



Nanoteknoloji'nin Sektörel Uygulamaları

Sectoral Applications of Nanotechnology

Volkan ERGÜL^{1,*} Serhat ÇAKIR²

¹Millî Savunma Üniversitesi, Alparslan Savunma Bilimleri ve Millî Güvenlik Enstitüsü, Savunma Yönetimi Bölümü, 06654, Çankaya, ANKARA

²Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 06800, Çankaya /ANKARA

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 02.03.2022
Düzeltilme: 11.08.2022
Kabul: 14.10.2022

Keywords

Nanotechnology
Sectoral Applications
Technology of Future

Anahtar Kelimeler

Nanoteknoloji
Sektörel Uygulamalar
Geleceğin Teknolojisi

Özet

Öngörülemeyen potansiyeli ile çığır açan nanoteknoloji, iyi finanse edilen ve hızla yayılan bir disiplin olarak ortaya çıkmıştır. Nanoteknolojinin önemini kavramış gelişmiş ülkeler, bu alanda gayretlerini yoğunlaştırarak, bir yandan tahsis edilmiş büyük bütçelerle ulusal nanoteknoloji araştırma birimlerini kurmuşlar, diğer yandan eğitim gereksinimlerinin tespiti ve nitelikli personel yetiştirilmesi konularındaki eksikliklerini gidermek ve mevcut yapılarını iyileştirmek için harekete geçmişlerdir. Ayrıca, Devlet-Sanayi-Üniversite arasındaki sinerji artırılarak, nanoteknoloji alanında kümelenme sağlamışlardır. Nanoteknolojiye bu kadar önem verilmesinin altında yatan temel etken, nano ölçekte olağan dışı fiziksel, kimyasal, biyolojik, optik, manyetik, mekanik ve elektriksel özelliklerin ortaya çıkmasıdır. Ayrıca nanoteknoloji, teknoloji yarışında geri kalan ülkeler için bir fırsattır. Gerekli önlemler alınursa, uygun yapı ve etkili mekanizmalar oluşturulursa gelişmekte olan ülkelerin bu konuda iyi bir konuma sahip olabilmeleri mümkün görünmektedir. Bu çalışmada, hem askeri hem de sivil alanda kullanıma sahip nanoteknolojiye yönelik farkındalık sağlamak, bir önceki sanayi devrimine geç adapte olmuş ülkemizin aynı hatayı tekrarlamasını önlemek için gerekli uyarımları yapmak, nanoteknolojinin sektörel uygulamalarına yönelik bilgi vermek ve farkındalık sağlamak amaçlanmıştır.

Abstract

Ground-breaking nanotechnology with unpredictable potential has emerged as a well-funded and rapidly radiating discipline. Intensifying their efforts in this area, developed countries understanding the importance of nanotechnology, have established national nanotechnology research units with large budgets allocated for that area on the one hand. Developed countries, which have realized the importance of nanotechnology, have intensified their efforts in this field, establishing national nanotechnology research units with large allocated budgets. On the other hand, they have taken action to eliminate the deficiencies in the determination of training needs and training qualified personnel and to improve their existing structures. In addition, the synergy between the State-Industry-University has been increased and clustering has been achieved in the field of nanotechnology. The main factor underlying the importance given to nanotechnology is the emergence of extraordinary physical, chemical, biological, optical, magnetic, mechanical and electrical properties at the nano scale. In addition, nanotechnology is an opportunity for the countries falling behind the technology race. If necessary precautions are taken and appropriate structures and effective mechanisms are established, it seems possible for developing countries to have a good position in this regard. In this study, it is aimed to raise awareness about nanotechnology, which has both military and civilian use, to make the necessary warnings in order to prevent our country, which has adapted late to the previous industrial revolution, from repeating the same mistake, and to provide information on the sectoral applications of nanotechnology.

1. GİRİŞ

Yeni ortaya çıkan neredeyse her teknoloji yeni teknolojiler ve ilerlemelerle bağlantılı ve iç içe geçmiş durumdadır. Gelecekte çeşitli teknolojik ilerlemeler arasındaki yaklaşmanın eşit derecede yıkıcı ve tahmin edilemez olacağı muhtemeldir. Örneğin, günümüzde yaygın olan ve kamera, oyun, minyatür hesaplama cihazı ve internetin cep telefonunda birleşmiş hâli olan 'akıllı telefon', modern yaşamı tamamen değiştirmiş ve pek çok bakımdan da uyumu zorlaştırmıştır. Aralarında yaklaşma ya da birleşme görülmesi en muhtemel yenilik alanları şunlardır; (1) İnsan performansını en iyi seviyeye getirmeye yönelik biyoteknoloji, (2) Nöroloji alanındaki ilerlemeler, (3) Nanoteknoloji, (4) Gelişmiş ve akıllı malzeme bilimleri, (5) Kuantum hesaplama, (6) Yapay zekâ, (7) Robot bilimi, (8) Katkı maddesi üretimidir (Fastabend ve Becker, 2020).

Nanoteknoloji, atomik ve moleküler ölçekte işlem yapan, onları tek tek düzenleyerek yığın ölçekteki eşdeğerine göre üstün özellikte yapılar oluşmasına imkân tanıyan çığır açıcı bir teknolojidir. 21. yüzyıldaki küresel bilimsel rekabetin temel dayanaklarından biri olan nanoteknoloji, sivil ve askerî uygulamalarıyla, insanların yaşam tarzlarını ve ülke ekonomilerini dönüştürmek için muazzam ve stratejik bir potansiyele sahiptir. Gelecekteki teknolojilerin, atom ve molekül boyutlarında yapıların gözlemlenmesi, manipüle edilmesi, işlenmesi ile yeni malzemelerin üretilmesi üzerine inşa edileceği öngörülmektedir (Demirel, 2007). Akademisyenler arasında, nanoteknoloji uygulamalarının ne zaman yaygınlaşacağı konusunda bir fikir birliği olmamasına rağmen, gerekli atılımların eninde sonunda gerçekleşeceği ile ilgili fikir birliği bulunmaktadır. Nanoteknoloji alanında yapılan yatırımların her yıl düzenli olarak artması bu konunun önemini gözler önüne sermektedir.

Nanobilim ve nanoteknoloji, artan sayıda yeni fikir ve uygulamanın ortaya çıkmasına tanık olan bilim ve teknolojinin gelişmekte olan alanlarıdır. Büyüğü hayal etme çağı artık sona ermiştir. Bu ilkeye dayanarak, bilim adamları, nanoteknoloji olarak adlandırılan nanobilim üzerine yoğun araştırmalar gerçekleştirmektedir. Bu teknoloji, dünya çapında bir "endüstriyel güç" olarak ortaya çıkmaktadır. Çok fonksiyonlu uygulamaları ve dayanıklı ve esnek demir gibi yeni malzemeler üretme yeteneği ile maliyetleri düşürme potansiyeline sahiptir. Birçok ülke, ikili kullanım özelliklerinden faydalanmak için nanoteknolojiye 2000'li yıllardan itibaren geniş ölçüde yatırım yapmaya başlamıştır.

Günümüzde otomotivden tekstile, sağlık sektöründen savunma sanayine kadar birçok alan, ortaya çıkan yeni teknolojiler ile biçimlenmektedir. İçerisinde bulunduğumuz yüzyılı etkileyen teknolojilerin; bilişim ve iletişim teknolojileri, nanoteknoloji ve biyoteknoloji olduğu değerlendirilmektedir. Bu alanlar içerisinde insanların geleceğini şekillendireceği düşünülen nanoteknoloji ön plana çıkmaktadır (Bilim ve Teknoloji Genel Müdürlüğü, 2017). Nanoteknoloji bir sonraki teknolojik devrimi getirmeyi vaat etmektedir. Nanoteknoloji, üretme ve yaşam biçimimizi, belki de ne olduğumuzu değiştirecektir (Altmann, 2008). Temelleri 1959 yılında atılmış olsa da nanoteknoloji alanında temel ve uygulamalı araştırmalar, dünya genelinde 1970'li yıllarda başlamıştır. Bunu takiben 2000'li yıllardan bu yana nanoteknoloji ürünleri piyasada yer almaya başlamıştır. Bu konuda geç kalan ülkemizde nanoteknoloji

alanında çalışmalar ancak 2000’li yıllarda başlamış ve yayılmıştır. Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi’nin (UNAM), teorik ve deneysel çalışmaların artışıdaki payı büyüktür. Malzemelerin nano ölçekte yığın hâlinde farklı optik, manyetik, kimyasal, mekanik, elektriksel ve termal özelliklere sahip olmasının bu teknoloji alanına artan ilgideki payı büyüktür. Nanoteknoloji daha başlangıç aşamasında olduğundan, sadece gelişmiş ülkeler değil, gelişmekte olan ülkeler de bu konuda gerekli atılımları yapabilmek için yolun başındadırlar. Önemli olan, gerekli çalışmalara üniversite-kamu-sanayi işbirliği içerisinde hemen başlayabilmektir. Hızla gelişen bu teknolojiye faydalanabilmek için, özellikle ulusal düzeyde, bu teknolojinin stratejik önemi nedeniyle, uzun vadeli öngörü çalışmaları gerektiren Ar-Ge önceliklerini ve uygulama alanlarını belirlemek önemlidir. Ülkemizdeki bilim ve teknoloji politikası Güney Kore ile benzerlik göstermekle beraber, onun kadar başarılı olunamamasının arkasında yatan temel etkenler; gerçekçi bir vizyonun belirlenmemiş olması ve ilgili birimler tarafından politikanın yeterince sahiplenilmemesidir.

Bu çalışmanın amacı geleceğin teknolojisi olarak nitelendirilen ve hâlen başlangıç aşamasında olan nanoteknolojinin, geniş bir literatür taramasına dayanarak, dünya genelinde sektörel bazda uygulamalarına yönelik bilgi vermek ve söz konusu teknolojiye yönelik olarak farkındalık yaratmaktır. Çalışmaya öncelikle nanoteknolojinin çeşitli kaynaklarda yer alan tanımlarına yer verilerek başlanmış olup; müteakiben nanoteknolojinin uygulamalarına yönelik kısaca bilgi verilerek, sonraki bölümlerde bu uygulamalar sektörel bazda kısaca özetlenmiştir. Sonuç kısmında ise ülkemizin nanoteknoloji alanındaki farkındalık seviyesini artırmaya yönelik çıkarımlarda bulunulmuştur. Çalışmada yerli ve yabancı kaynaklardan faydalanılarak, nanoteknolojinin uygulamalarına yönelik nicel bir araştırma yapılmıştır. Nanoteknoloji alanına yönelik çalışmalar değerlendirildiğinde, genellikle sağlık, tekstil, tıp vb. tek bir sektöre yönelik yayınların yer aldığı ve kaynakçanın çok dar olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, daha geniş bir literatür taramasından faydalanılarak, özet hâlinde de olsa nanoteknolojinin katkı sağladığı bütün sektörler bir arada incelenerek, ülkemize yönelik farkındalık seviyesinin artırılması hedeflenmiştir.

