



---

**Makale / Research Paper**

---

**Yaygın Kullanılan ARM Tabanlı Tek Kart Bilgisayar Sistemleri ve  
Kullanım Alanları**

**Serdar SOLAK<sup>1</sup>, Önder YAKUT<sup>2</sup>, Emine Doğru BOLAT<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Kocaeli Üniversitesi, Enformatik Bölümü, 41380, Umuttepe, İzmit, Kocaeli, Türkiye

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi, Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, 41380, Umuttepe, İzmit, Kocaeli, Türkiye

<sup>3</sup>Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği, 41380, Umuttepe, İzmit, Kocaeli, Türkiye

<sup>1</sup>serdars@kocaeli.edu.tr, <sup>2</sup>onder.yakut@kocaeli.edu.tr, <sup>3</sup>ebolat@gmail.com

**Received/Geliş:** 28.06.2016

**Revised/Düzeltilme:** 12.12.2016

**Accepted/Kabul:** 11.01.2017

**Özet:** Son yıllarda gömülü sistemler üzerine yapılan uygulamalarda ciddi artışlar gözlenmektedir. Özellikle, kullanım kolaylığı, maliyet düşüklüğü ve boyutlarının küçülmesi sebebiyle tek kart bilgisayar sistemleri, gömülü sistem uygulamalarında yaygın olarak tercih edilmeye başlanmıştır. Üzerinde bulunan çeşitli iletişim ara birimleri sayesinde farklı cihaz veya algılayıcılarla rahatlıkla iletişim kurulabilmektedir. Bu sayede, robotik, nesnelerin interneti, sağlık, bilgisayarlı görme ve akıllı ev uygulamalarında kullanılmaktadır. Ayrıca, endüstriyel alanda ürün geliştirme ve akademik alanda yapılan prototip çalışmalarında tercih edilmektedir. Bu makalede, yaygın olarak kullanılan tek kart bilgisayar sistemleri üzerine bir araştırma sunulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Tek kart bilgisayar sistemleri, BeagleBoard, PandaBoard, Raspberry Pi, BeagleBone

---

**Commonly Used ARM-based Single Board Computers and Areas of Usage**

---

**Abstract:** A serious increase of the applications realized on the embedded systems is observed in recent years. Single board computer systems are commonly preferred in embedded system applications because of their easy to use, low cost and small size specifications. They can communicate with other devices or sensors by means of their communication interface. Thus, they are used in robotics, internet of things, health, computer vision and intelligent home systems. Furthermore, they are chosen for product development in the industrial area and prototype development in academic area. In this paper, a research on commonly used single board computer systems is presented.

**Keywords:** Single board computer systems, BeagleBoard, PandaBoard, Raspberry Pi, BeagleBone

---

**1.Giriş**

Gömülü sistemlerin yaygınlaşması ile beraber kullanım alanları her geçen gün artmaktadır. Son yıllarda, kullanım kolaylığı, çabuk erişilebilirliği, maliyet düşüklüğü, AR-GE (Araştırma-Geliştirme) çalışmalarının artması, üzerine işletim sistemi kurulabilmesi, gömülü sistem olarak Tek Kartlı Bilgisayarların (TKB - Single Board Computer - SBC) kullanımını artırmakta, akademik ve endüstriyel olarak kullanımını yaygınlaştırmaktadır[1].

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Solak, S., Yakut, Ö., Bolat, E.D., “Yaygın Kullanılan ARM Tabanlı Tek Kart Bilgisayar Sistemleri ve Kullanım Alanları” El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(1); 11-24.

*How to cite this article*

Solak, S., Yakut, Ö., Bolat, E.D., “ Commonly Used ARM-based Single Board Computers and Areas of Usage” El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(1); 11-24.

TKB, işlevsel bir bilgisayarın gereksinim duyduğu işlemci, bellek, giriş/çıkış gibi birimlerin tek bir kart üzerinde birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. TKB, üzerinde genellikle kart yuvası (ekran kartı, ses kartı vb parçaları takmak için gerekli yuva) bulunmaz. Sistemde yer alan birimler (Ram, İşlemci vb.) düşük maliyetli, az güç tüketecek şekilde küçük ve basit olarak tasarlanmaktadır. Depolama birimi olarak, “disk on module”, “disk on chip” ve “compact flash” gibi flash disk teknolojileri kullanılmaktadır[1-4]

TKB, yaygın olarak yuva desteği olan ve yuva desteği olmayan olarak iki farklı mimaride tanımlanmaktadır. Yuva desteği olmayan tek kartlı bilgisayarlarda, tüm bileşenler tümleşik olarak gelmektedir. Bu tür sistemler tek başına kullanılmaktadır. Yuva desteği olan tek kartlı bilgisayarlarda ise, temel işlevleri içermesinin yanı sıra büyük sistemlere takılarak bütünleşik olarak çalışabilmektedirler[1].

TKB, genellikle endüstriyel alanda yapılacak olan prototip çalışmalarında veya iş kontrollerinde ara yüz sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca, endüstriyel alanda, gömülü durumda bulunan diğer otomasyon cihazları arasında kontrol ve iletişim ara yüzü sağlamak amacıyla da kullanılmaktadır.

TKB kullanımı, son yıllarda akademik alanda, bilgisayarlı görme, akıllı algılayıcı kullanan ev sistemlerinin kontrol ve izlenmesi[5], tıp ve biyomedikal alanlarında [6-8] nesnelere interneti (IoT) alanında [9,10], insansız olarak kullanılan deniz, hava ve kara araçlarında[11], tarımda bitkiler ile ilgili çalışmalarda[12], ve robot uygulamalarında prototip çalışması yapılmak amacıyla her geçen gün artmaktadır.

Yapılan çalışmada, son yıllarda yaygın olarak kullanılan TKB’ler incelenmiş ve özellikleri sunulmaktadır. Ayrıca, kullanılırken sağlamış olduğu avantaj ve dezavantajlar özetlenmektedir.

