

## Atom altı parçacıklar ve bu alandaki teknolojik gelişmeler

M. Emrah AYZAZ<sup>1</sup>

### ÖZ

Bu çalışmada; atom ile ilgili tarihsel süreç içerisinde yapılan bilimsel çalışmalar ışığında, güncel verilerle atom altı parçacıklar incelenmiş, maddenin enerjisi ile yaydığı elektromanyetik dalgaların özellikleri ve kullanılabilme yetenekleri açıklanmış ve atom altı parçacıklar alanındaki teknolojik gelişmeler değerlendirilmiştir.

Atom, elementlerin kimyasal ve fiziksel özelliklerini taşıyan, kozmik ve yüksek enerjili maddeler ile anti madde dışında bilinen bütün maddelerin en küçük temel yapı taşıdır. Önceleri maddenin bölünemeyen en küçük parçası olarak bilinirken, tarihi süreç içerisinde yapılan deneysel araştırmalarla kendisinden daha küçük parçacıklardan (atom altı parçacıklar) oluştuğu belirlenmiştir. Atom altı parçacıklar; (1) Fermiyonlar (Madde Parçacıkları) ve (2) Bozonlar (Etkileşim Parçacıkları) şeklinde iki ana başlıkta incelenmektedir. Fermiyonlar, maddenin atom altı ana parçacıkları, bozonlar ise bunlar arasındaki veya evrendeki tüm maddeler arasındaki çekim kuvvetini sağlayıp alan oluşturan etkileşim parçacıklarıdır. Atom çekirdeğinde bulunan protonlar ve nötronlar içerisinde yer alan kuarklar ile çekirdek etrafında dönen elektronlar, kendilerinden daha küçük parçacıkları bilinmediği için atomun temel alt parçacıkları olarak kabul edilmektedirler.

Atom altı parçacıklar teknolojisi (kuantum teknolojisi), atomun çekirdeğinde gelişen reaksiyonlar ile yörüngesindeki elektronların hareket ve etkileşim kabiliyetinden elde edilen ve hayatı kolaylaştıran bilimsel uygulamaların tümünü kapsamaktadır. Bu teknoloji, "Nükleer Teknoloji" ve "Elektronik Teknoloji" şeklinde iki alt kısımda incelenmektedir. Nükleer teknoloji; atom çekirdeği reaksiyonlarından yararlanmak için geliştirilen bilimsel uygulamaları, elektronik teknolojisi ise; atom çekirdeği etrafında bulunan elektronların hareket ve etkileşim kabiliyetlerinden geliştirilen bilimsel uygulamaları kapsamaktadır.

Günümüzdeki en önemli nükleer teknolojiler; nükleer enerji, nükleer tıp (nötron terapi, proton terapi vb.), nükleer silah, proton parçacık hızlandırıcıları, nötron kaynak üreteçleri ve farklı amaçlara yönelik olarak tasarlanan çeşitli nükleer reaktörler şeklinde sayılabilir. En önemli elektronik

teknolojiler ise; elektrik-elektronik, elektron mikroskopları, katot ışını tüpleri, elektron ışın kaynağı, radyoterapi (ışın tedavisi), lazerler, duman dedektörleri (gaz iyonlaştırma sayaçları), elektron parçacık hızlandırıcıları, kuantum bilgisayarları ve elektromanyetik dalgalardan yararlanılarak geliştirilen ve yerbilimleri, iletişim, bilişim (bilgisayar tabanlı sistemler, yazılım, donanım, siber güvenlik vb.), savunma, uzay, havacılık, sağlık, tarım, hayvancılık ve sanayi gibi stratejik alanlarda kullanılan sistemler şeklinde sayılabilir.

Ülkemizde, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından, son yıllarda hayata geçirilen vizyon projelerle çeşitli açılımlar gerçekleştirilmiş ve önemli gelişmeler sağlanmıştır. MTA, sorumluluğuyla ilgili diğer alanlarda olduğu gibi, nükleer enerji hammaddeleri konusunda da çeşitli arama, araştırma ve geliştirme projeleri hazırlayıp uygulamakta, yeni kaynakları ortaya çıkarmakta ve sektörün gelişmesine ışık tutmaktadır.

### 1. Giriş

Bu makalenin amacı; atom ile ilgili tarihsel süreç içerisinde yapılan bilimsel çalışmalar ışığında, güncel verilerle atom altı parçacıkları incelemek, maddenin enerjisi ile yaydığı elektromanyetik dalgaların özelliklerini, kullanılabilme yeteneklerini açıklamak ve atom altı parçacıklar alanındaki teknolojik gelişmeleri değerlendirmektir.

Atom, bir elementin kimyasal ve fiziksel özelliklerini taşıyan, kozmik ve yüksek enerjili maddeler ile anti madde dışında bilinen bütün maddelerin en küçük temel yapı taşı olarak tanımlanmaktadır. İsmi, Yunancada "bölünemez" anlamına gelen "atomos" kelimesinden almış olan atom, terim olarak ilk defa MÖ 460'lı yıllarda Democritus tarafından kullanılmıştır (Taylor, 2010). Önceleri, maddenin bölünemeyen en küçük parçası olarak bilinen atomun, tarihi süreç içerisinde çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan deneysel çalışmalar neticesinde, kendisinden daha küçük parçacıklardan (atom altı parçacıklar) oluştuğu belirlenmiştir.

Atom modelleriyle ilgili olarak geçmişten günümüze kadar birçok bilim insanı tarafından öne sürülen fikirler, zaman içerisinde olgunlaştırılmış ve günümüzde kabul edilen "Modern Atom Teorisi" halini almıştır. Atom ile ilgili bilinen ilk açıklamaları, varsayımlar şeklinde yapan Democritus (MÖ 460), varsayımlarını bir elmanın en küçük parçaya kadar

<sup>1</sup> Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

bölünmesi örneği üzerinden vermiş ve elmanın önce ikiye bölünmesini, sonra eldeki yarım elmanın tekrar ikiye bölünmesini ve böyle devam ederek bölünemez en küçük parçaya kadar bölünmesini istemiş ve en sonunda bölünmesi mümkün olmayan son parçaya “atomos” adını vermiştir (Rocke, 1984; Taylor, 2010). Cabir Bin Hayyan ise 750’li yıllarda; maddenin en küçük yapı taşı olan atom için “cüz-ü la yetecezza” (parçalanamayan parça) tanımının yapılmış olduğunu, ancak bunun da parçalanabileceğini ve yoğun bir enerjisi bulunduğunu belirtmiştir. Cabir Bin Hayyan, atomun parçalanmasıyla meydana gelecek güç için “Bağdat’ın altını üstüne getirebilir” ifadesini kullanmış ve o dönemlerde ilk defa atom bombasına işaret etmiştir. Farabi, 910’lu yıllarda; “Hiçbir şey kendiliğinden yok olmaz, böyle olsaydı var olmazdı” tespitini yapmış ve bütün gezegenlerin sonlu olduğunu, ortasında ne doluluk ne de boşluk bulunduğunu belirtmiştir. İbn-i Sina, 1010’lu yıllarda; Felak Suresi’nin ilk ayetlerini tefsir ederken, ilk varlığın meydana gelişini Allah’ın nurunun yayılması olarak, bu nurun yayılmasının da Allah tarafından yokluğa yarılma bahşedilerek meydana geldiğini bildirmiştir. Bunun yanında; maddenin sonsuza bölünebilirliğini, boşluğun olmadığını ve hareketin hissedilmediği yerde zamanın da olmayacağını belirtmiştir. İbn-i Sina, basit cismin doğal şeklinin küre olduğunu, her cismin tek ve kendine özgü bir doğal hacminin bulunduğunu ve farklı biçimde iken normal haline bırakıldığında doğal hacmine doğru meyledeceğini belirtmiştir. Mevlana 1250’li yıllarda; atom ve atom altı parçacıklara işaret etmiş ve “Eğer bir zerreyi (atomu) kesersen, ortasında bir güneş ve güneş etrafında durmadan dönen gezegenler bulursun”, “Bir iğne deliğinde binlerce evren var” ifadeleriyle açıklamalarda bulunmuştur (Uslu, 2013; İslam Ansiklopedisi, 2020).

Atom modeli ile ilgili bilinen ilk deneysel çalışmayı, 1805 yılında John Dalton gerçekleştirmiş ve atom için, “içi dolu berk küre” benzetmesini yapmıştır (Rocke, 1984). John Joseph Thomson tarafından, 1897 yılında maddenin en küçük parçasının atom olmadığı, onu oluşturan artı ve eksi yüklü temel parçacıkların bulunduğu belirtilmiştir. Thomson, atom modeli için “üzümlü kek” benzetmesini yapmış ve kekin artı yüklü, içerisinde dağınık ve hareketsiz halde bulunan üzümlerin ise eksi yüklü olduğunu belirtmiştir (Thomson, 1904). Sonra Ernest Rutherford tarafından, 1911 yılında yapılan çalışmalar sonucunda atomun çekirdekli bir yapıya sahip olduğu keşfedilmiştir. Rutherford, arkasına film yerleştirilmiş bir altın tabakaya +2 yüklü alfa tanecikleri göndererek ışınların levhaya çarptıktan sonra izledikleri yolları incelemiştir. Çekirdek

içerisindeki artı yüklü parçacıkları (protonları) keşfetmiş, protonların elektronlardan 1.836 kez daha ağır olduğunu belirlemiştir. Atom kütesinin büyük bir kısmını oluşturan artı yüklü çekirdek ile bunun etrafında dairesel yörüngelerde dönen elektronların bulunduğunu belirterek atom modeli için “güneş sistemi” benzetmesini kullanmıştır (Rutherford, 1911). Daha sonra, Thomson ve Rutherford’un yanında çalışmış olan Danimarkalı fizikçi Niels Bohr, 1912 yılında, Rutherford modelindeki eksiklikleri gidermek için yaptığı çalışmalarla kendi adıyla anılan ve günümüzdeki atom modeline en yakın atom modeli olan “Bohr Atom Modeli”ni geliştirmiştir (Bohr, 1913). Bohr; elektronların, çekirdeğin etrafında istedikleri gibi dolaşmayı yalnızca çekirdeğe belirli uzaklıktaki katmanlarda döndüklerini belirtmiştir.

Atom modelinin geliştirilmesine yönelik olarak daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda; Luis De Broglie (1924) elektron gibi parçacıkların da dalga özelliği gösterdiğini belirtmiştir. Erwin Schrödinger (1926) ise atom içerisindeki elektronların parçacık (kuantum) karakterine zıt olarak bir dalga şeklinde hareket edebileceğini öne sürmüş ve elektron gibi küçük taneciklerin enerjilerini ve genel davranışını açıklayan bir denklem geliştirmiştir (Schrödinger Dalga Denklemi). Daha sonra Schrödinger, kuantum mekaniğinde “üst üste gelme (süperpozisyon)” durumu için “Schrödinger’in kedisi” diye bilinen ünlü düşünce deneyini (1935) önermiştir. Bu çalışmalara, Thomas Young tarafından 1803 yılında yapılan (Feynman, 1986) ve ışığın hem dalga, hem de parçacık olarak davrandığının ortaya koyulduğu ünlü çift yarık (çift delik) deneyi ilham olmuştur. Werner Heisenberg (1927) elektronların aynı anda hızlarının ve yerlerinin tespit edilemeyeceğini (Heisenberg Belirsizlik İlkesi) belirlemiştir. James Chadwick (1932) nötronu keşfetmiş, nötronun hidrojen dışındaki bütün atomların çekirdeklerinde bulunduğunu ve proton ile aynı kütleyle sahip olduğunu belirlemiş ve bu buluşla çekirdek bölünmesinin, atom enerjisinden yararlanmanın, atom ve hidrojen bombalarının yapımının yolu açılmıştır. Chadwick bu keşfinden dolayı 1935 yılında Nobel Fizik Ödülü almıştır. Hideki Yukawa tarafından 1935 yılında, mezonların protonlar ve nötronlar (nükleonlar) arasında etkileşimde bulunabileceği (alış-veriş yapabileceği) ileri sürülmüştür (Alward, 2001).

