



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Yüksek Lisans Tezi

**Z' BOZONUNUN t-tbar KANALINDA DERİN ÖĞRENME
METOTLARI İLE ARAŞTIRILMASI**

Tuğçe Eda YORULMAZ

Fizik Anabilim Dalı

Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Suat ÖZKORUCUKLU**

Aralık, 2019

İSTANBUL

Bu çalışma, 24.12.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



Prof. Dr. Suat ÖZKORUCUKLU(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Latife ŞAHİN YALÇIN
İstanbul Üniversite
Fen Fakültesi



Doç. Dr. Bora İŞILDAK
Özyeğin Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca kıymetli bilgi birikimi ile yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, tecrübeleriyle her zaman yol gösterici olan, sadece akademik anlamda değil her anlamda yardımcı ve yönlendirici olan saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Suat ÖZKORUCUKLU'ya sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Bitmek bilmeyen sorularıma sabırla ve tüm içtenliği ile cevap veren, yardımcı olabilmek için elinden gelenin fazlasını sunan, yardım ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, değerli vaktini ayırarak ilgisini eksik etmeyen saygıdeğer hocam Doç. Dr. Bora İŞILDAK'a sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Beni bugünlere getiren, her zaman arkamda duran, bana her daim güvenen, şefkatleriyle bana azim veren, bu hayattaki en şanslı çocuk olduğumu hissettiren, emekleri için ne kadar teşekkür etsem de haklarını ödeyemeyeceğim, hayattaki ilk öğretmenim babama ve canım anneme sonsuz teşekkür ederim. Abladan çok anne olan, gösterdiği sabır ve anlayış ile desteğini her zaman hissettiren, üzerimdeki emeği ile birçok şeyi başarmamı sağlayan ablama ve enişteden çok abi, arkadaş olan, her koşulda ve her konuda bana destek olan, ondan öğrendiklerimle büyümemi sağlayan manevi abime teşekkür ederim. Teyze olmanın ne demek olduğunu bana öğreten, varlığıyla dünyamı aydınlatan ve yaşama sevinci veren biricik yeğenim Nisan'a teşekkür ederim.

Arkadaşlığın sadece iyi günde olmadığını gösteren, ne olursa olsun desteklerini esirgemeyen, bana güvenlerini daima hissettiren, arkadaştan öte manevi kardeşlerim olan sevgili Mert Sinan Recep KİRAZ'a, Atakan GÜRBÜZ'e, Gizem GÜRBÜZ'e ve manevi kız kardeşim Ayşe ÖZTÜRK'e çok teşekkür ederim.

Attığım her adımda yanımda olan, hiçbir karşılık beklemeden bana destek olan, sabırla beni dinleyen, her konuda akıl danışabildiğim, sonsuz güveniyle başarımda en az benim kadar katkısı ve emeği olan, üniversite hayatımın ilk gününden bugüne kadar varlığıyla beni mutlu ve şanslı hissettiren Erman ÇOKDUYGULULAR'a teşekkür ederim.

Son olarak, eğitim hayatım boyunca birinci vazifemi hiç unutmadan, "Hayatta en hakiki mürşit ilimdir, fendir." sözünü ilke edinerek çıktığım bu yolda, özgür bir ülkede özgür bir şekilde okumamı, özgür bir kadın olarak ayaklarımın üzerinde durmamı sağlayan ulu önder Mustafa Kemal ATATÜRK'e teşekkürü bir borç bilirim. Saygı, sevgi ve minnetle kendisini anıyor ve O'nun izinde gitmekten gurur duyuyorum.

Aralık, 2019

Tuğçe Eda YORULMAZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	x
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	4
2.1. STANDART MODEL	4
2.1.1. Temel Parçacıklar	4
2.1.1.1. Fermiyonlar	4
2.1.1.2. Bozonlar.....	6
2.1.2. Temel Kuvvetler	7
2.1.2.1. Ayar Teorisi	8
2.1.2.2. Kuantum Elektrodinamiği.....	10
2.1.2.3. Elektrozayıf Etkileşim	10
2.1.2.4. Kuantum Renk Dinamiği.....	11
2.2. ÜST KUARK	12
2.2.1. Üst Kuarkın Özellikleri	12
2.2.2. Üst Kuark ve Etkileşimleri	13
2.3. DERİN ÖĞRENME METODU	17
2.4. STANDART MODELİN EKSİKLİKLERİ VE STANDART MODEL ÖTESİ	22
2.5. Z' BOZONU	23
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	26
3.1. ÜST KUARK – KARŞIT ÜST KUARK KANALINDA Z' BOZONUNUN ETKİLEŞİMLERİ	26
3.2. PROTON – PROTON ÇARPIŞMASINDA $Z' \rightarrow t\bar{t}$ SÜRECİNİN İNCELENMESİ	29
3.3. OLAY ÜRETİMİ VE ALGIÇ BENZETİMİ.....	32

3.3.1. Sinyal ve Arka Plan Üretimi.....	32
3.3.1.1. Olay Seçimi ve Yapılandırma	33
3.3.2. Yapay Öğrenme ile Sinyal Seçimi	35
3.3.2.1. Arttırılmış Karar Ağaçları.....	36
3.3.2.2. Çok Katmanlı Algılayıcı	36
3.3.2.3. Derin Sinir Ağları.....	37
4. BULGULAR.....	38
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	49
KAYNAKLAR.....	51
EKLER	55
EK 1. Delphes çıktısının yapay öğrenme eğitimi için kullanılacak girdi değişkenlerine çeviren kodlar.	55
EK 2. Yapay öğrenme eğitimi için kullanılan kodlar.....	62
ÖZGEÇMİŞ	67

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Temel parçacıkların etkileşimleri.	7
Şekil 2.2: Üst kuarkın, üst kuark çiftlenim üretimi ile hadron çarpıştırıcılarındaki ana üretim kanallarını gösteren Feynman diyagramları.....	14
Şekil 2.3: Üst kuarkın, tek üst kuark üretimi ile hadron çarpıştırıcılarındaki ana üretim kanallarını gösteren Feynman diyagramları.	14
Şekil 2.4: Bir üst kuark çiftinin bozunmasının olası tüm son durumları.	15
Şekil 2.5: $pp \rightarrow t\bar{t}$ yarı leptonik bozunumlarının Feynman diyagramları.	16
Şekil 2.6: Yapay zeka Venn şeması.	18
Şekil 2.7: Basitleştirilmiş bir sinir ağı modeli.....	19
Şekil 2.8: Derin öğrenme metodunun eski öğrenme algoritmalarına göre oran grafiği.....	21
Şekil 2.9: $pp \rightarrow Z' \rightarrow t\bar{t}$ kanalındaki ana üretim Feynman diyagramı.	25
Şekil 3.1: Sinyal önemi ve Işınlılık oranının grafiği.	27
Şekil 3.2: Üst kuark çiftinin dallanma oranları.	28
Şekil 3.3: Z' bozununun yarı leptonik $t\bar{t}$ bozunumlarını gösteren Feynman diyagramları.	31
Şekil 3.4: Leptonlar için izolasyon konisi.....	34
Şekil 3.5: Bir karar ağacının şematik açıklaması.	36
Şekil 3.6: Çok Katmanlı Algılayıcılar (MLP) yapısı.	37
Şekil 4.1: Yapay öğrenme eğitimi için kullanılan girdiler.	38
Şekil 4.2: Yapay öğrenme eğitimi için kullanılan girdiler.	39
Şekil 4.3: Yapay öğrenme eğitimi için kullanılan girdiler.	39
Şekil 4.4: x ve y değişkenlerinin arasındaki ilişki.....	41
Şekil 4.5: Sinyal ve arka plan için korelasyon matrisi.	42
Şekil 4.6: Sinyal ve arka plan için BDT çıktısı dağılımı.	42

Şekil 4.7: Sinyal ve arka plan için MLP çıktısı dağılımı.	43
Şekil 4.8: Sinyal ve arka plan için DNN çıktısı dağılımı.	43
Şekil 4.9: İdeal bir ROC Eğrisi.	45
Şekil 4.10: Sinyal verimine karşı ayrılan arka plan ROC Eğrisi.	45
Şekil 4.11: BDT için verim, önem ve optimum kesim değeri.	46
Şekil 4.12: MLP için verim, önem ve optimum kesim değeri.	47
Şekil 4.13: DNN için verim, önem ve optimum kesim değeri.	47



TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1: Leptonlar.	5
Tablo 2.2: Kuarklar.	5
Tablo 2.3: SM'nin ayar yapısında bulunan etkileşim türleri ile ilgili ayar grubu ve etkileşimlerin kuvvet taşıyıcı ayar alanı ile ona karşılık gelen ayar bozonu.	6
Tablo 3.1: Z_{SSM} vektörüne ve Denklem (3.10)'un eksensel vektör çiftlenimlerine giren f_L sol el kiral ve f_R sağ el kiral fermiyonlar için zayıf izospin ve elektrik yükü atamaları.	31
Tablo 3.2: Üretilen ve seçilen olay sayıları.	34
Tablo 4.1: Yapay öğrenme eğitiminde değişikliklerin önem sırası.	40
Tablo 4.2: ROC Eğrisi analizi sınıflandırması.	44
Tablo 4.3: Farklı ışınlılık değerlerinde BDT, MLP, DDN metotları için sinyal önemi ve kesme değerleri.	48

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
A_μ	: Vektör alanı
b	: Alt kuark
B_μ	: Hiperyük
c	: Tılsımlı kuark
d	: Aşağı kuark
D_μ	: Kovaryant türev
e	: Elektron
E_{vis}	: Tüm jetlerin ölçülebilen toplam enerjisi
$F_{\mu\nu}$: Elektromanyetik alan tensörü
g	: Gluon
$G_{\mu\nu}$: Gluon alan tensörü
H^0	: Higgs bozonu
HT	: Olaydaki jetlerin enine momentumlarının skaler toplamı
L_{int}	: Toplam ışınlılık
$m_{üst}$: Olayda hadronik olarak bozunan üst kuark kütlesi
N_B	: Arka plan olaylarının sayısı
n_{bjets}	: Olaydaki alt kuark jets sayısı
n_{jets}	: Olaydaki jet sayısı
$n_{leptons}$: Olaydaki leptonların sayısı
N_S	: Sinyal olaylarının sayısı
P_L	: Sol el kiral izdüşümü
P_R	: Sağ el kiral izdüşümü
p_T	: Bir jetin enine momentumu
\bar{q}	: Karşı kuark
t_α	: Gell – Mann matrisleri
V^{CKM}	: CKM Matrisi
W^\pm	: W bozonu
$y_{üst}$: Olayda hadronik olarak bozunan üst kuark rapiditesi

Y_W	: Zayıf hiperyük
Z^0	: Z bozonu
Z'	: Z prime bozonu
α_s	: Güçlü etkileşim bağlaşım sabiti
γ^μ	: Dirac matrisi
ϵ_B	: Arka plan akseptansı
ϵ_S	: Sinyal akseptansı
θ_W	: Weinberg açısı
ν_e	: Elektron nötrinosu
ν_μ	: Müon nötrinosu
ν_τ	: Tau nötrinosu
σ_B	: Arka plan tesir kesiti
σ_S	: Sinyal tesir kesiti
Φ_{MET}	: Olaydaki enine kayıp momentumun azimut yönü
L	: Işınlılık
\mathcal{L}	: Lagranjiyen alan yoğunluğu
MET	: Olaydaki enine kayıp momentum
$pT_{üst}$: Olayda hadronik olarak bozunan üst kuark enine momentumu
$Pl(\cos\theta_{ij})$: Asosiye Legendre polinomları
pp	: Proton – proton çarpışması
q	: Kuark
R	: Pearson korelasyon katsayısı
s	: Acayip kuark
S	: Sinyal önemi
t	: Üst kuark
$t\bar{t}$: Üst kuark çiftlenimi
u	: Yukarı kuark
γ	: Foton
ϵ	: Akseptans
η	: Parçacığın ışın eksenine göre açısı
μ	: Müon
σ	: Tesir kesiti
τ	: Tau
ψ	: Dalga fonksiyonu

Kısaltmalar	Açıklama
ANN	: Yapay sinir ağları
B	: Arka plan
BBT	: Büyük Birleşik Teori
BDT	: Arttırılmış Karar Ağaçları
CDF	: Fermilab Çarpıştırıcı Algıç
CERN	: Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
CKM	: Cabibbo – Kobayashi – Maskawa matrisi
CMS	: Compact Muon Selenoid
DN	: Doğru negatif
DNN	: Derin Sinir Ağları
DP	: Doğru pozitif
DØ	: Dzero Deneyi
GMDH	: Grup veri işleme yöntemi
KAT	: Kuantum Alan Teorisi
KED	: Kuantum Elektrodinamiği
KRD	: Kuantum Renk Dinamiği
LHC	: Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
LHE	: Les Houches Event
mg5_aMC	: Madgrph5_aMC@NLO
MLP	: Çok Katmanlı Algılayıcılar
MVA	: Multivariate Data Analysis
ROC	: Alıcı İşlem Karakteristiği
S	: Sinyal
SM	: Standart Model
SMÖ	: Standart Model Ötesi
SSM	: Sıralı Standart Model
TMVA	: The Toolkit for Multivariate Data Analysis with ROOT
YN	: Yanlış negatif
YP	: Yanlış pozitif

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Z' BOZONUNUN t-tbar KANALINDA DERİN ÖĞRENME METOTLARI İLE ARAŞTIRILMASI

Tuğçe Eda YORULMAZ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Suat ÖZKORUCUKLU

Standart Model'in ötesinde yapılan yeni fizik arayışlarında en çok tercih edilen çalışma konularından birisi egzotik parçacıkların varlığıdır. Bu parçacıkların varlığını ispatlamak için birçok model öne sürülmüştür ve bu modellerden birisi $U(1)'$ modelidir. $U(1)'$ modelinin bir uzantısı olan ve sadece baryonlar ile etkileşen spin 1'e sahip Z' bozonu hali hazırda iki jet kanalında araştırılan bir rezonanstır. İki jet değişmez kütle spektrumundaki sinyalin aranması şeklinde gerçekleştirilen çalışmalar Kuantum Renk Dinamiği etkileşimlerinin oluşturduğu arka plan süreçlerinden dolayı zahmetlidir. Diğer bir seçenek olarak, Z' 'ın $t\bar{t}$ 'a bozunduğu yarı leptonik kanallarda, Standart Model'in öngördüğü $t\bar{t}$ bozunumlarını, $W + jetleri$ ve $Z' \rightarrow t\bar{t}$ olaylarını ayırt etmek için Derin Öğrenme Metodu kullanılarak Z' bozonu aranmıştır. Bu metot ile sinyal ve arka plan olaylarının birbirinden ne ölçüde ayırt edilebildiği ve bu ayırım sonucunda sinyal öneminin değerleri elde edilmiştir. Burada sinyal olayları, Z' bozonunun farklı kütleleri ve farklı etkileşim sabitleri için üretilmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar, Standart Model Ötesi çalışmalar için heyecan verici ve LHC deneyleri için yol gösterici olacaktır.

Aralık 2019, 82 sayfa.

Anahtar kelimeler: Standart model, Standart model ötesi, Üst kuark, $t\bar{t}$ kanalı, Z' bozonu, Derin öğrenme, Jet fiziği.

SUMMARY

M.Sc. THESIS

SEARCH for Z' BOSON in t-tbar CHANNEL with DEEP LEARNING METHODS

Tuğçe Eda YORULMAZ

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Physics

Supervisor : Prof. Dr. Suat ÖZKORUCUKLU

One of the most preferred new research topics in Beyond the Standard Model physics research is the presence of exotic particles. There are many models which have been proposed to prove the existence of these particles and one of these proposals is the $U(1)'$ model. The Z' boson, which is an extension of the $U(1)'$ model and has spin 1 only interacting with the baryons, is a resonance which currently being investigated in two jet channels. The progress which in for the search of the signal between two jet invariant mass spectrum are very laborious since the background processes which generated by the Quantum Color Dynamics interactions. Alternatively, the Z' boson is searched in the semi-leptonic channels which Z' decays to $t\bar{t}$ with the deep learning method stipulated by the Standard Model for distinguishing $t\bar{t}$ decays, $W + jets$ and $Z' \rightarrow t\bar{t}$ events. With this method, the distinction level between signal and background events revealed and the values of the signal importance is obtained as a result of this distinction. Relevant signal events are generated for different masses and different constants of interaction of the Z' boson. The results will be exciting for the studies Beyond the Standard Model also will guide the LHC experiments.

December 2019, 82 pages.

Keywords: Standard model, Beyond the standard model, Top quark, $t\bar{t}$ channel, Z' boson, Deep learning, Jet physics.



1. GİRİŞ

“Her şeyin temeli nedir?” sorusunun cevabı insanlığın varoluşundan bu zamana kadar merak edilen bir soru olmuştur. Parçacık Fiziği, her şeyin temelini ne olduğunu, nasıl olduğunu, evrenin nasıl başladığını ve nereye gittiğini açıklamaya çalışan, matematiksel ifadelerle destekleyen ve deneylerle ispatlamaya çalışan, maddenin ve etkileşimlerinin altyapısını inceleyen, bir anlamda en küçüğü açıklamak üzere kurulmuş bilim dalıdır.