## **2.Yaygın Kullanılan Tek Kart Bilgisayar Sistemleri**

Özellikle, teknolojiye yaşanan gelişmeler, TKB tarafından kullanılan ARM (Advanced RISC Machine) tabanlı işlemci ve belleklerin geliştirmesine olanak sağlamaktadır. Bu sayede, her geçen gün yeni TKB’ler piyasaya çıkmakta veya kapasiteleri artarak sürüm güncellemeleri yapılmaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan, BeagleBoard, BeagleBoard xM, Beagle Board x15, PandaBoard, PandaBoard ES, Raspberry Pi, BeagleBone, CubieBoard, BananaPi, BeagleBone Black, Intel Galileo TKB sistemleri bulunmaktadır[13]. Ayrıca, Poyraz adı verilen yerli tek kart bilgisayar sistemi üzerinde geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

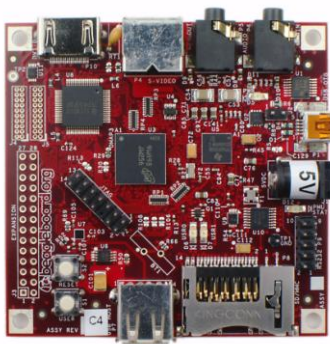
### **2.1. BeagleBoard Tek Kart Bilgisayar Sistemleri**

BeagleBoard, serisine ait ilk TKB’dir. Sonrasında BeagleBoard-xM ve BeagleBoard-x15 kartları bu seriyi takip etmiştir. BeagleBoard serisine ait kartlar, Texas Instrument (TI) ve Digi-Key tarafından üretilen açık kaynak donanım ve düşük güç tüketimli, TKB geliştirme kartları olarak bilinmektedir. Bu kartlar, günümüzde akademik alanda yapılan AR-GE çalışmalarında prototip geliştirmek için kullanılmaktadır. BeagleBoard, BeagleBoard-xM ve BeagleBoard-x15 kartlarına ait özellikler Tablo 1’de sunulmaktadır [13-17].

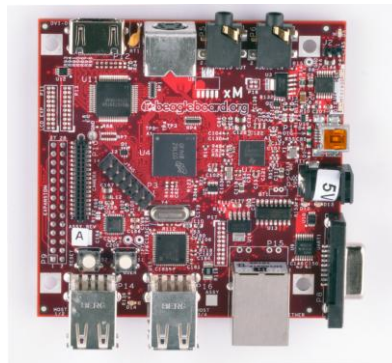
Tablo 1’de görüldüğü üzere, kartların desteklemiş olduğu çok sayıda iletişim arabirimleri bulunmakta ve çeşitli cihazlarla problemsiz olarak iletişim kurulabilmektedir. Ayrıca, zaman içerisinde teknolojinin gelişmesiyle beraber, işlemci hızları, depolama alan ve özellikleri, bellek kapasiteleri ve grafik işlemcilerinin geliştiği ve kapasitelerin arttığı gözlenmektedir. Şekil 1’de BeagleBoard, BeagleBoard-xM ve BeagleBoard-x15 kartlarına ait görüntüler sunulmaktadır.

Tablo 1. BeagleBoard kartlarına ait özellikler

Birim Adı	BeagleBoard	BeagleBoard-xM	BeagleBoard-x15
Ürün Tarihi	Temmuz, 2008	Eylül, 2010	Kasım, 2015
İşlemci (CPU)	OMAP3530 ARM Cortex A8 720 Mhz	DM3730 ARM Cortex A8 1000 Mhz	Sitara AM5728 Dual ARM Cortex A15 1500Mhz
Grafik İşlemci (GPU)	Power VR SGX 530 /200 Mhz	Power VR SGX 530 /200 Mhz	Dual PowerVR SGX544
Sayısal Sinyal İşleme (DSP)	TMS320C64 x+ / 520 Mhz	TMS320C64 x+ / 800 Mhz	TMS320C66 x+ / 2 * 700 Mhz
Bellek (RAM)	128 MB (Rev B) 256 MB (Rev C+)	512 MB / 166 Mhz	2048 MB DDR3L 533 Mhz
USB Port Sayısı	1 Adet A 1 Adet B	4 Adet A 1 Adet B	3 Adet 3.0 4 Adet 2.0 1 Adet B
Depolama Birimi	256 MB NAND Flash ve SD/MMC	Mikro SD Kart	8 bit eMMC 4 GB ve MikroSD kart
Ekran Bağlantısı	DVI-D, S Video	DVI-D, S Video	HDMI ve LCD
Ses Giriş / Çıkış	3.5mm jack	3.5mm jack	HDMI, AIC3104
Ethernet Bağlantısı	N/A	10/100	Gigabit Ethernet
İç Birimler	McBSP, DSS, I <sup>2</sup> C, UART, McSPI, PWM, JTAG	I <sup>2</sup> C, McBSP, MMC2, GPUIO, McPSI	7xUART, LCD, GPMC, 1x SPI, 1x I <sup>2</sup> C, 1x CAN bus
İşletim Sistemi	Debian, Ubuntu Gentoo, Angström	Angström, Ubuntu, Android, Windows CE, Symbian, QNX	Debian Android Cloud9 IDE Ubuntu, vb.
Boyutlar	78,75 * 76,2 mm	85,09 * 85,598 mm	107 * 102 mm



(a)



(b)



(c)

Şekil 1. BeagleBoard kartları (a) BeagleBoard (b) BeagleBoard-xM (c) BeagleBoard-x15

## 2.2. BeagleBone Tek Kart Bilgisayar Sistemleri

TI tarafından üretilen, açık kaynak donanım ve düşük güç tüketimi sağlayan TKB'lerdir. BeagleBone (BB), BeagleBone Black (BBB), Seede Studio BeagleBone Gren(BBG) ve Seede Studio BeagleBone Green Wireless(BBGW) modelleri bulunmaktadır.

BB ailesine ait kartların özellikleri Tablo 2’de sunulmaktadır. Tablo 2’de kartlar, işlemci bellek, depolama, desteklemiş oldukları iletişim arabirimleri ve boyutlarına göre karşılaştırılmaktadır[13, 14, 18-20].

