



**Review Paper / Derleme Makalesi**

**THE COMPARISON OF SI-BASED CONVENTIONAL MICROCONTROLLER  
AND FPGA CHIPS IN CONTROLLER APPLICATIONS**

**Kamuran SAMANCI, Aslıhan TÜFEKÇİ\***

*Gazi Üniversitesi, Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi, Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Gölbaşı-ANKARA*

**Received/Geliş: 20.09.2011 Revised/Düzelme: 03.10.2011 Accepted/Kabul: 12.12.2012**

---

**ABSTRACT**

The objective of this study is to compare and document pros and cons of FPGA (Field Programmable Gate Arrays) chips, designed as microcontrollers, against Si-based conventional microcontroller chips. FPGA chips have become extremely popular in recent years and sometimes have been referred to as “chameleon” due to their flexibility and compatibility in various applications. The comparison has been conducted under five different qualities of microcontrollers: performance and functionality, cost, programmability, power management/consumption, and multilateral flexibility. In the course of this study, no specific brand or model is referenced.

**Keywords:** Microcontroller applications, Si-based microcontroller chips, FPGA.

**DENETLEYİCİ UYGULAMALARINDA FPGA YONGASININ SİLİKON YAPILI GELENEKSEL  
MİKRO DENETLEYİCİ YONGALARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

**ÖZET**

Bu çalışmanın amacı, son yıllarda popüler olarak kullanılan ve bu kalemün yonga olarak da adlandırılan FPGA (Field Programmable Gate Arrays) yongasının, “mikro denetleyici” olarak tasarlanmış halinin, silikon yapıya sahip geleneksel mikro denetleyici yongaları ile karşılaştırılması, avantaj ve dezavantajlarının belirtilmesidir. Karşılaştırma işlemi performans, fonksiyonellik, maliyet, programlanabilirlik, güç yönetimi/tüketimi ve çok yönlülük/esneklik başlı olarak beş başlık altında gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma yapılırken herhangi bir firmanın herhangi bir yongası referans olarak alınmamıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Denetleyici uygulamaları, silikon yapıli mikro denetleyiciler, FPGA.

---

**1. GİRİŞ**

Günümüzde endüstriyel ürünlerde büyük bir rekabet yaşanmaktadır. Bu rekabet kendisiyle birlikte; hızlı ve kısa sürede üretimin gerçekleştirilmesini, üretilen malların hızlıca uygun pazarlara sunulmasını, pazarlara sunulan malların kalitesini, ömrünü ve müşteri memnuniyetini önemli ölçüde etkilemektedir.

Müşteri memnuniyetine sunulan özellikli ürün gruplarından biri de makine grubudur. Makinelerin belirli bileşenleri vardır; makine gövdesi, makine motoru ve elektronik kontrol ünitesi gibi. Akıllı olarak nitelendirdiğimiz tüm makinelerde mutlaka bir denetleyiciye (kontrol

---

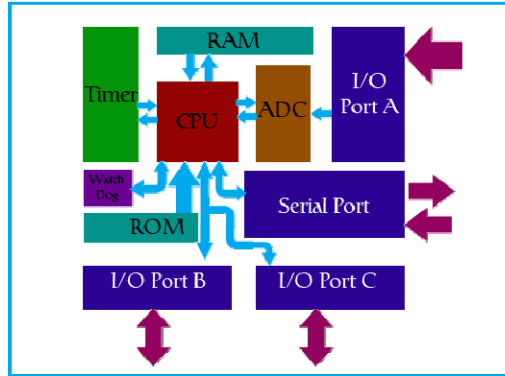
\* Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: asli@gazi.edu.tr, tel: (312) 485 11 24/1136

ünitesi) gereksinim vardır. Denetleyici; veri depolama, veri karşılaştırma ve çoklayıcıyı kontrol etme gibi fonksiyonları yerine getirir. Çoğu denetleme ünitesi, birçok kontrol programına sahip bir elektronik donanım platformundan oluşmaktadır.

Geleneksel olarak, makineler için donanımsal denetleme platformu olarak üç farklı seçenek mevcuttur: Digital Signal Processors (DSPs), Field Programmable Gate Arrays (FPGAs) ve geleneksel mikrodenetleyiciler (Micro Controller Unit - MCU).

