

ÖZET
KAMERA GÖRÜNTÜSÜ TABANLI KÖMÜR TOZU PATLAYABİLİRLİK ÖLÇME
CİHAZI VE YÖNTEMİ

5 Buluş, yeraltı maden yollarında biriken kömür tozlarının patlayabilirlik seviyesinin tespiti için, maden ocağı içerisinde alınan toz örneklerdeki taştozu/kömürtozu oranlarının belirlenmesini hızlı bir şekilde mümkün kılan ve kullanıcısını yönlendirerek kömür tozu patlamasının önlenmesi için gerekli önlemlerin alınmasında önemli bir rol oynayan, kendisine ait hassas terazi, kamera, 10 ışıklandırma, mikroişlemcili sistem, dokunmatik ekran, kablolu ve kablosuz çevresel haberleşme ve besleme ünitelerinden oluşan, exproof özelliğine sahip ve kamera görüntüsü tabanlı bir ölçme cihazı ile ilgilidir. Exproof kelimesi, Explosion Proof kelimesinin kısaltılmış şekli olup anlamı; Patlamaya Karşı Korunmuştur. Teknik anlamı ise; patlayıcı ve tehlikeli ortamlarda kullanılan elektrikli ürünlerdir.

15

20

25

30

İSTEMLER

- 5 1. Kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme cihazı olup, özelliği; Acorn RISC Machine (ARM) mikroişlemcili bir ana kart, kamera, dokunmatik ekran, iç aydınlatma sistemi, numune giriş gözü, numune kabı, güç kaynağı, şarj ünitesi, hassas terazi, numune hazırlama aparatları ve bütün donanımın yerleştirildiği kasa ile kömür tozu/taş tozu tanıma yazılımıyla karakterizedir.
- 10 2. İstem 1'de bahsedilen iç aydınlatma sistemi olup, özelliği; numune bölmesinin aydınlatmasını sabit tutmak için geliştirilmiş mikro kontrollü bir sistem olmasıyla karakterizedir.
- 15 3. İstem 1'de bahsedilen iç aydınlatma sistemi olup, özelliği; dışarıdan ayarlanabilmesini ve iki yönlü veri transferi sağlanabilmesini sağlayan RS232 seri port içermesidir.
- 20 4. İstem 1'de bahsedilen kasa içinde numune bölmesinin yerleştiği iç hazne olup, özelliği, dört ayrı köşesinde yer alan dört adet foto diyot içermesiyle karakterizedir.
- 25 5. Kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme yöntemi olup, özelliği;
 - Kömür tozu numunelerinin alınması,
 - Alınan bu numunelerin 355 µm elekten geçirilerek neminin sabit tartıya getirilmesi,
 - Numune 355 µm elekten geçirilerek kurutma işlemine hazır hale getirilmesi,
 - Kömür tozu numunelerinin arazi koşullarında sabit tartıya gelinceye kadar kurutulması,
 - Kömür numuneleri sabit tartıya, 5 dakikalık kurutma süresinde, 200 genlik/dakika ve 1/5 oranında kömür tozu-moleküler elek şartlarında getirilmesi,
 - Kullanılan moleküler elek granüllerin boyutları 8-12 mesh (1,68-2,38 mm) aralığında olup kurutulmuş kömür numunesinin bu granüllerden ayrılması için 355 µm elekten eleme işlemine tabi tutulması,
- 30

- Böylece kömür tozu numuneleri kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme sisteminde analiz edilmeye hazır hale getirilmesi,
- Kömür tozu numunesi hazırlandıktan sonra, cihazın numune gözüne yerleştirilmesi,
- 5 - Kömür tozu/taş tozu tanıma yazılımının çalıştırılmasıyla birlikte kamera kalibrasyon işlemleri otomatik olarak gerçekleştirilerek ışık şiddeti ayarlanması,
- Numune bölmesinin yerleştiği iç haznenin dört ayrı köşesinde yer alan dört adet foto diyotun üzerine düşen gerilim değerleri, sıcaklık etkisini gidermek üzere 2,5 V zener gerilim referansından okunan veri ve 10 LM317 lineer gerilim regülatörünün çıkış gerilim verilerinin okunarak aydınlatma sistemi giriş verilerinin oluşturulması,
- Söz konusu oluşturulan giriş verileri dikkate alınarak LM317'nin çıkış gerilimi dinamik olarak ayarlanması ve LED aydınlatma bloğunun ışık 15 şiddeti sabit tutulması,
- Sayısala dönüştürücü çalışma aralığı olan 0 ile 5V arasında uygun gerilim değeri ayarlamaları yapılması,
- Aydınlatma sistemindeki bütün analog verilerin PIC16F877A mikrokontrolcü içerisindeki 8 kanal 10 bit analogdan sayısala 20 dönüştürücü modülünün 6 tanesinin kullanımı ile sayısallaştırılması,
- Zener gerilim referansı hariç bütün girişlerde çok düşük offset değerli, OPAMP tamponlar kullanılarak enstrümantasyon devreleri ile analogdan sayısala dönüştürücünün etkileşimi ihmal edilir hale getirilmesi,
- 25 - LM317'nin çıkış geriliminden alınan gerilim değeri verisi için gerilim bölücü ile ikiye bölme işlemi yapılarak analogdan sayısala dönüştürücünün dönüştürme aralığına normalizasyonunun sağlanması,
- MCP41010 ayarlanabilir sayısal direncin değerinin mikrokontrolcü tarafından değiştirilmesi ile LM317'den alınan LED bloğunu süren 30 gerilim çıkışının kontrolü gerçekleştirilmesi,
- Ayarlanabilir sayısal direnç ile mikrokontrolcü iletişimi SPI bağlantısı ile gerçekleştirilmesi,
- LED bloğunun gerilim beslemesi LM317 ile yapılması,

- MAX232 tümleşik devresi ile Seri haberleşme için gerilim düzeyi ayarlanması,
- TEST VE KALİBRASYON alt programı sistem ilk açıldığı zaman LED lerin sağlamlığının test edilmesi ve önceden ayarlı kalibrasyon değerlerine göre sistemin ihtiyaç duyulması halinde yeniden kalibre edilmesi işlemini gerçekleştirmesi,
- Bu işlemin ardından blok diyagramda AYAR olarak adlandırılan kalibrasyon sonrası fotodiyot ortalama verileri ile anlık çalışma sırasında alınan blok diyagramda VERİ olarak adlandırılan ortalama fotodiyot verileri karşılaştırılması,
- Karşılaştırma ikisi arasındaki farkı HATA olarak isimlendiren bir çıkarma işleminin yapılması,
- Daha sonra bu hata verisi CIKIS_HESAP isimli bir fonksiyona gönderilmesi,
- Mikrokontrolcü bu hesabı kullanarak sayısal direncin değerini dinamik değiştirilmesi,
- Işıklandırma değeri dinamik olarak sabitlenmiş olması için SPI_OUT ile SONUC değeri sayısal dirence gönderilmesi,
- Kamera ile numunenin RGB (Red-Kırmızı, Green-Yeşil, Blue-Mavi) renk uzayında görüntüsü alınması,
- Kamera lensini balıkgözü etkisinden kurtarmak için çalışma alanı olarak net görüntünün elde edildiği kısımlar belirlenmesi,
- Belirlenen alandaki piksel değerlerinin R, G ve B bileşenleri tek tek elde edilip toplamaları hesaplanması,
- Elde edilen sonuçların, eldeki piksel sayısına bölünerek ortalama değerleri her bileşen için ayrı ayrı ($R_{ortalama}$, $G_{ortalama}$, $B_{ortalama}$) elde edilmesi,
- Ölçüm hassaslığını arttırmak amacıyla RGB uzayından HSL (Hue-Renk, Saturasyon-Doygunluk, Light-Parlaklık) uzayına dönüşüm yapılması,
- RGB uzayında olduğu gibi, HSL uzayında da her bileşen ayrı ayrı elde edilerek toplanır ve her bileşenin ortalama değerleri ($H_{ortalama}$, $S_{ortalama}$, $L_{ortalama}$) elde edilmesi,

