

Bilgi ve İletişim Teknolojileri Ürünlerini Geliştirme: Teknik Uzmanlıklar, Altyapılar ve Süreçler

Development of Information and Communications Technology Related Products: Technical Expertise, Infrastructures and Processes

Ömer Aydın

Araştırma ve Geliştirme Departmanı, Netaş, Kurtköy, İstanbul
aydin@netas.com.tr

Özet

1980 öncesinde Bilgi ve İletişim Teknolojileri (BİT) ürünlerinin tasarım sürecinde, ilgili alanlarda yalnızca temel seviyede teknik uzmanlık kullanımı yeterliydi. Günümüzde ise, BİT ürünlerinin tasarım süreçlerinde, çok çeşitli disiplinlerde derinlemesine teknik uzmanlıkların ve yüksek maliyetli altyapıların kullanılması gerekmektedir. Küresel rekabetin hızla artmasının etkisi ile tasarımcılar, maliyet, ürünün pazara girme süresi, ürün ömrü ve güvenilirlik gibi alanlarda iyileştirmeler yapmak, bu iyileştirmeleri yapabilmek için de yeni teknolojiler ve çözümler üretmek zorunda kalmışlardır.

Abstract

Information and Communication Technologies (ICT) prior to 1980 in the design process of products; it was enough to use only a basic level of technical expertise in their respective fields. Today, the design process of ICT products need very deep technical expertise in various disciplines and require the use of costly infrastructure. Rapid increase of the global competition forcing the designers to make improvement on the product cost, time to market, product life and reliability. In order to make these improvements, the designers have had to produce new technologies and solutions

1. Giriş

1980 öncesinde Bilgi ve İletişim Teknolojileri (BİT) ürünlerinin tasarım sürecinde, ilgili alanlarda basit malzeme bilgisi, basit ölçü cihazlarının kullanımı, basit derleyici kullanımı gibi temel seviyedeki teknik uzmanlıkların kullanımı yeterliydi. Ürün tasarımında daha çok işlevsellik ön planda tutulmaktaydı. Ayrıca kullanılan süreç ve altyapılar da bugüne oranla çok daha basitti. Günümüzde ise yeni teknolojiler, yeni malzemeler, değişik üretim yöntemleri, gelişen tüketim kültürü ve bundan dolayı değişen tüketici beklentileri, ürün tasarlamayı karmaşık bir yapıyabüründürmüştür. Bugün ürün tasarımında birçok disiplin alanlarından (antropoloji, sosyoloji, fizik, kimya, çevreye uyumluluk vs.) türetilen bilgiyi sentezleyen çok disiplinli yaklaşım kullanılmaya başlanmıştır. Küreselleşen dünyada

değişen tüketici profilinden dolayı ürünlerin artık gereksinimden değil istekten dolayı satın alınması ve kişilerin kendisini sahip olduğu ürünlerle ifade etmesi, tasarımda kullanıcı ve duygu kavramının ön plana çıkmasına neden olmuştur.

1980'li yıllara kadar mekanik temelli basit cihazlar el emeği kullanılarak üretilmiştir. PCB (Printed Circuit Board) tasarımı ve üretimi, el işçiliği ile letraset ve kâğıt kullanılarak yapılmıştır [1]. Bu koşullar altında, 1980'li yılların güncel teknolojisine sahip BİT ürünleri eş zamanlı olarak Türkiye'de de tasarlanıp üretilenmiştir [2-4].

BİT ürünlerinin tasarımında mikroişlemci kullanımı dönüm noktası olmuştur. Bu sayede program işletebilen ürünler tasarlanabilmiş ve pek çok işlevin yazılım ile yönetilebilir hale gelmesi ürünleri esnek ve genişleyebilir bir yapıya dönüştürmüştür. İlk ticari mikroişlemci 1971 yılında hesap makinesinde kullanmak amacıyla üretilen Intel firmasının 4004 adlı ürünüdür [5]. Günümüzde yüksek teknolojiye geniş bant kablolu veya kablosuz bir ürün veya yüksek kapasiteli IP (Internet Protocol) anahtarlama cihazı tasarlanabilmesi için çok çekirdekli, yüksek işlem gücüne sahip işlemciler gerekmektedir. Bu işlemciler içerisinde giga hertz üstü hızlarda çalışan, çok sayıda ARM (Acorn RISC-Reduced Instruction Set Computing- Machine) ve DSP (Digital Signal Processor) işlemci çekirdekleri ile birlikte amaca özel başka yardımcı işlemciler, özel veri iletim yolları ve veri işleme merkezleri bulunmaktadır [6]. Ürünün işlevlerini yerine getirebilmesi için , çok çekirdekli ve çok karmaşık mimariye sahip tümdevreler üzerinde çalışmak üzere özel olarak geliştirilmiş, on binlerce kaynak dosyasına sahip ve milyonlarca satırdan oluşan, gerçek zamanda yüksek performansla çalışan yazılımların geliştirilmesi gerekmektedir [7]. Yazılımın istenen işlevleri sağlayabilmesi için gereksinim duyacağı çok yüksek hızlı ve kapasiteli veri iletim arayüzlerini de içeren, saniyede yüzlerce milyar işlem gücü sağlayan donanımların da tasarlanması gerekmektedir. Ayrıca mekanik tasarım, ısı analiz, elektromanyetik uyumluluk, ürün bütünlüğü ve güvenilirliği, ürün test ve doğrulama ile saha desteği konularında da teknik uzmanlık ve altyapılar kullanılarak ürünün son kullanıcıya sunulacak hale getirilmesi BİT ürünlerinin tasarımındaki diğer zorunluluktur.