2. NANOTEKNOLOJİ KAVRAMI

Nanoteknoloji, kelime yapısı olarak, ‘nano ve teknoloji’ kelimelerinin birleşiminden meydana gelmektedir. Nano kelimesi, sözlük anlamı olarak Yunanca nannos kelimesinden gelir ve “küçük yaşlı adam veya cüce” demektir (Poyraz, 2003). Nano ifadesi, bir madde veya araç değil, sadece ölçü birimidir. Bir nanometre, metrenin milyarda bir ölçüsündeki uzunluğu temsil eder. Bununla birlikte, nanoteknoloji 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. Teknoloji, benzer şekilde, Yunanca kökenli bir kelime olup, ‘tekhne ve logia’ kelimelerinin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Techne’ zanaat, beceri; ‘logia’ bir konu üzerinde emek harcama, çalışma, şeklinde tercüme edilebilir. İçerdiği anlam bakımından ise teknoloji, çevre üzerinde kontrol sağlamak amacıyla araç-gereç geliştirilmesi olarak ifade edilebilir. Nanoteknoloji, nanometre

ölçeğindeki malzemelerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin incelenerek yeni malzeme, cihaz ve sistemlerin geliştirilmesidir (Naschie, 2006). Nanoteknoloji terimini ilk kez kullanan ve Tokyo Bilim Üniversitesi'nde profesör olan Nario Taniguchi, nanoteknolojinin esas olarak malzemelerin atomik veya moleküler ölçekte işlenmesi, ayrılması, konsolidasyonu ve deformasyonundan oluştuğunu savunmuştur (Lele, 2009).

Teknoloji uygulamalarını, “boyut” ölçeğinde gruplandırarak tanımlamak gerekirse; makroteknoloji; gözle görülen en küçük boyut olan 0.1 mm'den büyük olan malzemelerle yapılan, Newton fizik kurallarının etkili olduğu makro ölçekteki teknolojik uygulamalardır. Mikroteknoloji; yine geleneksel fizik kurallarının geçerli olduğu, 0,1 mm ile 100 nm arasındaki boyutlarda olan malzemelerle yapılan moleküler ölçekteki teknoloji uygulamalarıdır. Nanoteknoloji ise; 01 nm ve 100 nm arasındaki boyutlarda olan 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 (Şengil, 2010). Nano ölçekte madde, makro ölçekteki göre üç temel farklılığa sahiptir; (1) Nano ölçekte yer çekimi kuvveti son derece küçüktür ve asıl geçerli olan kuvvet elektromanyetik kuvvettir, (2) Nano ölçekte klasik mekanik model geçerliliğini yitirir ve ‘Kuantum Mekaniği’ devreye girer ve nano boyutta madde üstün fiziksel, kimyasal, manyetik ve optik özellikler gösterir, (3) Nano ölçekte yüzey alanı/hacim oranı yükselir, neredeyse tüm atomlar yüzeyde konumlanmıştır ve bu durum maddenin reaktivitesini artırır, madde reaksiyona açık hâle gelir (Baykara, 2016). Nanoteknolojinin esası, normal boyutlarında bilinen özelliklere ve işlevlere sahip malzemelerin nano boyutlarında farklı ve çoğu zaman yararlı özellikler ve işlevler almasıdır. (Nickols-Richardson, 2007). Nanoteknoloji, nano ölçekte fizik, kimya, biyoloji, malzeme bilimi ve mühendisliği içeren geniş ve yeni bir bilim alanıdır (Clunan, Rodine-Hardy, Hsueh, Kosal, McManus, 2014).

Nanoteknoloji kavramının birkaç farklı anlamı vardır, ancak ikisi en yaygın olanıdır. Birincisi, 100 nanometre (nm)'den küçük bir şeyle uğraşan herhangi bir teknoloji anlamına gelen geniş, genişletilmiş bir versiyonudur. İkincisi orijinal tanıma daha yakın olan; “Her atomun ve kimyasal bağın kesin olarak düzenlendiği makineleri tasarlamak ve inşa etmektir.” (Booker ve Boysen, 2005). Nanoteknoloji bir dizi özel teknik, cihaz veya ürün değildir. Daha ziyade, nanoteknoloji atom fiziği tarafından belirlenen sınırlara yaklaştığında sahip olacağımız yetenekler kümesidir (Hall, 2005). En basit ifadeyle nanoteknoloji; 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 (Hall, 2005). Aşağıdaki tablo, nanoteknolojiye ait yapılan tanımlamaları özetlemekte olup; araştırmada kullanılan yayınlar bu tanımlamaları esas olarak kullanmaktadır. Yapılan incelemede, aşağıdaki tabloda yer alan tanımlardan önemli derecede farklılık arz edecek ifadeler rastlanmamıştır.

Tablo-1: Nanoteknolojiye Ait Yapılan Tanımlamalar

Nario Taniguchi (1974)	Nanoteknoloji, esas olarak malzemelerin atomik veya moleküler ölçekte işlenmesini, ayrılmasını, konsolidasyonu ve deformasyonunu kapsayan bir teknolojidir.
Uldrich ve Newberry (2003)	Nanoteknoloji, maddenin atomik ve moleküler ölçekte işlenmesi suretiyle, tamamen değişmiş ve daha gelişmiş araç, sistem ve malzemelerin elde edilmesidir.
Hall (2005)	Nanoteknoloji, atom fiziği tarafından belirlenen sınırlara yaklaşıldığında sahip olacağımız yetenekler kümesidir
Booker ve Boysen (2005)	Nanoteknoloji kavramının birkaç farklı anlamı vardır, ancak ikisi en yaygın olanıdır. Birincisi, 100 nanometre (nm)'den küçük bir şeyle uğraşan herhangi bir teknoloji anlamına gelen geniş, genişletilmiş bir versiyonudur. İkincisi orijinal tanıma daha yakın olan; "Her atomun ve kimyasal bağın kesin olarak düzenlendiği makineleri tasarlamak ve inşa etmektir.
Naschie (2006)	Nanoteknoloji, nanometre ölçeğindeki malzemelerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin incelenerek yeni malzeme, cihaz ve sistemlerin geliştirilmesidir.
Piddock (2007)	Nanoteknoloji, 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 hedefleyen bir bilim dahidir.
Nickols-Richardson (2007)	Nanoteknoloji, normal boyutlarında bilinen özelliklere ve işlevlere sahip malzemelerin, nano boyutlarında farklı ve çoğu zaman yararlı özellikler ve işlevler almasıdır.
Choi ve diğ. (2007)	Nanoteknoloji; 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.
Erkoç (2008)	Nanoteknoloji, 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)	Nanoteknoloji 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)	Nanoteknoloji; 01 nm ve 100 nm arasındaki boyutlarda olan 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)	Nanoteknoloji, nano ölçekte fizik, kimya, biyoloji, malzeme bilimi ve mühendisliği içeren geniş ve yeni bir bilim alanıdır.

Yazar tarafından yapılan literatür taraması sonucunda oluşturulmuştur.

3. NANOTEKNOLOJİNİN SEKTÖREL UYGULAMALARI

Nanobilim ve ondan faydalanan nanoteknoloji, neredeyse hayatımızın her alanına girmiş bulunmaktadır. Henüz başlangıç aşamasında bulunan nanoteknoloji, gelecek yıllarda yaratacağı yeni ve farklı ürünler ile insan yaşamını kökten değiştirmeye aday teknolojiler arasında yer almaktadır. Nanoteknolojinin birçok alanda sahip olduğu başarılı uygulamalar, insanları zamanla daha az yer kaplayan, daha küçük boyutlara sahip, daha az enerji ile daha hızlı çalışan sistemler ve cihazlar geliştirmeye teşvik etmiştir (TÜBİTAK, 2004). Başta ABD, Japonya, Çin, Güney Kore, Almanya, İngiltere ve Fransa gibi gelişmiş ülkeler olmak üzere neredeyse tüm devletler, tekstil, tıp, elektronik ve bilişim sistemleri, enerji, otomotiv, havacılık ve uzay, savunma ve güvenlik, malzeme bilimi ve çevre alanlarında, nanoteknoloji uygulamalarına yönelik araştırmalar yürütmektedirler (Kahraman, 2013). Günümüzde nanoteknoloji tekstil, kozmetik, güneş gözlükleri ve spor malzemelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, gelecekte, küçük fakat işlemci gücü yüksek bilgisayarlar, belirli

organlara yönelik ilaç dağıtım sistemleri, lab-on-chip (çip üzerinde laboratuvar) sistemler, biyo uyumlu implantlar ve protezler, yapay organlar, kanser tedavisine yönelik uygulamalar, küçük ve enerji yoğun yeni bataryalar, kapasitesi yüksek ve oldukça hafif veri depolama aygıtları, kuantum kuyusu güneş hücreleri, hidrojenin elde edilme ve depolanması, nano sensörler gibi uygulamaların nanoteknoloji sayesinde mümkün olabileceği değerlendirilmektedir.

Geleceğin teknolojileri arasında nanoteknoloji stratejik, ekonomik ve teknolojik verimlilik açısından günümüzün ve geleceğin kritik ve çığır açıcı teknolojisi olarak kabul edilmektedir. Nanoteknoloji artık birçok farklı ürün ve süreçte, çok verimli bir kullanıma sahiptir. Elektronikten savunma uygulamalarına, iletişimden ilaca, kozmetikten dekorasyona, otomotivden gıda ve tekstile kadar neredeyse tüm sektörel alanlarda nano malzeme içeren ürünler bulmak mümkündür (Hall, 2013). Bowman ve Hodge (2006), nanoteknolojiyi yeni bir teknolojik devrim olarak görmüşlerdir ve bunun savunma, biyoteknoloji, tarım, ilaç, malzeme, çevre ve tıp alanlarında yenilikler getirebilecek, yüksek bir potansiyele sahip olduğunu belirtmişlerdir. Nanoteknolojinin özellikle askerî alanda, birçok farklı soruna farklı ve etkin çözümler sunacağı değerlendirilmektedir (Nayyar ve diğerleri, 2017). Nanoteknolojinin önümüzdeki yıllarda karşılaşılabilecek birçok sorunun üstesinden gelme potansiyeli olduğu ve iklim değişikliği, çevre, yenilenebilir enerji kaynakları, azalan enerji rezervlerine erişim, kanser tanı ve tedavisi gibi birçok konuda yeni ufuklar açacağı öngörülmektedir (Bozkurt, 2015).