- Görüntülerden elde edilen bu altı farklı özellik kullanılarak numunedeki taş tozu ve kömür ağırlıkça oranlarına karar verilmesi,
- Sistemin hassas terazisi yardımıyla alınan ağırlık bilgisinin de sonuç hassasiyetini artırmak için altı (6) farklı özelliğe ek olarak kullanılması,
- 5 - Kömür tozu numunesindeki taş tozu ve kömür ağırlıkça oranlarına altı (6) ve/veya yedi (7) farklı özellik kullanılarak karar verilmesi,
- Tahmin işleminde GRNN (Genelleştirilmiş Regresyon Yapay Sinir Ağı) ve MLP (Çok Katmanlı Perceptron) Yapay Sinir Ağları kullanılması,
- Her bir numune işlemi için görüntü alma, özellik çıkarımı ve uzman sistemler birden fazla kez çalıştırılması,
- 10 - Her bir çalıştırma sonucunda elde edilen MLP ve GRNN sonuçlarının karar mekanizmasına gönderilmesi,
- Karar verme aşamasında Bulanık Mantık kullanılması,
- Bu sonuçlar bulanıklaştırma fonksiyonlarından geçirilmekte ardından bulanık kurallar elde edilmekte ve en son aşama olan durulaştırma işlemi ile taş tozu ağırlığı ve kömür yüzdeleri tahmin edilmesi aşamalarıyla karakterizedir.
- 15

20

25

30

TARİFNAME
KAMERA GÖRÜNTÜSÜ TABANLI KÖMÜR TOZU PATLAYABİLİRLİK ÖLÇME
CİHAZI VE YÖNTEMİ

5 TEKNİK ALAN

Buluş, yeraltı maden yollarında biriken kömür tozlarının patlayabilirlik seviyesinin tespiti için, maden ocağı içerisinde alınan toz örneklerdeki taştuzu/kömürtozu oranlarının belirlenmesini hızlı bir şekilde mümkün kılan ve kullanıcısını yönlendirerek kömür tozu patlamasının önlenmesi için gerekli önlemlerin alınmasında önemli bir rol oynayan, kendisine ait hassas terazi, kamera, ışıklandırma, mikroişlemcili sistem, dokunmatik ekran, kablolu ve kablosuz çevresel haberleşme ve besleme ünitelerinden oluşan, exproof özelliğine sahip ve kamera görüntüsü tabanlı bir ölçme cihazı ile ilgilidir. Exproof kelimesi, Explosion Proof kelimesinin kısaltılmış şekli olup anlamı; Patlamaya Karşı Korunmuştur. Teknik anlamı ise; patlayıcı ve tehlikeli ortamlarda kullanılan elektrikli ürünlerdir.

ÖNCEKİ TEKNİK

Kömür tozu patlamaları daima, yeraltı maden işletmeleri için karşılaşılan en önemli tehlikelerden birisi olmuştur. Yeraltı kömür ocaklarının tabanında, duvarlarında ve tahkimat üstlerinde biriken kömür tozları uygun şartlar oluştuğunda, ocak havasında askıya geçerek patlayabilirler. Kömür tozu patlamaları sonucunda ocak içerisindeki sıcaklıklar 2000°C'a kadar çıkarken CO gazı konsantrasyonu da %10'lara kadar çıkabilmektedir. Kömür tozu patlaması sonucunda, yüksek sıcaklık ve/veya zehirli gazlara maruz kalan çalışanların büyük bir çoğunluğu ya hayatlarını kaybetmekte ya da ciddi şekilde yaralanmaktadır. 10 Mart 1906 yılında Kuzey Fransa'daki Courrières madeninde 1099 işçi, 1926 yılında Güney Afrika Durnacol'da 125 işçi, 1972 yılında Zimbabwe Wankie'de 427 işçi, 1993 yılında Zonguldak, Kozlu Bölgesi'nde 263 işçi, 2003 yılında Karaman, Ermenek İlçe'sinde 10 işçi, 2010 yılında Balıkesir, Dursunbey İlçesi'nde 17 işçi kömür tozu patlaması sonucunda hayatını kaybetmiştir.

Kömür tozu patlamalarını önlemek üzere, Şistleme adı verilen bir yöntemle kömür tozu birikmesi muhtemel yerlere kireçtaşı tozu serpilerek ortamdaki kömür

tozu konsantrasyonu patlayabilirlik seviyesinin altına düşürülmektedir. Taş tozu uygulamasının esası, maden ocağındaki yolların tabanında biriken kömür tozlarının üzerine patlama özelliği olmayan kireçtaşı tozu atarak ortamdaki kömür tozlarının konsantrasyonlarını %20 veya daha düşük seviyelere çekmek ve böylece kömür tozu patlamalarını engellemektir. Taş tozu uygulamasının başarılı olabilmesi için uygulama sonunda ocak yollarında biriken tozların içerisindeki kömür tozu oranının ağırlıkça en fazla %20 olması, buna mukabil taş tozu oranının da en az %80 olması gerekmektedir. Uygulamanın etkinliğini ölçmek üzere uygulanan geleneksel yöntemde, uygulama sonrası ocak yollarından alınan tozların laboratuvara gönderilerek 500-530 °C' de 4 saat süreyle yakıldıktan sonra geriye kalan kısmının taş tozu oranını temsil ettiği kabul edilmektedir. Laboratuvarında yapılan analiz ile elde edilen sonuçlar, 4 ile 8 saat arasında bir süre gerektirdiği için madenlerdeki iş güvenliğinin sağlanması ve kömür tozu patlamalarının önlenmesi bakımından yetersiz kalmaktadır.

15

Yeraltı ocak yollarından alınan toz numunelerinin patlayabilirlik derecelerini hızlı bir şekilde ve yerinde (ocak içerisinde) belirleyebilmek için optik yansıma esasına göre ölçüm yapan taşınabilir cihazlar geliştirilmiştir. Optik yansıma esasına dayalı çalışan cihazlar laboratuvarında taş tozu içeriği belirlenmiş referans numunesiyle ocaktan alınan numuneleri optik yansıma esasına göre kıyaslanma prensibine göre çalışmaktadır. Cihaz güvenli taş tozu-kömür tozu oranlarında "Yeşil (GREEN)", tehlikeli konsantrasyonlarda ise "Kırmızı (RED)" uyarısı vermektedir. %70'in altındaki taş tozu konsantrasyonlarda ise herhangi bir oran vermeksizin "Kırmızı (RED)" uyarısı yapmaktadır. Optik yansıma esasına göre çalışan cihazlar sadece taş tozu uygulamasının başarılı olup olmadığı hakkında bilgi verebilmektedir. Ancak, yöntem toz numunesi içerisindeki taş tozu-kömür tozu oranlarını net bir şekilde veremediği için, uygulamanın devamında ortama atılması gereken taş tozu miktarının ayarlanması ile ilgili herhangi bir bilgi vermemektedir. Ayrıca, kömür damarı içerisindeki bazı kayaçların koyu renkli olması nedeniyle bu kayaçları kömür gibi algılayarak gereksiz yere maden ocağında toz patlaması alarmı verilmesine de neden olabilmektedir.