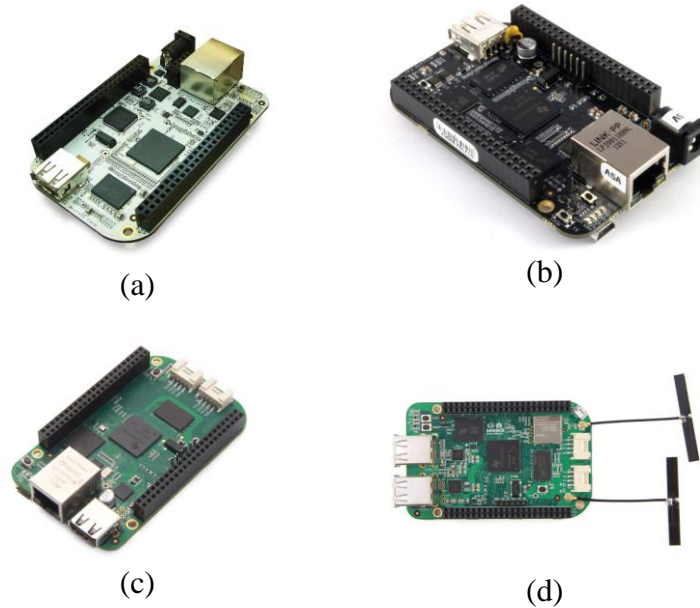
Tablo 2. BeagleBone kartlarına ait özellikler

Birim Adı	BB	BBB	BBG	BBGW
Ürün Tarihi	2011	2013	2015	2016
İşlemci (CPU)	AM3358 ARM Cortex-A8 720 MHz	AM3358 ARM Cortex-A8 1GHz	AM3358 ARM Cortex-A8 1GHz	AM3358 ARM Cortex-A8 1GHz
Grafik İşlemci (GPU)		Power VR SGX 530 200 Mhz		
Bellek (RAM )	256 MB DDR2	512 MB DDR3	512 MB DDR3	512 MB DDR3
USB Port Sayısı	1 Adet A 1 Adet B	1 Adet A 1 Adet B	1 Adet A 1 Adet B	4 Adet A 1 Adet B
Depolama Birimi	MikroSD	MikroSD 8bit eMMC (2GB/REVB 4GB/REVC)	8bit eMMC 4GB Onboard flash	8bit eMMC 4GB Onboard flash
Ekran Bağlantısı	Ek Bileşen	Mikro HDMI / Ek Bileşen	Mikro HDMI / Ek Bileşen	Mikro HDMI / Ek Bileşen
Ses Giriş / Çıkış	Ek Bileşen	Mikro HDMI / Ek Bileşen	Mikro HDMI / Ek Bileşen	Mikro HDMI / Ek Bileşen
Ethernet Bağlantısı	Fast Ethernet	Fast Ethernet	Fast Ethernet	Fast Ethernet
Kablosuz Bağlantı / Bluetooth	Yok	Yok	Yok	WiFi 802.11 b/g/n 2.4GHz Bluetooth 4.1
İç Birimler	UART, PWM, LCD, GPMC, MMC, SPI, I2C, ADC, CAN bus, Timers, USB üzerinden JTAG	UART, PWM, LCD, GPMC, MMC, SPI, I2C, ADC, CAN bus, Timers, JTAG	UART, PWM, GPMC, MMC, SPI, I2C, ADC, CAN bus, Timers, JTAG Grove Bağlantı	UART, PWM, GPMC, MMC, SPI, I2C, ADC, CAN bus, Timers, JTAG Grove Bağlantı
İşletim Sistemi	Ubuntu, Adroid 4.0 Angström	Debian Android Cloud9 IDE Ubuntu, vb	Debian Android Cloud9 IDE Ubuntu, vb	Debian Android Cloud9 IDE Ubuntu, vb.
Boyutlar		86,36*53,34mm		

BB, kredi kartı büyüklüğünde, internete bağlanmak ve uygulama çalıştırmak için oluşturulmuş genellikle Linux tabanlı işletim sistemleri kullanılarak geliştirilen geliştirme kartı olarak 2011 yılında piyasaya sürülmüştür. 2013 yılında, BB kartının bellek ve işlemci gibi temel özelliklerinde iyileştirmeler yapılarak BBB geliştirme kartı kullanıma sunulmuştur.

BBB, 10 saniyenin altında Linux açılışı yapabilmektedir. 2014 yılında yapılan bellek artırımı güncellemeleri sonunda BBB Rev C oluşturulmuştur. 2015 yılında, BBB kartı üzerinde yapılan küçük değişiklikler sonucunda BBG geliştirme kartı kullanılmaya başlanmıştır. 2016 yılında BBG geliştirme kartına wireless ve Bluetooth özellikleri eklenerek BBGW kartı oluşturulmuştur. BBGW,

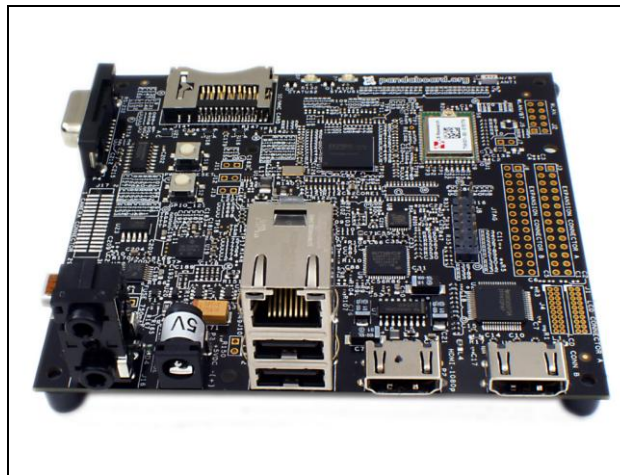
BB kartları arasında ilk kablosuz ve Bluetooth özelliği destekleyen karttır. Şekil 2’de BB kartlarına ait görüntüler sunulmaktadır.



Şekil 2. BeagleBone kartları (a) BB (b) BBB (c) BBG (d) BBGW

### 2.3. PandaBoard Tek Kart Bilgisayar Sistemleri

Düşük maliyet ve güç tüketimine sahip PandaBoard TKB, 2010 yılından itibaren kullanılmaya başlanmıştır. TI tarafından üretilen OMAP4430 tek yonga sistemi (System on a chip - SoC) kullanılmaktadır. 2011 yılında, OMAP 4460 tek yonga sistemi kullanılarak PandaBoard ES TKB kullanılmaya başlanmıştır. PandaBoard ve PandaBoard ES, kartlarına ait görüntü değişiklik göstermediğinden, tek bir görüntü olarak Şekil 3’de sunulmaktadır.



Şekil 3. PandaBoard Kartı

Tablo 3’de PandaBoard kartlarına ait özellikler sunulmaktadır. İki karta ait özelliklerin bir birine yakın olduğu gözlenmektedir. İşlemci, grafik işlemcisi, ara bağlantı birim desteği olarak PandaBoard ES’in daha üstün özellikleri ön plana çıkmaktadır [21,22].