Antik Yunan felsefecileri var olanın ve çevresinde bulunanların, bunların etkileşimlerinin neden ve nasıl olduğunu merak etmişler ve araştırmışlardır. Maddenin sürekli küçük parçalara bölündüğünde *atomos* adını verdikleri bölünemez bir temel yapı taşının ortaya çıkacağını öngörmüşlerdir. Atomos, Yunanca parçalara ayrılamaz, bölünemez anlamına gelmektedir ve bu ismi M.Ö. 400’lü yıllarda yaşayan Yunan düşünür Demokritos ve hocası Leukippos ortaya atmıştır. Atomun parçalara ayrılamaz olduğunu ve böylece var olmanın temeli olduğunu, atomların bir araya gelerek evrende görülen her şeyi meydana getirdiklerini düşünmüşlerdir. Demokritos’tan yüzyıllar sonra 1805’te atom kavramını modern bilim çerçevesinde tekrar oluşturan bilim insanı John Dalton olmuştur. Modern atom, her ne kadar antik Yunan felsefecilerinin öngördüklerinden farklı olsa da maddenin çok küçük ve parçalanamaz parçacıklardan oluştuğu fikri hala geçerliliğini korumaktadır ve bu yönde araştırmalar devam etmektedir.

Maddenin temel yapı taşlarını bulmaya çalışan modern parçacık fiziğinin tarihi, 1897 yılında elektronu keşfeden J. J. Thomson ile başlamaktadır. Thomson, atomun parçalanabilir olduğunu, elektronun hidrojen iyonundan 2000 kat daha küçük olduğunu göstererek ispatlamıştır. 1911 yılında ise Ernest Rutherford, atom çekirdeğinin küçük ve yoğun olduğunu yaptığı saçılma deneyi ile keşfetmiştir. Bu deneyden elde edilen sonuçlara göre, atomun çok büyük bir kısmı boşluklardan oluşmakta ve merkezinde yoğun bir çekirdek bulunmaktadır. 1913 yılında, atomun merkezinde bir çekirdek olduğunu ve belirli dairesel yörüngelerde etrafında elektronların döndüğünü ispatlayarak yeni bir atom modelini oluşturan bilim insanı Niels Bohr olmuştur. Bu arada çalışmalarına devam eden Rutherford, 1917 yılında atomun çekirdeğinde bulunan protonu keşfetmiştir. Bu keşiften 15 yıl sonra James Chadwick, atomun çekirdeğinde

bulunan ve elektrik yükü olmayan nötronu keşfederek bilinen atom modelini deneysel olarak gözlemlemiştir.

Bilim insanları bu keşiflerden sonra, maddenin daha küçük parçacıklardan oluşup oluşmadığını araştırmak için çalışmalarına devam etmişlerdir. Teknolojinin gelişmesi ve deneysel gözlemlerde kullanılan parçacık hızlandırıcıların ulaşabildiği enerji seviyelerinin artması ile proton ve nötronun iç yapısı araştırılmaya başlanmıştır. Proton ve nötronlar birlikte *nükleon* olarak adlandırılmıştır. Murray Gell-Mann ve George Zweig 1964 yılında, birbirlerinin çalışmalarından bağımsız olarak *kuark* modelini ortaya koymuşlardır. Bu modele göre kuark, noktasal parçacıktır ve nükleonlar kuarklardan meydana gelmektedir.

Bu gelişmelerden sonra, 1970'li yıllarda gözlemlenen maddeyi oluşturan, bulunmuş tüm temel parçacıkları ve etkileşimlerini ifade eden matematiksel bir model oluşturulmuştur. *Standart Model* olarak adlandırılan bu model, maddenin yapı taşlarını açıklayan şu ana kadarki en iyi modeldir. Bilim insanları Standart Model Ötesi çalışmalara devam ederek Standart Model'in henüz cevaplayamadığı sorulara cevap aramaktadır.

Standart Model'in temel parçacıklarından olan üst kuark, hızlandırıcılarda gözlemlenen en büyük kütleli temel parçacıktır. Üst kuarkın kütlesi yaklaşık 175 GeV ve $5 \times 10^{-25} \text{ s}$ 'lik bir ömre sahiptir. Kütesinin bu kadar fazla olmasından dolayı ömrü çok kısadır ve bundan dolayı hadronlaşmadan bozunur. Üst kuarkın bozunma süreci elektrozayıf kuvvet aracılığıyla gerçekleşir ve üst kuarkın bozunma ürünleri üst kuarkın spin bilgilerini korur. Bu durum üst kuark ve davranışlarını gözlemlemek için fırsat sunmaktadır. Üst kuarklar, hadron çarpıştırıcılarında tek ve çift olarak üretilebilir. Üst kuarkın üretim ve bozunum şekilleri, davranışları gibi birçok sonuç Tevatron ve Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (Large Hadron Collider, LHC) deneylerinde gözlemlenmiştir. LHC, Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi'nde (CERN) bulunan dünyanın en büyük çarpıştırıcısıdır. LHC; ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS), CMS (Compact Muon Selenoid), ALICE (A Large Ion Collider Experiment) ve LHCb (Large Hadron Collider beauty) olmak üzere dört algıya sahiptir. Genel amaçlı tasarlanan ATLAS ve CMS algıçları sayesinde üst kuarkla ilgili birçok deneysel gözlem yapılabilmektedir.

Standart Model Ötesi çalışmaları kapsamında Standart Model'e TeV ölçekli birçok uzantı eklenmiştir. Bunlardan bir tanesi de Büyük Birleşim Teorisi ölçeği altında ekstra $U(1)$ ' simetri

grubudur. Bu simetri grubunun ara parçacığı, yani bozon olarak ifade edilen temel parçacığı, spini 1 olan Z' olarak adlandırılan parçacıktır.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmada, $pp \rightarrow t\bar{t}$ sürecinde meydana gelebilecek Z' rezonansının, $t\bar{t}$ çiftinin yarı leptonik bozunum kanalında, Standart Model arka plan süreçlerinden derin öğrenme metotları kullanılarak mümkün mertebe ayırt edilmesi araştırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan enerji ve ışınılık parametreleri, LHC proton-proton çarpıştırıcısındaki değerlere uygun seçilmiştir. Algıç benzetimi için kullanılan parametreler, CMS algıcını yansıtacak şekilde kullanılmıştır.

İkinci bölümde, bu tez çalışmasının genel kısımları verilmiştir. Standart Model, temel parçacıklar ve etkileşimleri, etkileşimlerin kinematik denklemleri, üst kuark, Standart Model'in eksiklikleri, Standart Model Ötesi çalışmalar ve Z' bozonuna yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde, çalışmayı kapsayan teorik bilgilere yer verilmiştir. İlgili sürece ait Feynman diyagramları çizilmiş, öngörülen modelin Lagranjiyen tanımı yapılmıştır. Sinyal ve arka plan süreçlerinden bahsedilmiştir. Algıç benzetimi yaparken kullanılan yöntemler detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, yapay öğrenme tekniği olan derin öğrenme metodu kullanılarak, sinyal ve arka plan sürecinin ayrımı yapılmıştır. Arka plana katkı yapabilecek süreçlerin tesir kesit hesaplamaları yapılmıştır. Kullanılan algıç programlarına girilen değerler ve programdan alınan çıktılar yorumlanmış, değişkenlerin istatistiksel olarak yorumları yapılmıştır. Derin öğrenme metodunda eğitilen örnek ile test edilen örnek sonuçlarından elde edilen grafikler yorumlanmıştır. Sinyal ve arka plan ayrımı için kullanılan yöntemlerin hangisinin daha iyi bir şekilde sinyal ve arka plan ayrımını gerçekleştirdiği grafiklerle gösterilmiş ve yorumlanmıştır.

Beşinci bölümde, sinyal ve arka plan ayrımının gerçekleştirildiği yöntemler kıyaslanarak yöntemlerin verimliliği tartışılmıştır. Standart Model'e ilave edilen $U(1)'$ modelinin öngördüğü Z' bozonunun Yüksek Enerji ve Parçacık Fiziği deneylerinde gözlemlenebilip gözlemlenemeyeceği ortaya koyulmuştur. Elde edilen grafiklerden yola çıkılarak, derin öğrenme metodunda kullanılan yöntemlerin kıyaslaması yapılmış ve yöntemlerin geçerliliği ifade edilmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. STANDART MODEL

Standart Model (SM), temel parçacıkları ve bunların arasındaki etkileşimleri açıklayan, günümüzde oldukça geçerli ve matematiksel olarak iyi bir modeldir. SM, temel parçacıkları noktasal ve bu parçacıkların kuantum özelliklerini alan olarak ifade eden Kuantum Alan Teorisi'ne (KAT) dayalı bir modeldir. KAT, Kuantum Fiziği ve Özel Görelilik Kuramı'nın birleşmesinden meydana gelen, hem alanların hem de parçacıkların ifade edilebildiği, zamanla parçacık sayılarının ve türlerinin değişebildiği bir matematiksel yapıdır.

Temel parçacıklar arasındaki etkileşimler SM'ye göre,

$$G_{SM} = U(1) \times SU(2) \times SU(3) \quad (2.1)$$

ayar simetrisine göre düzenlenmiştir. Burada $U(1)$ elektromanyetik kuvvetin ayar grubu, $SU(2)$ zayıf kuvvetin ayar grubu ve $SU(3)$ güçlü kuvvetin ayar grubudur. SM bu ayar simetrisi üzerine kurulmuş KAT'dır. SM altında isimlendirilmiş 18 temel parçacık vardır. Bu temel parçacıklar spin istatistiğine göre iki gruba ayrılır. Bunlar fermiyonlar ve bozonlardır.

2.1.1. Temel Parçacıklar

2.1.1.1. Fermiyonlar

Fermiyonlar, yarım tam sayı spine sahip Fermi – Dirac istatistiğine uyan temel parçacıklardır. Fermiyonlar Pauli Dışarlama İlkesi'ne uymaktadırlar. Bu ilkeye göre iki özdeş fermiyon aynı kuantum durumunda bulunamazlar. Çünkü bir atomdaki fermiyonların hiçbiri aynı kuantum sayısına aynı anda sahip olamazlar. Fermiyonlar çeşnisine göre leptonlar ve kuarklar olmak üzere ikiye ayrılır.

Leptonlar; elektron (e), müon (μ), tau (τ), elektron nötrinosu (ν_e), müon nötrinosu (ν_μ) ve tau nötrinosu (ν_τ)'dur. Her bir parçacığın karşıt parçacığı vardır ve bir parçacığın karşıt parçacığı, kendisiyle aynı kütle ve spine sahip fakat elektrik yükleri ters işaretlidir. Bu durumda, karşıt leptonlar; pozitron (\bar{e}), karşıt müon ($\bar{\mu}$), karşıt tau ($\bar{\tau}$), karşıt elektron nötrinosu ($\bar{\nu}_e$), karşıt müon nötrinosu ($\bar{\nu}_\mu$) ve karşıt tau nötrinosu ($\bar{\nu}_\tau$)'dur.

Leptonlar üç gruba ayrılır ve her bir gruba nesil denir. Elektron ve elektron nötrinosu birinci nesil, müon ve müon nötrinosu ikinci nesil, tau ve tau nötrinosu üçüncü nesil lepton ailesidir.

Tablo 2.1: Leptonlar.

Nesil	Çeşni	Yük (e)	Kütle (MeV/c^2)
1. Nesil	<i>elektron (e)</i>	-1	0.511
	<i>elektron nötrinosu (ν_e)</i>	0	< 0.002
2. Nesil	<i>müon (μ)</i>	-1	105.658
	<i>müon nötrinosu (ν_μ)</i>	0	< 0.19
3. Nesil	<i>tau (τ)</i>	-1	1776.86
	<i>tau nötrinosu (ν_τ)</i>	0	< 18.2

Kuarklar; yukarı kuark (u), aşağı kuark (d), tılsımlı kuark (c), acayip kuark (s), üst kuark (t) ve alt kuark (b)'tır. Kuarklar evrende tek başlarına bulunamazlar, bunun sebebi kuarkların renk yükü tarafından bir arada tutulmasıdır (Renk Hapsi Teorisi). Karşit kuarklar ise; karşit yukarı kuark (\bar{u}), karşit aşağı kuark (\bar{d}), karşit tılsımlı kuark (\bar{c}), karşit acayip kuark (\bar{s}), karşit üst kuark (\bar{t}) ve karşit alt kuark (\bar{b})'tır.

Kuarklar da leptonlar gibi üç nesildir. Yukarı kuark ve aşağı kuark birinci nesil, tılsımlı kuark ve acayip kuark ikinci nesil, üst kuark ve alt kuark üçüncü nesil kuark ailesidir.

Tablo 2.2: Kuarklar.

Nesil	Çeşni	Yük (e)	Kütle (MeV/c^2)
1. Nesil	<i>yukarı kuark (u)</i>	+ 2/3	$2.2^{+0.6}_{-0.4}$
	<i>aşağı kuark (d)</i>	- 1/3	$4.7^{+0.5}_{-0.4}$
2. Nesil	<i>tılsımlı kuark (c)</i>	+ 2/3	1270 ± 30
	<i>acayip kuark (s)</i>	- 1/3	96^{+8}_{-4}
3. Nesil	<i>üst kuark (t)</i>	+ 2/3	$173210 \pm 510 \pm 720$
	<i>alt kuark (b)</i>	- 1/3	4180^{+40}_{-30}

Kuarklar hadronik maddelerin temel yapı taşlarıdır. Hadronlar, baryonlar ve mezonlar olmak üzere ikiye ayrılır. Baryonlar; üç kuark ya da üç karşıt kuarktan, mezonlar ise bir kuark ve bir karşıt kuarktan meydana gelirler.

2.1.1.2. Bozonlar

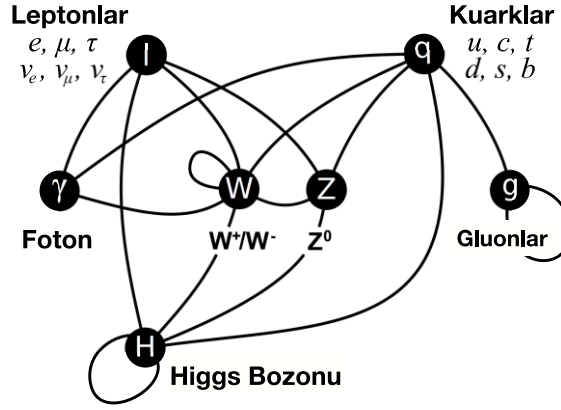
Bozonlar tam sayı spine sahip, Bose – Einstein istatistiğine uyan temel parçacıklardır. Bu istatistiğe uyan parçacıklar ayar bozonları olarak ifade edilmektedir. Ayar bozonları kuvvet taşıdığı için doğadaki temel kuvvetleri mümkün kılan parçacıklardır. Özdeş iki bozon aynı kuantum durumunda bulunabilirler.

Bozonlar; foton (γ), gluon (g), W^+ , W^- , Z^0 ve Higgs (H^0) bozonundan oluşur.

Elektrozayıf simetri kırılmasından kaynaklanan Higgs bozonu, Higgs alanının mümkün olan en küçük uyarılmasıdır ve temel parçacıklara kütle kazandırır. Higgs bozonunun spini 0 ve kütlesi $125.06 \text{ GeV}/c^2$ 'dir.

Tablo 2.3: SM'nin ayar yapısında bulunan etkileşim türleri ile ilgili ayar grubu ve etkileşimlerin kuvvet taşıyıcı ayar alanı ile ona karşılık gelen ayar bozonu.

Ayar Grubu	Kuantum Sayısı	Ayar Alanı	Ayar Bozonu	Yük (e)	Kütle (MeV/c^2)
$SU(3)$	Renk	G_μ^α ($\alpha = 1, 2, \dots, 8$)	g^α ($\alpha = 1, 2, \dots, 8$)	0	0
$SU(2)$	İzospin	W_μ^i ($i = 1, 2, 3$)	w^\pm	± 1	80.420
			Z^0	0	91.190
$U(1)$	Hiperyük	B_μ	γ	0	0



Şekil 2.1: Temel parçacıkların etkileşimleri.

2.1.2. Temel Kuvvetler

Doğada bilinen dört temel kuvvet vardır. Bunlar; elektromanyetik kuvvet (elektromanyetizma), zayıf kuvvet, güçlü kuvvet ve kütleçekim kuvvetidir (gravitasyonel kuvvet).

1. Elektromanyetik Kuvvet (Elektromanyetizma): Elektrik yükü taşıyan parçacıklar arasında gerçekleşir. Bu kuvvet elektrik, manyetizma ve ışığı da kapsayan elektromanyetik radyasyonu açıklar. Ayar grubu $U(1)$ ve ayar bozonu fotondur. Elektron, foton ve elektromanyetizmanın birleştiği kurama *Kuantum Elektrodinamiği (KED)* denir.
2. Zayıf Kuvvet: Bütün leptonlar ve kuarklar zayıf etkileşimde bulunabilir. Bu kuvvet fermiyonların çeşnisini değiştirir. Ayar grubu $SU(2)$ ve ayar bozonları W^+ , W^- ve Z^0 'dir.
3. Güçlü Kuvvet: Hadronları oluşturan kuarkları bir arada tutar. Bu kuvvet sadece kuarklar ve gluonlar arasında bulunabilir. Ayar grubu $SU(3)$ ve ayar bozonu gluondur. Kuarkların, gluonların ve güçlü kuvvetin birleştiği kurama *Kuantum Renk Dinamiği (KRD)* denir.
4. Kütleçekim Kuvveti (Gravitasyonel Kuvvet): SM'ye dahil edilmemiştir. Ayar bozonu gravitondur. Klasik versiyonu Newton'un evrensel kütleçekim teorisi olmakla birlikte relativistik versiyonu ise Einstein'ın genel görelilik teorisidir. 2016 yılında yapılan LIGO Deneyi ile Einstein'ın öngördüğü kütleçekim dalgalarının varlığı tespit edilmiştir.

