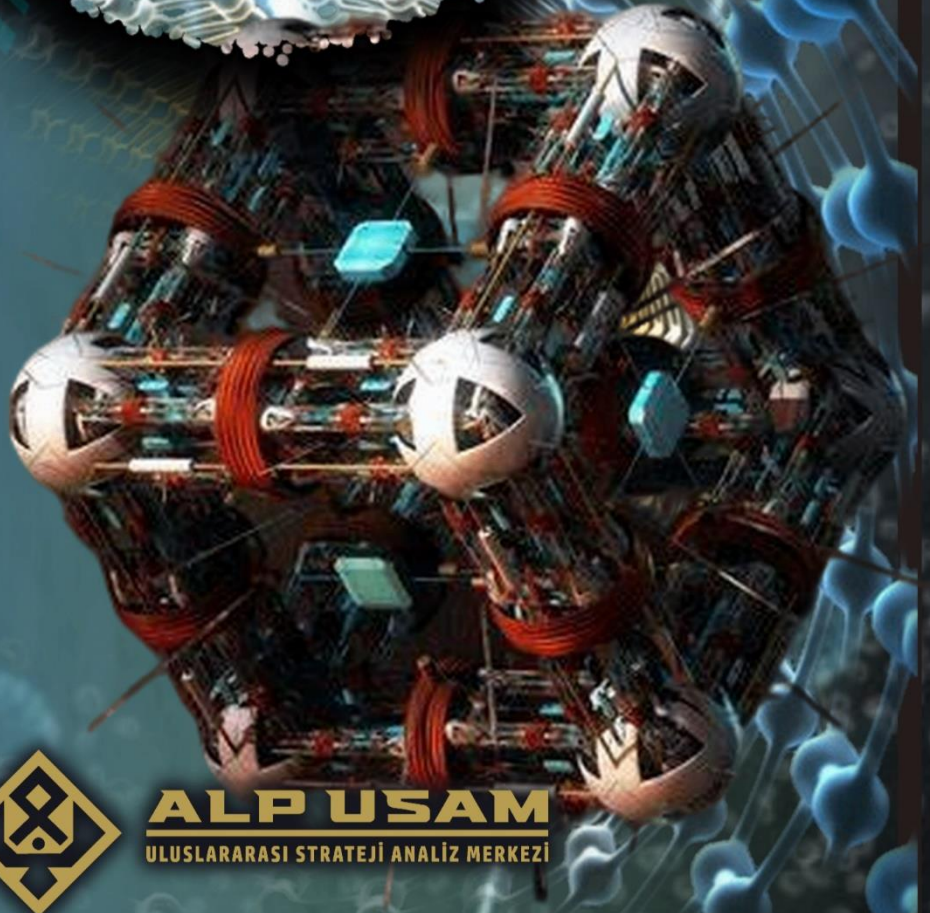
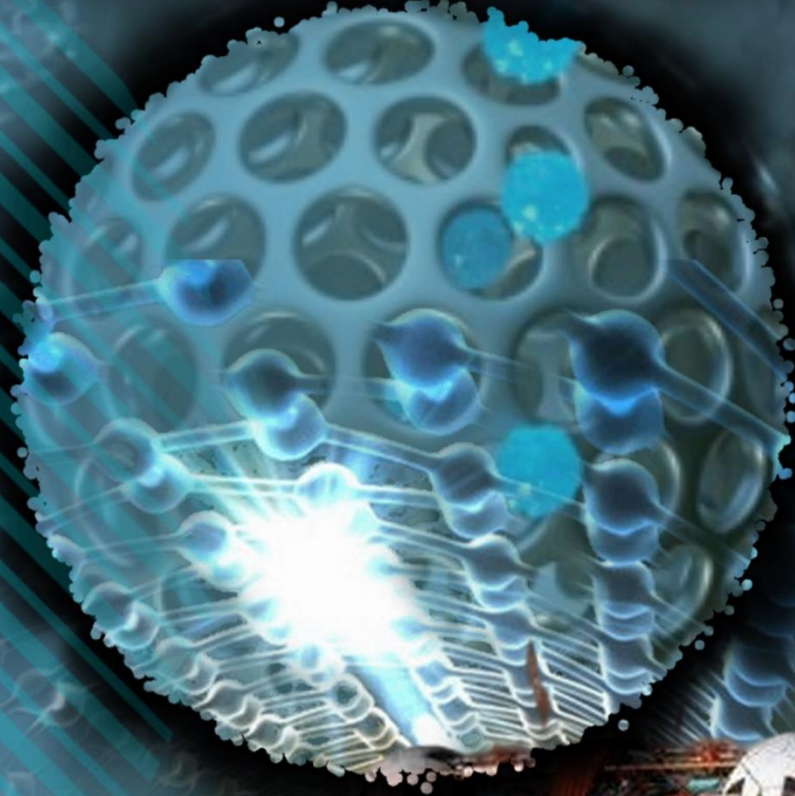


Nanoteknoloji: Geleceği Şekillendiren Gücün Peşinde



BİLGİ
GÜÇTÜR



www.alpusam.com



ALPUSAM
ULUSLARARASI STRATEJİ ANALİZ MERKEZİ

Nanoteknoloji: Geleceği Şekillendiren Gücün Peşinde

Sinan Değirmen*

“Bilim ve onun ürünü olan teknolojiyi üretmeyen toplumlar bağımsızlıklarını, dolayısıyla mutluluklarını yitirirler.”

Ord.Prof. Cahit Arf¹

1. Giriş

Tarihin başlangıcından itibaren insanoğlu, yaşamını sürdürebilmek için **çevresini değiştirme ve kontrol etme yeteneğini** geliştirmeye çalışmış ve bu maksatla **teknolojinin** sağladığı imkânlarla büyük önem atfetmiştir. İnsan, Maslow’un ihtiyaçlar hiyerarşisinde de öncelenen **barınma, beslenme ve güvenlik** gibi temel gereksinimlerini karşılamak maksadıyla **teknolojiyi bir araç** olarak değerlendirmiş ve hem **yaşam standartlarını** yükseltmeyi hem de **rekabet avantajı** elde etmeyi amaç edinmiştir. Bu süreç, **öğrenme ve keşif** motivasyonunun etkisiyle **insan davranışlarını** ve **devlet politikalarını** şekillendiren dinamik bir yapıya evrilmiştir. **Yazının icadı** ile başlayan, günümüzde ise **bilişim** teknolojileri aracılığıyla daha **hızlı** ve etkin bir biçimde **paylaşılan** tecrübe ve bilgi birikimi, zamanla **teknolojik ilerlemelere ivme kazandıran** en önemli etken haline gelmiş ve **bilginin paylaşımı**, üretim süreçlerinin gelişiminde **belirleyici** bir rol oynamaya başlamıştır. (Aybarç, 2007; Özer, 2019; Şahin & Kıvıncı, 2021; Yılmaz G., 2021; Ziyancı, 2004).

Bu bağlamda, insanlığın varoluşu ile başlayan yaşam standartlarını yükseltme mücadelesi, **bilginin artan paylaşımına** bağlı olarak **teknolojik gelişmeleri hızlandırmış**, özellikle **üstünlük sağlama ve güvenliği temin** etme hedefleri her geçen gün yeni teknolojilerin ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır.

Başka bir ifadeyle teknoloji, **yaşam kalitesinin artırılması ve güvenliğin sağlanması noktasında kritik bir rol oynamıştır** ve oynamaya da devam edecektir.

Bu çalışmada; öncelikle teknoloji ve teknolojinin endüstri ile askeri alandaki devrimlerle olan etkileşimi, devamında ise devrim niteliğinde dönüştürücü etkiye sahip olduğu kıymetlenen nanoteknolojinin potansiyeli ve uygulama alanları ortaya konmaya çalışılmıştır.

* E.Bkm.Kur.Alb./Danışman, ALP Uluslararası Strateji Analiz Merkezi, sdegirmen@alpusam.com

¹ Ord.Prof. Cahit Arf; (24 Ekim 1910, Selânik- 26 Aralık 1997, İstanbul), Türk matematikçi ve bilim insanı, eski TÜBİTAK Bilim Kolu başkanıdır (Ziyancı, 2004).





2. Dünyayı Dönüştüren Gücü Anlamak: Teknolojinin Kavram ve Kapsamı

Teknoloji, en genel anlamda, sistematik bilgi birikimi ve uygulama biçimleri aracılığıyla, çevreyi kontrol altına alma ve belirli hedeflere ulaşma amacıyla **araç ve gereçlerin geliştirilmesi süreci** olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda teknolojinin, sosyal, ekonomik ve kültürel dinamiklerle etkileşim içinde evrildiği ve insan deneyimini dönüştüren temel bir unsur olduğu ifade edilebilir (Ergül & Çakır, 2023).

Özellikle 1970'li yıllar sonrasında uzay çalışmalarının öncelenmesiyle birlikte bilişim ve iletişim sistemleri üzerine yapılan çalışmalar artmış, **üretim teknolojileri bilgi odağında ilerlemeye** başlamış, **dünya bilgi temelli** bir süreç içine girmiştir. Öyle ki Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı (*OECD*) tarafından yapılan bir araştırma, **teknolojik gelişmelerin %80'nin bilgi teknolojisi** temelli olduğunu ortaya koymuştur. Bilgi, bilim ve teknolojinin etkileşimi, doğal olarak içinde bulunduğumuz Bilgi Çağı'nda **teknolojinin önemini** daha da arttırmıştır. Böylelikle teknoloji ve bilim, devletlerin ekonomik kalkınmasında, toplumların refah seviyesinin yükseltilmesinde ve güvenliğin sağlanmasında **ana unsur haline** gelmiştir (Gülmez, 2009).

