

REZES Nesnelerin İnterneti Tabanlı Geri Dönüşüm Uygulama Sistemleri REZES Internet of Things Based Recycling Application Systems

Sezer Uğuz¹, Gül Tokdemir¹

¹Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Çankaya Üniversitesi, Ankara, Türkiye
sezeruguz1@gmail.com, gtokdemir@cankaya.edu.tr

Öz

Nüfus artışı ve plansız sanayileşmenin sonucunda oluşan çevre kirliliği, insanlığın neden olduğu en büyük sorunlardan birisidir ve her geçen gün canlı ve cansız varlıklara olan olumsuz etkisi artarak devam etmektedir. Çevre kirliliğinin oldukça büyük bir kısmını oluşturan plastik, cam ve teneke kutu gibi geri dönüştürülmesi mümkün olan katı atıkların doğaya bırakılması sonucunda toprak ve su kirliliği meydana gelmektedir. Bu çalışmada sunulan sistem ile çevre kirliliği probleminin yenilikçi bir çözüm getirilerek, geri dönüşümün akıllı bir şekilde yapılması hem ekonomik katma değer sağlayıp hem de çevre kirliliğinin önlenmesi amaçlanmaktadır. REZES (Yenilenebilir Enerji Sıfır Enerji İsrافی) sistemi, Nesnelerin İnterneti, Görüntü İşleme, Büyük Veri Analizi ve Oyunlaştırma gibi en yeni teknoloji ve metotların kullanılmasıyla akıllı bir geri dönüşüm sistemi sunmaktadır. Böylelikle plastik, cam ve teneke kutu gibi katı atıkların geri dönüştürülmesi konusuna yenilikçi bir çözüm getirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çevre Kirliliği, Yenilenebilir Enerji, Akıllı Geri Dönüşüm, Nesnelerin İnterneti, Oyunlaştırma, QR Kod.

Abstract

Environmental pollution, which occurs as a result of population growth and unplanned industrialization, is one of the biggest problems caused by human beings and its negative effect on living and non-living beings continues to increase day by day. Soil and water pollution occurs as a result of leaving recyclable solid wastes such as plastic, glass and tin cans, which constitute a large part of environmental pollution, to nature. With the system presented in this study, it is aimed to bring an innovative solution to the environmental pollution problem and to make the recycling in a smart way, providing economical value and preventing environmental pollution. The REZES (Renewable Energy Zero Energy Waste) system offers a smart recycling system using the latest technologies and methods such as Internet of Things, Image Processing, Big Data Analysis and Gamification. In this way, an innovative solution is provided for the recycling of solid wastes such as plastic, glass and tin cans.

Keywords: Environment Pollution, Renewable Energy, Smart Recycling, Internet of Things, Gamification, QR Code.

1. Giriş

Günümüzde çevre kirliliği dünya çapında önemli bir sorun haline gelmiştir. Bu sorunun büyük bir kısmı plastik, cam ve teneke kutu gibi geri dönüştürülebilir katı atıklardan kaynaklanmaktadır. Hava, toprak ve su kirliliği, bu katı atıkların çevreye atılmasının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenlerden dolayı hem insan sağlığı hem de doğa tehlikededir. Hava kirliliği insan sağlığına büyük ölçüde zarar verir ve solunum yollarını olumsuz yönde etkileyerek akciğer kanseri ve diğer akciğer hastalıklarını tetikler [1]. Öte yandan, toprak ve su kirliliği nedeniyle, tüm canlılar ve doğa tehdit altındadır.

Çevre kirliliğinin oldukça büyük bir kısmını oluşturan plastik, cam ve teneke kutu gibi geri dönüştürülebilir katı atıkların doğaya bırakılması sonucunda toprak ve su kirliliği meydana gelmektedir. Bu gibi atıkların azaltılması, kaynaklarında ayrıştırılması ve dolayısıyla kaynak israfının önlenmesi amacıyla uygulanan geri dönüşüm süreçleri çevre kirliliğinin azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bunun yanında geri dönüştürülebilir atıklar döngüsel ekonominin de önemli unsurlarından biri olarak görülmektedir [2]. Geri dönüştürülebilir atıklar endüstriyel üretim ve konumsal kaynaklı olabilmekte, ayrıştırılma ve çeşitli işlemlere tabii tutulduktan sonra geri dönüştürülebilmektedirler. Gelişmiş ülkeler kentsel geri dönüşüm faaliyetlerini belediyeler aracılığıyla başlatarak büyük başarılar elde etmişlerdir [3, 4].

Marcus Eriksen ve ark. [5], dünya okyanuslarının yüzeyinde 268,940 ton ağırlığında minimum 5,25 trilyon plastik parçası buldular. Su kirliliği hem suda yaşayan canlılara hem de suya ihtiyaç duyan toprak ve bitkilere ciddi şekilde zarar vermekle birlikte yeraltı sularının da kirlenmesine sebebiyet vermektedir. Bunun sonucunda ürünler verimli ve sağlıklı bir şekilde üretilmemektedir. Bu nedenlerden dolayı, hayat durma noktasına gelebilir. Çevre kirliliği probleminin önlenmesi ancak geri dönüşüm konusundaki farkındalığın artırılması ile sağlanabilir.