“Modern Atom Teorisi” olarak ifade edilen güncel atom modeline (kuantum atom modeli) göre; atomun merkezindeki çekirdeğin etrafında bulunan elektronlar, katmanlı elektron bulutları halinde hareket etmektedirler. Buna göre elektronlar kendi eksenleri etrafında da dönmekte olup atom çekirdeğinden dışarıya doğru enerji seviyeleri yükselen ve “orbital”

adı verilen bulunma olasılıklarının olabileceği yerlerde konumlanmaktadır (Rocke, 1984; Pullman, 1998; Sharp, 2017). Atom çekirdeğinin ve yörüngesindeki elektronların görüntüsü şekil 1’de verilmiştir.

Çağımızda, maddeyi ve ışınımı oluşturan atom altı parçacıklar, “Parçacık (Kuantum) Fiziği” bilim dalı içerisinde incelenmektedir. Bu bilim dalı, söz konusu parçacıkların çoğunun (atomu oluşturan parçacıkların dışındakiler) sadece çok yüksek enerjilerde ortaya çıkması sebebiyle “yüksek enerji fiziği” olarak da adlandırılmaktadır. Günümüzde, atomun içyapısının ve özelliklerinin aydınlatılmasına yönelik gelişmiş ileri teknolojiler kullanılmakta ve yapılan deneysel çalışmalarla atom altı parçacıklar teknolojilerinden daha ileri düzeylerde yararlanabilme potansiyeli araştırılmaktadır.

## 2. Atom Altı Parçacıklar

Evrende bulunan katı, sıvı, gaz ve plazma hallerindeki bütün maddeler, temel içyapılarına doğru; bileşik, molekül, atom ve atom altı parçacıklardan meydana gelmiştir. Maddenin temel birimini oluşturan atom, Büyük Patlama (Big Bang) ile evrenin ilk yaratıldığı zamanda (tahmini 13,7 milyar yıl önce) ortaya çıkmıştır. Yapılan değerlendirmelere göre; evrenin yaratılışının ilk birkaç dakikası içerisinde, yoğun ve sıcak kozmik ortamın soğumasına bağlı olarak atomu oluşturan temel alt parçacıklar ortaya çıkmaya başlamıştır

(CERN, 2017). Çekirdeklerin oluşması, soğumaya devam etmesi ve bunların yavaşlayan elektronları çekerek yakalaması neticesinde ilk atom formları gelişmiştir. Bu ilk atom formlarının hidrojen (H) ve helyum (He) olduğu ve yaklaşık 380.000 yılda ortaya çıktığı, gravitasyon (kütle çekimi) kuvvetinin etkisiyle biriken gaz bulutlarının yoğunlaşarak yıldızları ve gezegenleri oluşturduğu, ağır atomların şiddetli yıldız patlamalarıyla (süpernova) ilişkili olarak ortaya çıktığı, gezegenlerin meteorit çarpmalarıyla jeokimyasal kıvam kazandığı ve bu oluşumların günümüzde de devam ettiği belirtilmektedir (Griffiths, 2009; CERN, 2017; Sharp, 2017; Ayaz, 2018). Her parçacığın zıt yüklü ve zıt hareketli, fakat aynı kütleli bir anti/karşit parçacığı bulunmaktadır. Atom altı parçacıklar ve temel özellikleri şekil 2’de verilmiştir.

Atom altı parçacıklar; (1) Fermiyonlar (Madde Parçacıkları) ve (2) Bozonlar (Etkileşim Parçacıkları) şeklinde iki ana başlıkta incelenmektedir. Fermiyonlar, maddenin atom altı ana parçacıkları olarak tanımlanırken, bozonlar bu ana parçacıklar arasındaki veya evrendeki tüm maddeler arasındaki çekim kuvvetini sağlayan ve alan oluşturan etkileşim parçacıkları olarak açıklanmaktadır (Feynman ve Weinberg, 1987; Griffiths, 2009; Sharp, 2017; Atom Altı Parçacıklar, 2020).

Atom; proton ve nötronlara (nükleonlara) sahip pozitif yüklü bir çekirdek ile etrafında dönen negatif yüklü elektronlardan oluşmaktadır. Çekirdek



Şekil 1- Atom çekirdeğinin ve yörüngesindeki elektronların görünümü (Foto: © Shutterstock; Sharp, 2017’den).

# ATOM ALTI PARÇACIKLAR

## FERMİYONLAR

(Madde Parçacıkları/Atom Tuğlaları)

-Bilinen ~300 parçacık vardır.  
-Spinleri (dönmeleri) 1/2, 3/2 gibi yarı-integer sayılıdır. Lepton ve kuarklar; kimyasal reaksiyon ve elektrikten sorumludur.

## BOZONLAR

(Çekim Kuvveti Taşıyan Etkileşim Parçacıkları/Atom Harcı)

-Doğadaki temel kuvvetlerin oluşmasını sağlayan taşıyıcı parçacıklardır (alan parçacıkları).  
-Tuğlalar arasındaki harçlar gibidirler (cekerer tutarlar).  
-Spinleri (dönmeleri), evrendeki hareket yönüyle aynı yönlü (saatin tersi) olup 1, 2, 3,.... şeklinde tam sayılıdır.

**Leptonlar**  
-Çekirdeği saran yörüngelerde bulunurlar. Spinleri (dönmeleri): 1/2'dir.  
-Bölmeye temel parçacıklardır. Tau; büyük partiküller sonrasında oluşur.  
-Müon; kozmik ışınlarda bulunur.  
-Çok hafiflerdir (tau>miton>elektron)

**Baryonlar**  
-3 Kuarklılar  
-Anti Ksi ↔ Omega  
-Anti Sigma ↔ Sigma  
-Anti Proton ↔ Proton  
-Anti Lamda ↔ Lamda  
-Anti Nötron ↔ Nötron  
-Proton en hafif; Omega en ağır baryondur.

**Mezolonlar**  
-Egzotik Hadron; 2 veya 3 kuarktan oluşmuş içeren alt parçacıklardır.  
-2 Kuarklılar (Kuark+Antikuark)  
-Anti Kaon ↔ Kaon  
-Anti Eta ↔ Eta  
-Anti Pion ↔ Pion  
-Ara etkileşim alanlarıdır. -Bosonunca; elektron, nötrino veya foton oluşur.

**Hadronlar**  
-Tau Nötrinosu  
-Elektron  
-Elektron Nötrinosu (Pozitron)  
-Müton  
-Müton Nötrinosu

**Kuarklar** [Bölmeye Temel Parçacıklar; Spinleri 1/2]  
u ↔ anti u ↔ up (üst) → u = +2/3  
d ↔ anti d ↔ down (alt) → d = +1/3  
s ↔ anti s ↔ strange (acıyıp) → s = -1/3  
b ↔ anti b ↔ bottom (taban) → b = -1/3

**Güçlü Nükleer Kuvvet (Gluon Bozonu)**  
-Ara etkileşim alanlarıdır. -Bosonunca; elektron, nötrino veya foton oluşur.

**Atom Ağırlığı (Kütle Numarası)**  
-Atom Ağırlığı (Kütle Numarası) X Elektron Sayısı = Proton Sayısı - Çekirdek Yüklü

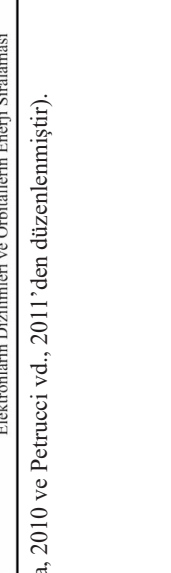
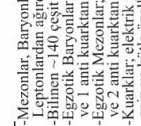
**Diğer bazı Önemli Bilgiler**  
-Atom çekirdeğinin etrafında, kuantum (yörüngeler) halinde elektron bulunur. Bu kuantumlar, iteriden dışarıya doğru enerji düzeyleri (n: Baş, Kuantum Sayısı, yörüngenin büyüklüğüne verir) ve (m: (e) başınımleri arınacak şekilde; K (n=1, 2e), L (n=2, 8e), M (n=3, 18e), N (n=4, 32e), O (n=5, 50e), P (n=6, 72e), Q (n=7, 98e) biçiminde sıralanabilir. Kuantumların en fazla karışık elektron dizilimi: 2e, 8e, 18e, 32e, 50e, 72e, 98e şeklinde olur. Her kuantumda n kadar orbital (elektron bulunma olasılığının en yüksek olduğu yer), 2n<sup>2</sup> kadar elektron bulunur. Orbitaler; s, p, d, f şeklinde sıralanır ve biçimleri (geometrilere) "Yan (küçük) Kuantum Sayısı veya Açısız Momentum Kuantum Sayısı (l)" ile açıklanır. (l=0 (kiresel), l=1 (kuarp), l=2 (yonca yaprağı) gibi değeler alır. Bu değer l ve daha büyük olduğunda, yörüngeler farklı yönlere sıvırlıdır. Bu durumda üçüncü bir kuantum sayısı "Manyetik Kuantum Sayısı (m)" kullanılır (ör: d orbitali -2, -1, 0, +1, +2 değerleri alır). Ayrıca bir orbitaldeki elektronların kendi eksenleri etrafında, varsayılan zıt dönme yönleri ise döndürücü bir kuantum sayısı olan "Spin Kuantum Sayısı (ms)" ile açıklanır. Dönme hareketleri birbirine zıt iki yönde olur ve +1/2, -1/2 değerlerini alır. -En ağır kuark, Higgs almanyı daha çok etkileşime giren "top (tepe)" kuarktır. Bunun ağırlığı, yaklaşık bir altın (Au) atom ağırlığı kadardır; bir madenden diğer bir maddeyle yaklaşıktır; zaman ortama çıkan kuvvetten etkilenme özelliğidir. Proton +1, elektron -1, nötron ise 0 (yüksüz/olduksa düşük negatir) elektrik yüklerindedir. Kimyasal olaylarda yalnızca elektron sayısı değişir. -Atomlardaki proton sayısı, atom numarasını (çekirdek yükünü) gösterir. Protonun ve nötronun kütleleri eşit olup, bunların toplam sebebiyle atom kütleleri hesobasında elektronun kütləsi dikkate alınmaz. Atomlar, proton sayıları kadar çekirdekler taşıyan parçacıklardır. Toplam yükleri sıfır olur ve *nötr* (*kararlı*) halde bulunurlar. Proton ve nötron sayıları çift olan çekirdekler *deniz* olarak kararlaştırılır. Atomlar elektron aldıklarında anyon (e-); negatif yüklenmiş (anyon (e-); pozitif yüklenmiş) *iyon* haline gelir.

**Elektrormanyetik Kuvvet (Foton)**  
**Zayıf Nükleer Kuvvet (W, Z)**  
**Kütle Çekim Kuvveti (Graviton)**  
**Higgs Bozonu/Higgs Alanı**

**Mezonlar**  
-Mezonlar; Baryonlardan hafif, Leptonlardan ağırdır.  
-Bilinen ~140 çeşit Mezon vardır.  
-Egzotik Baryonlar; en az 4 kuark ve 1 anti kuarktan oluşur.  
-Egzotik Mezolonlar; en az 2 kuark ve 2 anti kuarktan oluşur.  
-Kuarklar; elektrik yükü, renk yükü, spin ve kütle özelliklerine sahiptir.

**Baryonlar**  
-Baryonlar; 3 kuarklıdır.  
-Bilinen ~100 çeşit Baryon vardır.  
-Egzotik Baryonlar; en az 4 kuark ve 1 anti kuarktan oluşur.  
-Egzotik Mezolonlar; en az 2 kuark ve 2 anti kuarktan oluşur.  
-Kuarklar; elektrik yükü, renk yükü, spin ve kütle özelliklerine sahiptir.

**Atom**  
-Atomun çapı ~10<sup>-8</sup> cm, çekirdeğinin çapı ise ~10<sup>-13</sup> cm'dir.  
-Elektron ~10<sup>-16</sup> cm  
-Çekirdek ~10<sup>-13</sup> cm  
-Proton < 10<sup>-13</sup> cm  
-Kuark < 10<sup>-16</sup> cm



Elektronların Dizilimleri ve Orbitalerin Enerji Sıralaması (Elektron Kapasiteleri) l=0 1 2 3 4 5 6

Şekil 2- Atom altı parçacıklar ve temel özellikleri (Feynman ve Weinberg, 1987; Griffiths, 2009; Encyclopedia Britannica, 2010 ve Petrucci vd., 2011'den düzenlenmiştir).

içerisinde bulunan artı yüklü protonlar ile oldukça düşük negatif yük taşıdıklarından yüksüz (sıfır yüklü) kabul edilen nötronlar içerisinde ise "kuark" adı verilen alt parçacıklar yer almaktadır. Günümüzdeki bilgilere göre; -1 yüklü elektronlar ile +2/3 ve -1/3 elektrik yüklü kuarklar, kendilerini oluşturan alt parçacıkları bilinmediğinden, atomun bölünemez temel alt parçacıkları olarak kabul edilmektedirler. Bunlar hem dalga özelliği, hem de parçacık özelliği göstermektedir.