Gülmez (2009)'in, literatürdeki araştırmalara dayanarak, kavram ve kapsam bakımından her sektör ve meslek grubunca farklı biçimlerde yorumlandığını ortaya koyduğu çalışmasına göre teknoloji;

- ◆ Ekonomistler için, girdilerin çıktılara dönüştürüldüğü süreçler ve bu süreçlerde meydana gelen değişikliklerle ilgilidir,
- ◆ İşletmeciler için, sadece üretim süreçlerinde değil, aynı zamanda yönetim süreçlerinde de (*tasarım, üretim, geliştirilme çabaları, dağıtım vb. mühendislik ve yönetime ilişkin bilgilerin tamamını*) etkilidir,
- ◆ İktisatçılar için, refah ve yaşam standartlarını arttırmaya yarayan bir araçtır,
- ◆ Mühendisler için, üretimde kullanılan yöntemler dizisidir ve mal veya hizmet üretimine yönelik insan faaliyetlerinin etkililik derecesini belirleyen her şeydir, toplumun sahip olduğu bilgi ve yeteneklerin toplamıdır, rekabette üstünlük sağlayan bilgi ve maharetlerin kompozisyonudur,
- ◆ Verimlilik, büyüme, istihdam ve rekabet edebilirlik gibi ölçülebilir ekonomik parametreleri açıklayan, doğrudan insan faaliyetlerinin değişik tiplerini içeren teknik bilgi (*know how*), bilgi (*knowledge*), buluş (*invention*) ve yenilik (*innovation*) gibi kavramların kısaltmasıdır.





Teknoloji, yaşam standartlarını artırma ve modernleşme çabalarının en kritik unsurlarından birisi olarak, ekonomik ve sosyal katma değer yaratmanın ötesinde, **devletlerin güvenliğinin** sağlanmasında ve **savunma sistemlerinin** güvenilirliğinde de hayati **öneme** sahiptir. Teknolojik yeniliklerin geliştirilmesine yol açan en önemli motivasyon aracı ise **güvenlik endişeleridir**. Bu bakış açısıyla, **birçok teknolojik gelişmenin ilk olarak askeri ihtiyaçları karşılamak** amacıyla ortaya çıktığı söylenebilir. Savunma alanında gerçekleştirilen teknolojik yatırımlar, **çift kullanılabilirlik** özelliği sayesinde sivil alanlara da transfer edilerek, ülkelerin bilim ve teknoloji altyapısının gelişmesine yardımcı olmuş ve ekonomik etkinliklerini artırmıştır. Bu bağlamda, askeri ve sivil teknolojiler arasındaki etkileşim, ulusal kalkınmaya önemli katkılarda bulunmuştur ve bulunmaktadır. Jet motorları, içten yanmalı motorlar, telgrafın ve internetin icadı, savunma amaçlı geliştirilen bilgisayar ve uydu haberleşme sistemleri bu duruma örnek teşkil etmektedir. Özellikle Soğuk Savaş döneminde gerçekleştirilen askeri teknolojideki yenilik arayışları ise devletlerin kalkınmasını ve teknolojik kapasitelerinin artırılmasını etkilemiştir (Eren, Kılıç & Balcı, 2015; Şahin & Kıvam, 2021).

Öte yandan, uluslararası sistemin güç ve rekabet odaklı doğasında, devletlerin **dış politika stratejilerinin temel dayanağı, silahlı kuvvetlerdir**. Bu kuvvetlerin **etkinliği** ise, **ulusal savunma sanayii** ve bu **sanayinin gelişimini** sağlayan **teknolojiyle** yakından ilgilidir. Ayrıca, muharebe alanında kullanılan savunma sistemlerinin geliştirilme süreci gizlilik ve güvenliğe bağlı olduğundan, bu sistemlerin transferi devletlerin denetimine ve onayına tabi tutulmaktadır. Sonuç olarak denebilir ki, savaşın kaçınılmaz bir gerçek olduğu uluslararası ortamda, rakiplerine karşı üstünlük sağlamak isteyen devletler, sürdürülebilir caydırıcı bir güce sahip olmak zorundadır ve bu zorunluluktan hareketle devletler **ordularını teknolojik sistemlerle donatmalı** ve bu **teknolojiyi sürekli geliştirmelidirler** (Meydan, 2015; McNeill, 2013; Ziylan, 2004).

Bilimin öncelenmesiyle birlikte hızla yenilenen teknoloji, yaşam koşullarını ve **dünyayı değiştirdiği** gibi **askeri yapıları, muharebe alanlarını, savaş taktik ve stratejilerini**, ayrıca **tehdit ve aktörleri** de önemli ölçüde **etkilemiştir** (Atlıg, 2022; Şahin & Kıvam, 2021). Bu kapsamda, **savaşların** geçirdiği **evrimin** temel dinamiğinin **teknoloji** olduğu ifade edilebilir (Yalçınkaya, 2019). Teknolojinin savaş üzerindeki etkilerini ve askeri stratejileri nasıl dönüştürdüğünü inceleyen Creveld (2010)'e göre de askeri alanda uygulanan **teknolojik yenilikler savaşın karakterini ve dinamiklerini** değiştirmektedir.



Teknolojik ilerlemeler üzerine yapılan araştırmalar irdelendiğinde;

- ◆ Savaşın evriminde de başat rol alan **askeri teknolojinin**, üretim verimliliğini artırmayı amaç edinen **sanayi devrimiyle etkileşim içinde geliştiği**,
- ◆ Bu etkileşimle birlikte dinamik bir yapıda gelişen teknolojinin, **sanayi devrimine ivme kazandırdığı**,
- ◆ İnsanoğlunun geçmişten günümüze süregelen daha iyisini elde etme çabasının ise, **teknolojiye ait gelişimin sınırlarının çizilmesini zorlaştırdığı** görölmektedir.

3. Sanayi Devrimi Üzerinden Teknolojinin Evrimi

İnsanoğlunun modernleşme sürecinde büyük etkiye sahip olan teknolojinin değişim dönemleri üzerine yapılan araştırmalarda, ekonomist Arnold Toynbee'nin (1852-1883) ilk defa ifade ettiği "**sanayi devrimi**" terimi kullanılmaktadır (Kardelen, 2022).

Literatürde, ayırım çizgileri kesin olarak çizilmemiş olsa da aşağıda kısaca bilgileri sunulan ve genel anlamda **birbirini takip eden dört ayrı sanayi devriminin** gerçekteleştiği üzerine bir uzlaşının olduğu görölmektedir (Kardelen, 2022). Bunlar;

- ◆ **Birinci Sanayi Devrimi-(Endüstri 1.0):**

Üretim süreçlerinde verimliliği artırmak maksadıyla, **enerji kaynağı** olarak **insan** ve **hayvan** gücü yerine **su** ve **buhar** kullanılmıştır. **Buhar motorları** icat edilmiş, fabrikalar kurulmuş ve kitlesel üretim başlamıştır. İlk olarak İngiltere'de ve tekstil sektöründe kullanılmıştır. Derin bilimsel bilgiye ihtiyaç duyulmamıştır. Teknolojik sorunlar daha basittir ve yatırım maliyetleri düşüktür.

- ◆ **İkinci Sanayi Devrimi- (Endüstri 2.0):**

- **Elektrik**, yeni bir **enerji** kaynağı olarak seri üretime güç ve destek sağlamak için, ABD önderliğinde, başta demiryolları, çelik ve kimya sektörleri olmak üzere endüstride kullanılmaya başlanmıştır.

- Değiştirilebilir parçalar ile montaj hatlarının kullanılmasıyla birlikte iş ve güç bölümüne dayalı seri üretim artmıştır.

- Avrupa ve ABD'de sanayileşme yayılmış, fabrika sayıları artmış ve büyük şirketler kurulmuştur.

- Bilimsel **bilgi** ve **yatırım** önem kazanmış, **Ar-Ge** departmanları oluşturulmuş, gelirler artmıştır.

- Özellikle İkinci Dünya Savaşı'ndan sonraki dönemde dayanıklı tüketim malları erişilebilir hale gelmiş ve yaşam standartları yükselmiştir.



◆ **Üçüncü Sanayi Devrimi-(Endüstri 3.0):**

○ **Elektronik ve bilgi teknolojisi (BT)**, planlama ve kontrol dahil olmak üzere **endüstriyel üretimin otomasyonu** için kullanmıştır.

○ Gömülü sistemler ve bilgi teknolojisindeki gelişmeler (*Entegre üretim-Computer-Integrated Manufacturing/CIM, bilgisayar destekli tasarım-Computer-Aided Design/CAD, bilgisayar destekli üretim- Computer-Aided Manufacturing/CAM, gelişmiş üretim teknolojileri- Advanced Manufacturing Technologies/AMT, esnek imalat sistemleri- Flexible Manufacturing System/FMS*) **endüstriyi dijitalleştirmiştir.**

○ Teknik ilerlemelerin **arkasındaki itici güç, güvenlik kaygılarından** kaynaklı **Ar-Ge'ye** yapılan yatırımlar olmuştur.