Bu yazıda, günümüz teknolojisine sahip bir BİT ürününün kavramsal tasarımdan, kullanıcıya sunumuna kadar gerekli olan teknik uzmanlıklar, bilgisayar destekli tasarım araçları ile altyapılar ve süreçler anlatılacaktır.

2. Ürün Tasarımı

BİT ürünlerinin sahip olduğu karmaşık teknolojik yapı, bu ürünlerin tasarım sürecinde farklı mühendislik becerilerinin kullanımını gerektirmektedir. Bu mühendislik becerileri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Sistem Mühendisliği
- Donanım ve Mekanik Tasarım
- Yazılım Tasarımı
- Test
- Üretim

2.1. Sistem Mühendisliği

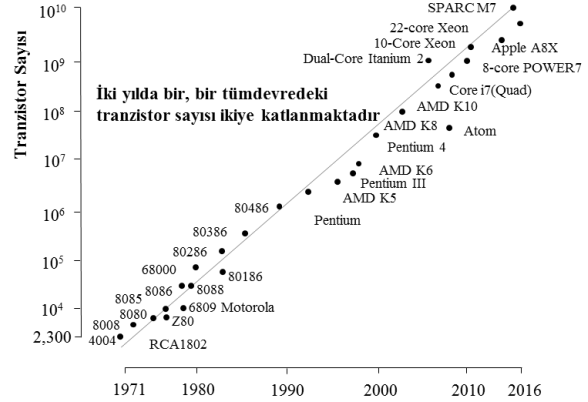
Sistem mühendisliği bir ürünün tasarım, üretim ve bakım faaliyetlerinin zaman ve maliyet unsurları da göz önüne alınarak gerçekleştirilmesini sağlar [8]. Ürün fikrini girdi olarak alır ve yeni bir ürün ya da var olan bir ürün üzerinde yeni bir özellik için olabilirlik çalışması yaparak ürün ile ilgili bir öneri oluşturur. Ayrıntılı bir sistem tasarımından önce sistemin taslak görünümünü ortaya koyar. Sonrasında ayrıntılı özellik tanımlama çalışması yapılarak, sistemin işlevsel davranışları ve temel blokları ortaya konur. Bu aşama büyük ve karmaşık sistemlerin tasarımında en kritik aşamadır. Tasarlanan sistemin uzun yıllar boyunca gelebilecek ek gereksinimleri karşılayabilmesi bu aşamada yapılan tasarımın esnek ve genişletilebilir olmasına bağlıdır. Bu nedenle yukarıda sözü geçen mühendislik becerilerinin hepsinde de uzmanlık seviyesinde deneyim sahibi olmayı gerektirir.

2.2. Donanım ve Mekanik Tasarım

Donanım tasarımı, sistemin veya alt sistemin donanım ve mekanik altyapısının, tanımlanan yazılım gereksinimlerini sağlayacak şekilde, güç tüketimi, iklimsel koşullar (sıcaklık, nem), şok, titreşim, radyasyon, basınç, elektromanyetik uyumluluk (Electro-Magnetic Compatibility: EMC), elektromanyetik girişim (Electro-Magnetic Interference: EMI) ve mekanik ölçütlere uygun olarak tasarlanmasıdır.

Yarı iletken teknolojisinin baş döndürücü gelişim sürecinde en hızlı değişim işlemci ve bellek tümdevrelerinde görülmektedir. Bu gelişimde en büyük sürücü güçler daha yüksek hız (saniyedeki işlem sayısı, veri transfer hızı) ve daha yüksek kapasite (bellek, arayüz sayısı ve çeşidi) gereksinimleri olmuştur. Üretilen tümdevrelerdeki tranzistor boyutlarında, birkaç mikrometreden on nanometreler mertebesine ulaşılmıştır. 1965 yılında Intel'in kurucularından Gordon Moore'un, birim alanda gerçekleştirilebilecek tranzistor sayısının, her iki senede ikiye katlanacağı tahmini, Şekil 1'de de görüldüğü üzere takip eden 50 yılda doğruluğunu kanıtlamıştır [9].