Günümüzde TOMRA, RVM Systems gibi şirketler geri dönüşüm amaçlı makineler üretmişlerdir. TOMRA [6] geri dönüşüm otomatları yapan lider şirketlerden biridir. 48 yıldır sensör bazlı makineler ve geri dönüşüm çözümleri üretmektedir. TOMRA, dünya genelinde 82.000'den fazla geri

dönüşüm makinesi kurulumu gerçekleştirmiştir. TOMRA'nın bulunduğu yerlerde, kullanıcılar atıkları makineye attıkları anda alışverişte kullanmaları için kâğıt bir kuponla ödüllendirilir. 2017 yılından itibaren TOMRA dijitalleşmeye geçerek mobil uygulama versiyonunda dijital barkoda sahip kuponla kullanıcıları ödüllendirmeye başlamıştır. RVM Systems şirketi de TOMRA gibi köklü bir geçmişe sahip ve 20 yıldan fazla geri dönüşüm çözümleriyle ilgilenen bir şirkettir. RVM Systems geri dönüşüm makineleri geliştirmekte, üretmekte ve bakımını yapmaktadır [7]. RVM Systems makinelerinin bulunduğu yerlerde de kullanıcılar bir alışveriş kuponuyla ödüllendirilmektedir. RVM Systems, dünya genelinde 5.000'den fazla geri dönüşüm makinesi kurulumu gerçekleştirmiştir. Avrupa ve Amerika'daki örneklerin dışında, Türkiye'de İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından 2018 yılında akıllı geri dönüşüm konteyneri uygulaması hayata geçirilmiştir. Bu uygulamada plastik ve tenekelerin tek bir hazneye toplanmasıyla geri dönüşüm gerçekleştirilmektedir. Bu geri dönüşümdeki ödül, alışveriş kuponu yerine İstanbul ulaşım kartına bakiye yüklemesi olarak gerçekleştirilmektedir [8].

Gelişen teknolojiyle birlikte geri dönüşüm makinelerinin işlevsel özellikleri de gelişmektedir. Sensörler ve mikro işlemciler sayesinde geri dönüşüm makineleri de dijitalleşmeye ayak uydurmaktadır. REZES projesiyle yeni nesil geri dönüşüm sistemi geliştirilerek mevcut sistemlerde bulunmayan yeni özellikler eklenmiştir.

2. REZES Nesnelerin İnterneti Tabanlı Geri Dönüşüm Uygulama Sistemleri

REZES günümüz teknolojilerini içinde barındıran yeni nesil bir geri dönüşüm sistemidir. REZES çevre kirliliği sorununa mevcut çözümlerin üstünde akıllı ve yenilikçi bir alternatif sunmaktadır. REZES Nesnelerin İnterneti Tabanlı Geri Dönüşüm Sistemi; mobil bir uygulama (REZES mobil uygulaması), akıllı bir geri dönüşüm makinesi (Raspberry Pi 3 B+ mikro işlemci, 10.1 inç dokunmatik LCD ekran, 2 kamera modülü, elektronik devre ve sensör bileşenleri) ve web-tabanlı bir yönetim birimini içeren yazılım ve donanım modüllerini içermektedir.

REZES mobil uygulaması içerisinde Anasayfa (Home) bölümünde kullanıcıların geri dönüşüme kazandırdığı plastik, cam ve metal atıkların oranı görüntülenmektedir. Kullanıcı önceki aylardaki en yüksek geri dönüşüm oranını geçtiği anda ekstra puan kazanarak geri dönüşüme teşvik edilmesi sağlanmaktadır.

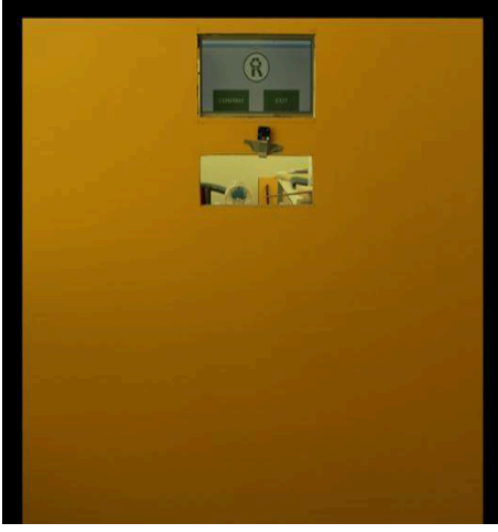
Mobil uygulamanın Profil kısmında kullanıcı geri dönüşüme kazandırdığı plastik, cam ve metal atıkların sayısını görüntüleyebilir ve kendisi için oluşturulan eşsiz QR ID koda ulaşabilir. Kullanıcının geri dönüşüm işlemine başlamadan önce REZES makinesinde bulunan sisteme QR ID kodunu okutarak giriş yapması ve kazanılan puanların kişinin hesabına aktarılması gerçekleştirilir. Daha sonrasında kazanılan puanlar ihtiyaç doğrultusunda QR ID kod aracılığıyla yapılır. Böylelikle QR ID kod sistemiyle işlemleri dijitalleştirerek kupon fişinden kaynaklanan kâğıt israfının da önüne geçilmiştir.

İşlemler kısmında ise kullanıcı geri dönüşümü gerçekleştirdiği yerlerdeki makine isimlerine, saat ve gün bilgilerine, atıkların

türüne ve sayısına, kazanılan puanlara ve makinenin doluluk oranlarına ulaşabilir. Ayrıca hangi makinenin kullanıcıya daha yakın olduğu konumdan tespit edilerek makinelerdeki doluluk oranlarına göre sıralanması ve kullanıcının bilgilendirilmesi sağlanır. Aynı şekilde sistem yöneticisi de web uygulama üzerinden kullanıcılarla ilgili tüm bilgilere ulaşabilir. Buna ek olarak sistem yöneticisi tarafından REZES makinesindeki doluluk oranı gün içerisinde düşük olduğu tespit edilirse bir sonraki gün atıkların toplanmasına karar verilir. Böylelikle atık toplama sürecinin daha az yakıtla gerçekleştirilmesi sağlanarak hem yakıt tasarrufu sağlanır hem de çevreye bırakılan egzoz gazı emisyonu azaltılmış olur. Ayrıca İşlemler kısmında yer alan kullanıcı atık bilgileri veri analizinde kullanılarak kişiye özel kampanyalar oluşturulabilir. Böylece geri dönüşüm bilincinin oluşturularak sürdürülebilirliğin sağlanması amaçlanmaktadır. Bunlara ek olarak geri dönüşüm makinelerinin doluluk oranları analiz edilebilir. Geri dönüşümün az olduğu bölgelerde kullanıcıların mobil uygulamasına kampanya mesajları gönderilerek daha fazla puan kazanacaklarıyla ilgili bildirimler alması sağlanır. Bunun sonucunda oyunlaştırma yöntemi yoluyla kullanıcılar, doluluk oranı az olan makinelerde geri dönüşümü gerçekleştirmeye yönlendirilir. Mahalledeki veya bölgedeki en iyi çevreciler haftalık, aylık ve yıllık zaman dilimlerinde ödüllendirilerek rekabet ortamı oluşturulur. Oyunlaştırma çerçevesinde gerçekleştirilen bu rekabet ortamı sayesinde sürdürülebilir bir geri dönüşüm platformu oluşturulması hedeflenmiştir. Bu tür bir oyunlaştırmanın geri dönüşümde kullanılması REZES projesine özgüdür ve bu özellik REZES projesini var olan sistemlerden farklı olmasını sağlayan en önemli faktörlerden birisidir.