○ Üretim faaliyetleri, işçilik maliyetlerinin düşüklüğü nedeniyle az gelişmiş ülkelere (*özellikle Asya'ya*) doğru kaydırılmıştır.

◆ **Dördüncü Sanayi Devrimi-(Endüstri 4.0):**

○ **Gerçek zamanlı bilgiyle** birleştirilmiş **Siber Fiziksel Sistemleri** (*Cyber Physical Systems -CPS*) kullanarak, ekolojik hassasiyetleri gözetilen bir endüstriyel zincir oluşturmak suretiyle genel endüstriyel üretkenliğin ve rekabet gücünün artırılmasını amaç edinen **akıllı üretim** yaklaşımını ifade etmektedir.

○ Ağlar üzerinden paylaşım sağlayan teknolojilerin gelişimi ile ortaya çıkmıştır.

○ Maksat; tasarım, üretim, tedarik vb. süreçlerdeki bilgilerin gerçek zamanlı olarak daha hızlı aktarılmasını ve **analizini sağlayan akıllı sistemlerle** örülü üretim ortamını tesis etmektir.

○ Konsept; **birlikte çalışabilirlik** (*Interoperability*), **sanallaştırma** (*Virtualization*), **dağıtıklık** (*Decentralization*), **gerçek zamanlı yetenek** (*Real-time Capability*), **hizmet odaklılık** (*Service Orientation*) ve **modülerlik** (*Modularity*) olmak üzere **altı** tasarım ilkesine dayanır (Khan, Wu, Xu, & Dou, 2017) ki bunlar askeri sistemler için de aranan niteliklerdendir;

○ Endüstri 4.0'ın **yapı taşları** arasında;
▪ Siber fiziksel sistemler (*Fiziksel ve sanal dünyaları bir araya getiren entegre iletişim, bilgi işlem ve kontrol sistemleri*),

▪ Mobil internet ve nesnelerin interneti-IoT (*İnsan-makine ve makine-makine arasında etkileşim sağlayan, akıllı tanımlama, konum, izleme, takip ve kontrolü uygulayabilen sistemler*),

▪ 3D yazıcılar, artırılmış gerçeklik teknolojileri ve simülasyonlar,





- Bulut teknolojisi (yazılım, platformlar, donanım ve diğer bilgi teknolojisi (BT) altyapıları gibi çeşitli internet hizmetleri),
- Akıllı sistemler (Büyük verileri işleme, analiz etme ve paylaşma, kararlara destek olan sistemler) ve otonom robotlar sayılabilir (Kardelen, 2022).

Sanayi devriminin gelişim sürecine bakıldığında; yeni ortaya çıkan teknolojilerin, ihtiyaç ve beklentiler doğrultusunda bir önceki teknolojileri temel alarak sürekli gelişim gösterdiği ve bilim çağı olarak adlandırılan 20'nci yüzyılın **ilk yarısında fizik** diğer yarısında **biyoloji, genetik ve bilgisayar bilimde** gelişmelerin yaşandığı görülmektedir. Bu kapsamda; 21'inci yüzyılda ise **nörobilim, nanoteknoloji ve robotiğin** yükseleceği ve benzer şekilde teknolojiler arasında gerçekleşecek yakınlaşmalar ve entegrasyon neticesinde tahmin edilemez yeni teknolojilerin ortaya çıkacağı, **insan hayatını kökten değiştirebilecek bir potansiyele sahip olan nanoteknolojinin ise daha etkin olacağı** öngörülmektedir (Aybarç, 2007; Dağ, 2019; Ergül & Çakır, 2023; Tüylek, 2021).

4. Askeri Alanda Devrim Boyutunda Teknolojinin Evrimi

“Eğer sadece doğru harp araç, gereç ve silahları kullanılırsa %99 zafer kazanılır. Diğerleri, silahların üstünlüğünün yanında hiçbir şeydir.” J.F. Fuller²

Dünya tarihinin son birkaç yüzyılına bakıldığında; teknolojiyle paralel geliştirilen **Askeri Alanda Devrim³** niteliğindeki yeniliklerin, etki ve ilgi sahasına göre **stratejik, operatif** ya da **taktik seviyede⁴** görece daha fazla hissedildiği (Ökten, 2018), teknolojinin **muharebe sahasının koşullarını insan kapasitesini aşacak biçimde değiştirdiği** ve savaş taktik ve araçlarını etkilediği görülmektedir.

Bununla birlikte, farklı boyutlarıyla birçok disiplinin ilgi odağı olan savaş üzerine çalışma yapan teorisyenlerin, harbin evrimine ilişkin hemfikir oldukları konunun ise, **evrimin daha çok teknolojik yeniliklere** ve bu yeniliklere dayalı olarak geliştirilen stratejilere bağlı olarak gerçekleştiği yönündedir.

² J.F. Fuller (1878-1966), Britanyalı subay, askeri teorisyen ve savaş tarihçisi (Boot, 2006)

³ **Askeri Alanda Devrim** (*Revolution in Military Affairs*): Teknoloji ve savaş arasındaki çift yönlü etkileşimi ve bu etkileşimin savaşın evrimi üzerindeki etkisini açıklamaya yönelik çalışmaların kavramsal çerçevesidir (Çağlar & Gülmez, 2023).

⁴ **Taktik seviye** doğrudan çatışmaların yaşandığı cephe hattı,

Operatif seviye askerî komuta kademesinin ve lojistik hatlarının bulunduğu cephe gerisi,

Stratejik seviye ise kamuoyu ve siyasi karar alıcılar gibi cephe hattı ile doğrudan fiziki bağlantısı olmayan ancak askerî yapının arkasındaki manevi gücü oluşturan unsurları barındırır. (Örneğin, taktik seviyede *üzengi teknolojisi* yardımıyla at üzerinde ok kullanılabilmesi, operasyonel seviyede *savaş gemisi [dretno]teknolojisi*, stratejik seviyede ise *nükleer teknolojinin etki yaratması gibi*.)





Bu kapsamda; teknolojik alanda gerçekleşen yeniliklerin, savaşla etkileşimi üzerine yapılan incelemelerde, **askeri alanda devrimin** aşağıda teknolojik yenilikler merkezinde özetlenen **beş döneme** ayrıldığı görülmektedir (Şahin & Kıvam, 2021).

◆ **Orta Çağ ve Erken Modern Dönem Öncesi**

- Uzun yay, barut, yeni kale mimarileri
- Saldırgan savunma stratejileri

◆ **I. Askerî Evrim**

- Top ve tüfeğin icadı
- Modern devletler ile modern askerî yapıların oluşması
- Hiyerarşi ve emir komuta zinciri, tek tip üniforma

◆ **II ve III. Askerî Evrimler**

- Fransız İhtilali, Sanayi Devrimi, Ulusal seferberlik
- Sanayileşmeye bağlı finansal ve ekonomik güç
- Telgraf (*devletler ile kolonileri arasında iletişim*)
- Demiryolu (*lojistik ve ikmal alanında önemli faydalar*)
- Buharlı gemiler (*denizlerde üstünlükle sanayi devrimin bağlı olarak ortaya çıkan ham madde ihtiyacının giderilmesi*)

- Çabuk ateşlenen barutlu küçük silahlar, toplar ve otomatik silahlar
- Büyük silahlarla donatılmış savaş gemileri, savaş filoları

◆ **IV. Askerî Evrim**

- I. Dünya Savaşı
- Hareketli silah sistemlerinin icadı, ilk tank savaşları
- Hava unsurlarının geliştirilmesi (*uçakların gözetleme, keşif ve bombardıman maksatlı kullanımına dair geliştirilen fikirler*)

- Savaş gemilerinin sağlamlaşması ve modernleşmesi
- Radar teknolojisinin icadı, radar-sinyal istihbaratı
- Blitzkrieg (*Yıldırım*) Doktrini, stratejik bombalama, denizaltı savaşları, amfibi savaşları

◆ **V. Askerî Evrim**

- Nükleer silahlar ve balistik füze güdüm sistemleri
- Konvansiyonel mühimmatın artan kitlesel öldürücülüğü
- Komuta kontrol sistemlerinin bilgisayar ağına bağlanması
- Radar altı sistemler, gelişmiş sensörler, gerçek zamanlı uzaydan ve havadan alınan görüntüler, komuta-kontrol-iletişim-bilgisayar ve istihbarat (*Command-Control-Communications-Computers-Intelligence-C4I*)





İçinde bulunduğumuz V. Askeri Evrim döneminde harekâtın yapısı çok daha kompleks bir yapıya bürünmüştür. Hasım unsurlar yerel halk, suç örgütleri, güvenlik firmaları, sivil toplum kuruluşları gibi çok aktörlü bir yapıda hareket eder hâle gelmiştir. Harekât ortamı sivil halkın ve yan hasarın minimum olacağı geniş düzlük ve vadilerden çıkarak şehir merkezleri, siber dünya gibi yan hasarların fazla olacağı alanlara kaymıştır.

Bu alanda çalışma yapan Krepinevich'e göre de askeri devrim, **yeni teknolojilerin önemli sayıda askeri sisteme uygulanması**, çatışmanın karakterini ve davranışını temelden değiştirecek şekilde yenilikçi operasyonel kavramlar ve örgütsel adaptasyon ile birleştiğinde ortaya çıkan şeydir ve tarih boyunca 10 Askeri Devrim yaşanmıştır. Bunlar; piyade, topçu, denizde ateş devrimi (*deniz platformlarının silahlandırılması*), tahkimat, barut, Napolyon tarzı, kara harbi, deniz harbi, iki dünya savaşı arası makinalaşma-havacılık-bilgi teknolojileri ve son olarak nükleer devrimdir (Krepinevich, 1994).

