Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 24(4), 692-704, 2018

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Pamukkale University Journal of Engineering Sciences

AEEE tahmini ve toplama noktalarının belirlenmesi: Çankaya Belediyesi için bir uygulama

WEEE estimation and determination of collection points: A case for the Municipality of Çankaya

Barış KEÇECİ[1], Orhan DENGİZ[2], Berna DENGİZ[3], Emre SÜMER[4], Aybüke KILIÇ[5], Ece ÇEKİ[6], Bedia İNAN[7], Selda ÇİÇEK[8]*

[1,3,5,6,7,8]Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
bkececi@baskent.edu.tr, bdengiz@baskent.edu.tr, aybuke004@hotmail.com, ecesogutkiran@gmail.com, bediainan@hotmail.com, seldacicek@hotmail.com.tr

[2]Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Kayseri, Türkiye.
orhan.dengiz@gmail.com

[4]Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
esumer@baskent.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 14.09.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 22.02.2018 doi: 10.5505/pajes.2018.23434
* Yazışılan yazar/Corresponding author Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Elektrikli ve elektronik cihazlar (e-eşya), kullanım ömürleri tamamlandığında elektrikli ve elektronik atığa (AEEE) dönüşmektedir. AEEE'ler atıldıklarında, yakıldıklarında veya geri dönüşüm için parçalandıklarında tehlikeli maddeler içeren ürünlere dönüşerek çevreye ve insan sağlığına zarar vermektedir. AEEE'lerin zararlarını en aza indirmek ve geri dönüşümlerinden ekonomik fayda sağlamak amacıyla belediyeler tarafından uygun şekilde toplanması, taşınması ve işlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Çankaya İlçesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü işbirliği ile Çankaya Belediyesi için AEEE yönetimine destek olacak bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında ilk olarak Çankaya ilçesi için AEEE miktarları televizyon, buzdolabı, çamaşır makinesi, fırın ve elektrikli süpürge için kullanıcı davranışları dikkate alınarak tahmin edilmiştir. Daha sonra AEEE toplama noktalarının belirlenmesi için yer seçimi problemi bir küme örtme problemi olarak ele alınmış ve çözülmüştür.

Anahtar kelimeler: AEEE, AEEE tahmini, Pazar tedarik yöntemi, Yer seçimi problemi, Küme örtme problemi

Abstract

Electrical-electronic waste (WEEE) is generated from electric and electronic devices at the end of their lifecycles. When WEEEs are disposed, burned or disassembled for recycling, they are transformed into products containing hazardous substances and harm the environment and human health. Therefore WEEEs should be collected, transported and processed properly during their recycling operations by municipality authority in order to minimize their damage and maximize their economic benefit. In this paper, a study is carried out for the WEEE management of Çankaya Municipality by the cooperation of Environmental Conservation and Control Department of Çankaya. For this purpose first WEEE with a focus on television, refrigerator, washing machine, oven and vacuum cleaner are estimated based on the electronic device usage behavior of residents in Çankaya. Secondly, the WEEE collection points' location problem is solved considering set covering problem.

Keywords: WEEE, WEEE estimation, Market supply method, Location problem, Set covering problem

1 Giriş

21. yüzyıldan başlayarak değişen ve gelişen teknoloji, hızla artan dünya nüfusunun ortaya çıkan yeni taleplerini karşılamak ve insanlığın daha konforlu yaşamasını sağlamak için baş döndürücü bir hızla elektrikli ve elektronik cihazların (e-eşya) üretilmesi sonucunu doğurmaktadır. Geliştirilen bu teknolojilerle üretilen elektrikli ve elektronik cihazlar, kullanım ömürleri tamamlandığında elektrikli ve elektronik atığa (AEEE) dönüşerek insan sağlığı için tehdit oluşturmaktadır. Elektrik ve elektronik endüstrisinin hızlı gelişimi ürünlerin kullanım ömürlerini kısaltmakta, AEEE miktarını arttırmakta ve böylece dünya için önemli bir atık problemi oluşturmaktadır. AEEE'ler atıldıklarında, yakıldıklarında veya geri dönüşüm için parçalandıklarında tehlikeli maddeler içeren ürünlere dönüşerek çevreye ve insan sağlığına zarar vermektedirler. AEEE'lerin zararlarını en aza indirmek ve geri dönüşümlerinden ekonomik fayda sağlamak amacıyla uygun şekilde toplanması, taşınması ve işlenmesi gerekmektedir.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların (AEEE) Kontrolü Yönetmeliğinin 8. maddesine göre, AEEE'lerin toplanması ve halkın bilinçlendirilmesi belediyelerin sorumluluğuna verilmiştir [1]. Aynı yönetmeliğe göre AEEE'ler belediye tarafından toplanarak depolama noktalarına taşınmalı, oradan da lisanslı firmalar tarafından geri dönüşüm amacıyla alınmalıdır. Yönetmelik gereği geri dönüşüm işlemi belediyelerin sorumluluk alanı dışındadır. Bu nedenle, geri dönüşüm konusu bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur.

Yapılan kaynak taraması, ülkemizde sürdürülebilir bir AEEE yönetim modelinin olmadığını, sadece bir kaç belediyenin kurumlardan gelen talepler üzerine kısa süreli olarak AEEE topladığını göstermiştir. Bu nedenle halkın bilinçlendirilmesi ve AEEE'lerin toplanması ile ilgili çalışmalarda, belediyelerin AEEE yönetimi konusunda sistematik ve bilimsel çalışmalara gereksinimleri vardır.

Ülkemizde AEEE miktarlarının tahmin edilerek bu tahminlere dayalı toplama merkezlerinin belirlendiği bir çalışma bulunmamaktadır. Ankara ili Çankaya ilçesinde AEEE

toplanması ile ilgili bazı çalışmalar küçük kampanyalar düzenlenerek başlatılsa da bütünleşik bir atık yönetim sistemi geliştirilememiştir.

Bu çalışmada Çankaya İlçesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü (ÇÇKKM)'nün gereksinim duyduğu AEEE toplama amaçlı, toplama noktalarının (TN) belirlenmesi problemi çözülmüştür. Ancak AEEE toplama ve değerlendirme konusuyla ilgili olarak, Çevre ve Şehircilik Bakanlığının AEEE yönetmeliğinin [33] resmi gazetede Mayıs 2012'de çıkmasına rağmen, AEEE miktarlarının bilinmediği görülmüştür. Bu nedenle çalışmamızda AEEE tahmini ve bunların toplanması için TN'lerin belirlenmesi problemi ele alınıp Çankaya Belediyesi için bir örnek uygulama yapılmıştır. Çalışmada, AEEE oluşturan, tüketici kullanım davranışları benzer olan ve beyaz eşya sınıfında yer alan ürünler örneğin; buzdolabı, televizyon, çamaşır makinesi, elektrikli süpürge ve fırın dikkate alınmıştır. AEEE tahmini için [2] no.lu kaynakta önerilen Pazar Tedarik Yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ilk defa Carnegie Mellon Üniversitesinde bilgisayar atığı tahmininde kullanılmış olup bu çalışmada PTY-CM kısaltması ile kullanılacaktır. PTY-CM'de ortalama kullanım ömürlerini tamamlayan eşyaların sonraki kullanımlarının nasıl olacağı; örneğin ilk ve ikinci kullanıcılar tarafından kullanılmakta olan e-eşyaların yüzde kaçının yeniden kullanımda olacağı, yüzde kaçının geri dönüşüme gideceği, yüzde kaçının depolanacağı, yüzde kaçının çöpe atılacağının bilinmesi gerekmektedir. Mevcut durumda böyle bir veri olmadığı için bu çalışmada dikkate alınan beyaz eşya türleri için kullanıcı davranış yüzdelerini belirlemek amacıyla çalışmanın ekinde sunulan anket hazırlanmıştır. Anket uygulaması sonucunda elde edilen kullanıcı davranışı yüzdeleri PTY-CM tahmin modelinde kullanılmıştır. Bu çalışmanın en önemli katkısı Çankaya ilçesinde uygulanan bir anket ile e-eşya kullanım davranışların ortaya çıkarılması ve AEEE'lerin tahmininde kullanılmasıdır. [2] no.lu kaynakta belirtilen PTY-CM'de kullanıcı davranış yüzdeleri öngörüye dayalı varsayımlar olarak dikkate alınmıştır. Çalışmamızda ise bu varsayımlar anket uygulanması yoluyla tahmin edilmiştir. Bu bağlamda bu çalışma PTY-CM için gerekli verilerin ankete dayalı olarak elde edildiği ilk çalışmadır. Çalışma üç aşamadan oluşmaktadır: 1) Anketin geliştirilmesi ve uygulanması, 2) AEEE tahmini, 3) TN'lerin belirlenmesi.