ŞEKİLLERİN ANLAMI

- Şekil 1. Kamera Görüntüsü Tabanlı Kömür Tozu Patlayabilirlik Ölçme Sisteminin Blok Diyagramı
- Şekil 2. Kömür Tozu/Taş Tozu Tanıma Yazılımının Akış Şeması
- 5 Şekil 3. Kömür Tozu/Taş Tozu Tanıma Yazılımının Akış Şeması
- Şekil 4. PIC16F877A Mikrokontrolcü İçerisindeki 8 Kanal 10 Bit Analogdan Sayısala Dönüştürücü Modülü
- Şekil 5. Devrenin Genel Çalışmasına Ait Blok Diyagram
- Şekil 6. Numunenin RGB Renk Uzayında Görüntüsü
- 10 Şekil 7. HSL Uzayına Dönüştürülmüş Olan Örnek Görüntü
- Şekil 8. GRNN Ağ Mimarisi
- Şekil 9. MLP Ağ Mimarisi
- Şekil 10. Üyelik Fonksiyonlarının Grafikleri

15 BULUŞUN DETAYLI AÇIKLAMASI

- Buluş sayesinde yeraltı maden yollarında toz patlayabilirlik seviyesinin tespiti için sürekli örnekleme yapılması ve taş tozu oranlarının belirlenmesi hızlı bir şekilde mümkün olacaktır. Cihazın anında sağladığı veriler sayesinde, kömür tozu patlamasını önlemek üzere yeterli taş tozu uygulaması yapıp yapılmadığını tespit
- 20 edebilmekte, taş tozu uygulaması yapan madencileri uyararak eksik veya fazla taş tozu miktarı varsa onu da göstererek uyarı ve doğru yönlendirme yapmaktadır. Buluş, barındırdığı numune hazırlama aparatları, kamera, ışıklandırma, mikro işlemcili sistem, dokunmatik ekran, hassas terazi, çevresel haberleşme ve besleme ünitelerinden oluşan bir yapıda olup, kendi başına çalışır haldedir. Kameradan aldığı
- 25 kömür numunelerinin görüntülerine göre yapay zekâ ve makine öğrenmesi yöntemleri kullanarak kömür tozu/taş tozu karışımlarının oranlarını (ağırlıkça %) tahmin ederek bu karışımların patlayabilirlik derecelerini belirlemektedir. Ortamdaki metan gazı biliniyorsa, bu değer de, kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme sistemine girilir. Böylece kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme
- 30 sistemi, metan gazı konsantrasyonunu da dikkate alarak kömür tozu patlayabilirlik derecesini tayin edebilmektedir. Bu işlemler için görüntü işleme, sayısal veri işleme ve filtreleme teknikleri ile veri çıkarımı yapmakta, işlemcisi üzerinde yürütülen yapay zekâ yazılımı ile tahminde bulunmaktadır.

Mevcut sistemlerin renk tanıma tabanlı çözümlerine göre çok daha büyük çaplı veri işleme yeteneğine sahip olan bu sistem, dokunmatik bir ekran ile kullanıcı ara yüzü içermektedir. Kamera ile elde edilen görüntülerde uygulanan dönüştürme, filtreleme ve iyileme yaklaşımları sonrası, üzerinde yürütülen yapay zekâ tabanlı karar verme yazılımı sayesinde kömür tozlarının patlayabilirlik derecesini ölçmek üzere geliştirilmiştir. Yapay zeka algoritmalarının pek çoğunun eş zamanlı çalışarak optimum sonuca ulaşmayı sağlamak üzere katkıda bulunduğu bu sistem mevcutlarına göre teknik ve bilimsel açıdan daha nitelikli ve esnek çözüm sunmaktadır.

Kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme sistemi, bütün sürecin kontrolünü ve yürütülmesini sağlayan Acorn RISC Machine (ARM) mikroişlemcili bir ana kart, kamera, dokunmatik ekran, iç aydınlatma sistemi, numune giriş gözü, numune kabı, güç kaynağı, şarj ünitesi, hassas terazi, numune hazırlama aparatları ve bütün donanımın yerleştirildiği kasa ile kömür tozu/taş tozu tanıma yazılımından oluşmaktadır.

Buluş, içerdiği kamera ile taş tozu-kömür tozu karışımlarına ait görüntülerin uygun ön işleme adımlarının ardından yapay sinir ağına uygulanması sonucu taş tozu-kömür tozu yüzde miktarlarını (ağırlıkça) tespit etmektedir. Bu cihaz ile ölçülecek taş tozu ve kömür tozu oranları mevcut cihazlara göre daha hassas sonuç vermektedir (ağırlıkça $\pm\%1$).

Sistem üzerinde yürütülecek yapay sinir ağı çözümleri güncel ve ileri yapay sinir ağı topolojilerini ve eğitim yöntemlerini içermektedir. Tek veya çoklu yapay sinir ağlarının bir arada kullanımı ile elde edilen yapay zekalı uzman sistem sayesinde, hata payı eş işlevli cihazlara göre çok daha küçüktür. Kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme sistemi, kendi başına çalışabilir ve taşınabilir bir donanım olup üzerinde gerçekleştirilen amaca özel yazılım ile birlikte sistem olarak özgün bir çözümdür.

Kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme sisteminin ana kartı, kamerası ve dokunmatik ekranı, hassas terazi, güç kaynağı, şarj ünitesi ve numune hazırlama aparatları standart donanımlardır. Bu standart donanımların yerleştirildiği kasa, numune giriş gözü, numune kabı, kamera için aydınlatma sistemi ve kömür/taş tozu tanıma yazılımı özgün olarak tasarlanmıştır.

Kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme sisteminin çalışma prensipleri **Şekil 1**'deki blok diyagramla gösterilerek ayrıntılı bir şekilde izah edilmiştir.

Geliştirilen sistem ile ölçüm yapılabilmesi için öncelikle kömür tozu numunelerinin alınması ve alınan bu numunelerin 355 µm elekten geçirilerek neminin sabit tartıya getirilmesi gerekir. Numune 355 µm elekten geçirilerek kurutma işlemine hazır hale getirilir. Kömür ocaklarından alınan kömür tozu numunelerinin arazi koşullarında sabit tartıya gelinceye kadar kurutulması işlemi moleküler elek ile yapılır. Alümina silikat kristalleri, moleküler elek olarak da adlandırılmaktadır.