Savaşın yürütülme biçimini köklü bir şekilde değiştiren önemli yenilikler olarak tanımladığı askeri devrimlerin, tarihsel süreçte nasıl şekillendiğini ve teknoloji merkezinde gerçekleşen bu devrimlerin savaşın karakterine, organizasyon yapılarına ve eğitime olan etkilerini (*örneğin tankların ve hava gücünün entegrasyonu, modern savaşın dinamiklerini değiştirmesi gibi*) kapsamlı bir şekilde ele alan Max Boot ise, **askeri devrimleri** gelişmelere göre **dört dönem halinde** sınıflandırmıştır (Boot, 2006):

- ◆ **Birinci Dönem: Ateşli Silahların Yükselişi (15. Yüzyıl)**
 - Çin'den getirilen **barut**, Avrupalılar tarafından savaş alanında kullanılmaya başlanmış ve savaş taktiklerinde köklü değişimler yaşanmıştır.
 - **Tüfeklerin** icadı piyade birliklerinin etkisini artırmıştır.
 - **Topların** gemilerde kullanımı ile deniz gücünün önemi artmıştır.
- ◆ **İkinci Dönem: Sanayi Devrimi (18. ve 19. Yüzyıllar)**
 - **Sanayi devrimi**, askeri üretim süreçlerini ve lojistik sistemleri dönüştürmüştür. Endüstriyel Üretim ile mühimmat, silah ve diğer askeri teçhizatın seri üretimi orduların kapasitesini artırmıştır.
 - **Demiryolları:** Askeri malzeme ve birliklerin daha hızlı bir şekilde hareket ettirilmesini sağlamış, lojistik süreçler iyileştirilmiştir.
 - **Buhar Gücü:** Buharlı gemilerin ve lokomotiflerin kullanımı, deniz ve kara taşımacılığında devrim yaratmıştır.
 - **Telgraf:** İletişimde devrim yaratarak, stratejik kararların daha hızlı alınmasını sağlayarak komuta zincirlerini güçlendirmiştir.



◆ Üçüncü Dönem: (20. Yüzyılın Başları)

○ Sanayi devriminin muharip havacılık ve hava bombardımanı üzerine yarattığı etkilerin görüldüğü dönemdir. **Hava gücü** özellikle I. Dünya Savaşı'nda önem kazanmaya başlamıştır.

○ **Uçaklar**, keşif, bombardıman ve hava üstünlüğü sağlama gibi yeni stratejik yetenekler kazandırmıştır.

○ **Zeplinler**: Başlangıçta hava durumu ve istihbarat toplamada kullanılmış, sonraları bombardıman görevlerinde de yer almıştır.

○ **Hava Savunma Sistemleri**: Hava saldırılarına karşı koruma sağlamak amacıyla geliştirilen sistemler ortaya çıkmıştır.

○ **Tanklar**: Kara savaşlarında devrim yaratmıştır.

◆ Dördüncü Dönem Nükleer Dönem:(Soğuk Savaş Dönemi)

○ Savaş alanlarına benzeri görülmemiş **iletişim tekniklerini** getiren, hassas güdümlü füzeleri ve akıllı mühimmatları öngören **bilgi devrimi** dönemidir.

○ **Nükleer Silahlar**: 1940'ların sonlarına doğru geliştirilen atom ve hidrojen bombaları, caydırıcılık politikalarının merkezine oturmuştur. Nükleer caydırıcılık, savaş stratejilerini ve uluslararası ilişkileri derinden etkilemiştir.

○ **Balistik Füzelere**: Uzun menzil hedeflerini vurabilen füzelerin geliştirilmesi, stratejik askeri dengeleri değiştirmiştir.

○ **Uydular**: Askeri iletişim, istihbarat toplama ve gözlem işlevleri için uyduların kullanımı, modern savaşın dinamiklerini etkilemiştir.

M.Boot (2006)'un askeri teknolojiler üzerinden, gelecek beklentileri ise şunlardır;

◆ Siber sistemler, yapay zekâ, otonomi, robotik sistemler, insansız sistemler, gerçek zamanlı veri paylaşımına imkân veren iletişim sistemleri, lazer silahları, **nanoteknoloji** alanlarında gelişmeler yaşanacağı,

◆ Fiziksel ve dijital alanların entegrasyonu (*artırılmış gerçeklik ve sanal gerçeklik uygulamaları vasıtasıyla eğitim, tatbikat ve harp oyunları ile simülasyon sistemlerinin gelişmesi*) sayesinde etkinliğin artacağı, ağ merkezli savaş doktrinlerinin geliştirileceği, karar süreçlerinin hızlanacağı, muharebe sahasındaki insan sayısının azalacağı,

◆ Yenilenebilir enerji kaynakları ile sürdürülebilirliğin sağlanacağı, verimlilik ve etkinliğin artacağı,

◆ Nihayetinde sürekli yenilenen askeri teknolojinin, savaşın karakterinde köklü değişikliklere sebep olacağı yönündedir.





Bu çerçevede, **niteliğin niceliğe tercih edildiği** içinde bulunduğumuz çağda, iletişim ve bilişim teknolojileri ile özellikle **malzeme biliminde** yaşanan gelişmeler doğrultusunda;

◆ Dünyadaki güç dengelerini değiştirebilecek potansiyele sahip **nanoteknolojiyle**, nanometre boyutunda, dayanıklı ve kontrol edilebilir **akıllı malzemelerin** üretilebileceği,

◆ Yapay zekâ ve otonom sistemlerin yoğun kullanımı neticesinde muharebelerin hızlanacağı,

◆ Yapay zekâ, otonomi, **nanoteknoloji**, biyoteknoloji nörobilim ve robotik odağında savaş hasarlarının azaltılabileceği ve savaşların evrim geçireceği literatürde yer alan araştırmalarda yer almaktadır (Atlıg, 2022; Dağ, 2019; Erdağ, 2020; Özer, 2019; Şahin & Kıvam, 2021; Şengöz, 2021; Yılmaz S., 2021 ve 2024).

5. Nanoteknoloji; Yeni Teknoloji Çağı-Büyümenin Yeni Boyutu

Tarihsel arka planda, **savaş ihtiyaçlarını karşılama arayışlarının, teknolojik ilerlemelere** neden olduğu görülmektedir. Bilhassa, internet ve mikro elektronığın entegre edildiği sistemlerde yarattığı katma değer, bir yandan bilimsel ve teknolojik ilerlemeleri hızlandırırken diğer yandan **kullanılan malzeme, cihaz ve sistemlerin etkinliğini artırmak maksadıyla bilişim ve iletişim alanında yeni niteliklere sahip malzemelerle üretim ihtiyacını** ortaya çıkarmıştır. Bu ihtiyaçtan hareketle, özellikle savunma ve güvenlik alanında atomik ve **moleküler seviyede, nanometre⁵ boyutunda yeni özelliklere ve işlevlere** sahip, daha fazla koruma ve hareket serbestliği sağlayan, daha dayanıklı malzeme, cihaz ve sistem üretimindeki arayış artmıştır (Çıracı, 2010). Bu arayışlar da **nanoteknoloji** kavramını hayatımıza sokmuştur.

Ancak, kuvvet çarpanı yenilikleri vaat eden teknoloji, araçtan öte, eğer silahlı gücün yerine geçerse veya **teknolojiye aşırı güven** silahlı gücü rehavete sokarsa vahim sonuçlarla karşılaşılacağı unutulmamalıdır. Zira, teknolojik ilerlemelerle malzeme bilimindeki gelişmelere bağlı olarak geliştirilen ekipmanlar hem insanın öldürülmesini zorlaştıracak hem de aşırı güvenden kaynaklı askeri gücü rehavete yöneltebilecek potansiyele sahiptir (Uşaklı, 2007; Yılmaz S., 2024).

⁵ “Nano” kelimesiyle ifade edilen bir madde/ araç değil **ölçü birimidir**. Eski Yunancada “cüce” anlamına gelen “nanos” kelimesinden türetilmiştir ve **herhangi bir fiziksel büyüklüğün bir milyarda biri** anlamında kullanılmaktadır. Bir nanometre (nm), metrenin milyarda biri kadardır (1.000.000.000 nm = 1 m). Buna göre bir insan saçının çapı ortalama 80.000 nanometredir (Gurubu Üyeleri, 2004; Şahin O., 2019)





Yapılan araştırmalarda “**nano-ölçeğe**” yaklařtıķça atomların ve moleküllerin **farklı fiziksel davranışlar** sergiledikleri, iletim özelliklerinin (*momentum, enerji, kütle vb.*) sürekli değil kesikli, optik-elektronik-manyetik ve kimyasal davranışların ise klasik değil kuantum olarak geręekleřtięi görölmektedir. Bu bağlamda **nano ölçekte** işlem yaparak, **maddenin farklı özelliklerinden** istifade etmek suretiyle yeni teknolojik nano-ölçekte malzeme, sistem, cihaz üretmek mümkün olmuştur. Böylelikle elektronik, kimya, fizik, malzeme bilimi, uzay ve sağlık bilimlerinde çığır açan, köklü değişikliklere ulaşmak mümkün olmuştur (Ergöl & Çakır, 2023; Gurubu Üyeleri, 2004; şahin O., 2019; Tüylek, 2021).