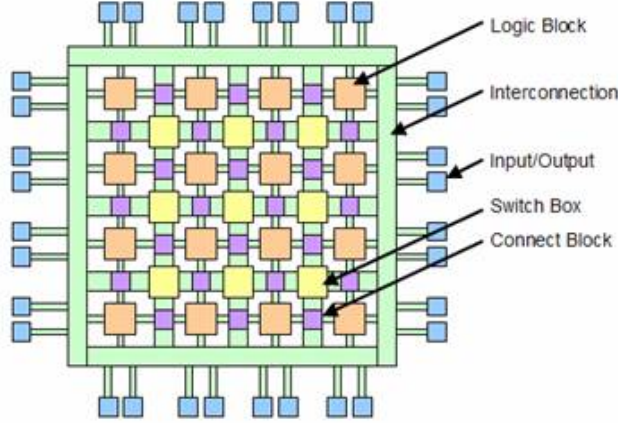
## 2. FPGA VE ASIC MİKRODENETLEYİCİLER

Mikro denetleyiciler (MCU); tek bir silikon yonga üstünde birleştirilmiş bir mikroişlemci, veri ve program belleği, sayısal giriş ve çıkışlar, analog girişler ve daha fazla güç veren ve işlev katan öteki çevre birimlerini (zamanlayıcılar, sayaçlar, kesiciler, analog-sayısal çeviriciler) barındıran mikrobilgisayarlardır. En basit mikro denetleyici mimarisi bir mikroişlemci, bir bellek ve giriş/çıkış ünitesinden oluşur. Mikroişlemci, merkezi işlemci ünitesi (CPU - Central Processing Unit) ve bir kontrol ünitesinden oluşur. CPU mikroişlemcinin beynini oluşturur, aritmetik ve mantıksal işlemlerin gerçekleştirildiği yerdir. Kontrol ünitesi mikroişlemcinin dâhili işlemlerini kontrol eder ve istenen komutları yerine getirmek için kontrol sinyallerini diğer bölümlere gönderir.



Şekil 1. Bir Mikro denetleyici içyapısını oluşturan birimler

FPGA (Field Programmable Gate Arrays-Alan Programlanabilir Kapı Dizileri), yapılarında bulundukları “mantık blokları” ve bu bloklar arasında çoklu bağlantıları (interconnections) sağlayan ve tekrardan yapılandırılabilen tellerden oluşmaktadır. Bu teller ve mantık blokları, en basit AND/OR kapılarından en karmaşık bileşimsel fonksiyona kadar yapılandırılabilir. Ayrıca FPGA’ler flip-flop gibi basit bellek birimleri ve hatta komple bellek ünitelerini bulundurabilirler. FPGA yongalarının orijinini PROM (Programmable Read Only Memory) ve PLD’ler (Programmable Logic Devices) oluşturmaktaydı. Günümüzde ise FPGA teknolojisi öyle bir noktaya geldi ki; dijital sinyal işlemeden yazılımsal tanımlı radyolara, uzay ve savunma sistemlerinden ASIC ön-ürün oluşturmaya, medikal çalışmalardan ses tanımlama sistemlerine, bilgisayar donanım benzetimlerinden kriptolojiye kadar birçok alanda kullanılabilecek kadar geliştirilmişlerdir[1].



Şekil 2. Bir FPGA'nın iç yapısı

### 3. DENETLEYİCİLERİN BİRÇOK YÖNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

Bir kontrol edici sistemin tasarlanmak istendiği senaryosu üzerinde düşünecek olursak;

- Bir silikon yapıli geleneksel MCU
- Bir FPGA yongası

Seçeneklerinden hangisinin ve neden kullanılması gerektiği sorusu üzerinde duralım. Böyle bir karşılaştırmanın gerçekleştirilebilmesi için öncelikle birtakım kriterlerin belirtilmesi gerekmektedir. Müşteri memnuniyetini sağlamaya yönelik olarak aşağıdaki beş kriter göz önünde bulundurulabilir:

- a) Maliyet bazlı karşılaştırma,
- b) Performans ve fonksiyonellik bazlı karşılaştırma,
- c) Programlanabilirlik – yapılandırılabilirlik bazlı karşılaştırma,
- d) Güç tüketimi ve güç yönetimi bazlı karşılaştırma,
- e) Çok yönlülük ve esneklik bazlı karşılaştırma.

Yukarıda belirtilen kriterlere göre yongalar birbirleri ile karşılaştırılırsa:

#### 3.1. Maliyet Bazlı Karşılaştırma

Maliyet, üretimde bir mal elde edilinceye kadar harcanan değerlerin toplamıdır[2]. Karşılaştırma kriteri olarak “maliyet” unsuru göz önüne alındığında iki farklı nokta ortaya çıkmaktadır. Birincisi “BOM(Bill of Materials)” yani bir projede kullanılan tüm devre elemanları ve PCB büyüklüğü ile ilgili olan maliyettir[3]. Bu maliyet türünde projede kullanılacak birçok efektif devre elemanını FPGA yongasına yükleyebiliyor olmanın verdiği bir avantaj bulunmaktadır. Tabii bu özellik FPGA’ler için sadece kart üzerinde sağladığı bir avantajla kalmayıp, hem projenin karmaşasını azaltmakta hem de test imkânını arttırmakta ve dahası diğer devre elemanları için harcanacak stoklama maliyetini ortadan kaldırmaktadır[4].