### **Fermiyonlar (Madde Parçacıkları/Atom Tuğlaları)**

Fermiyonlar, atomun ana yapıtaşı durumundaki madde parçacıkları olup; (a) Hadronlar ve (b) Leptonlar şeklinde iki ana başlıkta incelenmektedir. Hadronlar atom çekirdeği içerisinde, leptonlar ise çekirdek etrafındaki yörüngelerde bulunan parçacıklardır. Bilinen yaklaşık 300 fermiyon parçacığı bulunmaktadır. Fermiyonların spinleri (dönmeleri) 1/2, 3/2 gibi yarım-tam sayılıdır (Feynman ve Weinberg, 1987; Griffiths, 2009; Encyclopedia Britannica, 2010; Petrucci vd., 2011).

Hadronlar, iki alt gruba ayrılmakta olup; baryonlar (üç kuarklılar) ve mezonlar (iki kuarklılar) şeklinde isimlendirilirler. Kuark sayıları standardın üzerinde olan hadronlar "egzotik baryonlar" ve "egzotik mezonlar" olarak tanımlanmaktadır. Egzotik baryonlar en az 4 kuark ve 1 anti kuarktan, egzotik mezonlar ise en az 2 kuark ve 2 anti kuarktan oluşmaktadır. Baryonlar, "ağır" anlamına gelen ve atomun ana yapıtaşları durumunda olan bir grup olup üç kuarktan veya üç anti-kuarktan oluşmaktadır. Bunlar; ksi, omega, sigma, proton, lamda ve nötron ile bunların karşıtları olan anti ksi, anti omega, anti sigma, anti proton, anti lamda ve anti nötron şeklinde toplam on iki alt parçacığa sahiptir. Çekirdeği oluşturan protonlardaki kuarklar; iki "yukarı (u)" (her biri +2/3 yüklü) ve bir "aşağı (d)" kuarktan (-1/3 yüklü) oluşurken, nötronlardaki kuarklar; bir "yukarı (u)" (+2/3 yüklü) ve iki "aşağı (d)" kuarktan (her biri -1/3 yüklü) oluşmaktadır (Sharp, 2017). Baryonlar grubunda, atom çekirdeğini oluşturan proton ve nötronların dışındaki parçacıklar genellikle kararsızdır. Mezonlar ise ara elemanlar olup; proton ve nötron gibi hadronik parçacıklar arasında, kütle ara maddesi (gluon, W-Z, higgs vb.) ile birlikte bulunan yüklü parçacıklardır. Bunlar güçlü etkileşim bağı ile birbirine bağlı bir kuark ve bir antikuarktan oluşan ve yaklaşık 1 femtometre ( $10^{-3}$  pm;  $10^{-6}$  nm;  $10^{-9}$  µm;  $10^{-12}$  mm) yarıçapına sahip (proton veya nötronun 2/3'ü kadar; milimetrenin trilyonda biri) parçacıklardır. Mezonlar; kaon, eta ve pion ile bunların karşıtları olan anti kaon, anti eta ve anti pion şeklinde toplam

altı alt parçacıktan oluşmaktadır. Kaon en ağır, pion ise en hafif olanıdır. Yüksek enerjili çarpışmalarda ortaya çıkan mezonlar kararlı olmayıp çok kısa ömürlüdürler. Bununla birlikte pionun kararlılığı nispeten daha yüksektir. Yaklaşık 140 çeşit mezon bilinmekte olup bozununca elektron ve nötrinosa dönüşürler (Alward, 2001; Petrucci vd., 2011; Sharp, 2017). Leptonlar; çekirdeği saran katmanlı yörüngelerdeki temel alt parçacıklar olup, yüklü ve nötr olmak üzere iki halde bulunmaktadır. Yüklü leptonlar; tau, elektron ve müon olarak tanımlanırken, nötr leptonlar (karşıt parçacıklar); tau nötrinosa, elektron nötrinosa (pozitron) ve müon nötrinosa olarak tanımlanmaktadır. Bu şekilde toplam altı alt parçacıktan oluşan leptonların spinleri 1/2 (yarım) olup çok hafiftirler (tau > müon > elektron). Elektronun kütlesi, müondan yaklaşık 200 kat, taudan ise yaklaşık 3.700 kat daha küçüktür (Encyclopedia Britannica, 2010). Yüklü leptonlar ile karşıt leptonların kütleleri aynı, diğer özellikleri tam tersidir. En çok bilinen lepton türü, atomda bulunan ve atomun kimyasal özelliklerini önemli ölçüde belirleyen elektrondur. Tau, büyük patlamalar sonrasında oluşurken, müon kozmik ışınlarda gözlenmektedir (Alward, 2001; Feynman ve Weinberg, 1987).

Baryonlar mezonlardan, mezonlar ise leptonlardan daha ağırdır. Kuarklar; güçlü nükleer kuvvet ile etkileşime girerken, leptonlar; zayıf nükleer kuvvet, elektromanyetik kuvvet (elektrik yükü nötr olan nötrinolar hariç) ve kütle çekim kuvveti ile etkileşime girerler. Kuarklar; elektrik yükü, renk yükü, spin ve kütle özelliklerine sahiptirler. Leptonlar, kuarklarla birlikte, kimyasal reaksiyonların oluşmasında ve elektriğin açığa çıkmasında etkili olurlar (Feynman ve Weinberg, 1987; Wells, 1990; Encyclopedia Britannica, 2010).

### **Bozonlar (Etkileşim Parçacıkları/Atom Harcı)**

Bozonlar; çekim kuvveti taşıyan etkileşim parçacıkları olup doğadaki temel kuvvetlerin oluşmasını sağlayan, ışınımı (radyasyonu) meydana getiren, güç taşıyan ve alan oluşturan atom altı parçacıklardır. Bozonlar, "kuvvet parçacıkları" olarak da anılmakta olup, elektromanyetizma ve kütle çekim özelliğinden de sorumludurlar. Bunlar, tuğlalar arasındaki harçlar gibi atom harcı işlevini görmekte, ana atom altı parçacıkları (fermiyonları) birbirine çekerek tutmakta veya evrendeki tüm maddeler arasındaki çekim kuvvetini sağlamaktadırlar. Bu parçacıkların spinleri, evrendeki hareket yönüyle aynı yönlü (saatin tersi) olup 1, 2, 3 şeklinde tam sayılıdır. Bozonlar beş ana parçacık grubundan oluşmaktadır (Feynman ve Weinberg, 1987; Wells, 1990; Encyclopedia Britannica, 2010);

- 1) Gluon (Güçlü Nükleer Kuvvet): Kuarkları bir arada tutar.
- 2) Foton (Elektromanyetik Kuvvet): Atom ve molekülleri bağlar.
- 3) W, Z (Zayıf Nükleer Kuvvet): Çekirdeklerin kararsızlığına ve bozunmasına sebep olur.
- 4) Graviton (Kütle Çekim Kuvveti): Gezegen ve yıldızları bir arada tutar.
- 5) Higgs: Atomlara veya parçacıklara kütle kazandırır.

Gluon; bağlayıcı (tutkal) anlamına gelen ve atom çekirdeği içerisinde, kuarklar arasındaki güçlü etkileşimi sağlayan, en güçlü çekim kuvvetindeki temel parçacıktır. Foton; atom ve molekülleri bağlayan, durgun kütlesi sıfır olan, boşlukta ışık hızıyla yayılan, parçacık ve dalga özelliği gösteren (etkileşimlere parçacık olarak girip dalga olarak yayılan), kütle çekiminden etkilenen, ışığın temel birimi ve elektromanyetik ışınların temel parçacığdır. Fotonun karışımının yine kendisi olduğu bilinmektedir. W ve Z bozonları; zayıf nükleer etkileşimi sağlayan, birçok parçacığın ve hatta atom çekirdeğinin kararsızlığına yol açan ve etki ettiği parçacığın bozunarak kendi grubundan bir parçacığa dönüşmesine sebep olan kısa menzilli parçacıklardır. Yükleri  $W^+$ ,  $W^-$ ,  $Z^0$  olup kütleleri çok büyüktür. W parçacığının adı; zayıf nükleer kuvvetten (Weak nuclear force), Z parçacığının adı ise; keşfedilmesi gereken son parçacık olarak düşünüldüğü için, son alfabetik harften gelmektedir. Graviton; kütle çekim kuvveti (çekim kuvveti) oluşturan ve kütleli her şeyin (enerji, ışık, gezegenler, yıldızlar ve galaksiler dahil) birbirine doğru çekilmesine sebep olan, güneş sistemi gibi yörüngelerin oluşmasını ve gel-git gibi doğa olaylarının gelişmesini sağlayan parçacıktır. Kütle çekim kuvveti, güçlü nükleer kuvvetten yaklaşık  $10^{38}$  kat, elektromanyetik kuvvetten  $10^{36}$  kat ve zayıf nükleer kuvvetten ise  $10^{29}$  kat daha zayıftır (Weinberg, 1972; Griffiths, 2009; Wikipedia, 2020a, b).

Higgs bozonu; etkileşime girince atomlara/maddelere kütle kazandıran, yüksek enerji potansiyeli taşıyan ve maddenin varoluşuyla ilgili önemli surlara sahip olduğu değerlendirilen bir parçacıktır. Bu bozonun, son yıllardaki ileri deneysel çalışmalarda daha yoğun olarak ele alınıp incelendiği ve surlarının çözümlenmeye çalışıldığı gözlenmektedir. Higgs bozonları oldukça fazla bulunmakta ve alan oluşturmaktadırlar (Higgs alanı). Higgs alanının, evrenin sahip olduğu tüm alanı ifade ettiği ve bütün evrene nüfuz edebildiği ifade edilmektedir. Kütle olmayan, spini sıfır olan, gözlenebilmesi ile kaybolması çok kısa bir sürede (bir anda) gerçekleşen ve sınırsız enerji verebilen Higgs bozonu "Tanrı Parçacığı" olarak da adlandırılmıştır. Evrende, atomun en temel parçacığından itibaren tüm varlıkların bir

anda ortaya çıkması "yoktan var olması", ancak Allah'ın "Ol Deyince Oldurduğı" (Kûn Fe-Yekûn) sıfıfı ile açıklanabilir. Higgs bozonu ile etkileşime girmeyen gluon ve foton bozonlarının da kütleli olduğu belirlenmiştir. Kütleli veya boyutu daha büyük olan atom altı parçacıklar, Higgs alanıyla daha fazla etkileşime girmektedirler (Feynman ve Weinberg, 1987; Wells, 1990; Heilprin, 2013).

### 3. Atomun Diğer Bazı Önemli Özellikleri

Bir atomun çekirdeğindeki proton sayısı, "atom numarası" (çekirdek yükü) olarak ifade edilmektedir. Aynı elemente ait farklı atomların çekirdeklerindeki proton sayıları hep aynıdır. Çekirdek içerisindeki protonun ve nötronun kütleleri eşit olup bunların toplam sayıları, "atom ağırlığı" (kütle numarası/çekirdek sayısı) olarak tanımlanmaktadır. Protonun kütleli elektronun kütlelerinden 1.836 kat daha fazla olduğundan, atom kütleli hesabında elektronun kütleli dikkate alınmaz. Atomlar, proton sayıları kadar elektron içerdiklerinde toplam yükleri sıfır olur ve nötr (kararlı) halde bulunurlar. Proton ve nötron sayıları çift olan çekirdekler daha kararlıdır. Atomlar elektron aldıklarında (anyon ( $e^-$ ); negatif yüklenme) veya verdiklerinde (katyon ( $e^+$ ); pozitif yüklenme) iyon halini alırlar. Kimyasal olaylarda yalnızca elektron sayısı değişmektedir.