Nanoteknoloji, maddenin 1 ila 100 nanometre arasındaki davranışını anlama ve kontrol etme bilimidir. Başka bir ifadeyle, **nanometre boyutundaki malzemelerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik niteliklerinin geliştirilmesi, değiştirilmesi, tasarlanması** sonucunda **yeni malzeme, cihaz ve sistemlerin ortaya çıkarılmasıdır** (Kardelen, 2022). Nanoteknoloji disiplinler arası bir kavramdır ve **nano ölçekteki ürün ve süreçleri tanımlayan şemsiye bir terimdir**. Tıp, biyoteknoloji, tarım, kimya, ilaç, elektronik ve malzeme, bilgisayar, bilgi ve bilişim gibi farklı alanların birleşimidir ve tüm disiplinleri kendi fonksiyon saharlarında moleküler seviyede araştırmaya, düşünmeye, tasarıma ve ürün ortaya koymaya yönlendirmektedir. Nanoteknoloji, biręok alanda yeni özelliklere ve işlevlere sahip malzeme, cihaz ve sistem üretebilmek için **atomik ve moleküler yapılar da çalışmayı** gerektirmektedir (Kardelen, 2022; Tüylek, 2021). Teknoloji çalışmalarında, “**boyut**” kapsamında ölçeklendirmeye ait bir sınıflandırma yapılacak olursa;

◆ **Makroteknoloji**

- Newton fizik kuralları etkilidir.
- 0,1 mm’den büyük, gözle görölen malzemelerle yapılan makro ölçekteki teknolojik uygulamalardır.

◆ **Mikroteknoloji**

- Geleneksel fizik kuralları geçerlidir.
- 0,1 mm ile 100 nm arasındaki boyutlarda olan malzemelerle yapılan moleküler ölçekteki teknoloji uygulamalarıdır.

◆ **Nanoteknoloji**

- Geleneksel model ve teoriler maddenin özelliklerini açıklamakta yetersiz kalır. Newton fizik kuralları yerine artık kuantum fiziği kuralları geçerlidir.
- Yer çekimi kuvveti küçüktür ve esas olan kuvvet elektromanyetik kuvvettir.





○ 1 nm ve 100 nm arasındaki boyutlarda olan malzemelerle yapılan atomik ve moleküler ölçekteki teknoloji uygulamalarıdır. Üstün fiziksel, kimyasal, manyetik ve optik özellikler gösterir, yüzey alanı/hacim oranı yükselir, neredeyse tüm atomlar yüzeyde konumlanmıştır ve bu durum maddenin reaktivitesini artırır, madde reaksiyona açık hâle gelir (Ergül & Çakır, 2023).

Nanoteknoloji ile İlgili Literatürde Yer Alan Tanımlamalara Örnekler	
Kaynak	Açıklama
Nario Taniguchi (1974)	Esas olarak malzemelerin atomik veya moleküler ölçekte işlenmesini, ayrılmasını, konsolidasyonu ve deformasyonunu kapsayan bir teknolojidir.
Uldrich ve Newberry (2003)	Maddenin atomik ve moleküler ölçekte işlenmesi suretiyle, tamamen değişmiş ve daha gelişmiş araç, sistem ve malzemelerin elde edilmesidir.
Hall (2005)	Atom fiziği tarafından belirlenen sınırlara yaklaşıldığında sahip olacağımız yetenekler kümesidir.
Booker ve Boysen (2005)	En yaygın iki tanımı şunlardır: Birincisi, 100 nanometre (nm)'den küçük bir şeyle uğraşan herhangi bir teknoloji anlamına gelen geniş, genişletilmiş bir versiyonudur. İkincisi ise her atomun ve kimyasal bağın kesin olarak düzenlendiği makineleri tasarlamak ve inşa etmektir.
Naschie (2006)	Nanometre ölçeğindeki malzemelerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin incelenerek yeni malzeme, cihaz ve sistemlerin geliştirilmesidir.
Choi ve diğ. (2007)	1 ila 100 nm boyutunda araştırma ve teknoloji geliştirme; küçük boyutları nedeniyle yeni özelliklere sahip yapılar oluşturmak ve kullanmak ve atomik ölçekte kontrol etme ya da manipüle etme kabiliyetidir.
Piddock (2007)	Doğanın bir şeyi yaratırken kullandığı yaklaşımı uygular. Doğa, molekülleri oluşturmak için atomları birleştirir. Sonra moleküller hücreden ağaca, insana kadar varlıkları oluşturan maddeyi yaratmak için bir araya gelir. Modern kimyanın en ileri tekniklerini kullanan nanoteknoloji, atomlarla molekülleri, doğada bulunmayan şekillerde birleştirerek, yeni şeyler yaratmayı hedefler.
Nickols-Richardson (2007)	Normal boyutlarında bilinen özelliklere ve işlevlere sahip malzemelerin, nano boyutlarında farklı ve çoğu zaman yararlı özellikler ve işlevler almasıdır.
Erkoç (2008)	Sadece nano ölçekteki malzemelerin boyutlarıyla ilgili değildir; ayrıca bu ölçekte maddenin yığın hâline göre sergiledikleri üstün ve farklı fiziksel, kimyasal, manyetik, optik, elektronik, biyolojik ve mekanik özelliklerle ilgilidir.
Lele (2009)	Sadece boyutla ilgili değildir, nano ölçekte doğal olarak ortaya çıkan benzersiz fiziksel, kimyasal, biyolojik ve optik özellikler ve bu tür etkileri manipüle etme ve tasarlama yeteneği ile ilgilidir.
Şengil (2010)	1 nm ve 100 nm arasındaki boyutlardaki malzemelerle yapılan, geleneksel model ve teorilerin, meydana gelen malzemelerin özelliklerini açıklamakta yetersiz kaldığı ve Newton fizik kuralları yerine artık kuantum fiziği kurallarının geçerli olduğu, atomik ve moleküler ölçekteki teknoloji uygulamalarıdır.
Clunan ve diğ. (2014)	Nano ölçekte fizik, kimya, biyoloji, malzeme bilimi ve mühendisliği içeren geniş ve yeni bir bilim alanıdır.

(Ergül & Çakır, 2023) çalışmasından alınmıştır.

Savunma ve güvenlik sektörü de dahil olmak üzere, yaşamın her alanında uygulanabilir olan nanoteknolojinin; sosyal ve kültürel yaşam tarzları ile ülke ekonomilerini dönüştürecek, silahlı kuvvetlerin kapasitesini artıracak bir potansiyele sahip olduğu söylenebilir (Ergül & Çakır, 2023).





6. Mikro Dünyadan Gelen Makro Değişim: Nanoteknolojinin Potansiyeli

Malzeme bilimi üzerine çalışma yürütenler, boyut bakımından büyük ölçekteki benzerlerine oranla daha yüksek mukavemete sahip ve daha hafif olan, artan iletkenliği ve kimyasal reaktivite gibi gelişmiş özelliklerinden yararlanarak sağlık, ilaç endüstrisi, tekstil, elektronik, otomotiv, gıda ve uzay gibi farklı alanlarda birçok nano ölçekte malzeme üretmede başarılı sonuçlar elde etmiştir. **Nanoteknoloji stratejik, ekonomik ve teknolojik verimlilik açısından günümüzün ve geleceğin kritik ve çığır açıcı teknolojisi olarak kabul edilmektedir.** Daha az yer kaplayan, daha küçük boyutlara sahip, daha az enerji ile daha hızlı çalışan sistemler ve cihazlar geliştirmeyi amaç edinen çalışmalara bağlı olarak genel anlamda nanoteknolojinin gelişim gösterebileceği kullanım alanları şunlardır (Ergül & Çakır, 2023; Gurubu Üyeleri, 2004; Kardelen, 2022; Şahin O., 2019; Tüylek, 2017 ve 2021):

◆ İmalat Sektörü ve Akıllı Malzemeler:

- Nano boyutundaki malzemeler karakteristik ısı ve elektriksel iletkenlik özelliklerine sahip, daha dayanıklı, daha uzun ömürlü, daha esnek, daha hafif ve akıllıdır. Özellikle karbon nanotüpler (*Carbon Nanotubes-CNT*), çok maksatlı olarak birçok alanda kullanılabilir.

- Boyalar, katalizörler, yakıt katkı maddeleri, yakıt hücreleri ve elektrotlar, ilaçlar, sensörler, elektronik aletler, görüntüleme cihazları ve güçlendirilmiş kompozitler, akıllı (*smart*) tekstil ürünleri, cam, ambalaj ve nano-kaplamalar, kendinden birleştirilmiş tek tabakalardan oluşan kurşunsuz iletken yapıştırıcılar yaygın kullanım ve uygulama alanları arasında yer almaktadır.

- Kolay temizlenebilen veya kendi kendini temizleyebilen antibakteriyel nano kaplamalar da üretilebilmektedir.

- Organik Işık Yayan Diyotlar (*Organic Light-Emitting Diode-OLED*) için de kullanılmaktadır (*OLED'ler, kurşun içeren Katot Işın Tüplerinin yerini alan bir görüntüleme teknolojisidir ve civa gerektirmez.*).

- Katalitik dönüştürücülerin işlevselliğini geliştirebilmekte ve gerekli platin grubu metallerin kütlesini %95'e kadar azaltabilmektedir.

