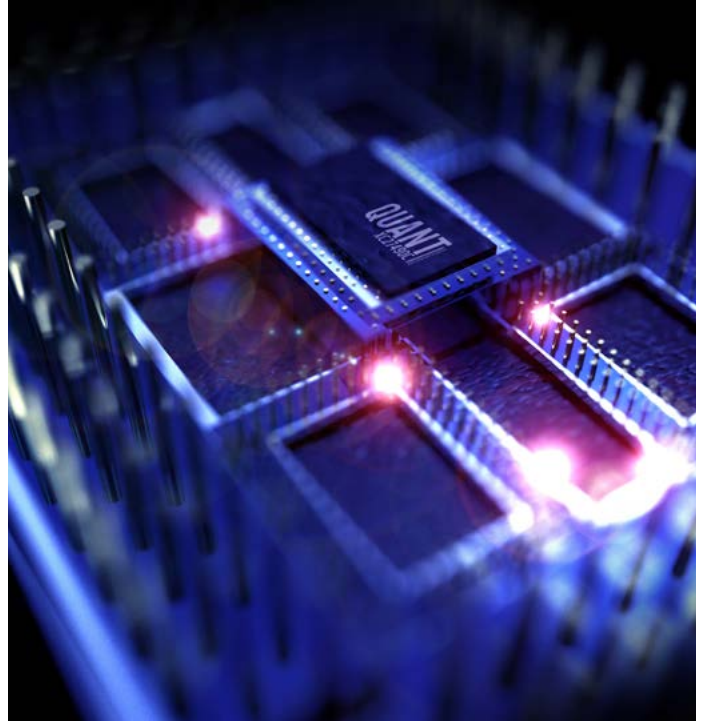

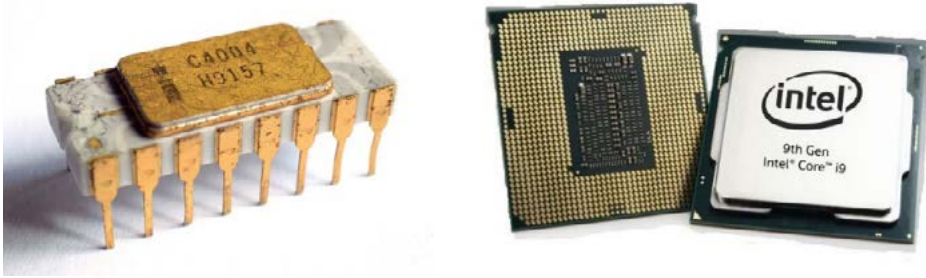


Dijital Çağın Geleceği Karanlık mı?



 Alper YEŞİLYURT

Intel'in kurucularından Gordon Moore, bir elektronik çip (yonga) üzerinde birim alanda yer alan transistörlerin sayısının her 18-24 aylık dönemde yaklaşık iki katına çıkacağını öne sürmüştü. Buna göre, genel olarak çiplerin performansının da aynı oranda artacağı ve maliyetlerinin azalacağı öngörülüyordu. 1960'larda ortaya konan bu yaklaşım, günümüze kadar geçerliliğini korudu ve yarı iletken teknolojisinde yaşanan gelişmeler bunu mümkün kıldı. Geleneksel noktada, gündelik hayatın parçası olan akıllı telefonların işlem gücünün, yaklaşık 50 yıl önce aya insanlı iniş yapan Apollo 11'in bilgisayarının işlemcisinden yaklaşık 100.000 kat daha güçlü olmasının temelini de bu oluşturdu.