Yüksek orandaki tümleştirmeye bağlı olarak yalnızca işlemciler için değil, sayısal devreler, arayüzler, güç elektroniği, RF ve analog devreler için de aynı kılıfta farklı özellikler için programlanabilir tümdevreler geliştirilmiştir. Her yeni üretilen tümdevre öncekilerden daha fazla doküman ve kural setine sahip olmaktadır. Tasarım, üretim ve test süreçleri daha karmaşık hale gelmekte ve öncekinden farklı yöntem ve araçları zorunlu hale getirmektedir.



Şekil 1: CPU tranzistor sayıları ve Moore Kanunu

Bilgisayar destekli tasarım araçları kullanılmadan önce baskı devre tasarımları el çizimleri ile yapılmıştır. Şablonlar halinde çıkartılan tümdevrelerin aydınlatıcı kâğıtları üzerinde yerleşim çalışmaları yapılmıştır. Tümdevrelerin bacaklarının bağlantıları için gereken bakır yol izleri letaset kâğıtları ile oluşturularak PCB tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bugün ise bilgisayar destekli donanım tasarımı için çok çeşitli ve gelişmiş tasarım araçları bulunmaktadır. Bu araçlar sayesinde yüksek hızlı sinyalleri içeren PCB tasarımları çok katlı olarak yapılabilmekte, çizilen yüksek hızlı sinyallerin benzetimleri yapılarak PCB'de oluşabilecek problemler üretim öncesinde belirlenebilmektedir. Bu tasarım araçlarının 3-boyutlu modelleme özellikleri sayesinde, tasarlanan PCB'nin 3-boyutlu görünümü ile tasarımdaki mekanik hatalar görülebilmektedir. Bu sayede baskılı devre tasarımında yüksek hızlı veri yolları içeren, düşük gecikmeye sahip, kart başına saniyede yüzlerce milyar işlem gücü sağlayan, çok katlı ve birim alanda yoğun devre elemanı içeren kart tasarımları yapılabilmektedir [10].

Teknolojinin gelişimi sonucunda, EMC ve EMI elektronik sistemlerin tasarımında, diğer geleneksel tasarım ölçütleri kadar önemli bir tasarım ölçütü haline gelmiştir [11,12]. Tasarım aşamasında EMC ve EMI'ya yönelik yeterli önlemlerin alınmaması durumunda, gerek tasarım süresi, gerekse donanım tasarımı, mekanik tasarım ve test maliyetleri çok daha yüksek olabilmektedir. Tasarımda baz alınan EMC gereksinimlerinin sağlandığının, testler ile doğrulanabilmesi için yüksek maliyetli test altyapı yatırımları (yansız oda, çeşitli güçlerde sinyal üreteçleri, spektrum analizörleri, antenler vb.) gerekmektedir. Ayrıca yönetmelikler gereği sertifika alınması istendiği durumda, bu testlerin onaylı bir laboratuvarla yapılması gerekecektir.

Ürünün mekanik tasarımında malzeme seçimi, üretim yöntemlerinin belirlenmesi ve buna bağlı olarak kalıp çeşidi

ve mekanik gibi ölçütlerin bilgisayar ortamında etüt edilerek değerlendirilmesi gerekmektedir. 1960'lı yıllarda mühendislik malzemesi denilince akla ilk gelen metallereydi. Daha sonraki yıllarda ise çeliğe ve dökme demire olan talep azalırken, diğer yandan yüksek performanslı seramiklerin üretimi, polimer ve kompozit endüstrisi hızla gelişmiştir. Günümüzde yüz binden fazla malzeme çeşidi mevcuttur ve bu kadar geniş bir spektrumdan malzeme seçimi yapmak ayrı bir mühendislik konusu haline gelmiştir [13]. Malzeme mühendisliği ve araştırmalarında yaygın olarak çeşitli görüntüleme teknikleri, termal analiz yöntemleri ve X-ışınları kullanılmaktadır.

Günümüzde ileri teknoloji ürün tasarımı için, ULAK projesi kapsamında yerli olarak tasarlanan 4G Tabanbant birimi örnek olarak verilebilir. Bu birim içinde arka panel, Tabanbant kartları, yedekli kontrol kartı ve fan, güç, vb. ihtiyaçlar için çeşitli çevre kartları bulunmaktadır. Birimin arka panelinde 10 Gbps hızı kadar çeşitli yüksek hızlı sinyal (Ethernet, Serial Rapid I/O, SGMII Ethernet) yolları bulunmaktadır.

Şekil 2'de gösterilen Tabanbant Kartı üzerinde 62'si tümdevre olmak üzere 550 çeşit, toplamda ise 4212 adet devre elemanı bulunmaktadır. Bu devre elemanları 32 cm x 32 cm boyutlarında, 16 katlı PCB üzerine dizilmiştir. Tabanbant kartını besleyen 5 V ile 0.75 V arasında 10 farklı besleme gerilimi vardır. Sadece bir kart üzerindeki 1 V beslemeyen çekilen toplam akım 40 A değerine çıkabilmektedir.

