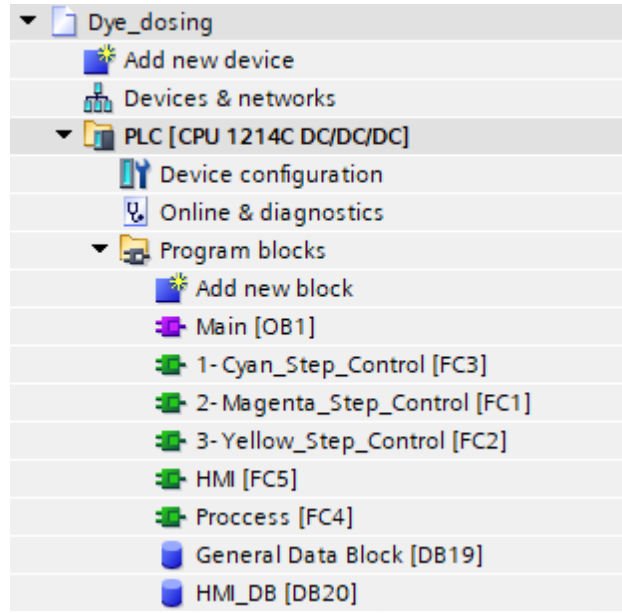
Şekil 5.9. Step motor sürücü kartı

5.3. Sistemin Programsal Yapısı

Sistemde kullanılan PLC cihazını programlamak için SIMATIC STEP 7 (TIA Portal) kullanılmıştır. Sistemde gerçek bir operatör paneli yerine SIMATIC programının HMI WinCC RT Advanced simülatörü kullanılmıştır. Dozajlama sisteminde kullanılan yazılımın geliştirilme süreci; PLC'nin programlanması ve SCADA yazılımının geliştirilmesi olmak üzere iki farklı başlıkta ele alınmıştır.

5.3.1. PLC'nin programlanması

Boya dozajlama işlemini gerçekleştirmek için TIA Portal yazılımında hazırlanan program bloğu; 1 ana blok, 5 fonksiyon bloğu ve 2 veri bloğundan oluşmaktadır. Şekil 5.10.'da oluşturulan bu bloklara ait görsel verilmektedir.



Şekil 5.10. TIA Portal yazılımında hazırlanan program blokları

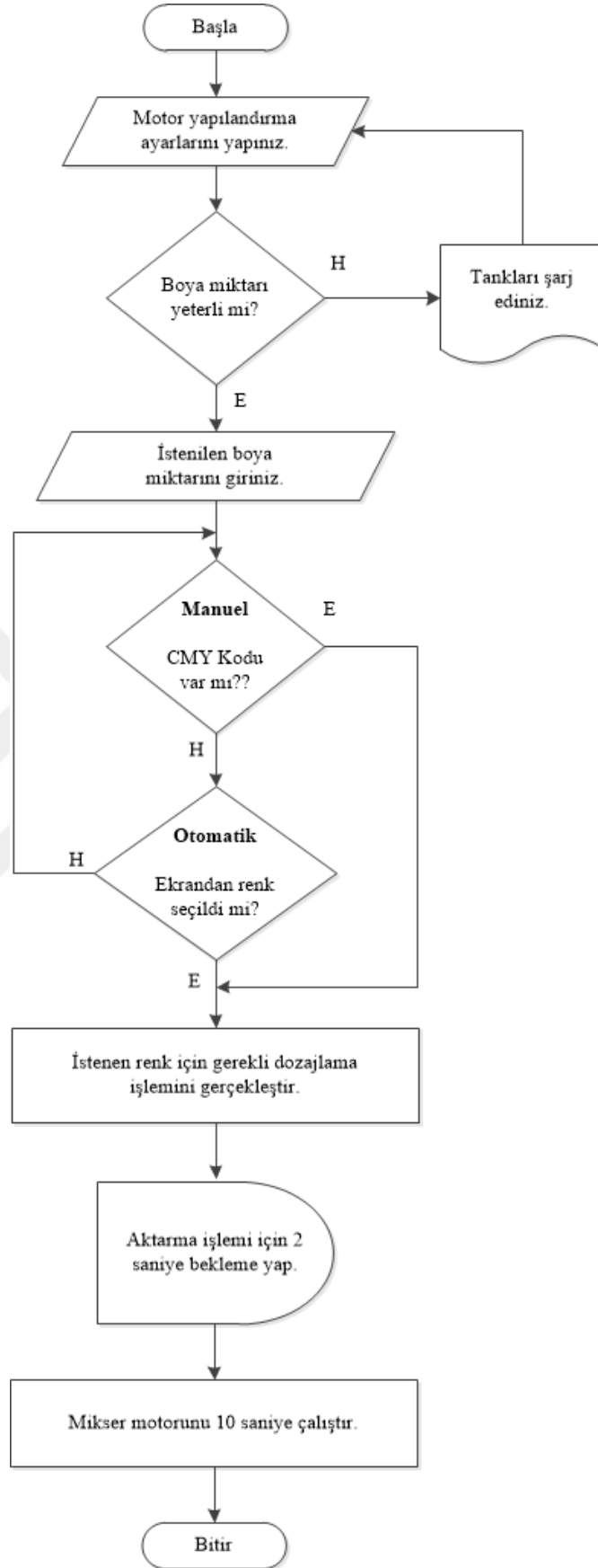
5.3.2. SCADA yazılımının geliştirilmesi

SCADA (Denetleyici Kontrol ve Veri Toplama) sistemi ise fiziksel süreci kontrol etmek, sistemi uzaktan izlemek ve yönetmek için kullanılır. Adından da anlaşılacağı gibi, tam bir kontrol sistemi değildir, daha ziyade denetleme işini gerçekleştirir. Tesis veya ekipmanı izlemek ve kontrol etmek için kullanılır. Kontrolü otomatik olarak yapabileceği gibi operatör komutları ile de başlatılabilir. Merkezi ana bilgisayara bağlı alan girişlerini tarayarak veri toplamayı sağlar. Veriler alarm koşullarını tespit etmek için işlenir ve bir alarm durumu varsa, özel alarm listelerinde görüntülenir. Bu gibi endüstriyel uygulamalar için gerekli olan denetleme kontrolü, veri işleme ve toplama, sürekli kontrol ve istatistiksel süreç kontrolü gibi karmaşık işlemler SCADA tarafından kolaylıkla kontrol edilebilmektedir.

5.3.2.1. İş akış diyagramı

Sistemin çalışmasında endüstriyel uygulamalarda sıkça kullanılan pipetleme sistemi model olarak seçilmiştir. Tanklardaki CMY boya ları reçete değeri miktarınca dozajlanarak, karışımı mikser kabına aktaran sistemin iş akış diyagramı oluşturulmuştur. Dozajlama işlemine başlamadan önce öncelikle birinci, ikinci ve üçüncü tanklardaki boya ların yeterliliği kontrol edilir. Tanklardaki boya ların yeterli

miktarda olması durumunda dozajlama işlemine geçilir. Oluşturulan arayüz sayesinde dozajlama sistem iki farklı şekilde çalıştırılabilmektedir. İlk yöntemde; operatör tarafından SCADA ekranında bulunan renk butonlarına basılmak suretiyle, daha önceden reçete değerleri belirlenmiş renklerin üretimi otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. İkinci yöntemde ise CMY oranları manuel olarak girilerek istenilen renk üretimi gerçekleştirilmektedir (Kafalı, 2018). Otomatik üretimde reçete değeri önceden programlandığı için start komutu verildikten sonra sistem otomatik olarak işler ve dozajlama işlemi gerçekleşince görevini tamamlar. Manuel üretimde ise operatör tarafından reçete değerleri girildikten sonra üretim başlayacaktır ve aynı şekilde görevini tamamlayınca işlem sonlanacaktır. Operatör istediği üretim metodunu tercih edebilir. Şekil 5.11.'de üretim metotlarına ait akış diyagramı verilmiştir. Akış diyagramlarının önceden belirlenmesi SCADA tasarımı esnasında büyük kolaylık sağlayacaktır.