Çalışmanın izleyen bölümleri aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir. 2. Bölümde kaynak taraması verilmiştir. Makalenin 3. Bölümünde e-eşya kullanım davranışlarının ortaya çıkarılması, 4. Bölümünde AEEE miktarlarının tahmini, 5. Bölümünde AEEE TN'lerin) belirlenmesi ile ilgili çalışmalar yer almaktadır. 6. Bölümde ise Çankaya Belediyesi için yapılan uygulama verilmektedir. Son bölümde ise genel bir değerlendirme yapılarak sonuçlar tartışılmaktadır.

2 Kaynak tarama

AEEE konusu ile ilgili yayımlanmış birçok çalışma bulunmaktadır. Özellikle nüfusu çok olan ülkelerde örneğin Çin ve Hindistan özelinde bir takım saptamalarda bulunan araştırmalar yapılmıştır. Bunlardan; Borthakur ve Govind [3] küresel bağlamda bir tarama yaparak farklı ülkelerde AEEE oluşumu konusunda tüketicilerin ölçütlerini belirlemeye çalışmıştır. Yapılan araştırmaya göre yalnızca gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında değil aynı zamanda bu grup ülkelerin kendi içinde de tüketicilerin AEEE üretme davranışlarında farklılıklar gözlemlenmiştir. Ayrıca Hindistan'da AEEE yönetimi konusunda ne gibi karmaşıklıkların ön plana çıktığını irdelemektedir. Tansel [4] artan hammadde ihtiyacı ile gelişmekte olan ve gelişmemiş ülkelerin AEEE geri dönüşüm faaliyetlerinin AEEE yönetimi konusunda büyüyen bir kaygıya neden olduğunu ortaya koymaktadır. Geri dönüştürülmüş malzemelere ait pazarın büyümesine karşın alt yapı yetersizliklerinden kaynaklı AEEE yönetimindeki zorluklara değinmektedir. Zeng ve diğ. [5] AEEE yönetiminin makro ölçekten mikro ölçeğe kaydırılmasının gereklerinden bahsetmektedir. Malzeme uyumluluğu ile malzeme yorgunluğunun AEEE'lerin geriye doğru lojistiğinde belirleyici bir rol oynadığını belirtmektedir. Zeng ve diğ. [6] Çin özelinde yaşanan AEEE yönetimi serüvenini ortaya koymaktadır. Çin'de hayata geçirilen ve yapılmaya çalışılan yönetim modellerinin boşluklarını irdelemekte ve bu konudan bir takım dersler çıkartmaktadır. Kumar ve diğ. [7] küresel AEEE üretimi ve e-eşya satışı konularında istatistikler vermekte ve gelecek kestirimleri yapmaktadır.

Peralta ve Fontonos ile [8] Liu ve diğ. [9] çalışmalarında AEEE tahminini, Matthews ve diğ. [2]'nin ortaya koyduğu PTY-CM yöntemiyle yapmıştır. Peralta ve Fontonos [8] Filipinler'de AEEE konusunda ölçütler üzerinde çalışmış; Liu ve diğ. [9] ise Çin'in başkenti Pekin için AEEE konusunda bir vaka analizi yürütmüşlerdir. Ülkemizde AEEE tahmini ile ilgili çok az sayıda çalışma bulunmaktadır [10]-[12]. [10] ve [11] no.lu kaynaklarda AEEE'ler Robinson [13]'un deterministik modeli ile elde edilmiştir. Salihoğlu ve Kahraman [10] Bursa ilinde 31 ailedeki toplam 100 kişiye anket uygulayarak, cep telefonu, bilgisayar, televizyon ve floresan lamba için kullanıcı ayrımı yapmaksızın davranışlarını belirlemişlerdir. Ayrıca Robinson'un [13] yöntemini kullanarak kişi başı yıllık AEEE miktarlarını hesaplamışlardır. Öztürk [11] ise AEEE miktarlarını yine Robinson'un [13] tahmin yöntemini kullanarak hesaplanmış ve Türkiye'de mevcut AEEE atık yönetmelikleri ve yasal düzenlemelere değinmiştir. Aras ve diğ. [38] Türkiye'de bilişim teknolojileri kaynaklı AEEE'ler için geri dönüşüm tesislerinin yer seçimi problemi üzerinde çalışmışlardır. Erol ve diğ. [14] Türkiye'de farklı endüstrilerde tersine tedarik zinciri yönetimi girişimlerinin mevcut durumunu incelemiş ve ortaya konan bulguların AEEE üretiminin azaltılmasına olan etkileri üzerinde durmuştur. Özkır ve diğ. [15] İstanbul'da, toplama kampanyaları bağlamında, AEEE yönetim faaliyetlerini başlatabilmek için üç aşamalı bir yöntem önermiştir. Kilic ve diğ. [16] ise Türkiye'de AEEE için bir tersine lojistik sistemi tasarlamış, geliştirilen karma tam sayılı bir matematiksel model ile 10 farklı senaryo üzerinde incelemeler yapmıştır. Ciddi ve Erol [17] AEEE için lojistik şebeke tasarımında stratejik planlama amacıyla geliştirilen sayısal modeller ile Türkiye'deki mevcut durum, potansiyel fırsatlar ve gelecek araştırma yönlerini değerlendirmiştir. Çalışmamızda ise AEEE tahmini PTY-CM yöntemiyle yapılmış ve TN problemi birlikte ele alınmıştır.

Çalışmamızın üçüncü aşamasında ele alınan TN'lerin belirlenmesi problemi, kaynaklarda Yer Seçimi Problemi olarak yer almaktadır. Yer seçimi teorisi, ögelerin (tesislerin) belirli bir uzayda konumlandırılması ile ilgili problem sınıfına ait modelleme, formülasyon ve çözüm yöntemi çalışmalarını içermektedir. Yer seçimi problemi stratejik planlama seviyesinde kritik öneme sahip bir konu olduğundan yer seçimi teorisi ve uygulamaları Yöneylem Araştırması alanında artan bir ilgiye neden olmuştur. Yer seçimi modelleri araştırması Weber'in 1909'daki öncü çalışmasına dayanmaktadır. Daha sonraları pek çok makale ve kitapta yer

seçimi problemleri ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir ([18]-[20]). Genel olarak yer seçimi problemleri ya (öğelerin uygun alan içerisinde her hangi bir yere konumlandırılabildiği) sürekli ya da (öğelerin uygun alan içerisinde yalnızca aday yerlere konumlandırılabildiği) kesikli problemler olarak ayrılabilirler [19].

Yıllar içerisinde yer seçimi problemleri farklı şekillerde ayrılmıştır. Örneğin Revelle ve diğ. [21] problemin modellendiği uzaya dayalı olarak yer seçimi problemleri için bir sınıflandırma yapmıştır. Problemler analitik, sürekli, şebeke ve kesikli olmak üzere dört temel sınıfta ele alınmıştır. Bunlar arasından kesikli yer seçimi problemleri pek çok gerçek yaşam uygulamasında kullanılmıştır. Daskin [22] kesikli yer seçimi problemlerini üç sınıfa ayırmıştır: Kapsama-tabanlı problemler, ortanca-tabanlı problemler ve diğer problemler.

Bunların yanı sıra yer seçimi problemleri çeşitli şekillerde özelleştirilerek uzantıları elde edilebilir. Örneğin; stokastik yer seçimi problemleri, hiyerarşik yer seçimi problemleri, çok-ölçütlü yer seçimi problemleri, dağıtım merkezi (hub) yer seçimi problemleri, dinamik ve çevrim içi (online) yer seçimi problemleri, rekabetçi yer seçimi problemleri vb. Farklı yer seçimi problemi tipleri için Laporte ve Nickel [23]'e başvurulabilir.

Bunlara ek olarak yer seçimi kararlarının diğer önemli lojistik kararları veya ilgili diğer kararlar ile bütünleştirilmesi kaynaklarda artan öneme sahip güncel bir konudur. Yer seçimi-stok problemleri ile ilgili olarak [24],[25] no.lu kaynaklar; yer seçimi-rotalama problemleri ile ilgili olarak [26],[27] no.lu kaynaklar; yer seçimi-rotalama-stok problemleri ile ilgili olarak [28],[29] no.lu kaynaklar; yer seçimi-fiyatlandırma problemleri ile ilgili olarak [30]-[32] no.lu kaynaklar; yer seçimi-stok-fiyatlandırma problemleri ile ilgili olarak [33],[34] no.lu kaynaklar; yer seçimi ve eşzamanlı topla-dağıt rotalama problemi için ise [35] no.lu kaynak incelenebilir.