Tabanbant kartında 4.9 Gbps. hızı kadar çeşitli arayüzler (CPRI Fiber, Ethernet Fiber, Referans saat) bulunmaktadır. Kartın "Master-Slave" işlemcileri arasında ise 6.25 Gbps hızı kadar çeşitli arayüzler (Hyperlink, Serial Rapid I/O, SGMII Ethernet) bulunmaktadır.

Tabanbant kartı üzerinde kullanılan bir tümdevrede (System On Chip - SoC) 8 adet 1.2 GHz DSP çekirdeği, 4 adet 1.4 GHz ARM çekirdeği ve 30 civarında çeşitli karmaşık işlemleri gerçekleyen uygulamaya özgü yardımcı işlemci bulunmaktadır. İşlemcinin sadece donanım tasarımı için gerekli dokümanları toplamda 5700 sayfalık bir doküman seti oluşturmaktadır.

Tabanbant kartındaki SoC tümdevresinin 1517 pini bulunmakta, seriminin yapılabilmesi için kör ve gömülü geçiş deliği, mikro geçiş deliği, tümdevre bacak bağlantı üzeri geçiş deliği gibi ileri serim üretimi teknikleri kullanılmıştır. 10 GHz gibi hızlı diferansiyel yolların çizim kurallarının, hem diferansiyel yollar arasındaki mesafeler (en çok 0.14 mm), hem de bu sinyallerin kaynak-hedef arasındaki mesafeler (en çok 0.24 mm) göz önüne alınarak çok katı bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Bu yüksek hızlı arayüzlerin EMI/EMC önlemleri alınmalı, bu süreçler tasarımın en başından itibaren düşünülerek uygulanmalıdır.

2.3. Yazılım Tasarım

Günümüzde yazılım yaşamının istisnasız tüm alanlarına girmiştir. Gelişen teknoloji ve taleplerin çeşitliliği yazılımların daha da karmaşık olmasına neden olmaktadır. Yazılımlar artık daha fazla çevre birimi ve dış sistemler ile haberleşmektedir. Ağ yapılarının gelişmesi, yazılımların birbirlerinden daha çok haberdar olmalarını gerektirmektedir. Eskiden elle yapılan

veri aktarımları artık gerçek zamanlı yapılmaktadır. Bütün bunlar yazılımların uyumluluk sorumluluklarını arttırmıştır.



Şekil 2: 4G Tabanbant kartı

Donanımsal ilerlemenin yaklaşık her iki yılda bir tümdevredeki tranzistor sayısının iki katına çıkacağını ileri süren Moore kuralına uyarak ilerlediği söylenirken yazılımın bu ilerlemeye ayak uydurduğunu söylemek mümkün değildir. Yazılımın büyümeye ve daha karmaşık olmaya başladığı ilk yıllarda süreçlerinin tam oturmamasından dolayı, tasarımcılar ve üreticiler donanıma göre daha fazla zorluklarla karşılaşmıştır [14]. Çoğu proje bazen yıllarca gecikmiş, maliyeti planlanamamış ve güvenilir olmayan, bakımı zor yazılımlar tasarlanmıştır. Bu dönemlerde yazılım tasarımında kriz dönemine girilmiştir. Donanım fiyatları düşerken, yazılım maliyetleri ise artmıştır. Büyük yazılım sistemlerindeki doğal karmaşıklık kontrol etmek için yeni teknik, tasarım yöntemleri ve araçlara ihtiyaç duyulmuştur. Ancak günümüzde de hâlen BİT ürünlerinin tasarım maliyetinin çok büyük bir bölümünü yazılım tasarım ve test maliyetleri oluşturmaktadır.

2.3.1. Yazılım Metodolojileri

Günümüzde yaygın olarak kullanılan yazılım tasarım yöntemleri aşağıda sıralanmıştır. Bu yöntemlerin bir veya birkaçı, geliştirilecek yazılımın basitliğinden karmaşıklığına, beraber çalışacak yazılımcı grubunun sayısına, müşteri isteklerinin belirli olup olmamasına, dokümantasyonunun önceliğine, tasarım süresine ve sistem gereksinimlerinin belirgin olup olmamasına göre tercih edilebilmektedir [15].