Şekil 5.11. Sistemin iş akış diyagramı.

5.3.2.2. SCADA arayüzünün tasarlanması

Boya dozajlama sistemini kontrol etmek amacıyla SCADA uygulamasında 3 farklı arayüz tasarlanmıştır. Birinci arayüz kullanıcının programı çalıştırdıktan sonra karşılaştığı ana menü sayfasıdır. Bu sayfada motor kontrol ve renk üretim sayfalarına erişimi sağlayan butonlar bulunmaktadır.

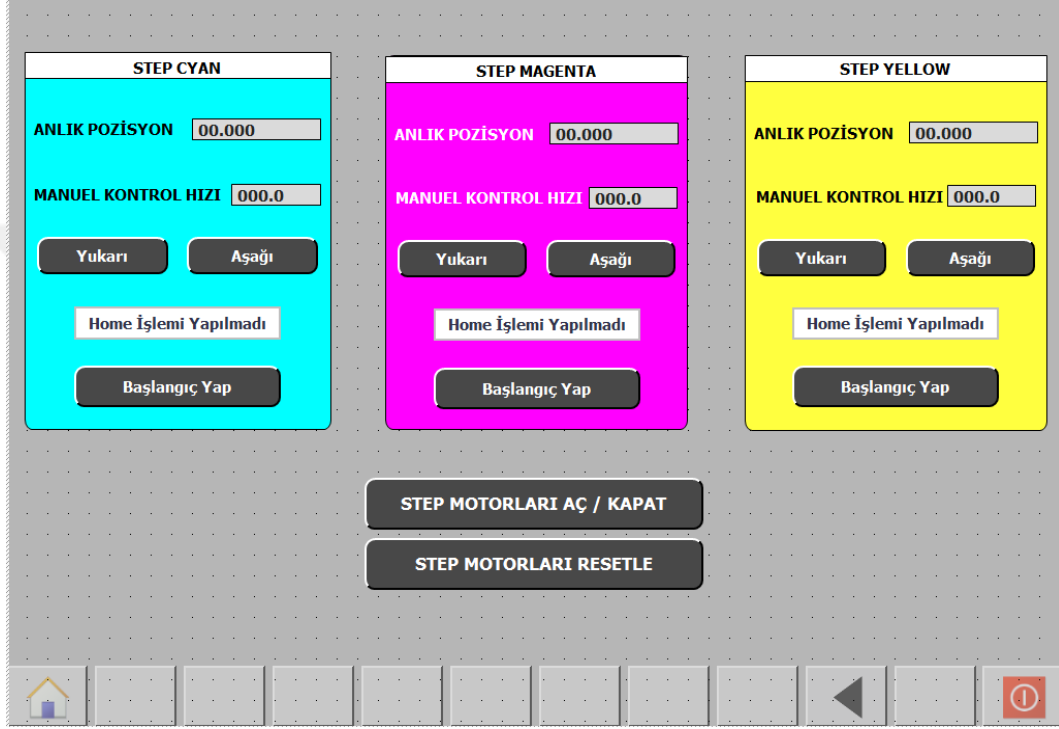
Motor kontrol sayfasında step motorların enjektörleri yukarı-aşağı yönde hareket etmesini sağlayan kontrol ünitesi yer almaktadır. Renk üretim sayfasında ise CMY boyalarından reçete oranı miktarınca dozajlama işlemini gerçekleştirerek istenilen miktarda karışım elde edilmesini sağlayan renk butonları bulunmaktadır. Tasarlanan arayüzün ana menü sayfası Şekil 5.12.'de verilmektedir.



Şekil 5.12. SCADA başlangıç sayfası

Açılış sayfası SCADA ilk çalıştırıldığında ekrana gelen sayfa olup genellikle sistemin tanıtımı veya firma reklamlarını içeren bir sayfa olup herhangi bir kontrol işlevine sahip değildir. Yalnızca diğer sayfalara erişim için kullanılır.

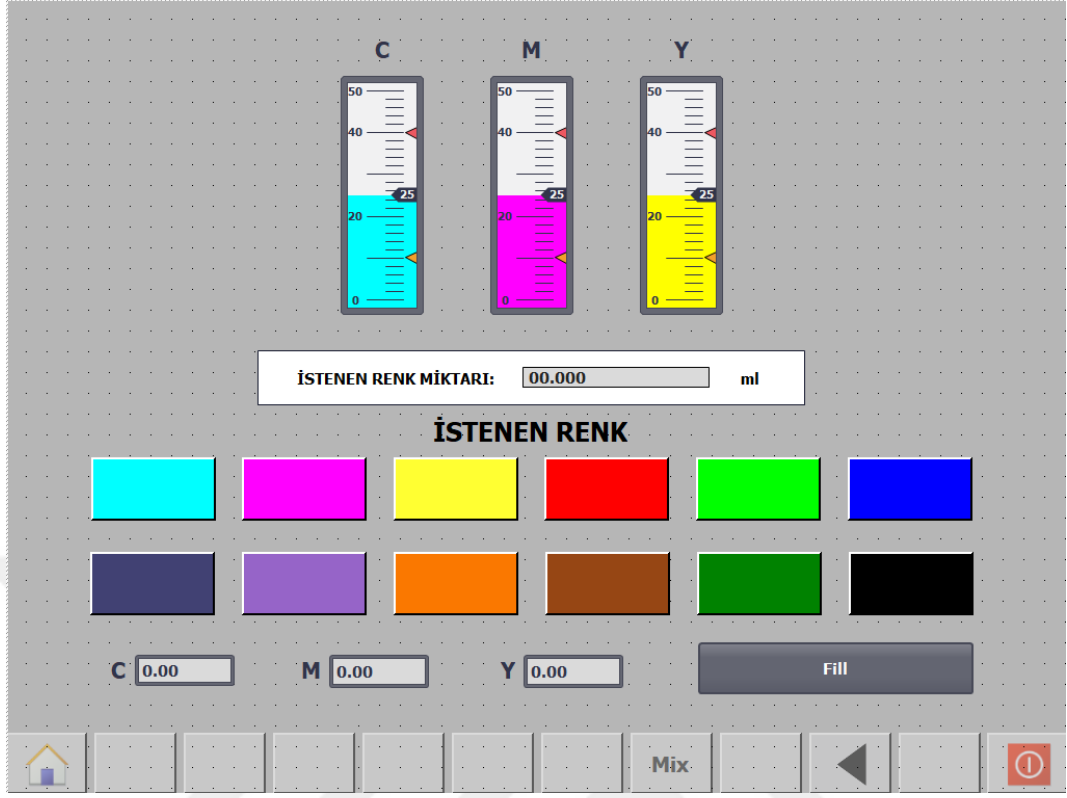
SCADA'nın en önemli fonksiyonlarından birisi de makinelerin her an izlenebilir ve kontrol edilebilir yapıda olmasıdır. Tanklardaki renk seviyesi, üretilmekte olan boyanın rengi, miktarı ve kod numarası ekranda anlık olarak görüntülenebilir. Uygulamada step motorları yapılandırma işlemlerinin yapıldığı “Motor Kontrol” ünitesi Şekil 5.13.'te gösterilmektedir. Yapılandırma işleminden sonra step motorlar, istenilen rengi istenilen oranda dozajlamak için kullanıma hazır hale getirilmektedir.