Kazanımlar kısmında kullanıcılar geri dönüşüme hangi tür atıktan ne kadar kazandırdığını ve bu atıklardan ne kadar puan kazandığını görüntüleyebilirler. Skorlar kısmında ise kullanıcının bulunduğu mahalle veya bölgedeki diğer kullanıcılarla birlikte puan sıralaması yer almaktadır. Böylelikle kullanıcı rakipleri arasındaki puan farkını görebilir ve liderliği elde etmek için daha fazla geri dönüşüm gerçekleştirilmesi sağlanabilir.

REZES Nesnelerin İnterneti Tabanlı Geri Dönüşüm Uygulama Sistemleri, atılan materyalleri algılamak için "sensörler", materyali tanımlamak için "görüntü işleme", kullanıcıları daha fazla materyal atma ve puan kazanma konusunda motive etmek için "oyunlaştırma" ve geçmişte gerçekleştirilen geri dönüşümlerin sonucunda elde edilen verilerin analizine dayanan kampanyalar sağlamak için "veri madenciliği" yöntemlerini içermektedir. Bu nedenle REZES, etkili ve sürdürülebilir geri dönüşüm için geniş kapsamlı karmaşık bir sistem olarak tasarlanmıştır (Şekil 1 ve Şekil 2).



Şekil 1: REZES Akıllı Geri Dönüşüm Makinesi'nin dış kısmı



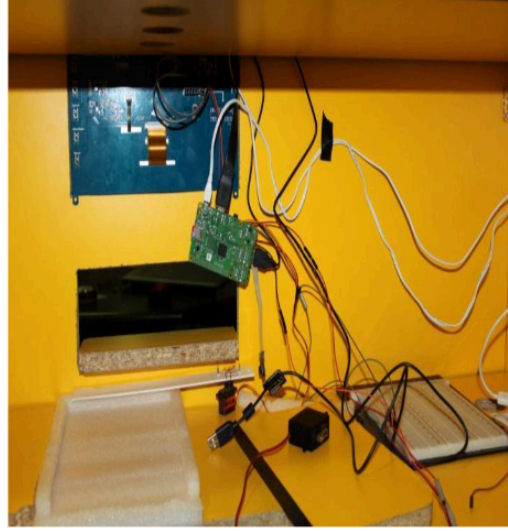
Şekil 2: REZES Akıllı Geri Dönüşüm Makinesi'nin iç kısmı

3. Materyal ve Metot

REZES, çevre kirliliğini en aza indirmeyi ve insanları geri dönüşüme daha fazla teşvik etmeyi amaçlayan entegre bir sistemdir. Bununla birlikte REZES sisteminde hem donanım hem de yazılım unsurları bulunmaktadır. REZES sistemi için 85 cm derinliğinde, 120 cm uzunluğunda ve 120 cm genişliğinde (85x120x120 cm) sunta prototip hazırlanmıştır. Kullanıcının mobil uygulamasındaki Profil kısmında bulunan QR Kod (Quick Response Code) kimliğiyle REZES Akıllı Geri Dönüşüm Makinesi sistemine erişim sağlamak için makinenin ön yüzüne Raspberry Pi Kamera Modülü v2 yerleştirilmiştir (Şekil 3).

Python kütüphanelerinden Zbar (pyzbar), kullanıcı için oluşturulan eşsiz QR Kod ID'yi tanımlamak için kullanılmıştır. Zbar, QR kod üzerinde bulunan bilgileri okuyarak işlemleri gerçekleştirir [9]. QR Kod, akıllı bir cep telefonu aracılığıyla bilgiye kolay erişim sağlamak için kullanılan 2 boyutlu bir barkod türüdür. Statik ve Dinamik QR Kod tipleri mevcuttur [10]. Projede Dinamik QR kod türü tercih edilmiştir. Kullanıcıya ait Türkiye Cumhuriyeti kimlik numarasından esinlenilmiş ve kullanıcı için benzersiz QR Kimlik Kodu oluşturulmuştur. Bu sayede, kullanıcının bilgileri ve puanları şifrelenmiş bir şekilde sistemde muhafaza edilmektedir.

Prototip sistemde 4 adet raf (40x2x120 cm) bulunmaktadır (Şekil 2). Üst raftaki bölüme görüntüyü algılayıp işlemek için bir web kamera yerleştirilmiştir. Görüntü işleme için Logitech C270 HD WebCam modeli (Şekil 4) kullanılıp 720p kalitesinde görüntüler sağlayarak nesne tanıma işleminin daha etkili bir şekilde gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Web kamerası bölümünün altındaki diğer raf ise geri dönüştürülecek nesnenin atık imha boşluğu olarak konumlandırılmıştır.



Şekil 3: REZES- elektronik iç aksamı

Böylece, kullanıcı geri dönüşümü gerçekleştireceği zaman atığı bu bölüme bırakarak geri dönüşüm işlemini başlatmaktadır. Ayrıca plastik, cam ve teneke kutuların ayrıştırılmasını makine içerisinde sağlamak için biri nesnenin bulunduğu rafta diğeri alt rafta olmak üzere iki servo motor (Şekil 3) mevcuttur. Bu servo motorlar Raspberry Pi'dan gelecek olan komutlara göre hareket etmektedir.