Nanoteknoloji sayesinde, yüksek hızlı bilgisayarlardan devasa kapasiteli bellek cihazlarına; mikroorganizmaların taşınmasından damarlara yerleştirilen nanorobotlar tarafından hastalıkların teşhisi ve tedavisine; mikro sensörlerin, mikro makinelerin ve optoelektronik bileşenlerin imalatından otomobillerde daha iyi görünürlük sağlamak için nano destekli camların kullanımına kadar pratikte birçok çarpıcı örnek görülebilir (Bozkurt, 2015). Güzeloğlu (2015) tarafından yapılan araştırmada, Türk gençlerinin nano ürünlerin gıda alanında kullanımına şüpheyle bakarken; iletişim, tekstil, elektronik ve tıp alanındaki uygulamalarına olumlu baktıkları bulunmuştur. Ayrıca Karaca ve Öner (2015) tarafından yapılan anket çalışmasında, katılımcılar nanoteknolojinin ve uygulamalarının önemli ölçüde takdir edileceğini ve 2029 yılına kadar endüstrinin hemen hemen tüm alanlarında kullanılacağı bir gelecek öngörmüşlerdir. Artan yatırımların ve Ar-Ge çalışmalarının, bu yeni teknolojinin kullanımını 2029 yılına kadar artırması beklenmektedir.

Fizik alanında Nobel ödül sahibi Horst Stormer, nanoteknolojinin atomik ve moleküler düzeyde kontrol imkânını insanlığın hizmetine sunduğunu ve bu teknoloji ile her şeyi yapmanın mümkün olduğunu ifade etmiştir (Amato, 1999). Yapılan araştırmalara göre gelişmekte olan ülkelerde nanoteknoloji alanında ağırlık verilmesi gereken ilk on konu arasında; (1) Enerji üretimi, depolama ve dönüşümü, (2) Tarımsal verimliliğin artırılması, (3) Su ıslahı ve saflaştırma, (4) Hastalık tanı ve görüntüleme sistemleri, (5) Hedefli ilaç salınımı, (6) Gıda işleme ve paketlenme, (7) Hava kirliliği başta olmak üzere çevresel sorunlara çözüm, (8) Yapı ve inşaat malzemeleri, (9) Sağlık uygulamaları (hayati parametreleri takip eden akıllı kıyafetler vb.) ve ilaç geliştirilmesi, (10) Haşere kontrolü yer almaktadır

(Yalçın, 2010). Sahip olduğu bu potansiyel, nanoteknolojiyi birçok ülke ve uluslararası firma tarafından gözde alanlardan biri hâline getirmiştir ve kullanım alanları giderek yaygınlaşmaktadır.

Nanoteknoloji, bir sonraki temel teknoloji dalgasının belkemiği olacaktır. Bilim ve teknoloji, nanometre ölçeğindeki yapılandırmanın rutin hâle geldiği bir noktaya kadar ilerlemiştir. Taramalı sondalı mikroskoplar artık bir yüzeydeki atomları tek tek görüntülememize ve hareket ettirmemize izin vermektedir. Giderek daha güçlü bilgisayarlar, maddenin atomik ve moleküler ölçekte daha iyi modellenmesine yol açacaktır. Gelecekte bu alanda yapılan gelişmelerle büyük pazar payı elde etmeyi hedefleyen hem hükümetler hem de büyük ve küçük işletmeler nanoteknoloji araştırma ve geliştirmelerini (Ar-Ge) büyük ölçüde artırmışlardır (NATO Science and Technology Organization, 2020). Nanoteknolojinin birçok alanda geniş kapsamlı sonuçlar getirerek devrim niteliğinde değişiklikler üreteceği tahmin edilmektedir. Beklenen faydalar arasında; daha güçlü, daha hafif ve akıllı malzemeler, daha küçük, daha az güç tüketen ve çok daha güçlü bilgisayarlar, tek hücreli düzeyde teşhis ve tedavi, daha az kaynak kullanımı ve kirliliğin azaltılması ve minyatürleştirilmiş, yüksek düzeyde otomatikleştirilmiş uzay sistemleri vardır (Roco & Bainbridge, 2001). Nanoteknolojinin bazı vizyonları daha öteye uzanır: insan kabiliyetini hatta ondan daha fazlasına sahip yapay zekâ uygulamaları, nano ölçekte yaygınlaşan robotik uygulamalar; insan vücudunda, hastalıkları ve yaşlanmayı ortadan kaldıran veya beyinle arayüz oluşturan nano cihazlar ve kendini kopyalayabilen evrensel moleküler birleştiriciler vb. (Altmann, 2004). Daha o zamanlarda nanoteknolojiye yönelik yapılan bu öngörüler, hâlen günümüzde de geçerliliğini korumakta olup, bilim insanlarına geleceğe yönelik yaptıkları çalışmalarda ışık tutmaktadırlar.

Nanoteknoloji birçok alanda kullanım potansiyele sahip gelecek vadeden bir teknoloji olmasına rağmen, ekolojik sistem üzerinde oluşturabileceği olumsuz etkilerin göz ardı edilmemesi önemlidir. Nanoteknolojik ürünler piyasada çoktandır yerini almış olsalar da, zararlı etkileri hakkında yeterli araştırma yapılmamaktadır (Tüylek, 2017). Nanopartiküllerin kolayca kana karışması sonucunda, insan vücudundaki beyin dâhil birçok organı etkileme ihtimali bulunmaktadır. AB ülkeleri bu konuda diğer ülkelerle kıyaslandığında, nanoteknolojinin potansiyel riskleri konusunda daha bilinçlidir ve muhtemel zararları konusundaki çalışmalarını sürdürmektedirler. Nanopartiküller konusunda yeterli ve uygun bir sınıflandırma ve atık yönetimi yapılmaması ve kontrolsüz olarak kullanımına devam edilmesi durumunda, nanoteknolojinin insan sağlığına ve çevreye geri döndürülemez zararlar verme ihtimali bulunmaktadır (Özkaleli ve Erdem, 2016). Konu kapsamında yeterli bir araştırma yapılmadığından ve üzerinde önemle durulmadığından, olası çevresel ve insan sağlığına etkileri konusunda tam bir yargıya varılamamaktadır. İmplant ve protez yapımında kullanılan nanomalzemeler, insan iskelet ve kas sistemine en iyi uyum sağlayan biyoyumlu malzemeler arasında yer almasına rağmen, gelecekte ortaya çıkarabilecekleri toksik etkiler hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır. Dolayısıyla nanoteknolojik ürünlerin kullanımında daha bilinçli davranılması gerektiği akılda tutulmalıdır. Tüm endüstriyel sektörler atom ve moleküllerden yapılmış malzeme ve

cihazlara dayanır, bu nedenle prensip olarak tüm malzeme ve cihazlar nano malzemelerle geliştirilebilir ve tüm endüstriler nanoteknolojiden faydalanabilir (European Commission, 2013).

Nano ölçekte, kimya, biyoloji, elektronik, fizik, malzeme bilimi ve mühendislik alanları yakınsamaya başlar ve belirli bir disiplinin hangi özelliği ölçtüğü konusundaki ayrımlar ortadan kalkar. Tüm bu disiplinler, nanoteknolojinin sunduğu olasılıkların anlaşılmasına ve kullanılmasına katkıda bulunur, ancak temel bilimler bir noktada birleşiyorsa, potansiyel uygulamalar sonsuz çeşitlilik (yalnız hayal gücüyle sınırlıdır) gösterir ve tenis raketlerinden ilaçlara ve tamamen yeni enerji sistemlerine kadar her şeyi kapsar. Nanoteknolojinin en büyük etkileri, önceden ayrı olan alanların beklenmedik kombinasyonlarından kaynaklanmaktadır. Nanoteknolojinin sektörel uygulamalarını aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.

Tablo-2: Nanoteknolojinin Sektörel Uygulama Alanları

S.Nu.	Uygulama Alanı	Açıklama
1	Malzeme ve İmalat	Nano ölçekte malzemelerin daha sağlam, uzun ömürlü, hafif ve akıllı olması; daha az malzeme kullanılarak üretilmesi; üretim sürecinde daha az enerji kullanımı; neredeyse hiç artık oluşturulması gibi özellikleri, nano imalatın diğer geleneksel üretim yöntemlerine göre üstünlükleridir.
2	Elektronik ve Bilişim Sistemleri	Elektronik ve bilişim sistemlerinde nanoteknoloji araştırmalarının temel hedefi, ekonomik ve yüksek performanslı cihaz ve malzemeler üretmektir. Bilişim ve iletişim teknolojilerinde boyutlar küçüldükçe, cihazların yeteneklerinin ve kapasitesinin düşmesi beklenirken; tam tersine boyutlar küçüldükçe, fonksiyonellik ve kapasite artmış, cihazlar daha dayanıklı, hafif ve kullanışlı bir hâle gelmiştir.
3	Havacılı ve Uzay	Havacılık ve uzay çalışmalarında, gerek hacim gerekse ağırlık bakımından sınırlı miktarda yakıt alınabilmekte ve bu durum yapılabilecek görev süresinin kısılmasıyla sonuçlanmaktadır. Yaşanan problemler, sadece yakıtla sınırlı olmayıp; hava ve uzay araçlarında kullanılan malzemelerin ve elektronik cihazların, sıcaklığa ve radyasyona dayanıklılığı ve ağırlığı gibi etkenler de sürece etki etmektedir. Nanoteknoloji, daha az malzeme kullanılmasına, dolayısıyla daha az ağırlığa ve maliyetlerin düşmesine yol açabilir. Bunları yaparken de malzemenin dış etkenlere karşı direncini artırır.
4	Tıp ve Sağlık	Nanoteknoloji alanındaki gelişmeler, biyolojik sistemlere atomik ve moleküler ölçeklerde müdahale etme kabiliyeti kazandırmıştır. Nanoteknoloji alanında yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak erken teşhis ve tedavi için nanosensörler, kanser tedavisi, hedefli ilaç salım sistemleri ve dışarıdan ameliyat izi olmadan hassas cerrahi operasyonlar gerçekleştirebilen nanorobotlar üzerinde yoğunlaşmıştır.
5	Tekstil	Nanoteknolojiden en çok etkilenecek sektörlerin başında tekstil endüstrisi gelmektedir. Günümüzde buruşmayan ve leke tutmayan kıyafetler mevcut olup; gelecekte tekstil ürünlerinin daha fonksiyonel, performansı yüksek ve akıllı hâle gelmesi hedeflenmektedir. Artık elbise duyacak, görecek, hissedecek, veri depolayacak, gerektiğinde ilgili birimlere komut verecek ve enerji üretebilecektir.
6	Enerji	Yenilenebilir, güvenli ve ucuz enerji kaynaklarına sahip olmak, her ülkenin hayalidir. Nanoteknolojinin enerjinin verimli şekilde üretilmesi, depolanması ve kullanılması konusunda çığır açıcı yeniliklere yol açacağı değerlendirilmektedir.
7	Çevre	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 azaltan nanoteknoloji tabanlı yenilikler beklenmektedir.
8	Gıda Sektörü	Gıda paketleme ve depolama için geliştirilmiş plastik film kaplamalar, gıda ürünlerinin daha az sanayileşmiş ülkelerdeki uzak bölgelere daha geniş ve daha verimli bir şekilde dağıtımını