Şekil 5.13. Motor kontrol ünitesi

Sistemin kullanıma hazır duruma gelmesinin ardından renk üretim sayfasına geçiş yapılır. Bu kısımda Cyan, Magenta, Yellow renk boya pigmentlerinden oluşan üç depolama tankında bulunan step motorlar istenilen rengi elde etmek için karışımı mikser kabına aktarır. Dozajlama işlemi gerçekleştikten sonra karıştırma işlemi otomatik olarak başlar. Karıştırma motoru, kabın içindeki boyayı karıştırarak rengin daha homojen bir yapıya kavuşmasını sağlar. Karıştırma işleminin ardından istenilen renk elde edilmiş olur.

Operatör, SCADA arayüzündeki renklerden birini seçerek boya üretimi gerçekleştirebileceği gibi manuel olarak CMY renk kodunu girerek de istediği rengi üretebilir. Renk üretiminin gerçekleştirildiği arayüz aşağıda Şekil 5.14.'de verilmektedir.



Şekil 5.14. Renk üretim sayfası

6. SİSTEMİN PERFORMANSININ İNCELENMESİ VE ANALİZİ

Çalışmanın bu kısmında sipariş alınacak bir numunenin toleranslar dahilinde hazırlanıp hazırlanmadığı, hata oranlarının ne olduğu, bu oranların tercih dağılımına göre değişip değişmediği, verilerin güvenilirliği ve hata analizleri yapılarak sistemin performansı test edilmiştir.

6.1. Mekanik Sistemin Hassasiyeti

Step motorlar 200 adım/devir hassasiyetinde olduğundan adım açısı $1,8^\circ$ gelmektedir. Step motorların enjektör pistonunu yukarı aşağı yönde hareket ettirmesi için 1,5 mm hatveli vidalı mil kullanılmıştır. Sistemde kullanılan 50 ml’lik enjektörlerin iç çapı 29,1 mm olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla enjektör pistonunun ilerlemesine bağlı olarak hacimsel değişimi şu şekilde olacaktır;

$$V = \frac{\pi * D^2}{4} * L \quad (6.1)$$

V : Hacim

L : Piston kursu

D : Silindir iç çapı (29,1 mm)

Pistonun ötelenmesi vidalı milin hatvesine ve step motorun adım açısına bağlı olduğundan;

$$L = \frac{Q_s}{360} * t \quad (6.2)$$

Qs : Step motorun adım açısı ($1,8^\circ$)

t : Hatve (1,5 mm)

Formülü pistonun hareketini mm cinsinden vermektedir.

Motor sürücü üzerinden 1 adım sinyal gönderildiğinde gerçekleşen hacimsel değişim, sistemin mekanik hassasiyetini (M_H) verecektir.

$$M_H = \frac{\pi * D^2}{4} * \frac{Q_s}{360} * t \quad (6.3)$$

Formülünden $MH=0,005 \text{ ml}$ olarak hesaplanmıştır.

6.2. Hacimsel Hassasiyet Testi

Mürekkebin yüzey gerilmesi ve yoğunluğuna bağlı olarak akıtılabilecek en küçük miktar (damlacık hacmi) değişebilmektedir. Sisteme ait bu değerlerin belirlenebilmesi için hassas terazi ile ölçümler yapılmıştır. Gerçek yoğunluk değerlerinin tespit edilebilmesi için bilinen bir hacimdeki saf suyun ağırlığı ile aynı hacimdeki renklerin ağırlığı oranlanmış ve CMY renk yoğunlukları sırasıyla $d_c = 1,045$, $d_m = 1,041$ ve $d_y = 1,034$ olarak tespit edilmiştir.

CMY renklerinin bir damla boya için hacimsel ölçümleri sırasıyla;

Cyan = 0,022 ml

Magenta = 0,019 ml

Sarı = 0,017 ml

olarak hesaplanmıştır.

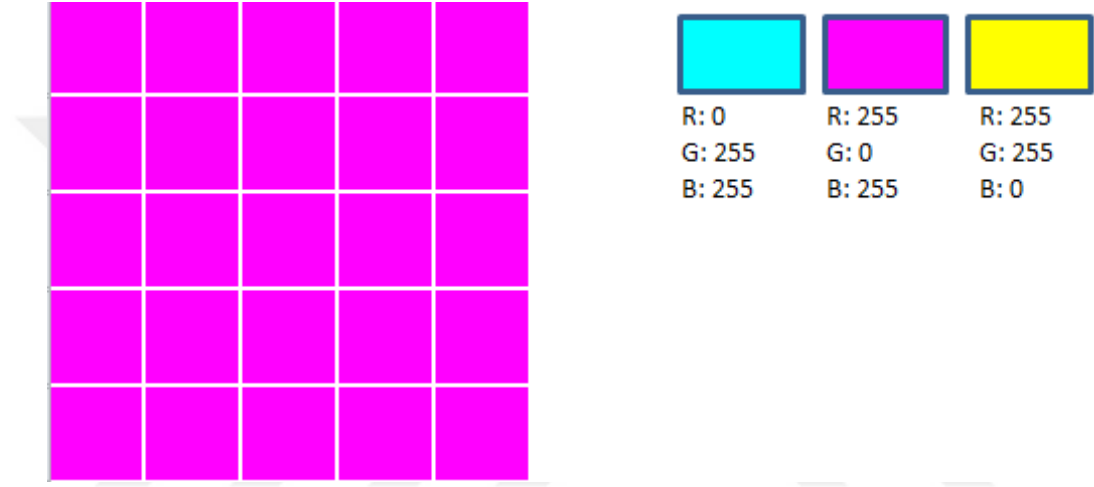
6.3. Minimum Kararlı Hacim Testi

Tekrar edildiğinde birbirine yakın sonuçlar verebilmesi açısından en küçük geçerli hassasiyet deneysel olarak test edilmiş ve 0,5 ml nin altındaki hacimlerde tekrarlama kararlılığının ortadan kalktığı görülmüştür. Ancak 0,5-5 ml arasındaki örneklemelerde standart sapmanın 0,5 ml'nin altında çıkması göz önüne alındığında akıtma hassasiyetinin 0,5 ml'nin altında olduğu görülmektedir. Yani toplam 0,3 ml alınmak istendiğinde hata oranı çok yüksek çıkarken; toplam 2,3 ml alınmak istendiğinde hata toleransı 0,06 ml'nin altına düşmektedir.

6.4. Renk Ayırt Etme Eşik Testi

Bir numune hazırlanmak istendiğinde bu numunenin 3 ana rengin karışımından hazırlanacağı varsayılarak maksimum 10 ml'ye kadar olan karışımın toleransının ne olması gerektiği merak edilmiş ve bu amaçla insan gözünün ne kadarlık bir hatayı fark edebileceği deneysel ve istatistiksel olarak araştırılmıştır.

