

# Akıllı Tarım Uygulamalarında Enerji Hasatlayan Kablosuz Sensör Ağlarında Veri Toplama

## Data Collection in Energy Harvesting Wireless Sensor Networks in Smart Agriculture Applications

 Ömer Melih Gül

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, Türkiye  
Email: omermelih.gul@bau.edu.tr

**Özetçe**—Bu literatür taraması, akıllı tarım uygulamalarında enerji hasatlayan kablosuz sensör ağlarında veri toplama için ortaya çıkan bir çizelgeleme probleminin farklı durumları ve bunlara önerilen çözümler incelemektedir. İlk olarak, bir füzyon merkezinin (FM) m EH sensörlerinden bilgi topladığı bir kablosuz ağı dikkate alıyoruz. FM, her bir zaman dilimi için k ortogonal kanal üzerinden iletim için k adet m düğüm planlar. FM, yalnızca iletim girişimlerinin sonuçları hakkında nedensel bilgiye sahiptir; düğümlerin pil durumları veya EH faaliyetleri hakkında doğrudan bilgisi yoktur. Toplanan enerji iletimi kısıtlandığında FM'nin bu veri destekli sistemde mümkün olan en fazla verimi toplamasına izin verecek bir zamanlama mekanizması bulmak amaçtır. Düğüm pillerinde bir depolama kapasitesine kadar enerjinin kayıpsız olarak depolandığı varsayılır (sınırsız kapasite olasılığı da dikkate alınır). Sorunu ele almak için hem sonlu hem de belirsiz problem ufukları kullanılır. İkinci olarak, sonsuz bir veri birikimi önermesinin bozulduğu senaryoyu dikkate alıyoruz. Üçüncü olarak, birinci çizelgeleme probleminin ikili probleminde bakıyoruz. Düşük karmaşıklığa sahip bir politika olan Düzgünleştirilen Rastgele Sıralı Politikanın (DRSP) önerilir; genel enerji hasadı ve veri toplama süreçleri için optimuma yakın olduğu gösterilmiştir. Sayısal örneklerle göre, DRSP, pil ve tampon kapasitesi kabul edilebilir bir boyutta olduğunda, gelen enerjiyi ve verileri neredeyse mükemmel bir verimlilikle kullanır. Buradaki problemler, başka birçok alanda görülebileceği için buradaki çözümler, haberleşme ağından daha geniş bir uygulama alanına sahip olabilir.

**Anahtar Kelimeler** —kaynak tahsisi, kablosuz duyurga ağları, enerji hasatlama, çizelgeleme

**Abstract**—This literature survey investigates various versions of a scheduling problem occurring in data collection in energy-harvesting (EH) wireless sensors networks (WSN) in smart agricultural applications and their solutions. First, we take into account a wireless network where a fusion center (FC) gathers information from m EH sensors. FC plans k of m nodes for transmission over k orthogonal channels for each time slot. FC only has causal knowledge about the results of transmission attempts; it has no direct knowledge of battery conditions of nodes or EH activities.

Finding a scheduling mechanism that will allow FC to collect the most throughput possible in this data-backed up system, when harvested energy restricts transmission, is the goal. It is assumed that energy is stored losslessly in node batteries up to a storage capacity (the possibility of unlimited capacity is also taken into consideration). Both finite and indefinite problem horizons are used to treat the issue. Second, we take into account the scenario in which the premise of an infinite data backlog is broken. Thirdly, we look at the first scheduling problem's dual problem. Uniformizing Random Ordered Policy (UROD), a low-complexity policy, is suggested; its near-optimality is demonstrated for general energy harvesting and data arriving processes. According to numerical examples, UROD utilises the incoming energy and data with practically perfect efficiency when the battery and buffer capacity are of an acceptable size. As these problems may be faced in many other areas, their solutions may have a wider application area than communication network.

**Keywords** —resource allocation, wireless sensor networks, energy harvesting, scheduling

### I. GİRİŞ

Geçmişte, tarım işçileri yabancı otları tohum ekmeden önce doğrudan tespit ederdi. İnsan emeği bugün ise kıttr. Tarım işçileri başka tarlalara taşınırken gıda üretimi zarar gördü. Uzmanlar, nüfus arttıkça, arazi küçüldükçe ve doğal kaynaklar azaldıkça kendi kendine yeten bir sistem talep eden hassas ve akıllı tarıma daha fazla odaklanmaktadır. Bu anlamda farklı alt görevleri yapan algoritmaları birleştirmek, sistem genelinde nesnelere internetini ve gözetim sistemini etkinleştirir.

Bitkiler, toprağı ve çevresini bilirler. Melez tohumlar ve yapay kompostlar verimliliği artırır. İklim, su, tohumlar ve kompostlar çiftçiliği etkiler. İklim kontrol edilemez. Havayı, suyu dağıtır. Tohum ve gübre seçimi yönetilebilir. Bu da akıllı tarıma olan ihtiyacı ortaya koyar [1].

Akıllı tarım, birçok fayda sağlasa da bunu yapabilmemizin de zorlukları ve ortaya çıkan problemler vardır. Bunlardan bir tanesi de akıllı tarımda kullanılan algılayıcıların enerji verimliliğiyle görev yapabmesidir.

Bu bölümün kalan altkısımlarında, öncelikle incelenen problemin güdülenmesi verilmektedir. Sonraki alt kısımda, problemin ilgili literatüründeki yakın çalışmalardan bahsedilmiştir. Daha sonraki alt kısımda, bu makalede literatüre yapılan ana katkılar özetlenmiştir. Son olarak, makalenin geriye kalan kısmının teşkili verilmiştir.

#### A. Güdüleme

Kablosuz sensör ağları (KSA), tarımsal gözetimi, çevre gözetimi, trafik gözetimi, hava trafik kontrolü, fiziksel güvenlik, endüstriyel ve üretim otomasyonu, sağlık hizmetleri, akıllı şehirler ve dağıtılmış robotlar, kablosuz bağlantılar üzerinden akıllı ve ucuz küçük boyutlu sensörler kullanır. [2].

KSA, güç kaynakları ve pillerinin ömrü ile ilgili kritik zorluklarla karşı karşıyadır. Enerji hasadı (EH) [3], KSA'ların düzenli bakımın pratik olmadığı veya çok pahalı olduğu yerlerde çalışmasını mümkün kılan bir tekniktir. Genellikle EH olarak bilinen enerji hasadı, güvenilir çalışmanın ömrünü uzatabilir [4, 5]. Güneş, kinetik ve diğerleri dahil olmak üzere çok sayıda enerji biçimi doğal çevrelerinden çıkarılabilir [6]. Enerji toplayıcılar temel olarak öngörülemeyen enerji kaynaklarına bağlıdır ve toplanan enerji miktarı tipik olarak çok az miktardadır [6, 7], bu nedenle KSA'ların çalışma stratejilerinin sağlam, çevreye uyurlanabilir ve enerji açısından verimli olması gerekir.

