



MAKÜ FEBED
ISSN Online: 1309-2243
<http://dergipark.ulakbim.gov.tr/makufebed>

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 6(1): 24-30 (2015)
The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University 6(1): 24-30 (2015)

Araştırma Makalesi / Research Paper

Kablosuz Algılayıcı Ağlar için Güç Tasarruflu Ağ Geçidi Tasarımı

Mehmet Erkan YÜKSEL^{1*}, Asım Sinan YÜKSEL², Recep İBİLOĞLU²

¹ Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Burdur

² Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Isparta

Geliş Tarihi (Received): 14.12.2015, Kabul Tarihi (Accepted): 28.12.2015

✉ Sorumlu Yazar (Corresponding author)*: erkanyuksel@mehmetakif.edu.tr

☎ +90 248 2132775 📠 +90 248 2132704

ÖZ

Bir kablosuz algılayıcı ağın (KAA) yapısı; ağdaki düğümlerin donanım ve yazılım özelliklerine, iletişim mesafelerine ve konuşlandırıldıkları bölgenin ortam koşullarına bağlı olarak değişir. Böyle bir ağ ortamında, düğümlerin güç tüketimlerini azaltırken ağın bağlantısını sürekli kılmak ve enerji tasarruflu çalışmasını sağlamak büyük önem taşır. Bu çalışmada; açık alan uygulamalarına yönelik bir kablosuz algılayıcı ağın uzun süreli ve enerji verimli çalışabilmesi için, bu ağda kullanılacak bir güç tasarruflu ağ geçidi tasarlanmıştır. Ağ geçidinde güç tasarrufu bir dinamik güç yönetim sistemi geliştirilerek yapılmıştır. Geliştirilen sistem, ağ geçidinde bulunan iletişim birimlerinin çalışma gerilimlerini dinamik bir biçimde düzenleyerek, ağ geçidinin mümkün olduğunca az enerji harcamasını sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz algılayıcı ağlar, ağ geçidi, enerji tasarrufu

Power-Saved Gateway Design for Wireless Sensor Networks

ABSTRACT

A wireless sensor network (WSN) structure changes depending on the environmental conditions of the location where nodes are placed, communication ranges, hardware and software specifications of nodes. It is very important to keep the network connection alive and to provide network energy saving while reducing the energy consumption of devices in such WSN environment. In the study, it was designed an energy efficient coordinator node that was to be used in the WSNs deployed in an outdoor region by considering the limitations of WSNs' structural characteristics and the difficulties in the application areas. It was developed power management systems that will provide power saving for the coordinators in the WSN.

Keywords: Wireless sensor networks, gateway, energy conservation

GİRİŞ

Kablosuz algılayıcı ağlar (KAA), çeşitli algılayıcılar aracılığıyla çevreleri ile etkileşime girebilme, lokal olarak bilgi işleyebilme ve bu bilgiyi kablosuz iletişim kullanarak komşularına aktarabilme yeteneklerine

sahip, amaca özel geliştirilmiş algılayıcı düğümlerden oluşmaktadır. Bir algılayıcı düğüm; tek bir devre şeklinde, özel bir devre kartı halinde ya da bir gömülü sistem içinde olmak üzere üç farklı yapıda tasarlanabilir (Akyildiz ve ark., 2002; Akyildiz ve Vuran, 2010):

- **Algılayıcı devre:** Sahip olduğu iletişim becerisi ve uygulama kodunun bulunduğu programlanabilir belleği ile KAA'nın en önemli bileşenidir. Algılayıcı devre, genellikle; algılayıcılar, mikroişlemci, bellek, alıcı-verici ve güç kaynağı birimlerini içerir. Örnek: MicaZ, IRIS, TelosB, Sun SPOT, Imote, Shimmer ve XYZ algılayıcı düğümler.
- **Algılayıcı kart:** Farklı türde algılayıcıların gömülü halde bulunduğu modüler yapıya sahip bir algılayıcı kartın, algılayıcı düğüm üzerine monte edilmesiyle oluşturulur. Algılayıcı kart üzerinde, uygulamaya özel üretilmiş algılayıcıları bağlamak için kullanılan ek prototip alanlar bulunur. Örneğin; Mica ve IRIS kablosuz algılayıcı düğümlerde kullanılan MTS400/420 ve MDA100/300 algılayıcı kartlar. Alternatif olarak algılayıcılar, Telos veya Sun SPOT platformlarındaki gibi kablosuz iletişim modülünün içerisine de entegre edilebilir.
- **Ağ geçidi:** Çeşitli özelliklere sahip kablosuz algılayıcı düğümleri; lokal bir bilgisayara/sunucuya, endüstriyel/işletme ağına, kablolu/kablosuz yerel alan ağına veya İnternete bağlamak için Ethernet, WiFi, USB ya da seri port içeren çoklu iletişim arayüzleri sağlar. Programlanabilir özelliktedir. Düğümleri programlamak, yönetmek ve onlardan veri toplamak için kullanılır. Uygulamaları programlanabilir belleğe yükleyebilmek için özel platformların ağ geçidine bağlı olması gerekir.