Tablo 3. PandaBoard kartlarına ait özellikler

Birim Adı	PandaBoard	PandaBoard ES
Ürün Tarihi	2010	2011
İşlemci (CPU)	OMAP4430	OMAP4430
	ARM CORTEX A9	ARM CORTEX A9
	MPCORE	MPCORE
Grafik İşlemci (GPU)	1 GHz	1.2 GHz
	Power VR SGX 540	Power VR SGX 540
	304 Mhz	384 Mhz
Bellek (RAM )	1 GB DDR2 RAM	
USB Port Sayısı	2 Adet USB 2.0	
Depolama Birimi	SD/MMC Kart	
Ekran Bağlantısı	DVD-I Bağlantı	DVD-I Bağlantı
	HDMI v1.3 A tipi Bağlantı	HDMI v1.3 A tipi Bağlantı
	LCD Genişleme	LCD Genişleme
Ses Giriş / Çıkış		DSI desteği
	3.5" Audio giriş/çıkış	3.5" Audio giriş/çıkış
	HDMI Ses çıkışı	HDMI Ses çıkışı
Ethernet Bağlantısı		Stereo ses giriş desteği
Kablosuz Bağlantı / Bluetooth	10/100Mbit	
	802.11 b/g/n	
İç Birimler	Bluetooth v2.1 + EDR	
	LCD, GPMC, MMC, I2C,DSS, JTAG, RS-232	
İşletim Sistemi	Android, Ubuntu,FreeBSD,OpenBSD, Linaro, Firefox OS	
Boyutlar	114,3*101,6mm	

## 2.4. Raspberry PI Tek Kart Bilgisayar Sistemleri

İngilterede bulunan Raspberry PI topluluğu tarafından 2012 yılında geliştirilen ve okullarda bilgisayar biliminin temellerini öğretmek için kullanılan kredi kartı büyüklüğündeki TKB dir.



(a) Raspberry PI 1 Model B



(b) Raspberry PI 2



(c) Raspberry PI 3



(d) Raspberry PI Zero

Şekil 4: Raspberry PI Kartları

Tablo 4. Raspberry kartlarına ait özellikler

Birim Adı	Raspberry PI 1	Raspberry PI 2	Raspberry PI 3	Raspberry PI Zero
Ürün Tarihi	Nisan,2012 (B) Şubat, 2013(A)	Şubat, 2015	Şubat, 2016	Kasım, 2015
SoC / İşlemci (CPU)	BCM2835 ARMv6 (32Bit) 700 MHz Tek Çekirdek ARM1176JZF-S	BCM2836 ARMv7 (32Bit) 900 MHz Dört Çekirdek ARM Cortex-A7	BCM2837 ARMv8 (64/32Bit) 1.2GHz Dört Çekirdek ARM Cortex- A53	BCM2835 ARMv6 (32Bit) 1 GHz Tek Çekirdek ARM1176JZF- S
Grafik İşlemci (GPU)	Broadcom VideoCore IV @ 250 MHz			
Bellek (RAM )	Model B / 512MB (Paylaşımlı) Model A 256 MB Paylaşımlı	1 GB (Paylaşımlı)	1 GB (Paylaşımlı)	512MB (Paylaşımlı)
USB Port Sayısı	Model B – 4 Model A+ - 2 Model A - 1 A+ ve B+ için	4 Adet	4 Adet	1 Mikro USB
Depolama Birimi	MikroSDHC A ve B için SD/MMC/SDIO	MikroSDHC	MikroSDHC	MikroSDHC
Ekran Bağlantısı (Giriş / Çıkış)	15 pin MIPI(CSI) A ve B - HDMI- RCA A+ B+ - HDMI- TRS	15 pin MIPI(CSI), HDMI-TRS	15 pin MIPI(CSI), HDMI-TRS	MIPI(CSI), Mini HDMI
Ses Giriş / Çıkış	I <sup>2</sup> S giriş 3.5mm Jack, HDMI ve I <sup>2</sup> S çıkış	I <sup>2</sup> S giriş 3.5mm TRS, HDMI çıkış	I <sup>2</sup> S giriş 3.5mm TRS, HDMI çıkış	I <sup>2</sup> S giriş mini HDMI ve PWM çıkış
Ethernet Bağlantısı	A ve A+ →Yok B ve B+→ 10 / 100 Mbit / s	10 / 100 Mbit/s	10 / 100 Mbit/s	Yok
Kablosuz Bağlantı / Bluetooth	Yok	Yok	802.11n WiFi, Bluetooth 4.1	Yok
İç Birimler	GPIO, UART, I <sup>2</sup> C, SPI, I <sup>2</sup> S	17*GPIO, HAT ID	17*GPIO, HAT ID	40*GPIO
İşletim Sistemi	Raspbian, RISC OS, FreeBSD, NetBSD,Plan 9, Inferno, AROS	Raspbian, Linux tabanlı işletim sistemleri, Windows IoT	Raspbian, Ubuntu MATE, Windows IoT, Debian, RISC OS, Arch Linux ARM	Linux tabanlı işletim sistemleri, Raspbian
Boyutlar	85,6*56,5mm A+ modelinde; 65*56,5*10mm	85,6*56,5mm	85,6*56,5mm	65*30*5mm

Raspberry PI'ye ait ilk model geliştirilerek model B sürümü çıkarılmıştır. 2015 yılında Raspberry PI 2 ve 2016 yılında Raspberry PI 3 sürümleri kullanılmaya başlanmıştır. Parsberry PI kartlarının tamamında Broadcom tarafından üretilen tek yonga sistem mimarisi kullanılmaktadır. İşlemci

olarak, ARM tabanlı işlemciler kullanılmaktadır [23-25]. Raspberry PI kartlarına ait görüntüler Şekil 4’te sunulmaktadır.

Tablo 4’te Raspberry PI kartlarının özellikleri sunulmaktadır [23,25]. Raspberry PI kartları, diğer kartlara göre daha düşük maliyetli olmasından dolayı daha fazla kullanılmaya başlanmıştır.

### 3. Kullanım Alanları

TKB, geliştirme kartları üzerine işletim sistemi ve üçüncü parti yazılımların kurulmasından dolayı bilgisayarın yapabileceği birçok işlem bu kartlar kullanılarak düşük maliyetli olarak gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, TKB kartları, maliyet, boyut ve düşük enerji tüketiminden dolayı çoğu çalışmada kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle son yıllarda gelişmekte olan Nesnelerin İnterneti (IoT), robotik, akıllı ev otomasyon sistemleri, alarm sistemleri, insansız hava araçları, tarım alanlarının takibi ve biyomedikal çalışmalarında kullanılmaktadır.