3 E-eşya kullanıcı davranışları

Bu çalışma kapsamında e-eşya kullanıcı davranışlarının ortaya çıkarılması amacıyla bir anket tasarlanmış ve Çankaya Belediyesi desteğiyle uygulanmıştır. Anket üç bölümden oluşmaktadır. Anketin birinci bölümü demografik bilgilerden, ikinci bölümü e-eşyanın ilk tüketicisinin cevaplayacağı, üçüncü bölümü ise ikinci el kullanıcının cevaplayacağı sorulardan oluşmaktadır. Anket uygulanması ile e-eşyaların ilk veya ikinci kullanıcıları tarafından kullanım süreleri, kullanım süresi sonunda kullanmaya devam etme, depolama, çöpe veya geri dönüşüme verme, ilk kullanıcıda ise ikinci kullanıcıya geçme yüzdeleri bulunmuştur. Ankette bu çalışmada kullanılmayan yani PTY-CM yöntemi için gerekli olmayan kısımlar ve sorular da bulunmaktadır. Bunun nedeni Çankaya ilçesinde AEEE yönetimi çalışmasının Belediye tarafından başlatılacağı konusunda halkın bilinçlendirilmesi ve böylece farkındalık yaratılmasının sağlanmasıdır.

Anket çalışmasının güvenilirliğini ölçmek için ilk olarak pilot çalışma yapılmış ve Çankaya ilçesinde yerleşik, rastgele seçilen 50 aileye yüz yüze anket uygulanmıştır. Anketin güvenilirliği Cronbach Alfa Katsayısı ile hesaplanmıştır. Cronbach Alfa Katsayısı, iç tutarlılık güvenilirliği testlerinin en çok kullanılanıdır. Ölçekte yer alan k tane sorunun varyansları toplamının genel varyansa oranlanması ile bulunan bir ağırlıklı standart değişim ortalamasıdır. Pilot çalışma sonucunda elde edilen veriler SPSS programının "Reliability Analysis" aracı ile değerlendirilerek Cronbach Alfa Katsayısı anketin birinci bölümündeki S5, S6, S7, S8 ve S9 soruları arasında hesaplanarak 0,825 bulunmuştur. Buradan anket sorularında kullanılan ölçekler ile gerçekleştirilen ölçümlerin güvenilir olduğu ve uygulanabileceği görülmüştür [36].

Pilot çalışma sonrasında güvenilir bulunan anketin örneklem genişliğinin hesaplanması için; hedef kitlenin tam olarak bilinmediği, hedef kitlenin homojen olmadığı ve ankete konu olan özellik açısından farklılıklar gösterdiği varsayılmıştır. Bunların yanı sıra incelenen olayın gerçekleşme ve gerçekleşmeme olasılıkları eşit (p=q=0.5), örnekleme hatası da d=±%5 olarak alınmıştır. %95 güven düzeyinde t tablo değeri=1.96 ile örneklem büyüklüğü n=385 olarak hesaplanmıştır [37].

Çankaya mahalle muhtarları ve ÇÇKKM desteği ile proje grubu tarafından uygulanan anket 500 haneye dağıtılmış ve %77 oranla 387 geri dönüş sağlanmıştır. Anket Çankaya Belediyesi sınırları içindeki mahallelerde bulunan hanelerde uygulanmıştır. Beyaz eşya sınıfındaki e-eşyalardan buzdolabı, televizyon, çamaşır makinesi, elektrikli süpürge ve fırın için kullanıcı davranışlarının belirlenmesi amacıyla sınırlıdır. Araştırmada anket tekniği kullanılmıştır. Anket uygulaması 2011-2012 arasında gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın ana kütlesini 18 yaşını doldurmuş hane sakinleri oluşturmaktadır. Çankaya ilçesi gelir düzeyi yüksek ve sosyo-ekonomik yapısı gelişmiş bir bölgedir. Dolayısıyla bu çalışmada önerilen yöntem farklı bir belediyeye uygulandığında anketin o bölgeye özel tekrarlanarak çözümlerin yapılması gerekecektir. Anket örneği EK A'da verilmiştir.

4 AEEE tahmini

AEEE miktarlarının tahmini, bu çalışmada çözülecek yer seçimi probleminin girdisini oluşturması bakımından en önemli aşamadır. Ülkemizde ne kadar AEEE olduğunu tahmin eden bazı çalışmalar olmasına rağmen [10],[11] AEEE'lerin nerelerde toplanacağı (TN'nin belirlenmesi) problemini birlikte ele alan herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Türkiye genelindeki e-eşya satış verileri, Çankaya İlçesi'nin ve ardından da Çankaya İlçesi mahallelerinin konut sayıları, Ankara ili gelişmişlik indeksi [38] ve uygulanan anket ile elde edilen kullanıcı davranış yüzdeleri kullanılarak Çankaya ilçesi mahallelerinin AEEE miktarları tahmin edilmiştir.

PTY-CM, yıllık satış verileriyle ürünün ortalama yaşam ömrünü ve kullanıcıların kullanım davranışları sonucu ömrünü tamamlayan eşyanın değerlendirilme şekillerini dikkate alarak atık miktarını tahmin eden bir yöntemdir. Bu yöntem ilk defa Matthews ve diğ. [2] tarafından Carnegie Mellon Üniversitesi'nde yapılan ve 2005 yılında yeniden kullanımda olacak, depolanacak, geri dönüşüme gidecek veya toprağa gömülecek bilgisayarların sayılarının tahminini içeren bir çalışmada kullanılmıştır. Aslında, teknolojideki hızlı değişmelerden etkilenen cep telefonu, bilgisayar vb. ürünlerin atık tahmini bu yöntemle yapılmamalıdır. Çünkü bu tür ürünler tüketicisi tarafından kullanım ömürleri tamamlanmadan çok kısa sürede değiştirilmektedir. Oysa PTY-CM e-eşyalar için tanımlı kullanım ömürlerini kullanan bir yöntemdir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında Türkiye'de en çok kullanılan ve satış verilerine ulaşılabilen büyük boyutlu e-eşyalar olan televizyon, buzdolabı, çamaşır makinesi, elektrik süpürgesi ve fırın dikkate alınmıştır.

PTY-CM ile AEEE miktarlarını tahmin etmek için, e-eşya satış verileri ile tüketici e-eşya kullanım yüzdeleri gerekmektedir. Bu nedenle, e-eşya kullanıcı davranışlarına ilişkin olasılıklar bu çalışma kapsamında uygulanan anketlerden elde edilmiştir. Çankaya ilçesi e-eşya satış verileri ise Türkiye genelindeki e-eşya satış verilerinden yararlanılarak Çankaya ilçesi konut bilgileri ve Çankaya ilçesi gelişmişlik indeksi kullanılarak Çankaya bölgesi değerleri elde edilmiştir. E-eşyaların kullanım ömürleri ise Gelir İdaresi Başkanlığı'nın web sayfasından alınmıştır [39].

Anket uygulaması sonucunda e-eşyaların ilk veya ikinci kullanıcıları tarafından kullanım süreleri ile kullanıcı davranış yüzdeleri belirlenmiştir. Bir başka deyişle, kullanım süresi sonunda ilk sahibinin kullanmaya devam, çöpe veya geri dönüşüme verme veya ikinci el kullanıcıya geçme yüzdeleri tespit edilmiştir. Çankaya ilçesinde kullanılmakta olan e-eşyaların yaşam döngüsü içinde değerlendirilme durumları ve ilgili yüzdeler Şekil 1'de verilmiştir.

Çalışmada, Matthews ve diğ. 'de [2] olduğu gibi, e-eşyaların kullanım ömürlerini tamamlayacakları varsayımı dikkate alınarak, sonraki kullanıcı davranışlarına göre tahminler yapılmıştır. E-eşyaların önceden belirlenmiş kullanım ömürleri tamamlandıktan sonra, o eşya modası geçmiş olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada dikkate alınan e-eşyaların kullanım ömürleri [39] verilerinden elde edilmiştir. Örneğin, çalışmada çamaşır makinesi için kullanım ömrü 10 yıl olarak kabul edilmiştir. E-eşyaların modası geçmiş olarak tanımlanmasından sonraki 8 ile 11 yıl arasında gerçekleşen depolamadan sonra e-eşyalar için farklı senaryolar ortaya çıkmaktadır.

Çalışmada dikkate alınan e-eşyalar için ortalama kullanım ömürleri belirlenmiş, bu kullanım ömürleri tamamlanan eşyaların sonraki kullanımlarının nasıl olacağına dair genişletilmiş PTY-CM modeli Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'de görülen AEEE'lerin yaşam döngüsü içinde oluşan geri dönüşüm, çöpe atma ve diğer durum olasılıkları toplamı, yıllık ortaya çıkabilecek AEEE olasılığı olarak elde edilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda televizyon ortalama 40 kg, buzdolabı ortalama 80 kg, çamaşır makinesi ortalama 80 kg, elektrik süpürgesi ortalama 13 kg, fırın ortalama 43 kg olarak kabul edilmiştir.