Moleküler elek geniş gözenekli kristal yapıya sahiptir. Bu gözenekler, suyu veya başka polar molekülleri soğurma (absorblama) ve tutma özelliğine sahiptir. 1000 m²/gram'a yakın bir yüzey alanında nem ve diğer akışkanları soğurabilir (absorblayabilir). Kömür numuneleri sabit tartıya, 5 dakikalık kurutma süresinde, 200 genlik/dakika ve 1/5 oranında kömür tozu-moleküler elek şartlarında getirilir. Kullanılan moleküler elek granüllerin boyutları 8-12 mesh (1,68-2,38 mm) aralığında olup kurutulan kömür numunesinin bu granüllerden ayrılması için 355 µm elek eleme işlemine tabi tutulur. Böylece, kömür tozu numuneleri kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme sisteminde analiz edilmeye hazır hale getirilir. Kömür tozu numunesi hazırlandıktan sonra, cihazın numune gözüne yerleştirilir.

Kömür tozu/taş tozu tanıma yazılımının çalıştırılmasıyla birlikte kamera kalibrasyon işlemleri otomatik olarak gerçekleştirilerek ışık şiddeti ayarlanır. Yazılımın akış şeması **Şekil 2**'de ve **Şekil 3**'de verilmiştir.

Aydınlatma sistemi numune bölmesinin aydınlatmasını sabit tutmak için geliştirilmiş mikro kontrollü bir sistem olup RS232 seri port haberleşmesi ile dışarıdan ayarlanabilmekte, iki yönlü veri transferi sağlanabilmektedir. Sistemin girişleri numune bölmesinin yerleştiği iç haznenin dört ayrı köşesinde yer alan dört adet foto diyotun üzerine düşen gerilim değerleri, sıcaklık etkisini gidermek üzere 2,5 V zener gerilim referansından okunan veri ve LM317 lineer gerilim regülatörünün çıkış gerilim verileri aydınlatma sistemi için girişlerdir. Bu girişler dikkate alınarak LM317'nin çıkış gerilimi dinamik olarak ayarlanmakta ve LED aydınlatma bloğunun ışık şiddeti sabit tutulmaktadır.

Sistem seri porttan gelen ayar ve veri bilgisine göre ayarlanmaktadır. Seri port kesmesi oluşmasının ardından sistem seri porttan gelen veriye göre ayarlanabilmekte böylece farklı madenlere ait kömürlerin renk analizi için daha önceden çalışılmış en

verimli ışık şiddeti ayarı yapılabilmektedir. Eğer seri port kesmesini müteakip sisteme gelen seri port verisi veri gönder komutuna karşılık gelen değer olursa o vakit aydınlatma sistemi seri port üzerinden harici cihaza dört ayrı fotodiyot verisini, LM317 çıkış gerilimi verisini ve zener gerilim referansı verilerini seri port üzerinden cevap olarak göndermektedir.

Aydınlatma sisteminin bütün girişleri analogdur. Bu veriler kullanılan PIC16F877A mikrokontrolcü içerisindeki 8 kanal 10 bit analogdan sayısala dönüştürücü modülünün 6 tanesinin kullanımı ile sayısallaştırılmaktadır. Sayısala dönüştürücü çalışma aralığı olan 0 ile 5V arasında uygun gerilim değeri ayarlamaları yapılmıştır. Sistem 10 bit çözünürlükle yaklaşık 1 mV hassasiyete sahip bir sayısallaştırma yapmaktadır.

Zener gerilim referansı hariç bütün girişlerde çok düşük offset değerli, OPAMP tamponlar kullanılmıştır. Böylece enstrümantasyon devreleri ile analogdan sayısala dönüştürücünün etkileşimi ihmal edilir hale getirilmiştir. LM317'nin çıkış geriliminden alınan gerilim değeri verisi için gerilim bölücü ile ikiye bölme işlemi yapılmış böylece analogdan sayısala dönüştürücünün dönüştürme aralığına normalizasyon sağlanmıştır.

LM317'den alınan LED bloğunu süren gerilim çıkışının kontrolü MCP41010 ayarlanabilir sayısal direncin değerinin mikrokontrolcü tarafından değiştirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Ayarlanabilir sayısal direnç ile mikrokontrolcü iletişimi SPI bağlantısı ile gerçekleştirilmiştir.

LED bloğunun gerilim beslemesi LM317 ile yapılmaktadır. Seri haberleşme için gerilim düzeyi ayarlamak üzere MAX232 tümleşik devresi kullanılmıştır. Sistem haricen DC 9V gerilimi ile beslenmekte olup ihtiyaç duyulan ve yüksek akım çekmeyen yerlerde DC 5V gerilimi 7805 entegresinin kullanımı ile elde edilmiştir.

Devrenin genel çalışmasına ait blok diyagram **Şekil 4'**de görülmektedir. TEST VE KALİBRASYON alt programı sistem ilk açıldığı zaman LED lerin sağlamlığının test edilmesi ve önceden ayarlı kalibrasyon değerlerine göre sistemin ihtiyaç duyulması halinde yeniden kalibre edilmesi işlemini gerçekleştirmektedir. Bu işlemin ardından blok diyagramda AYAR olarak adlandırılan kalibrasyon sonrası fotodiyot ortalama verileri ile anlık çalışma sırasında alınan blok diyagramda VERİ olarak adlandırılan ortalama fotodiyot verileri karşılaştırılır. Karşılaştırma ikisi arasındaki farkı HATA olarak isimlendiren bir çıkarma işlemidir. Daha sonra bu hata verisi

CIKIS_HESAP isimli bir fonksiyona gönderilir. Bu fonksiyon hatayı minimize etmek üzere hazırlanmış en küçük kareler (LMS) algoritması ile hesap yapan bir regresyon fonksiyonudur. Fonksiyon anlık HATA girişine karşılık SPI arayüzü ile kontrol edilen sayısal direncin değerini hesaplar. Bu değeri çağıran programa SONUC olarak geri dönüşü akış diyagramında görülmektedir. Mikrokontrolcü bu hesabı kullanarak sayısal direncin değerini dinamik değiştirir. SPI_OUT ile SONUC değeri sayısal dirence gönderilmektedir. Böylece ışıklandırma değeri dinamik olarak sabitlenmiş olmaktadır.

10 Kamera ile numunenin RGB (Red-Kırmızı, Green-Yeşil, Blue-Mavi) renk uzayında görüntüsü alınır. **Şekil 6**'da alınan görüntüden bir örnek verilmiştir. Kamera lensini balıkgözü etkisinden kurtarmak için çalışma alanı olarak net görüntünün elde edildiği kısımlar belirlenir.

15 Belirlenen alandaki piksel değerlerinin R, G ve B bileşenleri tek tek elde edilip toplamları hesaplanır ve eldeki piksel sayısına bölünerek ortalama değerleri her bileşen için ayrı ayrı ($R_{ortalama}$, $G_{ortalama}$, $B_{ortalama}$) elde edilir. Ölçüm hassaslığını arttırmak amacıyla RGB uzayından HSL (Hue-Renk, Saturasyon-Doygunluk, Light-Parlaklık) uzayına dönüşüm yapılır. **Şekil 7**'de HSL uzayına dönüştürülmüş olan örnek görüntü verilmiştir.