Enerji verimliliği, enerji hasatlayan kablosuz sensör ağı sistemin ağ ömrünü artırır. Bu çalışma, her düğümün pil seviyesi ve tahmin edilen enerjiyi değerlendirmektedir.

#### B. Önemli Katkılar

Bu makalenin literatüre ana katkıları şu şekildedir:

- Bildiğimiz kadarıyla, bu makale akıllı tarım uygulamalarında enerji hasatlayan düğümlerini kullanarak veri toplama üzerine yapılan ilk literatür taramasıdır.
- Bu probleme en iyi çözümler, her bir düğümün pil seviyesini ve enerji hasatlama yeteneklerini tahmin eden bir yaklaşım sergileyen çözümler olmadığı da gösterilir.
- Bu makalede geleceğe dair yeni araştırma yönleri de ortaya koyulmaktadır.

#### C. Teşkil

Bu makale şu şekilde devam etmektedir. Bölüm II sistem modelini ve problemini tanıtmaktadır. Bölüm III ilgili çalışmaları sunar. Bölüm IV, tartışma ve gelecekteki araştırma yönleri sunulmaktadır. Bölüm IV makaleyi özetler ve gelecekteki problemleri önermektedir.

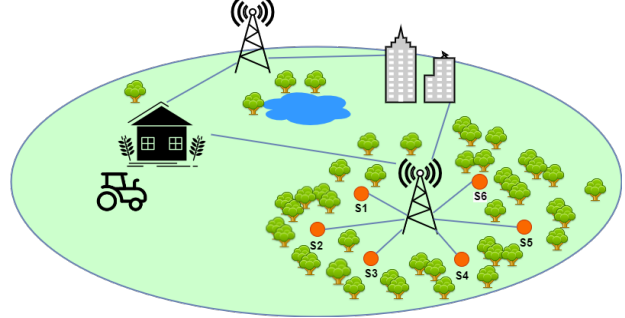
### II. SİSTEM MODELİ VE PROBLEM TANIMI

Bu kısımda, öncelikle göz önünde bulundurulmuş bilgisayar haberleşme sisteminin modeli verilmektedir. Daha sonra, bu sistemde ele alınan problemin tanımı yapılmaktadır.

#### A. Sistem Modeli

Bu çalışmada m enerji hasatlayan (EH) sensörlerden bir füzyon merkezi (FM) tarafından zaman belirli zaman dilimlerinde veri toplandığı tek atlamalı bir KSA dikkate alınmaktadır.

Şekil 1, akıllı tarım uygulamasındaki bir enerji hasatlayan KSA kurulumunu göstermektedir.



Şekil 1. Toplamda bir füzyon merkezi (FM) olarak çalışan bir baz istasyonu ve 6 sensörden (S1, S2, S3, S4, S5, S6) oluşan bir enerji hasatlayan kablosuz sensör ağına (KSA) FM sensörlerden veri toplamaktadır. Burada, FM sensörlere kaynak (veri iletebilmeleri için haberleşme kanalını anlık) tahsis etmektedir.

$S$ , sensör dizin kümesidir, öyleki,  $i \in S = \{1, 2, \dots, m\}$ . Bu kümede  $m$  sensör ve her turda  $k$  kanallı bir füzyon merkezi tarafından çizelgelenir. Eğer  $i$ . sensör  $t$ . Zaman diliminde seçilmişse ise  $i \in H(t)$ . Füzyon merkezi olan baz istasyonuna,  $m$  sensörden verileri toplar.  $E_i^h(t)$ ,  $i$ . sensör tarafından  $t$ . zaman diliminde hasatlanan enerjidir ve  $B(t)$ , sensör pilinde kalan enerjidir.

#### B. Problem Tanımı

Bir düğümün iletecek verisi varsa ve bir zaman diliminde iletim için planlandığında iletim yapmak için yeterli enerjisi varsa, o zaman düğüm bir paket iletecektir. FM, sistemin durumu (düğümlerde depolanan veri paketlerinin veya enerji paketlerinin miktarı gibi) hakkında doğrudan bilgiye sahip olmadığı gibi, enerji toplama süreci veya veri varış süreci ile ilgili istatistiklere de sahip değildir.  $k$  benzersiz düğümün herhangi bir alt kümesinin herhangi bir zamanda programlanabileceği varsayımı altında çalışıyoruz. FM'nin amacı, sonlu veya belirsiz bir zaman ufkunda mümkün olan en yüksek toplam verimi elde etmektir.

### III. İLGİLİ LİTERATÜR

Bu bölümde son yıllarda gelişen enerji hasatlayan kablosuz sensör ağlarda veri toplama ile ilgili literatüründeki ilgili çalışmalara değinilmektedir.

Güç kontrolü (veya enerji yönetimi) ağlar için çok önemli bir endişe kaynağı olduğundan, son yıllarda enerji verimli iletişim sistemlerinde zamanlama üzerine artan miktarda araştırma ve yazı yapılmaktadır. [8, 9], enerji verimli iletim çizelgeleme problemi sağlayan ve "tembel çizelgeleme" tekniğini çözüm olarak öneren öncü

çalışmalardır. Bu teknik, veri iletim hızının, iletim gücünün içbükey bir fonksiyonu olduğu gerçeğine dayanmaktadır. [8, 9] öncü çalışmaları da sunmaktadır. Sonraki yıllarda aynı türden konuları araştıran birkaç çalışma yayınlanmaktadır ([10]–[18]). Ek olarak [19], iki alıcıya ayrı veri gönderen bir enerji toplama vericisini içeren bir sorunu (problemi) araştırmaktadır. Benzer bir çizelgeleme problemi [20]'de, sönümlenme kanallarına ek olarak statik kanallar yoluyla iletilmesi gereken belirgin bir iletim hızları kümesine sahip olan bir enerji toplama vericisi için incelenmiştir. [21, 22] kendi çalışmalarında [6, 7]'de tartışılan çizelgeleme probleminin genişletilmiş bir biçimini araştırdılar. Bu çalışmalarda [21,22], sönümlenen kanallar ve enerji toplayan vericiler ile çizelgeleme problemi ele alınmış ve probleme optimuma yakın buluşsal çözümler önerilmiştir. Yazılım tanımlı bir radyoda, [20,21]'de açıklanan programlama politikalarının uygulanması, [23, 24]'te temsil edilen bir dizi deneysel sonuç üretir.