Atom çekirdeğinin etrafında, katmanlar (yörüngeler) halinde bulunan elektron bulutlarının, içeriden dışarıya doğru enerji düzeyleri (n; baş kuantum sayısı; yörüngenin büyüklüğünü verir) ve elektron (e) kapasiteleri artacak şekilde; K (n=1, 2e), L (n=2, 8e), M (n=3, 18e), N (n=4, 32e), O (n=5, 50e), P (n=6, 72e), Q (n=7, 98e) biçiminde sıralanmaktadır. Katmanlardaki en fazla kararlı elektron dizilimi; 2e, 8e, 18e, 32e, 32e, 18e, 8e şeklindedir. Her katmanda  $n^2$  kadar orbital (elektronun bulunma olasılığının en yüksek olduğu yer),  $2n^2$  kadar elektron bulunmaktadır. Orbitaller; s, p, d, f gibi harfler kullanılarak sıralanmakta ve geometrileri "yan (ikincil) kuantum sayısı" veya "açısal momentum kuantum sayısı" ( $\ell$ ) ile açıklanmaktadır.  $\ell=0$  (küresel),  $\ell=1$  (kutup),  $\ell=2$  (yonca yaprağı) gibi değerler alabilmektedir. Eğer bu değer 1 ve daha büyük olursa, yörüngeler farklı yönlerde sivrilebilir. Bu durumda üçüncü bir kuantum sayısı olarak "manyetik kuantum sayısı" ( $m_\ell$ ) kullanılır (örneğin; d orbitali -2, -1, 0, +1, +2 değerlerini alır). Ayrıca bir orbitaldeki elektronların kendi eksenleri etrafında, varsayılan zıt dönme yönleri ise dördüncü bir kuantum sayısı olan "spin kuantum sayısı" ( $m_s$ ) ile açıklanmaktadır. Dönme hareketleri birbirine zıt iki yönde olur ve +1/2, -1/2 değerlerini alırlar. Yörüngeleri tam dolu olan en yüksek atom

numaralı (118) Oganesson'un (Og) elektron dizilimi aşağıda verilmiştir.

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d10 5p6 6s2 4f14 5d10 6p6 7s2 5f14 6d10 7p6

Bir elementin atom numaraları (proton sayıları) aynı, nötron sayıları farklı olan atomlarına "izotop" denilir. İzotop atomlar nötr iken kimyasal özellikleri aynı, fiziksel özellikleri farklıdır. Aynı elementin çok sayıda izotopu olabilmektedir. Örneğin; hidrojen elementi (H; 1 protonlu), kütle numarası 2 olunca döteryum (D; 1 proton ve 1 nötronlu), 3 olunca trityum (T; 1 proton ve 2 nötronlu) izotopuna dönüşmektedir. Farklı elementlere ait atomların çekirdeklerindeki nötron sayıları aynı, proton sayıları farklı olan türlerine "izoton", proton ve nötron sayıları farklı, ancak bunların toplamları (kütle numarası) aynı olan türlerine ise "izobar" adı verilir. Çekirdeklerindeki proton sayıları farklı, yörüngelerindeki elektron sayıları ve elektron dağılımları aynı olan atomlar ise "izoelektronik" olarak adlandırılmaktadır. İzoton, izobar ve izoelektronik atomların hem kimyasal özellikleri hem de fiziksel özellikleri farklıdır.

Elektrik yükü, bir maddenin diğer bir maddeyle yakınlaştığı zaman, ortaya çıkan kuvvetten etkilenme özelliği olup atom içerisinde; proton +1, elektron -1, nötron ise 0 (yüksüz/oldukça düşük negatif) elektrik yüklerine sahiptirler. Protonun yükü  $1.602 \times 10^{19} \text{C}$  (Coulomb), elektronun yükü ise  $-1.602 \times 10^{19} \text{C}$ 'dur (Atmaca, 2012). Atomlar iyon durumuna geçtiklerinde, elektrik yükü depolamış olurlar. Bir maddenin toplam elektrik yükünü, kendisine ait atomların toplam yükleri belirlemektedir.

Elektronlar, proton ve nötronlara kıyasla atoma daha zayıf güçlerle bağlı olduklarından, atomlardaki elektron sayıları kolaylıkla değişebilmektedir. Yüklü olmalarından dolayı kendilerini çevreleyen sürekli bir elektrik alanı bulunmaktadır. Işınıma (radyasyona) uğramaları veya hızlandırılmaları durumunda önce enerjiyi emip üst yörüngelere sıçramakta ve aldıkları bu fazla enerjiyi foton şeklinde yayarak kendi yörüngelerine geri dönmektedirler. Elektronun boşalttığı ilk yörüngedeki yere, gittiği yerden başka bir elektron da hemen geçiş yapabilmektedir. Oluşan fotonun enerjisi, iki yörünge arasındaki enerji farkı kadardır. Elektron, düşük enerjili ve iyonize edemeyen (yörüngeden koparamayan) ışınım ile karşılaşınca, enerjisi yükselerek hızlanır ve dönüş hızı artarak görünür ışık bandında foton yaymaya başlar (ısıtılınca demirin kızarması gibi). Elektronlar bu özelliklerinin sağladığı avantajlarla; elektrik, manyetizma, kimya ve ısıl iletkenlik gibi çeşitli fiziksel özelliklerin açığa çıkmasında temel rol oynamaktadırlar. Çekirdekteki

proton ve nötron sayısı ise nükleer fizyon (çekirdek parçalanması), nükleer füzyon (çekirdek kaynaşması) veya radyoaktif bozunma yoluyla değişebilir. Proton sayısının değişmesiyle gerçekleşen radyoaktif bozunmada, atom başka bir elemente dönüşür. Atoma proton eklendiğinde de yeni bir element oluşurken, nötron eklendiğinde mevcut elementin daha ağır bir izotopu ortaya çıkar.

Maddenin temel özellikleri ve enerjisi, atom çekirdeğine sıkıştırılmış durumdadır. Bu özellik, atom çekirdeğinin parçalanmasıyla çok büyük miktarlarda enerji açığa çıkarmasına neden olmaktadır. Özellikle uranyum gibi radyoaktif elementlerin atom çekirdeklerindeki güçlü nükleer kuvvet (gluon) bağının parçalanması reaksiyonuyla (füzyon) çok büyük miktarda nükleer enerji açığa çıkmakta ve oluşan ısı ile elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Uranyumun (U) doğada üç izotopu ( $U^{234}$ ,  $U^{235}$ ,  $U^{238}$ ) bulunmaktadır. Doğal uranyumda  $U^{234}$  izotopu,  $U^{238}$  izotopunun radyoaktif bozunma ürünü olarak, nötron sayısının azalmasıyla ortaya çıkmaktadır. İyonlaşma ve parçacıkların özelliklerinde meydana gelen değişiklikler, bağlanma enerjisini değiştirmektedir. Proton ve nötron sayıları çift olan  $U^{234}$  (92 protonlu, 142 nötronlu) ve  $U^{238}$  (92 protonlu, 146 nötronlu) izotopları daha kararlı (bağlanma enerjileri daha kuvvetli), tek olan  $U^{235}$  (92 protonlu, 143 nötronlu) izotopu ise daha az kararlı (bağlanma enerjisi daha zayıf) olduğundan,  $U^{235}$  çekirdeğinin parçalanması (füzyonu) daha kolay gerçekleşmektedir. Bu nedenle nükleer enerji üretiminde, çekirdek bağlanma enerjisi daha düşük olan  $U^{235}$  izotopu kullanılmaktadır. Radyoaktif bozunma (çürüme) zinciri içerisinde uranyum serisinin buzunması;  $U^{238} \rightarrow Th^{234} \rightarrow Pa^{234} \rightarrow U^{234} \rightarrow Th^{230} \rightarrow Ra^{226} \rightarrow Rn^{222} \rightarrow Po^{218} \rightarrow Pb^{214} \rightarrow Bi^{214} \rightarrow Po^{214} \rightarrow Pb^{210} \rightarrow Bi^{210} \rightarrow Po^{210} \rightarrow Pb^{206}$  (kararlı/radyoaktif değil) şeklinde gerçekleşmektedir. Her bozunmanın farklı bir yarılanma süresi olup reaksiyonlar ile alfa veya beta, protaktinyum-234 ( $Pa^{234}$ ) bozunmasında ise beta ve gama ışınimleri açığa çıkmakta ve belirli bir enerji yaymaktadırlar.

Atomun çapı yaklaşık  $10^{-8}$  cm, çekirdeğinin çapı ise yaklaşık  $10^{-13}$  cm'dir (~100.000 katı). Elektronların ve kuarkların çapları ise  $<10^{-16}$  cm'dir. En ağır kuark, higgs alanıyla daha çok etkileşime giren "top" (tepe) kuarkıdır. Bunun ağırlığı, yaklaşık bir altının (Au) atom ağırlığı kadardır. Bir elektrondan ise yaklaşık 350.000 kat daha ağırdır. Günümüzde 118 farklı atom türü (element) bilinmekte olup, bunların sadece 92'si doğal olarak görülebilmektedir. Elementler, artan atom numarası sırasıyla elementlerin periyodik tablosunda düzenlenmiştir. İki ya da daha fazla atom arasındaki elektronların değişimi veya paylaşımı,

kimyasal bağların oluşmasına sebep olmaktadır. Elektron alışverişiyle (metal (her zaman katyon)-ametal (her zaman anyon)) “iyonik bağ”, elektron paylaşımıyla (ametal-ametal) “kovalent bağ” oluşmaktadır (Feynman ve Weinberg, 1987; Wells, 1990, Griffiths, 2009; Encyclopedia Britannica, 2010; Sharp, 2017).

Maddenin en küçük yapı taşı olan atom; güneş sisteminde olduğu gibi ortasında bir çekirdek, etrafında ise yörüngeler üzerinde (elektron bulutları halinde) durmadan dönen elektronların yer aldığı bir ıçyapıda bulunmaktadır. Atomun kafes yapısı içerisinde olağanüstü büyük yapısal boşlukların bulunduğu ve bu yapısal boşluk ortamlarının ise çok daha küçük atom altı parçacıklarla kaplı olduğu (kutu içerisindeki havanın varlığı gibi) belirtilebilir. Atomun kafes yapısı, ileri derecelerdeki soğumalarla büzüşebilmekte ve çok büyük hacim küçülmeleri ortaya çıkabilmektedir. Elektronların, kütle çekim kuvvetiyle çekirdeğe yapışmaması (çarpılmaması/çakılmaması) ve dönerken merkezkaç kuvvetiyle kabuktan savrulup kaçmaması, muazzam bir sistemi ve dengeyi gözler önüne sermektedir. Bununla birlikte elektronlar yörüngelerde dönerken, ortamda çok daha küçük parçacıklar bulunsun bile, herhangi bir sürtünme engeline takılmamakta (manyetik ray üzerinde sürtünme olmadan giden trenler gibi) ve dolayısıyla herhangi bir ısınma ve yanma olayı da meydana gelmemektedir. Buna karşın elektronların dışarıdan bir etkiye (ışınım) maruz kalması sonucunda sürtünme başlamakta ve yeni bir enerji açığı çıkmaktadır. İleri teknolojilerle elektronların çekirdeğe yapıştırılmadan yakınlştırılması veya atom çapının küçültülmesi sağlanabilir ise yeni süper teknolojik malzemelerin geliştirilebileceği öngörülmektedir. Atom çekirdeği içerisindeki reaksiyonlardan elde edilen nükleer enerji ile yörüngesindeki elektronların hareket ve etkileşiminden elde edilen elektronik uygulamaların hızla gelişme göstereceği ve yeni teknolojik kazanımlara ışık tutacağı değerlendirilmektedir.