Projedeki ayrıştırma bölümü, Arduino Renk Sınıflayıcı Projesi'nden esinlenerek oluşturulmuştur [11]. Servo motorlar hareket kontrol mekanizmasına sahiptir ve robot teknolojilerinde en yaygın kullanılan motorlardan biridir [12]. Böylece atıkları mekanik işlemlerle ayırmak için servo motorlar, Raspberry Pi sayesinde cihazların birbirleriyle iletişim kumaları için elektronik devre sistemi (Şekil 3) ve makineye enerji vermek için transformatör kullanılmıştır. Servo motorlara hareket açısı verilerek geri dönüşüm işleminin gerçekleştiği anda, atıkların belirli açılarda konumlandırılması

olan plastik, cam ve metal atık haznelere yönlendirilmesi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmektedir.

Ayrıca geri dönüştürülebilir atıklar dışında başka bir cisim atıldığında, cisim tanınmayan atıklar kısmına yönlendirilerek ayrıştırılır. Ayrıştırma süreci gerçekleştirildikten sonra, işlemin başarılı bir şekilde gerçekleştirilip gerçekleştirilmediği bilgisi Raspberry Pi'daki sisteme bildirilir ve daha sonrasında Raspberry Pi'da bulunan sistem üzerinden kullanıcının mobil uygulama hesabına, kazanılan puanlar gerçek zamanlı olarak eklenir. Bu işlemlerin tümü Raspberry Pi 3 B+ (Şekil 3) ile sağlanmaktadır.

Raspberry Pi, REZES projesi için makinenin beyni olarak önemli bir rol oynamaktadır. Raspberry Pi küçük bir bilgisayardır ve Nesnelerin İnterneti tabanlı prototipler yapmak için uygun bir cihazdır [13]. Raspberry Pi açık kaynaklı işletim sistemlerini ve yazılımını destekler. Raspberry Pi cihazı, REZES'in Nesnelerin İnterneti (IoT) aşamasında önemli bir rol oynamaktadır (Şekil 4). Nesnelerin İnterneti, dahili ve harici iletişim kurmak için yerleşik teknoloji sağlayan fiziksel nesnelere ağına genel adıdır [14].



Şekil 4: Prototip çalışmalarından bir görüntü (Raspberry Pi, LCD dokunmatik ekran ve web kamera)

Raspberry Pi, çeşitli programlama dillerinde yazılmış uygulamaları destekler. REZES için Raspbian işletim sistemi (Raspberry Pi OS) kullanılmıştır. Raspbian, Debian işletim sistemine dayalı Linux dağıtımı olan bir işletim sistemidir. Raspbian 35.000'den fazla pakete sahiptir ve Raspberry Pi üzerinde yapılacak prototipler için uygundur [15]. Python, Raspbian'da uyumludur ve performans-maliyet bakımından REZES projesi için uygun olduğu belirlenmiştir. Python programlama diliyle yazılan uygulamalar, Raspbian'da hızlı ve verimli bir şekilde çalışmaktadır [16].

Raspberry Pi uyumlu WaveShare HDMI Dayanıklı 10,1 inç LCD Dokunmatik Ekran bileşeni (Şekil 1), grafiksel kullanıcı

ara yüzünü göstermek ve geri dönüşüm aşamasını başlatmak için kullanılmıştır. Dokunmatik ekrandaki Grafiksel Kullanıcı Arayüzü (GUI), python araçlarından biri olan Tkinter ile yapılmıştır (Şekil 5). Tkinter modülü, grafiksel kullanıcı arabirimi yapmak için kullanılan Python kütüphanelerinden biridir [17]. Kullanıcı mobil uygulamadaki QR ID kod ile GUI Tkinter'daki sisteme erişebilir. Böylece, kullanıcı akıllı geri dönüşüm kutusuna atıkları atabilir. Atılan atık, nesne tanıma ve görüntü işleme bölümüne yönlendirilir. Nesne tanıma ve görüntü işleme, OpenCV (Open Source Computer Vision Library) ile Python programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir.



Şekil 5: REZES Akıllı Geri Dönüşüm Makinesi üzerindeki LCD dokunmatik ekranında yer alan GUI Başlangıç Menüsi

İşlem sonunda atılan atıklar kullanıcılara puan kazandırdığından dolayı, atıkların sayısına ve türüne göre puanlar veritabanına yüklenmektedir. REZES sistemi için gerçek zamanlı bir veritabanı gerekli olması nedeniyle, Firebase Gerçek Zamanlı Veritabanı kullanılmıştır. Firebase Gerçek Zamanlı Veritabanı (Firebase Realtime Database), bulutta barındırılan gerçek zamanlı bir veritabanıdır. İlgili veriler JSON (JavaScript Object Notation) olarak kaydedilir ve ilgili her istemciye gerçek zamanlı olarak senkronize edilir. Platformlar arası uygulamalar oluşturulurken, Firebase Gerçek Zamanlı Veritabanı anında ve otomatik olarak en son verilerle güncellemeleri alır [18]. Böylece kazanılan puanlar gerçek zamanlı olarak mobil uygulamaya aktarılır. REZES mobil uygulamasının genel çerçevesi Ionic, Typescript programlama dili ve AngularJS bileşenleri ile gerçekleştirilmiştir.

Ionic, etkileyici çapraz platformlu web uygulamalarını kolayca oluşturmayı sağlamaktadır [19]. Typescript ise geliştiricilere yüksek verimli geliştirme araçları ve uygulamaları kullanma olanağı sağlar [20]. AngularJS, uygulama geliştirmede en uygun çerçeveyi oluşturmak için kullanılan bir araç setidir [21]. Böylece, bu bileşenler kullanılarak mobil uygulama işlevsel ve grafiksel olarak daha iyi hale gelmektedir. Bu bileşenler sayesinde, REZES sistemi web tabanlı uygulama versiyonuna da sahiptir.