Ek olarak [25], düşük enerjili Bluetooth cihazları için enerji toplayan KSA'larda çeşitli görev döngüsü optimizasyon tekniklerinin kullanımını araştırmaktadır. Ayrıca, [26, 27], kullanıcıların ortamdan enerji toplayabildiği senaryoyu dikkate alarak, bir MISO uydurucu bağı bağlantısındaki geri besleme sistemi için optimizasyon tekniklerini inceler. [28] idealist oransız kodları ve minimum enerjili tek noktaya yayın yönlendirme problemini araştırmaktadır. Bir mobil İnternet servis sağlayıcısının (stratosferin alt kısmında yenilenebilir enerjiyle çalışan uçan bir platform), bir alan üzerinde hareket ederken kullanıcıların İnternet erişimi sağlaması öngörülüyor. Benzer şekilde, [29, 30, 31] bir iletişim sistemindeki çizelgeleme probleminin çeşitli varyasyonlarını araştırır. Bu problem, dinamik sırt çantası problemi olarak adlandırılır. Belirleyici bir paradigma içinde abonelere İnternet bağlantısı sunmak için mobil İnternet servis sağlayıcıları için en iyi karar verme teknikleri [29, 30]'da incelenmiştir. Çalışmanın en önemli katkılarından biri, konu için deterministik bir model altında oluşturulan rekabetçi çevrimiçi buluşsal yöntemlerin yanı sıra genetik algoritmalar ve kural tabanlı optimizasyon kullanmasıdır. Olasılıksal modele göre problem [31]'de 0/1 sırt çantası problemi olarak modellenmiştir. Kural tabanlı buluşsal yöntemler gibi karar konusuna uygulanan farklı yaklaşımlar kullanılarak türetilen eşik politikaları, bir dizi çevrimiçi buluşsal yöntem önermek için kullanılır.

Bu literatür taramasında, akıllı tarım uygulamalarında enerji hasatlayan kablosuz sensör ağlarında veri toplama için ortaya çıkan bir çizelgeleme probleminin farklı durumları ve bunlara önerilen çözümler incelenmiştir. Başlamak için, verilerin m EH sensör düğümlerinden bir füzyon merkezi (FM) tarafından toplandığı bir kablosuz sensör ağı (KSA) inşa edeceğiz; Her bir düğüm için her zaman gönderilecek veri olması beklenir (ayrıca veri biriktirilen düğümler olarak da bilinir). Her düğüm,

toplanan enerjiyi, belirli kapasite gereksinimlerini karşılaması ve sızdırmaz olması gereken kendi pilinde depolar. Ayrıca çoklu erişim iletişimde hata olmayacağı ve sönümlenme olmayacağı varsayılmıştır. Programda bir düğüm varsa, kullanması için kanallardan biri atanacaktır. Bir düğümün bir paket göndermek için yeterli enerjisi varsa ve veri iletmek için programlanmışsa, o zaman iletim sırası kendisine geldiğinde verileri FM'ne gönderebilir. Her paketin iletimi, bir zaman aralığının boyunca sürer. FM'nin amacı, sonlu veya sonsuz olabilen bir problem ufku boyunca en fazla bir toplam veri hacmi elde etmektir. Bu konu [32]'de araştırılmıştır ve bu çalışmanın bulguları daha sonra [33]'te daha genel olan bir senaryoya uygulanmıştır. [32, 33]'ün içeriği bu çalışmada daha derinlemesine sunulmuştur.

Pratik uygulamada, düğümlerin pil durumları, biraz daha fazla maliyet pahasına (ek geri besleme nedeniyle ek zaman ve enerji israfı gibi) ve biraz daha büyük karmaşıklık pahasına FM için erişilebilir hale getirilebilir. Bununla birlikte, FM'nin düğümlerdeki anlık pil seviyeleri veya bunların istatistikleri hakkında bilgi sahibi olmadan programlama kararları verdiği problemi pratik bir bakış açısından keşfetmek ilginç bir problem sunmaktadır. Bilgedeki bu boşluğun performans üzerinde çok az etkisi olduğu, bizi çok rahatlatır. FM'nin, önceki iletim girişimlerinin sonuçlarının yalnızca farkında olmasına rağmen, neredeyse her şeyi bilen bir programlayıcı kadar etkili bir şekilde planlama yapabildiğini göstereceğiz.

#### A. Kısmen Gözlemlenebilir Markov Karar Süreci (KGMKS) Yaklaşımı

EH süreçlerinin Markov süreçleri olduğunu varsayarsak, bu problem kısmen gözlemlenebilir Markov Karar Süreci (KGMKS) olarak tanımlanabilir ve probleme en uygun çözümü bulmak için Dinamik Programlama (DP) [34] kullanılabilir. Ancak, enerji gibi sürekli durum değişkenleri ile ilgili konulara adil bir yaklaşım elde etmek için, DP'nin durum uzayı oldukça geniş olmalıdır. Ek olarak, DP'nin karmaşıklığı, m [34] düğüm sayısı ile orantılı olarak katlanarak artar. Sonuç olarak, önemli sayıda (yüzlerce) düğüm ve önemli miktarda durum alanı olduğunda, DP'nin karmaşıklığı EH çizelgeleme problemi için makul olmayan bir şekilde yüksek olabilir.

Takviyeli öğrenme, bu çizelgeleme problemini çözmek için kullanılacak ikinci bir yöntemdir. Bu yöntem probleme bir KGMKS olarak modelleyerek yaklaşır. Pek çok takviyeli öğrenme algoritması arasında, Q-learning [35] hem uygulamaya koyması en kolay hem de en etkili olan modelden bağımsız yaklaşımdır. Q-learning, jenerik bir modelin eninde sonunda en iyi durumuna yakınsamasını sağlar. Bununla birlikte, Q-learning, çözümler üzerinde yakınsama yapmak için uzun zaman aldığından, geniş bir durum uzayı içeren problemler için kullanılamaz [36]. Aslında, çok sayıda algoritma en iyi olan yakınsak davranışı garanti edebilmektedir [37]. Bununla birlikte, pek çok pratik uygulamada, optimuma

yakın hızla ulaşan bir strateji, kesin en iyiliğe yavaş yavaş yaklaşan bir politikaya tercih edilir [36]. Bunun nedeni, birincisinin ikincisinden daha hızlı yakın en iyilik elde etmesidir. Q-öğrenmenin yakınsama oranı, indirim faktörü 1 değerine yaklaştıkça daha düşük bir seviyeye düşer, bu da indirimin olmadığı durumu temsil eder. Alınan tipik ödülü en üst düzeye çıkarmak için tasarlanmış R-öğrenme [38] gibi stratejiler vardır; buna rağmen, R-öğrenmenin yakınsaması kanıtlanmamıştır. Takviyeli öğrenmeyle ilgili bir diğer önemli konu, keşfederek öğrenme ile sömürücü öğrenme arasında yapılması gereken değiş tokuştur [39]. Sonuç olarak, Q-öğrenme ve daha geniş olarak takviyeli öğrenme, bu çizelgeleme problemlerine etkili ve uygulanabilir bir çözüm üretme amacı için uygun görünmemektedir. Bu, özellikle çok sayıda sensörün yanı sıra enerji gibi sürekli bir durum değişkeni dikkate alındığında daha fazla geçerlidir.