Fakat ikinci noktaya bakıldığında en basit bir araştırma-geliştirme süreci için bile, mikro denetleyicilerin hazır ortamlar (RAM, ADC... gibi çevre birimleri ve bloklar) sağlamaları bunun aksine FPGA’lar için sıfırdan ortam oluşturulması söz konusu olduğundan, haliyle FPGA’lar ile çalışmak daha maliyetli bir çalışmadır. Çünkü bu, iş gücü ve zamanın parasal karşılığa dönüşümü anlamına gelmektedir.

Maliyet unsuruna bir de tümleşik devre (Integrated Circuit - IC) üretici firmaları tarafından bakmak gerekirse durum biraz daha değişmektedir. Yeni bir yonga üretmenin en önemli aşaması ön ürünler oluşturma safhasıdır. Bilindiği gibi üretici firmalar için özel amaçlı olarak üretilen yongaların (MCU gibi) pazara sunulabilmesi epeyce süre almaktadır. Bunun nedeni uzun süren tasarım oluşturma (ön ürün yapma) aşamasıdır. Prototip yaparken çalışma süresini düşürebilecek en kesin noktalardan biri doğrulama (verification) süreçleridir. Geleneksel olarak tasarım doğrulama; ya formal doğrulama ya da bilgisayar benzetimli doğrulama şeklinde yapılmaktadır[5]. ASIC tasarım gerçekleştirilirken bilgisayarlı benzetim ile her ne kadar hızlı bir şekilde doğrulama yapılsa da, muhakkak gerçek ortamda tasarımın denemesi gerekmektedir. Tasarımcılar tasarımın tam ve sorunsuz çalıştığından emin olmak isterler.

Fakat doğrulama işlemine bir de FPGA gibi programlanabilir IC'ler tarafından bakılması önemlidir. Programlanabilir IC'lerde fabrikalama gecikmeleri olmayıp, doğrudan hedef ortam üzerinde test edilebilecek ön ürünler oluşturma olanağı sağlanmaktadır. Ayrıca çok kısa süre içinde tasarıma verilmesi gereken küçük ayarlamaları yapabileceği de sağlamaktadır [6].

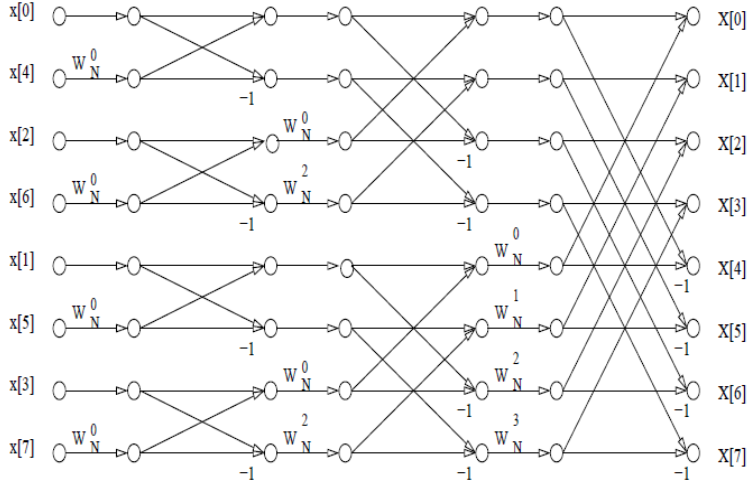
FPGA'larda maliyet konusunda neredeyse sıfır dolaylarında olan NRE (non-recurring engineering) maliyeti MCU ön ürünleri oluşturma konusunda da büyük avantajlar sağlamıştır. Böylelikle kayda değer sayıda geleneksel MCU'nun ön ürün oluşturma çalışması FPGA'lar üzerinden yapılmaya başlanmıştır [7].

Önemli bir nokta ise; FPGA'ların sistem tekrarlı güncellemeleri, ufak tefek hataların ayıklanmaları ve tunning denilen ayarlamalar konusundaki başarısı geleneksel MCU'lara karşı maliyet konusunda önemli ölçüde fark atmaktadır[7].

### **3.2. Performans ve Fonksiyonellik Bazlı Karşılaştırma**

Önceleri performans ve fonksiyonellik yönünden geleneksel MCU'lar ile FPGA'lar arasında büyük bir fark bulunmaktaydı. Sonrasında ise FPGA'ların fabrikalama işlemleri 180 nm (nano metre, 0.18 mikron)'dan 130 ve 90 nm'a (günümüzde 65 nm çalışmaları devam etmektedir) kadar küçültüldü[8,9]. %80'e varan bir yoğunluk (çekirdek yoğunluğu) oranlı kazanım sayesinde birçok uygulama için FPGA'ların performansları tatmin edici hale geldi[8]. İlk zamanlarında FPGA'lar sadece küçük ölçekli uygulamalar ve ön ürünler oluşturmak için uygun iken günümüzde birçok geniş ölçekli ve karmaşık uygulamalarda kullanılmaktadırlar.