OpenCV, gerçek zamanlı nesne tespiti için güçlü bir kütüphanedir. Bilgisayarlı görme ve makine öğrenimi çalışmaları için açık kaynaklı bir yazılım kütüphanesidir. OpenCV kütüphanesi, nesnelere algılamayı ve tanımlamayı, insan yüzlerini sınıflandırmayı, hareketli nesnelere takip etmeyi içeren en az 2500 optimize algoritmaya sahiptir [22]. Atıklar OpenCV tarafından tanıdıktan sonra, Raspberry Pi devreye girer ve tanınan atıkları ilgili yere göndermesi için servo motorlara komut verir.

Büyük Veri Analizi aşamasında, akıllı geri dönüşüm makinesinin bulunduğu yerlerde gerçekleştirilen geri dönüşüm verileri kullanarak analiz etmek için R programlama dili kullanılmaktadır. R, istatistiksel ve grafiksel uygulamalar için kullanılan açık kaynaklı bir yazılımdır. R programlama dili, veri analizi için bir geniş bir kütüphane içerir [23]. R dili yoluyla makine öğrenmesi algoritmaları çalıştırılmakta, gelecekte yapılacak atık miktarları bölgesel olarak tahmin edilmekte ve buna göre semt bazında kampanyalar planlanabilmektedir. Buna ek olarak, veri analizi sonuçları baz alınarak Oyunlaştırma teknolojisi ile kullanıcıların geri dönüşümü etkin bir şekilde gerçekleştirmesini arttırmak için lider panoları ve rozetler kullanılmaktadır. Oyunlaştırma ile kullanıcıların gerçekleştirdikleri geri dönüşümlerle farklı seviyelerde en iyi çevreciler olmasını hedefleyerek süreklilik ve akıllı geri dönüşümün teşvik edilmesi amaçlanmaktadır.

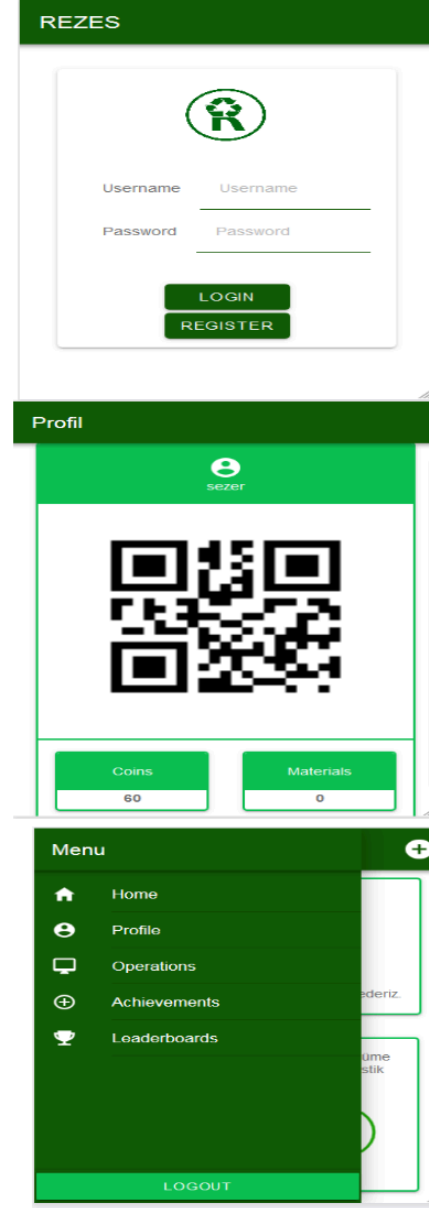
4. Sistemin İşleyişi

REZES Sistemi mobil uygulamasında farklı işlemlerin yapılabilmesi için arayüzler tasarlanmıştır (Şekil 6). Sistemin yapısı ve Akış Şeması sırasıyla Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilmektedir. Öncelikle, kullanıcı REZES mobil uygulamasına kayıtlı değilse kaydolar veya kayıtlıysa oturum açarak sisteme giriş yapar. Daha sonra sistem tarafından kullanıcının kişisel bir QR Kimlik (ID) kodu oluşturulur (Şekil 6) ve kullanıcının geri dönüşüm işlemine başlamak için gerekli koşulları sağlanması mümkün olur.