ALGILAYICI DÜĞÜM PLATFORMLARI

Kablosuz algılayıcı düğüm platformlarının uygulamaya özgü yetenekleri önemli ölçüde çeşitlilik göstermektedir. Dolayısıyla, kablosuz algılayıcı düğümler, işlem becerileri ve KAA'lardaki kullanım amaçlarına göre alt-düzen ve üst-düzen platformlar olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilir (Akyıldız ve Vuran, 2010).

Alt Düzey Platformlar

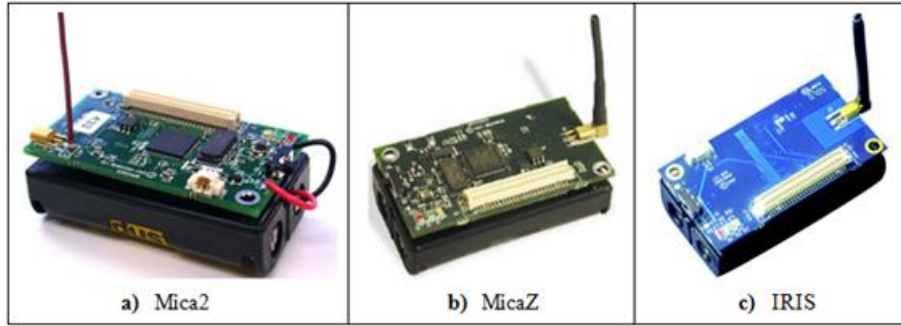
Alt düzey platformlar; veri işleme, depolama, güç kaynağı ve iletişim anlamında sınırlı kapasitelere sahiptir. Genellikle algılama görevlerini yerine getirmek, veriler üzerinde hesaplamalar yapmak ve bağlantı altyapısı sağlamak için bir KAA'da çok sayıda konuşlandırılacak şekilde tasarlanmaktadır. Son zamanlarda en çok kullanılan alt düzey platformlardan bazıları aşağıda açıklanmıştır:

- **Mica Ailesi:** Crossbow firması tarafından üretilmektedir. Mica, Mica2, MicaZ, IRIS algılayıcı düğümleri kapsar (Şekil 1). Her düğüm, 4-16MHz hız ve 128-256kB program flaş hafızaya sahip 8-bit Atmel-AVR mikrodeneleyici kullanır. Mikrodene-