### B. Huzursuz Çok Kollu Haydut (HÇKH) Yaklaşımı

Bu belirli zamanlama problemlerine, huzursuz çok kollu haydut problemi (HÇKH) olarak düşünülerek de yaklaşılabilir. Bu, standart KGMKS formülasyonunun bir çeşididir. HÇKH problemi, geleneksel çok kollu haydut (ÇKH) probleminin bir uzantısıdır. ÇKH problemi Gittins [40] tarafından en iyi olarak çözüldürken, Whittle [41] belirli varsayımlar altında problem için en iyi bir çözüm önermiştir. Papadimitriou ve Tsitsiklis [42] tarafından genel bir HÇKH'ye en uygun çözümü bulmanın PSPACE-zor bir problem olduğu gösterilmiştir ve bu problem aynı zamanda bu problemin çok yüksek bir hesaplama karmaşıklık seviyesine sahip olduğunu göstermektedir. Sensörlerin bellek kısıtlamaları dikkate alındığında, önemli ölçüde daha ilgili bir politika gereklidir. Sonuç olarak, HÇKH sorunları için miyop politika (MP) olarak adlandırılan daha basit bir strateji önerilir ve [43, 44, 45]'te tartışılan sensör yönetimi zorlukları için belirli durumlarda en iyi olduğu gösterilmiştir. Öte yandan, miyop bir yaklaşım ideal değildir çünkü sadece buraya ve şimdiye odaklanır ve geleceği hesaba katmaz [46, 47]. [48]'de, kanal araştırmayı içeren bir problem araştırılmış ve MP'nin mutlaka en iyi çözüm olmadığı gösterilmiştir. [43, 44, 45, 48]'de gündeme getirilen sorunları doğru bir şekilde ele almak için, zamanlama kararının geçiş olasılıkları üzerinde bir etkisinin olmadığı varsayımını yapmak gereklidir. Ancak bu geçerli bir varsayım değildir, çünkü enerji depolanabilen (herhangi bir indirim yapılmadan ve aslında son derece düşük olan pil sızıntısını göz ardı etmeden [2]) ve istendiğinde kullanılabilen esnek bir kaynaktır. Bu varsayım, halihazırda ele alınan EH çizelgeleme problemi için geçerli değildir. Spektrum ise depolanamayan ve var olduğu anda kullanılması gereken bir kaynaktır. Bu nedenle, spektrum esnek bir kaynak olarak kabul edilemez. Bunun bir sonucu olarak, çalışmalarda [43, 44, 45, 48] önerilen çareler, problemimize hemen uygulanamamaktadır.

[47, 49, 54]'de incelenen zamanlama zorlukları, eldeki konuyu ele almaya en yakın olan araştırma kapsamındaki çalışmalardır. Sırasıyla [47] ve [49]'da hiç pil olmadığını ve düğümlerdeki pillerin boyutunun birim boyutunda olduğunu varsayılmıştır. Hem [47] hem de [49], çizelgeleme problemini bir KGMKS biçiminde sunarlar, esasen müteakip ödüllerden ziyade anlık ödüle odaklanılır. Tek atlamalı bir kablosuz algılayıcı ağı, huzursuz çok kollu haydut probleminin (HÇKH) bir örneği olarak kabul edilir. Bu ağda, her biri birim boyutunda bir pile sahip olan EH verici düğümleri ve merkezi bir alıcı ve birden fazla kanala sahip olan bir füzyon merkezi vardır. Normalde HÇKH [50] için yetersiz olan Whittle indeks politikasının en iyiliği, EH sürecine ilişkin belirli varsayımlar verildiğinde belirli bir senaryo için gösterilmiştir. Round-Robin tabanlı bir miyop politikanın en iyiliği [49]'da, her düğümün yalnızca birim boyutlu bir pile sahip olduğu ve merkezi düğümün verici düğümlerinin sayısı ile iletişim kanallarının sayısı arasındaki oranın (m/k) bir tamsayı olduğu varsayımları altında gösterilmiştir. Bu, miyop politikasının bu özel durumlarda kullanılabilecek en etkili politika olduğunu kanıtlıyor. Problem [47]'de bir KGMKS olarak tanımlanmıştır ve MP'nin en iyiliği iki farklı özel durum için kanıtlanmıştır: 1) düğümler aynı anda veri toplayıp iletmez ve EH süreç geçişinin olasılıkları etkilenir. zamanlama kararları; ve 2) düğümlerin pilleri yoktur. [47, 49]'da sunulan miyop politikaları Round-Robin (RR) yaklaşımına dayalı olduğundan (m/k aynı zamanda RR Politikası altında bir tur süresidir) "m/k'nin bir tamsayı olduğunu" varsaymak çok önemlidir. Bu varsayımların gerçek dünyada nasıl uygulamaya konulabileceği konusunda bazı sınırlamaları vardır. [54]'teki çalışmada [47]'deki çalışma birim pil kapasitesi yerine sonlu bir pil kapasitesi düşünülerek genişletilmiştir. Burada olasılıksal süreçler üstünde [47]'deki kabulleri yaptığı için probleme belli başlı durumlar için en iyi çözüm getirmektedir. Bunun dışındaki durumlara en iyi altı çözüm önerebilmektedir.

Miyop politika (MP), beklenen anlık ödül işlevini enyükselten k düğümü çizelgeler. Ödül işlevi için MP, en yüksek inanç durumuna sahip k düğümü çizelgeler.

Şekil 2'de 2 kanala sahip bir füzyon merkezi 6 sensörden Miyop Politikayla (MP) veri toplarken oluşan çizelgeleme tablosu verilmektedir.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kanal 1	1	3	5	1	3	5	1	3	5	1
Kanal 2	2	4	6	2	4	6	2	4	6	2

Şekil 2. Bir füzyon merkezi (FM) olarak çalışan bir baz istasyonu ve 6 sensörden (S1, S2, S3, S4, S5, S6) oluşan bir enerji hasatlayan KSA'da FM sensörlerden Miyop Politika (MP) Yaklaşımı ile veri toplamaktadır.