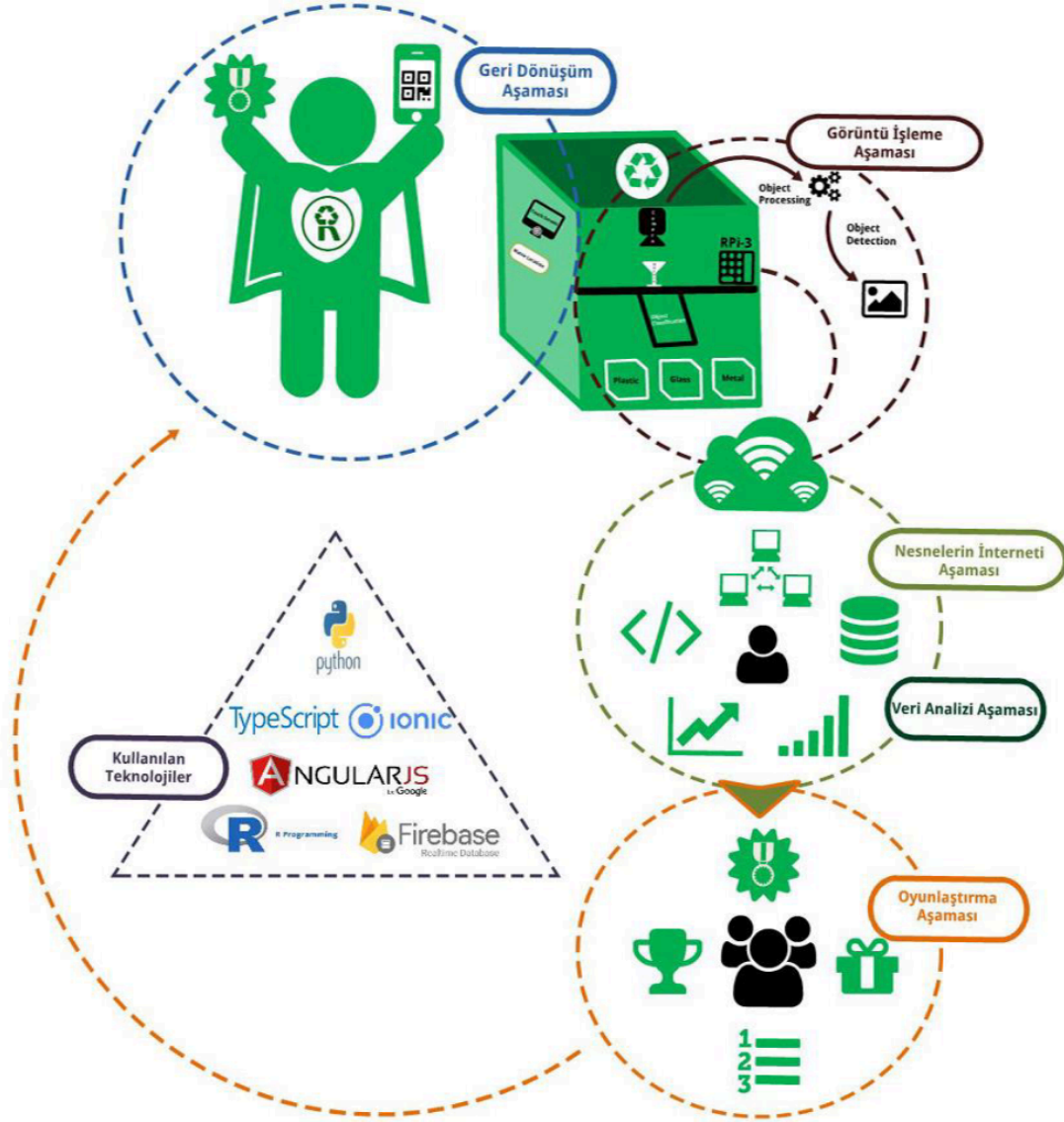
Kullanıcı, atıkları REZES Akıllı Geri Dönüşüm Makinesi'ne yerleştirdikten sonra, 10.1 inç LCD dokunmatik ekranında bulunan REZES Grafiksel Kullanıcı Arayüzü'nde yer alan (Şekil 5) "Onayla" (Confirm) düğmesine basarak geri dönüşüme başlamaktadır. REZES Nesnelerin İnterneti Tabanlı Geri Dönüşüm Uygulama Sistemleri, QR ID ile kullanılmaktadır. Kullanıcı, Geri Dönüşüm aşamasında (Şekil 7) REZES mobil uygulamasındaki Profil kısmındaki QR ID kodu ile sisteme giriş yapar.

Atılan atık, Görüntü İşleme aşamasında OpenCV tarafından tespit edilir ve tanınır (Şekil 7). Daha sonra Raspberry Pi'daki program servo motorlara komut verir ve atık ayrıştırma işlemi makinenin içinde gerçekleştirilir. Nesnelerin İnterneti aşamasında, kullanıcının kazandığı puanlar mobil uygulamasındaki hesabına bildirilmektedir (Şekil 7). Ayrıca, kullanıcı web tabanlı uygulamadan sisteme kayıt olabilir veya

giriş yapabilir. Daha sonra kullanıcı yaptığı geri dönüşümlerin raporlarına mobil uygulamadan erişebileceği gibi web tabanlı uygulama üzerinden de erişebilir.



Şekil 6: REZES Mobil Uygulamasının Genel Görünümü



Şekil 7: REZES Nesnelerin İnterneti Tabanlı Geri Dönüşüm Uygulama Sistemleri'nin Genel Yapısı

Kullanıcı, REZES mobil uygulamanın İşlemler (Operations) bölümünden hangi REZES Akıllı Geri Dönüşüm Makinesi'ne, ne zaman, ne kadar ve ne tür atıkların atıldığı gibi geri dönüşüm hakkındaki tüm bilgilere erişebilir. Bu veriler sistem tarafından toplanır, daha sonrasında Büyük Veri Analizi aşamasında Oyunlaştırma süreci için hazırlanır ve kullanılır (Şekil 7). Böylece geri dönüşümün sürdürülebilirliğini sağlamak için kullanıcının mobil uygulamasında bildirimler ve kampanyalar gösterilmektedir. Oyunlaştırma sayesinde kullanıcıların ek ödüller ve promosyonlar kazanması sağlanmaktadır.

Kullanıcı kazandığı puanları süpermarket ve alışveriş merkezi gibi anlaşmalı birçok yerde kullanabilir (Şekil 8). Geri dönüşüm işlemine başlamak için kullanılan QR ID kodu hem puanların kazanılmasını hem de kazanılan puanların alışverişte kullanılmasını sağlamaktadır. Kullanıcı anlaşmalı yerde alışveriş yaptıktan sonra ödeme işlemini REZES mobil uygulamasında bulunan QR ID kodu ile gerçekleştirebilir. Anlaşmalı yerde bulunan ödeme kasasında, personel tarafından kullanılan QR ID kodu okuyucu ile kullanıcının puanlarını işleme alabilir veya anlaşmalı yerde akıllı kasa bölümü mevcut

ise kullanıcının kendisi kullanmak istediği kadar puanı işleme alabilir. Ödenmesi gereken miktar, puanlar tarafından tamamen karşılanamıyorsa geri kalan tutar kullanıcı tarafından karşılanabilir. Böylelikle, geri dönüşüm sistematik bir şekilde gerçekleştirilir ve kullanıcı oyunlaştırma sayesinde ödüllendirilerek motivasyonu artırılır (Şekil 7).