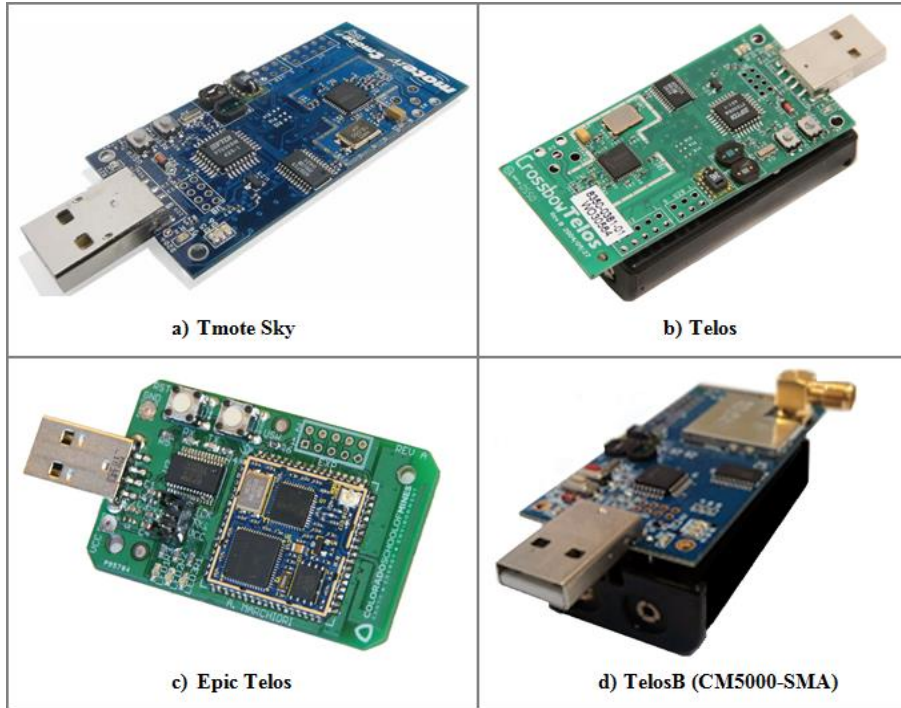
leyicileri benzer olmakla birlikte, Mica kablosuz algılayıcı düğüm ailesinde farklı tipte RF alıcı-verici modüller vardır. Mica düğümü; 40kbps, 433/916MHz alıcı-verici içerir. Mica2; 40kbps, 433/868/916MHz radyoya sahiptir. MicaZ ve IRIS düğümleri ise; 250kbps veri hızı ile 2.4GHz hızında çalışabilen IEEE 802.15.4 uyumlu radyo ile donatılmıştır. Mica ailesine ait her bir algılayıcı düğüm, RAM (4-8kB) ve program belleği (128kB) açısından sınırlı kapasiteye sahiptir. Ayrıca, ilave algılayıcı ve programlama kartları bağlamak için düğüm platformu üzerinde 51-pinli bir konektör bulunur.

- **Telos/Tmote:** MicaZ kablosuz algılayıcı düğüm platformuna benzer bir mimari, Crossbow'un Telos ve Sentilla'nın Tmote Sky algılayıcı düğüm platformları için uyarlanmıştır (Şekil 2). Telos/Tmote, MicaZ'deki ile aynı radyo modülünü (250kbps, 2.4GHz IEEE 802.15.4/ZigBee uyumlu Chipcon CC2420 RF alıcı-verici) kullanmasına rağmen daha fazla RAM (10kB) kapasitesine sahip 8MHz TI-MSP430 mikrodeneleyici bulundurur. Telos/Tmote platformları; ışık, kızılötesi, nem ve sıcaklık gibi çeşitli algılayıcılarla tümleşik vaziyette olup ilave algılayıcı ya da programlama kartları ihtiyacını ortadan kaldıran bir USB konektöre sahiptir. Ayrıca, bu platformlar üzerinde ek algılayıcılar için 6 ve 10 pinli bir konektör de mevcuttur.
- **EYES:** TelosB/Tmote algılayıcı düğüm mimarilerine benzerdir (Şekil 3). 60kB program belleği ve 2kB veri belleği olan 16-bit mikrodeneleyici kullanır. Pusula, ışık, sıcaklık, basınç, ivmeölçer algılayıcılarını bulundurur. Maksimum 115.2kbps iletim hızını destekleyen ve alma, gönderme, uyku modlarında sırasıyla 14.4mW, 16.0mW, 15.0µW güç tüketimlerine sahip RFM-TR1001 RF alıcı-verici modül kullanır. Bu platform, programlama için RS232 seri haberleşme arabirimi de içerir.

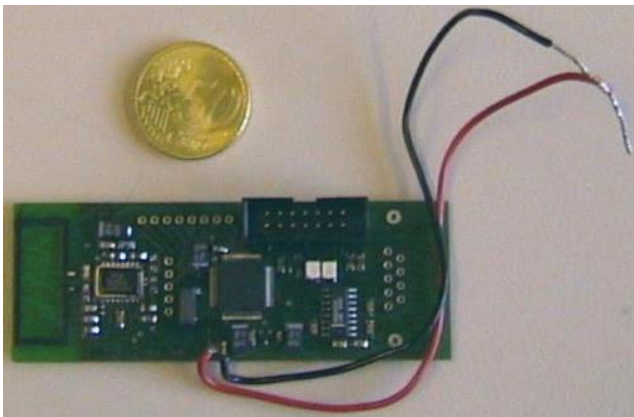
Yukarıda açıklanmış olan kablosuz algılayıcı düğüm platformlarıyla benzer özelliklere ve yeteneklere sahip çok sayıda alt düzey platform bulunmaktadır. Son yıllarda; LORD MicroStrain Sensing Systems (V-Link-LXRS), Wireless Sensors (SensiNet TEHU-21XX, SensiNet TEMP-10XX/11XX) ve National Instruments (NI WSN-32XX) gibi patentli endüstriyel kablosuz algılayıcı düğüm platformları da geliştirilmiştir.