#### 4. Maddenin Enerjisi ve Elektromanyetik Dalgaların Özellikleri

Günümüz verilerine göre, doğada maddenin ulaşabileceği en düşük sıcaklık -273,15 °C olarak ölçülebilmektedir. Doğal ortamda gözlenmeyen, ancak laboratuvar ortamında ulaşılabilmiş olan bu teorik sıcaklık değeri “mutlak sıfır” (karacisim ışıması) olarak kabul edilmekte ve bilinen hiçbir maddenin bu sıcaklığa sahip olamayacağı değerlendirilmektedir. Mutlak sıfır noktası, atom büzüşmesinin en fazla olduğu ve atom kafesi içerisindeki parçacıkların (kuantaların) fazla hareket imkanı bulamaması (titreşimlerin azalması) ve durması sebebiyle enerjinin

sıfırlanması olarak açıklanabilir. Sıcaklık değerinin, mutlak sıfır noktasının üzerine çıkmasıyla ortaya çıkan genleşme ve hacim genişlemesine bağlı olarak parçacıklar titreşerek hareket etmeye başlamakta ve enerji oluşmaktadır. Dolayısıyla sıcaklık değeri mutlak sıfırın üzerindeki her varlığın bir enerjisi olduğu ve elektromanyetik ışıyım (radyasyon) yaparak bir ışık yaydığı belirtilebilir. Elektron ve proton gibi yüklü parçacıkların hareketiyle elektromanyetik alanlar veya nükleer manyetik rezonanslar oluşmakta ve elektromanyetik dalgalar şeklinde enerjiyi taşıyarak yayılmaktadırlar. Bu dalgalar, enine dalgalar formunda hareket etmektedirler. Elektromanyetik dalgalar, herhangi bir ortama ihtiyaç duymadan, boşlukta ışık hızı (300.000 km/sn) ile yayılabildiklerinden enerjiyi çok uzak mesafelere taşıyabilmektedirler (Norton, 1937; Van Der Pol ve Bremmer, 1937). Güneş ışınlarının yaklaşık %47’si kızılötesi, %46’sı görünür ışık ve %7’si ise morötesi ışınlardır. Spektral ölçümlere göre evrenin bileşimi; %74,5 H, %23,8 He, %0,8 O, %0,4 C, %0,1 Fe, %0,09 N ve %0,31 diğer elementlerden oluşmaktadır (Ayaz, 2018).

Görünür ışık bandına ait ışınların dalga boyları 380 nm (nanometre) ile 760 nm aralıklarında olup, dalga boyu büyümesine (frekans ve enerjinin azalmasına) göre sırasıyla; mor, lacivert, mavi, yeşil, sarı, turuncu ve kırmızı renklerde ışık yayarlar. Elektromanyetik ışıyımın dalga boyları 380 nm’nin altına düştükçe, frekans ve enerjileri artacak şekilde sırasıyla; morötesi (ultraviyole) ışınlar (380-10 nm; molekül/virüs boyutu), x ışınları (10 nm-10 pm (pikometre); atom boyutu), gama ışınları (10-1 pm; atom çekirdeği boyutu) ve kozmik ışınlar (<1 pm; atom çekirdeğinden daha küçük boyutlar) ortaya çıkmaktadır. Elektromanyetik ışıyımın dalga boyları 760 nm’nin üzerine çıktıkça da frekans ve enerjileri azalacak şekilde sırasıyla; kızılötesi (infrared) ışınlar (760 nm - 1 mm; hücre/iğne ucu boyutu), mikrodalga (1 mm - 1 m) [*ekstra yüksek frekans/EHF (1 mm - 1 cm; 300-30 GHz), süper yüksek frekans/SHF (1-10 cm; 30-3 GHz), ultra yüksek frekans/UHF (10 cm - 1 m; 3 GHz - 300 MHz)*], radyo dalgaları (1-10 m) [*çok yüksek frekans/VHF (1-10 m; 300-30 MHz)*], uzun radyo dalgaları (10 m – 100.000 km) [*yüksek frekans/HF (10-100 m; 30-3 MHz), orta frekans/MF (100 m - 1 km; 3 MHz – 300 kHz), düşük frekans/LF (1-10 km; 300-30 kHz), çok düşük frekans/VLF (10-100 km; 30-3 kHz), ultra düşük frekans/ULF (100-1.000 km; 3 kHz - 300 Hz (Hertz)), süper düşük frekans/SLF (1.000-10.000 km; 300-30 Hz) ve ekstra düşük frekans/ELF (10.000-100.000 km; 30-3 Hz)*] meydana gelmektedir (NASA, 2018; TAMSAT, 2020). Elektromanyetik dalgaların özellikleri çizelge 1’de verilmiştir.



Çizelge 1- Elektromanyetik dalgaların özellikleri (NASA, 2018 ve TAMSAT, 2020'den düzenlenmiştir).

Band Adı	Frekans Aralığı	Dalga Boyu Aralığı		
Kozmik Işımlar	> 300 EHz	< 1 pm		
Gama Işımları	300 EHz – 30 EHz	1 – 10 pm		
X – Işımları (X – Ray)	30 EHz – 30 PHz	10 pm – 10 nm		
Morötesi (Ultraviyole) Işımlar	30 PHz – 750 THz	10 – 380 nm		
Görünür Işık (Görünür ışık tayfı/spektrumu)	750 – 400 THz	380-760 nm		
Kızılötesi (İnfrared) Işımlar	Yakın Kızılötesi ( <i>Near Microwave</i> )	400 – 3 THz	760 nm – 10 µm	
	Uzak Kızılötesi ( <i>Far Microwave</i> )	3 THz – 300 GHz	10 µm – 1 mm	
Mikrodalga	Ekstra Yüksek Frekans ( <i>Extremely High Frequency</i> )	EHF	300 – 30 GHz	1 mm – 1 cm
	Süper Yüksek Frekans ( <i>Super High Frequency</i> )	SHF	30 – 3 GHz	1 – 10 cm
	Ultra Yüksek Frekans ( <i>Ultra High Frequency</i> )	UHF	3 GHz – 300 MHz	10 cm – 1 m
Radyo Dalgaları	Çok Yüksek Frekans ( <i>Very High Frequency</i> )	VHF	300 – 30 MHz	1 – 10 m
Uzun Radyo Dalgaları	Yüksek Frekans ( <i>High Frequency</i> )	HF	30- 3 MHz	10 – 100 m
	Orta Frekans ( <i>Medium Frequency</i> )	MF	3 MHz – 300 kHz	100 m – 1 km
	Düşük Frekans ( <i>Low Frequency</i> )	LF	300 – 30 kHz	1 – 10 km
	Çok Düşük Frekans ( <i>Very Low Frequency</i> )	VLF	30 – 3 kHz	10 – 100 km
	Ultra Düşük Frekans ( <i>Ultra Low Frequency</i> )	ULF	3 kHz – 300 Hz	100 – 1.000 km
	Süper Düşük Frekans ( <i>Super Low Frequency</i> )	SLF	300 – 30 Hz	1.000 – 10.000 km
	Ekstra Düşük Frekans ( <i>Extremely Low Frequency</i> )	ELF	30 – 3 Hz	10.000 – 100.000 km

Açıklamalar: Hz; hertz, kHz; kilohertz, Mhz; megahertz, GHz; gigahertz, THz; terahertz, PHz; petahertz, EHz; egzahertz, µm; mikrometre, nm; nanometre, pm; pikometre.

Radyo dalgaları ve daha düşük frekanslardaki uzun radyo dalgaları, oldukça küçük enerjilere sahip olduklarından maddeyi oluşturan atomların elektronları arasından rahatlıkla geçebilmekte ve yapı, duvar gibi engellerden etkilenmemektedirler. Her frekans aralığının (bandın) farklı erişim mesafeleri bulunmaktadır. Bu dalgaların, insan sağlığı için emniyetli kabul edilen frekans alanlarında (bant aralıklarında) olması gerekmektedir. Bununla birlikte daha sağlıklı ve dinlendirici bir ortam için, olabildiğince frekansın (enerjinin) düşük, dalga boyunun büyük olduğu bantlar tercih edilmektedir.

Elektromanyetik dalgaların, uzun radyo dalgaları bandındaki ekstra düşük frekanslar (ELF) ve kısmen

süper düşük frekanslar (SLF) insan beyni tarafından da üretilmektedir. Beyin dalgaları; 1-4 Hz olanlar “delta dalgaları” (derin ve rüyasız uyku), 4-8 Hz olanlar “teta dalgaları” (uykuya geçiş, içe dönük, hayal gücü, sezgi), 8-13 Hz olanlar “alfa dalgaları” (rahatlık, dinlenme), 13-32 Hz olanlar “beta dalgaları” (uyanık, aktif, dış ilgi, dikkat) ve 32-140 Hz olanlar ise “gama dalgaları” (üst düzey duygular, konsantrasyon, bilinç ötesi) şeklinde sınıflandırılmaktadır (Xiong, 2010; Parapsikoloji, 2018). Beyin dalgalarının oluşturduğu enerjiyle (düşünce gücüyle) maddelere uzaktan tesir edebilme (telekinezi) veya canlıların DNA’larında bazı değişiklikler yapabilme (biyokinezi) gibi uygulamalar bilinmektedir.

İnsan vücudu, beyin dalgalarının yanında farklı merkezlerde ortaya çıkan başka elektromanyetik dalgaları da üretebilmektedir. Bilindiği gibi insan vücudu; su, organik bileşenler [lipitler (yağlar), proteinler, karbonhidratlar, nükleik asitler (DNA ve RNA molekülleri)] ve inorganik minerallerden (Ca, P, Na, Mg, Fe vb.) oluşmaktadır. Bunların miktarları yaşa, boya, cinsiyete ve fiziksel yapıya göre kısmi değişiklikler göstermekle birlikte ortalama %62 su, %32 organik bileşenler ve %6 inorganik mineraller şeklinde belirtilebilir. İnsan vücudunu oluşturan kütlelerin %99'u sadece 6 elementten, %1'i ise diğer elementlerden meydana gelmektedir. Bunlar; %65 O (oksijen), %18 C (karbon), %10 H (hidrojen), %3, N (nitrojen/azot), %1,5 Ca (kalsiyum), %1 P (fosfor), %0,35 K (potasyum), %0,25 S (kükürt), %0,15 Na (sodyum), %0,15 Cl (klor), %0,05 Mg (magnezyum), %0,006 Fe (demir), %0,0037 F (flor), %0,0032 Zn (çinko), %0,0020 Si (silisyum), %0,00046 Rb (rubidyum), %0,00046 Sr (stronsiyum), %0,00029 Br (brom), %0,00017 Pb (kurşun), %0,00010 Cu (bakır), %0,00006 Al (alüminyum) ve diğer eser elementler şeklinde sıralanabilir (Lowes, 2020).

Bu biyokimyasal bileşimdeki insan vücudunda, çeşitli organlar tarafından üretilen elektromanyetik dalgalar, farklı enerji alanlarını açığa çıkarmaktadırlar. Biyoelektromanyetik alan veya biyoenerji alanı olarak tanımlanan bu biyolojik enerji alanları (çakralar/enerji döngüleri/enerji merkezleri), kuyruk sokumu bölgesinden tepeye kadar yedi ana bölgede yoğunlaşmakta ve görünür ışık bandında, azalan dalga boyu (760 nm- 380 nm) ve artan enerji (frekans) değerlerinde sıralanmaktadır (Oschman, 2002; Koşalay, 2014). Buna göre; (1) kök çakra (omurganın ucu, kuyruk sokumu bölgesi) kırmızı renkli, (2) sakral/pöçük çakra (göbek altı bölgesi) turuncu renkli, (3) karın çakrası (solar pleksus; karın-mide bölgesi) sarı renkli, (4) kalp çakrası (göğüs bölgesi) yeşil renkli, (5) boğaz çakrası (boğaz bölgesi) mavi-turkuvaz renkli, (6) üçüncü göz çakrası (iki kaşın ortası) çivit mavisi-lacivert renkli ve (7) tepe çakrası (başın tepesi) menekşe moru renkli ışınlar yaymaktadır (Cameron, 2020). Ayrıca tüm vücudu sarmalayan ve beyaz ışık formunda, bazen de kişiye özgü baskın renklerde ortaya çıkabilen toplam bir biyoelektromanyetik alan da bulunmaktadır. İnsan vücudunun en dış kısmını sarmalayan bu toplam biyoenerji alanı çoğunlukla "aura" veya "yaşam enerjisi" olarak tanımlanır. Söz konusu ışınların, uygun konsantrasyon ve ortam koşullarında çıplak gözle de görülebilmesi mümkün olabilmektedir. İnsanların biyoenerjilerindeki (auralarındaki) baskın renkler, eğilimleri veya ruh hallerini yansıtabilmektedir. Bunun yanında, çakralardaki

olağan dışı biyoenerji sapsmaları ise hastalıklara işaret edebilmektedir. İnsan vücudunda bozulan biyoenerji dengesinin bir kısmının beyin dalgalarıyla veya dışarıdan enerji alış-verişiyle düzeltilmesi (şifa bulması) mümkün gözükmektedir. Belirtilen bu biyoenerji alanlarının, ileri teknolojilerle görünür ve ölçülebilir hale getirilmesi, biyoenerji tedavi yöntemlerini de geliştirecektir.