OpenCV kütüphanesi, TKB üzerine kurularak görüntü işleme ve bilgisayarlı görme konusunda etkili çalışmalar yapılabilmektedir. Ayrıca, sıcaklık, basınç, nem, ivme, gaz, koku, hareket, uzaklık, toz, ışık, hava kalitesi vb. algılayıcılar ile haberleşerek gerçek dünyadaki bilgiler alınarak işlenebilmektedir.

Biyomedikal alanda, EKG, EMG, SPO2, ateş, tansiyon, vb. değerler algılayıcılar kullanılarak alınabilmekte, hastaların uzaktan takip edilmesi için kullanılabilir.

TKB, insan sağlığı için tehlikeli olacak yerlerde ve maden ocaklarında kablosuz algılayıcı ağ şeklinde kullanılabilir. Her bir TKB üzerine takılan algılayıcı sayesinde ortamdan algılamış olduğu veriyi alarak merkezi düğüm olarak kullanılan TKB’ye iletebilir. Merkezi TKB yazılacak olan web tabanlı bir yazılım üzerinden kontrol ve takip edilebilir. Ayrıca ortamın görüntüleri TKB’lere bağlanacak kameralar sayesinde elde edilebilmektedir.

#### 3.1. Tek Kart Bilgisayarlar Kullanılarak Yapılan Örnek Çalışmalar

Bu kısımda, BeagleBoard-xM ve Raspberry Pi kullanılarak yapılmış çalışmalar verilmiştir. Bu çalışmalar, endüstriyel, robotik ve biyomedikal alanlarında laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş uygulamalardır.



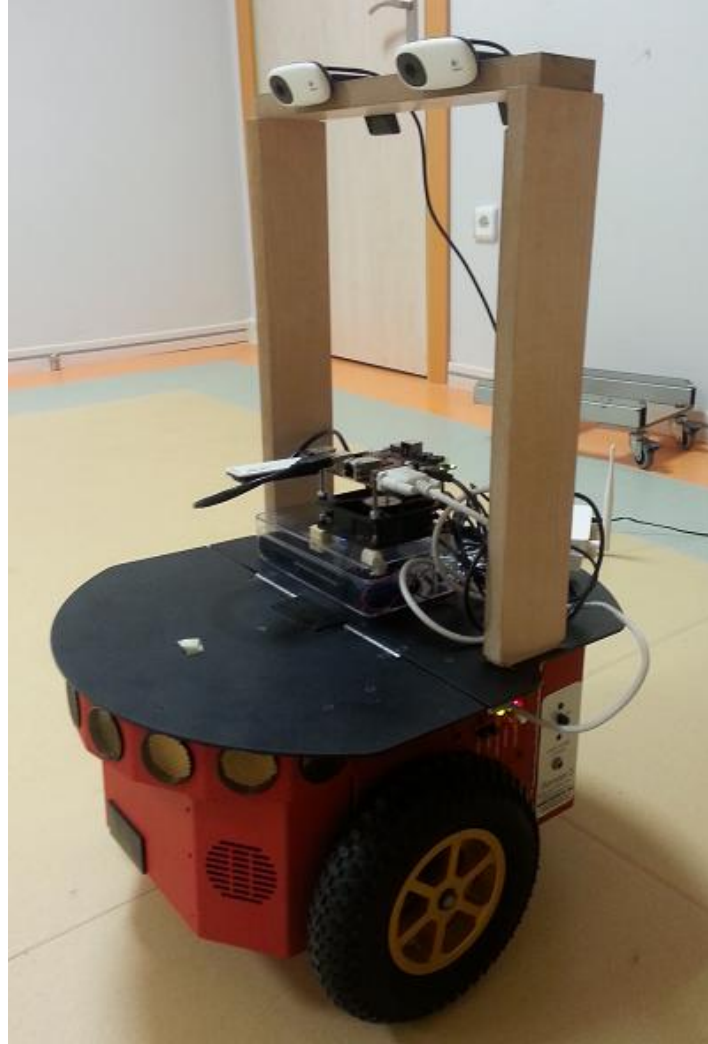
Şekil 5. Gezin Robot uygulamasında BeagleBoard-xM kullanılması [1, 26]

Şekil 5’de gezin robotun üzerine BeagleBoard-xM yerleştirilmiş ve tavan kamerası kullanılarak elde edilen görüntüden yararlanılarak gezin robotun hareketi sağlanmıştır. BeagleBoard-xM ile gezin robot arasındaki iletişim RS-232 seri haberleşmesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tavan



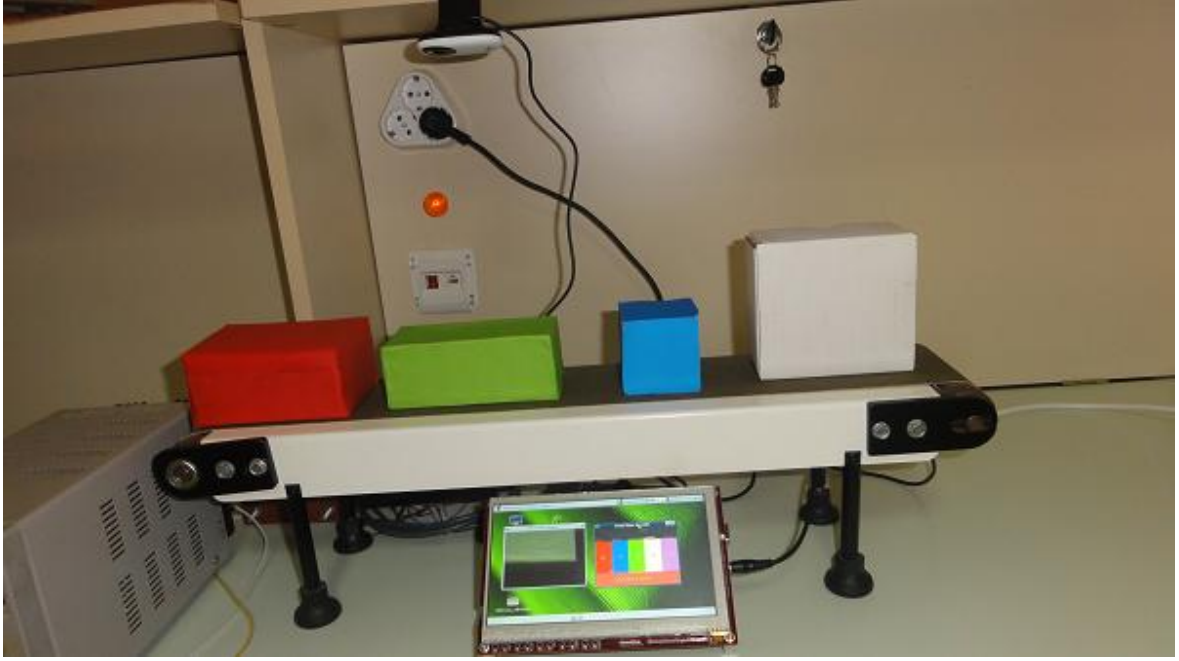
kamerasından alınan görüntünün işlenmesi, robotun konumunun belirlenmesi, yol planlamasının yapılması ve robot hareket ettirilmesi işlemlerinin tamamı BeagleBoard-xM üzerinde gerçekleştirilmiştir[1, 26].