Şekil 1'de görülen genişletilmiş PTY-CM modeli kullanılarak (1) - (6) numaralı denklemler elde edilmiştir. Bu denklemlerle yeniden kullanım, depolama, geri dönüştürme, çöpe atma ve beyaz eşya kampanyalarına verilmesi (diğer durumlar) durumundaki AEEE miktarları tahmin edilmiştir.

$$Y_{je} = 0{,}47A_{je} + 0{,}0258A_{j-8,e} \quad (1)$$

$$D_{je} = 0{,}06A_{je} + 0{,}0564A_{j-8,e} \quad (2)$$

$$G_{je} = 0{,}23A_{je} + (0{,}006 + 0{,}1175)A_{j-8,e} + 0{,}0367A_{j-11,e} \quad (3)$$

$$C_{je} = 0{,}13A_{je} + (0{,}0102 + 0{,}132)A_{j-8,e} + 0{,}0102A_{j-11,e} \quad (4)$$

$$K_{je} = 0{,}12A_{je} + (0{,}018 + 0{,}1645)A_{j-8,e} + 0{,}0096A_{j-11,e} \quad (5)$$

$$A_{je} = S_{j-l_e,e}\frac{Konut_{Ank}}{Konut_{Tur}}Ank_{idx} \quad (6)$$

Burada;

$\boldsymbol{A_{je}}$, $\boldsymbol{j}$ yılında ömrü tamamlanmış $\boldsymbol{e}$ tipi atık sayısını,

$\boldsymbol{A_{j-k,e}}$, $\boldsymbol{j}$ yılından $\boldsymbol{k}$ yıl önce ömrünü tamamlanmış $\boldsymbol{e}$ tipi atık sayısını,

$\boldsymbol{Y_{je}}$, $\boldsymbol{j}$ yılı için yeniden kullanılan $\boldsymbol{e}$ tipi atık sayısını,

$\boldsymbol{D_{je}}$, $\boldsymbol{j}$ yılı için depolanan $\boldsymbol{e}$ tipi atık sayısını,

$\boldsymbol{G_{je}}$, $\boldsymbol{j}$ yılı için geri dönüştürülen $\boldsymbol{e}$ tipi atık sayısını,

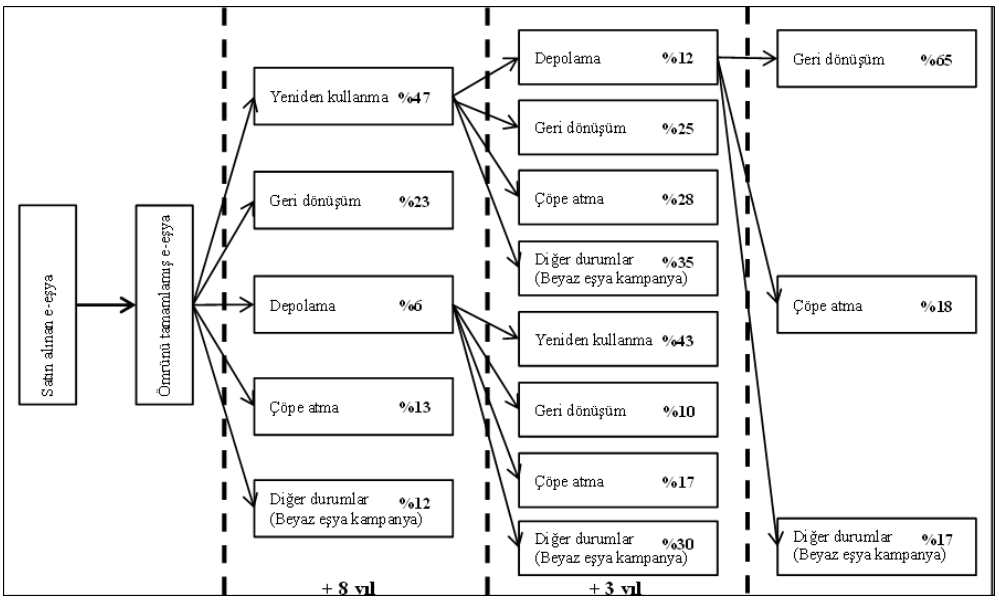
$\boldsymbol{C_{je}}$, $\boldsymbol{j}$ yılı için çöpe atılan $\boldsymbol{e}$ tipi atık sayısını,

$\boldsymbol{K_{je}}$, $\boldsymbol{j}$ yılı için diğer durumlar, kampanya vb. şeklinde değerlendirilen $\boldsymbol{e}$ tipi atık sayısını,

$\boldsymbol{S_{j-l_e,e}}$, $\boldsymbol{j - l_e}$ yılında satılmış ve $\boldsymbol{j}$ yılında ömrü tamamlanan $\boldsymbol{e}$ tipi atık sayısını,

$\boldsymbol{l_e}$, $\boldsymbol{e}$ tipi atığın ortalama kullanım ömrünü,

$\boldsymbol{Konut_{Ank}}$ ve $\boldsymbol{Konut_{Tur}}$, sırasıyla Ankara ve Türkiye'de ki konut sayılarını ve son olarak $\boldsymbol{Ank_{idx}}$, Ankara'nın gelişmişlik indeksini göstermektedir.



Şekil 1: Çankaya ilçesi için e-eşya yaşam döngüsü.

Depolanan, geri dönüştürülen, kampanya ve diğer şekillerde hesaplanan e-eşya miktarlarının toplamı "toplam AEEE miktarı" olarak kabul edilmiştir. Buna göre Çankaya ilçesindeki herhangi bir mahallenin j yılındaki (örneğin 2013 yılındaki) toplam AEEE miktarı Denklem (7) kullanılarak hesaplanabilir. Belediye tarafından TN'lerin kurulması durumunda firmaların da kampanya ile topladıkları AEEE'leri TN'lere bırakmayı tercih edecekleri bilgisi alındığından $\boldsymbol{K_{je}}$ terimi Eşitlik 7'de dikkate alınmıştır.

$$\sum_{\forall e}(D_{je}+G_{je}+K_{je})w_e\Delta \qquad (7)$$

Burada $\boldsymbol{w_e}$, $\boldsymbol{e}$ tipi atığın ortalama birim ağırlığı (kg), Δ ise AEEE'lerin toplama noktalarına götürülme yüzdesini gösteren bir sabittir. Anketten elde edilen bilgilere göre, hesaplanan tahmin değerinin sadece %27'sinin AEEE olarak toplanabileceğine karar verilmiş ve bu çalışmada $\Delta = \mathbf{0,27}$ olarak alınmıştır.

Dikkate alınan e-eşyaların yurt içi satış verileri Sanayi ve İş İstatistikleri Daire Başkanlığı'ndan Türkiye geneli için elde edilmiştir [40]. Türkiye'de elde edilen yurt içi satış verilerinin Çankaya'ya düşen miktarının bulunması için [41] no.lu kaynaktaki konut sayıları ve Üstünışık [38]'daki gelişmişlik indeksi kullanılmıştır. Çankaya ilçesi gelişmiş ilçeler arasında sayıldığından Çankaya ilçesi için gelişmişlik indeksi Ankara ilinin gelişmişlik indeksine eşit kabul edilmiştir [42]. Gelişmişlik indeksi fert başına tüketilen elektrik miktarı ve dolayısıyla kişilerin e-eşya tüketimiyle doğrudan ilişkilidir. Çankaya İlçesi mahallelerinin konut sayıları kullanılarak Çankaya ilçesinin mahalleler bazında hesaplanan toplam atık miktarları Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1: Çankaya ilçesi mahallelerinden çıkan toplam atık tahminleri(ton).