Bunun dışında, ses dalgaları da elektronik teknolojisiyle algılanabilmekte ve belirli süzgeçleme (filtrelasyon) yöntemleri ile ayıklanarak sınıflandırılabilir. İnsan kulağı, 20 Hz ile 20.000 Hz aralığındaki frekansları duyabilmekte, daha düşük (infrasonik) ve daha yüksek (ultrasonik) sesleri duyamamaktadır (Erkek sesi yaklaşık 500 Hz (pes) ile 1.500 Hz aralıklarında, kadın sesi ise yaklaşık 1.000 Hz ile 2.000 Hz (tiz) aralıklarındadır). İnsan kulağının duyabildiği frekans aralığındaki seslerin şiddeti "desibel/dB" olarak ifade edilmekte ve "0-130 dB" aralıklarında ölçeklendirilmektedir [20 dB (fısıltı/yaprak hışırtısı), 40 dB (hafif ses), 60 dB (konuşma), 80 dB (bağırma/gürültü), 100 dB (fabrika sesi/yüksek gürültü), 120 dB (savaş uçağı/geçici işitme kaybı), 130 dB (acı eşiğı)] (Morfeý, 2001; Hickling, 2006). Ses dalgaları, boyuna dalgalar formunda yayılmaktadır. Ses hızı; havada, deniz seviyesinde ve 21 °C sıcaklıkta 343,2 m/sn olup, jet uçaklarının bu hızı geçmesi durumunda sonik patlamalar (ses bombaları) ortaya çıkmaktadır.

## 5. Atom Altı Parçacıklarla İlgili Teknolojik Gelişmeler

Atom altı parçacıklar teknolojisi (kuantum teknolojisi), atomun çekirdeğinde gelişen reaksiyonlar ile yörüngesindeki elektronların hareket ve etkileşim kabiliyetinden elde edilen ve hayatı kolaylaştıran bilimsel uygulamalardır. Enerji, iletişim, bilişim (bilgisayar tabanlı sistemler, yazılım, donanım, siber güvenlik vb.), savunma, uzay, havacılık, sağlık, tarım, hayvancılık ve sanayi gibi birçok alanda kullanılabilen bu teknoloji, çağımızda ülkelerin ekonomik gelişmesinde, sürdürülebilir büyümesinde, toplumsal refahının yükseltilmesinde ve küresel güç kazanmasında vazgeçilemez bir stratejik unsur olarak kabul edilmektedir.

Atom altı parçacıklar teknolojisi; (1) Nükleer Teknoloji ve (2) Elektronik Teknolojisi şeklinde iki ana kısımda incelenebilir. Nükleer teknoloji; atom çekirdeği reaksiyonlarından yararlanmak için geliştirilen bilimsel uygulamaları, elektronik teknoloji ise; atom çekirdeği etrafında bulunan elektronların hareket ve etkileşim kabiliyetinden yararlanmak için geliştirilen bilimsel uygulamaları kapsamaktadır.

Elektronların etkileşim kabiliyetleri, yeterli enerjiye sahip parçacıklarla (proton, nötron, elektron, alfa, beta) ve ışınımalarla (gama) temasları sonucunda ortaya çıkmaktadır. Buna göre elektron etkileşimleri; elektron-çekirdek, elektron-elektron ve "alfa-beta-gama"-elektron şeklinde sınıflandırılabilir (alfa; He, beta; elektron-pozitron, gama; çok yüksek frekanslı (enerjili) ışınımalar). Nükleer teknoloji; radyoaktif elementlerin atom çekirdeklerinin kontrollü olarak parçalanması (fizyon) veya birleştirilmesi (füzyon) sonucu, çok büyük miktarda ısı enerjisinin ortaya çıkması esasına dayanırken, elektronik teknolojisi; maddenin "mutlak sıfır" değerinin üzerindeki sıcaklıklardan itibaren, atomlarına ait elektronların doğal veya uyarılmış hareketleri ile etkileşim kabiliyetlerinin kullanımı esasına dayanmaktadır.

Atom altı parçacıklar teknolojisi alanındaki ilk çalışma, 1896 yılında Henri Becquerel tarafından, uranyum (U) tuzlarının fosforesans ışınımının (sonradan radyoaktivite olarak adlandırılmıştır) araştırılması üzerine yapılmıştır (Allisy, 1996). Marie Curie, 1898 yılında toryumun (Th) da uranyum benzeri ışınım yaptığını belirlemiş, yine aynı yıl Pierre Curie ile birlikte uranyumun bozunmasıyla ortaya çıkan polonyum (Po) elementini bulmuşlardır. Daha sonra Marie Curie, uranyumla yaptığı deneyler sonucunda 1903 yılında radyoaktiviteyi keşfetmiş ve 1911'de radyum (Ra) elementini bulmuştur (Gleditsch, 1959). Bu çalışmalarıyla Marie Curie 1903 yılında Nobel Fizik Ödülü, 1911 yılında Nobel Kimya Ödülü almıştır. Radyoloji bilimini de kuran Marie Curie, radyoaktif maddeleri Yunan alfabesi sırasına göre; alfa, beta ve gama olarak üçe ayırmıştır. Albert Einstein 1905 yılında, kütle ve enerjinin aynı fiziksel varlık olduğunu ve birbirlerine dönüşebileceklerini açıklayan, ünlü  $E=mc^2$  [ $E$ =Enerji (Jul; J),  $m$ =kütle (kilogram; kg) ve  $c$ =ışık hızı (299.792 ( $\approx$  300.000) kilometre/saniye)] formülünü geliştirmiştir (Einstein, 1905). Bilim alanında elde edilen bu temel kazanımlardan sonra, atom altı parçacıklar teknolojisinin öne gittikçe açılmış ve hızlı bir gelişme göstermiştir.

Atom altı parçacıklarla ilgili en önemli teknolojik gelişmeler, "nükleer teknoloji" alanında elde edilmiştir. Bu alandaki en önemli gelişmeler; 1945'te ilk atom bombasının yapılıp kullanılması, 1951'de Idaho'da (ABD) yapılan reaktörde ilk nükleer elektriğin (her biri 200 Watt'lık 4 ampul ışık veren) üretilmesi, 1953'te ilk nükleer denizaltı reaktörünün çalıştırılması ve 1954'te ilk nükleer denizaltı Natullies'in çalışmaya başlaması, yine 1954'te Obninsk'de (Rusya) 5 MW gücündeki ilk nükleer santralin elektrik üretimine başlaması (yaklaşık 50

yıl çalışmıştır), 1956'da Sellafield'de (İngiltere) 50 MWe gücündeki ilk ticari nükleer güç santralinin işletmeye alınması ve 1957'de nükleer enerjiden 68 MW gücünde elektrik enerjisinin elde edilmesi şeklinde sıralanabilir (Öztürk, 2019).

Dünyada atom altı parçacıkların araştırılmasına yönelik yapılan en kapsamlı çalışmalar, Ülkemizin de 2015 yılında üye olduğu Avrupa Nükleer Araştırma Kurumu (CERN) tarafından gerçekleştirilmiştir. CERN, 1957 yılında İsviçre'nin Fransa sınırındaki Cenevre kentinde, Dünyanın en büyük parçacık (kuantum) fiziği araştırma laboratuvarını kurmuştur. Kuruluş amacı, üye ülkelerin kendi bütçeleriyle gerçekleştiremeyeceği araştırmaları ortak olarak yürütebilmek olan bu merkezde, Nobel ödülleri de layık görülen çok önemli bilimsel buluşlar elde edilmiştir. Parçacık hızlandırıcıları ve detektörlerin ana unsur olduğu bu araştırma merkezinde, ilk olarak 600 MeV'lık (Mega elektron Volt) proton hızlandırıcısı kullanılmıştır. 1959 yılında bugün hala kullanılan 28 GeV'lık (Giga elektron Volt) Proton Hızlandırıcısı (Proton Synchrotron/PS) ve 1976 yılında ise 450 GeV'lık Süper Proton Hızlandırıcısı (Super Proton Synchrotron/SPS) devreye alınmıştır. 1989-2000 yılları arasında Büyük Elektron-Pozitron Çarpıştırıcısı (Large Electron-Positron Collider/LEP) tesisi işletmeye alınmış ve 100-200 GeV enerji aralıklarında çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çarpıştırıcının görevi 2001 yılında tamamlanınca, aynı tünel içerisinde, yapımı 2008 yılında tamamlanan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (Large Hadron Collider/LHC) kurulmuş ve dört büyük parçacık dedektörü (ATLAS, CMS, ALICE ve LHCb) geliştirilmiştir. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC), uzunluğu 27 km olan ve süper iletken mıknatıslardan yapılmış büyük bir ışınlama çemberi şeklinde inşa edilmiştir (Large-Hadron-Collider, 2020). Bu sistem içerisinde, süper iletken mıknatıslar yolu üzerinde hızlandırılan parçacıklar ışık hızına (300.000 km/sn) ulaştırılarak çarpıştırılmakta ve özellikleri, enerji elde edilebilme yetenekleri araştırılmaktadır (CERN, 1917).

Elektrik enerjisinin temeli, atomların yörüngelerindeki elektronların sahip olduğu enerjiye dayanmaktadır. Her bir elektron son derece küçük bir enerji miktarına sahip olmakla birlikte, sayısız miktarda serbest elektronun bir araya gelerek hareket etmesiyle elektrik enerjisi ortaya çıkmaktadır. Bu enerjinin kullanılabilir olması için elektronların serbest halde hareket etmesi ve belirli bir düzene sokulması gerekmektedir. Bu nedenle nükleer güç santrallerinde, diğer santrallerin tamamına yakınında (fosil yakıtlı santraller (kömür, petrol, doğal gaz), biyokütle santralleri vb.) olduğu gibi önce ısı üretimi

sağlanmakta, sonra bu ısıyla su ısıtılarak buhar elde edilmekte ve oluşan su buharı elektrik jeneratörüne bağlı olan türbine verilerek elektrik enerjisi üretilmektedir. Dolayısıyla atom altı parçacıklar alanında önce nükleer teknoloji (fizyon) ile ısı üretilmekte, sonra da elektronik teknolojisi (elektron aktivitesi) ile elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir.

**Günümüzdeki en önemli nükleer teknolojiler;** nükleer enerji, nükleer tıp (nötron terapi, proton terapi vb.), nükleer silah, proton parçacık hızlandırıcıları, nötron kaynak üreteçleri ve farklı amaçlara yönelik olarak tasarlanan çeşitli nükleer reaktörler şeklinde sayılabilir. Nükleer enerji, "sıkıştırılmış güç" veya "sıkıştırılmış enerji" olarak ifade edilmekte olup, günümüzde bilinen en büyük ve en stratejik enerji kaynağı durumundadır. Nükleer enerji, atom çekirdeğinin kontrollü olarak parçalanması sonucu, zincirleme bölünme reaksiyonlarının gerçekleştirildiği nükleer güç santrallerinde elde edilmektedir. Örneğin 1 kg  $U^{235}$  izotopunun fizyon reaksiyonunda açığa çıkan enerji, yaklaşık 1,3 milyon kg kömürün yanmasıyla açığa çıkan enerjiye eşdeğerdir.