Şekil 1. Mika algılayıcı düğümler



Şekil 2. Telos/Tmote algılayıcı düğüm ailesi



Şekil 3. EYES algılayıcı düğüm prototipi

Alt düzey platformlar; KAA uygulamalarında algılama, izleme, gözetim işlemleri için kullanılırlar ve çok sekmeli ağ oluşturulurken bir bağlantı altyapısı sağlarlar. Maliyeti ve enerji tüketimini azaltmak amacıyla genellikle düşük güçlü mikrodenetleyiciler ve RF alıcı-verici modüller ile donatılırlar. Dolayısıyla, KAA'ların algılanacak ortama konuşlandırılmasında çok fazla sayıda bulunurlar. Alt düzey platformlar, birçok ülkede lisans ücretsiz iletişim sunan ISM frekans bandlarında çalışırlar. Daha yeni platformlar; 2.4GHz frekans bandında çalışan, IEEE 802.15.4 ve ZigBee standartları ile uyumlu olan CC2420 radyo modülü içerir (Callaway, 2003; Sohraby ve ark., 2007). Bu standardizasyon, bir ağda farklı özellikte platformların kullanılmasını ve KAA'ların heterojen bir şekilde yerleştirilmesini sağlar. KAA iletişim protokollerinin çoğu alt düzey platformlar kullanılarak geliştirilmiştir.

Üst Düzey Platformlar

Algılama, lokal veri işleme ve çok sekmeli iletişim işlemlerine ilaveten KAA'lar, alt düzey platformların verimli bir şekilde yerine getiremeyeceği kompleks özellikler de içerir. Ağ yönetimi gibi yüksek seviye görevler, alt düzey platformların kapasiteleri dikkate alındığında daha yüksek işlem gücü ve bellek gereksinimlerine ihtiyaç duyar. Ayrıca, KAA'ların mevcut ağ altyapısı ile entegrasyonu, ağ geçidi modülleri aracılığıyla entegre edilmiş çoklu iletişim tekniklerini gerektirir. Bunun yanında, ağ cihazlarının algılayıcı düğümler ile birlikte kullanıldığı ağlarda yüksek kapasiteli düğümlere ihtiyaç duyulur (Raghavendra ve ark., 2004; Dargie ve Poellabuer, 2010). Sonuç olarak, KAA'larda bu tür gereksinimleri karşılamak için üst düzey platformlar geliştirilmiştir. KAA uygulamalarında kullanılan üst düzey platformlardan bazıları aşağıda açıklanmıştır:

- **Stargate:** Algılama, sinyal işleme, kontrol ve algılayıcı ağ yönetimi amacıyla tasarlanmış düşük güçlü, yüksek performanslı işlem platformudur (Şekil 4). Compaq IPAQ ve Dell Axim gibi birçok el bilgisayarında bulunan 32-bit 400MHz Intel-PXA255 XScale işlemci kullanır. 32MB flaş bellek, 64MB SDRAM, PCMCIA Bluetooth, IEEE 802.11 kartlarının yanı sıra Mica ailesi algılayıcı düğümleri bağlamak için bir on-board konektöre sahiptir. Stargate, ağ-içi işlem algoritmalarını gerçekleştirmede kablosuz ağ geçidi ve hesaplama merkezi olarak çalışabilir. Bir web kamerası veya farklı bir görüntüleme cihazı bağlandığı zaman orta çözünürlüklü multimedya algılayıcı düğüm gibi işlev görebilir. Bu özellikleri nedeniyle enerji tüketimi yüksektir (Margi ve ark., 2006).