		sağlayabilir. Kontaminasyonu tespit etmek ve tanımlamak için nanoteknoloji tabanlı sensörlerin geliştirilmesi üzerine çalışmalar devam etmektedir.
9	Biyoteknoloji ve Tarım	Özellikle biyoteknoloji ve tarım alanındaki uygulamalar, gerekli besinlerin ucuz ve bolca üretilmesi bakımından, toplumların refah ve mutluluğuna önemli katkı sağlayacaktır. Nanoteknoloji alanındaki gelişmeler yoluyla, tarım ürünlerinin DNA'sıyla oynanabilecek ve böylece etkin ve verimli tarımcılık mümkün hâle gelecektir.
10	Otomotiv Sanayi	Günümüzde daha az yakıt tüketen, dayanıklı, yenilenebilir enerji kaynaklarından istifade edebilen, çevreye zarar vermeyen ve uzun ömürlü araçlara olan talep artmıştır. Nanoteknolojinin bulunduğu uygulamalar, bu konuda potansiyel vadetmektedir.
11	İnşaat Sektörü	Nanoteknoloji ile yüksek performanslı, fonksiyonel, dayanıklı, esnek ve hafif inşaat malzemelerinin üretilmesi mümkün görünmektedir. Asfalt ve betonu suya karşı daha dayanıklı hâle getirmek için nano moleküler yapılar; ultraviyole ve kızılötesi radyasyonu engelleyen malzemeler; evlerde daha ucuz ve dayanıklı yapı malzemeleri, akıllı evler, ince ve etkili yalıtım malzemeleri; kendi kendini temizleyen pencereler ve aynalar; solmayan, toz ve mikrop barındırmayan boyalar vb.
12	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. Artırılmış gerçeklik teknolojilerinin kullanımıyla oluşturulan sanal eğitim ortamında, bireylerin gerçekçi şartlarda eğitim alması ve eğitim konularını gerçek anlamda tahayyül etmeleri sağlanabilecektir.
13	Savunma	Savunma alanında nanoteknoloji uygulamaları üzerine araştırmalar, yoğunluk optik sistemlerde olmak üzere; nanomakineler, robotik sistemler, akıllı malzemeler, minyatür ve akıllı silah sistemleri, artırılmış gerçeklik uygulamaları, insan hafızasını artırıcı bellekler, askerin performansını artırıcı ilaç ve dış iskelet sistemleri, nanoelektronik, zırh teknolojisi, akıllı kıyafet, biyo uyumlu protez ve implant, yapay doku-organ-kas uygulamaları, kuantum bilgisayarlar ve iletişim sistemleri üzerine artış göstermektedir.

Yazar tarafından yapılan literatür çalışması sonucunda oluşturulmuştur.

Nanoteknoloji yavaş ama emin adımlarla bir dizi endüstriyel ürün, ilaç ve çevre alanında uygulama bulmaktadır. M.H. Fuleker “Nanoteknoloji ve Uygulamaları” adlı kitabında nanoteknolojinin zaten önemli bir rol oynadığı aşağıdaki alanlardan bahsetmiştir (Meshkatsadat, 2010): (1) Tüketici Elektroniği ve Bilgi İşlem, (2) Kimyasal ve temel malzemeler, (3) Eczacılık ve tıbbi ürünler, (4) Ev temizlik ürünleri, (5) Boyalar, Vernikler ve Kaplamalar, (6) Kimya (kişiye özel katalizörler), (7) Bilgi ve İletişim teknolojisi (nanoelektronik), (8) Biyomedikal Uygulamalar (örneğin, çip üzerine laboratuvar (lab-on-chip), biyo-sensörler, tıbbi görüntüleme, protez ve implantlar, ilaç dağıtım cihazları), (9) Çevresel iyileştirme teknolojisi, (10) Enerji yakalama ve depolama teknolojisi (örn. Güneş pilleri, piller, yakıt hücreleri, yakıtlar ve katalizörler), (11) Tarım (örn. sensörler, tohum ıslahı), (12) Gıda (anti -bakteriyel tozlar, patojen, kirletici madde sensörleri, çevresel monitörler, uzaktan algılama ve takip cihazları), (13) Askerî teknoloji, (14) Tekstil, (15) Yağlama maddeleri, vb.

Nanoteknolojiye dayalı ürünler hâlihazırda boyalar, ilaçlar, mikro-elektronik cihazlar ve kompozit malzemelerde yaygın olarak kullanılmaktadır ve mevcut endüstrinin 2010 yılına gelindiğinde, 40 milyar ABD dolarını aştığı tahmin edilmektedir. Bu ve yeni alanlardaki hızlı pazar büyümesinin 2015-2020'ye kadar muhtemelen 1 trilyon ABD doları'na ulaştığı değerlendirilmektedir. Mevcut talebin en büyük yedi alanı şunlardır (Tegart, 2004): Bilişim teknolojileri, tıbbi ve biyomedikal uygulamalar,

otomotiv ve endüstriyel ekipman, telekomünikasyon, süreç kontrolü, çevresel izleme ve ev ürünleri. Fakat gelişmeler bunlarla sınırlı değildir. Çekiç tutan beş yaşındaki bir çocuk için nasıl ki bütün dünya bir çiviye; nanoteknoloji bir çekiçtir ve nanoteknologlar bu çekiçle vurmak için devamlı bir şeyler arayan çocuklardır (Gürdilek, 2001). Nanoteknoloji devrimi, dünya üzerindeki tüm insanların birbirleriyle anlık olarak haberleşebilmesini sağlamasıyla en belirgin hâlini almıştır. Bu yeni bir durumdur ve hemen hemen herkesi ve her sektörü etkisi altına almıştır (Wolf ve Medikonda, 2014). Aşağıda nanoteknolojinin sektörel uygulamalarına yönelik bilgi verilmiştir. Her bir sektörel uygulama alanının ayrı bir makale konusunu oluşturabilecek kadar kapsamlı olması nedeniyle, kısaca özetlemekle yetinilmiştir.

3.1 Malzeme ve İmalat

Nano ölçekte malzemelerin daha sağlam, uzun ömürlü, hafif ve akıllı olması; daha az malzeme kullanılarak üretilmesi; üretim sürecinde daha az enerji kullanımı; neredeyse hiç artık oluşturmaması gibi özellikleri, nano imalatın diğer geleneksel üretim yöntemlerine göre üstünlükleridir (Kadioğlu, 2010). Malzemelerin nano boyutlardan başlayarak imal edilmesi, geleneksel yöntemler ile elde edilenlere göre, daha üstün ve farklı özelliklere sahip olmasını sağlar (Ateş ve Bahçeci, 2015). Bu malzemelerin sahip olduğu eşsiz özellikler, endüstriyel sürece devrim niteliğinde yenilikler getirecektir. Boyut küçüldükçe yaşanan yüzey alanı artışı ve kuantum etkisi, malzemenin kimyasal, optik, elektriksel ve manyetik özelliklerini önemli ölçüde değiştirir. Bu durum aynı girdi ile farklı özellikte ürünlerin imal edilmesine olanak tanır. Malzeme alanında özellikle karbon nanotüpler, geniş kullanım alanına sahiptir. Karbon nanotüplerin sertlik, esneklik, dayanıklılık, ısı ve elektriksel iletkenlik özellikleri; onların sensör, elektronik aletler, görüntüleme cihazları ve güçlendirilmiş kompozitlerde kullanılmasını sağlamıştır (Özer, 2008). Kompozit malzemelerde düşük maliyet, hafiflik, daha az parça kullanımı ve dayanıklılık önemli hususlardır ve nanoteknoloji bütün bunları sağlayabilir (Yılmaz ve Evcı, 2015). Nanoteknoloji, ya mevcut malzemelere yeni bakış açıları getirebilmemize olanak sağlar ya da geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilmesi olanaksız yeni malzemelerin üretimine imkân verir. Nanoteknoloji mevcut yapılara yepyeni özellikler kazandırarak, onları işlevsel hâle getirir ve farklı alanlarda kullanılmasını sağlar veya eskisiyle kıyaslandığında yepyeni malzeme ve yapıların oluşturulmasına yardım eder (Gupta ve Jayatissa, 2003). Yeni malzemeler alanındaki en önemli başarılar; ABD, AB (başta Almanya, Hollanda, İngiltere), Japonya ve Güney Kore'den kuruluşlar arasında görülmektedir (Visnevskiy ve Yaroslavtsev, 2017).

3.2 Elektronik ve Bilişim Sistemleri

Moore yasasına göre her 18 ayda bir, tümleşik bir devre içerisine yerleştirilebilecek bileşen sayısı iki katına çıkarken maliyetler aynı kalır ve hatta düşme ihtimali vardır. Günümüze kadar elektronik piyasasını incelersek, moore yasasının geçerliliğini koruduğu söylenebilir; fakat bu durum artık

mümkün olamayacak seviyelere yaklaşmıştır. Her devre ait teknolojinin üretkenliği konusunda bir sınır vardır. Bu sınırın aşılabilmesi, ancak yeni bir teknoloji ile mümkün olabilmektedir. Maddenin nano ölçekte yapılar düzeyinde tasarlanmasını, işlenmesini ve öncekinden farklı ve üstün özellikte malzeme, sistem ve cihazların üretilmesini konu alan nanoteknolojinin, mikro teknoloji ile gelinen çıkmaza çözüm olabileceği değerlendirilmektedir. Elektronik ve bilişim sistemlerinde nanoteknoloji araştırmalarının temel hedefi, ekonomik ve yüksek performanslı cihaz ve malzemeler üretmektir. Nanoteknolojinin kendisini, en çok bilgisayar çiplerinde göstereceği değerlendirilmektedir (Özer, 2008). Yarı iletken teknolojisinde, elektronik özellikleri geometrik şekilleriyle ayarlanabilen karbon nanotüplerin kullanımı, elektronik aygıtların üretilmesinde büyük bir atılım sağlayacaktır (Aydoğdu, 2011). Bilişim ve iletişim teknolojilerinde boyutlar küçüldükçe, cihazların yeteneklerinin ve kapasitesinin düşmesi beklenirken; tam tersine boyutlar küçüldükçe, fonksiyonellik ve kapasite artmış, cihazlar daha dayanıklı, hafif ve kullanışlı bir hâle gelmiştir (Denizci, 2008). Sadece geometrik parametrelerinin değiştirilmesiyle, elektronik özelliklerinin değiştirilebilir olması, karbon nanotüpleri elektronik sektörde önemli bir konuma getirmiştir. Minyatür elektronik sistemlerin hayatımıza girmesiyle, bilişim sistemleri her daim yanımızda olacak ve kıyafetlerimiz dahî akıllı hâle gelecektir.