20 RGB uzayında olduğu gibi, HSL uzayında da her bileşen ayrı ayrı elde edilerek toplanır ve her bileşenin ortalama değerleri ($H_{ortalama}$, $S_{ortalama}$, $L_{ortalama}$) elde edilir. Görüntülerden elde edilen bu altı farklı özellik şöyledir;

No	Red	Green	Blue	Hue	Sat	Light
1	32.1788	35.1902	31.0751	52.3877	19.964	32.9091
1	32.5333	35.1913	31.1594	52.1797	17.7285	33.2602
1	32.2815	35.29	31.2297	49.3854	20.878	32.9392
1	32.6727	35.2638	31.3235	44.7356	19.2919	33.2143
1	32.5192	35.3183	31.3357	55.1461	18.1333	33.3392

25 Görüntülerden elde edilen bu altı farklı özellik kullanılarak numunedeki taş tozu ve kömür ağırlıkça oranlarına karar verilir. Ayrıca istenirse önerilen sistemin hassas terazisi yardımıyla alınan ağırlık bilgisi de altı (6) farklı özelliğe ek olarak kullanılır. Kömür tozu numunesindeki taş tozu ve kömür ağırlıkça oranlarına altı (6) ve/veya yedi (7) farklı özellik kullanılarak karar verilir. Ağırlık girdisi opsiyonel olup tartı istendiği takdirde aktifleştirecektir. Aksi takdirde sadece renk tabanlı özellikler kullanılacaktır.

Tahmin işleminde, GRNN (Genelleştirilmiş Regresyon Yapay Sinir Ağı) ve MLP (Çok Katmanlı Perceptron) Yapay Sinir Ağları kullanılmaktadır. Bu iki yapı eğitici öğrenen Yapay Sinir Ağları olup tahmin problemlerinin çözümünde etkin olarak kullanılmaktadırlar. İki Yapay Sinir Ağına eğitimi, tespit işlemine başlamadan önce, analizi yapılacak olan kömür tozu numunesinin sisteme tanıtılması aşamasında gerçekleştirilmektedir. Eğitim verileri için çalışılacak madenden alınan örneklerle aynı işlemler uygulanarak gerekli altı (6) renk tabanlı özellik ve hassas teraziden alınan ağırlık bilgileri kullanılarak yapay sinir ağlarının katsayıları elde edilmektedir.

GRNN ağ mimarisi, dört katmandan oluşmaktadır. Giriş katmanından uygulanan test verisi ile eğitim verileri arasındaki benzerlik uzaklık hesabı tabanlı olup Gauss fonksiyonu kullanılarak hesaplanmakta ve ağırlıklı ortalama ile test verisi için sonuç elde edilmektedir. **Şekil 8'**de GRNN ağ mimarisi gösterilmiştir; yukarıdan aşağıya ilk katman giriş, ikinci katman örüntü, üçüncü katman toplama ve dördüncü katman çıkış katmanıdır.

Giriş katmanından girişler, $(x(R, G, B, H, S, L, \text{tartı bilgisi}))$ beslenmektedir. İkinci katman da ise eğitim verileri yer almaktadır, $(t_1, \dots, t_p, p \text{ eğitim verisi sayısı})$. Bu katmanda karesel Öklid uzaklığı hesaplandıktan (1) sonra Gauss fonksiyonu (2) uygulanır. Denklemlerde $t_i, j.$ eğitim verisini, x uygulanan 7 boyutlu girişi $(R, G, B, H, S, L, \text{tartı bilgisi})$, D_i $j.$ eğitim verisi için hesaplanan karesel Öklid uzaklığını, $r_i, j.$ nöronun çıkışı ve σ varyans değerini göstermektedir.

$$D_j = (x - t_j)^T (x - t_j) \quad (1)$$

$$r_j = e^{\left[\frac{-D_j}{2\sigma^2} \right]} \quad (2)$$

Üçüncü katmanda payda nöronu, örüntü katmanından gelen çıkışları toplarken; pay nöronu örüntü katmanından gelen çıkışları ($j.$ nöron için r_i) eğitim verilerinin çıkış değerleriyle ($j.$ nöron için y_i) ağırlıklandırarak toplamaktadır. Çıkış katmanı ise ağırlıklı toplamı, ağırlıksız toplama bölerek sonucu $Y(x)$ üretir. (3) çıkış değerinin hesaplanmasını göstermektedir, $Y(x)$, taş tozu ağırlığının yüzde ölçümünü ifade etmektedir.

$$Y(x) = \frac{\sum_{j=1}^p x_j * r_j}{\sum_{j=1}^p r_j} \quad (3)$$

MLP mimarisinde ise giriş katmanı birden fazla gizli katman ve bir sonuç katmanı kullanılmaktadır. MLP ağının eğitimi aşamasında, örnek veriler kullanılarak lineer olmayan bir matematiksel ifade sağlanmaktadır. Bu matematiksel ifadenin katsayıları, eğitim düşün yöntemi aracılığıyla örnek verilerin hata değerlerinin minimuma indirgenmesi ile bulunmaktadır. **Şekil 9**'da kullanılan 5 katmanlı MLP ağ mimarisi gösterilmiştir: (x(R, G, B, H, S, L, tartı bilgisi)) giriş birimlerini; ω 'ler ağırlıkları, b'ler ise biyas değerlerini göstermektedir. MLP ağ yapısında, her katman bir sonraki katmana tam bağlıdır.

Birinci katmanda yer alan j. nöronun çıkışı $h_{1,j}$ olsun; değeri, (4)'teki gibi hesaplanır.

$$h_{1,j} = f \left(\sum_{i=1}^7 \omega_{h_{1,j},i} * x_i - b_{h_{1,j}} \right) \quad (4)$$

İkinci katmanda yer alan k. nöronun çıkışı $h_{2,k}$ olsun; değeri, (5)'teki gibi hesaplanır.

$$h_{2,k} = f \left(\sum_{j=1}^{60} \omega_{h_{2,k},h_{1,j}} * h_{1,j} - b_{h_{2,k}} \right) \quad (5)$$

Üçüncü katmanda yer alan l. nöronun çıkışı $h_{3,l}$ ile gösterilsin, çıkış değeri (6)'da gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$h_{3,l} = f \left(\sum_{k=1}^{20} \omega_{h_{3,l},h_{2,k}} * h_{2,k} - b_{h_{3,l}} \right) \quad (6)$$

Denklemlerde yer alan $f(\)$ fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonudur ve tanjant hiperbolik sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. (7), tanjant hiperbolik sigmoid fonksiyonunu göstermektedir.

$$f(h) = \frac{2}{(1 + \exp(-2 \cdot h))} - 1 \quad (7)$$

Çıkış katmanında ise değer (8) verilen şekilde hesaplanmaktadır, buradaki aktivasyon fonksiyonu lineerdir, hesaplanan ağırlıklı girişlerin toplamı çıkışı gösterir.

$$o = \sum_{i=1}^{10} \omega_{o,h_{3,i}} \cdot h_{3,i} \quad (8)$$

5

Eğitim aşamasında, hedef değer ile hesaplanan değer arasındaki karesel hata bulunur ve bu hatanın ağırlıklara göre değişimi hesaplanır. Hatanın minimizasyonu için hesaplanan türevlerin tersi yönünde ilerlenir. Çıkış katmanında oluşan hata, geriye doğru tüm nöronlara ağırlıkları ölçüsünde paylaştırılır. Belirlenen iterasyon sayısı kadar eğitme işlemi devam ettirilir. Eğitim işleminin adımları sırasıyla aşağıda gösterilmiştir.