Şekil 6.1.'de görüldüğü gibi Microsoft Excel ekranında 5x5 düzeninde 25 adet renk skalası oluşturulmuş ve bunlardan biri belirli oranlarda değiştirilmiştir.



Şekil 6.1. Hazırlanan eşik değer test arayüzü

Bu testte insan gözüyle fark edilebilen eşiğin tespit edilebilmesi için 10 farklı denek üzerinde 3 farklı ana renk için denemeler yapılmıştır. CMY renkleri bilgisayar ortamında oluşturulduğu için RGB dönüşümü kullanılmıştır. Cyan, magenta ve sarı renklerinin RGB değerleri 255'ten başlamak üzere 1'er 1'er azaltılarak farklı ara renkler oluşturulmuştur. Azaltma miktarı RGB'deki değeri 255 olan tüm renklere uygulanmıştır. Diğerlerine nazaran çok az fark bulunan bu renkler arayüzdeki 25 kareden sadece bir tanesine uygulanarak bir ara renk oluşturulmuştur. Deneklerin bu değişik renge sahip hücreyi bulması istenmiştir. Doğru cevabı bulamadığında renk değişim miktarı artırılmıştır. Bu durum hücrelerdeki değişen renk fark edilene kadar devam ettirilmiş ve böylece gözün farklı rengi ayırt edebildiği eşik değeri tespit edilmiştir.

Excel VBA-Makro kodu kullanılarak hazırlanan renk değişim yazılımı şu şekildedir;

Sub renk_testi()

```

r = [Q2] ' R değerin bulundugu hücre
g = [Q3] ' G değerin bulundugu hücre
b = [Q4] ' B değerin bulundugu hücre
'25 hücrenin bir ana renge boyanması

For i = 1 To 5
  For j = 1 To 5
    Cells(i, j).Interior.Color = RGB(r, g, b)
  Next j
Next i
k = [K2] ' Değişim miktarının yazılı olduğu hücre
If r = 255 Then x = r - k : If g = 255 Then y = g - k: If b = 255 Then z = b - k
satır = Round(Rnd() * 4) + 1: sütun = Round(Rnd() * 4) + 1
Cells(satır, sütun).Interior.Color = RGB(x, y, z)
End Sub

```

Elde edilen test sonuçları, ortalaması ve minimum değerleri Çizelge 6.1.'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Eşik sınırı test sonuçları

	Cyan	Magenta	Yellow
Denek 1	8	11	6
Denek 2	8	13	7
Denek 3	6	13	6
Denek 4	6	15	8
Denek 5	7	13	6
Denek 6	7	15	8
Denek 7	7	14	7
Denek 8	7	15	6
Denek 9	7	14	6
Denek 10	7	13	6
Ortalama	7	13,6	6,6
Minimum	6	11	6

Her renk için minimum değer eşik değeri olarak kabul edilirse, insan gözünün ayırt etmesi zor olan değişimin oranı aşağıda verilmiştir;

Cyan	= 6/255	= 0,024 (% 2,4)
Magenta	=11/255	= 0,043 (% 4,3)
Sarı	= 6/255	= 0,024 (% 2,4)

Bu oranlar kritik eşiği gösterdiği için “ $\pm$ ” tolerans aralığı olarak kabul edilmiş ve $S_c=0,024$, $S_m=0,043$ ve $S_y=0,024$ olarak belirlenmiştir.

6.5. Birim Dozajlama Değerleri ve İstatistik Analizleri

Tanklarda bulunan CMY renklerinden 0.5, 1, 2, 3, 4, 5 ml’lik baskılar dozajlanarak muhtelif karma seçimler için hata analizleri yapılmıştır. Bu amaçla CMY renklerinden alınan 6 farklı dozaja ait her bir numune baskısı 20 adet tekrarlanmak üzere toplamda 360 adet test işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.2., Çizelge 6.3. ve Çizelge 6.4.’te gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. Cyan rengine ait 0.5, 1, 2, 3, 4, 5 ml’lik baskı değerleri

Cyan Test	0,5 ml	1 ml	2 ml	3 ml	4 ml	5 ml
1	0,54	1,00	1,96	3,03	4,00	5,04
2	0,48	0,93	2,01	2,97	3,96	5,01
3	0,55	0,99	1,99	2,93	4,01	5,01
4	0,52	1,01	1,97	3,00	4,02	5,04
5	0,52	0,90	1,99	2,92	3,94	5,00
6	0,45	0,99	1,96	2,99	3,95	5,04
7	0,53	0,96	2,00	3,01	3,92	4,92
8	0,51	0,98	1,93	2,91	3,96	4,98
9	0,44	0,99	1,95	2,98	4,02	4,91
10	0,48	0,97	1,98	2,99	3,95	4,93
11	0,47	0,94	1,92	2,98	3,98	4,94
12	0,54	0,90	2,01	3,02	4,02	5,02
13	0,43	0,95	2,00	2,97	4,01	4,90
14	0,53	1,00	1,99	3,00	4,02	5,03
15	0,45	0,92	1,97	3,00	4,01	5,03
16	0,55	0,91	1,95	2,99	3,99	5,00
17	0,43	1,02	2,00	3,01	3,98	5,02
18	0,56	0,97	1,89	3,00	3,96	4,91
19	0,52	0,99	1,99	2,93	3,91	5,02
20	0,54	0,96	1,96	2,94	3,94	5,00
<i>Ortalama</i>	<i>0,500</i>	<i>0,963</i>	<i>1,972</i>	<i>2,978</i>	<i>3,978</i>	<i>4,989</i>
<i>Standart Hata</i>	<i>0,009</i>	<i>0,008</i>	<i>0,007</i>	<i>0,008</i>	<i>0,008</i>	<i>0,012</i>
<i>Standart Sapma</i>	<i>0,042</i>	<i>0,038</i>	<i>0,030</i>	<i>0,036</i>	<i>0,034</i>	<i>0,052</i>
<i>Aralık</i>	<i>0,124</i>	<i>0,124</i>	<i>0,115</i>	<i>0,124</i>	<i>0,105</i>	<i>0,144</i>
<i>Güvenirlilik Düzeyi (%97,5)</i>	<i>0,024</i>	<i>0,022</i>	<i>0,017</i>	<i>0,021</i>	<i>0,019</i>	<i>0,029</i>