2.1.1.3. Ayar Teorisi

SM, parçacıkların evrene nüfuz eden alanların uyarılmalarını temsil ettiği KAT kullanılarak matematiksel olarak formüle edilir ve bir sistemin dinamikleri Lagranjiyen formalizmi tarafından tanımlanır [1,2].

Bir sistemin Lagranjiyeni (L), kinetik (T) ve potansiyel (V) enerji arasındaki farktır:

$$L = T - V \quad (2.2)$$

KAT için, Lagranjiyen Alan Yoğunluğunu (\mathcal{L}), L 'nin kendisinden bağımsız düşünmek daha uygundur. \mathcal{L} 'nin genel formu;

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}(\psi, \psi_\mu) \quad (2.3)$$

olarak verilir. Burada,

$$\psi_\mu \equiv \frac{\partial \psi}{\partial x^\mu} \equiv \partial_\mu \psi \quad (2.4)$$

bir veya daha fazla parçacığın izole edilmiş bir sisteminin kuantum durumu, bir dalga fonksiyonu ψ ile tanımlanabilir. Fiziksel gözlemlenebilir maddelerin türetilebileceği bir olasılık genliği olarak yorumlanabilir.

Dalga fonksiyonunun sistemdeki tüm parçacıkları ayrı ayrı tanımlamak yerine sistemdeki tüm parçacıkları tanımladığına dikkat etmek önemlidir. Örneğin; $\psi \equiv \psi(x_1, x_2, \dots)$ burada x_1 ve x_2 ayrı parçacıklardır.

Bozonlar, simetrik dalga fonksiyonlarına sahiptirler. Dalga fonksiyonu iki bozonun değişimi altında aynı kalır. Fermiyonlar, simetrik dalga fonksiyonları veya karşı simetrik dalga fonksiyonları olabilir. Öyle ki iki fermiyonun değişmesi dalganın ters işaretli olmasına neden olur. Bu durum, Denklem (2.5)'de verildiği gibi, Pauli Dışarlama İlkesi'ne göre, iki fermiyonun aynı kuantum halinde bulunamayacağını belirtir.

$$\psi_f(x_a, x_b) = -\psi_f(x_b, x_a) , \quad \psi(x_a, x_a) \quad (2.5)$$

Doğada gözlemlenen simetriler, bir sistemin Lagranjiyen yoğunluğunun, temel dalga fonksiyonları üzerindeki belirli bir dönüşüm kümesi altında değişmez (invariant) olması nedeniyle mevcuttur. Örneğin, ψ bir spinor alanını (Öklid uzayının dönüş yönünü temsil eden bir vektör alanı) temsil ediyorsa, isteğe bağlı bir α fazı eklenebilir;

$$\psi \rightarrow e^{-i\alpha}\psi \quad (2.6)$$

α 'nın uzay-zaman koordinatlarına bağımlılığı yoksa, sistemin Lagranjiyeni her yerde değişmez kalır ve dönüşümün küresel bir simetriye sahip olduğu söylenir. Temel kuvvetlerin doğasını tanımlamak için, bu dönüşümlerin yerel olduğu özel durumu göz önünde bulundurmak gerekir. Bu özel durum, uzay-zaman koordinatına bir bağımlılık içerir. Lagranjiyen yoğunluğunun bu koşullar altında değişmez kalması, ayar dönüşümü ile gerçekleşir. SM, doğal simetrileri yansıtmaları için \mathcal{L} üzerinde ayar dönüşümü uygulanarak oluşturulur. α 'nın uzay-zaman koordinatlarına bağlı olmasına izin verilirse,

$$\psi(x) \rightarrow e^{-i\alpha(x)}\psi(x) \quad (2.7)$$

şeklinde ifade edilir. Açıkçası \mathcal{L} , ∂_μ gibi bazı dönüşümler altında denklemin içine ilave terimler getireceğinden değişmez değildir. Ayar dönüşümü uygulamak için, \mathcal{L} 'nin sabit kalacağı şekilde dönüşüm yapan bir vektör alanı olan A_μ kullanılır:

$$A_\mu \rightarrow A_\mu + \frac{1}{c}\partial_\mu\alpha(x) \quad (2.8)$$

Burada c sabittir. Kovaryant türev,

$$D_\mu = \partial_\mu - icA_\mu \quad (2.9)$$

tanımıyla Lagranjiyen, yerel ayar dönüşümü altında değişmez hale gelir. Bu etkileşim, vektör alanı A_μ ile ifade edilen, ψ taşıyıcı vektörü ile etkileşime giren, kuvvet taşıyan bozonlar olarak yorumlanır. c sabiti, kuvveti yöneten Lagranjiyene bağlıdır ve etkileşimin gücünü gösterir. Bu sabite *bağlanma sabiti* denir [3].

2.1.1.4. Kuantum Elektrodinamiği

KED, foton alışverişi yoluyla etkileşime giren elektrik yüklü parçacıkları içeren tüm olayları matematiksel olarak tarif eden ve madde-ışık etkileşiminin tam bir hesabını veren klasik elektromanyetizmanın kuantum karşılığını temsil eder.

KED abelyan ayar teorisidir ve $U(1)$ simetrisine sahiptir. Yüklü spin 1/2 alanları arasındaki etkileşime aracılık eden ayar alanı, elektromanyetik alandır. Elektromanyetik bir alanla etkileşime giren spin 1/2 alanı için KED Lagranjyeni;

$$\mathcal{L} = \bar{\psi} (i\gamma^\mu D_\mu - m)\psi - \frac{1}{4} F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} \quad (2.10)$$

şeklinde ifade edilir ($\hbar = c = 1$). Burada;

$$F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu \quad (2.11)$$

elektromanyetik alan tensörüdür. Kovaryant türev,

$$D_\mu = \partial_\mu + ieA_\mu + ieB_\mu \quad (2.12)$$

şeklinde ifade edilir. γ^μ , Dirac matrisidir. ψ , spin 1/2 olan parçacıkların alanını ifade eder. $\bar{\psi}$ ise Dirac eşleniği olarak ifade edilir ve $\bar{\psi} = \psi'\gamma^0$ 'dır.

e , spin alanının elektrik yüküne eşit olan bağlanma sabiti, m , elektronun veya pozitronun kütlesidir. A_μ , elektronun kendisi tarafından üretilen elektromanyetik alanın kovaryant 4-potansiyeli, B_μ ise kaynak tarafından kullanılan harici bir alandır.

2.1.1.5. Elektrozayıf Etkileşim

Elektrozayıf etkileşim doğada bilinen iki temel kuvvetin birleşmesinden oluşmuş alan teorisidir. Yapılan çalışmalar sonucunda $10^{-18}m$ gibi küçük mesafelerde zayıf kuvvetin gücünün, elektromanyetik kuvvetinkiyle kıyaslanabilir olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan, bu mesafenin yaklaşık 30 katı yani $3 \times 10^{-17}m$ mesafe düzeyinde, zayıf kuvvetin gücü, elektromanyetik kuvvetininin 1/10000 'ine indiği gözlemlenmiştir.

Bir nötron veya protonu oluşturan kuarkların arasındaki mesafelerde yani $10^{-15} m$ 'de ise bu oranın çok daha küçüldüğü tespit edilmiştir. Sonuç olarak, zayıf ve elektromanyetik kuvvetlerin

gücünün eşit düzeyde olduğu sonucuna varılmıştır. Çünkü bir kuvvetin gücü, taşıyıcı parçacığın kütlesine ve etkileşim mesafesine güçlü bir şekilde bağlıdır. İki kuvvetin güç düzeyleri arasındaki gözlemlenen fark, diğer parçacıklara göre çok ağır olan W ve Z parçacıkları ile bilindiği kadarıyla kütlesi olmayan foton arasındaki kütle farkından kaynaklandığı tespit edilmiştir [4,5]. En sonunda elektromanyetik kuvvet ve zayıf kuvvet birleşik bir elektrozayıf teorisinde birleştirilmiştir. Bu birleşime,

$$G_{EZ} = U(1) \times SU(2) \quad (2.13)$$

ayar grubu altında ulaşılır. $U(1)$ simetrisine sahip Abelyan olan elektromanyetik kuvvet ve $SU(2)$ simetrisine sahip Abelyan olmayan zayıf kuvvetin birleşmesinden meydana gelir. Elektrozayıf etkileşimin Lagranjyeni;

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{EZ} = \sum_{\psi} \bar{\psi} \gamma^{\mu} (i\partial_{\mu} - g' \frac{1}{2} Y_W B_{\mu} - g \frac{1}{2} \vec{\tau}_L \vec{W}_{\mu}) \psi - \frac{1}{4} W_{\alpha}^{\mu\nu} W_{\mu\nu}^{\alpha} \\ - \frac{1}{4} B^{\mu\nu} B_{\mu\nu} \end{aligned} \quad (2.14)$$

şeklinde ifade edilir. Burada; $W^{\alpha\mu\nu}$ ($\alpha = 1,2,3$ olmak üzere) ve $B^{\mu\nu}$, zayıf izospin ve zayıf hiperyük alanları için alan kuvvet tensörleridir. B_{μ} , $U(1)$ ayar alanıdır. Y_W , $U(1)$ grubunun jeneratörü olan zayıf hiper yüküdür. \vec{W}_{μ} , 3-bileşenli $SU(2)$ ayar alanıdır. $\vec{\tau}_L$, Pauli matrisleridir ve $SU(2)$ grubunun sonsuz küçük jeneratörleridir. Burada alt indis L olarak kullanılmasının sebebi, jeneratörlerin sol kiral fermiyonlar üzerinde hareket ettiklerini belirtmek içindir. g' ve g sırasıyla $U(1)$ ve $SU(2)$ bağlanma sabitleridir.

2.1.1.6. Kuantum Renk Dinamiği

KRD, renk yükü olan parçacıkları ve etkileşimlerini açıklayan teoridir. Belirli bir kuarkın üç farklı kuantum durumuna atıfta bulunan renkler (kırmızı, yeşil, mavi) ile isimlendirilmiştir. Pozitif veya negatif değerler ile temsil edilen tek bir özellik olduğu elektrik yükü gibidir. Üç renk yalnızca isimlerdir ve günlük yaşamda görülen renklerle hiçbir ilgisi yoktur. Bunlar sadece belirli bir kuarkın üç farklı kuantum durumunu ayırt etmek için kullanılan renk isimleridir [6].

KRD, grubu $SU(3)$ olan ve Abelyan olmayan bir ayar kuramıdır ve renk yükünün bir yerel korunum yasası oluşturmasıyla elde edilmiştir. KRD Lagranjyeni;

$$\mathcal{L}_{KRD} = \sum_q (\bar{\psi}_{qi} i\gamma^\mu [\delta_{ij} \partial_\mu + ig(G_\mu^\alpha t_\alpha)_{ij}] \psi_{qj} - m_q \bar{\psi}_{qi} \psi_{qi} - \frac{1}{4} G_{\mu\nu}^\alpha G_\alpha^{\mu\nu}) \quad (2.15)$$

şeklinde ifade edilir ($\hbar = c = 1$). Burada;

$$G_\alpha^{\mu\nu} = \partial^\mu G_\alpha^\nu - \partial^\nu G_\alpha^\mu - gf^{\alpha\beta\gamma} G_\beta^\mu G_\gamma^\nu \quad (2.16)$$

alanlar renk tensörüdür. G_α^μ , gluon alanlarının 4-potansiyelini ifade eder ($\alpha = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$). t_α , 3×3 'lük Gell – Mann matrisleri olmak üzere SU(3)'ün renk grubu jeneratörleridir. $f^{\alpha\beta\gamma}$, SU(3) renk grubunun yapı sabitleridir. i temsili renk yükü olmak üzere ψ_i , kuark alanının Dirac spinörüdür. g , renk yüküdür ve

$$g = \sqrt{4\pi\alpha_s} \quad (2.17)$$

ifadesi ile verilir. Burada α_s , güçlü etkileşim sabitini temsil eder.

2.2. ÜST KUARK

2.1.3. Üst Kuarkın Özellikleri

Üst kuark (t), gözlemlenen tüm parçacıkların en yüksek kütleyle sahip olanıdır. Kütlelerini, Higgs bozonuna olan bağlaşımı sayesinde kazanır. Bu bağlaşım, zayıf etkileşimler ölçeğinde ve SM'de en büyük (en güçlü) eşleşmedir.

Üst kuark, spin 1/2 olan bir fermiyondur ve temel kuvvetlerin tamamıyla etkileşime girmektedir. Üst kuark'ın elektrik yükü $+2/3$ ve kütlesi $173.0 \pm 0.4 \text{ GeV}/c^2$ 'dir [7].

Üst kuark, güçlü etkileşimin bozonu olan gluonlarla etkileşime girer ve bu etkileşimler hadron çarpıştırıcılarında üretilir. Bununla birlikte, üst kuark bir kez üretiltiğinde, sadece zayıf kuvvet yoluyla bozunabilmektedir. Üst kuark, en çok bir W bozonuna ve bir alt kuarka (b) bozunmaktadır, nadir durumlarda ise aşağı kuarka da (d) bozunabilmektedir.

Üst kuarkın bozunma genişliği ise $\tau_{top} = 4.67_{0.55}^{0.56} \times 10^{-25} \text{ s}$ olarak bulunmuştur [8]. Büyük kütlelerinden ve buna karşılık gelen kısa ömründen dolayı diğer tüm kuarklardan farklı bir şekilde

davranmaktadır. Bu nedenle, üst kuarkın özellikleri, Standart Model Ötesi (SMÖ) yeni fizik teorileri arasında ayırım yapmak için kapsamlı bir şekilde incelenmektedir.

1977'de Fermilab'da, Leon Lederman ve ekibi tarafından yürütülen E228 deneyi ile alt kuark keşfedilmiştir [9]. Bu keşiften sonra, alt kuarkın bir çifti olması gerektiği ve üçüncü nesil kuark ailesinin tamamlanması gerektiği açıkça görülmüştür ve üst kuark arayışları hız kazanmıştır. Yapılan deneyler ve toplanan veriler sayesinde, 22 Nisan 1994'te Fermilab Çarpıştırıcı Algıç (Collider Detector at Fermilab, CDF) grubu, yaklaşık $175 \text{ GeV}/c^2$ 'lik bir kütleyle sahip bir üst kuarkın varlığına ilişkin bir bildiri sunmuştur. Bir yıl sonra, 2 Mart 1995'te daha fazla veri toplandıktan ve Dzero Deneyi (Dzero Experiment at Fermilab, DØ) grubu verilerini yeniden analiz ettikten sonra, CDF ve DØ grubu üst kuarkın kütesinin $176 \pm 18 \text{ GeV}/c^2$ 'lik bir kütlede olduğunu ortak bir şekilde bildirmiştir [10–12].

Hassas ölçümler ve tekrarlanan deneyler sayesinde bu dolaylı ölçümlerin kesinliği üst kuark kütesinin $145 \text{ GeV}/c^2$ ve $185 \text{ GeV}/c^2$ arasında olmasını öngörmüştür. Üst kuark kütesinin hesaplanmasında yapılan bu hassas ölçümlerin ve tekniklerin geliştirilmesinde en büyük katkıları olan Gerardus't Hooft ve Martinus Veltman'ın 1999 yılında fizik dalında Nobel Ödülü'nü kazanmışlardır.

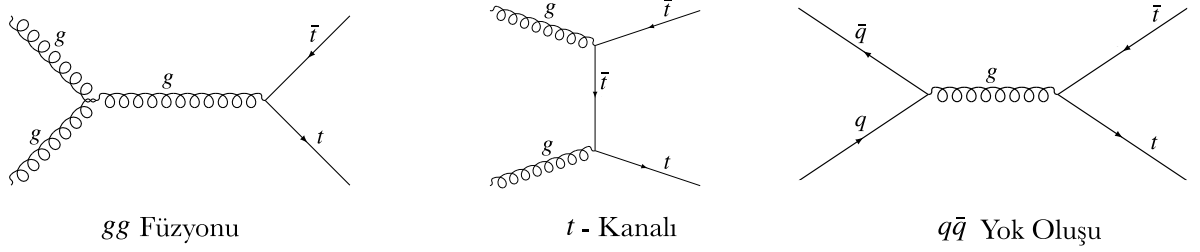
2.1.4. Üst Kuark ve Etkileşimleri

Üst kuarklar çok büyük bir kütleyle sahip olduğu için, bir tane oluşturmak için bile büyük miktarda enerjiye ihtiyaç vardır. Bu kadar yüksek enerjileri elde etmenin tek yolu ise yüksek enerjili çarpışmalardır.

2011 yılında, Tevatron'un faaliyetlerinin sona ermesinden sonra, CERN'deki LHC, 7 TeV'lik bir kütle merkezinin enerjisiyle üst kuarkları üretmek için yeterli enerjiye sahip tek hızlandırıcı olmuştur. Bu sayede üst kuark üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Üst kuarkların üretimine yol açabilecek çok sayıda işlem vardır ve bu işlemler kavramsal olarak ikiye ayrılabilir. Bunlar; üst kuark çiftlenimi ve tekli üst kuark oluşumudur.