FPGA üreticisi firmalar özellikle geleneksel MCU ile karşılaştırmalı "performans yeterliliği" üzerinde durmaktadırlar. Yüksek performans gerektiren uygulamalar için, FPGA'lar standart mikro denetleyiciler ile aynı düzeyde performans sağlayabilmek için, fonksiyonların rahatlıkla uygulanabileceği kadar yeterli mantıksal kaynağı sunmaktadır. Geleneksel bir MCU programı bir zaman darbesi (time/clock pulse) içinde bir adım ilerleyecek şekilde (one step at a time) çalışır. 40 MHz clock'a sahip bir PIC mikro denetleyicisi göz önüne alındığında; bir komut (instruction) 4 clock darbesi ile gerçekleştirilmektedir. Bu durumda her 8 mikro saniyede ancak bir 8 bitlik toplama işlemi gerçekleştirilebilmektedir(8 bit\*4 cycle\*1/40sn = 8 mikrosaniye). FPGA'larda ise durum oldukça farklıdır. FPGA'lar da lojik elemanlar arasındaki bağlantıları yapılandırmaktadır (sigortaları yakma-configuring). Bu durumda gereksinim duyulması halinde yüzlerce toplayıcıyı aynı anda çalışabilecek şekilde oluşturmak mümkündür. Buna "paralel yapılandırma" denmektedir. Bununla birlikte FPGA'larda tipik olarak clock sinyalleri daha yüksektir (100-300MHz). Paralel yapılandırmanın sağladığı kolaylık ile her bir clock döngüsü ile bir 8 bit toplama işlemi kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir.



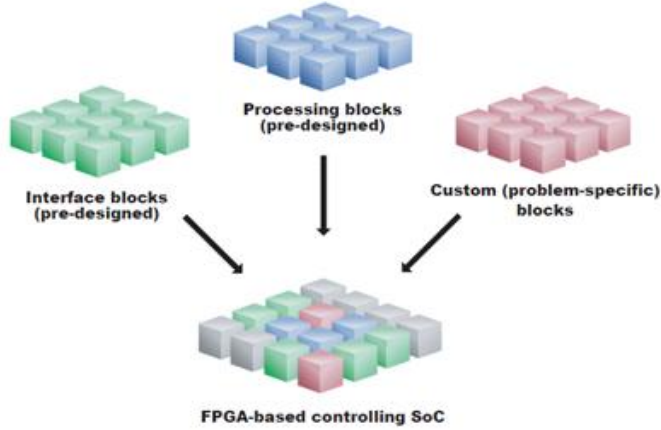
Şekil 3. FPGA’de paralel işlem yapabilme (paralel yapılandırma)

Paralel işlem yapabilme özelliğinde; farklı verilere aynı anda çoklu olarak erişilebilir, aynı anda çalışabilecek farklı fonksiyon ve deyimlere (statement) erişilebilir ve aynı anda hem veri hem de fonksiyon ve deyimlere erişilebilir/işleme kolaylığı bulunmaktadır (bkz. Şekil 3). Aslında esas olarak alınan iki temel teknikten birincisi fonksiyonel paralelizm ikincisi ise veri paralelizmdir[10]. Paralel işlem yapabilme özelliği özellikle resim ve sinyal işlemede, çoklu ortam, robotik, haberleşme, şifreleme, ağ ve hesaplama işlemlerinde FPGA’ları popüler duruma getirmektedir.

### 3.3. Programlanabilirlik – Yapılandırılabilirlik Bazlı Karşılaştırma

Geleneksel mikro denetleyicilerde hazır olarak bulunan ve test edilmiş ADC, Timers, DMA, UART, SPI gibi bloklar (çevre birimleri) bulunmaktadır. Bu blokların bulunması kullanıcılara çok miktarda uygulamayı daha kolay, daha esnek, daha hızlı, maliyeti daha düşük, daha kısa sürede, sonraları daha kolay değiştirilebilir ve daha az bilgi ve beceri ile gerçekleştirebilme olanağı sağlamaktadır. Bir FPGA yongası ile bunları gerçekleştirmeye çalışmak gayet zor bir iştir.

Geleneksel mikro denetleyicilerde programlama işlemi içlerinde buldukları çevre birimlerinin (Ram, İkincil bellek vs. gibi) yazılımsal olarak kısmi programlanmalarından ibarettir. Bir mikro denetleyiciyi tümünden programlayabilmek söz konusu değildir. Fakat FPGA’lar için bu durum tamamen farklıdır. Çünkü FPGA’lar tümünden programlanabilen (yapılandırılabilen) tümeleşik devrelerdir. FPGA’larda yalnızca yazılımlar aracılığıyla kısmi olarak programlanabilmeleri ile kalmayıp aynı zamanda, fiziksel olarak da yapılarında barındırdıkları sigortaların yakılmaları ile oluşturulan yollar (path) ile de yapılandırılabilirler.