3.3 Havacılık ve Uzay

Günümüzde artan gezegen keşif çalışmalarının icrası, uzayda kolonileşme için araştırmalar yapılması, uzay araçları ve uydulardaki gelişmeler, havacılık ve uzay sistemlerini ön plana çıkarmıştır. Havacılık ve uzay çalışmalarında, gerek hacim gerekse ağırlık bakımından sınırlı miktarda yakıt alınabilmekte ve bu durum yapılabilecek görev süresinin kısılmasıyla sonuçlanmaktadır. Yaşanan problemler, sadece yakıtla sınırlı olmayıp; hava ve uzay araçlarında kullanılan malzemelerin ve elektronik cihazların, sıcaklığa ve radyasyona dayanıklılığı ve ağırlığı gibi etkenler de sürece etki etmektedir. Sıcaklık, yıpranma ve radyasyona karşı dayanıklı kaplama imalatı üzerinde çalışmalar devam etmektedir (Yavuz, 2008). Cihazları yüksek radyasyon ve aşırı sıcaklık seviyeleri de dâhil olmak üzere, olağanüstü şartlar içeren ortamlara karşı dirençli kılmak için bilgi işlem sistemlerinin dayanıklı hâle getirilmesiyle ilgili çalışmalara yoğun ilgi duyulmaktadır. Uçaklar ve uzay araçları yüksek maliyetli teknolojilerdir. Bu araçların maliyetinin yüksek olmasının nedeni, kullanılan malzemenin çok olması ve bunun sonucunda oluşan ağırlıktır (Demirel, 2007). Nanoteknoloji, daha az malzeme kullanılmasına, dolayısıyla daha az ağırlığa ve maliyetlerin düşmesine yol açabilir. Çelikten çok daha güçlü, esnek ve hafif karbon nano tüpler sayesinde, yeryüzünden uzaya kadar uzanan asansörlerin yapılması öngörülmektedir. Bu sayede fırlatma maliyetlerinin düşürülebileceği değerlendirilmiştir. Ayrıca nano malzeme içeren kompozitlerin uçaklarda kullanılmasıyla, radar sistemlerine karşı görünürlük azaltılabileceği gibi hava araçlarının kullanım ömürleri de bir hayli artırılmış olacaktır.

3.4 Tıp ve Sağlık

Nanoteknoloji alanındaki gelişmeler, biyolojik sistemlere atomik ve moleküler ölçeklerde müdahale etme kabiliyeti kazandırmıştır. Nanoteknoloji alanında yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak erken teşhis

ve tedavi için nanosensörler, kanser tedavisi, hedefli ilaç salım sistemleri ve dışarıdan ameliyat izi olmadan hassas cerrahi operasyonlar gerçekleştirebilen nanorobotlar üzerinde yoğunlaşmıştır. Nano robotların damarlarımızda dolaşması şu an için hayal gibi görünse de, elde edilen gelişmeler bir gün gerçekleşeceğine işaret etmektedir. Nanoteknoloji ürünlerinin yapay organ ve doku olarak, doku mühendisliğindeki uygulamaları da umut vadetmektedir (Süpüren ve diğ., 2007). Kıyafetlere yerleştirilen nanosensörler sayesinde kişinin hayati fonksiyonları takip edilebilecek ve acil bir durum olduğunda kablosuz ağ vasıtasıyla ilgili sağlık birimi haberdar edilebilecektir (Demirbaş, 2007). Bu uygulamanın, hastaların durumunu takip etmeyi kolaylaştıracağı ve daha acil vakalara müdahale imkânını artıracığı için hastanelerde geniş bir kullanım alanı bulacağı değerlendirilmektedir. Gelecekte nanoteknoloji sayesinde cihazların boyutlarının küçülmesinin yanı sıra, birçok cihazın işlevi tek bir cihazda toplanabilecektir (Peterson, 2014). Nanoteknoloji alanındaki gelişmelerin gen tedavisinde de kullanılacağı ve hatalı olan genetik bilginin düzeltilebileceği gelecek öngörüleridir. Çok sayıda ve düşük düzeydeki konsantrasyonlarda numuneyi aynı anda analiz edebilen ölçüm cihazlarının geliştirilmesi, artık hayal değildir.

3.5 Tekstil

Nanoteknolojiden en çok etkilenecek sektörlerin başında tekstil endüstrisi gelmektedir. Artan rekabetle birlikte, tekstil alanında maliyet etkin ve farklı ürünlere olan ilgi de artmıştır. Nanoteknoloji, bu gereksinimleri karşılayabilecek potansiyele sahiptir. Günümüzde buruşmayan ve leke tutmayan kıyafetler mevcut olup; gelecekte tekstil ürünlerinin daha fonksiyonel, performansı yüksek ve akıllı hâle gelmesi hedeflenmektedir. Artık elbise duyacak, görecek, hissedecek, veri depolayacak, gerektiğinde ilgili birimlere komut verecek ve enerji üretebilecektir (Balcı, 2006). Hedeflenen akıllı kıyafetlerin yıkamaya ve darbelere karşı dayanıklı minyatür sensör entegreli, veri depolayabilen ve veri transferi yapabilen, acil ilk yardım hizmeti verebilen, duyan, hisseden, algılayan, dış etkenlere karşı gelişmiş koruma sağlayan, kendi kendini onarabilen ve temizleyebilen özelliklere sahip olması arzu edilmektedir (Karahanlar, 2014). Elektronik bileşenlerle tekstil ürünlerinin entegre edildiği akıllı tekstillerde önemli sorunlardan biri, giyim konforunun sağlanamamasıdır. Ayrıca bu tip tekstil ürünlerinde elektronik bileşenlerin vücuda zarar verebilme tehlikesi olmakla birlikte, giysinin işlevini yerine getirebilmesi için modüler bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulması da çözülmesi gerekli sorunlar arasındadır. Nanoteknoloji alanındaki gelişmelerin bu tür sorunları giderebileceği değerlendirilmektedir (İşmal ve Yüksel, 2016). Nanoteknoloji molekül ölçeğinde sensörlerin, bilgisayarların, elektronik cihazların ve makinelerin kumaşlara entegre edilmesiyle 'İnteraktif Elektronik Tekstillerin' üretimini olanaklı hâle getirmiştir (Güneşoğlu, 2006). Bu tip tekstiller sayesinde kullanıcı bulunduğu her ortamda devamlı internete bağlı olabilecek, sağlık bilgilerini anlık takip edebilecek ve kıyafet kullanıcılarını tehlikelere karşı ikaz edebilecektir.

3.6 Enerji

Yenilenebilir, güvenli ve ucuz enerji kaynaklarına sahip olmak, her ülkenin hayalidir. Nanoteknolojinin enerjinin verimli şekilde üretilmesinde, depolanmasında ve kullanılmasındaki olumlu etkileri göz ardı edilemez. Artan nüfus, kentleşme, tüketimin artması ve sanayi alanındaki gelişmelerle birlikte; petrol, kömür, doğalgaz gibi geleneksel enerji kaynaklarının rezervleri hızla azalmaktadır ve yakın gelecekte tükeneceği öngörülmektedir. Dolayısıyla küresel iklim değişikliği gibi çevresel kaygılar ve artan enerji gereksinimi nedeniyle sürdürülebilir ve temiz enerji kaynaklarına olan ihtiyaç daha da fazla artmıştır (Kharazi Amin, 2015). Birçok alternatif arasından hidrojen, olabilecek en uygun aday olarak değerlendirilmektedir (Uğurlu, 2010). Birim ağırlık başına sahip olduğu kimyasal enerji bakımından hidrojen, ilk sırada yer almaktadır; yakılmasıyla ortaya yüksek ısı değeri ve bunun sonucunda çevreyi kirletici etken oluşturmaması nedeniyle fosil yakıtların yerini alabilecek en uygun aday olarak göze çarpmaktadır (Öndürücü ve Bilgin, 2008). Hidrojenin hafif ve çok yanıcı olması nedeniyle oldukça küçük depolarda, emniyetli ve verimli şekilde depolanması konusunda, bilim adamları yoğun şekilde çalışmaktadır. Hidrojen gazının yakılmasıyla ortaya çıkan ısı enerjisinin, yakıt hücrelerinde uygun şartlarda okside edilmesiyle, elektrik enerjisi elde edilebilmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda, minyatür yakıt hücrelerinin taşınabilir bilgisayarlardan, telefonlara ve araçlara kadar birçok alanda kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Nanoteknoloji sayesinde emniyetli, ekonomik ve etkin bir depolama teknolojisi geliştirilebilecektir (Özer, 2008, Kharazi Amin, 2015).

3.7 Çevre

Nanosensörler vasıtasıyla çevresel sorunların erkenden tespiti, nanorobotlar vasıtasıyla atıkların yok edilmesi ve verimli imalat yöntemleriyle, üretim esnasında oluşan atıkların azaltılması nanoteknolojinin çevresel etkileri arasındadır. Nanoteknoloji ile kumaşlara kendi kendini temizleme ve onarma, kırışmazlık vb. özellikler kazandırılabilirdiğinden, su harcamasını azalacak ve doğal kaynaklar korunacaktır. Nano kompozit parçacıkların motorlarda kullanılması ile daha temiz ve çevre dostu ulaşım araçları üretilebilecektir. Özellikle, araç egzozları ve fabrika bacalarından yayılan gazlar neticesinde artan küresel ısınmayla beraber iklim değişiklikleri yaşanmaktadır. Nano filtrelerin, yayılan zararlı gazları azaltacağı ve gelecekte bizden sonrakilere daha yaşanılabilir bir dünya bırakmamıza yardımcı olacağı değerlendirilmektedir. Günümüzde tarımsal malzemelerin temiz enerji kaynaklarına dönüştürülmesine yönelik çalışmalar, nanoteknolojinin çevrenin korumasına yönelik önemli bir potansiyeli olarak görülmektedir. Bu konuda özellikle bitkisel yağların, endüstriyel çözeltilere ve biyo yakıtlara dönüştürülmesine yönelik araştırmalar artarak devam etmektedir (Kut ve Güneşoğlu, 2005). Ayrıca nanoteknoloji yalıtım, enerji transferi ve aydınlatma konusunda getirdiği verimli cihaz ve malzemelerle ciddi oranda enerji tasarrufu sağlamaktadır (İlgaz, 2006). Artan nüfusa paralel olarak yollardaki araç sayısının yükselmesi neticesinde, çevresel kirlenmede artmaktadır. Yapılan araştırmalar neticesinde, yakıtta eklenen seryum oksit nanoparçacıkları sayesinde, yakıt tasarrufunun sağlanabileceği ve egzoz kaynaklı çevreye verilen olumsuz etkilerin azaltılabileceği tespit edilmiştir (Özer, 2008).