Mahalle Adı	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Akpınar	2.023	2.280	2.665	2.891	3.298	3.639
Anıttepe	1.017	1.146	1.340	1.454	1.658	1.830
Arka Topraklık	591	666	779	845	964	1.064
Aşağı Dikmen	2.451	2.761	3.229	3.501	3.995	4.408
Aşağı Öveçler	1.888	2.127	2.488	2.698	3.078	3.396
Aşıkpaşa	1.425	1.605	1.877	2.035	2.322	2.562
Ata	2.444	2.754	3.220	3.492	3.985	4.396
Aydınlar	1.423	1.604	1.875	2.034	2.320	2.560
Ayrancı	4.050	4.563	5.336	5.786	6.602	7.284
Aziziye	2.496	2.812	3.288	3.566	4.069	4.489
Bademlidere	340	383	448	486	555	612
Bağcılar	451	508	594	644	735	811
Bahçelievler	2.478	2.792	3.265	3.541	4.040	4.457
Barbaros	1.342	1.512	1.768	1.918	2.188	2.414
Bayraktar	1.088	1.226	1.433	1.554	1.774	1.957
Birlik	6.178	6.962	8.140	8.828	10.073	11.113
Boztepe	444	501	585	635	724	799
Büyükesat	1.796	2.023	2.366	2.566	2.927	3.230
Cebeci	1.228	1.383	1.617	1.754	2.002	2.208
Cevizlidere	2.895	3.262	3.814	4.136	4.720	5.207
Çamlıtepe	1.349	1.520	1.778	1.928	2.200	2.427
Çankaya	1.536	1.731	2.024	2.195	2.505	2.764
Mutlukent	3.503	3.948	4.616	5.006	5.712	6.302
Çukurambar	2.955	3.330	3.893	4.222	4.818	5.316
Devlet	407	458	536	581	663	732
Dilekler	324	365	427	463	528	582
Doğuş	699	788	921	999	1.140	1.257
Ehlibeyt	698	787	920	997	1.138	1.256
Emek	5.060	5.701	6.666	7.229	8.249	9.101
Ertuğrulgazi	1.622	1.827	2.137	2.317	2.644	2.917
Erzurum	677	763	893	968	1.105	1.219
Esatoğlu	824	928	1.085	1.177	1.343	1.482
Eti	244	275	322	349	398	439
Fakülteler	1.218	1.373	1.605	1.741	1.986	2.191
Fidanlık	273	308	360	391	446	492
Gaziosmanpaşa	822	927	1.083	1.175	1.341	1.479
Gökkuşağı	1.624	1.830	2.140	2.321	2.648	2.921
Göktürk	832	937	1.096	1.188	1.356	1.496
Güvenevler	2.242	2.526	2.953	3.203	3.655	4.032
Güzeltepe	1.301	1.466	1.714	1.859	2.121	2.340
Harbiye	4.920	5.544	6.482	7.030	8.021	8.850
Hilal	1.344	1.515	1.771	1.921	2.191	2.418
Huzur	3.757	4.233	4.950	5.368	6.125	6.757
İleri	1.095	1.234	1.442	1.564	1.785	1.969
İlkadım	2.991	3.370	3.940	4.273	4.876	5.380
İlker	669	753	881	955	1.090	1.202
İncesu	892	1.005	1.175	1.274	1.454	1.604
İşçi Blokları	4.180	4.710	5.508	5.973	6.815	7.519

Tablo 1'in devamı.

Mahalle Adı	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Çiğdem	3.282	3.698	4.324	4.690	5.351	5.904
Karapınar	1.677	1.889	2.209	2.396	2.733	3.016
Kavaklıdere	1.437	1.619	1.893	2.053	2.343	2.584
Kazım Özalp	1.154	1.300	1.520	1.649	1.881	2.076
Keklik Pınarı	2.687	3.028	3.541	3.840	4.381	4.834
Kırkkonaklar	3.162	3.563	4.166	4.518	5.155	5.687
Kızılay	457	515	603	654	746	823
Kızılırmak	1.281	1.444	1.688	1.831	2.089	2.305
Kocatepe	211	238	278	302	344	380
Korkutreis	259	291	341	369	421	465
Küçükesat	629	709	829	899	1.026	1.132
Kültür	804	905	1.059	1.148	1.310	1.445
Malazgirt	1.153	1.300	1.520	1.648	1.880	2.074
Maltepe	1.965	2.215	2.589	2.808	3.204	3.535
Mebusevleri	849	956	1.118	1.212	1.383	1.526
Meşrutiyet	142	160	187	203	232	256
Metin Akkuş	779	877	1.026	1.112	1.269	1.400
Metin Oktay	1.074	1.210	1.415	1.534	1.751	1.932
Mimar Sinan	840	947	1.107	1.200	1.370	1.511
Muhsin Ertuğrul	824	928	1.085	1.177	1.343	1.482
Murat	887	999	1.168	1.267	1.446	1.595
Mustafa Kemal	1.499	1.689	1.975	2.142	2.444	2.696
Mürsel Uluç	3.889	4.382	5.124	5.557	6.340	6.995
Naci Çakır	2.208	2.470	2.868	3.089	3.501	3.838
Namık Kemal	300	338	395	428	489	539
Nasuh Akar	858	967	1.130	1.226	1.399	1.543
Oğuzlar	1.740	1.960	2.292	2.486	2.836	3.129
Oran	2.156	2.430	2.841	3.081	3.516	3.879
Orta İmrahor	87	98	114	124	142	156
Üniversiteler	2.927	3.299	3.857	4.183	4.773	5.266
Osman Temiz	2.158	2.432	2.843	3.084	3.518	3.882
Ön Cebeci	1.166	1.314	1.537	1.667	1.902	2.098
Öveçler	1.960	2.208	2.582	2.800	3.195	3.525
Remzi Oğuz Arık	1.206	1.359	1.589	1.724	1.967	2.170
Sağlık	135	152	178	193	220	243
İlkbahar	1.027	1.157	1.353	1.468	1.674	1.847
Seyranbağları	1.686	1.900	2.222	2.409	2.749	3.033
Sokullu Mehmet Paşa	2.134	2.404	2.811	3.049	3.479	3.838
Söğütözü	1.264	1.424	1.666	1.806	2.061	2.274
Şehit Cengiz Karaca	1.741	1.962	2.294	2.488	2.839	3.132
Şehit Cevdet Özdemir	1.978	2.229	2.606	2.827	3.225	3.558
Tınaztepe	1.402	1.580	1.847	2.003	2.286	2.522
Topraklık	411	463	541	587	669	739
Umut	1.911	2.153	2.517	2.730	3.115	3.437
Yeşilkent	159	179	210	227	259	286
Yıldızevler	2.491	2.807	3.282	3.559	4.061	4.481
Yukarı Bahçelievler	3.558	4.010	4.688	5.084	5.801	6.401
Yukarı Dikmen	1.954	2.202	2.575	2.792	3.186	3.515
Yukarı Öveçler	888	1.001	1.170	1.269	1.448	1.598
Yücetepe	1.167	1.315	1.537	1.667	1.902	2.098
Zafertepe	671	756	884	959	1.094	1.207
100.Yil	1.255	1.414	1.653	1.793	2.046	2.257
50.Yil	330	372	435	472	538	594
Beytepe	422	476	556	603	688	760
Karataş	196	221	259	280	320	353
Yakupabdal	1.176	1.325	1.549	1.680	1.917	2.115
Ahlatlıbel	538	606	708	768	877	967
Balgat	844	951	1.112	1.206	1.376	1.518
Sancak	2.504	2.821	3.299	3.578	4.082	4.504
Çavuşlu	73	82	96	104	119	131
Karahasanlı	73	83	97	105	120	132
Diğer Mahalleler	242	273	319	346	395	435

5 AEEE toplama noktalarının belirlenmesi

Bu bölümde TN'lerin yerlerinin belirlenmesi ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiştir. TN'lerin yerlerinin belirlenmesi Küme Örtme Problemi (KÖP) olarak modellenmiştir. Amaç, mahalleler ve mahallelerin komşulukları dikkate alınarak, tüm mahalleleri kapsayacak en az sayıda TN kurmaktır. Böylece mahalle sakinleri kendilerine en yakın komşu mahalledeki atık toplama noktasındaki kumbaraya hanelerinden çıkan AEEE'leri bırakabileceklerdir.

KÖP'de kullanılan dizinler, karar değişkeni ve parametreler şu şekilde tanımlanmıştır.

Dizinler:

$\boldsymbol{m}$, hizmet alacak Çankaya ilçesi mahalleleri,

$\boldsymbol{n}$, toplama merkezi kurulabilecek Çankaya ilçesi mahalleleri,

Karar değişkeni:

$$x_j = \begin{cases} 1, & j \text{ mahallesine toplama merkezi konulursa} \\ 0, & d.d. \end{cases}$$

Parametreler:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & i,j \text{ mahalleleri komşu ise} \\ 0, & d.d. \end{cases} \text{ (Komşuluk matrisi)}$$

$\boldsymbol{c_j}, \boldsymbol{j}$ mahallesinin ağırlığı (AEEE yoğunluk katsayısı)

Bu tanımlamalar ışığında KÖP'ün matematiksel modeli aşağıda verilmiştir [43]:

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \geq 1, i = 1, \dots, n \quad (8)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad (9)$$

Kısıtları altında,

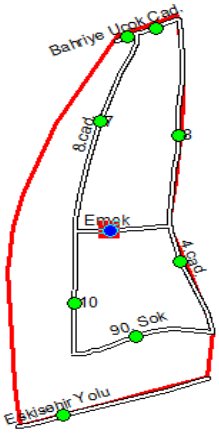
$$\text{En küçük } x_0 = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \quad (10)$$