Şekil 4. Bir FPGA yongasının yapılandırılması

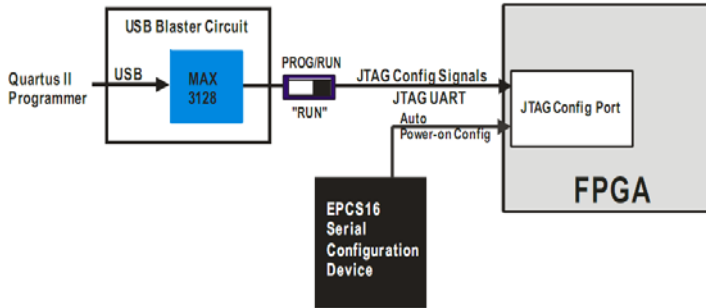
Bu olayın orijinine inildiğinde çok güzel bir özellik olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durumu birkaç örnek ile açıklamak gerekirse:

FPGA yapılandırma tekniklerinden en önemli olanlarından ikisi üzerinde durmakta fayda vardır;

- JTAG Yapılandırma (Joint Test Action Group Configuring)

Bu programlama metodu IEEE standartları ile ismini almıştır. Bu yapılandırma yöntemi ile yapılandırma bit dalgası doğrudan FPGA yongası içerisine yüklenir. FPGA yongası bu yapılandırma bitlerini karta güç uyguladığı müddetçe tutar. Güç kesildiğinde yapılandırma biti kaybedilir[11].

FPGA'yı JTAG kipte yapılandırmak için:

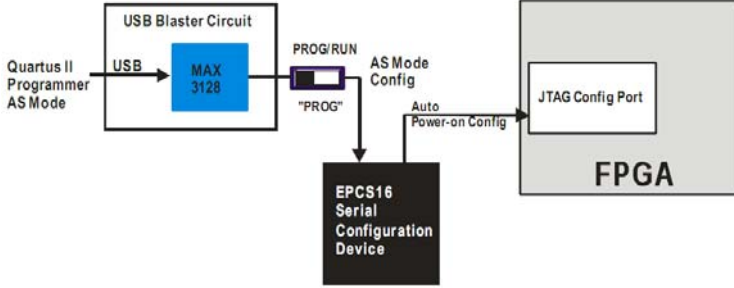


Şekil 5. JTAG yapılandırma şeması

- AS Yapılandırma (Active Serial Configuring)

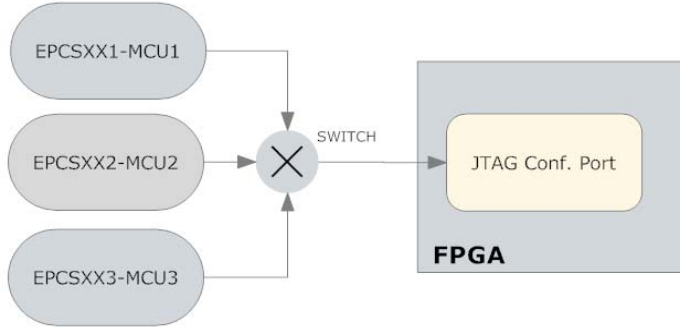
Bu metotta yapılandırma bit dalgası Altera EPCS16 seri EEPROM çipi içerisine yüklenir. Bu yöntem uçucu olmayan (geçici olmayan) bir yükleme sağlar. Bu nedenle güç bağlantısı kesilse bile yonga veriyi tutmaktadır. Tekrardan karta güç verildiğinde EPCS16 içerisindeki yapılandırma verisi otomatik olarak FPGA yongasına yüklenir [11].

FPGA'yı AS kipte yapılandırmak için:



Şekil 6. AS yapılandırma şeması

Önemli uzay çalışmalarında, özellikle minimum ölçekli devre tasarımı gereksinimlerinde “AS yapılandırması” ciddi anlamda faydalar sağlamaktadır[12]. Bir FPGA yongası üzerine Şekil 6’da görülen EPCS16 benzeri ikiden fazla yapılandırma belleği kullanılırsa, sistem ister “yedekli” ister “çeşit uygulamalı” olarak rahatlıkla kullanılabilir[12]. Önce ATMEL 8051 mikro denetleyicisi olacak şekilde yapılandırılan bir FPGA yongasının daha sonra aynı yonga aynı devre üzerinde çok basit bir anahtarlama kullanılarak (dijital veya analog anahtarlama) bir PIC16f877 mikro denetleyici şeklinde kullanılabilme lüksüne sahip olmak istemez miydiniz?



Şekil 7. Bir FPGA yongasının çoklu yapılandırma yongaları ile yapılandırılması

FPGA'ların “tekrardan programlanabilirlik (yapılandırılabilirlik)” özelliği ile hem risklerin azaltılması hem de maliyetin azaltılması konusu büyük bir avantajdır. Özellikle “alansal programlanabilirlik – field programmable” özelliği ile çalışır durumdaki uygulamaları modifiye edebilme veya uygulama upgradeleri ile geleneksel MCU uygulamalarından tamamıyla ayrılmaktadırlar. Ayrıca FPGA uzaktan internet üzerinden rahatça upgrade edilebilir. Bir FPGA yongası için eskime, zamanı geçme gibi bir durum söz konusu olamaz. Çünkü, ilerleyen zaman içerisinde tekrardan yeni versiyon ile tasarlanabilme söz konusudur.