Şekil 6’da Stereo görme-tabanlı gezgin robotun hareket sisteminde BeagleBoard-xM’in kullanımı görülmektedir. Bu çalışmada, gezgin robot üzerine yerleştirilmiş iki kameradan yararlanılarak ortamdaki nesnelerin konumlarının tespit edilmesi, robota olan uzaklıklarının ve açıların hesaplanması, engelden sakınım ve yol planlama işlemlerinin yapılması ve robotun hareketi BeagleBoard-xM üzerinde gerçekleştirilmiştir [1].



Şekil 6. Stereo görme tabanlı gezgin robot uygulamasında BeagleBoard-xM kullanılması [1]

Şekil 7’de endüstriyel amaçlı yürüyen bant uygulamasında BeagleBoard-xM’in kullanılması görülmektedir. Bu çalışmada, yürüyen bant üzerinden geçen renkli kutuların renklerine göre sayılarak ayrıştırılması işlemi BeagleBoard-xM ile gerçekleştirilmiştir. Renkli nesnelerin sayıları rakamsal olarak BeagleBoard-xM üzerine yerleştirilen LCD7 dokunmatik ekran üzerinde görüntülenmiştir [4].



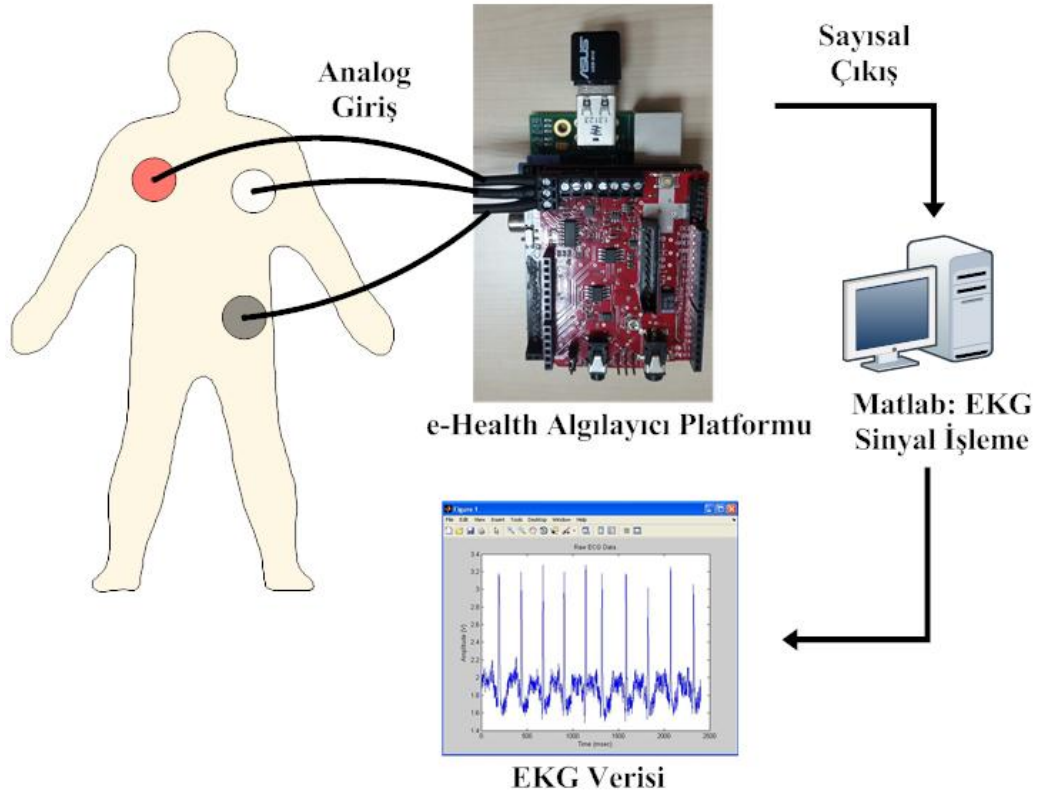
Şekil 7. Endüstriyel amaçlı yürüyen bant uygulamasında BeagleBoard-xM kullanılması [4]

Şekil 8’de BeagleBoard-xM ile bir nesnenin kameralara olan uzaklığı tespit edilmiştir. Bu işlem için aynı ekseninde bulunan iki kameradan faydalanılmaktadır. Mesafe kestirim işlemi BeagleBoard-xM üzerinde çalıştırılan görüntü işleme tekniklerinden yararlanılarak gerçekleştirilmiştir.[1,27]