3.8 Tarım ve Gıda Sektörü

Nanoteknolojinin gıda endüstrisindeki uygulamaları oldukça önemli bir konudur ve son zamanlarda yapılan çalışmalar nedeniyle akademide önemli bir ilgi görmüştür: gıda paketleme uygulamaları için nanokompozitler (Azeredo, 2009); biyoaktif paketleme (Lopez-Rubio ve diğ., 2009); gıda ve beslenmeyle ilgili etkiler (Nickols-Richardson, 2007); aktif ve akıllı paketleme (Dainelli ve diğ., 2008); fonksiyonel gıdalara aşinalık (Hailu ve diğ., 2009) vb. Nanoteknolojinin gıda sektöründe yapabileceği gelişmelerle ilgili çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Özellikle nanoteknoloji ürünü ambalajlama konusuna yoğun ilgi duyulmaktadır. İçerisine nanopartiküller ilave edilmiş ambalajlar sayesinde, dış ortamla irtibatı tamamen kesilen gıda ürünlerinin tazeliğini ve besin değerini uzun süre koruması sonucunda, raf ömrü artacaktır. Nanoteknoloji sayesinde yenabilir ambalajların geliştirilmesine yönelik gıda sektöründe artan bir talep bulunmaktadır. Bu tip ambalajlar sayesinde, besin içerikleri muhafaza edilmekle kalmayıp, plastik ambalajların neden olabileceği kanserojen etkiler yok edilebilecek ve atık sorunu ortadan kaldırılabilecektir (Akbaba, 2016). Ayrıca nanoteknoloji, RFID etiketlerinin günümüzdeki kullanılanlara kıyasla daha küçük, dayanıklı, ekonomik ve yüksek performanslı olmasını sağlayacaktır. Gıda alanının da nanoteknoloji uygulamaları genel olarak; pislik sensörü, antimikrobiyal paketleme, daha iyi gıda saklama, geliştirilmiş besin teslimatı, yeşil paketleme, takip etme ve gelişimi izleme, gübre kullanımında azalma, tat değiştirme, tat yanılıgı ve bakteri tespiti ve yok edilmesidir (Yükseltürk, 2010). Nanoteknolojinin gıda alanında gıda güvenliğinin sağlanması, raf ömrünün uzatılması, tarımsal girdilerin azaltılması, besin değerinin artırılması, nanosensörler gömülü ambalaj uygulaması ve yeni üretim yöntemleri gibi birçok konuda devrim niteliğinde gelişmelere yol açacağı değerlendirilmektedir (Var ve Sağlam, 2014).

3.9 Otomotiv

Küreselleşmeyle beraber, diğer sektörlerde olduğu gibi otomotiv sektöründeki rekabet de zamanla artmıştır. Daha az yakıt tüketen, dayanıklı, yenilenebilir enerji kaynaklarından istifade edebilen, çevreye zarar vermeyen ve uzun ömürlü araçlara olan talep artmıştır. Nanoteknolojinin sunduğu uygulamalar, bu konuda potansiyel vadetmektedir. Nanomalzemeler ile üretilen arabalar daha sağlam ve daha hafif olacak; dolayısıyla yakıt sarfiyatı düşecek ve çevreye yayılan emisyon oranı azalacaktır. Nanopartiküller ile güçlendirilen motorlar, daha performanslı ve uzun ömürlü olacaktır. Yakıt pili, kimyasalları elektrik enerjisine dönüştüren bir aygıttır. Tek bir yakıt pili düşük voltaj üretir, bu yüzden üreticiler bu pilleri kat kat diziler hâlinde kullanır. Ne kadar çok kat olursa, voltaj o kadar yükselir. Otomobil üreticilerinin karşılaştığı zorluklardan biri de, bir araca sürücülerin benzinli araçlardan alışık olduğu gücü verebilecek kadar pili yerleştirebilmektir (Piddock, 2007). Nanoteknolojinin bu soruna çare olabileceği değerlendirilmektedir. Yakıt pillerinin geliştirilmesiyle, içten yanmalı motorlara alternatif oluşacaktır. Bu sayede temiz, sessiz ve verimli araçların üretilmesi mümkün hâle gelecektir. Nanoteknolojinin hidrojenin depolanmasında, güneş hücresi ve yakıt pili imalatında sağlayacağı avantajlar sayesinde, fosil yakıtlara bağımlı olan otomotiv sektöründe bir devrim yaşanabilecektir.

Elektrikle çalışan otomobiller yaygın şekilde kullanılabilir ve artan verimlilikle birlikte otomobil fiyatlarında büyük düşüşler yaşanabilecektir (Ulutepe, 2010). Hatta egzozdan çıkan gazın ısısı dâhil, enerji olarak araç içerisinde kullanılabilir.

3.10 İnşaat Sektörü

Nanoteknoloji ile yüksek performanslı, fonksiyonel, dayanıklı, esnek ve hafif inşaat malzemelerinin üretilmesi mümkün görünmektedir. İnşaat sektöründe gelecekte etkili olabileceği öngörülen nanoteknoloji uygulamaları; (1) Atomik ve moleküler ölçekte düzenlenmiş malzemeler, (2) Yüksek performansa sahip yapı malzemeleri, (3) kendi kendini temizleyen boyalar, özel kaplamalar ve koruyucu ince filmler, (4) Fonksiyonel malzemeler ve yüksek hareket serbestisine sahip bileşenleri, (5) Etkin ve verimli yeni üretim teknikleri, (6) Nanosensörlerin kullanımıyla akıllı hâle getirilmiş yapılar, (7) Ömür devrini ve yıpranma durumunu kontrol için malzeme içerisine gömülü RFID etiketler, (8) Uzun ömürlü ve enerji tasarrufu sağlayan cihazların kullanılmasıdır (Şahin, 2019). Atom ve moleküler seviyelerden başlayarak malzemelerin oluşturulması, geleneksel malzemelere kıyasla daha hafif ve sağlam maddelerin ortaya çıkmasına yol açacaktır (Kutucu, 2010). İçerisine yerleştirilen nanomalzemeler sayesinde akıllı binaların yapımı, bilim kurgudan gerçeğe dönüşmek üzeredir. Moleküler seviyeden başlayarak, aşağıdan yukarıya üretim sayesinde elde edilen düşük hata oranı ve malzemelere kazandırılan eşsiz özellikler sayesinde devrimsel yeniliklerin bu sektöre kazandırılabilirliği değerlendirilmektedir. Günümüzde iyileştirilmiş yüzey, antimikrobiyal, kendini temizleme ve onarma, ışık geçirme özellikleri nanofiberler, karbon nanotüpler ve nano-silika sayesinde hazır betona ve çimentoya kazandırılmıştır (Benli ve Arslan, 2013). Binalarda nanoteknoloji ürünü malzemelerin kullanımıyla, adeta biyolojik sistemlere benzer yaşayan yapılar elde edilebilir. Yapılara canlı organizmalardakine benzer olarak ortama uyum, öz örgütlenme, tepki verme, kendi kendini onarma ve büyüme gibi özellikler kazandırılabilir (Harman, 2011). Böylelikle tasarımda yeni anlayışlar ve yöntemler ortaya çıkabilecektir. Örneğin, karbon nanotüplerin yapı malzemelerinde kullanımı sonucu, deprem olduğunda çökmek yerine esneme yapan ve eski şeklini alan sağlam binalar yapılabilir.

3.11 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 alanda çift kullanıma yönelik olarak, giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Artırılmış gerçeklik teknolojilerinin kullanımıyla oluşturulan sanal eğitim ortamında, kişilerin gerçekçi şartlarda eğitim alması ve eğitim konusunun gerçek anlamda tahayyülü 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. Simülasyon ve modellemeye olan ilgi, dünya genelinde artış göstermektedir. Simülasyon ve

modelleme teknolojileri sayesinde karar destek, eğitim ve durum analizi gibi kritik faaliyetlerde katma değer yaratılacaktır. Karışık gerçeklik, gerçek ve sanal dünyayı birleştirerek fiziksel ve dijital varlıkların olduğu yeni çevreler yaratır. Karışık gerçeklik teknolojisi ile eğitimin ekonomik, idame ettirilebilir, ölçülebilir, çoklu platformları destekleyici olacağı aşikârdır ve bu konuda gerekli altyapının bir an önce oluşturulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Yüksek teknolojik imkânlardan yararlanılarak, eğitimin gerçekçilik seviyesini artıracak sistemlerin geliştirilmesi oldukça önemlidir.

3.12 Savunma Alanı

Nanoteknolojinin potansiyel askeri uygulamalarının çeşitliliği, artan Ar-Ge seviyesi, artan talep ve potansiyel pazar etki derecesi göz önüne alındığında, kilit teknoloji alanlarından biri hâline gelmektedir. Bu nedenle, önümüzdeki yıllarda askeri yetenekler üzerinde dikkate değer bir etkisinin olacağı neredeyse kesindir. Savunma alanında nanoteknoloji kullanılarak, birçok zorluğun üstesinden gelinebileceği değerlendirilmektedir. Savunma alanında nanoteknoloji uygulamaları üzerine araştırmalar, yoğunluk optik sistemlerde olmak üzere; nanomakineler, robotik sistemler, akıllı malzemeler, minyatür ve akıllı silah sistemleri, artırılmış gerçeklik uygulamaları, insan hafızasını artırıcı bellekler, askerin performansını artırıcı ilaç ve dış iskelet sistemleri, nanoelektronik, zırh teknolojisi, akıllı kıyafet, biyo uyumlu protez ve implant, yapay doku-organ-kas uygulamaları, kuantum bilgisayarlar ve iletişim sistemleri üzerine artış göstermektedir (Şentürk ve diğ., 2012). Kapsam açısından uluslararası literatür çalışması sonucunda, nanoteknolojinin savunma alanındaki uygulamalarının, çeşitli kategorilere ayrıldığı belirlenmiştir. Kharat vd. (2006), nanoteknolojinin savunma alanındaki uygulamalarını dokuz kategoride analiz etmiştir: (1) Silah Sistemleri, (2) Nanorobotlar, (3) Sensör ve İletim Sistemi, (4) Uzay Asansörleri, (5) İstihbarat ve Keşif Sistemi, (6) Mikroeletromekanik Sistemler (MEMS), (7) Nano Yapılı Platformlar, (8) Aerodinamik ve İtke Sistemleri, (9) Patlayıcılar. Lele (2009) ise nanoteknolojinin askerî uygulamalarını altı kategoride incelemiştir: (1) Elektronik/Bilgisayar/Sensörler, (2) Bio-Savunma, (3) Denizcilik Uygulamaları, (4) Uzay ve Diğer Savunma Uygulamaları, (5) Konvansiyonel Silahlar/Mühimmat, (6) Hava Tahmini. Aydoğdu (2018), nanoteknolojinin askerî uygulamalarını (1) Zırh, (2) Savaşçı Teknolojileri, (3) Beka Sistemleri, (4) Silah Sistemleri, (5) Mühimmat Sistemleri, (6) Enerji Teknolojileri, (7) Komuta ve Kontrol Sistemleri, (8) Biyoteknoloji, (9) Uzay Sistemleri olarak belirlemiştir. Savunma alanına yönelik çalışmaların açık kaynaklara yansımaları sınırlı olduğundan. Nanoteknolojinin askerî uygulamalar üzerine yansımaları gizemini korumaktadır.