FPGA yongaları ile uygulama gerçekleştirmek karmaşık bir işlemdir. Uygun yazılımsal araçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat FPGA tasarımında kullanılan araçlar her geçen gün gelişmektedir. Öyle ki bir kısım araçlar üst düzey dillere hatta matlab/simulink uygulamalarına bile eklenmiştir. FPGA yongaları için üst düzey diller ile çalışabiliyor olmak çok önemlidir. Çünkü üst düzey diller uygulama fonksiyonlarını paketleyerek FPGA içerisine verebilme olanağı

sağlayabilmektedir. Ayrıca bu fonksiyon paketleri bir veya birden fazla mikro denetleyicinin bir araya gelmesinden de oluşmuş olabilmektedir. Her yonga teknolojisi tasarım araçlarına ihtiyaç duyar. FPGA üreticisi firmalar üretmiş oldukları yongalar için araçlar oluşturmaktadırlar. Pazar paylarını arttırabilmek için oluşturdukları araçları fonksiyonellik yönünden donatmışlardır. Öyle ki bir kısım firmalar hata ayıklama araçlarından dsp araçlarına, gömülü işlemcilerden üçüncü parti firma araçlarına kadar birçok yerleşik fonksiyon ve araç sunmaktadırlar.

### 3.4. Güç Yönetimi ve Güç Tüketimi Bazlı Karşılaştırma

Güç tüketimi konusunda, FPGA'lar benzer mantıksal uygulamalar için çok sayıda transistöre ihtiyaç duydukları için, güç tüketimleri, yoğunlukları (transistör sayısı) ile doğrudan alakalıdır. Süreç, devre boyutu yapı düzeyi (architecture level) bazında yapılan yenilikler ve düzenlemeler ile artan yoğunluğun aksine güç tüketimi sınırlanmaya çalışılmıştır. Son zamanlarda FPGA yapılarının 65 nm'ye indirme çalışmaları ile yaklaşık %50'ye varan güç tüketiminden kazanç sağlanmıştır[9]. Unutulmamalıdır ki, FPGA yongalarının geleneksel MCU yongaları karşısındaki en büyük eksikliklerinden biri güç tüketimidir.

Çoğu kritik uygulamalarda güç yönetimi çok önemli bir unsurdur. Bir mikrodenetleyici ile “güç tasarrufu” modunda çalışabilirsiniz. Bir taşınabilir elektronik ürün işletim biriminin çalışması için gerekli olan 100 mW'tır[13]. Sistem enerjisini muhafaza edebilmesi ve daha verimli kullanabilmesi için saniye başına mikro watt'lar düzeyinde enerji harcaabilecek bir “standby” moduna ihtiyaç duymaktadır. Gerçi günümüzde “Low power FPGA” ler de üretilmeye başlanmalarına rağmen bunlar üzerinde optimizasyon gerçekleştirmek için çokça vakit harcamak gerekmektedir. Güç tüketiminin önemli olduğu uygulamalarda mecburen güç yönetimi için gerekli yapılandırılmaları (optimizasyonlar) gerçekleştirmek gerekebilir.

**Çizelge 1.** Xilinx Spartan serisi bir FPGA yongasının güç tüketim bilgisi

<i>Resource</i>	<i>Static power</i>	<i>Dynamic power</i>
Clock	–	19%
Logic	20%	19%
Routing	36%	62%
Configuration Memory	44%	–

Çizelge 1'de de örnek olarak alınan bir FPGA yongası için dikkat edilen nokta şudur; static power modunda enerjinin büyük kısmı bellek işlemleri için harcanmaktadır. Low power FPGA'larda, misal olarak bellek uygulamalarında voltaj derecelendirme, güç ayırma (power gating) ve düşük kaçak (low leakage) gibi teknikler kullanarak güç tüketimi azaltılmaya çalışılmaktadır [13, 14].

### 3.5. Çok Yönlülük ve Esneklik Bazlı Karşılaştırma

Çoğu projelerde farklı uygulamaları farklı mikro denetleyicilerin (veya mikroişlemcilerin) yapması istenmektedir. Bu; farklı sistemler için kontrolün, denetimin ve doğruluğun testi için istenen bir özelliktir. Farklı sistemlerin ara yüzlerinin birbirinden ayrılması ile sistemler birbirinden izole edilmiş olup, daha basit ve daha kolay denetlenebilir yapılara sahip olmuş olurlar. Yeni nesil FPGA yongalarına bir veya birden fazla mikroişlemci çekirdeği (core) yüklenebilmektedir. Böylelikle tek yonga üzerinde birden fazla sistem kontrol edilmiş olunur ki, böylelikle çoklu-ışlemcili bir FPGA yongasına sahip olmanın avantajları da elde edilmiş olunacaktır[15, 4]. Bu tür çok işlemcinin tek bir yonga üzerinde tasarımına “Multiprocessor System on a Chip (MPSoC)” yaklaşımı denmektedir[14].