5. Sonuçlar ve Gelecek Çalışmalar

Sonuç olarak, REZES Nesnelerin İnterneti Tabanlı Geri Dönüşüm Uygulama Sistemleri prototipi başarıyla oluşturularak test edilmiştir. Gelecekteki çalışmalarda, Görüntü İşleme aşamasında ağırlık sensörü ve hiperspektral kamera gibi yardımcı araçların kullanılmasıyla nesne algılama ve tanıma işlemlerinin daha hızlı yapılması planlanmaktadır. Amerika ve Avrupa'da var olan bazı makinelerdeki nesne algılama aşaması lazer barkod okuyucu yöntemiyle gerçekleştirilmektedir. Atık ambalajların üzerinde barkod var ise cisim algılanıyor, eğer barkod yoksa cisim tanınmıyor ve geri dönüşüm makinesinde yer alamıyor. Bu durum mevcut makinelerin dezavantajı haline gelmektedir çünkü tanımlı olmayan atıklar geri dönüşümde yer alamamaktadır.

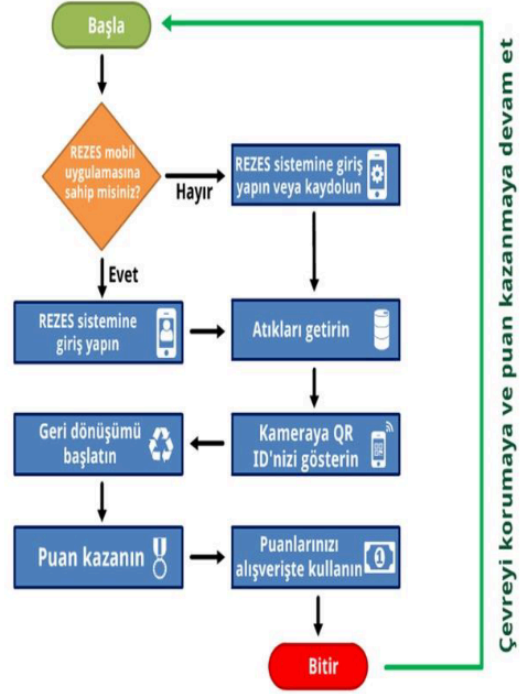
Türkiye'deki cam, plastik ve teneke gibi ambalajların geri dönüşüm makinesi tarafından tanınabileceği bir standart bulunmadığı için projemizde lazer barkod okuma sistemi tercih edilmemiştir. Başta Türkiye olmak üzere tüm dünyadaki geri dönüştürülebilir atıkların, REZES makinesinde yer alan görüntü işleme algoritmaları ile tanıdıktan sonra ayrıştırılmasını sağlamak ve geri dönüşüm merkezlerindeki ayrıştırma için harcanan zaman kaybını azaltmak amaçlanmaktadır.

Bu prototipin gelecekte gerçek hayata uygulanması hedeflenmektedir. Bu sayede çeşitli noktalara yerleştirilecek olan REZES Akıllı Geri Dönüşüm Makineleri veri toplayarak, elde edilen veriler üzerinden Büyük Veri Analizi ve Oyunlaştırma işlemleri gerçekleştirilecektir. Böylece, REZES Nesnelerin İnterneti Tabanlı Geri Dönüşüm Uygulama Sistemleri tamamen hayata geçirilecektir.

REZES ile geri dönüşüm etkili bir şekilde gerçekleştirilerek çevre kirliliğinin etkin bir şekilde en aza indirilmesi hedeflenmiştir. Akıllı şehir kavramlarının popülerleşmeye başlaması ve uygulamaya alınmasıyla birlikte, akıllı geri dönüşüm sistemlerinin de hayata geçirilmesi kaçınılmaz olacaktır. REZES sistemi kullanılarak kazanılan puanların alışverişlerde kullanılmasının yanı sıra, ailelerin elektrik-su-doğalgaz gibi temel ev ihtiyaçlarından oluşan fatura ödemelerinde de kullanılması sağlanarak akıllı şehirler konseptine de katkıda bulunulabilecektir.

REZES makinesi bir ürün olarak geliştirildikten sonra; okul, alışveriş merkezi ve süpermarket gibi toplumun kolaylıkla ulaşabileceği ve yoğun olduğu yerlere dağıtılması planlanmaktadır.

Veri analizinin kullanılmasıyla birlikte oyunlaştırmadan faydalanarak geri dönüşümün gerçekleştirilmesi, teknolojinin gün geçtikçe gelişmesi ve akıllı telefon kullanımının artmasıyla birlikte, kullanıcıların akıllı kampanyalar yoluyla oyun benzeri bir ortamda geri dönüşümüne dahil edilmesiyle etkili bir geri dönüşümün ortaya çıkması mümkün olacaktır.



Şekil 8: REZES Nesnelerin İnterneti Tabanlı Geri Dönüşüm Uygulama Sistemleri'nin Akış Şeması

REZES projesinde uygulanan QR ID kod özellikli kullanıcı tanımayla birlikte Büyük Veri Analizi ve Oyunlaştırma teknolojileri daha önceki geri dönüşüm makine sistemlerinde yer almamaktadır. Bu yönüyle REZES Nesnelerin İnterneti Tabanlı Geri Dönüşüm Uygulama Sistemleri, yenilikçiliğini ortaya koyarak daha yaşanılabilir bir dünya için akıllı bir çözüm sunmaktadır.

6. Açıklamalar

REZES projemiz Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 2209-B (2241-A) Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Tezi Destekleme Programı kapsamında destek almaya hak kazanmıştır. Bu nedenle TÜBİTAK'a destekleri için teşekkür ederiz.

Ayrıca, Çankaya Üniversitesi Teknoloji Transfer Ofisi tarafından projemize ofis desteği sağlanmıştır. Çalışmalarımızı yaklaşık 2 yıl boyunca, üniversiteye bağlı Ön-Kuluçka Merkezi'nde gerçekleştirdik. Bu nedenle, Çankaya Üniversitesi Teknoloji Transfer Ofisi'ne destekleri için teşekkür ederiz.