Şekil 1: Intel 4004 4-Bit CPU (1971) ve Intel Core i9 9900K (2018) (Intel Corporation)¹

Moore Yasası Geçerliliğini Yitirmeye Çoktan Başladı

İlk mikroişlemcinin ticari olarak piyasaya sürüldüğü 1971 yılından bu yana, yarı iletken endüstrisindeki firmalar çok ciddi Ar-Ge yatırımları ve inovasyon temelli yol haritalarıyla birlikte günümüz teknolojisine ulaşmayı başardılar. Fakat bunun yanında, transistör sayılarının ve hızın iki katına çıkma eğilimi, özellikle fizik kurallarının getirdiği kısıtlamalardan dolayı son bulmaya başlamıştır. Intel'in 14 nm teknolojisi² ile ürettiği ürünlerde yer alan her bir transistörün yaklaşık 70 atomdan oluşan silisyum tabanlı bir aygıt olduğu düşünüldüğünde, daha küçük boyutlara inildiğinde kuantum etkilerinden dolayı elektronların daha kararsız fiziksel karakteristiğe sahip olduğu görülmektedir. Yüksek hızlı ve düşük güç özelliklerine sahip yüksek performanslı transistörlerin küçülme eğilimiyle birlikte performansta ve üretim maliyetlerinde güçlükler yaşandığı görülmektedir. Günümüzde, Intel'in 10 nm teknolojisine sahip işlemcileri üretim aşamasında olup,

¹ <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/processors/core.html>

² <https://www.intel.com/content/www/us/en/silicon-innovations/intel-14nm-technology.html>

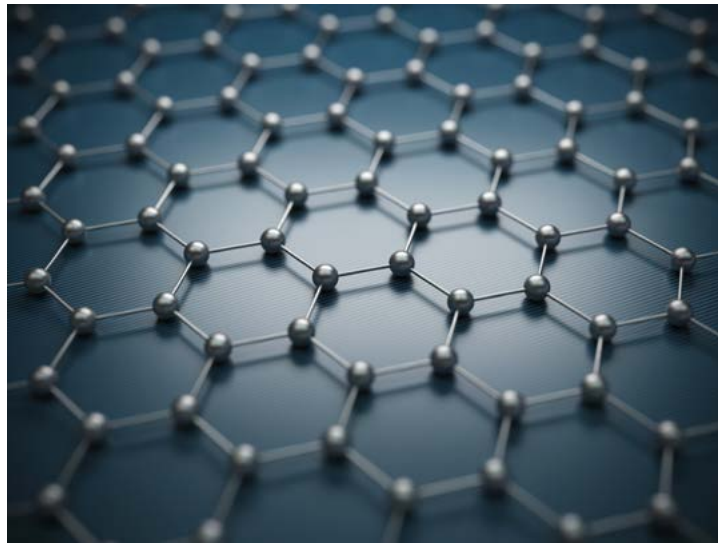
7 nm ve 5 nm teknolojisine yönelik çalışmalar ve altyapı yatırımları devam etmektedir. Fakat bunun yanında, Ar-Ge faaliyetlerinin ürüne dönüşerek pazara sunulma sürelerinin uzadığı da bir gerçektir. Fiziksel limitlere yaklaştıkça, işin hem teknik, hem de mali boyutu üretici firmalar için daha büyük bir engel olarak karşılına çıkmaktadır. Bu sebeple, firmaların teknoloji geliştirme yol haritalarında, ürünlerin performansı, üretim maliyetleri ve pazar stratejileri daha dikkatli irdelenmesi gereken konular haline gelmiştir³.

Dijital Çağın Şekillendirecek İnovatif Akımlar Alternatif Teknolojilerin Olgunlaşmasına Bağlı

Dijital çağın gereklilikleri doğrultusunda, nesnelerin interneti, bulut teknolojileri, mantıksal analiz, artırılmış gerçeklik, yapay zekâ uygulamaları gibi alanların ve ilgili sektörlerin ihtiyaç duyacağı işlemci gücü, Moore Yasası'nın geçerliliğinin sona ermeye başlamasıyla birlikte, gelecekte silisyum tabanlı yarı iletken teknolojisine alternatif teknolojiler geliştirilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Akıllı çipler ve çoklu çekirdekli mimariler gibi çeşitli yöntemlerle performans artırımı belirli seviyelere çıkarılsa da, bu durum transistörlerin verimliliğiyle doğrudan ilişkili değildir ve teknolojik limitler bulunmaktadır. Buna benzer olarak, belirtilen uygulamalara yönelik ihtiyaç duyulan işlem gücünün daha etkin algoritmalar ile gerçekleştirilmesi üzerine literatürde çok fazla sayıda makale yayımlanmıştır.