### C. Düzgünleştiren Rastgele Sıralı Politika (DRSP) Yaklaşımı

Problemin ortaya konulabilmesi için enerji üretimi ve uygulaması ile ilgili bir modele ihtiyaç vardır. Başlamak için, bir düğümün pilinde depolanan enerji miktarı, o düğüm bir veri paketi gönderdiğinde azalır. İkincisi, bir bataryada depolanan enerji, toplanan enerjinin bir sonucu olarak tutarlı bir şekilde artar. Üçüncüsü, pil sızıntısı ihmal edilir. Bugün kullanımda olan yaygın pillerin incelenmesi, bu pillerden sızıntının birkaç dakika boyunca önemsiz düzeyde düşük olduğu bulunduğundan, bu varsayımın oluşmasına yol açmıştır. Bir politika için iyi bir performans ölçütü, gecikmeye duysuz bir iletişim problemi olan bu çizelgeleme problemi için beklenen toplam iskonto edilmiş ödül yerine sonlu ve sonsuz ufuktaki ortalama ödül olabilir [51]. Bunun nedeni, enerji hakkındaki bu hafif varsayımların, beklenen toplam indirimli ödülü uygunsuz bir performans ölçüsü haline getirebilmesidir. Haberleşme ağlarıyla ilgili problemler araştırılırken, indirim yerine ortalama gecikme kullanılarak gecikme incelenir. EH kaynakları, davranışları genellikle öngörülemeyen uygulamalarda titreşim veya kinetik enerji kullanılabilir [1, 3]. Bu sürekli ve bağımsız EH sürecinin en iyi çizelgelemesi zor bir iş haline gelir ve problemin çözülmesi için en iyiye yakın iyi çözümler bulmak gerekir.

Sensörlerin makul büyüklükte sonlu bir bataryası varsa, Düzgünleştiren Rastgele Sıralı Politika (DRSP)'nin makul büyüklükte bir sonlu batarya varsayımı altındaki verimliliği ile hemen hemen aynı verimliliğe sahip olduğu gösterilecektir. Bu, DRSP [32] olarak bilinen en iyiye yakın bir iletim programlama politikasının geliştirilmesine yönelik belirleyici bir yaklaşım benimsenerek başarılmıştır. Bu politikanın, her sensörün sonsuz kapasiteli bir pile sahip olduğu varsayılarak en iyiye yakın olduğu gösterildi. Ufku uzunluğu arttıkça, DRSP 'un sonsuz bir pil (bir birimden daha büyük kapasiteli bir pil) varsayımı altında çalışan bir enerji varış sürecinin genel bir örneği için asimptotik olarak en iyi olacağı da garanti edilir. [47, 49]'da açıklanan miyopik yaklaşımların aksine, DRSP, m/k bir tamsayıya eşit olmadığında bile en iyiye yakın performansı garanti edebilmektedir.

Çizelgeleme probleminin ikinci bir varyantı, problemin birinci varyantını birikmiş senaryoya genişleterek oluşturulur. Bu, veri arabelleklerinin tutarlılığı, toplanan enerjinin etkili kullanımı ile birlikte dikkate alındığında ortaya çıkar. Özellikle, sadelik adına aşağıda yeniden tanımlanacak olan DRSP'nin en iyiye yakınlığı, sonsuz bir pil ve arabellek varsayılırken nispeten genel enerji hasadı (EH) ve veri geliş (VG) prosedürleri altında gösterilmiştir. Ayrıca simülasyonlar aracılığıyla, uygun kapasiteye ve tampona sahip sonlu bir batarya varsayımı altındaki DRSP verimliliğinin, sonsuz tampon varsayımı altındaki verimlilikten önemli ölçüde farklı olmadığını gösterdik. Birçok RR tabanlı algoritmadan farklı olarak, DRSP'nin bir seferde programlanabilen kullanıcı sayısının (k)

kullanıcı havuzundaki toplam kullanıcı sayısına (m) oranı açısından tamamen esnek olduğunu belirtmek önemlidir. Bu akılda tutulması gereken bir şeydir.

Üçüncüsü, birinci zorluğa iki yönlü bir yaklaşım dikkate alınır. Bu özel konuda, tek bir sekmeden oluşan ve m farklı düğümden ayrı bir zamansal biçimde veri toplamak için merkezi bir denetleyici (MD) kullanan bir iletişim ağını dikkate alıyoruz. Gönderilecek verileri varsa, bir düğüm yalnızca belirli bir zaman dilimini kaplayacak şekilde planlandığında bir veri paketini iletir. MD, sistemin durumu (yani, düğümlerde depolanan veri paketlerinin miktarı) hakkında doğrudan bilgiye sahip olmadığı gibi, verilerin ulaştığı prosedürlerle ilgili istatistiklere de sahip değildir. k benzersiz düğümün herhangi bir alt kümesinin herhangi bir zamanda programlanabileceği varsayımı altında çalışıyoruz. MD'nin amacı, sonlu veya belirsiz bir zaman ufku altında mümkün olan en yüksek toplam verimi elde etmektir.

[56]'daki çalışmada miyop politikanın enerji hasatlayan kablosuz sensör ağlarında oluşan çizelgeleme probleminde çoğu zaman eniyi altı verihacmini başardığı gösterilmiştir. Benzer şekilde [57, 58]'deki çalışmada miyop politikanın bilişsel radyo ağlarında oluşan benzer fırsatçı spektrum erişimi amaçlı çizelgeleme probleminde çoğu zaman eniyi altı verihacmini başardığı gösterilmiştir. [55] ise [56]'da incelenen probleme asimptotik bir çözüm olarak DRSP'yi önermiştir. [59]'da [55]'deki çözümün asimptotik eniyiliğini yanında sonlu zaman ufku altında eniyiye yakın verihacmini başardığı gözlenmiştir. [60], [62]'de DRSP'nin enerji hasatlayan ve veri trafiği olan kablosuz sensör ağlarında oluşan çizelgeleme probleminde en iyi adilliği başardığı gözlenmiştir. [61] veri trafiği olan kablosuz sensör ağlarında oluşan çizelgeleme probleminde DRSP'nin en iyi verihacmini başardığı gözlenmiştir. [62, 63]'de oldukça geniş veri geliş hız süreçleri altında ağlar için DRSP'nin en iyi adilliği başardığı gösterilmiştir.

Şekil 3'te 2 kanala sahip bir FM 6 sensörden Düzgünleştiren Rastgele Sıralı Politika (DRSP) ile veri toplarken oluşan çizelgeleme tablosu verilmektedir.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kanal 1	1	3	3	5	5	1	1	1	3	3
Kanal 2	2	4	4	4	6	6	6	2	2	2

Şekil 3. Bir FM olarak çalışan bir baz istasyonu ve 6 sensörden (S1, S2, S3, S4, S5, S6) oluşan bir enerji hasatlayan KSA'da FM sensörlerden DRSP Yaklaşımı ile veri toplamaktadır.