10 o , ağırlık tahmin ettiği değeri; y ise gerçek değeri gösterebilir, karesel hata e , (9)'daki şekilde hesaplanacaktır.

15

$$e = (o - y)^2 \quad (9)$$

Son katmandaki ağırlıkların, hata üzerindeki etkisi (10)'daki gibi olacaktır.

$$\frac{\partial o}{\partial \omega_{o,h_{3,i}}} = -2(o - y)f' \left(\sum_{i=1}^{10} \omega_{o,h_{3,i}} \cdot h_{3,i} \right) h_{3,i} = -2(o - y) \cdot h_{3,i} \quad (10)$$

20 Gizli katmanlara (h_3 ile h_2 ve h_2 ile h_1) yayılan hata ise sırasıyla (11) ve (12)'deki şekilde hesaplanır, f' aktivasyon fonksiyonunun türevini göstermektedir.

$$\frac{\partial o}{\partial \omega_{h_3,h_{2,k}}} = -2(o - y) \cdot h_{3,i} + \omega_{o,h_{3,i}} \cdot f' \left(\sum_{k=1}^{20} \omega_{h_{3,i},h_{2,k}} \cdot h_{2,k} + b_{h_3} \right) \cdot h_{2,k} \quad (11)$$

$$\frac{\partial o}{\partial \omega_{h_{2,k},h_{1,j}}} = \left(\sum_i -2(o-y) * h_{3,i} * \omega_{o,h_{3,i}} * f' \left(\sum_{k=1}^{20} \omega_{h_{3,i},h_{2,k}} * h_{2,k} - b_{h_3} \right) * \omega_{h_{3,i},h_{2,k}} \right) * f' \left(\sum_{j=1}^{60} \omega_{h_{2,k},h_{1,j}} * h_{1,j} - b_{h_2} \right) * h_{1,j} \quad (12)$$

Giriş katmanı ile ilk gizli katman arasındaki ağırlıkların hataya etkisi ise (13)'teki şekilde hesaplanır.

$$\frac{\partial o}{\partial \omega_{h_{1,j},i}} = \left(\sum_k \left(\sum_i -2(o-y) * h_{3,i} * \omega_{o,h_{3,i}} * f' \left(\sum_{k=1}^{20} \omega_{h_{3,i},h_{2,k}} * h_{2,k} - b_{h_3} \right) * \omega_{h_{3,i},h_{2,k}} \right) * f' \left(\sum_{j=1}^{60} \omega_{h_{2,k},h_{1,j}} * h_{1,j} - b_{h_2} \right) \right) * f' \left(\sum_{i=1}^7 \omega_{h_{1,j},i} * x_i - b_{h_1} \right) * x_i \quad (13)$$

5

Ağırlıklar hesaplanan eğimlerin tersi yönünde (14)'te verilen şekilde güncellenir, lr öğrenme katsayısını göstermektedir.

$$\begin{aligned} \omega_{h_{1,j},i}^{yeni} &= \omega_{h_{1,j},i} - lr * \frac{\partial o}{\partial \omega_{h_{1,j},i}} \\ \omega_{h_{2,k},h_{1,j}}^{yeni} &= \omega_{h_{2,k},h_{1,j}} - lr * \frac{\partial o}{\partial \omega_{h_{2,k},h_{1,j}}} \\ \omega_{h_{3,i},h_{2,k}}^{yeni} &= \omega_{h_{3,i},h_{2,k}} - lr * \frac{\partial o}{\partial \omega_{h_{3,i},h_{2,k}}} \\ \omega_{o,h_{3,i}}^{yeni} &= \omega_{o,h_{3,i}} - lr * \frac{\partial o}{\partial \omega_{o,h_{3,i}}} \end{aligned} \quad (14)$$

10 Yapay sinir ağlarının (MLP ve GRNN) eğitme işlemleri, kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme sisteminin üretim aşamasında tamamlanmış olup cihazın ticari kullanımı sırasında eğitme işlemi yapılmamaktadır. Eğitim aşamasında elde edilen MLP için ağırlık ve biyas değerleri ile GRNN için örnek veri değerleri cihazın ticari kullanımı sırasında önceden hazırlanmış olan veri tabanlarında tutulmaktadır.

15

Kullanıcı herhangi bir eğitime işlemi gerçekleştirmemektedir. Her bir numune işlemi için görüntü alma, özellik çıkarımı ve uzman sistemler birden fazla kez çalıştırılmaktadır. Karar sistemine her bir çalıştırma sonucunda elde edilen MLP ve GRNN sonuçları gönderilmektedir. Karar verme aşamasında Bulanık Mantık kullanılmaktadır. Bu sonuçlar bulanıklaştırma fonksiyonlarından geçirilmekte ardından bulanık kurallar elde edilmekte ve en son aşama olan durulaştırma işlemi ile taş tozu ağırlığı ve kömür yüzdeleri tahmin edilmektedir. Bulanık mantığın ilk adımı olan bulanıklaştırmanın gerçekleştirilebilmesi için üyelik fonksiyonu tanımlamaları yapılmaktadır. μ^1_{MLP} , μ^2_{MLP} , μ^3_{MLP} ve μ^1_{GRNN} , μ^2_{GRNN} , μ^3_{GRNN} olmak üzere her bir giriş için üç farklı üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. Birinci üyelik fonksiyonu çalışma sınırından düşük değer elde edildiğini, ikinci üyelik fonksiyonu çalışma sınırları içinde değerler elde edildiğini, üçüncü üyelik fonksiyonu ise çalışma sınırı dışında kaldığını göstermektedir. Sistemde birinci üyelik fonksiyonları için Z şekilli üyelik fonksiyonu, ikinci üyelik fonksiyonları için yamuk şekilli üyelik fonksiyonu ve üçüncü üyelik fonksiyonları için ise S şekilli üyelik fonksiyonu kullanılmaktadır. Üyelik fonksiyonlarının grafikleri **Şekil 10**'da gösterilmektedir.

(15), (16) ve (17)'de MLP girişi için sırasıyla Z şekilli, yamuk şekilli ve S şekilli üyelik fonksiyonları gösterilmiştir.

$$\mu^1_{MLP}(x; a, b) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ 1 - 2 \left(\frac{x - 40}{40 - 0} \right)^2, & 0 \leq x \leq 40 \\ 2 \left(\frac{x - 40}{40 - 0} \right)^2, & 20 \leq x \leq 40 \\ 0, & x \geq 40 \end{cases} \quad (15)$$

$$\mu^2_{MLP}(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq 39.9 \\ \left(\frac{x - 39.9}{40 - 39.9} \right), & 39.9 \leq x \leq 40 \\ 1, & 40 \leq x \leq 100 \\ \left(\frac{100.1 - x}{100.1 - 100} \right), & 100 \leq x \leq 100.1 \\ 0, & x \geq 100.1 \end{cases} \quad (16)$$

$$\mu^3_{MLF}(x; a, b) = \begin{cases} 0, & x \leq 100 \\ 2 \left(\frac{x - 100}{163 - 100} \right)^2, & 100 \leq x \leq 131.5 \\ 1 - 2 \left(\frac{x - 163}{163 - 100} \right)^2, & 131.5 \leq x \leq 163 \\ 1, & x \geq 163 \end{cases} \quad (17)$$