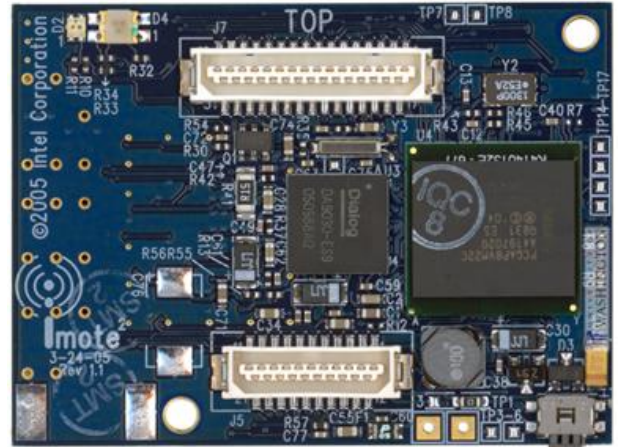


Şekil 4. Stargate tek kartlı bilgisayar

- **Stargate NetBridge:** Stargate'in halefi olarak geliştirilmiştir. 266MHz'de çalışan Intel-IXP420-XScale işlemcisine dayalı tasarlanmıştır. Donanım özellikleri

bakımından bir Ethernet, iki USB 2.0 portu bulunur. 8MB program flaş, 32MB RAM, 2GB USB 2.0 sistem diskisi ile donatılmış cihaz Linux işletim sistemi çalıştırır. Bir algılayıcı düğüm, USB portları kullanılarak ağ geçidi işlevselliği için bağlanabilir (Poellabauer, 2010).

- **Imote:** Intel; Imote olarak bilinen, yüksek performanslı algılama ve ağ geçidi uygulamalarında kullanılmak üzere yeni nesil üst düzey kablosuz algılayıcı düğüm prototipi geliştirmiştir (Şekil 5). Imote; 8-bit 12-48MHz ARM-7TDMI işlemci, 512kB flaş bellek, 64kB SRAM, bir Bluetooth alıcı-verici ve bunların yanı sıra çeşitli giriş/çıkış konektörlerinden oluşan entegre kablosuz mikrodenetleyici üzerine inşa edilmiştir. Yazılım mimarisi TinyOS ARM portuna dayanmaktadır.
- **Imote2:** Intel algılayıcı düğümlerinin ikinci nesil ögesi olan Imote2; depolama veya sıkıştırma için DSP işlemleri sağlayan, düşük güçlü, yüksek performanslı 32-bit 13-416MHz PXA271-XScale işlemci ve IEEE 802.15.4 TI-ChipCon-CC2420 RF alıcı-verici modül kullanılarak geliştirilmiştir. 256kB SRAM, 32MB SDRAM ve 32MB flaş belleklere, alternatif alıcı-verici modüller için ek desteğe, dijital algılayıcı veya kamera bağlamak amacıyla yüksek hızlı giriş/çıkış konektörlerine sahiptir. Linux işletim sistemi ve Java uygulamalarını çalıştırabilir (Raghavendra ve ark., 2004; Sohraby ve ark., 2007).



Şekil 5. Imote2 tek kartlı bilgisayar

GÜÇ TASARRUFLU AĞ GEÇİDİ TASARIMI

Bu çalışmada; açık alan uygulamalarına özgü bir KAA'da kullanılabilecek ağ geçidi tasarımı için "Raspberry Pi" marka tek kartlı bilgisayar tercih edilmiştir (Şekil 6) (Halfacree ve Upton, 2012; Monk, 2012; Richardson ve Wallace, 2012).



Şekil 6. "Raspberry Pi" tek kartlı bilgisayar kullanılarak tasarlanmış ağ geçidi

Ağ geçidinin; küçük boyutlu, düşük maliyetli, enerji tasarruflu, çok fonksiyonlu bir üst düzey platform biçiminde tasarlanması amaçlanmıştır. "Raspberry Pi" tek kartlı bilgisayar üzerinde; Arch Linux işletim sistemi, MariaDB ilişkisel veri tabanı yönetim sistemi ve Apache HTTP sunucu çalışmaktadır. Dolayısıyla, ağ geçidi KAA içerisinde; yönlendirici, yerel veri toplama merkezi ve HTTP sunucu olarak görev yapabilmektedir.