KÖP'ün matematiksel modelinde Denklem (8) $\boldsymbol{i}$ mahallesine komşu en az bir mahalleye TN açılmasını sağlar. Denklem (9) değişken tanımını gösterir. Amaç fonksiyonu Denklem (10) ile dikkate alınan bölgeye en az sayıda TN kurulması sağlanır. Denklem (10)'da amaç fonksiyonu katsayıları, AEEE miktarlarının yoğun olduğu bölgelere kumbara konulmasının sağlanması amacıyla komşuluk ilişkisine ve AEEE miktarına bağlı olarak hesaplanmıştır. Kumbara konulamayacak mahallere kumbara konulmasını engellemek için daha büyük katsayılar atanmıştır. İlk olarak her bir mahallenin komşuluğu belirlenmiştir. Komşuluk ilişkilerine göre katsayı oluşturmak için komşulukların kendi içlerinde AEEE miktarları hesaplanmış ve toplam atık miktarına bölünerek komşuluklara düşen katsayılar elde edilmiştir. Matematiksel model en küçükleme problemi olduğundan komşuluk gruplarından atık miktarı yüksek olan mahallelere küçük katsayı, atık miktarı daha küçük olan mahallelere büyük katsayı verilmesini sağlamak amacıyla, komşuluklara verilen katsayıların çarpma işlemine göre tersi alınarak ilgili komşuluk kümelerine katsayı olarak atanmıştır. Birden fazla komşuluk ilişkisi nedeniyle birden fazla kümeye giren bir mahallenin katsayısı her küme içindeki katsayıların ortalaması olarak dikkate alınmıştır. Bu problemin çözümüyle, Çankaya ilçesinde hangi mahallede TN olacağı (Kumbara konulacağı) kararı verilmiştir. Çalışmanın bu kısmında Coğrafi Bilgi Sisteminden (CBS) yararlanılarak öncelikle her mahalleyle kesişen yollar bulunmuştur. Daha sonra her mahallenin ve tüm yolların orta noktası bulunmuştur. Böylece mahallenin orta noktasına en yakın yolun orta noktası belirlenmiştir. Belirlenen en yakın yolun orta noktası kumbaraların konulacağı potansiyel noktalar olarak seçilmiştir. KÖP NP-zor bir problemdir. Ancak Çankaya ilçesi için çözülen bu problem çözülebilir boyutta olduğu için CPLEX (tam sayılı doğrusal model çözücüsü) ile makul sürede çözülebilmektedir.

6 Çankaya belediyesi için bir uygulama

Çankaya ilçesinde imara yeni açılan mahalleler ve bazı fiziksel kısıtlar nedeniyle TN oluşturmak amacıyla kumbara kurulamayacak mahalleler ÇÇKKM tarafından verilmiştir. Böylece toplam 116 mahalle içinden geri kalan 89 mahalle TN kurulabilecek aday mahalleler olarak belirlenmiştir. Bu mahallelere birer kod verilmiştir. CBS'den alınan, mahallelerin komşuluk ilişkileri kullanılarak her mahallenin kendisinde veya küme içindeki komşularından birinde en az bir TN kurulması KÖP çözümü ile sağlanmıştır.

Şekil 2'de Çankaya ilçesinin rastgele seçilen bir mahallesi için bir örnek çalışma bulunmaktadır. Resimde mahallerin sınırları (kırmızı çizgiler) ve mahalleler içinden geçen yollar (beyaz çizgiler) yer almaktadır. Yeşil renkli noktalar yolların orta noktalarını, mavi renkli noktalar ise, o mahallenin orta noktasına en yakın olan yolun orta noktasını yani potansiyel kumbara noktalarını simgelemektedir.

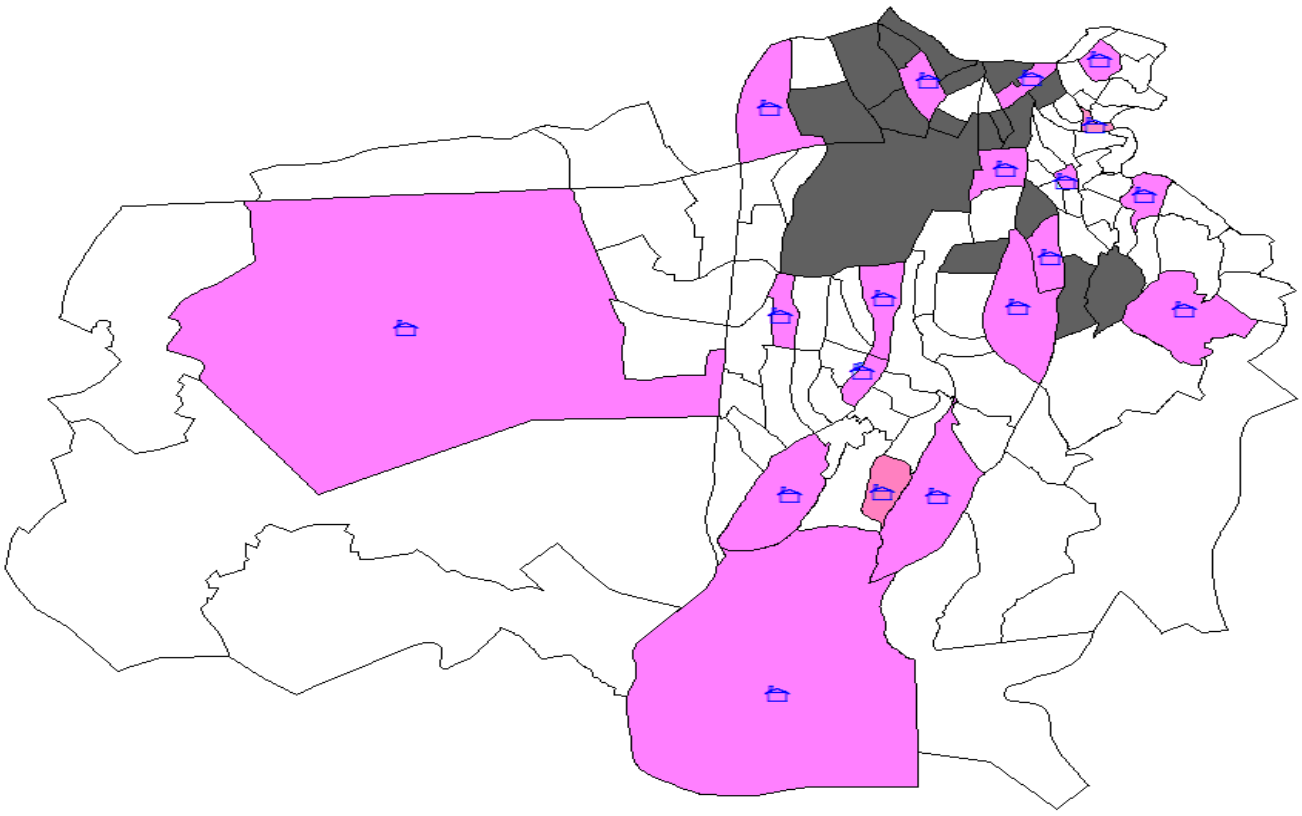


Şekil 2: Emek mahallesi için örnek çalışma.

TN'lere kurulacak kumbaraların homojen (eşit kapasiteli) olduğu ve kurulum maliyetinin eşit olduğu varsayılmıştır. Küme içindeki mahallelerin AEEE miktarına dayalı olarak ağırlıkları hesaplanmış ve amaç fonksiyonu katsayıları c_j oluşturulmuştur. Belediye tarafından kumbara konulamayacağı önceden belirtilen 27 mahalleye kumbara konulmasını engellemek için daha büyük katsayılar atanmıştır. KÖP'ün matematiksel modelinde, hizmet alacak Çankaya ilçesi mahalleri sayısı $m = 116$ ve kumbara konulabilecek Çankaya ilçesi mahalleri sayısı $n = 89$ olarak dikkate alınmıştır. Bu çalışmada yapılan bütün hesaplamalar hemen hemen her bilgisayarda bulunan ve kolayca çalışabilen Microsoft Excel üzerinde çalışmaktadır. Denklem (8)-(10)'da verilen KÖP modeli CPLEX ile çözdürülerek kumbaraların konulacağı mahalleler belirlenmiştir. Böylece, Arka Topraklık, Aşıkpaşa, Aydınlar, Çankaya, Doğuş, Emek, Fakülteler, Fidanlık, Gaziosmanpaşa, Harbiye, İlker, Kavaklıdere, Keklik Pınarı, Kırkkonaklar, Maltepe, Oran, Yukarı Dikmen, Yukarı Öveçler mahallerine kumbara konulmasına karar verilmiştir. Şekil 3 bu mahalleleri göstermektedir.

7 Sonuçlar

AEEE'lerin toplanması, atık yönetim sürecinde en büyük problem olarak karşımıza çıkmaktadır. AEEE tahminlerinin yapılması, kumbaraların hangi TN'lere konulacağının saptanması, insan sağlığı ve güvenliği ve ülke ekonomisi açısından çözülmesi gereken çok önemli bir problemdir.