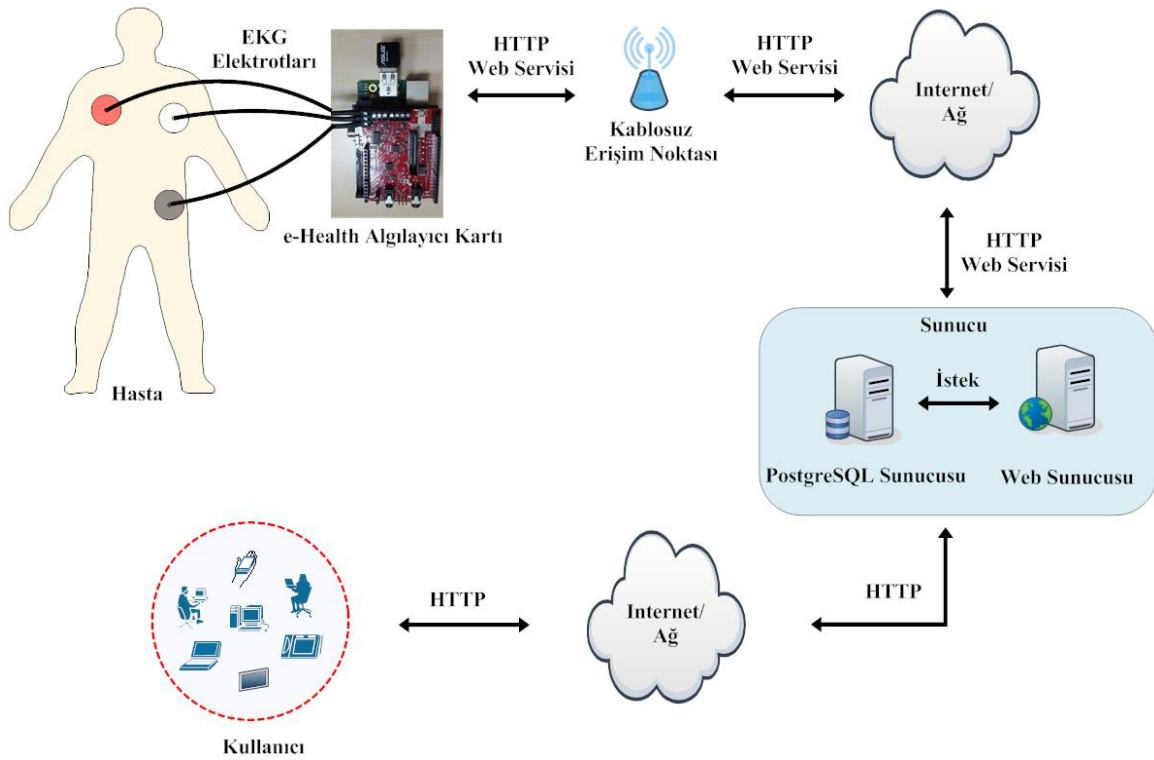


Şekil 8. Mesafe kestirim uygulamasında BeagleBoard-xM kullanılması [1,27]

Şekil 9’da e-Health algılayıcı platformu ile EKG ölçümü uygulamasında Raspberry Pi’nin kullanımı görülmektedir. Bu çalışmada, elektrotlar vasıtasıyla hastadan alınan EKG verisi Raspberry Pi üzerine yerleştirilmiş e-health algılayıcı kartı üzerinden Raspberry Pi’ye aktarılmıştır. Raspberry Pi’ye kaydedilen EKG verisi bilgisayara aktarılarak Matlab programında işlenmiştir[8].



Şekil 9. e-Health algılayıcı platformu ile EKG ölçümü uygulamasında Raspberry Pi kullanımı [8]



Şekil 10. e-Health algılayıcı platformu ile web-tabanlı EKG ölçümü uygulamasında Raspberry Pi kullanımı [6]

Şekil 10'da e-Health algılayıcı platformu ile web-tabanlı EKG ölçümü uygulamasında Raspberry Pi kullanımı verilmiştir. Elektrotlar vasıtasıyla hastadan alınan EKG verileri Raspberry Pi üzerinden kablosuz olarak bilgisayar ortamındaki veri tabanına aktarılmaktadır. EKG aktarımı sırasında veri gerçek zamanlı olarak görüntülenmektedir. Veritabanına aktarılan EKG verilerine geliştirilen kullanıcı web ara yüzü üzerinden erişilip çeşitli incelemeler de yapılabilmektedir.

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Teknolojik alandaki gelişmeler, TKB geliştirme kartlarının gelişmesine olanak sağlamıştır. Yeni teknolojiler kullanılarak gelişmiş yeni kartlar üretilmekte ve çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

Yapılan çalışmada, ARM tabanlı işlemciye sahip yaygın kullanılan TKB geliştirme kartları incelenmiştir. BeagleBoard, BeagleBone, PandaBoard ve Raspberry PI kartlarına ait özellikler sunulmuştur. Herhangi bir alanda yapılacak olan çalışmada, kartlardan biri diğerinin yerine yaklaşık olarak aynı özelliklere sahip olmasından dolayı rahatlıkla kullanılabilir. Verilen örnek çalışmalarda kullanılan BeagleBoard-xM ve Raspberry Pi yerine diğer TKB'dan herhangi biri de kullanılabilir.

PandaBoard kartlarında, üretildiği tarihten itibaren kablosuz ağ özelliği bulunurken, BeagleBone ve Raspberry PI kartlarının son sürümlerinde bu özellik eklenmiştir. Diğer kartlarda ise entegre kablosuz ağ özelliği olmasa bile USB adaptörler kullanılarak kablosuz ağ özelliği desteklenmektedir. PandaBoard kartları, eski kartlar olmasına rağmen üzerinde bulunan işlemci ve bellek özelliği sayesinde görüntü işleme uygulamalarında iyi performans göstermektedir. Kartın boyutları ve maliyeti diğer geliştirme kartlarına göre fazla olmasından dolayı ve yeni sürümlerinin olmamasından dolayı daha az tercih edilir durumdadır.

Raspberry PI kartları maliyetinin düşük olması ve her geçen gün yeni sürümler çıkarılarak özelliklerinin artırılması sebebiyle en yaygın kullanılan geliştirme kartlarıdır. Raspberry PI kartlarının üzerine takılan eklenti bileşenler ile çok sayıda algılayıcı ile problemsiz haberleşilme özelliğine sahiptir.

BeagleBoard geliştirme kartları son zamanlarda biraz daha az tercih edilir duruma düşse de, son çıkarılan BeagleBoard-x15 sürümünün yüksek işlemci ve bellek kapasitesi ile yaygın olarak görüntü işleme uygulamalarında tercih edilecektir.

BeagleBone kartlarının son sürümleri üzerine eklenen Grove bağlantı ara birimi sayesinde, Grove algılayıcılarla haberleşmesi kolay bir hale gelmiştir. Ayrıca kablosuz ağ ve Bluetooth özelliğinin desteklenmesi önemli bir avantaj haline gelmiştir. Ortamda bulunan birden fazla BBGW kartları üzerine takılan algılayıcılardan verileri aldıktan sonra, bir diğer BBGW kartına veya merkezi düğüm olarak görev yapan cihaza kablosuz olarak iletebilmektedir.