Ağ geçidi, KAA içerisinde en fazla güç harcayan cihazdır. Örneğin; "Raspberry Pi" marka tek kartlı bilgisayar modellerinin güç tüketimleri 1.5W(300mA) ile 3.5W(700mA) arasında değişiklik göstermektedir (Halfacree ve Upton, 2012; Monk, 2012; Richardson ve Wallace, 2012). Buradan hareketle, açık alan uygulamalarına özgü tasarlanmış bir KAA'nın uzun ömürlü çalışmasını sağlamak amacıyla, ağ geçidinde güneş paneli ve şarj edilebilir lityum iyon pil kullanılmıştır. Daha sonra, bu ağ geçidi için bir dinamik güç yönetim (DGY) sistemi tasarlanmıştır. Geliştirilen dinamik voltaj ölçeklendirme (DVÖ) tekniği sayesinde ağ geçidinin daha az enerji tüketmesi sağlanmıştır.

Ağ geçidinde DGY/DVÖ yöntemleri kullanarak enerji tasarrufu sağlamak için; I^2C veri yolu arabirimi ile programlanan ve çıkışında farklı gerilim değerleri üreten bir non-linear voltaj regülatörü tercih edilmiştir. Voltaj regülatörünün çıkış voltajı aralığı 1.9V ile 5.0V arasında değişmektedir. Denklem 1 ve Tablo 1 kullanılarak geliştirilen DGY yazılımı aracılığıyla, ağ geçidinde bu-

lunan iletişim birimleri (XBee, WiFi, 3G) için gerekli voltajlar dinamik olarak kontrol edilmiştir.

$$V_{OUT} = \min_V + (n \cdot 0.1V), \quad 0 \leq n \leq 31 \quad (1)$$

Tablo 1. İletişim birimleri için voltaj ölçeklendirme konfigürasyonu.

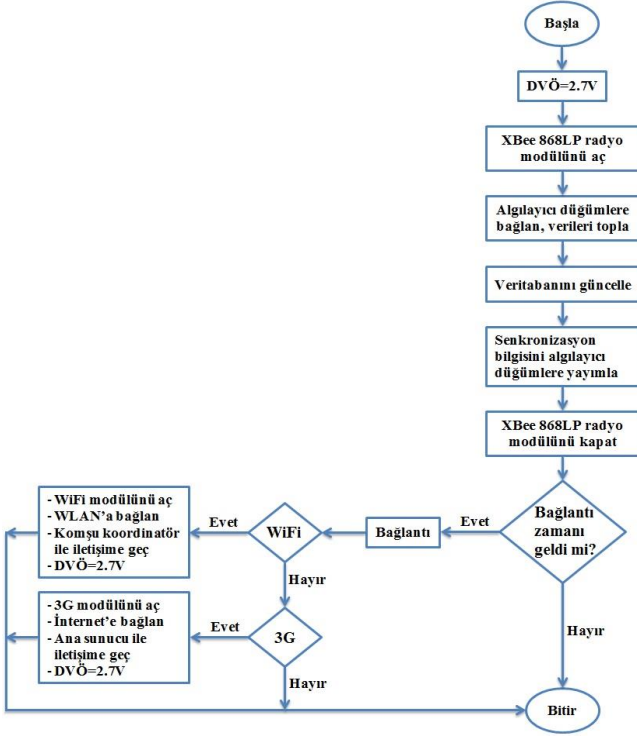
DCDOUT [4:0]	Çıkış Voltajı (V)	İletişim Modülleri
0b00100	2.3	---
0b00101	2.4	---
0b00110	2.5	---
0b00111	2.6	---
0b01000	2.7	XBee 868LP
0b01001	2.8	---
0b01010	2.9	---
0b01011	3.0	WiFi, 3G

Algoritma 1, ağ geçidinde DVÖ işlemini gerçekleştiren algoritmayı göstermektedir. Bu algoritma, I2C arabirimi kullanarak iletişim modüllerine yönelik ilgili voltajları ölçeklendirmektedir.

```
void Gerilim_Olceklendir(unsigned yeni_gerilim){
    if(yeni_gerilim >= minimumgerilim || yeni_gerilim <= maximumgerilim)
    {
        İletim_Baslat();
        int gerilim_degeri = (yeni_gerilim - minimumgerilim)/100;
        Pin_yaz(0x00);
        Pin_yaz(_BV(I2CEN) | gerilim_degeri);
        İletim_Bitir();
    }
}
```