Nükleer enerjinin üretildiği santraller, meteorolojik şartlardan etkilenmeden elektrik üretiminin sürekli olarak gerçekleştirilebildiği ve elektrik birim fiyatı hesabına göre yakıt maliyeti diğer enerji kaynaklarından çok daha düşük olan santrallerdir. Bu santraller, sera gazı salınımı olmadığından küresel ısınmayı önlemede önemli bir alternatif olup, dışarıdan insan müdahalesi olmaksızın 72 saat boyunca soğutma, uçak çarpmalarına karşı koruma, pasif güvenlik sistemleri, dijital kontrol odaları, kompakt ekipman ve sistem tasarımları gibi bir çok gelişmiş güvenlik sistemine sahiptir. Bunların yanında, elektrik üretimi birim fiyatı başına, kurulum alanı diğer tüm santrallere göre oldukça küçük olduğundan tarım, yerleşim ve doğal yaşam alanlarına en az etki etmektedir. Günümüzdeki nükleer santrallerin güvenlik sistemleri oldukça gelişmiş olup doğada bulunan olağan radyasyon miktarının ancak %1'i kadar bir etki oluşturmaktadır. Bu nedenle nükleer santrallerin yanında yerleşim, tarım, balıkçılık ve turizm faaliyetleri rahatlıkla yapılabilmektedir. Paris, Londra, New York gibi dünyanın en önemli turizm ve yerleşim merkezlerinin yanı başında nükleer santrallerin bulunması, bunun en açık örneğidir. Ağustos 2019 itibariyle; 31 ülkede toplam 450 nükleer santral işletmede olup, 19 ülkede ise toplam 52 adet nükleer santral inşaatı devam etmektedir. Yapımı devam eden santrallerden biri de Ülkemizde (Akkuyu Nükleer Güç Santrali-Mersin) bulunmaktadır. Nükleer güç santrallerinde üretilen elektrik, dünya elektrik arzının yaklaşık %10'una

karşılık gelmektedir. Ülke bazında; Fransa elektrik talebinin yaklaşık %72'sini, Ukrayna %53'ünü, İsveç %40'ını, Belçika %39'unu, Avrupa Birliği %28'ini, Güney Kore %24'ünü ve ABD ise %19'unu nükleer enerjiden karşılamaktadır (ETKB, 2019).

**Günümüzdeki en önemli elektronik teknolojiler;** elektrik-elektronik, elektron mikroskopları, katot ışını tüpleri, elektron ışın kaynağı (plazma nitasyon, gaz nitasyon, nitrokarburizasyon vb.), radyoterapi (ışın tedavisi), lazerler, duman detektörleri (gaz iyonlaştırma sayaçları), elektron parçacık hızlandırıcıları, kuantum bilgisayarları ve elektromanyetik dalgalardan yararlanılarak geliştirilen ve yerbilimleri, iletişim, bilişim (bilgisayar tabanlı sistemler, yazılım, donanım, siber güvenlik vb.), savunma, uzay, havacılık, sağlık, tarım, hayvancılık ve sanayi gibi stratejik alanlarda kullanılan ileri teknoloji sistemleri şeklinde sayılabilir. Günlük yaşantıda sıkça kullanılan televizyon, bilgisayar, cep telefonu ve bunun gibi birçok teknolojik ürünün çalışmasında elektronların temel rol oynaması, bu teknolojinin önemini ve kapsamını açık bir şekilde yansıtmaktadır.

Elektromanyetik dalgalarla ilgili sistemler, maddenin mutlak sıfırın (karacisim ışıması) üzerindeki sıcaklığından dolayı sahip olduğu enerjisinden (elektromanyetik ışıma) yararlanılarak geliştirilmiştir. Maddelerin yaydığı elektromanyetik ışımlar (elektromanyetik spektrum), dalga boyu büyüyecek (frekansı ve enerjisi azalacak) şekilde; kozmik ışınlar, gama ışınları, x ışınları; morötesi (ultraviyole) ışınlar, görünür ışık/ışınlar, kızılötesi (infrared) ışınlar, mikrodalga ışınları, radyo dalgaları ve uzun radyo dalgaları (daha düşük dalga boylu frekanslar) şeklinde sıralanmaktadır. Bu ışınların yüksek enerjili olanları (mikrodalga ve daha yüksek frekanslar), kontrolsüz kullanıldıklarında insan sağlığına zarar verebilmektedir.

Elektronik teknolojisinde kullanılan elektromanyetik dalgalar, günümüz şartlarında elektron kökenli olarak üretilmektedir. Radyo dalgaları ve uzun radyo dalgaları bandındaki bazı düşük frekanslar, atmosferin termosfer (iyonosfer) katmanındaki (85-690 km; 200 °C ile 1.600 °C aralıklarında) yoğun serbest elektronların oluşturduğu tabakaya çarpıp dönerek kablosuz radyo, televizyon ve telefon gibi haberleşme sistemlerinde kullanılmaktadırlar. Bazı düşük frekanslar; bant aralığına göre uydular vasıtasıyla yansıtılarak iletişim, veri transferi, keşif ve görüntüleme gibi çeşitli uygulama alanlarında değerlendirilmektedir. Mikrodalgalar; radar sistemlerinde, mikrodalga fırınlarında ve kablo gerektirmeyen (wireless) uzak

mesafe iletişimlerinde kullanılmaktadır. Kızılötesi ışınlar; lazer sistemleri (yüksek performanslı kameralar, mesafe ölçerler, lazer savunma sistemleri vb.), termal kameralar, televizyon ve diğer uzaktan kumanda sistemleri, gece görüş gözlükleri ve hava tahmin cihazları ile tarımsal verimi arttıran uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Kızılötesi ışınlar, sıcak ve soğuk maddeler tarafından oluşturulmakta, atomlar tarafından emilince maddeyi ısıtmakta ve bu özelliğinden dolayı "ısı radyasyonu" olarak da adlandırılmaktadır. Özellikle lazer savunma sistemleri (LSS) alanı, Ülkemizde de hızlı bir şekilde gelişmekte ve 1 µm (1.000 nm) dalga boyu bandında üretilen ışınlar ile 50-500 m aralıklarındaki mesafeler etki altında tutulabilmektedir. Benzer şekilde, lazer sistemleriyle minerallerin içerisindeki bileşik tipleri belirlenebilmekte ve bu sayede mineral türlerinin açığa çıkarılması da mümkün olabilmektedir. Görünür ışık bandının altındaki daha yüksek frekanslı ve daha yüksek enerjili (çok kısa dalga boylu) bantların kullanımları ise insan sağlığında tahrip edici etkiler bırakabileceğinden, oldukça dikkatli ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Bunlardan morötesi ışınlarla sivrisinek öldürücü lambalar gibi cihazlar üretilmekte (bu ışınlar, yabanarası gibi böcekler tarafından da görülebilmektedir), x ışınlarıyla röntgen cihazları yapılmakta ve gama ışınlarıyla kanser tedavileri gerçekleştirilmektedir.

## 6. Türkiye'deki Nükleer Enerji Hammaddeleri Aramaları

Nükleer teknolojinin asli ve öncü unsuru olan nükleer enerji, nükleer enerji hammaddelerinden (uranyum, toryum) elde edilmektedir. Günümüzde üretilen nükleer enerjinin hemen hemen tamamı uranyumdan karşılanmaktadır. Gelecekte ise uranyum kullanımının yanında, gelişen teknolojiye bağlı olarak toryum kullanımının da artması beklenmektedir (Ayaz, 2018).

Türkiye'nin jeolojik yapısı içerisinde, uranyum ve toryum cevherleşmelerine kaynak olabilecek, üst manto kökenli alkali magmatik kayalar geniş yayılımlar sunmaktadır. Genişlemeli (açılmalı) tektojenetik süreçlerle oluşan bu kayaların çevresinde ise sedimanter uranyum ve toryum zenginleşmelerinin olabileceği uygun havzalar yer almaktadır. Bu temel jeolojik veriler ışığında, Ülkemizde yeraltı zenginliklerini arayıp inceleyen, modelleyen ve ortaya çıkaran Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), sorumluluğuyla ilgili tüm alanlarda olduğu gibi, nükleer enerji hammaddeleri aramalarında da çeşitli vizyon projelerini hayata geçirmiştir. Bu kapsamda; öncelikle mevcut temel jeoloji haritaları

ve metalojeni haritaları üzerinde potansiyel hedef alanlar değerlendirilmiş ve tektojenetik olarak yerkabuğundaki genişleme (açılma) ve litosferik basınç azalmasıyla oluşmuş olası üst manto etkileşim ortamları yorumlanmıştır. Bununla birlikte, başlatılan Türkiye jeokimya haritası çalışmaları tamamlanarak radyoaktif elementlerin jeokimyasal dağılımları ortaya çıkarılmıştır. İleri teknolojik uygulamalarla Ülkemizin, havadan manyetik ve radyometrik jeofizik ölçümleri yapılarak potansiyel radyoaktivite alanları belirlenmiş ve ihtiyaca göre bu alanlar sık ölçümlerle detaylandırılmıştır. Bunların yanında, magmatik kaya tiplerinin ayırtlanıp uranyum-toryum için kaynak kaya olabilecek alkali magmatitlerin belirlendiği proje uygulamaları da başlatılmıştır. Ayrıca, uydu görüntüleri kullanılarak uzaktan algılama yöntemleriyle genel taramalar yapılmış ve potansiyeli olan alanlar denetlenmiştir. Tüm bu çalışmalardan elde edilen anomali verilerinin tamamı örtüştürülerek, sedimanter depolanma alanlarıyla birlikte yeni hedef alanlar belirlenmiştir. Eş zamanlı olarak, uranyum ve ilişkili diğer olası cevherleşmeler için, arazide prospeksiyon (ön arama) ve detay etüt çalışmaları gerçekleştirilmiş, yerinde aletsel ölçümler yapılmış ve alınan numunelerin laboratuvarlardaki analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Daha sonra elde edilen sentezlenmiş sonuçlar, sedimanter havza analizleriyle birlikte yorumlanmış ve belirlenen lokasyonlarda gerçekleştirilen sondajlarla önemli yeni kaynaklar ortaya çıkarılmıştır. MTA'nın konu ile ilgili arama, araştırma ve geliştirme çalışmaları yoğun bir şekilde devam etmektedir.

## 7. Sonuç

Bu çalışmada; atomun keşfi ve tarihsel süreç içerisindeki modelleme çalışmaları gözden geçirilmiş, atom altı parçacıklar ve özellikleri güncel veriler ışığında incelenmiş, maddenin enerjisi ve elektromanyetik dalgaların özellikleri tartışılmış ve atom altı parçacıklar alanındaki teknolojik gelişmeler değerlendirilmiştir. Ayrıca, Türkiye'deki nükleer enerji hammaddeleri aramaları konusunda, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Atom altı parçacıklar teknolojisi (kuantum teknolojisi), "Nükleer Teknoloji" ve "Elektronik Teknolojisi" şeklinde iki alt kısımda incelenmiştir. Günümüzdeki en önemli nükleer teknolojiler; nükleer enerji, nükleer tıp (nötron terapi, proton terapi vb.), nükleer silah, proton parçacık hızlandırıcıları, nötron kaynak üreteçleri ve farklı amaçlara yönelik olarak tasarlanan çeşitli nükleer reaktörler şeklinde sayılabilir. En önemli elektronik

teknolojiler ise; elektrik-elektronik, elektron mikroskopları, katot ışını tüpleri, elektron ışın kaynağı, radyoterapi (ışın tedavisi), lazerler, duman detektörleri (gaz iyonlaştırma sayaçları), elektron parçacık hızlandırıcıları, kuantum bilgisayarları ve elektromanyetik dalgalardan yararlanılarak geliştirilen ve yerbilimleri, iletişim, bilişim (bilgisayar tabanlı sistemler, yazılım, donanım, siber güvenlik vb.), savunma, uzay, havacılık, sağlık, tarım, hayvancılık ve sanayi gibi stratejik alanlarda kullanılan sistemler şeklinde sayılabilir. Elektron kaynaklı elektromanyetik dalgaların, günlük yaşamdaki kullanımları gittikçe artmaktadır. Radyo dalgaları ve uzun radyo dalgaları bandındaki bazı düşük frekanslar kullanılarak; kablosuz radyo, televizyon ve telefon gibi iletişim sistemleri ile veri transferleri, keşifler ve görüntüleme gibi çeşitli ileri teknoloji uygulamaları geliştirilmiştir. Mikrodalgalar; radar sistemlerinde, mikrodalga fırınlarında ve kablo gerektirmeyen uzak mesafe iletişim sistemlerinde, kızılötesi ışınlar; lazer sistemlerinde, termal kameralarda, televizyon ve diğer uzaktan kumanda sistemlerinde, gece görüş gözlüklerinde ve hava tahmin cihazları ile tarımsal verimi arttıran sistemlerde kullanılmaktadır. Morötesi ışınlar; sivrisinek öldürücü lambalar gibi cihazlarda, x ışınları; röntgen cihazları yapımında ve gama ışınları ise; kanser tedavileri gibi alanlarda kullanılmaktadır. Ayrıca insan vücudundaki farklı enerji merkezlerinin ileri teknolojik cihazlarla görünür hale getirilmesi ve hassas biyoelektromanyetik görüntülerin elde edilmesiyle biyoenerji tedavi yöntemlerinin de gittikçe önem kazanacağı değerlendirilmektedir. Bunların yanında elektronik teknolojisiyle; salınan ses dalgalarının algılanması ve belirli süzgeçleme (filtrelizasyon) yöntemleri ile ayıklanarak sınıflandırılması da mümkündür. Bu sayede uzaktan gelen ses dalgaları, aradaki yapı ve duvar gibi engellere takılmadan alınıp kullanılabilir. Bu nedenle savunma ve özel hassas iletişimlerin gerçekleştirildiği alanlardaki haberlere (bilgilere) olan erişimin, özel önlemlerle engellenmesi gerekmektedir. Lazer sistemleri ile engel oluşturan yapıların aşılması mümkün olduğundan, özellikle lazer silahları alanında da önemli gelişmeler sağlanmaktadır. Aynı zamanda, uygun frekans düzeyindeki ışınlar ile minerallerin içerisindeki bileşik tiplerinin belirlenmesi ve bu sayede mineral türlerinin açığa çıkarılması konusunda da dikkate değer ilerlemeler kaydedilmektedir. Bu kapsamda, minerallerin oluştukları derinlik, sıcaklık ve basınç bilgileri kolaylıkla elde edilebilmektedir.