#### IV. TARTIŞMA VE GELECEKTEKİ ARAŞTIRMA YÖNLERİ

Önceki kısımlarda enerji hasatlayan KSA'da en iyi verihacmini başaracak şekilde veri toplama yaklaşımlarını ve algoritmalarını inceledik. Burada önerilen DRSP

yaklaşımının KGMKS ve HÇKH yaklaşımlarına ve onların MP gibi çözümlerine göre daha verimli bir verihacmi ve adillik performansı gösterdiği belirtilmiştir.

Diğer yandan, tarımsal uygulamalar için ekonomikliği de tartışılmalıdır. Enerji hasatlama, yenilebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgar, vs) temelli bir enerji üretim teknolojisidir. Özellikle doğada, zor koşullarda çalışan küçük pilli sensörler için oldukça umut verici bir enerji üretim şeklidir.

[64]'te tarımsal üretimde yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı incelenmektedir. Bu çalışmada; tarım sektöründe etkili biçimde yararlanılabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulamalı örnekleri ele alınmıştır. Bunlar güneş enerjisi ile sulama, ilaçlama, zararlı öldürücü, sera havalandırma, çit sistemi, jeotermal enerji ile sera ısıtma, balık yetiştiriciliği, rüzgar enerjisi ile su çıkarma ve yenilenebilir enerji kaynaklı kurutucular olarak listelenebilir.

[65]'te, sürdürülebilir tarımsal üretim için entegre kaynak verimliliği değerlendirilmiştir. Tarımsal üretimde sürdürülebilirlik için, teknik, ekonomik ve çevresel ölçütler tanımlanmıştır. Tarımsal üretimde enerji verimliliği sağlamak için gerekli enerji tasarrufu uygulamaları üretimde kullanılan sistemlere, işletimsel uygulamalara ve üretime giren sermaye malları/çiftlik altyapısına uygulandığı zaman önemli bir katkı sağlayacaktır.

[66]'da yenilenebilir enerji kaynaklarıyla tarımsal üretimde elektrik enerjisi sorunu çözülebileceği önerilmiştir. Seralarda havalandırma miktarını istenilen seviyeye çıkarabilmek için, mekaniksel havalandırmanın uygulanması gerektiği bunun için gereken enerjinin üretiminin de özellikle rüzgar enerjisi potansiyelinin yüksek olan bölgelerde rüzgar türbinlerinden yararlanılabileceği belirtilmiştir.

Kablosuz sensör ağlarının akıllı tarımın birçok yerinde özellikle gözlem ve denetleme için kullanılan önemli bir teknoloji olduğu düşünüldüğünde enerji hasatlama teknolojisinin akıllı tarımsal uygulamalar için ekonomikliği de tartışılmalıdır. Bilindiği kadarıyla literatürde bunu inceleyen bir çalışma bulunmamaktadır. Önerilen yöntemler daha az enerji ve zaman harcanmasını sağlamaktadır; bu anlamda önerilen yaklaşımlar ve algoritmalar ekonomiktir.

Diğer yandan, enerji hasatlama teknolojisinin kurulum maliyeti ise başka bir araştırma konusudur. Bu yüzden, bu konu incelenmeye açık bir problem olarak düşünülebilir. Bu problemi incelemek için [64], [65], [66]'daki yaklaşımlardan faydalanılabilir.

## V. SONUÇLAR VE SONRAKİ ARAŞTIRMA ÖNERİLERİ

Dünyada nüfus arttıkça, arazi küçüldükçe ve doğal kaynaklar azaldıkça kendi kendine yeten bir sistem talep eden hassas ve akıllı tarıma daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu literatür taraması, akıllı tarım uygulamalarında enerji hasatlayan kablosuz sensör ağlarında bir füzyon merkezi etrafındaki sensörlerden veri toplarken ortaya çıkan bir çizelgeleme probleminin farklı durumları ve bunlara önerilen çözümleri incelemektedir. Burada önerilen DRSP yaklaşımının KGMKS ve HÇKH yaklaşımlarına ve onların MP gibi çözümlerine göre daha verimli bir verihacmi ve adillik performansı göstermektedir.

Buradaki problemler, yöneylem araştırması problemleri olduğu için haberleşme ve bilgisayar ağları dışında başka birçok alanda görülebilir. Bu anlamda buradaki çözümler, haberleşme ve bilgisayar ağlarından daha geniş bir uygulama alanına sahip olabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] P. Samuel S., K. Malarvizhi, S. Karthik and M. Gowri S.G., "Machine Learning and Internet of Things based Smart Agriculture," 2020 6th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS), Coimbatore, India, 2020, pp. 1101-1106.
- [2] Chong, C.-Y.; Kumar, S.P. Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges. Proc. IEEE 2003, 91, 1247–1256.
- [3] J. A. Paradiso and T. Starner. Energy scavenging for mobile and wireless electronics. IEEE Pervasive Computing, pp. 18-27, January 2005.
- [4] A. Kansal, J. Hsu, S. Zahedi, and M. B. Srivastava. Power management in energy harvesting sensor networks. ACM Transactions on Embedded Computing Systems (TECS) , vol. 6, no. 4, p.32, September 2007.
- [5] C. F. García-Hernández, P. H. Ibarguengoytia-González, J. García-Hernández, J. A. Pérez-Díaz. Wireless Sensor Networks and Applications: a Survey. IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, Vol. 7, No. 3, pp. 264-273, March 2007.
- [6] S. Sudevalayam, P. Kulkarni. Energy Harvesting Sensor Nodes: Survey and Implications. IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol.13, no.3, pp.443-461, Third Quarter 2011.
- [7] S. Baghaee, H. Ulsan, S. Chamanian, O. Zorlu, E. Uysal-Biyikoglu, and H. Kulah. Demonstration of Energy-Neutral Operation on a WSN Testbed Using Vibration Energy Harvesting. European Wireless 2014 (EW2014), Barcelona, Spain, 14-16th May 2014.
- [8] B. Prabhakar, E. Uysal-Biyikoglu, and A. E. Gamal. Energy-efficient transmission over a wireless link via lazy scheduling. Proc. IEEE/ACM INFOCOM, pp. 386-394, April 2001.
- [9] E. Uysal-Biyikoglu, B. Prabhakar, and A. E. Gamal. Energy-efficient packet transmission over a wireless link. IEEE Transactions on Networking, vol. 10, pp. 487-499, August 2002.
- [10] M. A. Zafer and E. Modiano. A calculus approach to minimum energy transmission policies with quality of