Algoritma 1. Dinamik voltaj ölçeklendirme

Şekil 7, ağ geçidinde bulunan iletişim modüllerine ait gerekli güçleri dinamik olarak yöneten akış diyagramını göstermektedir. Kaynak düğümle hedef sistem (KAA, WLAN, İnternet) arasında iletişim (algılayıcı düğümlerle senkronizasyon, WLAN'a bağlanma, İnternete erişim) gerçekleşeceği zaman alıcı-verici modüller aktif hale getirilir. İletişim sona erdiğinde ise, alıcı-verici birimler kapatılır ve ağ geçidi minimum güç tüketim modunda çalışır. Böylece, geliştirilen sistem ile ağ geçidinin enerji tasarruflu çalışması sağlanmıştır.

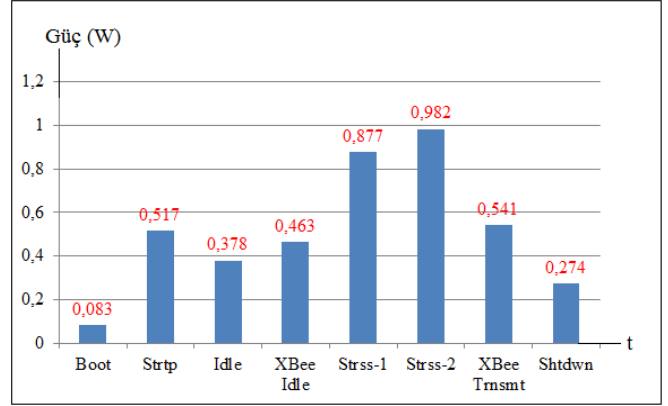


Şekil 7. Ağ geçidinde iletişim birimlerine yönelik DGY ve DVÖ akış diyagramı.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, açık alan uygulamalarına yönelik KAA'larda kullanılabilecek bir güç tasarruflu ağ geçidi tasarlanmıştır. Ağ geçidinin yenilenebilir enerji kaynağı güneşten güç sağlayabilmesi amacıyla, ağ geçidi için güneş paneli ve şarj edilebilir Li-ion pil içeren bir güç üretici donanım birimi tasarlanmıştır. Geliştirilen dinamik güç yönetim sistemi, dinamik voltaj ölçeklendirme yazılımı ve ağ geçidine entegre edilmiş güç üretici sayesinde ağ geçidinin KAA'da daha enerji verimli çalışması sağlanmıştır.

Şekil 8 ve Tablo 2; üzerinde WiFi, 3G, XBee iletişim modülleri olan, DGY sistemi uygulanmamış, güç optimizasyonu ve kod optimizasyonu yapılmamış ağ geçidinin KAA içerisinde çalışırken farklı durumlarda harcadığı güç değerlerini belirtmektedir. Bu durumlarda ağ geçidi; algılayıcı düğümlerden gelen verileri toplamakta, işlemekte, bilgileri İnternetteki ana sunucuya aktarmakta ve sonrasında da ana sunucudan aldığı senkronizasyon bilgisini düğümlere yayımlamaktadır.

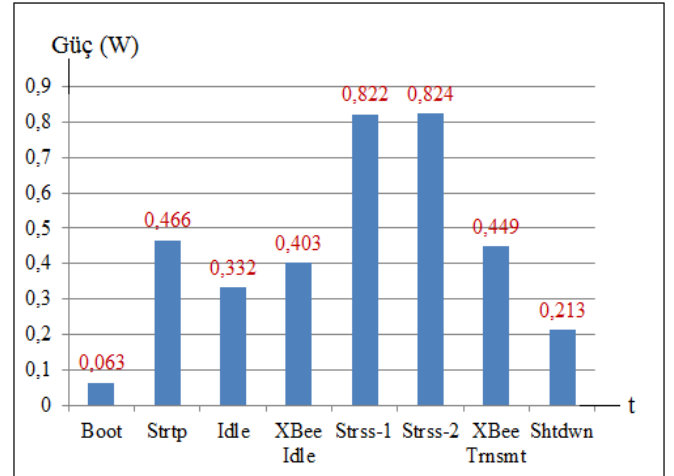


Şekil 8. KAA içerisinde çalışan ağ geçidinin güç tüketimi

Tablo 2. KAA içerisindeki ağ geçidinin farklı çalışma durumlarına ait güç tüketimleri