Şekil 3: Kumbara konulan Çankaya ilçesi mahalleleri.

Dünyada atık yönetimi; özellikle çevreyi koruma, insanların doğal yaşama ortamlarını koruma, atık miktarlarını azaltarak enerji tasarrufu sağlama ve ülke ekonomisine katkı sağlamak açısından önem kazanmaktadır. Ancak AEEE'lerle ilgili sağlıklı veriye dayalı TN belirleme çalışması ne ülke genelinde ne de Çankaya ilçesinde yapılmıştır.

Anket uygulaması ile elde edilen e-eşya kullanım davranışları ve e-eşya kullanım yüzdeleri, coğrafi bilgi sisteminden elde edilen konut sayısı verileri, gelişmişlik indeksi verileri ve PTY-CM yöntemi kullanılarak AEEE'ler tahmin edilmiştir. TN'lerin yerlerinin belirlenmesi problemi KÖP olarak ele alınmış ve kumbaraların konulacağı mahalleler belirlenmiştir. Böylece, Arka Topraklık, Aşıkpaşa, Aydınlar, Çankaya, Doğuş, Emek, Fakülteler, Fidanlık, Gaziosmanpaşa, Harbiye, İlker, Kavaklıdere, Keklik Pınarı, Kırkkonaklar, Maltepe, Oran, Yukarı Dikmen, Yukarı Öveçler mahallerine kumbara konulmasına karar verilmiştir.

Tüm bu çalışmalar göz önüne alındığında, AEEE tahminine dayalı TN belirleme problemi, uygulayıcıdan (ÇÇKKM) gelen ihtiyaç üzerine ele alınmış ve bilimsel yaklaşımlarla çözülmüştür. TN'lerin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmaların tümü yanında AEEE tahmini için özel bir yaklaşımın önerildiği bu çalışma, bu anlamda ilk çalışma olup, önerilen yöntemler herhangi bir belediye için kolayca uygulanabilir.

8 Teşekkür

Anket uygulamasında desteklerinden ötürü Çankaya Belediyesine, Çankaya İlçesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğüne, Çankaya İlçesi muhtarlarına, makalenin geliştirilmesi için değerli katkılar yapan hakemlere teşekkür ederiz.

9 Kaynaklar

[1] Resmi Gazete. "AEEE Yönetmeliği". http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/05/20120522-5.htm (2012).

[2] Matthews H, McMichael F, Hendrickson C, Hart D. "Disposition and end-of-life options for personal computers". Carnegie Mellon University, Pittsburgh, USA, Green Design Initiative Technical Report, 97-10, 1997.

[3] Borthakur A, Govind M. "Emerging trends in consumers' E-waste disposal behavior and awareness: A worldwide overview with special focus on India". *Resources, Conservation and Recycling*, 117, 102-113, 2017.

[4] Tansel B. "From electronic consumer products to e-wastes: Global outlook, waste quantities, recycling challenges". *Environment International*, 98, 35-45, 2017.

[5] Zeng X, Yang C, Chiang J F, Li J. "Innovating e-waste management: From macroscopic to microscopic scales". *Science of the Total Environment*, 575, 1-5, 2017.

[6] Zeng X, Duan H, Wang F, Li J. "Examining environmental management of e-waste: China's experience and lessons". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 1076-1082, 2017.

[7] Kumar A, Holuszko M, Espinosa, D C R. "E-waste: an overview on generation, collection, legislation and recycling practices". *Resources, Conservation and Recycling*, 122, 32-42, 2017.

[8] Peralta G, Fontonos P. "E-Waste ıssues and measures in philippines". *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 8, 34-39, 2006.
[9] Liu X, Tanaka M, Matsui Y. "Generation Amount Prediction and Material Flow Analysis of Electronic Waste: A Case Study in Beijing, China". *Waste Management & Research*, 24, 434-445, 2006.
[10] Salihoğlu G, Kahraman A E. "Türkiye'de elektrikli ve elektronik atık üretimi: Bursa örneği". *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 21(2), 95-106, 2016.
[11] Öztürk T. "Generation and management of electrical–electronic waste (e-waste) in Turkey". *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 17(3), 411-421, 2015.
[12] Aras N, Korugan A, Büyüközkan G, Şerifoğlu F S, Erol İ, Velioğlu M N. "Locating recycling facilities for IT-based electronic waste in Turkey". *Journal of Cleaner Production*, 105, 324-336, 2015.
[13] Robinson B H. "E-waste: an assessment of global production and environmental impacts". *Science of the total environment*, 408(2), 183-191, 2009.
[14] Erol I, Nurtaniş Velioğlu M, Sivrikaya Şerifoğlu F, Büyüközkan G, Aras N, Demircan Çakar N, Korugan A. "Exploring reverse supply chain management practices in Turkey". *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(1), 43-54, 2010.
[15] Özkır V Ç, Efendigil T, Demirel T, Demirel N C, Deveci M, Topçu B. "A three-stage methodology for initiating an effective management system for electronic waste in Turkey". *Resources, Conservation and Recycling*, 96, 61-70, 2015.
[16] Kilic H S, Cebeci U, Ayhan M B. "Reverse logistics system design for the waste of electrical and electronic equipment (WEEE) in Turkey". *Resources, Conservation and Recycling*, 95, 120-132, 2015.
[17] Ciddi K, Erol S. "Sürdürülebilir kalkınma İçin AEEE geri kazanım şebeke tasarımı: kritik literatür araştırması ve fırsatlar". *İİB Uluslararası Hakemli Akademik Sosyal Bilimler Dergisi,* 03(05), 290-313, 2012.
[18] Drezner Z, Hamacher H W. *Facility Location: Applications and Theory*. Berlin, Germany, Springer-Verlag, 2002.
[19] Eiselt H A, Marianov V. *Foundations of Location Analysis*. New York, USA, Springer, 2011.
[20] Daskin MS. *Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications*. 2nd ed. New York, USA, John Wiley & Sons, 2013.
[21] Revelle CS, Eiselt HA, Daskin MS. "A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science". *European Journal of Operational Research*, 184(3), 817-848, 2008.
[22] Daskin MS. "What you should know about location modeling". *Naval Research Logistics (NRL)*, 55(4), 283-294, 2008.
[23] Laporte G, Nickel S, da Gama FS. *Location Science*. Switzerland, Springer, Cham, 2015.
[24] Daskin MS, Coullard CR, Shen ZJM. "An inventory-location model: formulation, solution algorithm and computational results". *Annals of Operations Research*, 110 (1-4), 83-106, 2002.
[25] Farahani RZ, Rashidi Bajgan H, Fahimnia B, Kaviani M. "Location-inventory problem in supply chains: a modeling review". *International Journal of Production Research*, 53(12), 3769-3788, 2015.
[26] Prodhon C, Prins C. "A survey of recent research on location-routing problems". *European Journal of Operational Research*, 238(1), 1-17, 2014.
[27] Ahmadi-Javid A, Seddighi AH. "A location-routing problem with disruption risk". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 53, 63-82, 2013.
[28] Ahmadi-Javid A, Azad N. "Incorporating location, routing and inventory decisions in supply chain network design". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(5), 582-597, 2010.
[29] Ahmadi-Javid A, Seddighi AH. "A location-routing-inventory model for designing multisource distribution networks". *Engineering Optimization*, 44(6), 637-656, 2012.
[30] Ahmadi-Javid A, Ghandali R. "An efficient optimization procedure for designing a capacitated distribution network with price-sensitive demand". *Optimization and Engineering*, 15(3), 801-817, 2014.
[31] Fattahi M, Mahootchi M, Govindan K, Husseini SMM. "Dynamic supply chain network design with capacity planning and multi-period pricing". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 81, 169-202, 2015.
[32] Plastria F, Vanhaverbeke L. "Maximal covering location problem with price decision for revenue maximization in a competitive environment". *OR Spectrum*, 31(3), 555-571, 2009.
[33] Ahmadi-Javid A, Hoseinpour P A. "Location-inventory-pricing model in a supply chain distribution network with price-sensitive demands and inventory-capacity constraints". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 82, 238-255, 2015.
[34] Ahmadi-Javid A, Hoseinpour P. "Incorporating location, inventory and price decisions into a supply chain distribution network design problem". *Computers & Operations Research*, 56, 110-119, 2015.
[35] Karaoglan I, Altiparmak F, Kara I, Dengiz B. "A branch and cut algorithm for the location-routing problem with simultaneous pickup and delivery". *European Journal of Operational Research*, 211(2), 318-332, 2011.
[36] Nunnally JC. *Domain-Sampling Theory of Measurement Error*, *Psychometric Theory*, 2nd ed. New York, USA, Mc Graw-Hill Book Company, 1978.
[37] Baş, T. *Anket*. Ankara, Türkiye, Seçkin Yayınları, 2001.
[38] Üstünışık NZ. Türkiye'deki İller ve Bölgeler Bazında Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması: Gri İlişkiler Analiz Yöntemi ve Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2007.
[39] Gelir İdaresi Başkanlığı. "Amortisman Oranları". http://www.gib.gov.tr/fileadmin/user_upload/Yararli_Bilgiler/amortisman_oranlari2009.html (2012).
[40] Türkiye İstatistik Kurumu Sanayi ve İş İstatistikleri Daire Başkanlığı. "Yıllık Sanayi ve Hizmet İstatistikleri". Ankara, Türkiye, 2011.
[41] T.C. Çankaya Belediyesi Başkanlığı Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü. "Elektrikli ve Elektronik Atık Yönetim Planı (EEAYP)". Ankara, Türkiye, 2011.
[42] Devlet Planlama Teşkilatı. "İlçelerin Sosyo Ekonomik Gelişmişlik Düzeyi". Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara, Türkiye, 2004.
[43] Beasley JE, Chu PC. "A genetic algorithm fort the set covering problem". *European Journal of Operational Research*, 94, 392-404, 1996.