Bulanıklaştırma aşamasında, bir veri için birden fazla kez çalıştırılan sistemden elde edilen i. sonuçlar x^i_{MLF} ve x^i_{GRNN} ile gösterilmek üzere üyelik fonksiyonlarında yerlerine konularak bulanık değerler elde edilmektedir. Üyelik

5 fonksiyonlarına dayanarak elde edilen kurallar yardımıyla i. sonuç için çıkış değerinin üye olduğu grup belirlenmektedir. Örnek bir kural aşağıda verilmiştir:

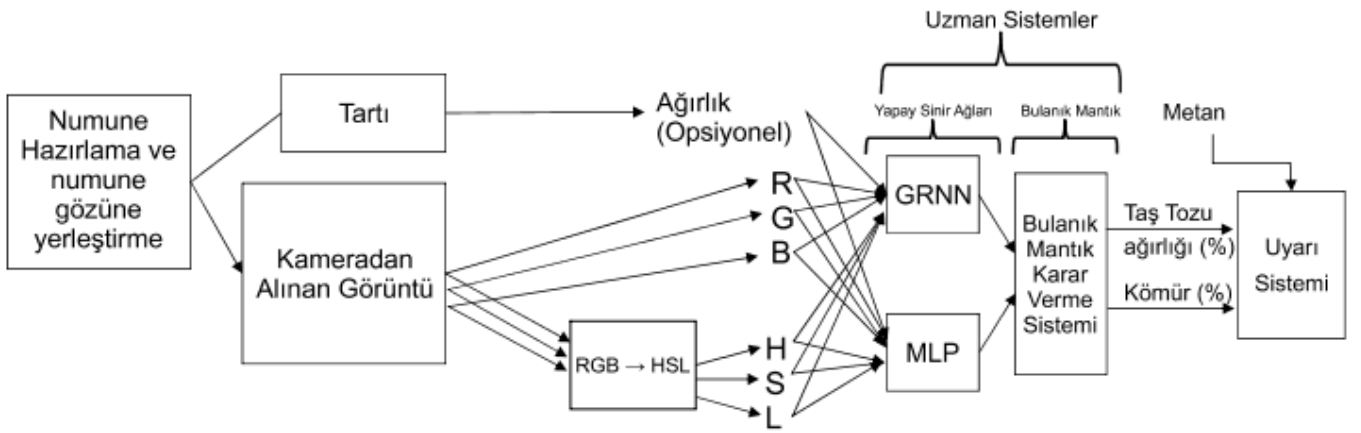
“Eğer MLP sınırdan küçük ve GRNN sınırdan küçük ise çıkış sınırdan küçük”

10 Elde edilen bulanık çıkış değeri durulaştırılarak kesin değerlere dönüştürülmektedir. Sistemde Memdani yöntemi uygulanmakta ve durulaştırma fonksiyonu olarak ağırlık merkezi yöntemi kullanılmaktadır. “ $1 \leq i \leq N$ ” N, tahmin işleminin tekrarlanma sayısını gösterebilir, tek bir veri için N farklı sonuç elde edilmektedir en son karar verme aşamasında bu N sonuçtan en fazla tekrarlanan

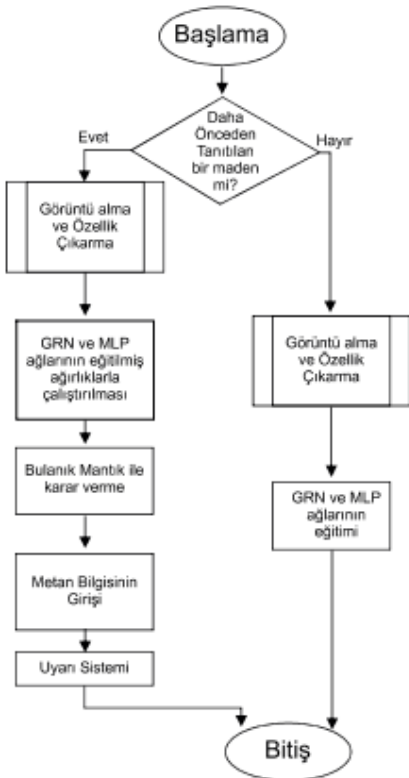
15 yapı kesin sonuç olarak belirlenmektedir. Elde edilen bu kesin sonuca ve kullanıcı tarafından girilen metan gazı bilgisine göre kullanıcıya taş tozu ilavesinin gerekli olup olmadığı ile ilgili olarak uyarılar verilmektedir. Örneğin, “%5 taş tozu ilavesi gerekmektedir”