Durumlar	CPU	RAM	HDD	WiFi	3G	XBee	Güç Tüketimi (W)
S1	Pasif	Pasif	Pasif	Kapalı	Kapalı	Uyku	0.378
S2	Aktif	Aktif	Pasif	Kapalı	Kapalı	Alma	0.877
S3	Aktif	Aktif	Aktif	Kapalı	Kapalı	Alma	0.982
S4	Pasif	Pasif	Pasif	Kapalı	Kapalı	Pasif	0.463
S5	Aktif	Aktif	Aktif	Kapalı	Kapalı	Gönderme	0.541

Şekil 9 ve Tablo 3; üzerinde WiFi, 3G, XBee iletişim modülleri bulunan, DGY ve DVÖ işlemleri uygulanmış, güç optimizasyonu ve kod optimizasyonu yapılmış ağ geçidinin KAA içerisinde harcadığı güç değerlerini ve sağlanan enerji tasarruflarını göstermektedir.



Şekil 9. KAA'daki ağ geçidinin DGY, DVÖ ve optimizasyon işlemleri sonrası güç tüketimi.

Tablo 3. KAA'daki ağ geçidinin DGY, DVÖ ve optimizasyon işlemleri sonrası farklı çalışma durumlarına ait güç tüketimleri ve enerji tasarrufları.

Durumlar	CPU	RAM	HDD	WiFi	3G	XBee	Güç Tüketimi (W)	Enerji Tasarrufu
S1	Pasif	Pasif	Pasif	Kapalı	Kapalı	Uyku	0.332	%12
S2	Aktif	Aktif	Pasif	Kapalı	Kapalı	Alma	0.822	%6
S3	Aktif	Aktif	Aktif	Kapalı	Kapalı	Alma	0.824	%16
S4	Pasif	Pasif	Pasif	Kapalı	Kapalı	Pasif	0.403	%13
S5	Aktif	Aktif	Aktif	Kapalı	Kapalı	Gönderme	0.449	%17

KAYNAKLAR

- Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., Cayirci, E. (2002). *Wireless Sensor Networks: A Survey*. *Computer Networks*, 38(4): 393-422.
- Akyildiz, I. F., Vuran, M. C. (2010). *Wireless Sensor Networks*. John Wiley & Sons, England, ISBN: 978-0-470-03601-3.
- Callaway Jr., E. H. (2003). *Wireless Sensor Networks: Architecture and Protocols*. Auerbach Publications, CRC Press, USA, ISBN: 978-0-8493-1823-8.
- Dargie, W., Poellabauer, C. (2010). *Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice*. John Wiley & Sons, England, ISBN: 978-0-470-99765-9.
- Halfacree, G., Upton, E. (2012). *Raspberry Pi User Guide*. John Wiley & Sons, England, ISBN: 978-1-118-46446-5.
- Margi, C. B., Petkov, V., Obraczka, K., Manduchi, R. (2006). Characterizing energy consumption in a visual sensor network testbed, The 2nd International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks and Communities, 1-3 March 2006, Barcelona, Spain, Book of Proceedings, 1-8.
- Monk, S. (2012). *Programming the Raspberry Pi: Getting Started with Python*. Mc Graw Hill, USA, ISBN: 978-0-07-180783-8.
- Poellabauer C. (2010). *Wireless Sensor Networks* (StargateTutorial). <http://www3.nd.edu/~cpoellab/teaching/cse40815/links.html>
- Raghavendra, C. S., Sivalingam, K. M., Znati, T. (2004). *Wireless Sensor Networks: Technology, Protocols, and Applications*. Springer, USA, ISBN: 978-1-40207883-5.
- Richardson, M., Wallace, S. (2012). *Getting started with Raspberry Pi (Make: Projects)*. Maker Media, USA, ISBN: 978-1-449-34421-4.
- Sohraby, K., Minoli, D., Znati, T. (2007). *Wireless Sensor Networks: Technology, Protocols, and Applications*. John Wiley & Sons, USA, ISBN: 978-0-471-74300-2.