4. SONUÇLAR

Nano ölçekte malzemelerin daha sağlam, uzun ömürlü, hafif ve akıllı olması; daha az malzeme kullanılarak üretilmesi; üretim sürecinde daha az enerji kullanımı; neredeyse hiç artık oluşturmaması gibi özellikleri, nano imalatın diğer geleneksel üretim yöntemlerine göre üstünlükleridir (Erkoç, 2008; Kadioğlu, 2010). Malzemelerin nano boyutlardan başlayarak imal edilmesi, geleneksel yöntemler ile elde edilenlere göre daha üstün ve farklı özelliklere sahip olmasını sağlar (Ateş ve Bahçeci, 2015). Bu

malzemelerin sahip olduğu eşsiz özellikler, endüstriyel sürece devrim niteliğinde yenilikler getirecektir. Boyut küçüldükçe yaşanan yüzey alanı artışı ve kuantum etkisi, malzemenin kimyasal, optik, elektriksel ve manyetik özelliklerini önemli ölçüde değiştirir. Bu durum aynı girdi ile farklı özellikte ürünlerin imal edilmesine olanak tanır. Nanoteknoloji ya mevcut malzemelere yeni bakış açıları getirebilmemize olanak sağlar ya da geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilmesi olanaksız yeni malzemelerin üretimine imkân verir. Nanoteknoloji mevcut yapılara yepyeni özellikler kazandırarak onları işlevsel hâle getirir ve farklı alanlarda kullanılmasını sağlar veya eskisiyle kıyaslandığında yepyeni malzeme ve yapıların oluşturulmasına yardım eder (Gupta ve Jayatissa, 2003).

60'dan fazla ülke tarafından, nanoteknoloji alanına yönelik büyük miktarda kaynak tahsis edilmiş olup, aralarındaki rekabet artarak devam etmektedir (Sayler, 2015). ABD, Çin, Japonya, Tayvan, Güney Kore, Almanya, Avustralya ve İsrail gibi ülkeler bu konuda ön sıralarda yer almaktadır. Thomas (2006), insanlığın neredeyse her on yılda bir, farklı teknoloji dalgasına maruz kaldığını ve günümüzün teknoloji dalgasının nanoteknoloji olduğunu belirtir. Birçok ülke tarafından milli nanoteknoloji girişimlerinin başlatılması, konunun önemini genel itibariyle anlaşıldığını göstermektedir. Kurulan bu girişimler sayesinde, nanoteknolojiye alanında süreç ve ürün geliştirmeye yönelik Ar-Ge çalışmalarında gerekli merkezi yapı oluşturulmaya çalışılmıştır. Son yıllarda nanoteknoloji alanında yönelik yatırımlardaki artışlar dikkat çekicidir. Yakın gelecekte ülkelerin nanoteknolojiye yönelik yaptığı araştırma, yatırım ve üretim faaliyetleri, diğer ülkeler tarafından algılanan gücünün bir göstergesi olarak algılanmaya başlayacaktır. Dünya genelinde birçok firma, nanoteknoloji alanında araştırmalar yapmakta ve elde ettikleri gelişmeleri ürünlerine yansıtmaktadırlar. Bu durumu, yıllar itibariyle artan patent sayıları da gözler önüne sermektedir. Nanobilim ve nanoteknoloji konusunda birçok ülke, uluslararası liderliğe soyunmaktadır.

Dünyada savunma, enerji, elektronik-bilişim teknolojileri, sağlık ve çevre konuları öncelikli çalışma yapılan alanlar olmakla birlikte, ülkemizde sağlık teknolojileri, güneş enerjisi sistemleri ve savunma sanayi uygulamalarında nanoteknolojiyle ilgili yoğun Ar-Ge çalışmaları ve yatırımlar yapılmaktadır (Denkbaş, 2015). Nanoteknoloji uygulamalarına yönelik olarak, ülkemizde faaliyet göstermekte olan firmaların daha çok tekstil endüstrisi, malzeme/yapı malzemeleri, otomotiv, kimyasallar, polimer kompozit ve kaplama malzemeleri alanlarında yoğunlaştığı değerlendirilmekle birlikte; nanoteknoloji, genel anlamda tekstil ve tıp alanlarında gelişme göstermekte ve bu sektörlerle yönelik çalışmalara öncelik verilmektedir (Karahanlar, 2014). Körözlü (2015)'ye göre ise, Türkiye'de nanoteknolojiye yönelik araştırma ve uygulama yapan firmalar tekstil, otomotiv, boya-kaplama, kimyevi maddeler, inşaat, polimer kompozit ve malzeme sektörlerinde yoğunlaşmıştır (Körözlü, 2015). Nanoteknoloji, nanometre ölçeğinde şekil ve boyutu kontrol ederek yapıların, cihazların ve sistemlerin tasarımı, karakterizasyonu, üretimi ve uygulaması olduğundan, uygulamalarının fiilen hiçbir malzeme sınırı yoktur (Whitman, 2011).

Henüz olgunlaşma aşamasında olan ve 2025 yılından itibaren neredeyse her alanda asıl etkisini göstereceği değerlendirilen nanoteknoloji, devletlerarasındaki güç dengesi üzerinde sahip olabileceği potansiyelinden dolayı pek çok ülkenin dikkatini çekmiştir ve yapılan Ar-Ge harcamalarının artmasına neden olmuştur. Nanoteknoloji çabalarının pek çok çeşidi artık sadece siyasi olarak onaylanmış ve finanse edilmiş hükümet girişimleri olarak değil, aynı zamanda ticari işletmeler olarak da dünya çapında iyice yerleşmiştir. Bayındır (2012), ülkemizde nanoteknoloji yapılan yatırımların önemli düzeyde olduğunu, ancak bu yarışta önde olabilmek için yeterli olmadığını ifade etmiştir. Teknolojik olarak gelişmiş ülkelerin Ar-Ge harcamalarının GSYİH'ne oranı %2'nin üzerinde gerçekleştiği düşünüldüğünde, Türkiye'nin bu alanda daha fazla iyileştirme yapabilmesi için, daha fazla Ar-Ge bütçesi tahsis etmesi gerekmektedir. Bu maksatla, ülke gereksinimlerini esas alan teknoloji yol haritasının mevcut yetenekler ve altyapı esas alınarak 'mükemmeliyet ağı' yapısı içerisinde, bilgi paylaşımı ve iş birliğinin sağlandığı bir ortamda ilgili bütün paydaşların katılımıyla oluşturulmasına ve kaynakların bu doğrultuda planlı olarak tahsisine gereksinim duyulmaktadır. Türkiye'nin yeni yüzyılda kritik bir teknoloji devrimi olarak görülen ve henüz emekleme döneminde olan bu teknolojiyi, gelişmiş ülkeleri yakalamak maksadıyla bir sıçrama tahtası olarak kullanması çok önemlidir. Küresel nanoteknoloji yarışını kaçırmamak için özellikle nanoteknolojiye gerekli yatırımı yapmak gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

Teknoloji ve Ar-Ge yönetimi alanında çalışmalar yapma konusunda beni motive eden sayın Prof.Dr. Serhat ÇAKIR hocama, her daim yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen sevgili eşim Candan ERGÜL'e ve oğlum Artun ERGÜL'e teşekkürlerimi iletmeyi bir borç azledirim.

KAYNAKLAR

- Akbaba, G. (2006). Yenebilir ambalajlar. *Bilim ve Teknik Dergisi*, Aralık Sayısı, 30-32.
- Altmann, J. (2004). Military uses of nanotechnology: perspectives and concerns. *Security Dialogue*, 35(1), 61-79. <https://doi.org/10.1177/0967010604042536>
- Altmann, J. (2008). Military uses of nanotechnology- too much complexity for international security?. *Complexity*, 14(1).62-70. <https://doi.org/10.1002/cplx.20226>
- Amato, I. (1999). Nanotechnology: Shaping The World Atom by Atom, National Science and Technology Council Committee on Technology. The Interagency Working Group on Nanoscience, Engineering and Technology, Washington, 23. <http://www.physics.mcgill.ca/~peter/534A/nano-brochure.pdf>
- Ateş, H. & Bahçeci, E. (2015). Nano malzemeler için üretim yöntemleri. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 483-499.
- Aydoğdu, E. (2011). *Nanoteknoloji, nanobilim ve analitik kimyadaki kullanım alanları* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Azeredo, H.M.C. (2009). Nanocomposites for food packaging applications. *Food Research International*, 42, 1240 – 1253. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.03.019>