20

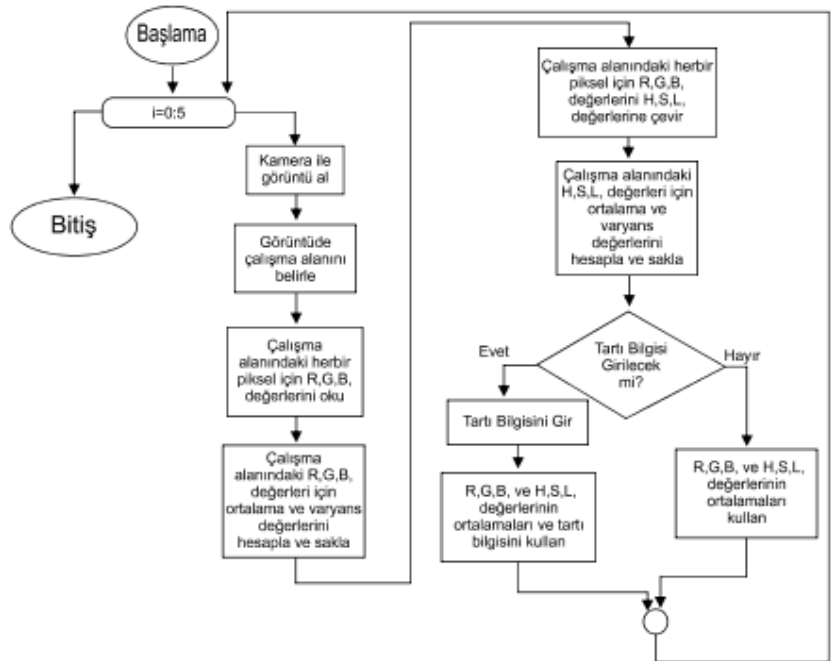
25



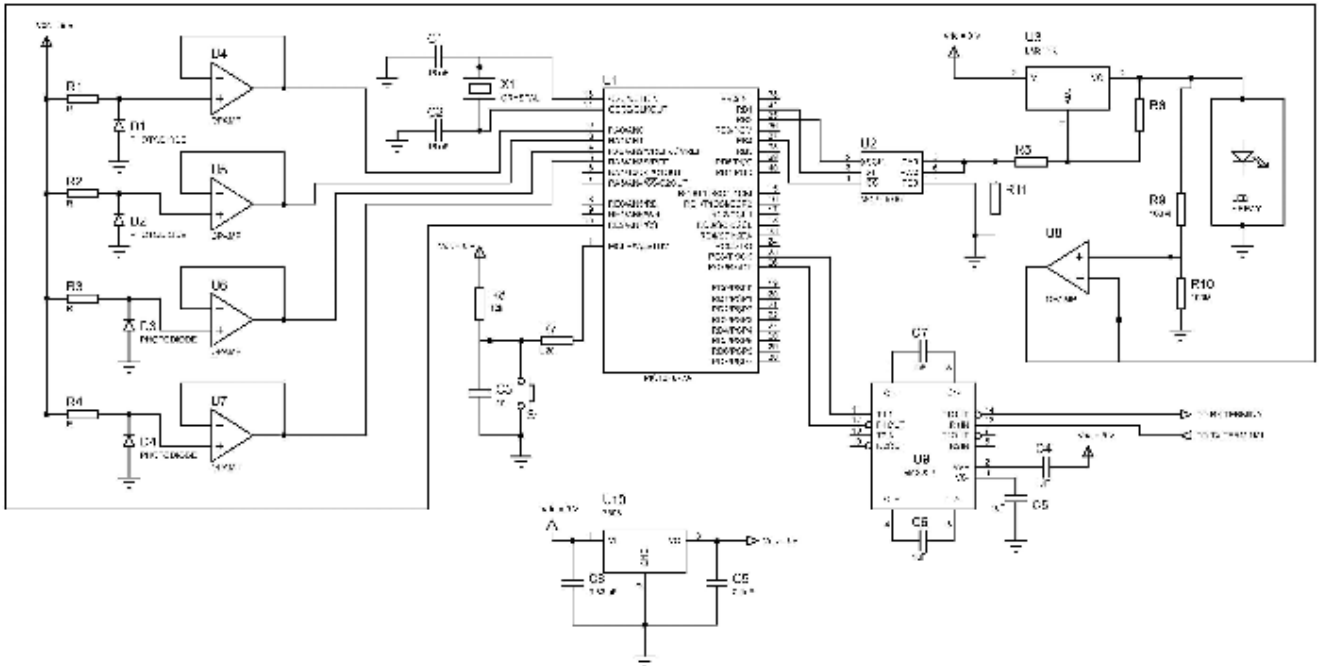
ŞEKİL 1



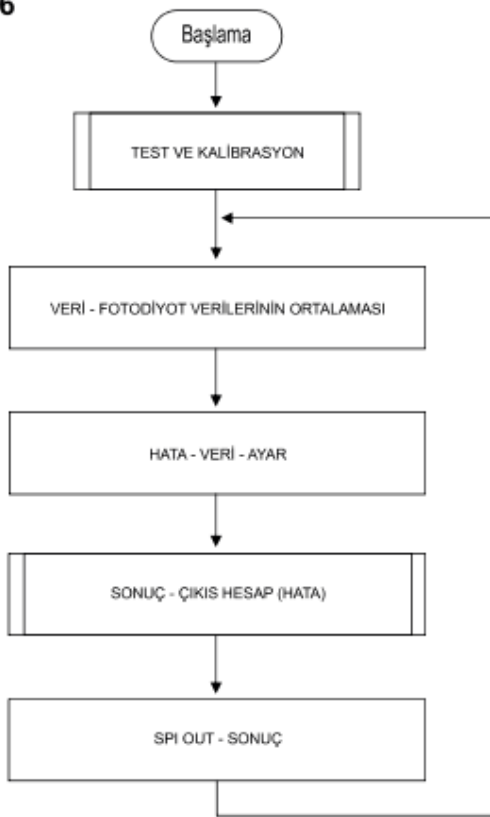
ŞEKİL 2



ŞEKİL 3



ŞEKİL 4



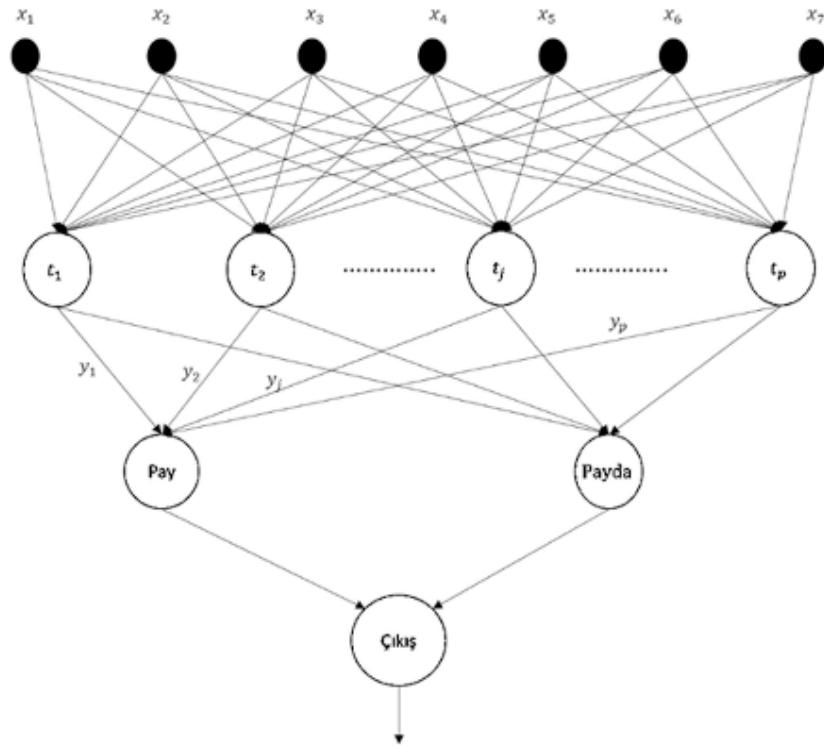
ŞEKİL 5



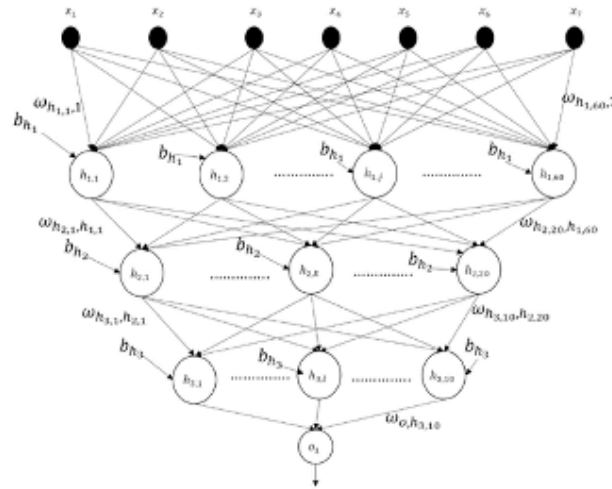
ŞEKİL 6



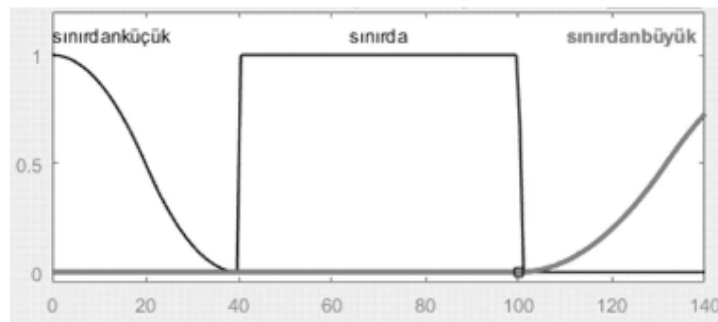
ŞEKİL 7



ŞEKİL 8



ŞEKİL 9



ŞEKİL 10