Endüstri uzmanları ve araştırmacılar alternatif çalışmalar yürütmekte ve Ar-Ge faaliyetlerinin ticarileştirilebilir ürünlere dönüştürülmesi için çaba sarf etmektedir. Alternatif teknolojilere örnekler aşağıda detaylandırılmıştır:

- **Grafen:** Yarı iletken üreticileri, silisyum ile birlikte kullanımı öngören ve daha iyi elektriksel iletkenlik özelliği bulunan farklı malzemelerin (ör: SiGe, GaAs alaşımları) kullanımı yönünde araştırmalarını sürdürmektedir. Temel problem, silisyum ile kristal yapısı uyumsuzluğu nedeniyle entegrasyon zorlukları ve üretim yöntemleri açısından teknik zorluklar getirmesidir. Malzeme ve üretim maliyetleri de ayrıca bir sorundur. Bu noktada grafen, elektriksel iletim kabiliyeti ve kristal yapısıyla birlikte önde gelen çözüm alternatifleri arasındadır. Grafen, silisyumdan farklı olarak, enerji bant aralığı olmadığı için metallerde olduğu gibi elektronları doğrudan iletme özelliğine sahiptir. Bu sebeple, çeşitli malzemelerle birleştirerek (ör: MoS₂) ve katkılama (doping) yöntemleriyle grafenin uygun elektriksel özelliklere sahip olması için çalışmalar sürmektedir⁴. Böylelikle, silisyum tabanlı transistörlerle benzer görevleri üstlenecek mantık devreleri oluşturarak geleceğin işlemcilerinin inşa edilmesi hedeflenmektedir.



Şekil 2: Grafen Kristal Yapısı

³ <https://www.anandtech.com/show/15032/intel-2019-fab-update-10nm-hvm-7nm-on-track>

⁴ https://www.theregister.co.uk/2016/07/11/scientists_grow_atomically_thick_transistors_on_graphene

- **Kuantum Bilgisayarlar:** Kuantum işlemciler, kuantum fiziğinin temel ilkelerinden atomaltı parçacıkların aynı anda birden fazla durumda (state) olabilmesi (superposition) prensibi üzerine çalışmaktadır. Buna göre, kuantum bitleri (kübit) üzerinden belirli mantık işlemleri, kuantum fiziği prensiplerinden yola çıkarak ortaya konacak kuantum algoritmalarıyla düzenlenebilir. Teorik olarak, işlemler; konvansiyonel işlemci yapılarında olduğu gibi gecikmelerden etkilenmeyeceği için klasik bilgisayarların çözemediği karmaşık problemlerin çözümünü mümkün kılacağı değerlendirilmektedir. D-Wave, IBM ve Google gibi firmaların yürüttüğü çalışmalar ve ürettikleri kuantum çipler teknoloji gösterimi ve belli başlı uygulamalar için işlem kabiliyeti sunmaktadır⁵. Kuantum bilgisayarların teorik olarak sahip olduğu yeteneğe ulaşması için milyonlarca kübit üzerinden işlem yapabilen donanım ve buna uygun algoritmaların geliştirilmesi gerekecektir. Buna yönelik olarak, önde gelen firmaların (IBM, Google, D-Wave, vb.) yaptığı Ar-Ge yatırımları ve devlet teşvikleri de ciddi oranda artmaktadır⁶. Bu işlemcilerin kuantum temelli olmayan konvansiyonel işlemcilerden daha yüksek performans sağlayıp sağlamayacağını yine zaman gösterecektir.