- service guarantees. Proceedings of IEEE INFOCOM, Miami, pp. 548-559, March 2005.
- [11] W. Chen, M.J. Neely, and U. Mitra, "Energy Efficient Scheduling with Individual Packet Delay Constraints: Offline and Online Results," in Proceedings of IEEE INFOCOM, pp. 1136-1144, May 2007.
- [12] M. A. Zafer and E. Modiano. A calculus approach to energy-efficient data transmission with quality of service constraints. IEEE Transactions on Networking, vol. 17, pp. 898-911, June 2009.
- [13] R. Berry, E. Modiano, M. Zafer, Energy-Efficient Scheduling under Delay Constraints for Wireless Networks, Synthesis Lectures on Communication Networks, Morgan and Claypool Publishers, September 2009.
- [14] M. Gatzianas, L. Georgiadis, and L. Tassiulas. Control of wireless networks with rechargeable batteries. IEEE Transactions on Communications, vol. 9, pp. 581-593, February 2010.
- [15] V. Sharma, U. Mukherji, V. Joseph, and S. Gupta. Optimal energy management policies for energy harvesting sensor nodes. IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 9, no. 4, pp. 1326-1336, 2010.
- [16] M. A. Anteppli, E. Uysal-Biyikoglu, and H. Erkal. Optimal packet scheduling on an energy harvesting broadcast link. IEEE J. Selected Areas in Communications, vol. 29, pp. 1721-1731, September 2011.
- [17] J. Yang and S. Ulukus. Optimal packet scheduling in an energy harvesting communication system. IEEE Transactions on Communications, vol. 60, pp. 220-230, January 2012.
- [18] K. Tutuncuoglu and A. Yener. Optimum transmission policies for battery limited energy harvesting nodes. IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 11, pp. 1180-1189, March 2012.
- [19] H. Erkal, F. M. Ozcelik, E. Uysal-Biyikoglu. Optimal offline broadcast scheduling with an energy harvesting transmitter. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking 2013:197.
- [20] B. T. Bacinoglu and E. Uysal-Biyikoglu. Finite-horizon online transmission rate and power adaptation on a communication link with markovian energy harvesting. Journal Communications and Networks, June, vol. 16, no. 3, June 2014.
- [21] B. T. Bacinoglu and E. Uysal-Biyikoglu. Finite Horizon Online Packet Scheduling with Energy and Delay Constraints. IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking, Batumi, Georgia, 3-5 July 2013.
- [22] B. T. Bacinoglu and E. Uysal-Biyikoglu. Finite Horizon Online Lazy Scheduling with Energy Harvesting Transmitters over Fading Channels. IEEE International Symposium on Information Theory, Honolulu, HI, USA, pp. 1176-1180, June 29 - July 4, 2014. 80
- [23] G. Uctu, O. M. Gul, B. T. Bacinoglu and E. Uysal-Biyikoglu. Implementation of Energy Efficient Transmission Scheduling Policies on Software Defined Radio. accepted to IEEE Globecom, Austin, TX, USA, December 8-12, 2014.
- [24] G. Uctu. Optimal transmission scheduling for energy harvesting systems and implementation of energy efficient scheduling algorithms on software defined radio. Master's thesis, METU, June 2014.
- [25] B. Akgun. Duty cycle optimization in energy harvesting sensor networks with application to bluetooth low energy. Master's thesis, METU, June 2014.
- [26] M. Shakiba-Herfeh. Optimization of feedback in a multiuser MISO communication downlink with energy harvesting users. Master's thesis, METU, June 2014.
- [27] M. Shakiba-Herfeh and E. Uysal-Biyikoglu. Optimization of feedback in a MISO downlink with energy harvesting users. In 20th European Wireless 2014, Spain, May 2014.
- [28] M. Shakiba-Herfeh, T. Girici, E. Uysal-Biyikoglu. Routing with Mutual Information Accumulation in Energy-Limited Wireless Networks. 24th Tyrrhenian Int. Workshop on Digital Comm.: Green ICT, Sept. 23-25, 2013.
- [29] E. T. Ceran, T. Erkilic, E. Uysal-Biyikoglu, T. Girici, and K. Leblebicioglu. Wireless access point on the move: Dynamic knapsack with incremental capacity. In Globecom 2014 - Symposium on Selected Areas in Communications: GC14 SAC Green Communication Systems and Networks (GC14 SAC Green Communication Systems and Networks), Austin, USA, Dec. 2014. submitted.
- [30] T. Erkilic. Optimizing the service policy of a mobile service provider through competitive online solutions to the 0/1 knapsack problem with dynamic capacity. Master's thesis, METU, June 2014.
- [31] E. T. Ceran. Dynamic Allocation of Renewable Energy through a Stochastic Knapsack Problem Formulation for an Access Point on the Move. MS thesis, METU, June 2014.
- [32] O. M. Gul, E. Uysal-Biyikoglu. A Randomized Scheduling Algorithm for Energy Harvesting Wireless Sensor Networks Achieving Nearly 100% Throughput. IEEE Wireless Communication and Networking Conference, Istanbul, Turkey, pp. 2492-2497, April 2014.
- [33] Ö. M. Gül, "A low-complexity near-optimal scheduling policy for solving a restless multi-armed bandit problem occurring in a single-hop wireless network", MSc. Thesis, June 2014.
- [34] R. E. Bellman, Dynamic Programming. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1957. 81
- [35] C. J. Watkins. Learning from delayed rewards. Ph.D. dissertation, University of Cambridge, Psychology Dep., 1989.
- [36] L. P. Kaelbling, Michael L. Littman, Andrew W. Moore. Reinforcement learning: a survey. Journal of Artificial Intelligence Research, v.4 n.1, pp.237-285, January 1996.
- [37] C. J. Watkins, P. Dayan. Q-learning. Machine Learning, 8 (3), pp. 279-292, 1992.
- [38] S. Mahadevan. Average reward reinforcement learning: Foundations, algorithms, and empirical results. Machine Learning, Special Issue on Reinforcement Learning, vol. 22, pp. 159-196, 1996.