Çizelge 6.3. Magenta rengine ait 0.5, 1, 2, 3, 4, 5 ml'lik baskı değerleri

Magenta Test	0,5 ml	1 ml)	2 ml	3 ml	4 ml	5 ml
1	0,45	0,97	1,98	3,02	3,99	5,04
2	0,54	0,99	1,98	2,97	4,02	5,00
3	0,49	0,99	1,99	2,98	4,03	5,00
4	0,46	0,96	1,96	3,01	3,94	5,05
5	0,54	1,01	1,98	2,95	4,03	5,03
6	0,44	0,96	1,91	3,00	3,97	5,03
7	0,46	0,99	2,02	3,05	3,99	5,01
8	0,54	0,93	1,98	2,98	4,02	5,02
9	0,44	0,90	1,97	2,95	3,96	5,04
10	0,49	0,95	1,99	3,00	3,98	5,00
11	0,48	0,95	2,01	2,97	4,02	5,01
12	0,53	0,98	1,98	3,02	4,02	4,95
13	0,42	0,97	2,00	2,99	4,02	5,02
14	0,52	0,95	1,96	2,96	4,03	4,96
15	0,52	0,94	2,01	2,99	4,03	5,02
16	0,42	0,98	2,01	2,98	4,02	5,02
17	0,43	1,01	1,98	3,05	4,02	5,06
18	0,54	0,99	2,00	3,05	3,97	5,03
19	0,51	0,97	1,98	3,03	3,94	4,99
20	0,49	0,98	1,97	3,01	3,98	5,02
<i>Ortalama</i>	<i>0,486</i>	<i>0,969</i>	<i>1,982</i>	<i>2,996</i>	<i>3,999</i>	<i>5,017</i>
<i>Standart Hata</i>	<i>0,009</i>	<i>0,006</i>	<i>0,005</i>	<i>0,007</i>	<i>0,007</i>	<i>0,007</i>
<i>Standart Sapma</i>	<i>0,041</i>	<i>0,026</i>	<i>0,023</i>	<i>0,032</i>	<i>0,033</i>	<i>0,029</i>
<i>Aralık</i>	<i>0,115</i>	<i>0,106</i>	<i>0,106</i>	<i>0,106</i>	<i>0,096</i>	<i>0,115</i>
<i>Güvenirlik Düzeyi (%97,5)</i>	<i>0,023</i>	<i>0,015</i>	<i>0,013</i>	<i>0,018</i>	<i>0,019</i>	<i>0,016</i>

Çizelge 6.4. Sarı Renge ait 0.5, 1, 2, 3, 4, 5 ml'lik baskı değerleri

Sarı Test	0,5 ml	1 ml	2 ml	3 ml	4 ml	5 ml
1	0,48	1,01	1,96	3,00	3,99	5,07
2	0,47	1,02	1,96	2,95	3,99	5,01
3	0,52	0,96	1,97	3,05	4,02	5,08
4	0,47	1,00	2,01	2,98	4,01	5,01
5	0,45	1,01	1,97	2,96	4,03	5,08
6	0,50	0,99	2,01	2,95	4,03	4,97
7	0,44	0,96	2,00	3,01	4,05	4,96
8	0,52	0,96	2,01	3,05	4,05	4,98
9	0,47	0,98	1,98	3,03	3,98	5,07
10	0,46	0,95	1,94	2,98	4,03	5,02
11	0,46	0,96	2,02	3,03	3,98	5,00
12	0,54	0,95	2,02	3,04	3,97	5,05
13	0,50	0,93	2,03	2,98	4,01	5,06
14	0,45	0,97	2,01	3,00	4,03	5,02
15	0,47	0,97	2,00	3,03	3,97	5,04
16	0,44	0,94	1,98	2,95	3,97	4,97
17	0,46	0,98	2,04	3,01	4,01	4,96
18	0,48	1,01	1,97	2,99	4,02	5,07
19	0,47	1,03	1,98	2,99	4,03	5,07
20	0,51	0,97	1,94	2,98	3,98	4,97
<i>Ortalama</i>	<i>0,481</i>	<i>0,974</i>	<i>1,992</i>	<i>2,996</i>	<i>4,011</i>	<i>5,022</i>
<i>Standart Hata</i>	<i>0,006</i>	<i>0,006</i>	<i>0,006</i>	<i>0,007</i>	<i>0,006</i>	<i>0,010</i>
<i>Standart Sapma</i>	<i>0,028</i>	<i>0,027</i>	<i>0,028</i>	<i>0,032</i>	<i>0,027</i>	<i>0,043</i>
<i>Aralık</i>	<i>0,106</i>	<i>0,097</i>	<i>0,097</i>	<i>0,097</i>	<i>0,087</i>	<i>0,116</i>
<i>Güvenirlilik Düzeyi (%97,5)</i>	<i>0,016</i>	<i>0,015</i>	<i>0,016</i>	<i>0,018</i>	<i>0,015</i>	<i>0,024</i>

Hata Analizi:

Standart hata, standart sapmaların grup büyüklüğünün (adedinin) kareköküne bölünerek elde edilmiştir. Hesaplamalar sonucunda 0,007-0,009 arasında değişen sonuçlar elde edilmiştir. Bu değerlerin sıfıra yaklaşması ölçümler arasındaki farkın azaldığını ve sistemin kararlı bir ölçüm sergilediğini göstermektedir.

Örnek bir karışımdaki hata analizini tespit etmek için akılcı yöntem ve belirsizlik analizi yöntemleri uygulanmıştır.

İçerisinde cyan renginin 3 ml, magenta renginin 5 ml ve sarı rengin 2 ml olduğu toplam 10 ml'lik bir numune siparişi verilmiş olsun. Deneysel olarak elde edilen yukarıdaki çizelgelerden standart sapma değerleri alınarak;

$S_{Sc} = 0,036$ (3 ml cyan için standart sapma)

$S_{Sm} = 0,029$ (5 ml magenta için standart sapma)

$S_{Sy} = 0,028$ (2 ml sarı için standart sapma)

verileri elde edilmiştir.

Akılcı yöntem;

$$Y = Y_c + Y_m + Y_s \quad (6.4.)$$

Y= Toplam karışım

Y_c = Cyan miktarı

Y_m = Magenta miktarı

Y_s = Sarı miktarı

Hepsinin en düşük değeri aldığı varsayılırsa;

$Y = (3-0,036) + (5-0,029) + (2-0,028) = 9,907$ olacaktır.

Fark= 0,093 ml

Hepsinin en yüksek değeri aldığı varsayılırsa;

$Y = (3+0,036) + (5+0,029) + (2+0,028) = 10,093$ olacaktır.

Fark= 0,093 ml

Bu durumda belirsizlik $\pm 0,093$ ml olacaktır.

Belirsizlik analizi;

Belirsizlik hatanın olabileceği sınırları göstermektedir. Bu hataların mutlaka olacağı anlamına da gelmez. Bununla birlikte hata hiçbir zaman tamamen alt sınırdan ya da tamamen üst sınırdan da olmayacaktır. Bu nedenle ilk defa Kline ve McClintock tarafından uygulanan belirsizlik analizi uygulanırsa (Kline, 1953);

$$\begin{aligned} \text{Belirsizlik} &= \sqrt{S_{Sc}^2 + S_{Sm}^2 + S_{Sy}^2} \\ &= \sqrt{0,036^2 + 0,029^2 + 0,028^2} \\ &= \pm 0,054 \text{ ml olacaktır.} \end{aligned} \quad (6.5.)$$

Güvenilirlik Analizi:

Yukarıdaki çizelgelerde bulunan tolerans değerleri referans alınarak α değerleri seçilmiş ve bu değerler üzerinden güvenilirlik aralığı hesaplatılarak, Çizelge 6.5.'te karşılaştırması yapılmıştır.