- Süreçsiz (Ad hoc) Model
- Şelale (Waterfall) Modeli
- Evrimsel Süreç Modelleri
 - Artımsal (Incremental) Model
 - Spiral Modeller
 - Rasyonel Bütünleştirme Süreci
- Çevik (Agile) Metodolojiler
 - Özelliğe Dayalı Tasarım Modeli (Feature-Driven Development)
 - XP (Extreme Programming)

2.3.2. Yazılım Geliştirme Yaşam Döngüsü

Yazılım geliştirme yaşam döngüsü içerisinde pek çok aşamayı barındırmaktadır. Özellikle büyük yazılımların tasarımı, büyük yazılım kütüphanelerinin yaşamını sürdürmesi ve yeni ürünlerin mevcut kütüphane temelinde oluşturulabilmesi bu aşamaların etkili bir biçimde ele alınmasını gerektirmektedir. Geliştirilen yazılımın, üretim ve kullanım süreci boyunca geçirdiği bu aşamalar “Yazılım Geliştirme Yaşam Döngüsü” olarak tanımlanır. Yazılım Geliştirme Yaşam Döngüsü aşamaları aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- **Planlama:** Personel ve donanım gereksinimlerinin çıkarıldığı, fizibilite çalışmasının yapıldığı ve proje planının oluşturulduğu aşamadır.
- **Analiz:** Yazılım gereksinimlerinin ve işlevlerinin ayrıntılı olarak çıkarıldığı aşamadır. Var olan işler incelenir, temel sorunlar ortaya çıkarılır.
- **Tasarım:** Analiz aşamasında belirlenen gereksinimleri karşılayacak olan yazılımın temel yapısının oluşturulduğu aşamadır. Bu aşamada, yazılımın içerdiği tüm bileşenler ayrıntıları ile tanımlanır ve tasarlanır.
- **Geliştirme:** Yazılımın kodlandığı aşamadır.
- **Tümleştirme ve Test:** Tasarım, doğrulama ve uyum testlerinin yapıldığı aşamadır.
- **Uygulama:** Kurulum ve saha kabul testlerinin yapıldığı aşamadır.
- **Bakım:** Yazılım birimleri teslim edildikten sonra hata giderme, yeni eklentiler yapma, iyileştirmelerde bulunma faaliyetleridir.

Yazılım geliştirme doğası gereği karmaşıklığa açık bir alan olduğundan, düzensiz ve yapısal olmayan problemlerin oluşması doğal karşılanmalıdır. Ancak bu doğal problemlerin mühendislik bilimiyle en az zarar verici hale getirilmesi mümkündür.

2.3.3. Yazılım Tasarım Çalışmaları

Yazılım tasarım çalışmaları genelde aşağıdaki bölümler doğrultusunda gerçekleştirilmektedir.

- **Mimari tasarım:** Sistemi oluşturan tüm alt sistemler ve birbirleriyle ilişkileri tanımlanır ve dokümanite edilir.
- **Soyutlama:** Her alt sistem için kısıtların ve işlevlerin soyutlaması yapılır.
- **Arayüz tasarımı:** Alt sistemlerin diğerleriyle arayüzü tasarlanır, dokümanite edilir.
- **Bileşen tasarımı:** Hizmetler farklı bileşenlere ayrılır ve bu parçaların arayüzleri tasarlanır.
- **Veri yapısı tasarımı:** Veri yapısı ile akışı ayrıntılı olarak ve açıkça belirlenmiş şekilde tasarlanır.

2.3.4. İyi Yazılım Tasarım Özellikleri

- **Modülerlik (Modularity):** Yüksek seviyeli modülerlik, problemin bir bütün olarak görülmesini sağlar ve tasarımcıyı başka tarafa çekecek ayrıntıları saklar. Ayrıca

yazılımın test edilebilirliği ve problemlerin hızlı bir şekilde tespiti açısından önemlidir.

- **Soyutlama (Abstraction) seviyesi:** Modüllerin yukarıdan aşağı inildikçe ayrıntıları artar. Üst seviye ayrıntılar saklanır. Değişiklikler modül bazında yapılabilir.
- **Bağlantı (Coupling):** Ne kadar modülün birbirine bağlı olduğunu ölçer. Hataları takip etme ve herhangi birinde yapılacak değişikliğin diğerlerini etkilememesi açısından düşük seviyeli bağlantılar iyidir.
- **Bağlılık (Cohesion):** Modülün parçalarının birbiriyle ve modülün işlevleri ile daha fazla birleşmesi, ilgili olması iyidir.
- **Kontrol edilen modül sayısı:** Modül tarafından kontrol edilen modüllerin sayısı en az olmalıdır.
- **Kontrol alanı:** Bir modül, kontrolünde olmayan bir modülü etkilememelidir [16].

2.4. Test Metodolojileri

Test, ürünün belirlenmiş gereksinimleri ve standartları karşıladığının doğrulanması veya beklenen ile gözlenen sonuçlar arasındaki farkların belirlenmesi sürecidir. Test süreci, ürün tasarımında gereksinimlerin belirlenmesi aşamasında başlar ve aşağıdaki amaçlar doğrultusunda yapılır.

- Ürün kalitesinden emin olmak.
- Yeniden geliştirme masraflarını azaltmak.
- Geliştirme işleminin erken aşamalarında yanlışları saptayarak ileri aşamalara yayılmasını önlemek, böylece zaman ve maliyetten tasarruf sağlamak.
- Müşteri memnuniyetini arttırmak ve olası siparişler için zemin hazırlamak.