Aynı şekilde bir FPGA yongası bir mikro denetleyici olarak da tasarlanabilir. Düşünüldüğünde bir mikro denetleyici yongasını tasarlamak epeyce uzun vakit alan, maliyetli, uzun teknolojik gelişmelerin takibi ile gerçekleştirilebilen ve silikon üzerinde fabrikasyona hazır hale getirebilmesi oldukça zor bir süreçtir. Fakat aynı işlem için bir FPGA kullanıldığında, daha kısa sürede, daha ucuz ve daha az zahmet ile kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir[16].



Şekil 8. Bir mikro denetleyicinin FPGA veya geleneksel MCU olarak dizaynı için gerekli olan proje süreleri [4]

Mikro denetleyici üretici firmalar için sorunlu olan bir husus da “eskime - obsolescence” sorunudur. Tek bir defada oluşturulan mikro denetleyici sadece o tasarım ile kalır. Üzerinde geliştirme yapılamaz. Yapmak istendiğinde farklı bir ürün olarak ortaya çıkmaktadır. Fakat FPGA’lar için bu söz konusu değildir. Mevcut tasarımı geliştirmek, performansını arttırmak sıradan bir iştir [4].

Özellikle günümüzde FPGA üretici firmalarının yoğun çaba ve gayretleri ile ortaya çıkarmaya çalıştıkları “platform” anlayışı, FPGA’ların dünya çapına yayılmasında büyük önem arz etmektedir. Çünkü FPGA’ların tasarım aşaması oldukça meşakkatli ve çok zaman alıcı bir süreçtir. Bu durumu dezavantaj olmaktan çıkarma çabaları üretici firmaların devamlılıkları için önem taşımaktadır. Oluşturdukları platformlar ile hızlıca pazara sunma ve “NRE (Non-Recurring Engineering)” yani Ar-Ge süreci için kısmi tekrarlamaların en aza indirilmesi ile azalan maliyetleri ciddi anlamda etkilemiş görünmektedir [4].

“Platforma dayalı dizayn” anlayışı beraberinde “platforma dayalı eğitim” kavramının da ortaya çıkmasına neden olmuştur. FPGA üreticisi firmalar özellikle yeni ürettikleri ürünler ile doğrudan eğitim platformları kurarak; hızlı ön ürün oluşturma, hazır uygulamalar sunma ve bunlar için gerekli olan tüm donanımsal ve yazılımsal ortamları sunma şeklindeki çözümleri popüler hale gelmiştir. Öyle ki “easy-to-use” uygulama geliştirme araçları FPGA üretici firmalar için birinci öncelik haline gelmiştir. Haliyle bu tür durumlar kullanıcılara yaramaktadır. Çok masraflı ve zaman alıcı donanımsal ve yazılımsal meseleler ile karşı karşıya kalmaksızın, komple bir sistem tasarımı tek bir sistem üzerinde, hızlı ve daha az maliyetli olarak gerçekleştirilebilmektedir (RSP – Rapid System Prototyping).

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak yapılan araştırmanın amacından yola çıkarak, bir denetleyici ile proje tasarımı gerçekleştirmek istenildiğinde mikro denetleyici yongaları ile FPGA yongalarının avantaj ve

dezavantajlarının bir arada bulunan karşılaştırmalı tablosunun dikkatle incelenmesinin tasarımcılara oldukça önemli yararlar sağlayacağı düşünülmektedir.

MİKRODENETLEYİCİ YONGALARI		FPGA YONGALARI	
Avantajları	Dezavantajları	Avantajları	Dezavantajları
- Kolay programlanabilir. (müşteri tarafı)	- Kullanılmayan birçok fonksiyonlara para ödenebilir. (müşteri tarafı)	- Performans yüksektir. (müşteri tarafı)	- Tasarımda hata ayıklama işlemi oldukça zordur. (müşteri tarafı)
- Güvenirlik garantidir. (müşteri tarafı)	- Yüksek NRE Non-Recurring Engineering maliyeti vardır. (IC üretici firma tarafı)	- Tümyle programlanabilir. (müşteri tarafı)	- Sabit güç tüketimi vardır. (müşteri tarafı)
- Güç tasarruf modu bulunur. (müşteri tarafı)	- Birçok uygulamada düşük performans vardır. (müşteri tarafı)	- Gerekli fonksiyonlar tam olarak sağlamır. (müşteri tarafı)	- Tasarının fonksiyonunu değiştirebilmek daha zordur. (müşteri tarafı)
- Tasarım fonksiyonları kolay modifiye edilebilir. (müşteri tarafı)	- Ar-Ge maliyeti yüksektir. (IC üretici firma tarafı)	- Yeniden (tekrar-tekrar) kullanılabilir. Yonganın eskimesi söz konusu değildir. (müşteri tarafı)	- Oluşturulan tasarımlar daha uzun sürede pazara sunulabilir. (müşteri tarafı)
- Kısa süre içinde pazara sunulabilir. (müşteri tarafı)	- Yonga eskimesi söz konusudur. (müşteri tarafı)	- Kısa zamanlı ön ürün oluşturulabilir. (müşteri tarafı)	- Ar-Ge maliyeti yüksektir. (müşteri tarafı)
		- ASIC (Uygulamaya Özel Entegre Devre) ön ürün oluştururken NRE maliyeti sıfırdır. (müşteri tarafı)	
		- Sinyal işleme uygulamalarında paralel işleme özelliği performans avantajı sağlar. (müşteri tarafı)	