7. Referanslar

- [1] Kampa, M., Castanas, E., "Human health effects of air pollution", *Environmental pollution*, 151(2), 362-367, 2008.
- [2] Tisserant, A., Pauliuk, S., Merciai, S., Schmidt, J., Fry, J., Wood, R., Tukker, A., "Solid Waste and the Circular Economy: A Global Analysis of Waste Treatment and Waste Footprints", *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 628-640, 2017.
- [3] Fujii, M., Fujita, T., Chen, X., Ohnishi, S., Yamaguchi, N., 2012. Smart recycling of organic solid wastes in an environmentally sustainable society. *Resour. Conserv. Recycl.*63, 1–8.
- [4] Geng, Y., Tsuyoshi, F., Chen, X., 2010. Evaluation of innovative municipal solid waste management through urban symbiosis: a case study of Kawasaki. *J. Clean. Prod.* 18 (10–11), 993–1000.
- [5] Eriksen, M., Lebreton, L. C. M., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., Galgani, F., Ryan, P. G., Reisser, J., "Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea", *PloS one*, 9(12), e111913, 2014.
- [6] Reverse vending machines for collecting containers for recycling: TOMRA, URL: <https://www.tomra.com/en/collection/reverse-vending> (Erişim Zamanı: 03.11.18).
- [7] About us - RVM Systems, URL: <https://www.rvmsystems.com/about-us> (Erişim Zamanı: 30.10.2019).
- [8] Akıllı Geri Dönüşüm Konteyneri Projesi Hayata Geçti, <https://atikyonetimi.ibb.istanbul/akilli-geri-donusum-konteyneri> (Erişim Zamanı: 30.10.2019).
- [9] Pyzbar, <https://pypi.org/project/pyzbar> (Erişim Zamanı: 01.04.19).
- [10] What is QR code (quick response code)?, <https://whatis.techtarget.com/definition/QR-code-quick-response-code> (Erişim Zamanı: 16.02.19).
- [11] Arduino Color Sorter Project - HowToMechatronics, URL: <https://howtomechatronics.com/projects/arduino-color-sorter-project> (Erişim Zamanı: 30.10.2019).
- [12] Servo Motor Nedir? Çeşitleri ve Çalışma Prensipleri, URL: <https://maker.robotistan.com/rc-servo-motor-nedir> (Erişim Zamanı: 16.02.19).
- [13] Raspberry Pi, URL: <https://market.samm.com/raspberry-pi-nedir-1> (Erişim Zamanı: 01.12.18).
- [14] Internet of Things Defined, URL: <https://www.gartner.com/it-glossary/internet-of-things> (Erişim Zamanı: 03.11.18).
- [15] Raspbian - Raspberry Pi Documentation, URL: <https://www.raspberrypi.org/documentation/raspbian> (Erişim Zamanı: 01.12.18).
- [16] Python Programming Language, URL: <https://www.python.org> (Erişim Zamanı: 01.04.19).
- [17] Python interface to Tcl/Tk, URL: <https://docs.python.org/2/library/tkinter.html> (Erişim Zamanı: 01.04.19).
- [18] Firebase Realtime Database - Google, URL: <https://firebase.google.com/docs/database> (Erişim Zamanı: 01.04.19).
- [19] Ionic Framework, URL: <https://ionicframework.com> (Erişim Zamanı: 01.04.19).
- [20] TypeScript, URL: <https://www.typescriptlang.org> (Erişim Zamanı: 01.04.19).
- [21] AngularJS, URL: <https://angularjs.org> (Erişim Zamanı: 01.04.19).
- [22] About OpenCV, URL: <https://opencv.org/about> (Erişim Zamanı: 21.03.19).
- [23] R Programming Language, URL: <https://www.r-project.org/about.html> (Erişim Zamanı: 01.04.19).

Sezer UĞUZ



Sezer UĞUZ, 1994 yılı Antalya doğumludur. İlkokulun bir kısmını İzmir’de bir kısmını ise Tercan/Erzincan’da tamamladı. Ortaokul, lise ve ön lisans öğrenimlerini Tercan/Erzincan’da tamamladı. 2015 yılında Erzincan Üniversitesi Tercan Meslek Yüksekokulu Bilgisayar Programcılığı programından okul birinciliğiyle mezun olduktan sonra Çankaya Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümüne dikey geçiş sınavıyla devam etti. 2017’de Krakow AGH Bilim ve Teknoloji Üniversitesi’ne (öğrenim hareketliliği) ve 2019 yılında Viyana Üniversitesi Görselleştirme ve Veri Analizi Araştırma Grubu’na (staj hareketliliği) Erasmus+ burslarıyla gitti. 2018 yılında REZES Geri Dönüşüm IoT Uygulama Sistemleri adlı projesi ile TÜBİTAK 2209-B Sanayiye Yönelik Lisans Araştırma Projeleri Destekleme Programı’ndan burs almaya hak kazandı. 2019 yılında Çankaya Üniversitesi’nden şeref öğrencisi olarak mezun olduktan sonra Atatürk Üniversitesi’nde tezli yüksek lisans yapmaya başlamıştır. Nesnelerin İnterneti, Veri Analizi ve Görselleştirme, Doğal Dil İşleme ve Endüstri 4.0 alanlarıyla ilgilenmekte ve çalışmalarına devam etmektedir. Aynı zamanda, Hamdi Ulukaya Girişimi – Girişimci Adayı Programı’nın 2020 yılı katılımcıları arasında olup iş fikirlerini geliştiren bir girişimci adayı olarak çeşitli çalışmalar sürdürmektedir.

Dr. Öğr. Üyesi Dr. Gül TOKDEMİR



Dr. Gül Tokdemir 1995 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi’nden mezun oldu. Georgia Institute of Technology’de (1997) yüksek lisansını ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi’nde (2009) doktora derecesini tamamladı. 2001-2010 yılları arasında Atılım Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü’nde çalıştı. Ardından Eindhoven Teknik Üniversitesi Software Quality Lab (LAQUSO)’da doktora sonrası araştırmacı olarak çalıştı. Halen Çankaya Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü’nde öğretim üyesidir. Araştırma alanları arasında yazılım mühendisliği konuları arasında bulunan kavramsal modelleme, tasarım diyagramları ve veri madenciliği/analizi bulunmaktadır.