- Nano ölçekli üretim, yüzey ve yüzey altı desenleri, 3D nano yapılar, nano teller, nanotüpler ve nano-parçacıklar dâhil olmak üzere, 1 ile 100 nm arasında en az bir yanal boyuta sahip yapıların, malzemelerin ve bileşenlerin üretilmesi anlamına gelmektedir.

- Üretimde artık oluşmadığından, daha az malzeme kullanıldığından ve daha az enerji sarf edildiğinden nano imalat tercih edilmektedir.



◆ Elektronik ve Bilişim Sistemleri

○ Bilişim ve iletişim teknolojilerinde boyutlar küçüldükçe, fonksiyonellik ve kapasite artmakta, cihazlar daha dayanıklı, hafif ve kullanışlı bir hâle gelmektedir. Bu gelişme en çok bilgisayar çiplerinde görülmektedir.

○ Nano ölçekte elektronik devre elemanları üretilmesiyle bilgisayarlar küçülmekte, esnek ve daha kullanışlı bir hale gelirken daha hızlı işlemciye sahip olmaktadır.

○ Kuantum bilgi işleme yöntemleri vasıtasıyla erişilen yüksek bilgi işlem hızları sayesinde karmaşık problem çözme faaliyetleri ve karar süreçleri hızlanmaktadır.

◆ Havacılık ve Uzay

○ Hacim ve ağırlık gibi sorunlar nedeniyle alınabilecek yakıt sınırlandırıldığından, radyasyon ve sıcaklığa maruz kalan malzemeler kısa sürede deforme olduğundan görev süresi kısıtlanmaktadır.

○ Nanoteknoloji ürünü malzemelerle (*örneğin çelikten çok daha güçlü, esnek ve hafif, daha dirençli karbon nano tüpler*) daha hafif, daha küçük ve daha dayanıklı, sıcaklığa ve radyasyona dirençli malzemeler üretilmekte ve maliyetler düşürülebilmektedir.

○ Karbon nanotüpler olağanüstü sertlikleri, dayanıklılıkları ve benzersiz elektriksel özellikleri nedeniyle çeşitli polimerlerde dolgu maddesi olarak kullanılmaktadırlar.

○ Karbon nanotüpler, nanokiller, nanofiberler ve grafen kullanımı en yaygın olan nanokompozitlerdir.

◆ Tıp ve Sağlık

○ Biyolojik sistemlere, atomik ve moleküler ölçeklerde müdahale edilebilmektedir.

○ Nano tıp (*nano malzemeler ve nano elektronik biyosensörler*) uygulamaları kapsamında, ağırlıklı olarak erken teşhis ve tedavi için nano-sensörler, kanser tedavisi, hedefli ilaç salım sistemleri (*vücuttaki belirli bölgeleri hedef alan ilaç dağıtımı*) ve dışarıdan ameliyat izi olmadan hassas cerrahi operasyonlar gerçekleştirebilen nano-robotlar ile yapay organ ve doku yapılıması yönünde araştırmalar bulunmaktadır.

○ Hayati fonksiyonların takip edilebilmesi, acil durumların kablosuz ağlar vasıtasıyla tıbbi merkezlere bildirilmesi maksadıyla nano-sensörlerle donatılmış akıllı kıyafetlere yönelik çalışmalar yapılmaktadır.





○ Dış etkenlere bağlı olarak canlı vücudunda gerçekleşen biyolojik olayların anlamlandırılması amacıyla biyosensörler (*biyolojik bir olayın elektrik sinyali haline dönüştürülmesi*) ile ortopedik implantlarda veya doku mühendisliği ürünleri için yapı iskelesi olarak kullanılan biyomalzemeler geliştirilmektedir.

○ Bazı nano ölçekli parçacıklar sayesinde, testler daha hassas, esnek ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

○ Nanoteknolojinin hatalı olan genlerin tespit edilerek müdahale edilebilmesi amacıyla gen tedavisinde de kullanılabileceği öngörülmektedir.

◆ **Tekstil**

○ Nanoteknolojiden en çok etkilenecek sektörlerin başında tekstil endüstrisi gelmektedir. Buruşmayan, leke tutmayan, su geçirmez, ısı ve ışığa göre çevresine uyum sağlayan-renk değiştirebilen kıyafetler üretilmektedir.

○ Elektronik bileşenlerin, sensörlerin entegre edildiği tekstil ürünlerinin, duyacak, görecek, hissedecek, veri depolayacak, gerektiğinde ilgili birimlere komut verecek, acil tıbbi ilk müdahaleyi yapacak, kendi kendini onarabilecek ve temizleyebilecek, koruma özelliği artırılmış ve enerji depolayacak şekilde yıkamaya ve darbelere karşı dayanıklı, daha fonksiyonel, performansı yüksek ve akıllı hâle getirilmesi hedeflenmektedir.

◆ **Enerji**

○ Enerjinin üretilmesi, depolanması ve kullanıma sunulmasında nanoteknolojinin devrim niteliğinde yeniliklere yol açacağı ve enerji tasarrufu sağlanabileceği öngörülmektedir.

○ Çevresel kaygılar ve artan enerji gereksiniminden hareketle sürdürülebilir ve temiz enerji kaynaklarına eğilim artmıştır. Alternatifler arasından birim ağırlık başına sahip olduğu kimyasal enerji ile hafif ve çok yanıcı olması bakımından hidrojen ilk sırada yer almaktadır.

○ Hidrojen gazının yakılmasıyla ortaya çıkan ısı enerjisinin, yakıt hücrelerinde uygun şartlarda okside edilmesiyle, elektrik enerjisi elde edilebilmektedir.

○ Nanoteknoloji sayesinde emniyetli, ekonomik ve etkin bir depolama teknolojisi geliştirilebileceği, minyatür yakıt hücrelerinin taşınabilir bilgisayarlardan, telefonlara ve araçlara kadar birçok alanda kullanılabileceği öngörüldüğünden çalışmalar bu yönde hız kazanmaktadır.

○ Nano malzemeler ve nano yapılar kullanılarak güneş pillerinin verimliliği laboratuvar skalasında %40'lara kadar yükseltilmiş ve güneş pillerinin polimer ve kumaş gibi bükülebilir alttaşlar üzerinde üretilebilmesi sağlanmıştır.



◆ Çevre

○ Çevresel sorunların erkenden tespit edilmesi, atıkların nano-robotlar vasıtasıyla yok edilmesi, üretim atıklarının azaltılması nanoteknolojinin çevresel etkileri arasında yer almaktadır.

○ Havayı kirleten maddeleri ışıkla yok eden, katalitik konvertörleri daha verimli, daha ucuz ve daha kontrollü hâle getiren, toksik malzemeleri ve sızıntıları tespit eden, fosil yakıt emisyonlarını ve zararlı gazları azaltan nanoteknoloji tabanlı yenilikler beklenmektedir.

○ Araştırmalar neticesinde, yakıtta eklenen seryum oksit nanoparçacıkları sayesinde, yakıt tasarrufunun sağlanabileceği ve egzoz kaynaklı çevreye verilen olumsuz etkilerin azaltılabileceği tespit edilmiştir. Daha temiz ve çevre dostu ulaşım araçları üretilebilecektir.

◆ Gıda Sektörü

○ Gıda sektöründe nanoteknoloji uygulamaları ağırlıklı olarak ambalajlama ve depolama üzerinedir. Sensörler vasıtasıyla paketlenmiş gıdanın sağlık ve konum bilgilerinin tespit ve takip edilmesi beklenmektedir.

○ Nanoteknoloji ile dış ortamla temasın tamamen kesilmesi, yenilebilir ambalaj malzemelerinin kullanılması, kanserojen etkilerin ve atık sorunlarının çözülmesi, bakterilerin tespit edilmesi, yeni gıda katkı maddeleri ile diğer aroma türlerinin üretilmesi hedeflenmektedir.

◆ Biyoteknoloji ve Tarım

○ Yaşama ilgili tüm bilgi DNA'dadır ve nanoteknolojideki gelişmelere bağlı olarak tarım ürünlerinin DNA'sıyla oynanarak etkin ve verimli tarım hayal edilmektedir.

○ İnsan sağlığı için tehlikeli olan böcek zararlılarından ve kimyasal böcek ilaçlarından korumak amacıyla nanoteknolojiden (*Bacillus thuringiensis* bakterisinden proteinler içerecek şekilde) faydalanılmaktadır.

◆ Otomotiv Sanayi

○ Yakıt pillerinin geliştirilmesiyle, içten yanmalı motorlara alternatif oluşacaktır. Bu sayede temiz, sessiz ve verimli araçların üretilmesi mümkün hâle gelecektir.

○ Nanomalzemelerden üretilen araçlar daha sağlam ve daha hafif olacağından yakıt sarfiyatı düşecek ve çevreye yayılan emisyon oranı azalacaktır.

○ Nanopartiküller ile güçlendirilen motorlar, daha performanslı ve uzun ömürlü olacaktır.



◆ İnşaat Sektörü

○ Nanoteknoloji ile yüksek performanslı, fonksiyonel, dayanıklı, esnek ve hafif inşaat malzemelerinin üretilmesi mümkün görünmektedir.

○ Nano sensörlerle akıllı hâle getirilmiş yapılar, asfalt ve betonu suya karşı daha dayanıklı hâle getiren nano moleküler yapılar, ultraviyole ve kızılötesi radyasyonu engelleyen malzemeler, ince ve etkili yalıtım malzemeleri, kendi kendini temizleyen pencereler, solmayan, toz ve mikrop barındırmayan boyalar vb.leridir.