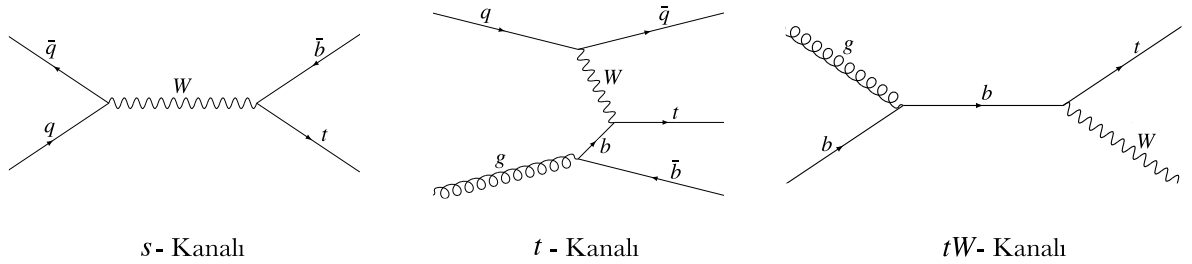
Üst kuark çiftlenimi ($t\bar{t}$); en yaygın olan üretim çeşididir. Güçlü etkileşimler yoluyla $t\bar{t}$ çifti elde edilebilmektedir. Bir çarpışmada, son derece enerjik gluonlar oluşur ve bu gluonlar, bir üst kuark ve bir üst karşıt kuarka dönüşür. Bu durum, Tevatron'da gözlemlenen ve üst kuarkın

keşfedilmesini sağlayan süreçtir [13]. Ayrıca bir ara foton veya Z bozonun bozunması yoluyla $t\bar{t}$ çiftleri üretmek de mümkündür.



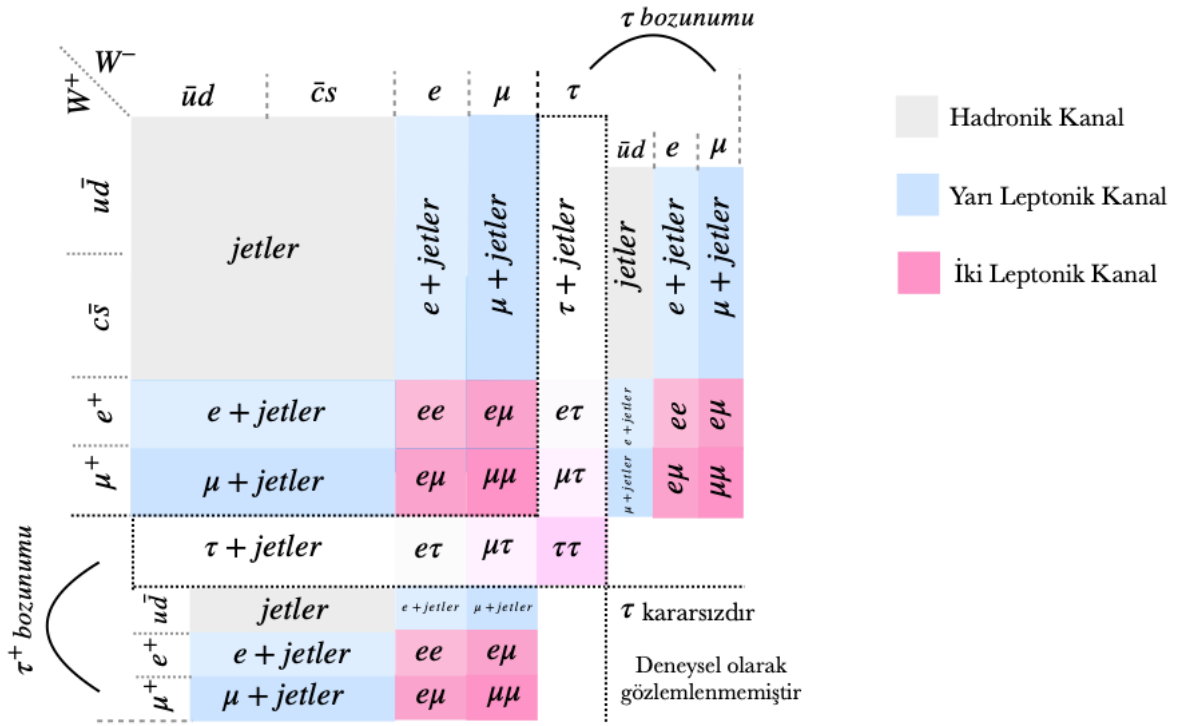
Şekil 2.2: Üst kuarkın, üst kuark çiftlenim üretimi ile hadron çarpıştırıcılarındaki ana üretim kanallarını gösteren Feynman diyagramları.

Tekli üst kuark oluşumu; zayıf etkileşimle üretilen üst kuark üretim çeşididir. Bu üretim farklı şekillerde gerçekleşebilir ve bu gerçekleşme şekillerine kanallar denir. Bir W bozonu, bir üst kuark ve bir karşıt alt kuarka bozunabilir ve bu üretim kanalı “s – kanalı” olarak isimlendirilir. Bir alt kuark, yukarı kuark veya aşağı kuark ile bir W bozonu değiştirerek bir üst kuarka dönüşür ve bu üretim kanalı “t – kanalı” olarak isimlendirilir. Başlangıç durumundaki kuark, bir alt kuark ve W bozonu ile birlikte tek bir üst kuark üretebilir ve bu üretim kanalı da “tW – kanalı” olarak isimlendirilir. Bu süreçlere ilişkin sonuçlar, 2006 yılında DØ, 2009 yılında CDF ve DØ ortaklığı ile deneysel gözlemlerle kesin olarak kanıtlanmıştır [13–15].



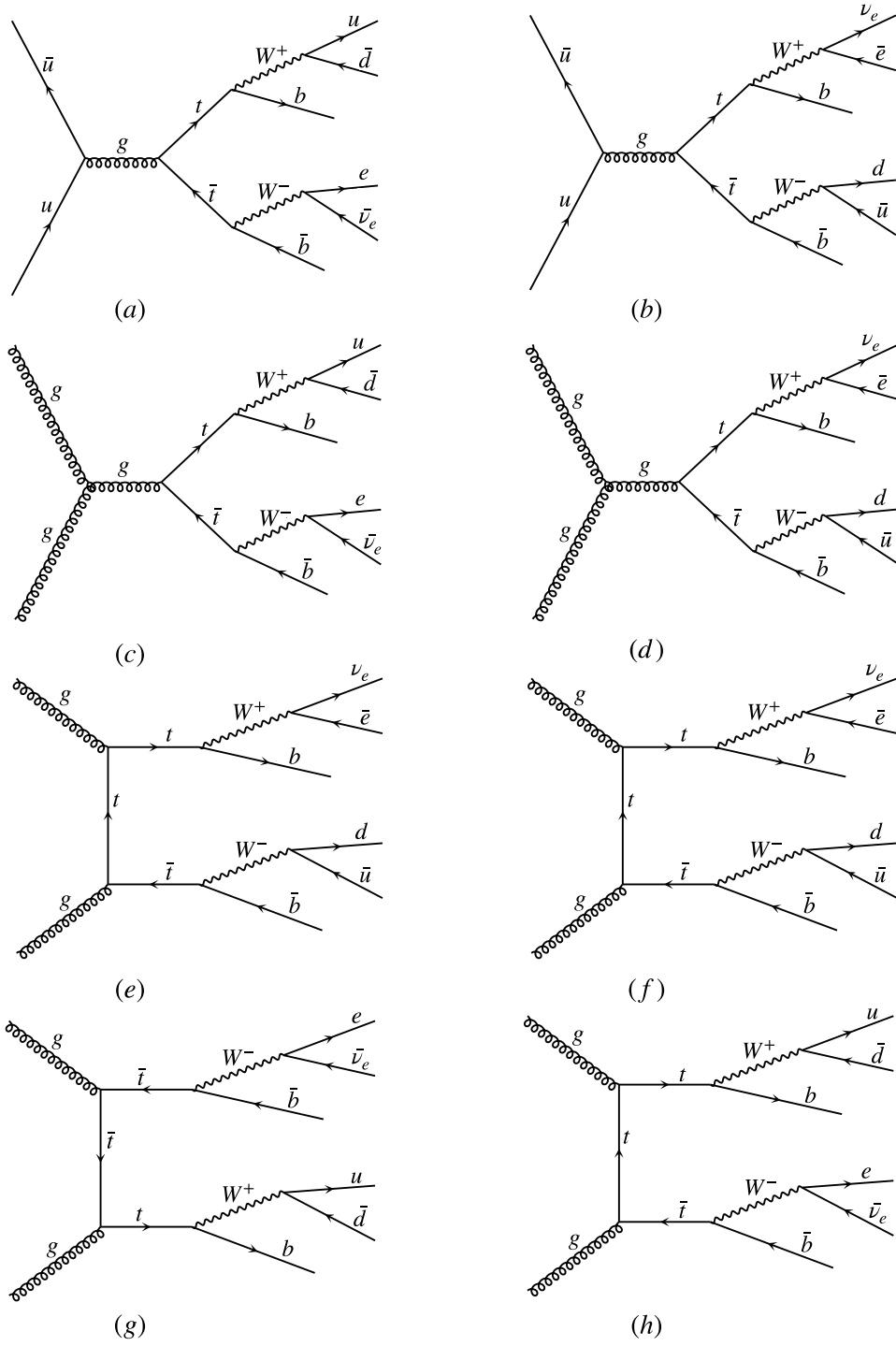
Şekil 2.3: Üst kuarkın, tek üst kuark üretimi ile hadron çarpıştırıcılarındaki ana üretim kanallarını gösteren Feynman diyagramları.

Çok büyük bir kütleyle sahip olmasından dolayı üst kuark, yaklaşık 5×10^{-25} s’lik bir kısa bir ömüre sahiptir. Bundan dolayı, üst kuarkların, diğer kuarkların yaptığı gibi hadronik maddeleri oluşturmak için bozunmadan önce zamanları yoktur. Bu durum, üst kuarkın davranışını gözlemlemek için fırsat sunmaktadır. SM’yi test etmek ve SMÖ arayışı için aranan ortamı sağlayan bir kuarktır [16,17].



Şekil 2.4: Bir üst kuark çiftinin bozunmasının olası tüm son durumları.

Şekil 2.4'te gösterilen kanal çeşitleri, $t\bar{t}$ çiftlenim sonucu W^+ ve W^- bozonlarının Feynman diyagramlarında nasıl yol aldıklarını ifade etmektedir. Hadronik kanal; W^+ ve W^- bozonlarının Feynman diyagramında tamamen kuarklara gitmesini, yarı leptonik kanal; bir tane W bozonunun Feynman diyagramında leptonlara gitmesini, iki leptonik kanal ise W^+ ve W^- bozonlarının Feynman diyagramında tamamen leptonlara gitmesini ifade eder.



Şekil 2.5: $pp \rightarrow t\bar{t}$ yarı leptonik bozunumlarının Feynman diyagramları.

$t\bar{t}$ çiftinin yarı leptonik bozunumlarını gösteren Feynman diyagramları Şekil 2.5’de verilmiştir. Diyagramlara ait süreçler sırasıyla aşağıdaki gibidir;

(a) diyagramında ki süreç: $u + \bar{u} \rightarrow g \rightarrow t + \bar{t}$ olmak üzere; $t \rightarrow W^+ + b$, $W^+ \rightarrow u + \bar{d}$ ve $\bar{t} \rightarrow W^- + \bar{b}$, $W^- \rightarrow e + \bar{\nu}_l$ şeklindedir.

(b) diyagramında ki süreç: $u + \bar{u} \rightarrow g \rightarrow t + \bar{t}$ olmak üzere; $t \rightarrow W^+ + b$, $W^+ \rightarrow \bar{e} + \nu_e$ ve $\bar{t} \rightarrow W^- + \bar{b}$, $W^- \rightarrow d + \bar{u}$ şeklindedir.

(c) diyagramında ki süreç: $g + g \rightarrow g \rightarrow t + \bar{t}$ olmak üzere, $t \rightarrow W^+ + b$, $W^+ \rightarrow \bar{e} + \nu_e$ ve $\bar{t} \rightarrow W^- + \bar{b}$, $W^- \rightarrow d + \bar{u}$ şeklindedir.

(d) diyagramında ki süreç: $g + g \rightarrow g \rightarrow t + \bar{t}$ olmak üzere, $t \rightarrow W^+ + b$, $W^+ \rightarrow u + \bar{d}$ ve $\bar{t} \rightarrow W^- + \bar{b}$, $W^- \rightarrow e + \bar{\nu}_e$ şeklindedir.

(e) diyagramında ki süreç: $g + g \rightarrow t + \bar{t}$ olmak üzere, $\bar{t} \rightarrow W^- + \bar{b}$, $W^- \rightarrow e + \bar{\nu}_e$ ve $t \rightarrow W^+ + b$, $W^+ \rightarrow u + \bar{d}$ şeklindedir.

(f) diyagramında ki süreç: $g + g \rightarrow t + \bar{t}$ olmak üzere, $t \rightarrow W^+ + b$, $W^+ \rightarrow u + \bar{d}$ ve $\bar{t} \rightarrow W^- + \bar{b}$, $W^- \rightarrow e + \bar{\nu}_e$ şeklindedir.

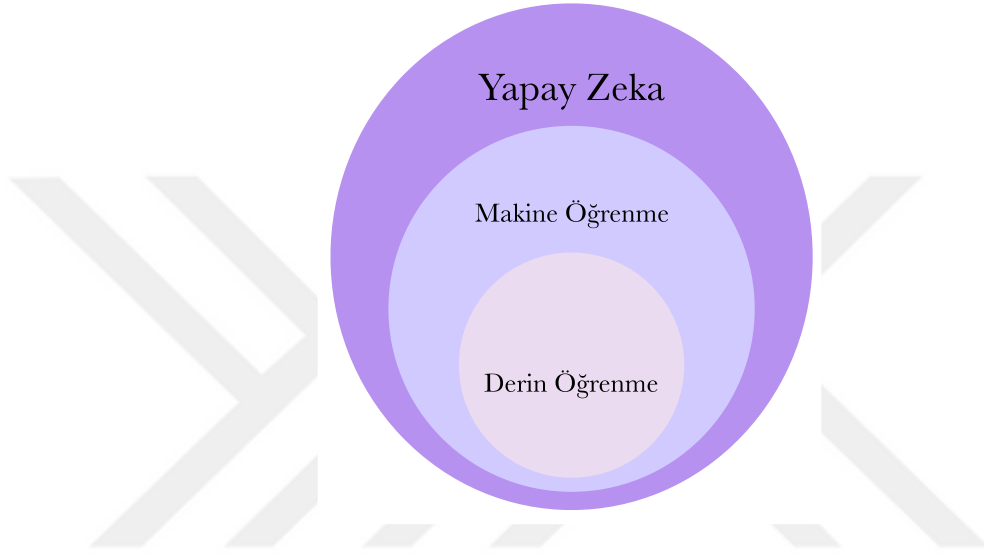
(g) diyagramında ki süreç: $g + g \rightarrow t + \bar{t}$ olmak üzere; $\bar{t} \rightarrow W^- + \bar{b}$, $W^- \rightarrow d + \bar{u}$ ve $t \rightarrow W^+ + b$, $W^+ \rightarrow \bar{e} + \nu_e$ şeklindedir.

(h) diyagramında ki süreç: $g + g \rightarrow t + \bar{t}$ olmak üzere; $t \rightarrow W^+ + b$, $W^+ \rightarrow \bar{e} + \nu_e$ ve $\bar{t} \rightarrow W^- + \bar{b}$, $W^- \rightarrow d + \bar{u}$ şeklindedir.

2.3. DERİN ÖĞRENME METODU

Mekanik olarak akıl yürütme çalışmaları antik çağda matematikçiler ve felsefecilerle başlamıştır. Modern metotların geliştirilmeleri her ne kadar yeni olarak görülse de temelleri milattan önceki fikirlerle ve çalışmalarla ortaya çıkmıştır. 1943 yılında Alan Turing’in “Makineler Düşünebilir mi?” sorusuyla birlikte, bir makinenin “1” ve “0” kadar basit sembolleri karıştırarak, düşünülebilecek herhangi bir matematiksel çıkarım eylemini simülasyon olarak elde edebileceği öne sürülmüştür [18].

Bu fikir sayesinde yapay zeka kavramı ortaya çıkmış ve temeli atılmıştır. Yapay zeka, insan zekasını gerektiren işleri yapabilen, akıllı makineler oluşturmakla ilgilenen, geniş kapsamlı yazılımsal ve donanımsal sistemler bütünüdür. Yapay zeka, birden fazla yaklaşıma sahip disiplinler arası bir bilimdir. Yapay zekayı oluşturan ve alt kümeleri olarak bilinen birçok metot vardır. Makine öğrenme ve derin öğrenme metotları en çok kullanılan yapay zeka metotlarından bazılarıdır.



Şekil 2.6: Yapay zeka Venn şeması.

Makine öğrenme, bilgisayar sistemlerinin açık talimatlar kullanmadan belirli bir görevi yerine getirmek için kullandığı algoritmaların ve istatistiksel modellerin bilimsel bir çalışmasıdır. Yapay zekanın bir alt kümesidir. Makine öğrenmesi algoritmaları, görevi gerçekleştirmek üzere açıkça programlanmadan öngörülerde veya kararlarda bulunmak için “eğitim verisi” olarak bilinen örnek verilere dayanan matematiksel bir model oluşturur [19].