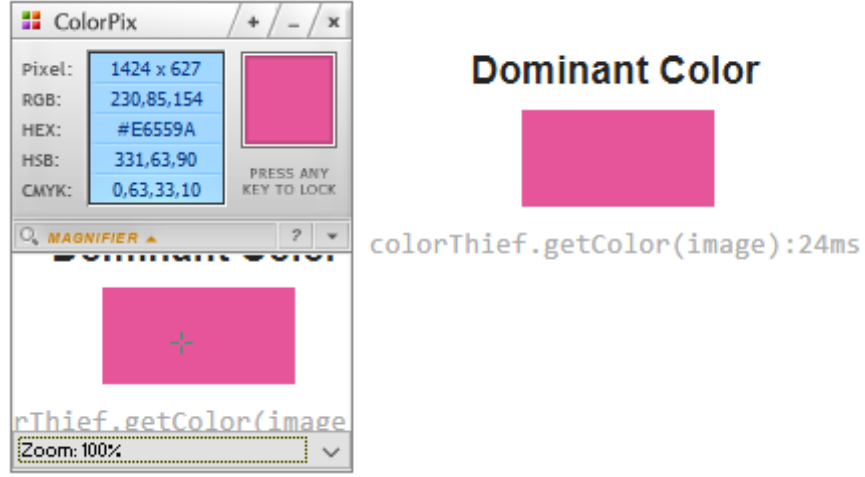
Çizelge 6.5. CMY için güvenilirlik aralıkları ve kritik eşikle karşılaştırılması

	<i>Kritik eşik</i>	0,5 ml	1 ml	2 ml	3 ml	4 ml	5 ml
Cyan	0,024	0,024	0,022	0,017	0,021	0,019	0,029
Magenta	0,043	0,023	0,015	0,013	0,018	0,019	0,016
Sarı	0,024	0,016	0,015	0,016	0,018	0,015	0,024

Çizelge 6.5. incelendiğinde 5 ml'lik cyan testi (0,029) hariç diğer tüm sonuçlar %97,5 güvenilirlikte ve toleranslar dahilinde dozajlanmıştır. 5 ml'lik cyan testi için yapılan özel hesaplama göre güvenilirlik %94 olarak hesap edilmiştir.

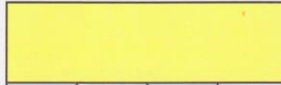
6.6. Renk Yakınsaklığı

Sistemin test edilmesi için bilgisayardan alınan test çıktısı ile karışım sonucunda elde edilen renkler karşılaştırılmıştır. Sistemden alınan renk değerlerinin okunmasında tarayıcı tercih edilmiştir. Bunun nedeni, tarayıcıdan alınan renklerde ışığın her noktada yansımaları ve okunması aynı olduğu için kapalı ortamda en iyi çözümü vermektedir. Şekil 6.2.'de tarama yoluyla elde edilen test görüntüsünün RGB kodunun okunmasına örnek bir görsel verilmektedir. Testler sonucunda üretilen renkler bir tarayıcı aracılığıyla taranıp, görüntülerdeki baskın renklerin ColorPix programında RGB karşılıklarına bakılmıştır. Bu sayede sistemden istenilen renk ile üretilen renk tonu arasında kıyaslama yapılarak renk benzerliklerine bakılmıştır.



Şekil 6.2. Tarama yoluyla elde edilen görüntünün RGB değerinin okunması

Şekil 6.3. ve Şekil 6.4.'te ColorPix programı aracılığıyla okutulan baskın renklerin RGB ve CMY kodları verilmektedir. Sistemden istenilen renkler ile elde edilen renkler arasındaki farklılıklar tablolarda gösterilmektedir.

											
R	0	C	1	R	255	C	0	R	255	C	0
G	255	M	0	G	0	M	1	G	255	M	0
B	255	Y	0	B	255	Y	0	B	0	Y	1
R	4	C	0,88	R	230	C	0,09	R	250	C	0,01
G	177	M	0,30	G	85	M	0,66	G	244	M	0,04
B	235	Y	0,07	B	154	Y	0,39	B	94	Y	0,53

											
R	28	C	0,89	R	219	C	0,14	R	251	C	0,01
G	125	M	0,50	G	67	M	0,73	G	203	M	0,20
B	201	Y	0,24	B	123	Y	0,51	B	56	Y	0,78

											
R	19	C	0,92	R	226	C	0,11	R	251	C	0,01
G	133	M	0,47	G	82	M	0,67	G	208	M	0,18
B	206	Y	0,19	B	145	Y	0,43	B	57	Y	0,77

											
R	20	C	0,92	R	218	C	0,14	R	251	C	0,01
G	135	M	0,47	G	67	M	0,73	G	210	M	0,17
B	207	Y	0,18	B	123	Y	0,51	B	59	Y	0,76

											
R	22	C	0,91	R	220	C	0,13	R	252	C	0,01
G	130	M	0,49	G	71	M	0,72	G	210	M	0,17
B	204	Y	0,19	B	129	Y	0,43	B	60	Y	0,76

Şekil 6.3. CMY renklerine ait test sonuçları

											
R	255	C	0	R	0	C	1	R	0	C	1
G	0	M	1	G	255	M	0	G	0	M	1
B	0	Y	1	B	0	Y	1	B	255	Y	0
R	228	C	0,10	R	29	C	0,88	R	34	C	0,86
G	89	M	0,65	G	178	M	0,30	G	125	M	0,50
B	70	Y	0,72	B	106	Y	0,58	B	195	Y	0,23

											
R	228	C	0,10	R	78	C	0,69	R	84	C	0,67
G	89	M	0,65	G	152	M	0,40	G	111	M	0,56
B	98	Y	0,61	B	106	Y	0,58	B	178	Y	0,30

											
R	230	C	0,09	R	77	C	0,69	R	82	C	0,67
G	89	M	0,65	G	153	M	0,40	G	107	M	0,58
B	96	Y	0,62	B	106	Y	0,58	B	173	Y	0,32

											
R	226	C	0,11	R	79	C	0,69	R	82	C	0,67
G	86	M	0,66	G	153	M	0,4	G	108	M	0,57
B	95	Y	0,62	B	105	Y	0,58	B	175	Y	0,31

											
R	225	C	0,11	R	75	C	0,70	R	81	C	0,68
G	85	M	0,66	G	154	M	0,39	G	106	M	0,58
B	94	Y	0,63	B	107	Y	0,58	B	172	Y	0,32

Şekil 6.4. RGB renklerine ait test sonuçları

Şekil 6.3. ve Şekil 6.4.’teki tablolar incelendiğinde ekran renkleri ile gerçek renkler arasında farklılıklar olduğu görülmektedir. Bu durum, Şekil 6.2.’te verilen tarama yoluyla elde edilen test görüntüsünün RGB değerinin okunması örneğinde gösterilmiştir. Bu örnekte, RGB kodu (255, 0, 255) olan magenta rengi, baskı alma ve tarama sonucu oluşan renk kayıplarından dolayı RGB kodu (230, 85, 154) şeklinde okunmuştur. Dozajlama sisteminde üretilen magenta renginin RGB kodu ortalaması ise (221, 72, 130) olarak ölçülmüştür. Sarı rengin orijinal RGB kodu (250, 255, 0) iken oluşan renk kayıplarından dolayı program RGB renk kodunu (250, 244, 94) olarak ölçmüştür. Sistemde üretilen sarı rengin RGB kod ortalaması (251, 208, 58) olarak bulunmuştur. Cyan renginin RGB kodu ise (0, 255, 255)’tir. Oluşan renk kayıplarından dolayı RGB renk kodu (4, 177, 235) olarak ölçülmüştür. Dozajlama işlemi sonucunda üretilen rengin RGB kodunun ortalaması ise (22, 131, 205)’tir.