Test işlemlerinden önce test hazırlık süreci kaçınılmazdır. Hazırlık sürecinde analiz ve gereksinimler incelenir. Diğer proje ekipleri ile birlikte değerlendirmeler yapılarak hangi gereksinimlerin test edilip edilemeyeceği kararlaştırılır. Test hedeflerini karşılamak için kullanılacak yardımcı faaliyetler ve kaynaklar planlanır. Test planının sağlıklı şekilde işleyebilmesi için olası riskler belirlenip yedek çözümler planlanır. Testin sonlandırma ölçütleri belirlenir. Ayrıntılı bir şekilde test koşulları ve senaryoları yazılır. Testin hangi adımlarla ve ne şekilde uygulanacağını belirtildiği test planı hazırlanır. Hazırlık aşamasından sonra test uygulama aşamasına geçilir [17].

Genel olarak testlerin sınıflandırılmasında kutu yaklaşımından bahsedilebilir. Kutu yaklaşımı, test mühendislerinin testi geliştirirken ve test gerçekleştirirken hangi açıdan baktıklarıyla ilgilidir. Bu bakış açısı kodun, algoritmanın, içsel bileşenlerin mi yoksa sadece girdi ve çıktılarının mı göz önünde tutularak testin yapılacağıyla ilgilidir. Temel olarak kara-kutu (black-box) ve beyaz-kutu (white-box) yaklaşımlarından bahsedilmekle birlikte, son yıllarda gri-kutu yaklaşımından da bahsedilmeye başlanmıştır. Kara-kutu yaklaşımı, işlevi kapalı bir yapı olarak kabul eder ve içsel olarak neye sahip olduğu veya tasarımıyla ilgilenmemektedir. Sadece verilen girdiler için doğru çıktılar üretiliyor mu diye

bakılmaktadır. Beyaz-kutu yaklaşımı, işlevin doğru çalışmasının yanında, içsel değişkenlerini ve algoritmasının uygun olup olmadığını denetlemektedir. Gri-kutu yaklaşımı ise, testin tasarımıyla ilgilidir. Gri-kutu testleri aynı kara-kutu gibi uygulanmakta, ancak test tasarlanırken işlevin içsel veri ve algoritma yapısı esas alınmaktadır.

Testleri gruplandırmak için kullanılabilecek başka bir bakış açısı da testin yazılım tasarım sürecine dahil olduğu aşamadır. Bu bakışa göre yazılım testleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

- Birim Testi (Unit Test)
- Tümlleştirme Testi (Integration Test)
- İşlevsellik Testi (Functional Test)
- Uyumluluk Testi (Compliance Test)
- Regresyon Testi (Regression Test)
- Performans Testi (Performance Test)

Yapılan testler sonucunda bulunan hatalar düzeltildikten sonra test sonlandırma ölçütleri kontrol edilir. Eğer tüm ölçütlerin kabul edilebilir düzeyde sağlandığı tespit edilirse test sonlandırılır. Testin sonlandırılmasının ardından ürün müşteri testine açılır (Kullanıcı Kabul Testi, Acceptance Test). Müşterilerin bulduğu hatalar veya değiştirilmesi istenilen noktalar gözden geçirilerek tekrar test ekibinin kontrolüne sunulur. Bu kontrolden sonra gerekiyorsa müşteri testleri yapıldıktan sonra test süreci sona erdirilir.

Bilişim dünyasındaki gelişmeler nedeniyle artan rekabette ürün kalitesi gittikçe önem kazanmaya başlamıştır. Ürünlerin daha az hata ile müşterilere sunulması için teste verilen önem de artmıştır. Bugün artık kurumlar yazılım tasarım süreçlerini ölçen CMMI (Capability Maturity Model Integration) gibi, sadece test süreçleri için tanımlanan TMMI (Test Maturity Model Integration) modeli ile test süreçlerini iyileştirmeyi hedeflemektedir [18].

Geleneksel ürün tasarım sürecinde yapılan her tasarım sonunda ilk örnek üretim yapılarak gereksinimlerin karşılanıp karşılanmadığı test edilmektedir. İstenen performansın elde edilememesi durumunda ise tasarım sürecine geri dönülerek tasarım değişikliği yapılmakta ve onu takip eden ilk örnek üretime geçilmektedir. Süreç bu döngü takip edilerek tamamlanmaktadır. Her tasarımın test edilmesi için sürekli ilk örnek üretim yapılması hem zaman kaybına hem de maliyet artışına yol açmaktadır. Günümüz koşullarında, etkin bir şekilde kullanılan bilgisayar destekli tasarım sayesinde, ilk örnek sayısı azaltılarak hem zaman kaybına engel olunması hem de maliyet düşürülmesi ve ilk seferde doğru tasarım yapılması sağlanabilmektedir. Bu yöntem, günümüzün modern ürün tasarım süreci olarak kabul edilmektedir.