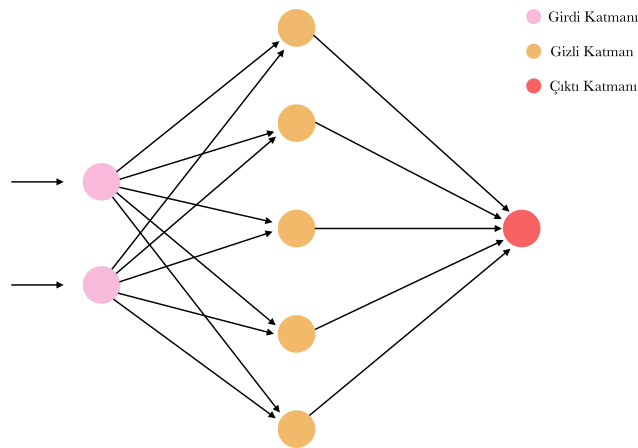
Makine öğrenme, bilgisayarları kullanarak öngörülerde bulunmaya odaklanan hesaplama istatistikleriyle ilgilenmektedir. Matematiksel optimizasyon çalışması, makine öğrenme alanına yöntemler, teori ve uygulama alanları sunar. Veri madenciliği, makine öğrenme içindeki bir çalışma alanıdır ve denetimsiz öğrenme yoluyla keşifsel veri analizine odaklanmaktadır [20,21].

Yapay zekanın diğer bir alt kümesi ve makine öğrenmenin yeni bir kolu olan metot derin öğrenme metodudur. Derin öğrenme metodu, işlemek ve düşünme sürecini taklit etmek veya

soyutlamalar geliştirmek için algoritmalar kullanan bilimsel bir çalışmadır. Makine öğrenme, kişinin sunduğu veriler ve parametreler ile benzetimler yaparak, kişiden daha iyi tespitlerde bulunan ve kendi kendini eğitebilen bir sistemdir. Derin öğrenme ise tek bir katmanda değil, birçok katmanda makine öğrenmede kullanılan hesapları tek bir seferde yapan, makine öğrenmede tanımlanması gereken parametreleri kendi keşfeden ve belki de daha iyi parametreler ile değerlendirmelerde bulunabilen bir sistemdir.

Derin öğrenme, yapay sinir ağları kavramına veya insan beyninin çalışma şeklini taklit eden hesaplama sistemlerine dayanmaktadır. Derin öğrenme algoritmaları, karmaşık soyutlamaların (özelliğlerin) yüksek soyutlama seviyelerinde otomatik olarak çıkarılmasına yönelik bir araştırma yoludur. Bu tür algoritmalar, daha yüksek seviyeli (daha soyut) özelliklerin düşük seviyeli (daha az soyut) özellikler olarak tanımlandığı, öğrenmenin ve verilerin temsil edilmesinin katmanlı, hiyerarşık bir mimarisini geliştirir. Derin öğrenme algoritmalarının hiyerarşık öğrenme mimarisi, insan beynindeki neokorteksin birincil duyuusal alanlarının derin, katmanlı öğrenme sürecini temel alan yapay zeka ile altta yatan verilerden otomatik olarak özellikler ve soyutlamalar çıkarmaktadır [22–24].

Daha basit bir ifadeyle, sinir ağının etiketlenmemiş verileri kullandığı ve yinelenen desenleri aradığı “denetlenen” öğrenme yani sinir ağının etiketli veriler kullanılarak eğitildiği veya “denetlenmeyen” öğrenmeyi kullanmaktadır. Her seviyedeki nöronlar en olası tahminlerini yapar ve daha sonra bu bilgiyi nihai sonuca kadar bir sonraki seviyeye iletir.



şekil 2.7: Basitleştirilmiş bir sinir ağı modeli.

Derin öğrenmenin tarihi, 1943 yılında Warren McCulloch ve Walter Pitts'in sinir ağları için eşik mantığı adı verilen matematik ve algoritmalara dayanan hesaplamalı bir model oluşturmasıyla başlamıştır [25]. 1950 yılında Alan Turing tarafından, bir makinenin zeki olup olmadığını belirlemek için kullanılan bir yöntem olan Turing Testi'ni önerdiği "Bilişim Makinaları ve İstihbarat" yayınlanmıştır [26]. Aynı yıl Harvard Üniversitesi, Marvin Minsky ve Dean Edmonds'un ilk nöral ağ bilgisayarı olan SNARC'ı inşa etmesini sağlamıştır. 1957 yılında Frank Rosenblatt, basit toplama ve çıkarma işlemini kullanarak iki katmanlı bir bilgisayar sinir ağını temel alan örüntü tanıma algoritması olan algılayıcıyı oluşturmuştur. Yaptığı çalışma Derin Sinir Ağlarının (Deep Neural Network, DNN) temeli olarak kabul edilmiştir [27].

1965 yılında Alexey Ivakhnenko ve V.G. Lapa, derin öğrenme algoritmalarını geliştirmeye yönelik "Sibernetik Tahmin Araçları" isimli çalışmalarında, karmaşık denklemlerin aktivasyon fonksiyonlarına sahip modelleri kullanmıştır [28].

Ivakhnenko, modellerin tamamen otomatik yapısal ve parametrik optimizasyonunu içeren çok parametrelili veri setlerinin bilgisayar tabanlı matematiksel modellemesi için endüktif algoritmalar ailesi olarak tanımlanan Grup Veri İşleme Yöntemini (GMDH) geliştirerek sinir ağlarına uygulamıştır. 1971'de GMDH'yi kullanarak Ivakhnenko, 8 katmanlı derin bir ağ kurmayı başarmış ve öğrenme sürecini Alpha adlı bir bilgisayar tanımlama sisteminde başarıyla göstermiştir [29].

1980 yılında Kunihiko Fukushima, en iyi görsel kalıpları nasıl tanıyacağını öğrenen ve diğer örüntü tanıma sorunları için kullanılan hiyerarşik, çok katmanlı bir yapay sinir ağı olan Neocognitron'u önermiştir [30]. Minimum miktarda ön işleme kullanmak için tasarlanmış çok katmanlı algılayıcıların varyasyonlarını oluşturmuştur.

1982 yılında John Hopfield, adını taşıyan Hopfield Ağı sistemini oluşturmuştur. Hopfield ağı, içerik adreslenebilir bir bellek sistemi olarak hizmet veren tekrarlayan bir sinir ağıdır ve günümüzde halen kullanılmaktadır [31]. 1985 yılında Geoffrey Hinton ve Terry Sejnowski tarafından, Hopfield ağının bir Monte Carlo versiyonu olarak Boltzmann Makinesi icat edilmiştir. Boltzmann makineleri, Hopfield ağlarının üretken eşi olarak görülebilir. İç temsilleri öğrenebilen ve sinirsel güçlükteki problemleri temsil edip, yeterli zamanda sonuç verebilen ilk

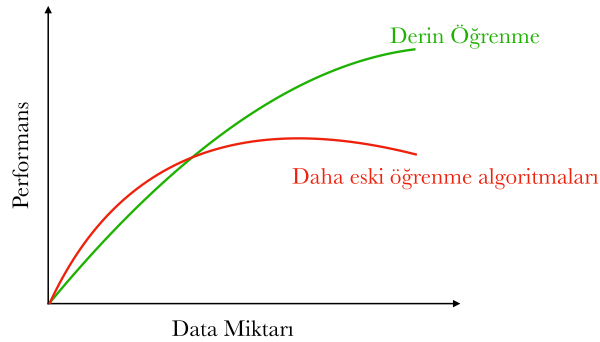
sinir ağlarından biridir. Boltzmann makinesi, genel ağ için tanımlanan enerjili birimler ağıdır ve bu yüzden “enerji bazlı modeller” olarak adlandırılmaktadır [32].

1992 yılında Juyang Weng ve çalışma arkadaşları, bir insan beyninin monolitik bir 3-boyutlu nesne modeli kullanmadığını ileri sürmüşler ve darmadağın sahnelerde 3-boyutlu nesne tanıma gerçekleştirmek için bir yöntem olan Cresceptron'u yayınlamışlardır [33–35].

1993 yılında Alman bilgisayar bilimcisi Jürgen Schmidhuber, tekrarlayan sinir ağlarında 1000'den fazla katman gerektiren “çok derin bir öğrenme” sorununu çözmüştür [36].

2007 yılında ise derin öğrenme terimi, Geoffrey Hinton ve Ruslan Salakhutdinov’un birden fazla temsil katmanını öğrenme ile ilgili yazdığı makaleden sonra popüleritesini arttırmaya başlamıştır [37].

2009 yılında, Stanford Üniversitesi’nde Yapay Zeka Laboratuvarı profesörü ve başkanı olan Fei-Fei Li, ImageNet’i başlatmıştır. 2017 itibariyle araştırmacılar, eğitimciler ve öğrenciler için 14 milyondan fazla etiketli görüntü içeren çok büyük ve ücretsiz bir veri tabanı olmuştur. Etiketli veriler, denetimli öğrenmede sinir ağlarını eğitmek için gereklidir. 2016 yılında ise Google’ın AlphaGo programı, üst düzey bir uluslararası Go oyuncusu olan Koreli Lee Sedol’ü yenmiştir. DeepMind tarafından geliştirilen AlphaGo, makine öğrenme ve ağaç arama tekniklerini kullanmaktadır. Aynı yıl, Microsoft’un XC50 Süper bilgisayarlarında 1000 Nvidia Tesla P100 grafik işlem birimi ile nöral ağ yazılımı kullanılarak, günler yerine sadece saatler harcanarak veri üzerinde derin öğrenme görevleri gerçekleştirilebilmiştir.



Şekil 2.8: Derin öğrenme metodunun eski öğrenme algoritmalarına göre oran grafiği.

Şekil 2.8’de görüldüğü gibi, yeni fikirlerin ortaya çıkışı, çok büyük miktarda veriler, bu verilerin hızlı bir şekilde hesaplanması ve eğitilmesi, eğitmek için güçlü hesaplama kaynaklarının ortaya çıkması ile birlikte derin öğrenme metodunun kullanılması ve derin öğrenme metodundaki gelişim hızlı bir şekilde artmaktadır. Yapay zeka ile başlayan öğrenme ve yorumlama algoritmaları, makine öğrenme ve derin öğrenme ile devam etmektedir.

Bu tez çalışmasında, derin öğrenme metodu kullanılarak arka plan ve sinyal süreçleri ayırt edilmiştir. Yapılan çalışma Bölüm 3.1.2’de detaylandırılmıştır.

2.4. STANDART MODELİN EKSİKLİKLERİ VE STANDART MODEL ÖTESİ

SM, parçacık fiziğinin bugüne kadar ki en başarılı teorisi olmasına rağmen mükemmel değildir. Doğada, SM’nin yeterince açıklayamadığı temel fiziksel olaylar vardır.

SM’nin en önemli eksikliklerinden birisi, kütleçekim kuvvetinin bu modelde yer almamasıdır. Kütleçekim kuvvetine, kütle spin 2 parçacığı olan graviton tarafından aracılık edilir. SM Lagranjyeni, graviton için ne kinetik bir terim ne de bir etkileşim terimi içerir ve bu nedenle SM’de bu kuvvet tanımlanmaz. Bazı yerçekimi etkilerini içerecek şekilde değişiklikler olabilir ancak SM’nin spektrumu gravitonu içermez.

Kozmolojik gözlemler SM’nin evrendeki maddenin yaklaşık %5’ini açıkladığını söylemektedir. Evren büyük patlamadan bu yana genişlemektedir. Son yıllarda yapılan gözlemler evrenin genişleme hızının artmakta olduğunu göstermektedir. Kütleçekim kuvvetinin maddeyi birbirine doğru çekmesinin pozitif bir basınca neden olduğu düşünülürse, evrenin genişlemesi ile artan karanlık enerji miktarının negatif bir basınca sebep olması gerekir. Yani karanlık enerjinin varlığı, evrenin genişleme hızının artmasına neden olan itici bir kuvvetin kaynağıdır. Bu enerjinin, evrenin %68’ini oluşturduğu ileri sürülmüştür. Karanlık madde ise astrofizikte elektromanyetik dalgalarla etkileşime girmeyen, varlığı yalnız diğer maddeler üzerindeki kütle çekimsel etkisi ile belirlenebilen maddelerdir. Yapılan araştırmalara göre evrenin kütlelerinin %27’sinin karanlık madde ile dolu olduğu ileri sürülmüştür. Fakat ne karanlık madde ne de karanlık enerji SM tarafından herhangi bir parçacıkla ya da kinematik denklemlerle ifade edilememiştir [38].

SM'ye göre evrenin başlangıçtaki koşulları madde ve karşıt madde arasında bir orantısızlık içermiyorsa, madde ve karşıt maddenin neredeyse eşit miktarda oluştuğunu öngörür. Fakat SM bu asimetriyi açıklamak için yeterli bir işleyiş sunamamıştır.

SM'ye göre nötrinolar kütesiz parçacıklardır. Bununla birlikte, nötrino salınım deneyleri nötrinoların çok küçükte olsa bir kütleyle sahip olduğunu göstermiştir. Nötrinolar için kütle terimleri SM'ye elle eklenebilir ancak bunlar teorik olarak yeni problemlere yol açar. Bu nedenden dolayı, SM nötrinoların sahip olduğu kütle hakkında bir açıklama yapamamaktadır.

Bu problemlerin yanı sıra, fermiyonlar arasında ciddi bir kütle farklılığının olması, kütleçekim kuvveti ile elektromanyetik kuvvet arasında çok büyük bir mertebe farkının olması ($\approx 10^{40}$), CP simetri kırılması, lepton ve kuark aile sayılarının birbirlerine neden eşit oldukları ve farklı ailelerin kütlelerinin birbirinden neden farklı olduğu gibi problemlerin cevabı SM'de bulunamamaktadır.

SM'nin cevap veremediği problemlerden dolayı bilim insanları SMÖ çalışmaları yapmaktadır. SMÖ çalışmalarında bu problemleri çözmek için yüksek enerjilerde geçerli olacak ve düşük enerjilerde SM'ye dönüşebilecek yeni modeller oluşturmuşlardır. Süpersimetri, Büyük Birleşik Teoriler (BBT), Sicim Teorisi, Teknikolor, Ek Boyutlar gibi çalışmalar ile SMÖ'de yeni fizik arayışları yapılmaktadır.

2.5. Z' BOZONU

SMÖ çalışma alanlarından olan; BBT, ek boyutlar ve egzotik parçacıklar gibi SM'nin açıklayamadığı problemleri cevaplandırmak için kullanılan yöntemlerden birisi, SM'ye ilave edilen ayar simetrileridir. İlave edilen bu simetriler ile SM'nin cevaplayamadığı problemlerin çözümleri aranmaktadır. SM'ye en iyi motive edilmiş ilavelerden bir tanesi $U(1)'$ ayar simetrisidir.

$U(1)'$ ayar simetrisi, alternatif elektrozayıf ayar teorileri için örnek oluşturmaktadır. $U(1)'$ simetrisinin varlığı, SMÖ çalışmalarında $SU(5)$ ayar grubundan daha büyük olan $SO(10)$ ve E_6 gibi BBT modellerinin geliştirilmesi sayesinde ortaya çıkmıştır [39]. Bundan dolayı 4-boyutlu teorilerde,

$$G_{SM} \times U(1)'^n \quad (2.18)$$

şeklinde modeller oluşturularak ($n \geq 1$), genişletilmiş SM ayar simetrisi ifade edilebilmektedir. Elektrozayıf ayar teorisinin simetri grubu,

$$G_{EZ} = SU(2) \times U(1) \quad (2.19)$$

ile ifade edilir. Bu simetri grubuna ilave olarak $U(1)'$ ayar simetrisi eklenirse, elektrozayıf ayar simetri grubu,

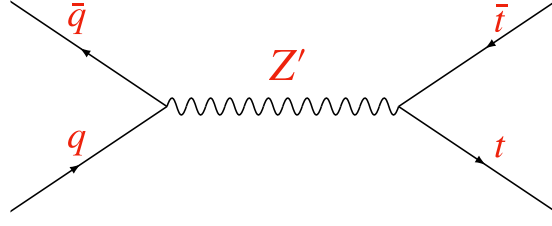
$$G_{EZ} = SU(2) \times U(1) \times U(1)' \quad (2.20)$$

olarak ifade edilir. Eklenen yeni ayar simetrisi ile SM elektrozayıf ayar simetri grubu genişletilmiş olur. $U(1)'$ ayar simetrisinin bozonu ise spini 1 olan Z' vektör bozonudur.

W ve Z bozonlarının SM'de üretimi, Higgs mekanizmasının elektrozayıf simetriyi kırmasından ve kütesini bu bozonlara aktararak, onları kütleli hale getirmesi ile gerçekleşir. Elektrozayıf simetri kırılmasına paralel olarak, $U(1)'$ simetrisinin kırılması da gerçekleşir. $U(1)'$ simetrisinin kırılmasından dolayı Z' bozonu kütleli hale gelir. Genel olarak BBT modelleri için Z' bozonunun kütlesi 10^8 ile 10^{16} GeV aralığındadır [39].