Ek A



ELEKTRONİK EŞYALARIN KULLANIM ANKETİ

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Bu çalışma elektronik atıkların değerlendirme sürecini ve miktarını belirlemeye yönelik bir araştırmadır. Araştırmanın değeri ve başarısı tümüyle sizin katılımınıza bağlıdır. Araştırmada anket formunu dolduranın kimliği değil verilen cevaplar önemlidir. Bu nedenle kimliğinizi yazmanız gerekmemektedir. Anket 3 bölümden oluşmaktadır. Elektronik atık yönetimi ile ilgili genel kapsamlı sorular için 1. Bölüm sorularını cevapladıktan sonra eğer eşyanın ilk kullanıcısı iseniz 2. Bölüm sorularını, ikinci kullanıcısı iseniz 3. Bölüm sorularını işaretlemenizi rica ederiz.

BİRİNCİ BÖLÜM SORULARI

Bu bölümdeki soruların amacı elektronik atıkların oluşma sıklığı belirlemektir.

S1. Yaşınız: ……..

S2. Cinsiyetiniz
1. KADIN
2. ERKEK

S3. Eğitim Durumunuz:
1. İLKOKUL
2. ORTAOKUL
3. LİSE
4. ÜNİVERSİTE

S4. Gelir durumunuz:
1. 1000 TL'DEN AZ
2. 1000-2000 TL
3. 2000-3000 TL
4. 3000-5000 TL
5. 5000 TL ÜSTÜ

S5. Elektronik atıkların çevreye zararı hakkında ne kadar bilginiz var.
☐ Hiç yok ☐ Çok az ☐ Orta ☐ İyi ☐ Çok fazla

S6. Elektronik atıklarınızı geri dönüşümünü sağlayacak kurum ve kuruluşlar hakkında ne kadar bilginiz var.
☐ Hiç yok ☐ Çok az ☐ Orta ☐ İyi ☐ Çok fazla

S7. Elektronik atıklarınızı çöplerinizden ayırıyor musunuz?
☐ Evet ☐ Hayır

S8. Elektronik atıklarınızı atık toplama merkezleri olsa götürür müsünüz?
☐ Götürmem ☐ Ara sıra götürürüm
☐ Genellikle götürürüm ☐ Her zaman götürürüm

S9. Aşağıdaki soruyu 1'den 4'e kadar numaralandırın. (1=En etkisiz, 4=En etkili)

Elektronik atıkların her zaman atık toplama merkezlerine götürülmesi için sizce ne yapılması gerekir?				
	1	2	3	4
Yasal zorunluluk olmalı.				
Ceza sistemi uygulanmalı.				
Ödül sistemi uygulanmalı.				
İnsanların bilinçlendirilmesi gerekli.				
Diğer durumlar.				

S10. Elektronik atıklar hakkında farklı görüşleriniz varsa lütfen yazınız?

İKİNCİ BÖLÜM SORULARI

Bu bölümdeki soruların amacı elektronik eşyaların ilk sahipleri tarafından kullanılma süresini belirlemek. Ve kullanım ömürleri bittikten sonraki değerlendirme sürecini analiz etmektir. Elektronik eşyaların ilk sahibi olan tüketicilerin cevaplaması gereken sorular.

S1.	Elektronik eşyaları ortalama ne kadar süre kullanıyorsunuz?								
		Televizyon	Buzdolabı	Fırın	Çamaşır Makinesi	Elektrik Süpürgesi	Bilgisayar	Cep Telefonu	Yazıcı
	3 yıldan daha az								
	3-5 yıl								
	6-8 yıl								
	9-11 yıl								
	11 yıldan daha fazla								

S2. Elektronik eşyalarınızı kullanım ömrü tamamladıktan sonra nasıl değerlendiriyorsunuz?

		Televizyon	Buzdolabı	Fırın	Çamaşır Makinesi	Elektrik Süpürgesi	Bilgisayar	Cep Telefonu	Yazıcı
	Başka birine verdim Depoda saklıyorum								
	Geri dönüşüme verdim								
	Çöpe attım								
	Diğer durumlar								

S3. Depoladığınız elektronik eşyalar var ise ne kadar süre depoda tutuyorsunuz?

		Televizyon	Buzdolabı	Fırın	Çamaşır Makinesi	Elektrik Süpürgesi	Bilgisayar	Cep Telefonu	Yazıcı
	1 yıldan az								
	1-3 yıl								
	4-6 yıl								
	6 yıldan fazla								

S4. Depoladığınız elektronik eşyaları beklettikten sonra ne yapıyorsunuz?

		Televizyon	Buzdolabı	Fırın	Çamaşır Makinesi	Elektrik Süpürgesi	Bilgisayar	Cep Telefonu	Yazıcı
	Başka birine verdim								
	Geri dönüşüme verdim								
	Çöpe attım								
	Diğer durumlar								

S5. Elektronik eşyalarınızı geri dönüşüme verdiniz mi?
☐ Evet ☐ Hayır

Eğer cevabınız Evet ise lütfen 7. ve 8. soruları da cevaplayınız.
S6. Elektronik eşyalarınızı hangi geri dönüşüm yapan kuruma verdiniz?

1. Belediyeye verdim.
2. Özel bir şirkete verdim. (Şirket adını yazınız.)……
3. Hurdacılara verdim.
4. Toplama Merkezine götürdüm.(Nerde olduğunu yazınız.)……
5. Aradım. Evden aldılar.(Kimin aldığını yazınız.)……
6. Diğer durumlar. ……

S7. Geri dönüşüm için verdiğiniz elektronik eşya(lar) için sizden ücret talep edildi mi?
☐ Evet ☐ Hayır

S8. Geri dönüşüm için verdiğiniz elektronik eşya(lar) için size ücret verildi mi?
☐ Evet ☐ Hayır

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM SORULARI

Bu bölümdeki soruların amacı elektronik eşyaları ikinci el kullanan tüketiciler tarafından kullanılma süresini belirlemek. Ve kullanım ömürleri bittikten sonraki değerlendirme sürecini analiz etmektir. Elektronik eşyaları ikinci el kullanan tüketicilerin cevaplaması gereken sorular

S1. İkinci el elektronik eşyaları ortalama ne kadar süre kullanıyorsunuz?

	Televizyon	Buzdolabı	Fırın	Çamaşır Makinesi	Elektrik Süpürgesi	Bilgisayar	Cep Tel.	Yazıcı
3 yıldan daha az								
3-5 yıl								
6-8 yıl								
9-11 yıl								
11 yıldan daha fazla								

S2. İkinci el elektronik eşyalarınızı kullanım ömrü tamamladıktan sonra nasıl değerlendiriyorsunuz?

	Televizyon	Buzdolabı	Fırın	Çamaşır Makinesi	Elektrik Süpürgesi	Bilgisayar	Cep Tel.	Yazıcı
Depoda saklıyorum								
Geri dönüşüme verdim								
Çöpe attım								
Diğer durumlar								

S3. Depoladığınız elektronik eşyalar var ise ne kadar süre depoda tutuyorsunuz?

	Televizyon	Buzdolabı	Fırın	Çamaşır Makinesi	Elektrik Süpürgesi	Bilgisayar	Cep Tel.	Yazıcı
1 yıldan az								
1-3 yıl								
4-6 yıl								
6 yıldan fazla								

S4. Depoladığınız elektronik eşyaları beklettikten sonra ne yapıyorsunuz?

	Televizyon	Buzdolabı	Fırın	Çamaşır Makinesi	Elektrik Süpürgesi	Bilgisayar	Cep Tel.	Yazıcı
Geri dönüşüme verdim								
Çöpe attım								
Diğer durumlar								

Anketimiz sona ermiştir. Katkılarınız için teşekkür eder, saygılarımızı sunarız.