2.5. Üretim

İlk sanayi devrimi su ve buhar gücü ile üretim üzerine kuruluyken, onu ikinci sanayi devrimi olan elektrik teknolojisinin üretim hatlarında kullanımı izlemiştir. Daha sonrasında ise üçüncü sanayi devrimi olan dijital devrim gerçekleşerek elektronik kullanımı artmıştır. Günümüzde ise dünya artık Endüstri 4.0 olarak isimlendirilen ve dördüncü sanayi devrimi olarak tanımlanan yeni bir döneme girmiştir. Endüstri 4.0 siber-fiziksel sistemler kavramına ve nesnelerin

internetine dayalıdır. Nesnelerin interneti ile siber-fiziksel sistemler birbirleriyle ve insanlarla gerçek zamanlı olarak iletişime geçip işbirliği içinde çalışabilecektir [19, 20].

Günümüz cihazlarında kullanılan malzemeler SMD (Surface Mount Device: yüzey montaj elemanı) ve Through-Hole (delik içi) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Daha önceleri sıklıkla kullanılan delik içi malzemeler gelişen teknoloji ile yerini neredeyse tamamen yüzey montaj elemanlarına bırakmıştır. Bacaklı devre elemanlarının elektronik kartlarda deliklere takılıp erimiş lehim haznesine daldırılarak lehimlenmesi gerekirken, yüzey montaj elemanlar kart yüzeyine tutturularak fırınlanır.

Yüzey montaj elemanları, bacaklı elemanlara göre çok daha küçük imal edilebilmektedir [21]. Küçük ve hafif devre elemanları ile daha az ısı üreten ve daha az güç tüketen kartların tasarlanması mümkün olmuştur. Kartın iki yüzeyine de eleman dizilebilmektedir. Mekanik titreşim ve şoklara karşı dayanıklılık daha yüksektir. Yüzey montaj teknolojisinin bacaklı devre elemanlarına göre zayıf yönü ise el ile müdahale ve tamir imkânlarının zorlaşmasıdır. BGA (Ball Grid Array) yüzey montaj elemanı bir kez montajı yapıldıktan sonra test ve hata kontrolü zor olmakta, ancak X-ışını cihazları kullanılarak lehim topçuklarının deformasyonu ve kırıklıkları kontrol edilebilmektedir. Hatalı montaj durumunda özel iş istasyonları kullanılarak ilgili devre elemanı bölgesel ısıtma yöntemi ile sökülürken, lehim topçukları düzeltilerek yine bölgesel ısıtma ile bilgisayar kontrolünde yerine takılmaktadır.

2.5.1. Üretim Sürecinde Çevreci Yaklaşımlar

Gelişen teknoloji, endüstrileşme ve kullan-at tüketim alışkanlığı ile elektronik eşya sektörü büyürken, elektronik atıkların çevreye olumsuz etkileri de hızla artmaktadır. Bu etkileri azaltmak için çevreye duyarlı tasarımı tetikleyen yasal zorunluluklar ortaya çıkmıştır. Avrupa Birliği, 2003 yılında elektronik üreticilerine yönelik iki önemli direktif yayınlamıştır. Bunlar RoHS (Restriction of Hazardous Substances: Zararlı Maddelerin Kullanımını Kısıtlama) ve WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment: Atık Elektriksel ve Elektronik Cihazlar) yönergeleridir. Bu yönergeler iki ana noktada yoğunlaşmaktadır. Birincisi, yeni üretilmekte olan elektronik ürünlerde toksik ve zararlı maddelerin kullanımının sınırlandırılması, ikinci olarak da ürün tasarımında geri dönüşüm ölçütlerinin göz önünde bulundurulmasıdır. Bu bağlamda “Eko-tasarım” olarak da adlandırılan çevreye duyarlı tasarım kavramı ortaya çıkmıştır. Eko tasarım, geleneksel tasarım süreçlerine ek olarak hammaddenin kazanımı, ürünün geri dönüşüm ve elden çıkarılması süreçlerini de kapsamaktadır. Bu nedenle tasarımcılardan, ürünlerin geri dönüşümü ve parçalanabilirlik ölçütlerini de değerlendirerek tasarım yapmaları beklenmektedir [22-24].

RoHS yönergesi kapsamında kurşun, kadmiyum, civa, krom ve bromürlü bileşenlerin kullanımı yasaklanmaktadır. Bu bileşenlerin elektronik ve elektrikli cihazlarda kullanımı, çevreye zehirli parçacıklar karışmasına neden olmaktadır [25,26]. Örneğin PCB montajında temizlik sağlama amacıyla hidrokarbon florür kullanımı ozon tabakasında aşınmaya sebep olduğundan yasaklanmıştır.