$U(1)'$ simetrisinin kırılmasının düz bir yön boyunca gerçekleşmesinden dolayı, LHC'de süpersimetrisinin varlığı gözlemlenebilirse, BBT'nin uyardığı Z' bozonunun da gözlemlenebilir ölçekte bir kütleyle sahip olması beklenmektedir. SM'ye ilave edilen ayar simetrilerinin, sol elle ya da sağ elle çışni değiştiren akımlarını ifade eden TeV skalasına sahip W' bozonlarını da içerebilir [39].

Fakat bu tez çalışmasında odak noktası, $U(1)'$ simetrisine sahip Z' bozonunun gözlemlenmesine ilişkin olarak $t\bar{t}$ yarı leptonik kanalına bozunumu olmuştur. Çalışma kapsamında, Z' bozonunun kütlesi 3000 GeV alınmıştır. Proton – proton çarpışması sonucunda $t\bar{t}$ bozunum kanalında meydana gelen Z' bozonunun ana üretim Feynman diyagramı Şekil 2.9'daki gibidir.



Şekil 2.9: $pp \rightarrow Z' \rightarrow t\bar{t}$ kanalındaki ana üretim Feynman diyagramı.

Yapılan çalışmalar sonucunda, Z' vektör bozonunun keşfi heyecan verici olabilir fakat keşif sonuçları, parçacık fiziği ve kozmoloji için yeni bir vektör bozonunun varlığından çok daha büyük sonuçlar doğurabilir. $U(1)'$ simetrisinin eklenmesiyle genişletilmiş SM simetrisi, genişletilmiş bir Higgs sektörünü ve egzotik parçacıkların varlığını gerektirecektir. Genişletilmiş bu sektörler, Minimal Süpersimetrik Standart Model'in ayar çiftlerinin birleştirilmesini değiştirebilir veya koruyabilir [39,40].

Bu tez çalışmasında, $U(1)'$ simetrisine sahip Z' bozonunun gözlemlenmesine ilişkin olarak $t\bar{t}$ yarı leptonik kanalına bozonumu incelenmiştir. $U(1)'$ etkileşimleri, süpersimetri kırılması veya aracı olarak rol oynayan gizli bir sektöre eş olabilir. $U(1)'$ simetrisinin kırılması, Z' bozonunun bozunması, nötrino kütlesi için teorik olasılıkları önemli ölçüde değiştirebilir. Ağır bir Z' bozonunun gözlemlenebilmesi, egzotik parçacıklar ve süper eşler için faydalı bir üretim mekanizması olabilir [39].

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. ÜST KUARK – KARŞIT ÜST KUARK KANALINDA Z' BOZONUNUN ETKİLEŞİMLERİ

SM'ye yapılan birçok eklenti, özellikle üst kuark olmak üzere bağlaşım sabitleri üçüncü nesil kuarklarla daha fazla olan ayar etkileşimlerini öngörmektedir [41–48].

İlgili skaler parçacıkların üretimi ya da üst kuark çiftlerine ($t\bar{t}$) ve tespit edilemeyen parçacıklara bozunan skaler üst kuarkların süpersimetrik üretimi, aynı zamanda rezonanslar olmadan değişmeyen $t\bar{t}$ kütle dağılımının bozulmasına neden olabilir [41].

Bu tez çalışmasında, pp çarpışmasından meydana gelebilecek Z' ayar bozonunun $t\bar{t}$ yarı leptonik bozunum kanalında incelenerek, SM arka plan süreçlerinden mümkün mertebe ayırt edilmesi ile ilgili çalışmaların sonuçlarını sunulmuştur. Bu ayırım ne kadar iyi olursa sinyal öneminin değeri o kadar artacaktır.

Bir sinyalin önemi şu şekilde ifade edilebilir;

$$S = \frac{N_S}{\sqrt{N_S + N_B}} \quad (3.1)$$

Burada S , sinyal önemi, N_S , sinyal olaylarının sayısı ve N_B , SM arka plan olaylarının sayısıdır.

$$N_S = \sigma_S L_{int} \varepsilon_S \quad (3.2)$$

Burada, σ_S , dallanma oranı¹ ile çarpılmış sinyal tesir kesiti, L_{int} , toplam ışınlılık ve ε_S , SM sinyal akseptansısıdır.

$$N_B = \sigma_B L_{int} \varepsilon_B \quad (3.3)$$

Burada, σ_B , dallanma oranı ile çarpılmış arka plan tesir kesiti, L_{int} , toplam ışınlılık ve ε_B , SM arka plan akseptansısıdır. Dolayısıyla Denklem (3.1) şu şekilde de yazılabilir,

¹Bir parçacığın tüm bozunum kanalları arasından, belirli bir bozunumun gerçekleşme olasılığına dallanma oranı denir.

$$S = \frac{\sigma_S L_{int} \varepsilon_S}{\sqrt{\sigma_S L_{int} \varepsilon_S + \sigma_B L_{int} \varepsilon_B}} \quad (3.4)$$

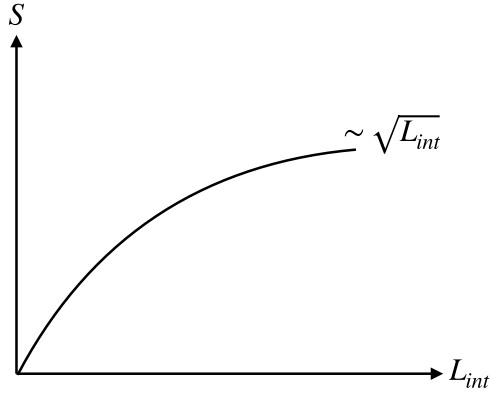
şeklini alır. Bu durumda,

$$S = \frac{\sigma_S \varepsilon_S \sqrt{L_{int}}}{\sqrt{\sigma_S \varepsilon_S + \sigma_B \varepsilon_B}} \quad (3.5)$$

olur. Sinyal önemini maksimize etmek için $\varepsilon_S \gg \varepsilon_B$ olmalıdır. Bu durumda S , yaklaşık olarak şu şekilde ifade edilir,

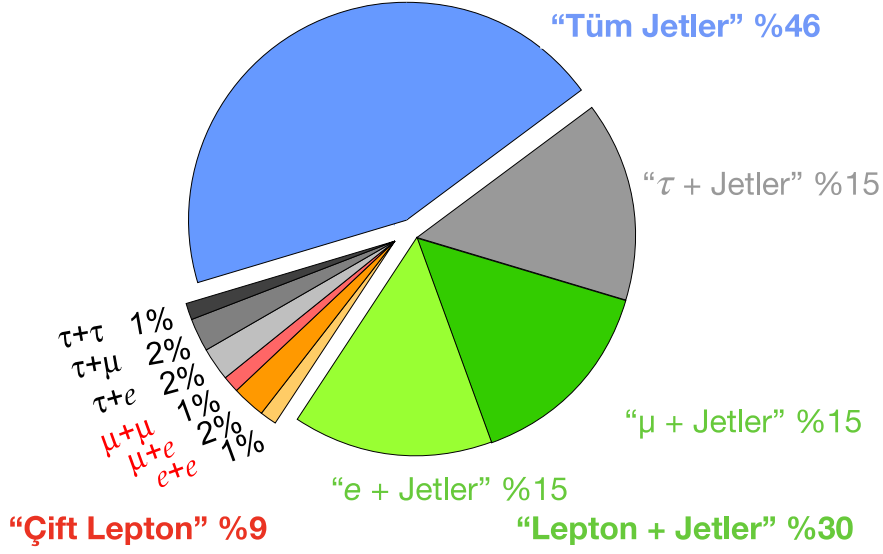
$$S \cong \sqrt{\varepsilon_S \sigma_S L_{int}} \quad (3.6)$$

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi, sinyal önemi toplam ışınlılığın karekökü ile orantılıdır. Sonuç olarak, arka plan verilerini ne kadar aza indirirsek sinyal o kadar net sonuç verecektir. Olay sonucu ortaya çıkan parçacıkların geleneksel metot değerlerini, olay değişkenlerini, çeşitli koşullar koyup bu koşulları sağlamayan olayları eleyerek en net sonuca ulaşmaktır.



Şekil 3.1: Sinyal önemi ve Işınlılık oranının grafiği.

Bu çalışmada, $t\bar{t}$ kütlelerinin dağılımının SM beklentilerinden sapmalarını aramak için elektron veya müon içeren bozunma kanallarına odaklanılmaktadır. Bunun sebebi, leptonik bozunmaların modern deneylerde daha rahat gözlemlenebildiği ve $t\bar{t}$ leptonik bozunmaların diğer bozunma çeşitlerine göre gözlemlenebilir olması, bu kanalda ve bozunma türünde tercih etmemizin sebebidir.



Şekil 3.2: Üst kuark çiftinin dallanma oranları.

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi üst kuark bozunumlarının dallanma oranlarından “Tüm Jetlerin” olduğu kanalda çalışmak çok verimli olmayacaktır. Çünkü pp çarpışmalarında KRD süreçleri baskın olduğu için son durumda sadece jetlerin² olduğu kanalı incelemek pek mümkün değildir. “Çift Lepton” kanalları ele alındığında ise dallanma oranlarının çok küçük olduğu görülür.

“Lepton + Jetler” kanalında yani yarı leptonik olarak adlandırılan kanalda, $e +$ jetlerin dallanma oranı %15 ve $\mu +$ jetlerin dallanma oranı %15’dir. Bu durumda yarı leptonik kanalda toplam dallanma oranı %30 ‘dur. Bu şartlar göz önünde bulundurulduğunda yarı leptonik kanalda çalışmak diğer kanallara nazaran daha net sonuçlar verebilir.

Referans modelimiz sınırlı genişliğe sahip bir Z' bozonudur. Dolayısıyla bu tezde yapılan çalışma $t\bar{t}$ çiftine bozunan, sınırlı bir genişliğe sahip herhangi bir rezonans için uygulanabilir.

²Kuarkların ve karşı kuarkların hadronlaşması ya da gluonların, kuark ve karşı kuark çiftleri üreterek hadronlaşması ile meydana gelen ve yayılırken bir koni biçimini oluşturan parçacık topluluğuna jet denir. Bu parçacıklar algıç tarafından görülerek yapılandırılırlar ve bu sayede kuarkın ya da gluonun jet sinyalinin ortaya çıkarılır. Deneysel çalışmalarda bir jet, iki jet ya da çoklu jetler ortaya çıkabilir.

Öngörülen Z' bozonu, LHC'de üst kuark çifti ($t\bar{t}$) üretiminde rezonans olarak ortaya çıkabilen ve mutlaka küçük tanecikler nedeniyle hafif parçacıklara bağlı jet ve leptonlu diğer kanallarda rezonans olarak ortaya çıkan yeni parçacıklarla sonuçlanır [41].

3.2. PROTON – PROTON ÇARPIŞMASINDA $Z' \rightarrow t\bar{t}$ SÜRECİNİN İNCELENMESİ

Bu tez çalışmasında, her üst kuarkın, bir alt kuark ve bir W bozonuna dönüştüğü, W bozonlarından birinin hadronik olarak bozunduğu ve diğer W bozonunun bir leptona (bir müon veya elektron) ve bir nötrinoya dönüştüğü $t\bar{t}$ kanalında Z' bozonu aranmaktadır. Fakat bu tez çalışmasında hadronik olarak bozunan W bozonunu dikkate alınmayacaktır çünkü çalışma yarı leptonik olarak bozunan üst kuark çifti ($t\bar{t}$) kanalında Z' bozonunun araştırılmasıdır.

Öngörülen Z' bozonunun Lagranjiyeni,

$$\begin{aligned} \mathcal{L}^q = & -\frac{g}{\sqrt{2}} \sum_{i,j} [\bar{u}_i V_{ij}^{CKM} W'^+_{\mu} \gamma^{\mu} (\kappa_L^q P_L + \kappa_R^q P_R) d_j + H.c] \\ & - \frac{g}{\cos \theta_W} \sum_{q=u,d} \sum_i [\bar{q}_i Z'_{\mu} \gamma^{\mu} (\zeta_L^q P_L + \zeta_R^q P_R) q_i] \end{aligned} \quad (3.7)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, i ve j çeşni indislerini belirtir. $P_{L,R} = \frac{1}{2} (1 \pm \gamma^5)$ sol el ve sağ el kiral izdüşümleri, V^{CKM} , Cabibbo-Kobayashi-Maskawa (CKM³) matrislerini, g , zayıf bağlanma sabitini ve θ_W , zayıf karıştırma açısını (Weinberg Açısı) ifade eder. Bu etkin model, SM içeriğini sırasıyla elektrik yüklü ve nötr olan W'^-, W'^+ ve Z' bozonlarını içeren büyük vektör alanlarını ifade ederek genişletir. Modelden bağımsız kalmak için, SM ayar bozonları ve skalerlere çiftlenim yapılmaz. Bu Lagranjiyeninde görüldüğü gibi, yeni vektör bozonlarının çiftlerini yukarı tip ve aşağı tip kuark alanlarına u_i ve d_j olarak parametrelendirilmiştir.

³Nicola Cabibbo, Makoto Kobayashi ve Toshihide Maskawa tarafından oluşturulmuştur. Kuarkların üç ailesi için oluşturulmuş ve kuark karışımlarını matematiksel olarak ifade eden 3x3'lük üniter bir matristir. SM'de CP simetrisi ihlali, kuarkların zayıf etkileşimdeki karışımlarından yani çeşni değiştirmelerinden meydana gelir. Zayıf etkileşimde, kuarklar kendiliğinden daha hafif kuarklara dönüşebilir. Üç karışım açısı ve bir CP simetrisi ihlali fazı tarafından parametrize olabilir.

Sıralı Standart Model (SSM) Lagranjienini \mathcal{L}_{SSM} ile eşleştirmeyi kolaylaştıran bağlantı normalizasyonları seçilir [49]. Gerçek değer büyüklükleri $\kappa_{L,R}^q$ ve $\zeta_{R,L}^q$, zayıf bağlanma sabitinin kuvvetine göre yeni etkileşimlerin genel normalizasyonu olarak işlev görür.

Yüklü lepton l ve kütsesiz nötrino ν_l alanlarını içeren etkileşimler,

$$\begin{aligned} \mathcal{L}^l = & -\frac{g}{\sqrt{2}} \sum_i [\bar{\nu}_l W_\mu'^+ \gamma^\mu \kappa_L^l P_L l_i^- + H.c.] \\ & - \frac{g}{\cos\theta_W} \sum_{f=l,\nu_l} \sum_i [\bar{f}_i Z'_\mu \gamma^\mu (\zeta_L^f P_L + \zeta_R^f P_R) f_i] \end{aligned} \quad (3.8)$$

şeklinde ifade edilir. κ_L^l büyüklükleri gerçek değerlerdir ve leptonik bağlanma kuvvetleri için normalizasyon görevi görürler. SM'de sağ eli hiçbir nötrino bulunmadığından, karşılık gelen sağ elle kullanılan leptonik yeni fizik bağları dahil edilmemiştir. Bu durumda,

$$\zeta_R^v = \kappa_R^l = 0 \quad (3.9)$$

alınmıştır. Genel Lagranjyiden, SSM limiti, genel tüm normalizasyon faktörüne kadar SM zayıf çiftlenimlere eşit olacak şekilde çiftlenim kuvvetlerinin empoze edilmesiyle elde edilir.

$$\zeta_{R,L}^f = \zeta_{ZSSM}^f (g_V^f \pm g_A^f) \quad (3.10)$$

Burada g_V^f ;

$$g_V^f = \frac{1}{2} T_L^{3,f} - Q^f \sin^2 \theta_W \quad (3.11)$$

olarak ifade edilir. g_A^f ise;

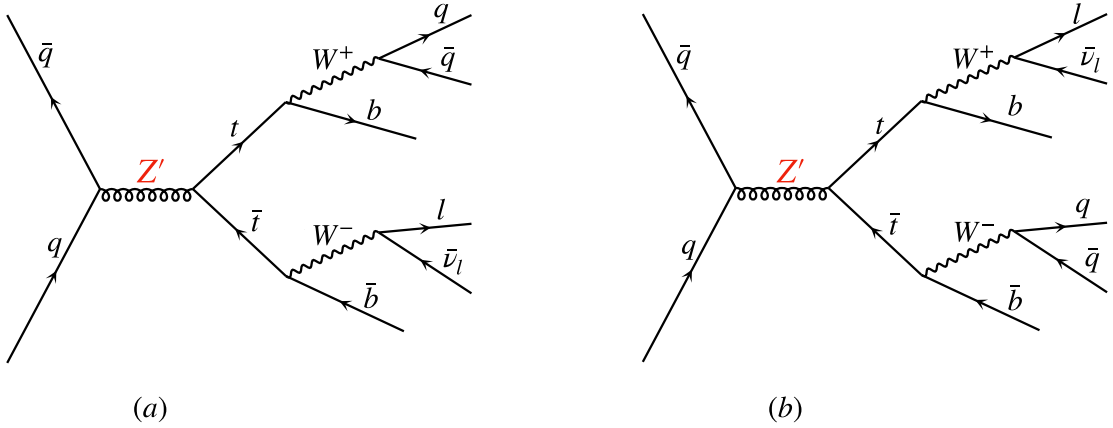
$$g_A^f = -\frac{1}{2} T_L^{3,f} \quad (3.12)$$

olarak ifade edilir. Kanonik SSM'de ayrıca genel normalizasyonlar; $\kappa_L^{q,l} = 1$, $\kappa_R^q = 0$ ve $\zeta_{ZSSM}^f = 1$ olmaktadır [50]. Denklem (3.10)'da ifade edilen sol el kiral ve sağ el kiral fermiyonların zayıf izospin ve elektrik yük değerleri Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Z_{SSM} vektörüne ve Denklem (3.10)'un aksensel vektör çiftlenimlerine giren f_L sol el kiral ve f_R sağ el kiral fermiyonlar için zayıf izospin ve elektrik yükü atamaları.