◆ Bilim ve Eğitim

○ Bilgi işlem teknolojilerinde meydana gelen gelişmeler sonucunda, bilgisayarların işlem hızlarının ve kapasitesinin artması ile 3 boyutlu sanal gerçeklik uygulamaları hem sivil hem de askerî alana yönelik olarak, giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır.

○ Simülasyon ve modellemeye olan ilgi, dünya genelinde artış göstermektedir.

○ Artırılmış gerçeklik teknolojilerinin kullanımıyla oluşturulan sanal eğitim ortamında, bireylerin gerçekçi şartlarda eğitim alması ve eğitim konularını gerçek anlamda tahayyül etmeleri sağlanabilecektir.

○ Bu durum eğitim için harcanan eğitim yardımcı malzemelerinin kullanımını azaltabilecek ve daha ekonomik bir eğitim ortamı oluşturabilecektir.

○ Böylelikle nitelikli personelin, gerçekleştirilmesi çok zor ve riskli görevlere hazırlanması mümkün olacak, böylelikle iş ortamında yaralanmalar asgari seviyeye düşürülecektir.

Yapılan araştırmalara göre nanoteknoloji alanında ağırlık verilmesi gereken konular arasında;

- ◆ Enerji üretimi, depolanması ve dönüşümü,
- ◆ Tarımsal verimliliğin artırılması, su ıslahı ve saflaştırma,
- ◆ Hastalık tanı ve görüntüleme sistemleri,
- ◆ Sağlık uygulamaları (*hayati parametreleri takip eden akıllı kıyafetler vb.*) ve ilaç geliştirilmesi, hedefli ilaç salınımı,
- ◆ Gıda işleme ve paketlenme,
- ◆ Hava kirliliği başta olmak üzere çevresel sorunlara çözüm,
- ◆ Yapı ve inşaat malzemeleri,
- ◆ Haşere kontrolü yer almaktadır.



7. Nanoteknolojinin Askeri Alanda Geleceği

“Harp sanayii tesisatımızı, daha ziyade inkişaf ve tevsî için alınan tedbirlere devam edilmeli ve endüstrileşme mesaimizde de ordu ihtiyacı ayrıca göz önünde tutulmalıdır.”⁶

M. Kemal ATATÜRK

Savunma sanayi sektöründe belki de **baruttan sonraki çığır açacak ve güç dengelerini değiştirecek bir teknoloji olan nanoteknoloji** üzerine yapılan çalışmalar, karbon-nanotüpler, manyetik nano-parçacıklar, yüksek çözünürlüğe sahip görüntüleme cihazları için organik ışık yayıcı diodlar, nano-bilgisayarlar, nano-sensörler ve biyo-moleküler aletler üzerine odaklanmıştır. Çünkü nanoteknoloji, daha dayanıklı, hafif ve esnek malzemelerle sağlanan daha yüksek koruma ve daha hızlı hareket, daha fazla öldürücü etki, daha uzun hayatta kalma ve daha iyi kendini destekleme kabiliyeti kazandıracak potansiyele sahiptir ve nanoteknolojinin askeri alandaki etkileri kapsamında şunlar ifade edilebilir (Özer, 2019):

- ◆ Bilgi sistemlerinin performansları artırılabilir.
- ◆ Teçhizat ağırlığının azaltılması için yeni yöntemler geliştirilebilir, uygulandığı malzemelere hızlı hareket edebilme kabiliyeti kazandırabilir, hafiflik sağlanabilir.
- ◆ Geliştirilecek çeşitli tip ve büyüklükte, hareketli ve hareketsiz, yapay zekâ destekli veya otonom nano sensörlerle; mayınların tespiti, sınır ihlalleri, silah ve birlik hareketleri, kirletilmiş bölgeler, hasar tespitleri, gerçek zamanlı hedef ve konum belirleme, tespit, teşhis ve takip işlemleri daha hassas doğrulukla gerçekleştirilebilir, durumsal farkındalık artırılabilir.
- ◆ Giyilebilir ve esnek nanokompozitler ile nanofiberlerden üretilmiş ve sensör entegreli, biyolojik ve kimyasal saldırılara karşı koruma sağlayan, vücut fonksiyonlarını gözlemleyerek ısı düzenlemesi yapan, yaraları iyileştiren akıllı savaş kıyafetleri üretilebilir.
- ◆ Algılama, iletişim, gece görüş, elektronik-elektrooptik malzemelerde kullanılacak hafif ve çok fonksiyonlu, daha hassas ve uzaktan görüntüleme elde eden malzemeler geliştirilebilir.
- ◆ Platform merkezli askeri sistemler hafif-esnek-dayanıklı ve daha fazla koruma özelliğine sahip, görünmezlik teknolojisi ile destekli bir hale getirilebilir.

⁶ Atatürk'ün 1 Kasım 1937 yılında Türkiye Büyük Millet Meclisinin açış konuşmasında, savunma sanayii ile ilgili ifadeleri. (Ziylan, 2004)





◆ Kısa, orta ve uzun menzilli füzeler, insanlı ve insansız hava/kara araçları, uydular, fırlatma roketleri, roketler vb. birçok silah sistemi, nanoteknoloji ile desteklenerek dinamik kontrol sağlanabilir.

Nanoteknoloji ile üretilen yeni malzemelerin; suyu itebilme, istenilen renkleri ve ışığı yansıtabilme, kendi kendine yüzey temizlemeyebilme, yanma karakteristiklerini değiştirebilme, esneklik, incelik, hafiflik, sertlik, dayanıklılık vb. kamuflaj-görünmezlik, yüksek şekillendirme kolaylığı ile yüksek darbe ve sertlik mukavemeti özelliklerinden ötürü kısa, orta ve uzun vadede beklenenler şunlardır:

- ◆ Kısa ve orta vadede;
 - İnsansız mini araçlara entegre edilmiş mikro radarlar,
 - Sensörler (*yüksek hassasiyetli Termal IR sensörleri, biyolojik ve kimyasal sensörler, gömülü-akıllı ve sürekli hayatta kalabilen sağlık durumu kontrol sensörleri vb.*),
 - Malzeme ve sensör arasında emniyetli RF telsiz haberleşme bağı,
 - Portatif ve giyilebilen ataletsel seyrüsefer sistemleri,
 - Yüksek hassasiyetli, minyatür kamera sistemleri,
 - Malzeme ve mühimmatın durumunu sürekli takip ederek kaydeden sistemler,
 - İlaç ve besin maddesi dağıtım sensörü ve sistemi,
 - Nano enerjetik roket yakıtları ve patlayıcılar,
 - Güç üreteçleri, bataryalar ve yakıt hücreleri,
- ◆ Uzun vadede;
 - Malzeme yüzeylerinin korozyona uğramayacak, buzlanmayı önleyici, zor aşınacak şekilde işleme tabi tutulması, sürtünmesiz, yüksek performanslı yapı ve akıllı yüzey malzemeleri,
 - Reaktif nano zırh kompozitleri,
 - Kendi kendini tamir eden malzemeler,
 - Askerler için koruyucu elbise, ortama uyabilen kamuflaj,
 - Biyo aktif ve elektronik, görünmezlik sağlayan elbiseler,
 - Darbeye dirençli rheo fluidic (*akışkanların akış özelliklerinin zaman, basınç veya uygulanan kuvvet gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermesi*) sistemler,
 - Katalizörler, elektronik, fotonik, manyetik malzemeler,
 - Biyomedikal malzemelerdir (Akçay, 2007).



8. Sonuç

Platform merkezli harp araç, silah ve sistemlerinde **devrim niteliğinde teknolojik ilerlemelerin gerçekleşmesine imkân verebilecek olan nanoteknoloji**; aerodinamik, hareket kabiliyeti, görünmezlik, algılama, güç üretimi ve yönetimi, akıllı yapılar ve malzemeler ile dayanıklılık ve sağlamlık alanlarında görünür etkiler yaratabilecek potansiyele sahiptir. Nanoteknolojinin sunduğu imkanlar çerçevesinde ortaya çıkacak yeni yüksek performanslı malzemelerin özellikle bilişim teknolojileri ile entegrasyonu neticesinde geliştirilen askeri platformların savaşın karakterini değiştirebileceğini söylemek mümkündür. Bu teknolojiler, yüksek algılama kabiliyetli biyolojik ve kimyasal çoklu sensörler ile analiz sistemler için gerekli olan malzemelerin geliştirilmesini sağlayabilir.

Sıralanan etkiler doğrultusunda askeri alandaki nanoteknolojinin geliştirilmesi çabalarının; optik sistemler başta olmak üzere; nano-makineler, robotik sistemler, akıllı ve minyatür malzemeler, artırılmış gerçeklik uygulamaları, insan hafızasını artırıcı bellekler, performans artırıcı ilaç ve dış iskelet sistemleri, nano-elektronik, zırh teknolojisi, akıllı kıyafet, biyo-uyumlu protez ve implant, yapay doku-organ-kas uygulamaları, kuantum bilgisayarlar ve iletişim sistemleri üzerine yoğunlaştığı görülmektedir.