- [39] R. S. Sutton, A. G. Barto, Reinforcement Learning: An Introduction. MIT Press, Cambridge, MA, 1998.
- [40] J. C. Gittins. Bandit processes and dynamic allocation indices (with discussion). *J. Roy. Statist. Soc. Series B*, Vol. 41, No.2, pp. 148-177, 1979.
- [41] P. Whittle. Restless bandits: Activity allocation in a changing world. In *A Celebration of Applied Probability* J. Gani (Ed.), *J. Appl. Prob.* 25A pp. 287-298, 1988.
- [42] C. H. Papadimitriou and J. N. Tsitsiklis. The complexity of optimal queueing network control. *Math. Oper. Res.*, vol 24, pp. 293-305, May 1999.
- [43] S. H. A. Ahmad, M. Liu, T. Javidi, Q. Zhao and B. Krishnamachari. Optimality of myopic sensing in multi-channel opportunistic Access. *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol 55, No. 9, pp. 4040-4050, September 2009.
- [44] S. H. A. Ahmad, L. Mingyan. Multi-channel opportunistic access: A case of restless bandits with multiple plays. in *Proc. 47th Ann. Allerton Conf. Commun., Contr., Comput.*, Monticello, IL, pp. 1361-1368, September 2009.
- [45] K. Liu and Q. Zhao. Indexability of restless bandit problems and optimality of Whittle index for dynamic multichannel access. *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol 56, no. 11, pp. 5547-5567, November 2010.
- [46] A. Hero, D. Castanon, D. Cochran, K. Kastella. *Foundations and Applications of Sensor Management*, Chapter 6, Springer, US, 2007.
- [47] P. Blasco, D. Gunduz, and M. Dohler. Low-Complexity Scheduling Policies for Energy Harvesting Communication Networks. *IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT)*, Istanbul, Turkey, pp. 1601-1605, July 2013.
- [48] M. Johnston, E. Modiano, I. Kesslasy. Channel Probing in Communication Systems: Myopic Policies Are not Always Optimal. *IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT)*, Istanbul, Turkey, pp. 1934-1938, July 2013.
- [49] F. Iannello, O. Simeone, and U. Spagnolini. Optimality of myopic scheduling and whittle indexability for energy harvesting sensors. in *46th Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS)*, Princeton, NJ, USA, pp. 1-6, March 2012.
- [50] J. Gittins, K. Glazerbrook, R. Weber, *Multi-armed bandit allocation indices*. West Sussex, UK, Wiley, 2011.
- [51] A. Arapostathis, V. S. Borkar, E. Fernandez-gaucherand, M. K. Ghosh, and S. I. Marcus. Discrete-time controlled Markov processes with average cost criterion: A survey. *SIAM J. Control Optim.*, vol. 31, no. 2, pp. 282-344, 1993.
- [52] O. M. Gul and E. Uysal-Biyikoglu. Achieving Nearly 100% Throughput without Feedback in Energy Harvesting Wireless Networks. *IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT'2014)*, Honolulu, HI, USA, pp. 1171-1175, June 29 - July 4, 2014.
- [53] F. Iannello, O. Simeone. On the Optimal Scheduling of Independent, Symmetric and Time-Sensitive Tasks. *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 58, no. 9, pp. 2421-2425, September 2013.
- [54] P. Blasco and D. Gündüz, "Multi-Access Communications With Energy Harvesting: A Multi-Armed Bandit Model and the Optimality of the Myopic Policy," in *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 33, no. 3, pp. 585-597, March 2015, doi: 10.1109/JSAC.2015.2391852.
- [55] O. M. Gul, "Asymptotically Optimal Scheduling for Energy Harvesting Wireless Sensor Networks", 28th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 08-13 October 2017, Montreal, QC, Canada, pp.1-7.
- [56] O.M.Gul,M.Demirekler,"Average throughput performance of myopic policy in energy harvesting wireless sensor networks", *Sensors*, vol.17,no.10, Sept.2017,pp. 1-20.
- [57] O.M.Gul,"Average Throughput of Myopic Policy for Opportunistic Access over Block Fading Channels",*IEEE Networking Letters*,vol.1,no.1, March 2019, pp. 38-41.
- [58] Ö. M. Gül, "Average Throughput Performance of Greedy Policy in Cognitive Radio Enabled Vehicular Networks," 2021 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2021, pp. 1-4.
- [59] O. M. Gul, M. Demirekler, "Asymptotically Throughput Optimal Scheduling for Energy Harvesting Wireless Sensor Networks", *IEEE Access*, vol. 6, pp. 45004-45020, September 2018.
- [60] O. M. Gul, "Achieving Near-Optimal Fairness in Energy Harvesting Wireless Sensor Networks", *IEEE International Symposium on Computers and Communications (ISCC 2019)*, 30 June-3 July 2019, Barcelona, Spain, pp. 673-678.
- [61] O. M. Gul, "Near-Optimal Data Communication Between Unmanned Aerial and Ground Vehicles", 20th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA 2020), December 12-15, 2020, pp. 1-12.
- [62] Ö. M. Gül, "Fair Data Collection in Wireless Networks," 2021 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2021, pp. 1-4.
- [63] Ö. M. Gül, "Fair Data Collection in Wireless Communications Networks," 2022 30th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Safranbolu, Turkey, 2022, pp. 1-4.
- [64] O. Taşkın ve A. Vardar , "Tarımsal Üretimde Bazı Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanımı", *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 30, sayı. 1, ss. 179-184, Tem. 2016.
- [65] Mutlu, N. (2020). Tarımsal Üretim İçin Entegre Kaynak Verimliliği . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20) , 293-298.
- [66] Yüksel, E. & Yüksel, A. (2023). Means of Using Renewable Energy Resource: Wind Energy for Controlling Climate in Greenhouses . *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* , 10 (2) , 431-437



## Özgeçmiş



**Ömer Melih Gül** (S'17, M'21), Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden lisans, yüksek lisans ve doktora derecelerini sırasıyla 2012, 2014 ve 2020 yıllarında aldı. Bu esnada aynı bölümde araştırma görevlisi olarak da görev yaptı. Uluslararası yayınları 11 dergi makalesi, 16 konferans bildirisi ve 4 kitap bölümünü kapsarken ulusal yayınları 3 dergi makalesi ve 3 konferans bildirisini kapsamaktadır.

IEEE Computer Society tarafından 2019 Lance Stafford Larson Üstün Öğrenci Makale Ödülü'nde (2019 Lance Stafford Larson Outstanding Student Paper Award) üçüncülük ödülüne layık görülmüştür. 2021 IEEE Rising Stars Global Konferansı'nda poster yarışmasında üçüncülük ödülüne layık görülmüştür. 2022 yılında Kanada'da Ottawa Üniversitesi Elektrik Mühendisliği ve Bilgisayar Bilimleri Okulu'nda doktora sonrası araştırmacı olarak çalıştı. 2022 yılında 48. Kablosuz Dünya Araştırma Forumu'nda (WWRF) en iyi konferans bildirisi ödülünü aldı. Mevcut durumda, İstanbul'da Bahçeşehir Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde Dr. Öğr. Üyesi olarak görev yapmaktadır.

2021'den bu yana IEEE Computer Society'de Region 8 (Avrupa, Orta Doğu ve Afrika Bölgesi) Koordinatörü olarak görev yapmaktadır. Nisan 2023'ten beri IEEE Computer Society Member&Geographic Activities (MGA) Board'da Özel Üye (Member-at-Large) olarak görev yapmaktadır. 2022 IEEE MGA Genç Profesyoneller Başarı Ödülü'ne (2022 IEEE MGA Young Professionals Achievement Award) layık görülmüştür. 2020-2021 yıllarında başkanlığını yaptığı IEEE Türkiye Genç Profesyonel Grup ile 2021 IEEE Region 8 Outstanding Young Professionals Affinity Group Award ve 2022 IEEE MGA Young Professionals Hall of Fame Honorable Mention ödülleri kazanmıştır.