- Balcı, H. (2006). *Akıllı (fonksiyonel) tekstiller, seçilmiş kumaşlarda antibakteriyel apre ve performans özellikleri*, [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Bayındır, M. (2012). Küresel sorunlara etkili çözüm getirmesi beklenen nanoteknoloji, 2025'te devrim yapacak. *Bilişim Dergisi*, 172, 55-63.
- Baykara, T. (2016). *Nanoteknolojiler dünyasına doğru*. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- BCC Research (2012). Nanotechnology: A Realistic Market Assessment-NAN031E. : <http://www.bccresearch.com/market-research/nanotechnology/nanotechnology-market-applications-products-nan031e.html>.
- Benli, B. & Arslan, F. (2013). Sürdürülebilir kalkınmada hammadde ihtiyacını karşılamak için: Nanoteknoloji ve cevher hazırlama. *İTÜ Vakfı Dergisi*, 61, 22-23.
- Beyhan, B. & Pamukçu, T.M. (2011). Nanotechnology research in Turkey: A university-driven achievement. Science and Technology Policies Research Center, TEKPOL Working Paper Series, STPS-WP-11/07.
- Bilim ve Teknoloji Genel Müdürlüğü (2017). *Türkiye Nanoteknoloji Stratejisi ve Eylem Planı (2017-2018)*. T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Yayınları, Ankara.
- Booker, R. & Boysen, E. (2005). *Nanotechnology for dummies*. Hoboken, New Jersey: Wiley Publishing.
- Bowman, D.M. & Hodge, G.A. (2006). Nanotechnology: mapping the wild regulatory frontier. *Futures*, 38, 1060-1073.
- Bozkurt, A. (2015). Türkiye'de Nanoteknoloji. *Türkiye Bilişim Derneği Bilişim Dergisi*, 43(172), 44-52.
- Choi, K., Court, E., Daar, A., Deleury, E., Duquet, D., Gordijn, B., Evans, D., Jean, M., Liu, J., Salamanca-Buentello, F., Schummer, J., Singer, P.A. & Andrade, M.S. (2007). *Nanotechnologies, Ethics and Politics* (Henk A.M.J. ten Have). United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Unesco Publishing, France.
- Clunan, A., Rodine-Hardy, K., Hsueh, R., Kosal, M. E. & McManus, I. (2014). *Nanotechnology in a globalized world: strategic assessments of an emerging technology*. Naval Postgraduate School Monterey.
- Crichton, M. (2002). *Prey*. New York, Harper Collins.
- Dainelli, D., Gontard, N., Spyropoulos, D., Beuken, E. Z. & Tobback, P. (2008). Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns. *Trends in Food Science & Technology* 19, 103 – 112. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.09.011>
- Demirbaş, C.V. (2008). *Ulusal teknoloji öngörü çalışmalarında uzmanlık seviyesinin sonuçlara etkisi* [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demirel, Ö.R. (2007). *Askeri malzemelerde nanoteknoloji kullanımı* [Yayımlanmamış Yüksek lisans Tezi]. İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Denizci, Ö.M. (2008). *Bilişim çağında nanoteknoloji olgusu ve iletişim sürecine yansımaları* [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Marmara Üniversitesi, İletişim Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Denkbaş, E.B. (2015). Nanoteknolojiye yapılacak yatırımlar ülkelerin ekonomik gücünü yansıtabilecek bir parametre olacak. *Aylık Bilişim Kültürü Dergisi*, 43(172), 79-83.
- Erkoç, Ş. (2001). Karbon nanoyapılar. *Bilim ve Teknik Dergisi*, 398, 46-51.
- Erkoç, Ş. (2008). *Nanobilim ve Nanoteknoloji*. ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
- European Commission (2013). Nanotechnologies: Principles, Applications, Implications and Hands-on Activities. A Compendium for Educators, <https://edu.rsc.org/review/nanotechnologies-principles-applications-implications-and-hands-on-activities/2000482.article>
- Fastabend, D. & Becker, J. (2020). Harekât ortamı (2035-2050): Savaşın bilinen özellikleri. *Army Journal*, USA.
- Gupta, T. & Jayatissa, A.H. (2003). Recent Advances in Nanotechnology: Key Issues & Potential Problem Areas. *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 28(1),124.
- Güneşoğlu, C. (2006). Spor giysilik kumaşların performans özelliklerinin nanoteknolojik ürünler kullanılarak geliştirilmesi ve aplikasyon tekniklerinin karşılaştırılması [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Gürdilek, R. (2001). Umutla kâbusun arasında nanoteknoloji. *Bilim ve Teknik Dergisi*, 398, 40-43.
- Güzeloğlu, E. (2015). Akıllı ürünlerin nano yeniliği: gençlerin nanoteknoloji farkındalığı, fayda/risk algıları. *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*, 12(1), 289-291.
- Hailu, G., Boecker, A., Henson, S. & Cranfield, J. (2009). Consumer valuation of functional foods and nutraceuticals in Canada. A conjoint study using probiotics. *Appetite* 52, 257 – 265.
- Hall, J.S. (2013). *Nano Gelecek Nano Teknolojinin Yarını* (Mehmet DOĞAN Ed.), Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, İstanbul.
- Hall, S. J. (2005). *Nanofuture What's Next for Nanotechnology*. Prometheus Books,
- Harman, S. (2011). *Nanoteknolojinin mimariye etkileri* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- İlgaz T. (2006). Nanoteknoloji ve Tekstil Sektöründeki Yeri. *Tekstil İşveren*, Ağustos, 3-4.
- İşmal, E. ve Yüksel, E. (2016). Tekstil ve moda tasarımına teknolojik bir yaklaşım: Akıllı ve renk değiştiren tekstiller. *Yedi: Sanat, Tasarım ve Bilim Dergisi*, 16, 87-98.
- Kadioğlu, F. (2010). *Fen öğretiminde öğrenim gören öğretmen adaylarının nanoteknoloji ile ilgili güncel ve geleceğe yönelik düşünceleri* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Gazi Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kahraman, D. (2013). Nanoteknoloji alanında Türkiye’de yürütülen çalışmalar. *Savunma ve Güvenlik Dergisi*, 27(2), 37-49.
- Karaca, F. & Öner, M.A. (2015). Scenarios of nanotechnology development and usage in Turkey. *Technological Forecasting and Social Change*, 91, 327-340. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2014.04.004>
- Karahanlar, Ü. (2014). *Dokuma ve örme tekstiller üzerinde akıllı uygulamalar* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Haliç Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Kharat, D.K., Muthurajan, H. & Praveenkumar, B. (2006). Present and futuristic military applications of nanodevices. *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic and Nano-Metal Chemistry*, 36, 231-235. <https://doi.org/10.1080/15533170500524801>

- Kharazi Amin, N. (2015). *Enerji depolamasında nanoteknoloji uygulamaları: Tekstil Örneği* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Körözlü, N. (2015). Bilim ve teknolojinin geleceği: Nanoteknoloji. *Göller Bölgesi Aylık Hakemli Ekonomi ve Kültür Dergisi*, 27-30.
- Kut, D., Güneşoğlu, C. (2005). Nanoteknoloji ve Tekstil Sektöründeki Uygulamaları. *Tekstil&Teknik*, Şubat, 224-230.
- Kutucu, B. (2010). *Nanoteknoloji ve çift duvarlı karbon nanotüplerin incelenmesi* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Lele, A. (2009). Role of nanotechnology in defense. *Strategic Analysis*, 33(2), 229-241. <https://doi.org/10.1080/09700160802518700>
- Lopez-Rubio, A., Gavara, R. & Lagaron, J.M. (2006). Bioactive packaging: turning foods into healthier foods through biomaterials. *Trends in Food Science & Technology* 17, 567-575. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.04.012>
- Meshkatalasadat, M. H., Safaei-Ghomi, J., Moharrampour, S., & Nasserli, M. (2010). Chemical characterization of volatile components of *Tagetes minuta* L. cultivated in south west of Iran by nano scale injection. *Digest Journal of nanomaterials and Biostructures*, 5(1), 101-106..
- Naschie, M.S.E. (2006). Nanotechnology for developing world. *Chaos, Solitons and Fractals*, 30(4), 769-773. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2006.04.037>
- NATO Science and Technology Organization (2020). Science and Technology Trends 2020-2040. https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-ST_Tech_Trends_Report_2020-2040.pdf
- Nayyar, A., Puri, V. & Le, D.N. (2017). Internet of nano things (IoNT): next evolutionary step in nanotechnology. *Nanoscience and Nanotechnology*, 7(1), 4-8. <https://doi.org/10.5923/j.nn.20170701.02>
- Nickols-Richardson, S.M. (2007). Nanotechnology: Implications for food and nutrition professionals. *Journal of American Dietetic Association* 107(9), 1494 – 1497. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2007.06.016>
- Öndürücü, A. & ve Bilgin, E. (2008). Nanoteknoloji. *Mühendis ve Makine*, 49(586). 9-19. https://mmo.org.tr/sites/default/files/131f8ecf18db66a_ek.pdf
- Özer, Y. (2008). *Nanobilim ve nanoteknoloji: Ülke güvenliği / etkinliği açısından doğru modelin belirlenmesi* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özkaleli, M. & Erdem, A. (2016). Nanoatıklar ve çevre: Atık yönetiminde yeni bir yaklaşım. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(3): 183-188. <https://doi.org/10.5505/pajes.2015.52207>
- Peterson, C.L. (2014). Nanotechnology: From Feynman to the grand challenge of molecular manufacturing. *IEEE Technology and Society Magazine*, 9-13. <https://doi.org/10.1109/MTAS.2004.1371633>
- Piddock, C. (2007). Gelecekte Teknoloji: Kişisel robotlardan nanoteknolojiye. *National Geographic*, 24(4), 12-19.
- Poyraz, H. (2003). Nanoteknoloji ve kullanım alanları. *Harp Akademileri Bülteni*, 205(7), 61-74.

- Roco, M.C. & Bainbridge, W.S. (2001). *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*. Boston, MA: Kluwer.
- Sayler, K. (2015). Nanotechnology and U.S. Military Power. *Defense Dossier*, 13, 3-6.
- Süpüren, G., Kanat, Z.E., Çay, A., Kırıcı, T., Gülümser, T. & Tarakçıoğlu, I. (2007). Nano Lifler, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 17(1), 15-17.
- Şengil, A.Z. (2010). Teknolojik değişim süreci: Nanoteknoloji ve nanotıp. <https://www.sdplatform.com/Dergi/412/Teknolojik-degisim-sureci-Nanoteknoloji-ve-nanotip.aspx>.
- Şentürk, E., Okur, İ., Duman, S. & Akbulut, S. (2012). *Nanoteknolojiye giriş*. Değişim Yayınları, İstanbul.
- Tegart, G. (2004). Nanotechnology: the Technology for the Twenty-first Century. *Foresight*, 6(6), 364–370. <https://doi.org/10.1108/14636680410569948>
- Thomas, J. (2006). An Introduction to Nanotechnology: The Next Small Big Thing. *Development*, 49(4), 39–46. <https://doi.org/10.1057/palgrave.development.1100315>
- TÜBİTAK (2004). *Nanobilim ve Nanoteknoloji Stratejileri, Vizyon 2023*, Ankara.
- Tüylek, Z. (2017). Nanoteknolojinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki riskleri. *Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2(2), 2-8.
- Uğurlu, E. (2010). *Hidrojen depolanmasında nanoteknoloji kullanımının incelenmesi* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Uldrich, J., & Newberry, D. (2003). The Next Big Thing is Really Small: How Nanotechnology Will Change the Future of Your Business. <https://audiotech.com/business-summaries/the-next-big-thing-is-really-smallhow-nanotechnology-will-change-the-future-of-your-business>.
- Ulutepe, Ç. (2010). *Üretim işletmelerinde nanoteknoloji kullanımı ve üretim maliyetleri üzerine etkileri* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Var, I. & Sağlam, S. (2015). Gıda endüstrisinde nanoteknoloji uygulamaları. *Gıda Dergisi*, 40(2): 101-103. <https://doi.org/10.15237/gida.GD14040>
- Viktor, E. (2002). Spaceworld 2000. <http://www.spaceworld2000.com/nanotechnology.html>.
- Whitman, J. (2011). The arms control challenges of nanotechnology. *Contemporary Security Policy*, 32(1):, 99-115. <https://doi.org/10.1080/13523260.2011.556848>
- Wolf, E.L. & Medikonda, M. (2014). *Nanoteknoloji devrimini anlamak* (Beyza Sarıkavak Lişesivdin ve Sefer Bora Lişesivdin, Çev.). Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Yalçın, K.A. (2010). *Nanoteknoloji ve gıda sanayisinde uygulama alanları* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Yavuz, Y. (2008). *HK-33 piyade tüfeğinin nanoteknoloji uygulamaları ile yapılabirlik yeteneğinin analizi ve gövde kısmının performans etkinliğinin artırılması* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yılmaz, U. & Evcı, C. (2015). Havacılık ve savunma sektöründe kompozit malzemelerin geleceği. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 14(2), 77-109.
- Yükseltürk, A. (2010). Gıdalar ve Nanoteknoloji. <http://www.nanoturkiye.net/2009/02/25/gidalar-ve-nanoteknoloji>.