Güvenlik endişeleri ile şekillenen askeri teknolojik gelişmelerin, aynı zamanda yaşam standartları ile ekonomik kalkınmanın lokomotifi olduğu gerçeğinden hareketle, baruttan sonraki çığır açan gelişme olarak görülen nanoteknolojiye, her alanda kullanılabilmesi de dikkate alınarak, yapılacak yatırımların ulusal çapta öncelenmesi gerektiği değerlendirilmektedir.





Kaynakça

- Akçay, M. (2007, Kasım). Ulusal Savunmada Nanoteknoloji. *Ülkemizin Güvenliği İçin Nanoteknolojide Doğru Modelin Belirlenmesi Sempozyumu*. Ankara: Tebliğ Yayınları.
https://www.researchgate.net/publication/315993088_Ulusal_Savunmada_Nanoteknoloji_in_Turkish adresinden alındı
- Atlı, M. (Güz 2022). Otonom Sistemlerin Savaşa ve Uluslararası Silahlı Çatışmalar Hukukuna Etkisi. *Akademik Düşünce Dergisi*(6). doi:10.53507/akademikdusunce.1170896
- Aybarç, U. (2007). Stratejik teknoloji yönetimi açısından nanoteknolojinin değerlendirilmesi ve bir uygulama. İzmir, Türkiye: Master's thesis, Dokuz Eylül Üniversitesi. <https://www.proquest.com/openview/fba7c7d980eb0e591e5b86e47b2de4d6/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y> adresinden alındı
- Boot, M. (2006). *War Made New: Technology, Warfare, and the Course of History, 1500 to Today*. New York, USA: Gotham Books.
- Creveld, M. (2010). *Technology and War: From 2000 BC to the Present*. New York: Simon and Schuster.
- Çağlar, M. T., & Gülmez, L. (2023). Savaşın yeni araçları: silahlı insansız hava araçlarının (SİHA) yayılması ve büyük güçlerden devlet dışı aktörlere SİHA kullanımı. *1(2)*, 23-47. [dergipark.org.tr. 07 23, 2024 tarihinde https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/3331422](http://dergipark.org.tr/0723/2024) adresinden alındı
- Çıracı, S. (2010, Nisan 03). *Nanoteknoloji: Beklenen Sanayi Devrimi*. Dünya Gazetesi, Gündem: <https://www.dunya.com/gundem/nanoteknoloji-beklenen-sanayi-devrimi-haberi-110159> adresinden alındı
- Dağ, A. (2019). Transhümanist Savaş Teknolojisi ve Etik Sorunlar. *International Journal of Information, Technology and Philosophy*(2), s. 41-45. <https://www.muhammedbalci.com/hukukdunyasi/transhumanizm/1544.pdf> adresinden alındı
- Erdağ, R. (2020, Haziran). Savaş ve Çatışmanın Değişen Yapısı: Silahların İnsansızlaştırılması. *Güvenlik Çalışmaları Dergisi*, 22(1), s. 3-22.
- Eren, H., Kılıç, A., & Balcı, H. (2015). Savunma Sanayii İçin Teknoloji Transferi Yönetimi Seçimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari İlimler Fakültesi Dergisi*, 20(4), s. 305-326.
- Ergül, V., & Çakır, S. (2023). Nanoteknolojinin Sektörel Uygulamaları Üzerine Bir Değerlendirme. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 1(43), s. 1-22. https://kho.msu.edu.tr/akademik/enstitu/Alp_SAVBEN_dergi/sayi43/1.pdf adresinden alındı
- Gurubu Üyeleri, N. (2004, Ağustos). Nanobilim ve Nanoteknoloji Stratejileri, Vizyon 2023 Projesi. Ankara. https://www.emo.org.tr/ekler/118806694c9d9b1_ek.pdf adresinden alındı
- Gülmez, A. (2009). Endojen Büyüme Teorileri Kapsamında Türkiye Ve Güney Kore'De Ekonomik Büyümenin Karşılaştırmalı Analizi. *Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*. Sakarya, Türkiye. <https://acikerisim.sakarya.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12619/77614/T04219.pdf?sequence=1&isAllowed=y> adresinden alındı
- Kardelen, S. (2022). Yönetim Bilişim Sistemleri Alanında Endüstri 4.0'ın Uygulamaları İçerisinde Nanoteknolojinin Kullanımı. İzmir, Türkiye: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı Yönetim Bilişim Sistemleri Programı Yüksek Lisans Tezi.
- Khan, M., Wu, X., Xu, X., & Dou, W. (2017, Mayıs). Big Data Challenges and Opportunities in the Hype of Industry 4.0. *IEEE ICC 2017 SAC Symposium Big Data Networking Track* (s. 1-6). IEEE International Conference on Communications (ICC) . https://www.researchgate.net/profile/Maqbool-Khan-2/publication/317180734_Big_Data_Challenges_and_Opportunities_in_the_Hype_of_Industry_40/links/5a408155aca272d29452830c/Big-Data-Challenges-and-Opportunities-in-the-Hype-of-Industry-40.pdf adresinden alındı
- Krepinevich, A. (1994). Cavalry to Computer the Pattern of Military Revolutions. 37. The National Interest. Temmuz 25, 2024 tarihinde <http://nationalinterest.org/article/cavalry-to-computer-the-pattern-of-military-revolutions-848> adresinden alındı
- McNeill, W. (2013). *The Pursuit of Power: Technology, Armed Force, and Society since A.D. 1000*. Chicago: University of Chicago Press.
- Meydan, C. H. (2015). Dünya Ordularında Yeniden Yapılanmanın Kaynakları Üzerine Bir İnceleme. *Güvenlik Stratejileri dergisi*, 11(21), s. 1-39. Ekim 13, 2024 tarihinde <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/84593> adresinden alındı
- Ökten, T. (2018). Askeri alanda devrim'in Türk silahlı kuvvetleri'nin PKK terörizmi ile mücadelesine etkisinin analizi. *Master's thesis, TOBB University of Economics and Technology, Graduate School of Economics and Social Sciences*. Ankara. Ağustos 12, 2024 tarihinde <http://gcris.etu.edu.tr:8080/bitstream/20.500.11851/2530/1/533547.pdf> adresinden alındı
- Özer, Y. (2019, Nisan). Nanoteknoloji'nin Askerî Uygulamaları Üzerine. *Güvenlik Bilimleri Dergisi*(IDEF Özel Sayı), s. 33-52. doi:10.28956/gbd.551739
- Şahin, G., & Kıvam, S. (2021, Aralık). Askerî Harekâtın Evrimi ve İstihbarat, Gözetleme, Keşif Faaliyetlerinin Değişen Araçları. *Savunma ve Savaş Araştırmaları Dergisi*, 31(2), s. 263-286. Kasım 20, 2024 tarihinde <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2164823> adresinden alındı





- Şahin, O. (2019, Nisan). Nanoteknolojik Ürünlerin Giydirme Cephe Sektörü Bağlamında Araştırılması. *Master's thesis, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Balıkesir. https://dspace.balikesir.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12462/5600/Osman_Zeki_%20ahin.pdf?sequence=1 adresinden alındı
- Şengöz, M. (2021, Aralık). Yapay Zekâ Tabanlı Sistemlerden Üretilen Teknolojilerin Askeri Harekâtın Sevk ve İdaresinde Kullanılmasına Yönelik Bir Değerlendirme. *Nevehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*, 11(4), s. 2159-2174. Ekim 08, 2024 tarihinde <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1637788> adresinden alındı
- Tüylek, Z. (2017). Biyosensörler ve Nanoteknolojik Etkileşim. *Derleme Makalesi, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), s. 71-80. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/391093> adresinden alındı
- Tüylek, Z. (2021, Ekim). Nanoteknoloji Uygulamalarında Hayatımıza Yansımalar. *Eurasian Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4(2), s. 69-79. Kasım 14, 2024 tarihinde <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1682088> adresinden alındı
- Uşaklı, A. (2007). Savaşın Dönüşümünde Teknolojik Gelişmelerin Etkisi. *Aılım Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*. Ankara.
- Yalçınkaya, H. (2019). Savaşın değişimi ve kuramsal tartışmalar. *Güvenlik Yazıları Serisi 46*. doi:10.13140/RG.2.2.14764.21128
- Yılmaz, G. (2021). İnovasyon Ekosistemi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Seçilmiş Gelişmiş Ülkeler Ve Yükselen Piyasa Ekonomileri Üzerine Bir İnceleme. *Yüksek Lisans Tezi*. Konya, Türkiye: Necmettin Erbakan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı. <https://acikerisim.erbakan.edu.tr/server/api/core/bitstreams/dd0568c0-b398-424c-bdbf-c845034d8995/content> adresinden alındı
- Yılmaz, S. (2021, Nisan 05). *Akıllı Savaş*. Eylül 28, 2024 tarihinde https://www.academia.edu/Documents/in/Defense_and_Strategic_Studies: https://www.academia.edu/45676015/Akıllı_Savaş adresinden alındı
- Yılmaz, S. (2024, Eylül 16). *Yeni Teknolojiler ve Savunma Sanayii*. https://www.academia.edu/Documents/in/Defense_and_Strategic_Studies: https://www.academia.edu/123916391/Yeni_Teknolojiler_ve_Savunma_Sanayii adresinden alındı
- Ziylan, A. (2004). *Ulusal Teknoloji Yeteneği ve Savunma Sanayii*. Savunma Sanayiciler Derneği Yayını. https://www.inovasyon.org/images/makaleler/pdf/AZ_sader.pdf adresinden alındı