Her renk, RGB renk uzayında belirli bir koordinata sahiptir. Bu koordinatta R, G ve B değerleri rengin bulunduğu X, Y ve Z koordinatını verir. Bu sebeple iki rengin birbiri ile olan benzeşme oranını tespit edebilmek için bu iki rengin yakınsaklığına bakmak gerekir. Bunu yapabilmek için de bu iki rengin RGB koordinatları birbiri ile karşılaştırılıp aradaki mesafe hesap edilir (Black, 2004). Bu noktada uzaydaki herhangi iki nokta arasındaki mesafeyi veren Öklid uzaklığı formülü (Wikipedia, 2018) kullanılabilir;

$$\text{Öklid Uzaklığı} = \sqrt{(R_1 - R_2)^2 + (G_1 - G_2)^2 + (B_1 - B_2)^2} \quad (6.6)$$

Öklid renk uzaklığı toplam boyutu $3 \times 255 = 765$ birim küplük olan renk uzayında belirli bir koordinatı temsil ettiğinden bu koordinatın toplam hacme bölünmesiyle 1 birimlik hacim içerisindeki oran tespit edilmiş olur;

$$\text{Renk uzaklığı} = \frac{\text{Öklid Uzaklığı}}{3 * 255} \quad (6.7)$$

Bu oran yüzde olarak ifade edildiğinde iki renk arasındaki farklılık oranı tespit edilmiş olur. Son olarak bu farklılık oranı 100’den çıkarılarak iki renk arasındaki benzerlik oranı tespit edilmiş olur.

$$\text{Renk benzerlik oranı} = 100 - (\text{Renk uzaklığı} * 100) \quad (6.8)$$

Netice itibariyle renkler arasındaki benzerlik oranının tespit edilmesi için yapılan bütün işlemin formülü tek bir denklem olarak şu şekilde ifade edilebilir;

$$\text{Benzerlik Formülü} = 100 - \left(\frac{\sqrt{(R_1 - R_2)^2 + (G_1 - G_2)^2 + (B_1 - B_2)^2}}{3 * 255} * 100 \right) \quad (6.9)$$

Elde edilen veriler neticesinde istenilen renklerle üretilen renkler arasındaki benzerlikler Çizelge 6.6.'da belirtilmektedir.

Çizelge 6.6. İstenilen renklerle üretilen renkler arasındaki benzerlik oranları

Cyan	(4, 177, 235)	%92,40
Ortalama	(22, 131, 205)	
Magenta	(230, 85, 154)	%96,20
Ortalama	(221, 72, 130)	
Sarı	(250, 244, 94)	%93,30
Ortalama	(251, 208, 58)	
Kırmızı	(228, 89, 70)	%96,50
Ortalama	(227, 87, 96)	
Yeşil	(29, 178, 106)	%92,90
Ortalama	(77, 153, 106)	
Mavi	(34, 125, 195)	%92,80
Ortalama	(82, 108, 175)	

Tablo incelendiğinde elde edilen renklerden gerçek değere en yakın olanı magenta ve kırmızı renkleri olduğu görülmektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Yapılan bu çalışmayla, akademik birtakım yöntemler kullanılmış ve endüstriyel bazı sonuçlar elde edilmiştir. Bunlar;

- CMY renk kodlarının karışımıyla numune bir renk hazırlayan bilgisayar kontrollü bir sistem tasarlanmış ve başarılı bir şekilde testleri tamamlanmıştır
- Esnek bir dozajlama arayüzüne sahip bir otomasyonun geliştirilmesi sayesinde 0,5-50 ml aralığında karışım miktarı seçilebilmektedir. Arayüz sayesinde standart renler seçilebildiği gibi reçetelendirme yöntemiyle hazırlanan renkler de hızlıca seçilebilmektedir. Ayrıca CMY renklerinden 0-1 arasında girilen renk kodu sayesinde istenilen herhangi bir rengin üretim ve karışım işlemi yapılabilmektedir.
- 1/200 adımla hareket eden step motorlar sayesinde mekanik hassasiyeti 0,005 ml olan bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Bu hacim pratikte de seçilebilmekte ve yer değişimi yapılabilmektedir. Ancak, boyanın yüzey gerilmesinden dolayı minimum akıtma bu seviyelere inmemektedir.
- Yüzey gerilmesi dahil en küçük damlayı akıtabilecek bir hassasiyete ulaşılmıştır.
- Dolum süresi miktara bağlı olarak yaklaşık 1 saniyede tamamlanabilmektedir.
- 6. Bölümde sisteme ait deneysel veriler incelenmiş ve sonuçlar belirtilmiştir. Bu sonuçlara göre istenen miktarlar toleranslar dahilinde %97,5 güvenilirlikte tamamlanabilmektedir.
- Çok yüksek fiyatlarla ithal edilen bir ürünün yerine ikame edilebilecek düşük maliyetli yerli bir ürün geliştirilmiştir.

7.2. Öneriler

Bundan sonraki çalışmalar için birtakım önerilerde ortaya çıkmıştır. Bu öneriler tamamlandığında daha ekonomik ve endüstriyel bir ürün ortaya çıkacaktır. Bundan sonraki çalışmalar için öneriler;

- PLC yerine mikro denetleyici kullanılarak daha ucuz bir üretim sağlanabilir.
- Çıkış hortumlarının uçları tank seviyesinde tutularak uç kısımdaki negatif basıncın önüne geçilebilir. Böylece hata oranı daha da aşağıya çekilebilir.

- Hacimsel değişim yerine hassas terazi ile tartım yapılması ve kapalı çevrim kontrol uygulaması gerçekleştirilebilir.
- Tanklar büyütülebilir ve dolum girişı farklı tasarlanarak seri üretimler için avantajlar sağlanabilir.
- Döner ya da yürüyen bir konveyör mekanizmasıyla toplu dozajlama imkânı oluşturulabilir.
- Bir renk numunesi getirildiğinde kamera ile bu rengin algılanması ve basılmasını sağlayacak bir otomasyon eklenebilir.