Şekil 3: IBM Q - Kuantum Bilgisayar⁷

- **Optik Bilgisayarlar:** Transistör tabanlı işlemcilerin getirdiği hız ve güç verimliliği kısıtlarından dolayı, elektronlarla birlikte (veya elektronların yerine) fotonların çip içerisinde veya çipler arası iletişim ve mantık işlemleri için kullanıldığı yapılar optik bilgisayar (veya fotonik bilgisayar) olarak tanımlanmaktadır. Elektronlar yerine fotonların kullanımıyla birlikte iletişim sırasında daha düşük güç kaybı sağlanmaktadır ve daha yüksek işlem hızlarına ulaşmak mümkündür. Genel olarak, fotonların LED, lazer gibi kaynaklarla oluşturulması, fotonların devre üzerinde optik olarak yönlendirilmesi, optik transistörlerin geliştirilerek mantık işlemlerinin gerçekleştirilmesi, gerekli yerlerde optik-elektriksel dönüşümlerin yapılması gibi çeşitli teknoloji geliştirme alanları bulunmaktadır. Intel, IBM gibi firmalar optik devrelerin çip içerisi ve çipler arası entegrasyonu için çalışmalar sürdürmektedir^{8,9}. Günümüzde, optik ve elektriksel mimarilerin entegrasyonu ve gerekli aygıt ve yapıların geliştirilmesi anlamında birçok zorluk olsa da, özellikle hız anlamında fotonik çipler umut vadeden bir alternatif olarak ön plana çıkmaktadır.

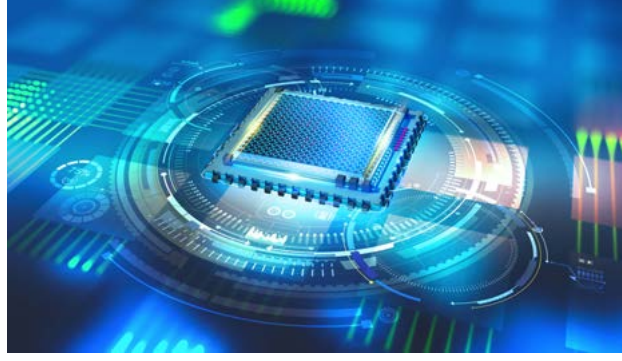
5 <https://www.economist.com/technology-quarterly/2016-03-12/after-moores-law>

6 <https://singularityhub.com/2019/10/14/investment-in-quantum-computing-is-booming-but-will-a-quantum-winter-follow/>

7 <https://www.engadget.com/2018/01/09/this-is-what-a-50-qubit-quantum-computer-looks-like/>

8 <https://thefutureofthings.com/3929-intels-upcoming-optical-chip/>

9 <https://www.ibm.com/blogs/research/2019/02/photonic-memory-devices/>



Şekil 4: Optik Bilgisayar Görseli

Yüksek Performanslı İşlem Gücüne Olan İhtiyaç Artarak Devam Edecek

Silisyum tabanlı yarı iletken teknolojisinin kısa vadede ortadan kalkmayacağı bir gerçek olsa da, geleceği inşa edecek teknolojiler (bulut teknolojileri, derin öğrenme, yapay zekâ vb.) ve uygulama alanlarının (nesnelerin interneti, akıllı şehirler, robotik, vb.) yüksek performanslı ve maliyet etkin işlem kabiliyetine olan ihtiyacı artan bir ivmeyle devam edecektir. Günümüzde, ekonomik büyüme ve rekabet gücü, inovasyon tabanlı stratejilerin hayata geçirilmesine doğrudan bağlıdır. Bu kapsamda, sektördeki pazar paylarını sürdürmek ve artırmak isteyen küresel çapta firmalar yarıştan kopmamak adına Ar-Ge yatırımlarına milyarlarca dolar harcamaktadır. Dijital çağın ve teknolojik inovasyon sürecinin altyapısını oluşturacak alternatif teknolojilere yatırım yaparak çıkış yolu bulmak, tercihten ziyade bir zorunluluk haline gelmiştir. 