Yukarıda yapılan karşılaştırma sonucunda hem geleneksel MCU teknolojisinde hem de FPGA teknolojisinde bir takım eksiklikler görülmektedir. Her iki teknolojiye eksikliklerin farkında olan yonga üretici firmaları teknoloji konusunda yarış edebilir ürünlerin üretilmesi gerektiğinin farkına varmış bulunmaktadırlar. Daha esnek, performansı daha yüksek, devinim zamanı daha kısa, maliyeti daha uygun yongaların üretilmesi gerekmektedir. Günümüzde, sunduğumuz bu önerilere paralel olarak -structured ASIC” diye adlandırılan yeni türden yongaların üretilme çalışmaları devam etmektedir. Bu yongaların teknolojileri hem FPGA hem de geleneksel silikon yapılu MCU teknolojileri arasında bir yere sahip olup; mantıksal hücreler, bellekler, I/O blokları vs. gibi birçok özelliğe fabrika çıkışında sahiptirler.

Araştırmacıların yapılandırılmış ASIC teknolojisi konusundaki çalışmaları devam etmekte olup, araştırmanın devamı niteliğinde olan eğitim ortamlarında kullanılmak üzere FPGA teknolojisi kullanarak geliştirdikleri doküman yazım ekranı ile ilgili çalışmalarını konuyla ilgilenen araştırmacı ve üreticilerle izleyen yayınlarında paylaşmayı planlamaktadırlar.

**REFERENCES / KAYNAKLAR**

- [1] Mikrokontrolörler, Available from: <http://www.robotmaster.org/mikrodenetleyiciler-mikrokontrolorler.asp> [Accessed October 4, 2011].
- [2] TDK – Türk Dil Kurumu Sözlüğü
- [3] Reid, R. D., Sanders, N.R. “Operations Management”, John Wiley& Sons; pp. 457–458, 2002.
- [4] Karen P., Roger B., “Comparing and Contrasting FPGA and Microprocessor System Design and Development”, Xilinx White Papers, WP213 (v1.1) July 21, 2004.
- [5] Chris W. Mike A., “FPGA based System-on-Module Approach Cuts Time to Market, Avoids Obsolescence”, FPGA and Programmable Logic Journal, Vol. 6, No. 6, Feb. 2005.
- [6] Jouni I., Jari P., Olli V., Hannu T., “DSP system Integration and prototyping with FPGAs”; The Journal of VLSI Signal Processing, Vol. 6, No.2, August 1993.
- [7] Gary M., Xilinx Vice President and General Manager, DVCon- Executive Panel, 2009.
- [8] Frank J. Bartos; “ASICs Versus FPGAs”; Control Engineering; 06.01.2005. Available from: <http://www.controleng.com/search/search-single-display/asics-versus-fpgas/59c1ef0e32.html> [Accessed September 20,2011].
- [9] Bob Kirk; “FPGA-prototyping and ASIC-conversion considerations”; Electronics Design,Strategy, News, October 2007.
- [10] D. Sima, T. Fountain, P. Kacsuk, “Advanced Computer Architecture:A Design Space Approach”; Addison-Wesley, 1998.
- [11] *Terasic Corp.*, “DE2\_70\_User\_manuel\_V101.pdf”.
- [12] Military and Aerospace Applications of Programmable Devices and Technologies Conference (MAPLD), Sept. 26-28, 2000.
- [13] T. Tuan, “A 90nm Low-Power FPGA for Battery-Powered Applications” In proceedings of International Symposium on FPGAs”, February 2006.
- [14] Koji G., “Comparing Power Consumption of FPGAs with Customizable Microcontrollers”, Electronic Engineering Journal, Stanford University, Available from: [http://www.eejournal.com/archives/articles/20080318\\_atmel/](http://www.eejournal.com/archives/articles/20080318_atmel/) [Accessed September 20,2011].
- [15] Joost, R., Salomon, R., “Advantages of FPGA-based multiprocessor systems in industrial applications”; Industrial Electronics Society; IECON 2005. 31st Annual Conference of IEEE Vol. Issue , 6-10, . Page(s): 6 pp, Nov. 2005.
- [16] Craig L., “A Commercial Microprocessor on an FPGA”, Project Report 2008.