Bu çalışmayla insan gözünün algılayabileceği renk değişim oranlarının altındaki bir toleransta ve yüksek güvenilirlikte çalışan bir sistem geliştirilmiş ve test edilmiştir. Test sonuçlarının hem deneysel verilerle hem de evrensel yaklaşımlarla örtüştüğü görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Altın, E., 2011, TIA portal ile simatic S7-1200 PLC programlama, plcmerkezi, İstanbul, [online], www.plcmerkezi.com, [Ziyaret Tarihi: 20 Aralık 2018].
- Altunoğlu, S., 2017, Dijitalden baskıya RGB-CMYK renk teorisi, Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü Grafik Ana Bilim Dalı, Grafik Atölye I Ders Notu.
- Arı, Y. S., 2011, Birden fazla seranın, PLC ve SCADA yazılımı ile kontrolü ve internet üzerinden izlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Avhad, P. R., Chande, P. S., Jadhav, S. U., & Mhaske, J. J., 2017, Automatic color mixing using mitsubishi PLC & Elipse SCADA, IJRIER, 2, 112–116.
- Aykaç, E. S., 2010, Development of a SCADA control system for a weighing and bagging machine, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bayındır, R., Kaplan, O., Bayyığıt, C., Sarıkaya, Y., & Hallaçlıoğlu, M., 2011, PLC ve SCADA kullanılarak bir endüstriyel sistemin otomasyonu, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 27(1), 107–115.
- Becerikli, F., 2013, PLC ve SCADA sistemlerinde katı ve sıvıların tartım hassasiyetinin artırılması ve dozajlanması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Black, P. E., 2004, Euclidean distance [online] <https://www.nist.gov/dads/HTML/euclidndstnc.html>, [Ziyaret Tarihi: 15 Ocak 2019].
- Briggs, D., 2019, The dimensions of colour, [online] <http://www.huevaluechroma.com/092.php>, [Ziyaret Tarihi: 20 Ocak 2019].
- Brindha, S., Kishorniy, P., Manickam, R., Chakkaravarthy, K., & Poomani, C., 2018, Automated color mixing machine using arduino, Ijert, 6(04), 1–5.
- Büyükgüçlü, A., Özkök, C., & Erdal, H., 2009, İki malzemeli ağırlık dozajlama sistemi otomasyonu için SCADA yazılımının tasarlanması. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 1–6.
- Canıklıgil, İ., 2014, Dijital video ile sinema. Alfa Yayıncılık, İstanbul.
- Çilek, A., 2005, PLC (Programlanabilir lojik kontrol cihazı) ve SCADA (Yönetmel denetim ve veri toplama) ile endüstriyel otomasyon uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- ÇSGB, 2005, Boya üretimi yapılan işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği proje denetimi değerlendirme raporu, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Ankara.
- Değirmencioğlu, G., 2008, Ağırlık duyarlı elma sınıflandırma otomasyonunun tasarımı

- ve prototip imalatı, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Dhiman, J., & Kumar, D., 2014, Hybrid method for automatically filling of the chemical liquid into bottles using PLC & SCADA, IJERGS, 2(6), 1000–1007.
- Eminoğlu, Y., 2014, PLC programlama ve S7-300/400. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Eminoğlu, Y., 2017, PLC programlama ve S7-1200, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Ford, A., & Roberts, A., 1998, Colour space conversions, [online] <https://doi.org/ColourSpaceConversions> [Ziyaret Tarihi: 10 Ocak 2019].
- Gadhe, A., Bhojane, P., & Kawade, K., 2018, Chemical mixing for process industry using PLC & SCADA, IJAREEIE, 7(4), 1784–1790.
- Giri, S. S., & Lengare, M. J., 2014, Automatic colour mixing machine using PLC, IJECS, 3(12), 9652–9655.
- Gülle, S., & Erdil, A., 2004, System design with SCADA, Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics, 492–496.
- Gümüş, S., 2009, Plc kontrollü boy kesme makinesinde SCADA uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Günay, O., 1992, Otomatik dozajlama ünitesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hasanusta, Y., 2013, Renk bilgisi ve unsurları, [online] <http://www.gencgrafiker.com/rek-bilgisi-ve-unsurlari>, [Ziyaret Tarihi: 20 Ocak 2019].
- Hassan, M. A., 2015, Color mixing machine using PLC and SCADA, WSEAS, 10, 650–665.
- Kafalı, A., & Karalı, M., 2018, Endüstriyel boya dozajlama sistemlerinin PLC-SCADA otomasyonunda kontrol edilmesi, 3'rd International Symposium on Industrial Design & Engineering (ISIDE2018), 63–69.
- Karafil, A., 2010, Çay fabrikalarının modernizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Karataş, M., 2017, CMYK vs RGB, [online] <https://medium.com/muzafferw3/cmyk-vs-rgb-549168e5a698> [Ziyaret Tarihi: 23 Ocak 2019].
- Karayel, M., 2013, Mikrotip hidroelektrik santraller için PLC tabanlı SCADA sistem otomasyonu ve RTU/PLC ile frekans ve gerilim regülasyonunun gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ketenci, H. F., & Bilgili, C., 2006, Görsel iletişim ve grafik tasarımı, Beta Basım Yayınevi (1. Baskı), İstanbul.

- Kızılkaya, A., 2008, Sayısal görüntü işleme, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Kline, S. J., & McClintock, F. A., 1953, Describing uncertainties in single-sample experiments, *Mechanical Engineering*, 75(1), 3–8.
- Megeb, 2011a, Elektrik- elektronik teknolojisi temel PLC sistemleri, Millî Eğitim Bakanlığı, Ankara, 5-16.
- Megeb, 2011b, Matbaa renk karışımları, Millî Eğitim Bakanlığı, Ankara, 9-11.
- Mixservis, 2015, Boya fabrikaları için renklendirme sistemleri yönetimi, Mixservis Makina San. ve Tic. Ltd. Şti., Kocaeli, [online], <http://mixservis.com.tr/boyarenklendirmesistemleri.pdf> [Ziyaret Tarihi: 20 Aralık 2018].
- Mohamed, M. A., 2017, Image based servo control system using PLC and SCADA, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Odesi, 2018, [online] <http://www.odesi.com.tr>, [Ziyaret Tarihi: 4 Ocak 2019].
- Özdemir, R., 2015, PLC and SCADA system application in a construction chemicals manufacturing plant, Yüksek Lisans Tezi, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özer, A., 2016, Endüstriyel sistemlerde plc ve scada uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Polat, H. H., 2012, Renk teorisi ve temel yanılgılar, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 165–173.
- Rapidtables, 2019, RGB color space, [online] https://www.rapidtables.com/web/color/RGB_Color.html, [Ziyaret Tarihi: 15 Ocak 2019].
- Sanamdikar, S. T., & Vartak, C., 2013, Color making and mixing process using PLC, *IJETTCS*, 2(5), 170–174.
- Sebastian, D., Mol, A. H., Jacob, G., Lakshmi, B. I., & Rajani, S. H., 2015, Development & implementation of mixing unit using PLC, *International Conference on Emerging Trends in Engineering & Technology (ICETET-2015)*, 114–119.
- Seylan, A., 2005, Temel tasarım, M-Kitap Yayınevi, Ankara.
- Siemens, 2019, Siemens, [online] http://www.siemens.com.tr/web/1277-11671-1-1/siemens_urunler__cozumler/siemens_urunler__cozumler/endustriyel_otomasyon__sistemleri_-_simatic/simatic_s7-1200, [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2018].
- Sreejeth, M., & Chouhan, S., 2016, PLC based automated liquid mixing and bottle filling system, 1st IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent

Control and Energy Systems, ICPEICES 2016, 1–5.

Yılmaz, İ., 2001, PLC ve uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.

Wikipedia, 2018, [online] https://tr.wikipedia.org/wiki/Öklid_uzaklığı, [Ziyaret Tarihi: 15 Ocak 2019].



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ali KAFALI
Uyruğu : TC
Doğum Yeri ve Tarihi : Nevşehir-1989
Telefon : 554-4209760
Faks : -
e-mail : alikafali@karabuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Nevşehir Anadolu Lisesi, Nevşehir	2008
Üniversite	: Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği, Karabük	2014

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2017	Karabük Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Endüstriyel Otomasyon, Hidrolik Pnömatik Sistemler, PLC, SCADA

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Endüstriyel Boya Dozajlama Sistemlerinin PLC-SCADA Otomasyonunda Kontrol Edilmesi, Ali KAFALI, Mehmet KARALI, ISIDE2018 Antalya.