3. Sonuçlar

Artan küresel rekabet, teknolojinin her alanda çok hızlı gelişmesi, elektronik donanım ve yazılımın her alana uygulanması BİT ürünlerinin tasarım ve üretim tekniklerinin de gelişmesini zorunlu kılmıştır. Maliyet, kalite ve pazara çıkış açısından rekabetçi bir ürün tasarlayabilmek için, tasarım çalışmalarının kesintisiz bir şekilde sürdürülmesi bir zorunluluktur. Özellikle yeni nesil kablolu ve kablosuz haberleşme teknolojileri, siber güvenlik ürünleri, 5G ve IoT (Internet of Things) teknolojileri konularında kesintisiz olarak tasarım çalışmalarına devam edilmediği durumda BİT ürünlerinin yerli tasarım imkânını tekrar elde etmek oldukça zor olacaktır.

4. Kaynaklar

- [1] Hamilton, C., “*A Guide to Printed Circuit Board Design*”, Butterworth & Co. Ltd, England, 1984.
- [2] Atman, T., “Türkiye Elektronik Sanayinin Tarihi ve Günümüzdeki Durumu”, *Elektrik Mühendisliği*, Sayı:446, s.62-68, Ocak 2013.
- [3] Yücel, Dr. T. F., “Cumhuriyet Türkiye’sinin Sanayileşme Öyküsü”, *Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı*, Ankara, Ekim 2015.
- [4] Şişikoğlu, H., Taşkent, O., Güzeliş, A., “Türkiye’de ve İzmir’de Telekomünikasyonun Tarihçesi”, *MMOB Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Bülteni*, Sayı:237, s.31-33, Şubat 2010.
- [5] Reilly, E. D., “*Milestones in Computer Science and Information Technology*”, Greewood Press, USA, 2003.
- [6] Greenstreet, D., “Enabling multistandard wireless base stations with TI’s KeyStone SoCs”, *Texas Instruments*, www.ti.com/lit/wp/spry160/spry160.pdf
- [7] Narnakaje, S., Lin, Z., “Analysis of LTE Base Station Software Deployment on Multicore SoCs”, *Engineers’ Guide to Multicore & Virtualization*, s.24, 2012.
- [8] Sage, A. P., “*Systems Engineering*”, John Wiley & Sons, Inc., USA, 1992.
- [9] Huff, H., “*Moore’s Law Beyond Planar Silicon CMOS*”, USA, 2009.
- [10] Mitzner, K., “*Complete PCB Design Using OrCad Capture and Layout*”, Elsevier, UK, 2007.
- [11] Mardiguian, M., “*Controlling Radiated Emissions by Design*”, Springer, USA, 2001.
- [12] Tong, X. C., “*Advanced Materials and Design for Electromagnetic Interference Shielding*”, CRC Press, USA, 2009.
- [13] Fındık, F., “Malzeme Seçimine Genel Bakış”, *Makine Mühendisleri Odası, Mühendis ve Makine Dergisi*, Sayı:591, s.25-31, 2009.
- [14] Brooks, F.P., “No Silver Bullet Essence and Accidents of Software Engineering”, *Computer Magazine*, vol.20, no. 4, s.10-19, April 1987.
- [15] Gül, Z., “*Yazılım Geliştirme Sürecinin İyileştirilmesi ve Türkiye Uygulamaları*”, Master tez, İTÜ, 2006.
- [16] Pfleeger, S. L., “*Software Engineering*”, Macmillan, USA, 1991.
- [17] Şahinoğlu M., Sarı M., Kurt A., Kurnaz S., “Yazılım Test Sürecinde Problemler ve Çözüm Önerileri”, *Ulusal Yazılım Mühendisliği Sempozyumu*, 2013.
- [18] Venendaal E., “Test Maturity Model Integration (TMMi)”, Version 3.1, *TMMi Foundation* 2010.
- [19] Özhan, T., “*Makinelerin Evrimi*”, eKitap Projesi, İstanbul, Şubat 2016.
- [20] Lee, J., Bagheri, B., Kao, H.-A., “A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems”, *Manufacturing Letters* 3, 18–23, 2015.
- [21] Prasad, R., “*Surface Mount Technology: Principles and Practice*”, Springer, USA, 1997.
- [22] Gürakar, E., “*The Situation of Ecodesign In Turkish Industry*”, Master tez, ODTÜ, September 2008.
- [23] Knight P., Jenkins O. J., “Adopting and applying eco-design techniques: a practitioners perspective”, *Journal of Cleaner Production*, s. 549-558, 2008.
- [24] Özçuhadar, T., “Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim yayınları-IV: Eko-Tasarım”, *Bölgesel Çevre Merkezi- REC*, Türkiye, 2011.
- [25] Örün, E., Yalçın, S., “Kurşun, Civa, Kadmiyum: Çocuk Sağlığına Etkileri ve Temasın Belirlenmesinde Saç Örneklerinin Kullanımı”, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, Cilt: 3, Sayı: 2, s.73-81, 2011.
- [26] Birgör, U., “RoHS Nedir? Yönetmeliği ve Uygulamaları”, *MMOB Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Bülteni*, Sayı:233, s.31, Ekim 2009.