Atom altı parçacıklar teknolojisi, ülkelerin ekonomik gelişmesinde, sürdürülebilir büyümesinde, toplumsal refahının yükseltilmesinde ve küresel güç

kazanmasında, vazgeçilemez stratejik bir unsur olarak kabul edilmektedir. Özellikle nükleer enerji, gelişmiş ülkelerin ortak paydaları içerisinde yer almakta ve bilişim, iletişim, savunma, uzay ve havacılık teknolojileriyle birlikte stratejik kabul edilerek ileri düzeylerde kullanılmaktadır. Nükleer enerji, "sıkıştırılmış güç" veya "sıkıştırılmış enerji" olarak ifade edilmektedir. Bu sebeple Ülkemizde, nükleer ve elektronik teknolojilere yönelik araştırma ve geliştirme projelerinin ileri düzeylerde desteklenmesi, altyapılarının ve lojistiklerinin güçlendirilmesi ve mevcut çalışmaların hızla geliştirilmesi kaçınılmazdır. Bu teknolojilere destek amacıyla; Li, Co, Ni, Mn, Nb, Rb, Cs ve Y gibi ileri teknoloji elementlerinin daha verimli bir şekilde zenginleştirilip, iletişim ve enerji depolama gibi alanlarda kullanımlarının artırılabilmesi için biyoteknoloji (biyoliç/biyosentezleme) uygulamalarının da geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Ülkemizdeki bilimsel çalışmaları yürüten çeşitli Kamu kurum ve kuruluşları (Üniversiteler, TÜBİTAK, Enstitüler, çeşitli Ar-Ge merkezleri) gibi Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü de nükleer enerji konusunda gerekli hassasiyeti göstermektedir. Bu bağlamda MTA, sorumluluğuyla ilgili diğer alanlarda olduğu gibi, nükleer enerji hammaddeleri konusunda da çeşitli arama, araştırma ve geliştirme projeleri hazırlayıp uygulamakta, yeni kaynakları ortaya çıkarmakta ve sektörün gelişmesine ışık tutmaktadır.

### Katkı Belirtme

Bu çalışmadaki çeşitli katkılarından dolayı; Celal Oraj Parmaksız'a (MTA), Jeo. Yük. Müh. Rukiye Çiçek'e (MTA), Özlem Çömez'e (MTA), Jeo. Yük. Müh. Zehra Deveci Aral'a (MTA), Jeo. Yük. Müh. Ekrem Özcan'a (MTA) ve Jeo. Yük. Müh. Çağlar Aslan'a (MTA) teşekkür ederim.

Ayrıca değerlendirme ve önerilerinden dolayı; Nükleer Enerji Müh. Ahmet Hakan Öztürk'e (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı), Prof. Dr. Yusuf Kaan Kadioğlu'na (Ankara Üniv.), Prof. Dr. Selma Kadioğlu'na (Ankara Üniv.) ve Prof. Dr. Cemal Yılmaz'a (Gazi Üniv.) da teşekkür ederim.

### Değinilen Belgeler

- Allisy, A. 1996. Henri Becquerel-Radyoaktivite Discovery. Radyasyondan Korunma Dozimetre, 68, (1/2), 3-10.
- Alward, J. F. 2001. Elementary Particles, Department of Physics, University of the Pacific Elementary particles, The Columbia Encyclopedia, Sixth

- Edition.
- Atmaca, G. 2012. Elektriksel yük, KBT Bilim Sitesi, <https://www.kuark.org/2012/08/elektriksel-yuk/>, Erişim: 01 Haziran 2020.
- Atom Altı Parçacıklar 2020. <http://www.kuark.org/2012/04/atom-alti-parcaciklar/>, Erişim: 04 Mayıs 2020.
- Ayaz, M.E. 2018. Yeryuvarının zonlu içyapısı, ekonomik zenginleşme potansiyeli, yeraltı zenginliklerinin arama yöntemleri ve geleceğin enerji kaynaklarına yönelik yaklaşımlar. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Eğitim Serisi – 49, Ankara, 55 s.
- Bohr, N. 1913. On the constitution of atoms and molecules. *Philosophical Magazine*, 26 (153), 476–502.
- Brogie, L. 1924. *Phil. Mag.*, Taylor ve Francis Online, 47-446.
- Cameron, Y. 2020. A beginner's guide to the 7 chakras. Mbg mindfulness. <https://www.mindbodygreen.com/0-91/The-7-Chakras-for-Beginners.html>, Son Düzenleme Tarihi: 20.04.2020, Erişim: 14.09.2020.
- CERN, 2017. Quark Matter 2017: Understanding the early universe, European Organization for Nuclear Research, web sitesi verileri.
- Chadwick, J. 1932. Possible Existence of a Neutron. *Nature*, 129 (3252), s. 312.
- Einstein, A. 1905. Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt (Işığın Oluşumu ve Dönüşümü Üzerine Bir Görüş), Bern.
- Encyclopedia Britannica, 2010. Lepton (physics).
- ETKB, 2019. Nükleer enerji. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Web Sitesi verileri.
- Feynman, R. P. 1986. Lecture notes in physics. Princeton University Press: Princeton.
- Feynman, R.P., Weinberg, S. 1987. Elementary Particles and the Laws of Physics: The 1986 Dirac Memorial Lectures. Cambridge Univ. Press.
- Gleditsch, E. 1959. Marie Sklodowska Curie (in Norwegian). *Nordisk Tidskrift*, Arg. 35.
- Griffiths, D. J. 2009. Introduction to Elementary Particles. 59–60.
- Heilprin, J. 2013. Higgs boson discovery confirmed after physicists review Large Hadron Collider data at CERN. *The Huffington Post*, 17 Mart 2013.
- Heisenberg, W. 1927. Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik. *Zeitschrift für Physik*. 43 (3–4). 172–198.
- Hickling, R. 2006. Decibels and octaves, who needs them?. *Journal of sound and vibration*, 291(3-5), 1202-1207.
- İslam Ansiklopedisi, 2020. Türkiye Diyanet Vakfı (TDV) İslam Ansiklopedisi. <https://islamansiklopedisi.org.tr/hakkinda.php>, Erişim: 22.06.2020.
- Koşalay, İ. 2014. Elektromanyetik alanlar ve bioenerji olgusu. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20 (8), 287-293.
- Large - Hadron - Collider, 2020. <https://home.cern/science/accelerators/large-hadron-collider>, Erişim: 08.06.2020.
- Lowes, A. 2020. Composition of the human body. Pinterest, <https://tr.pinterest.com/pin/363102788682662753/>, Erişim: 14.09.2020.
- Morfey, C. L. 2001. *Dictionary of Acoustics*. Academic Press, San Diego.
- NASA, 2018. Electromagnetic Spectrum. National Aeronautics and Space Administration (ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi), [https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/spectrum/txt\\_electromagnetic\\_spectrum.html](https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/spectrum/txt_electromagnetic_spectrum.html), Son Düzenleme Tarihi: 5 Eylül 2018, Erişim: 17.08.2020.
- Norton, K.A. 1937. The propagation of radio waves over the surface of the Earth and in the upper atmosphere. Part 2, *Proc. Inst. Radio. Eng.*, 25.
- Oschman, J.L. 2002. Science and human energy field. *Reiki News Magazine*, 1(3), 27-44.
- Öztürk, Ö. 2019. Dünyada nükleer enerji. Nükleer Enerji ve Uluslararası Projeler Genel Müdürlüğü web sitesi verileri.
- Parapsikoloji, 2018. Parapsikoloji ve ruhsal gelişim. [www.parapsikoloji.net](http://www.parapsikoloji.net), Erişim: 27.11.2018.
- Petrucci, R.H., Herring, F.G., Madura, J.D., Bissonette, C. 2011. *General Chemistry*. 10th ed. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Pullman, B. 1998. *The Atom in the History of Human Thought*. Oxford, England: Oxford University Press. 31–33.
- Rocke, A. J. 1984. *Chemical Atomism in the Nineteenth Century*. Columbus: Ohio State University Press.
- Rutherford, E. 1911. The Scattering of  $\alpha$  and  $\beta$  Particles by Matter and the Structure of the Atom. *Philosophical Magazine*, 21 (4).
- Schrödinger, E. 1926. Quantisation as an Eigenvalue Problem. *Annalen der Physik*. 81 (18). 109–139.
- Schrödinger, E. 1935. Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik, *Naturwissenschaften*. 23, 807–812; 823–823, 844–849.
- Sharp, T. 2017. What is an Atom?. *Live Science*.
- TAMSAT, 2020. Band ve frekanslar. Turkish Amateur Satellite Technologies Organization (Amatör Uydu Teknolojileri Derneği), <https://www.tamsat.org.tr/brand-ve-frekanslar/>, Erişim: 08.06.2020.
- Taylor, C.C.W. 2010. *The Atomists: Leucippus and*

- Democritus: Fragments (Phoenix Presocratic Series) Paperback. University of Toronto Press, Scholarly Publishing Division, Reprint edition (November 13, 2010), 288 s.
- Thomson, J. J. 1904. On the Structure of the Atom: an Investigation of the Stability and Periods of Oscillation of a number of Corpuscles arranged at equal intervals around the Circumference of a Circle; with Application of the Results to the Theory of Atomic Structure. *Philosophical Magazine*. 7 (39), 237 s.
- Uslu, İ. 2013. Atom ve atom kavramının doğuşu, <https://www.slideshare.net/iuslu/atom-kavraminin-dogusu-duzeltismis>, Yayınlanma Tarihi: 28.01.2013, Erişim: 19.06.2020.
- Van Der Pol, B., Bremmer, H. 1937. The diffraction of electromagnetic waves from an electrical point source round a finitely conducting sphere. *Philos. Mag. Ser. 7*, 24.
- Weinberg, S. 1972. *Gravitation and cosmology*. John Wiley ve Sons, 194 s.
- Wells, J.C. 1990. *Longman pronunciation dictionary*. Harlow, England: Longman.
- Wikipedia, 2020a. Gluon. *Wikipedia The Free Encyclopedia (Vikipedi Özgür Ansiklopedi)*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Gluon>, Son Düzenlenme Tarihi: 15.06.2020, Erişim: 16.06.2020.
- Wikipedia, 2020b. Photon. *Wikipedia The Free Encyclopedia (Vikipedi Özgür Ansiklopedi)*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Photon>, Son Düzenlenme Tarihi: 30.05.2020, Erişim: 01.06.2020.
- Xiong, J. H. 2010. *The outline of parapsychology*. University press of America. s. 83-86.