Yük	u_L	d_L	ν_L	e_L	u_R	d_R	e_R
$T_L^{3,f}$	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0	0	0
Q^f	$+\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	-1	$+\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	-1

Bu tez çalışmasında, Denklem (3.7) ve Denklem (3.8)'de gösterilen Lagranjiyenin ikinci kısmını yani Z' bozonunu göz önünde bulunduruyoruz. Öngörülen Z' bozonunun yarı leptonik $t\bar{t}$ bozunumlarının Feynman diyagramları aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.3: Z' bozonunun yarı leptonik $t\bar{t}$ bozunumlarını gösteren Feynman diyagramları.

Şekil 3.3'de gösterilen Feynman diyagramlarında $l = e, \mu, \tau$ leptonlarını, $\nu_l = \nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$ nötrinolarını ve $q = u, d, c, s, b$ kuarklarını ifade etmektedir. Fakat bu çalışmada, tesir kesitlerinin çok düşük olması nedeniyle τ ve ν_τ hesaplamalara katılmamıştır.

(a) diyagramında ki süreç: $q + \bar{q} \rightarrow Z' \rightarrow t + \bar{t}$ olmak üzere; $t \rightarrow W^+ + b$, $W^+ \rightarrow q + \bar{q}$ 'a ve $\bar{t} \rightarrow W^- + \bar{b}$, $W^- \rightarrow l + \bar{\nu}_l$ şeklindedir. Burada b ve l jet oluşturmaktadır.

(b) diyagramında ki süreç: $q + \bar{q} \rightarrow Z' \rightarrow t + \bar{t}$ olmak üzere; $t \rightarrow W^+ + b$, $W^+ \rightarrow l + \bar{\nu}_l$ 'na ve $\bar{t} \rightarrow W^- + \bar{b}$, $W^- \rightarrow q + \bar{q}$ şeklindedir. Burada b ve l jet oluşturmaktadır.

3.3. OLAY ÜRETİMİ VE ALGIÇ BENZETİMİ

3.1.1. Sinyal ve Arka Plan Üretimi

Madgraph5_aMC@NLO (mg5_aMC), herhangi bir modeldeki süreçler için olay üreten ve sürecin tesir kesitini hesaplayan bir Monte Carlo olay üretimi yazılımıdır. Bu tez kapsamında mg5_aMC kullanılarak Denklem (3.7)'de gösterilen efektif lagranjiyeni içeren model için, pp çarpışmaları sonucunda, yarı leptonik olarak bozunan üst kuark çifti ($t\bar{t}$) olayları üretilmiştir. Modeli mg5_aMC'e uygun bir girdiye dönüştürmek için FeynRules yazılımından faydalanılmıştır. FeynRules herhangi bir fizik modeli için, momentum uzayında Feynman kurallarının hesaplamasını yapan bir Mathematica paketidir.

mg5_aMC, çarpışma sonucu oluşan birincil parçacıklara ait kinematik bilgileri üretir. Bu bilgiler Les Houches Event (LHE) dosya formatında verilmektedir. Oluşturulmuş olan LHE dosyaları, parton⁴ duşu ve hadronlaşma süreçlerini eklemek için Pythia8 programına girdi olarak verilmiştir.

Çarpışma benzetimi sonucu ortaya çıkan parçacıklar Pythia8 tarafından "hepmc" formatında bir dosyada saklanmaktadır. Deneylere yol gösterici sonuçlar bulabilmek için yapılan veri analizinin algıç seviyesinde olması gerekmektedir. Çünkü en nihayetinde deneylerden elde edilen veri; gürültü, verimsizlik, yanlış eşleştirme, çözünürlük vb. etkileri de içerir. Bu etkileri benzetim yoluyla elde etmenin birkaç yolu vardır. Birinci ve hesaplama yönünden maliyetli yol GEANT4 yazılımı ile CMS ya da ATLAS gibi algıçların birebir benzetimlerini kullanmaktır. İkinci ve nispeten daha az işlemci gücü gerektiren yol ise, olay sonucunda meydana gelecek fotonlar, hadronlar ve leptonlara ait bilgileri, hızlı benzetim tekniği kullanan Delphes yazılımı ile elde etmektir. Bu tez çalışmasında ikinci seçenek olan Delphes yazılımı kullanılmıştır.

Delphes'in amacı fenomenolojik çalışmalar için çok amaçlı algıç benzetimi yapmaya olanak tanımaktır. Bu benzetim manyetik alana yerleştirilmiş iz yayılım (track propagation) sistemi, elektromanyetik ve hadron kalorimetreleri ve müon tanımlama sistemini içerir. Çoğu fenomenolojik çalışma için algıç tepkisini parametrize etmeyi temel alan basitleştirilmiş bir

⁴Richard Feynmann tarafından önerilen, hadronların bileşenlerini (kuarklar, karşı kuarklar ve gluonlar) tanımlayan bir modeldir. Parton, herhangi bir hadron bileşenlerini tanımlayan terim olarak ifade edilmektedir. KRD süreçlerinden ve etkileşimlerinden üretilen radyasyon basamaklarını (parton duşu) yorumlamak için kullanılmaktadır.

yaklaşım genel anlamda yeterince iyidir ve Delphes bunu yapmaktadır. Bu şekilde benzetimi çok daha hızlı yapmak mümkündür. En yaygın olay üreticinin çıktısını girdi olarak alır, hızlı ve gerçekçi bir benzetim ortaya koyar. Sonuç olarak jetler, kayıp enerji, izole elektronlar, müonlar, fotonlar ve taular yapılandırılabilir [51].

3.3.1.1. Olay Seçimi ve Yapılandırma

Bu tez çalışmasında, $e + \text{jetlerin}$ ve $\mu + \text{jetlerin}$ ayırt edici özelliğini kullanarak Z' bozonunu aramaktayız. Veri örneğindeki olaylar, n_{jets} olaydaki jet sayısı olmak üzere, en az bir lepton, en az iki b-tag⁵ jet, en az iki hafif jet ve $MET > 20$ içerecek şekilde seçilmiştir. MET , olaydaki kayıp enerji yani enine kayıp momentumdur. Algıç benzetimi için kullandığımız Delphes kartı CMS algıcının parametrelerini içermektedir. Bu parametreler doğrultusunda, elektron adaylarının $p_T > 20 \text{ GeV}/c$ ve $|\eta| < 2.5$ şartını sağlaması gerekir. p_T , bir jetin enine momentumunu, η (pseudorapidity) ise parçacığın ışın eksenine göre açısını ifade etmektedir. Müon adaylarının ise $p_T > 20 \text{ GeV}/c$ ve $|\eta| < 2.5$ şartını sağlaması gerekir.

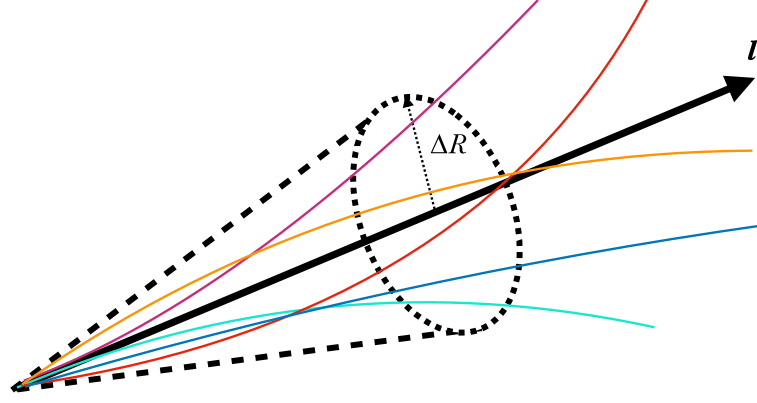
Jet adaylarının $p_T > 20 \text{ GeV}/c$ ve $|\eta| < +5$ şartını sağlaması gerekir. Jet bulma algoritması olarak anti- k_T kullanılmıştır [52] ve bu algoritmada $n_{jets} \geq 4$ 'tür. Koni büyüklüğü parametresi $\Delta R = 0.5$ kullanılmıştır.

Leptonik W bozonu bozunumlarını seçmek için olayların bir izole müon veya bir izole elektron içermesi gerekir. İzolasyon gereksinimi, tüm hadronlardan ve fotonlardan gözlemlenen toplam enine enerjinin, lepton yönünün etrafında, göreceli izolasyon olarak bilinen leptonun enine momentumuna,

$$\Delta R = \sqrt{(\phi_1 - \phi_2)^2 + (\eta_1 - \eta_2)^2} = \sqrt{\Delta\phi^2 + \Delta\eta^2} < 0.5 \quad (3.13)$$

boyutunda ki bir koni içindeki oranına dayanır. Bu miktar elektronlar için %12'den az, müonlar için % 25'ten az olmalıdır. Denklem (3.13)'de bahsedilen ΔR bir koniyi ifade etmektedir. $\Delta\phi$, nesnelar arasındaki azimut ayrımıdır ve $\Delta\eta$ kutupsal ayrımı ölçer.

⁵b-etiketleme, modern parçacık fiziği deneylerinde alt kuarklardan (b) oluşan jetlerin tanımlanması için kullanılan yöntemdir.



Şekil 3.4: Leptonlar için izolasyon konisi.

Sinyal olaylarının yanı sıra, SM'den gelebilecek arka plan olaylarının da oluşturulması gerekmektedir. Son durumda $W + \text{jet}$ lerin olduğu SM süreçlerinde, ilk ve son durum radyasyonları⁶ ve parton duşları da göz önünde bulundurulduğunda sinyale arka plan oluşturmaktadırlar. Üretilen sinyal ve arka plan örneklerinin olay sayısı, tesir kesiti, akseptans değerlerini içeren tablo aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.2: Üretilen ve seçilen olay sayıları.

	Üretilen Olay Sayısı	Seçilen Olay Sayısı	Tesir Kesiti	Akseptans
Sinyal	100000	7091	1.08×10^{-3}	7.091×10^{-2}
$t\bar{t}$	100000	20288	$7.19 \times 10^{+1}$	2.0288×10^{-1}
$W + \text{jet}$	693610	10	$1.46 \times 10^{+5}$	1.44173×10^{-5}

Tablo 3.2'de verilen sinyal ve arka plan olay sayıları sonucunda elde edilen tesit kesiti (σ) ve akseptans (ε) değerleri kullanılarak farklı ışınlılık (L) değerleri için sinyal, $t\bar{t}$ çifti, $W + \text{jet}$ ve arka plan sayıları hesaplanmıştır.

Sinyal ve arka plan örnekleri üretildikten sonra, olay değişkenlerinden yararlanılarak derin öğrenme için kullanılacak değişkenleri içeren veri ağaçları (n-tuple) oluşturulmuştur. Bu

⁶Etkileşime giren ilk durum ve son durumdaki kuarklar ve gluonların, gluon yaymasını (saçmasını) ifade etmektedir.

değişkenlerde n_{jets} , olaydaki jet sayısı ve jet pT [n], n . jetin enine momentumudur. HT, olaydaki jetlerin enine momentumlarının skaler toplamıdır. Küresellik, olayın küreselliğinin bir çeşit ölçüsüdür. Olaydaki jetlerin momentum vektörlerinden bir tensör oluşturulur ve bu tensör şöyle ifade edilir;

$$S^{\alpha\beta} = \frac{\sum_i p_i^\alpha p_i^\beta}{\sum_i |p_i|^2} \quad (3.14)$$

S tensörünün öz değeri λ 'dır ve $\lambda_{1,2,3}$ şu şekilde tanımlanır;

$$S = \frac{3}{2} (\lambda_1 + \lambda_2) \quad (3.15)$$

Düzlemsellik ise olay sonucu meydana gelen saçılmanın düzlemden ne kadar saptığının bir çeşit ölçüsüdür. Küresellik tensöründen yararlanılarak şu şekilde tanımlanmıştır;

$$A = \frac{3}{2} \lambda_1 \quad (3.16)$$

Fox – Wolfram Momentleri, $p_{i,j}$ jet momentumları olmak üzere,

$$Hl = \sum_{i,j} \frac{|p_i||p_j|}{E_{vis}^2} Pl(\cos\theta_{ij}) \quad (3.17)$$

şeklinde tanımlanır. Burada E_{vis} , tüm jetlerin ölçülebilen toplam enerjisini ve $Pl(\cos\theta_{ij})$ asosiye Legendre polinomlarını ifade eder. $m_{üst}$, olaydaki hadronik olarak bozunan üst kuark adayının kütesidir. $y_{üst}$, olaydaki hadronik olarak bozunan üst kuark adayının rapiditesidir. $pT_{üst}$, olaydaki hadronik olarak bozunan üst kuark adayının enine momentumudur. MET, olaydaki enine kayıp momentumdur ve ϕ_{MET} , olaydaki enine kayıp momentumun azimut yönüdür.

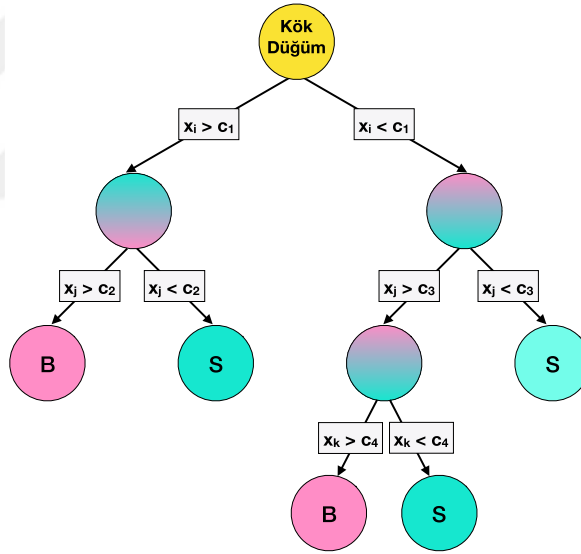
3.1.2. Yapay Öğrenme ile Sinyal Seçimi

Yarı leptonik üst kuark çifti ($t\bar{t}$) olaylarını arka plan olaylarından ayırt edebilmek için TMVA (The Toolkit for Multivariate Data Analysis with ROOT) programı kullanılmıştır. Bir önceki aşamada oluşturulan veri ağaçları ile programda yer alan çeşitli yapay öğrenme algoritmaları eğitilmiş ve her bir metot için en iyi sinyal önemini veren MVA (Multivariate Data Analysis)

değerinin sınırları belirlenmiştir. Bu çalışmada, aşağıda sıralanan yapay öğrenme metotları kullanılmıştır.

3.3.1.2. Arttırılmış Karar Ağaçları

Bir karar ağacı, ikili olarak yapılandırılmış bir sınıflandırıcıdır. Sürecin tamamlanabilmesi için bir durdurma kriteri vardır ve kriter sağlanana kadar, evet/hayır kararları tekrar tekrar uygulanır. Bu kararlar bir seferde bir değişken üzerinde yapılır ve karar sayısı “düğüm” adı verilen bir iç parametreyle kontrol edilir. Sinyal ve arka plan, bölünmüş faz uzayının bölgelerinden son düğümde sona eren olayların çoğuna bakılarak sınıflandırılır. Basit bir karar ağacının örneği Şekil 3.5’te incelenebilir ve burada x_i , x_j ve x_k ayırmıcılardır. B arka planı, S ise sinyali sembolize etmektedir. Şekil 3.5’te gösterildiği gibi bu şemaya *Arttırılmış Karar Ağaçları* (Boosted Decision Trees, BDT) denir.

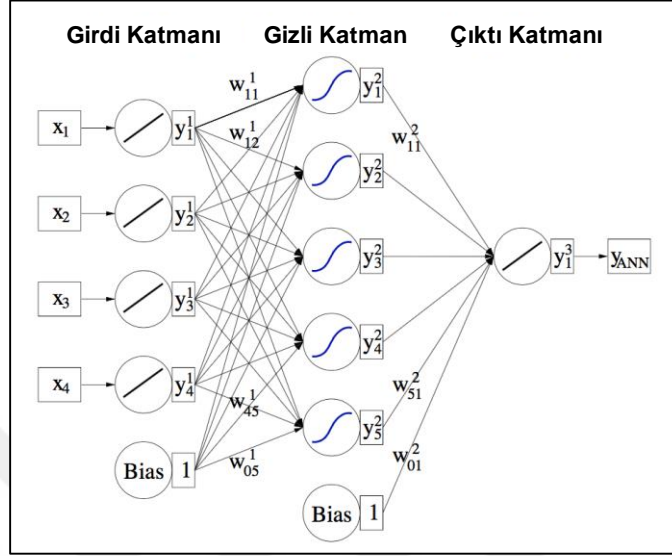


Şekil 3.5: Bir karar ağacının şematik açıklaması.

3.3.1.3. Çok Katmanlı Algılayıcı

Yapay sinir ağları (Artificial Neural Networks, ANN), nöron düzenleri ve bağlantı ağırlıkları ile birbirinden ayrılır. Teknik olarak, n nörondan oluşan bir nöral ağ, n^2 sayıda bağlantıya sahip olabilir. Bununla birlikte, bu sistem yeni bir düzen ile basitleştirilebilir; nöronlar katmanlarda

hızlanmış ve sadece önceki ve sonraki katmanlarla doğrudan bağlantılıdır. Bu ağlara Şekil 3.6'da gösterildiği gibi *Çok Katmanlı Algılayıcılar* (Multilayer Perceptron, MLP) denir.