TKB, kartları üzerine açık kaynak kodlu işletim sistemleri kurulduğundan yapılan uygulamalar ve geliştirilen yazılımlar düşük maliyetli olmaktadır. Geliştirilen yazılımların TKB içerisinde çalışması için, benzer bir işletim sistemi kurulu bilgisayarda çapraz derleme ile yazılımın oluşturulması ve karta yüklenmesi gerekmektedir. Bir başka yöntem ise, kart içerisinde derleme işleminin yapılmasıdır. Kart içerisinde derleme yapılarak uygulama yazılımının oluşturulması, yazılımın özelliklerine uzun zaman alabilmektedir.

#### Teşekkür

Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından BAP 2013/68HDP ve BAP2014/69HDP numaralı projelerle desteklenmiştir.

## Kaynaklar

- [1] Solak S., “Gezgin Robotların Konum Belirleme ve Engel Sakınım Probleminin Tek Kartlı Bilgisayar Sistemi Kullanılarak Çözümü”, (doktora), Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri enstitüsü, (2016).
- [2] [https://en.wikipedia.org/wiki/Single-board\\_computer](https://en.wikipedia.org/wiki/Single-board_computer), (Ziyaret Tarihi: 30 Mayıs 2016)
- [3] Alee N., Rahman M., Ahmad R.B., “Performance Comparison of Single Board Computer: A Case Study of Kernel on ARM Architecture”, IEEE The 6th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE 2011), SuperStar Virgo, Singapore, 3–5 Ağustos, 521-524, 2011.
- [4] Solak S., Bolat E.D., “A Real Time Industrial Application of Single Board Computer Based Color Detection System”, IEEE 8th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO'13), Bursa, Türkiye, 28–30 Kasım, 353-357, 2013.
- [5] Gomez, A., Cuinas D., Catala P., Xin L., Li W., Conway S., Lack D., “Use of Single Board Computers as Smart Sensors in the Manufacturing Industry”, Procedia Engineering, 2015, 132, 153 – 159.
- [6] Yakut O., Solak S., Bolat E.D., “Implementation of a Web-Based Wireless ECG Measuring and Recording System”, ICMPMS 2015 : 17th International Conference on Medical Physics and Medical Sciences, İstanbul, Türkiye, 26–27 Ekim, 9(10), 815-818, 2015.
- [7] Kasundra C.T., Shirsat A.S., “Raspberry-Pi Based Health Monitoring System”, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, 2015, 4(8), 7147 – 7154.
- [8] Yakut O., Solak S., Bolat E.D., “Measuring ECG Signal Using e-Health Sensor Platform”, International Conference on Chemistry, Biomedical and Environment Engineering (ICCBEE'14), Antalya, Türkiye, 7-8 Ekim, 65 – 69, 2014.
- [9] Gupta M.S.D., Patchava V., Menezes V., “Healthcare based on IoT using Raspberry Pi”, IEEE, 2015 International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT), Noida, India, 8–10 Ekim, 796-799, 2015.
- [10] Toshniwal K., Conrad J.M., “A Web-based Sensor Monitoring System on a Linux-based Single Board Computer Platform”, IEEE Proceedings of the Southeast Con 2010 (SoutheastCon), Concord, NC, USA, 18 – 21 Mart, 371-374, 2010.
- [11] More V., Kumar H., Kaingade S., Gaidhani P., Gupta N., “Visual Odometry using Optic Flow for Unmanned Aerial Vehicles”, IEEE 2015 International Conference on Cognitive Computing and Information Processing (CCIP), Noida, India, 3–5 Mart, 1-6, 2015.
- [12] Damodaran S., Stanley P.K., “Herbal leaves feature extraction using BeagleBoard”, IEEE 2014 International Conference on Electronics and Communication Systems (ICECS), Coimbatore, India, 13–14 Şubat, 1–8, 2014.
- [13] Nayyar A., Puri V., “A Review of Beaglebone Smart Board's- A Linux/Android Powered Low Cost Development Platform based on ARM Technology”, IEEE 2015 9th International Conference on Future Generation Communication and Networking, Jeju Island, South Korea, 25–28 Kasım, 55 -63, 2015.

- [14] <https://en.wikipedia.org/wiki/BeagleBoard>, (Ziyaret Tarihi:31 Mayıs 2016)
- [15] Beagleboard.org, BeagleBoard-xM Rev C System Reference Manuel, 2010, <http://www.beagleboard.org>, (Ziyaret Tarihi: 31.05.2016), Amerika Birleşik Devletleri
- [16] Beagleboard.org, BeagleBoard System Reference Manuel Rev C4, 2009, <http://www.beagleboard.org>, (Ziyaret Tarihi: 31.05.2016), Amerika Birleşik Devletleri
- [17] <http://elinux.org/Beagleboard:BeagleBoard-X15>, (Ziyaret Tarihi: 31 Mayıs 2016)
- [18] Beagleboard.org, BeagleBone System Reference Manuel Rev A6, 2012, <http://www.beagleboard.org>, (Ziyaret Tarihi: 07.06.2016), Amerika Birleşik Devletleri
- [19] Beagleboard.org, BeagleBone Black System Reference Manuel, 2013, <http://www.beagleboard.org>, (Ziyaret Tarihi: 07.06.2016), Amerika Birleşik Devletleri
- [20] BeagleBone Black System Reference Manuel, 2015, <http://www.seeedstudio.com>, (Ziyaret Tarihi: 07.06.2016)
- [21] Pandaboard.org, OMAP<sup>TM</sup>4 PandaBoard System Reference Manual, 2010, <http://www.pandaboard.org>, (Ziyaret Tarihi: 08.06.2016)
- [22] Pandaboard.org, OMAP4460 PandaBoard ES System Reference Manual, 2011, <http://www.pandaboard.org>, (Ziyaret Tarihi: 08.06.2016)
- [23] [https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi), (Ziyaret Tarihi: 09.06.2016)
- [24] Vujovic V., Maksimovic M., “Raspberry Pi as a Sensor Web node for home automation”, *Computers and Electrical Engineering*, 2015, 44, 153-171.
- [25] [https://tr.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](https://tr.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi), (Ziyaret Tarihi: 10.06.2016)
- [26] Solak, S., Doğru Bolat, E., Tuncer, A., & Yıldırım, M. (2016). A Low Cost Single Board Computer Based Mobile Robot Motion Planning System for Indoor Environments. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 4(4), 95-102. doi:<http://dx.doi.org/10.18201/ijisae.23301>.
- [27] Solak S., Bolat E.D., “Distance Estimation using Stereo Vision for Mobile Robot Applications”, *IEEE 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO'15)*, Bursa, Türkiye, 26–28 Kasım, 685-688, 2015.