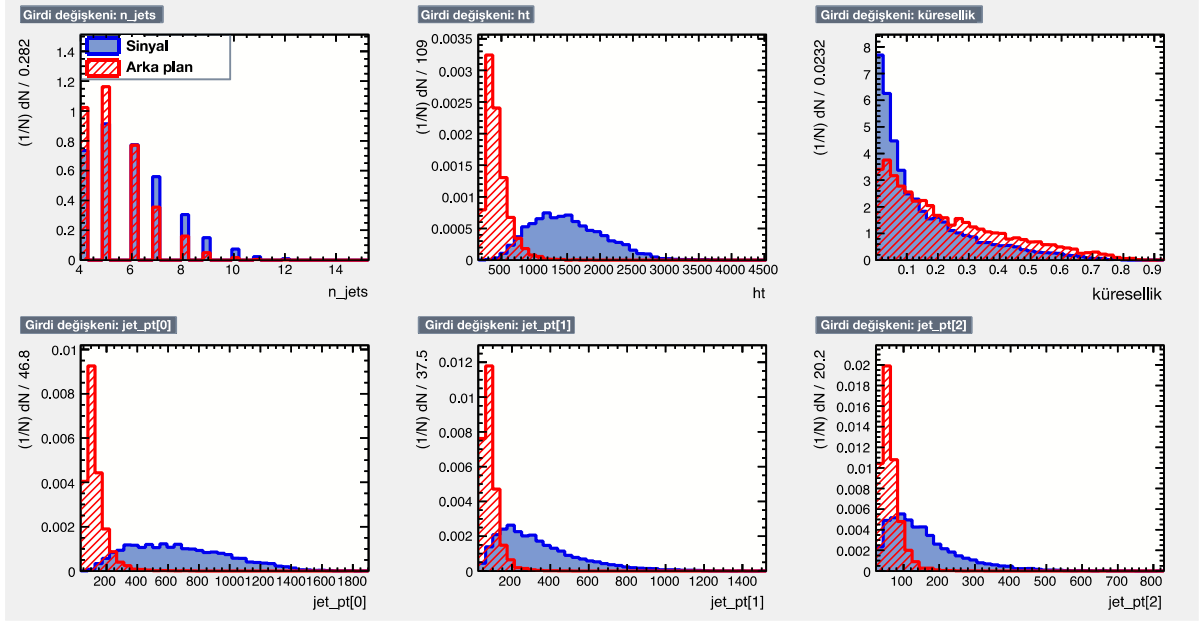
Şekil 3.6: Çok Katmanlı Algılayıcılar (MLP) yapısı.

3.3.1.4. Derin Sinir Ağları

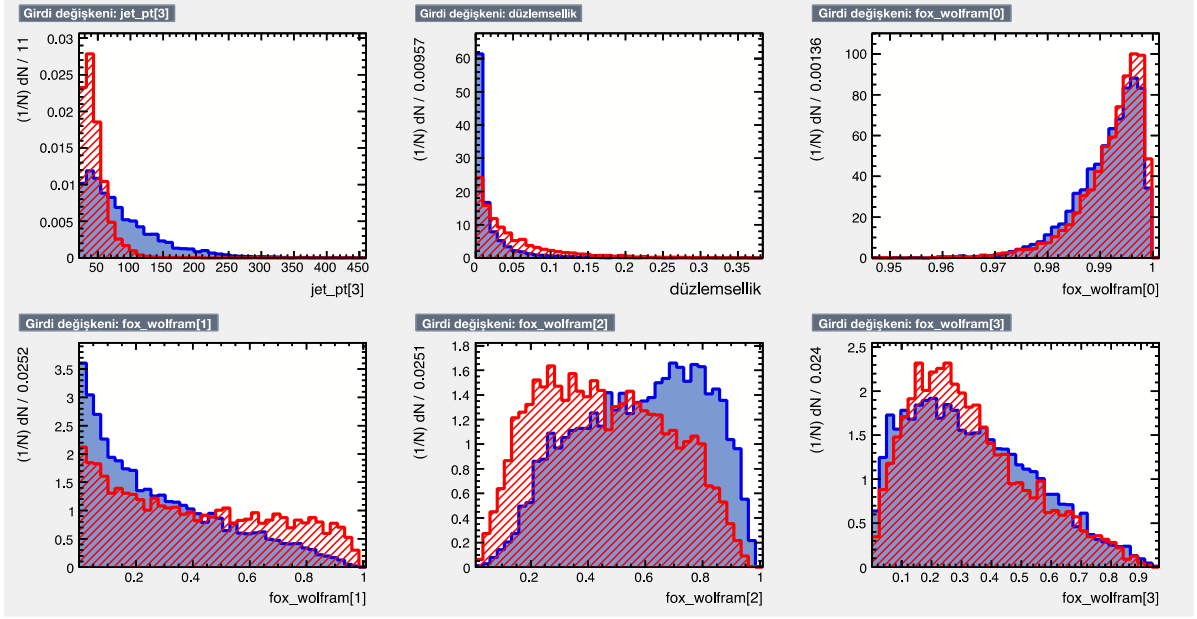
DNN, birden fazla gizli katmanla yapılandırılmış bir yapay sinir ağıdır ve bu katmanlarda sayıca çok fazla nöron vardır. Bu ağ ile karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkiler gözlemlenebilir. Ancak çok büyük eğitim verisi ile verimli çalışabilir. Uygulamanın amacı, çok çekirdekli ve GPU mimarileri üzerinde eğitilebilecek ileriye dönük bir MLP sağlamaktır. TMVA içerisinde birkaç uygulama yöntemi vardır. Bunlardan ilki ROOT yazılımını kullanan herhangi bir platformda çalışabilen standart CPU uygulamasıdır. Bu uygulama, çok çekirdekli CPU yapılarında paralel eğitim yapmak için çoklu iş parçacığı kullanır.

4. BULGULAR

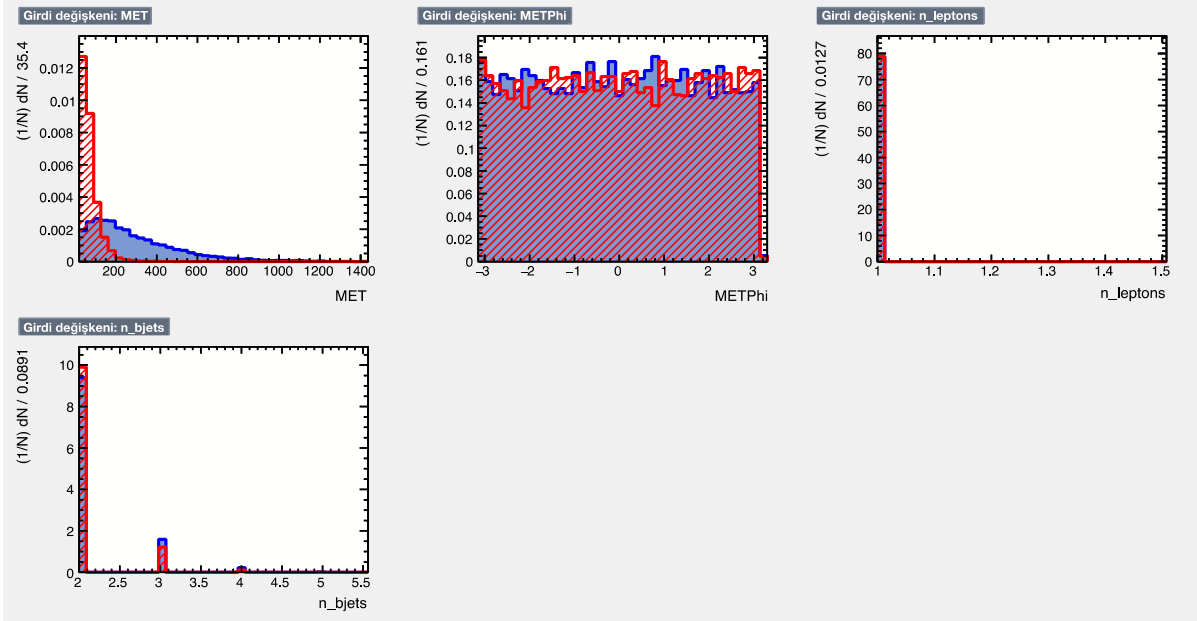
Bu bölümde, sinyal ve arka plan dağılımları için Bölüm 3.3.1.1’de tanımlanan değişkenler TMVA programına girdi olarak verilerek BDT, MLP ve DNN metotları kullanılarak oluşturulmuş modeller eğitilmiştir. Sonuçlar, $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ ’de pp çarpışması simülasyonları gerçekleştirilerek, 100000 çarpışma için elde edilmiştir.



Şekil 4.1: Yapay öğrenme eğitimi için kullanılan girdiler.



Şekil 4.2: Yapay öğrenme eğitimi için kullanılan girdiler.



Şekil 4.3: Yapay öğrenme eğitimi için kullanılan girdiler.

Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te görüldüğü üzere, bazı girdi değişkenleri sinyal ve arka plan için benzer dağılımlar göstermektedir. Bazıları ise farklı dağılımlar göstermektedir. Yine de tek bir değişkenden yola çıkarak sinyal ve arka plan ayırımı gerçekleştirmek çok verimli olmayacaktır.

Yapay öğrenme eğitimi sırasında değişkenlerin önem sırası Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Yapay öğrenme eğitiminde değişikliklerin önem sırası.

Rank	Değişken	Ayrılma
1	ht	8.244×10^{-1}
2	$jet pT [0]$	7.989×10^{-1}
3	$jet pT [1]$	6.096×10^{-1}
4	MET	5.263×10^{-1}
5	$jet pT [2]$	4.121×10^{-1}
6	$jet pT [3]$	2.571×10^{-1}
7	$düzlemsellik$	1.660×10^{-1}
8	$Fox Wolfram [2]$	1.035×10^{-1}
9	$küresellik$	8.622×10^{-2}
10	$Fox Wolfram [1]$	7.638×10^{-2}
11	n_{jets}	5.178×10^{-2}
12	$Fox Wolfram [3]$	4.329×10^{-2}
13	$Fox Wolfram [0]$	3.661×10^{-2}
14	ϕ_{MET}	3.573×10^{-2}
15	n_{bjets}	1.058×10^{-2}
16	$n_{leptons}$	7.930×10^{-33}

Yapılan çalışma, sonucu tespit edilen özellikler ve aynı çalışma üzerinde daha önce denenmiş sonuçların özellikleri arasındaki ilişkilerin sonuçlarını ortaya koymaya yöneliktir. Aynı anda birden fazla değişken arasındaki bağımlılığı araştırmak için birçok analiz yöntemine

başvurulmaktadır. Bu yöntemlerden biride Korelasyon Matrisi analiz yöntemidir. Korelasyon matrisi, değişkenler arasındaki ilişkilerin gücünü özetlemek, modellemek ve veri analizini yapabilmek için kullanışlı bir yöntemdir. Korelasyon matrisi, tüm çapraz elemanların +1'e eşit olduğu simetrik bir matristir. Pozitif işaret, bir korelasyonun yönün belirtir, yani değişkenlerden biri artarsa diğer değişkeninde artması beklenmektedir.

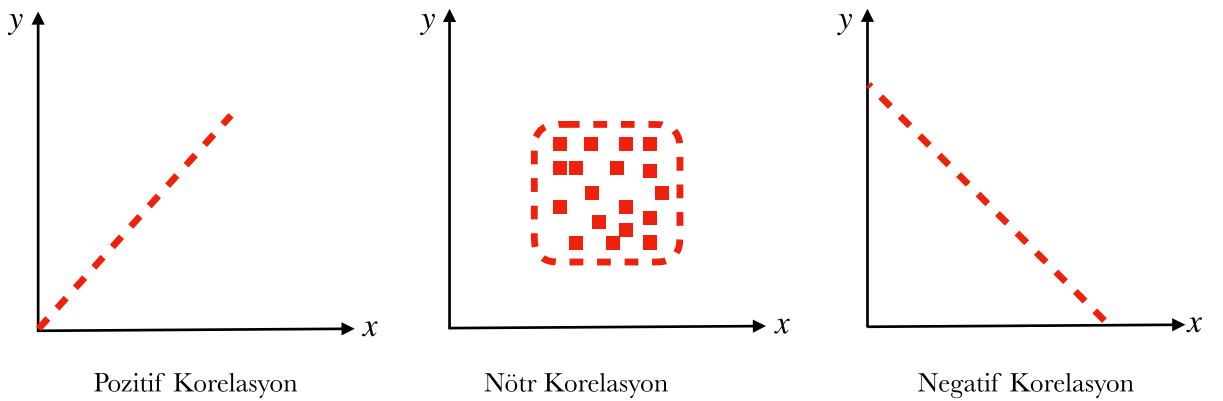
Veriler arasında ilişki olup olmadığı ve değişkenler arasındaki ilişki korelasyon katsayısı ile ifade edilmektedir. En çok kullanılan katsayı ise Pearson Korelasyon Katsayısı'dır.

Pearson korelasyon katsayısı,

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4.1)$$

şeklinde ifade edilmektedir. R , Pearson korelasyon katsayısıdır.

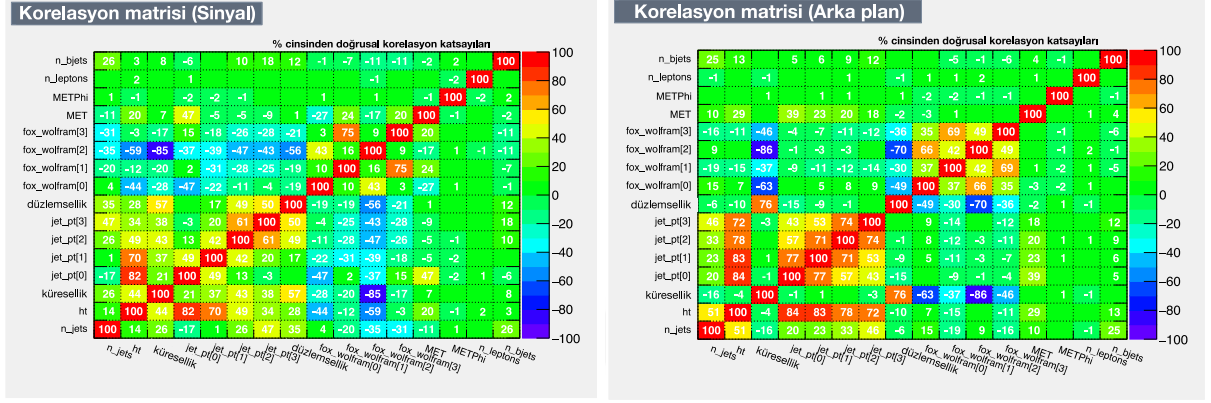
Korelasyon katsayısının değerleri -1 ile $+1$ arasında değişebilir. Katsayı, -1 veya $+1$ 'e ne kadar yakınsa değişkenler birbiriyle o kadar yakından ilişkilidir demektir. Şekil 4.4'de görüldüğü gibi yapılan analiz sonucunda, Korelasyon katsayısı pozitif değerdeyse, değişkenler aynı yönde hareket eder veya korelasyon katsayısı negatif değerdeyse, bir değişkenin değeri arttıkça diğer değişkenlerin değerinin azalacağı anlamına gelmektedir. Katsayı 0 değerindeyse, nötr yani değişkenler arasında ilişki yok demektir.



Şekil 4.4: x ve y değişkenlerinin arasındaki ilişki.

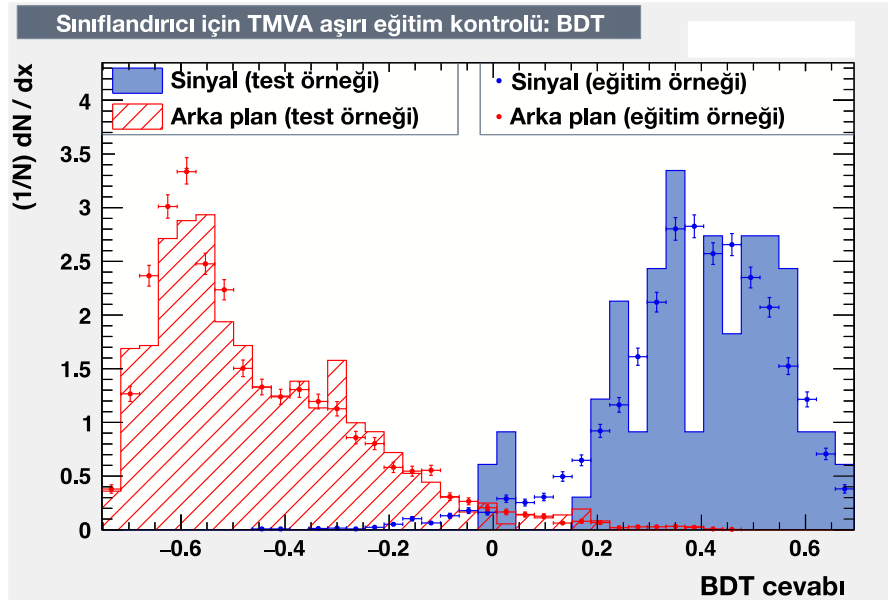
Yaptığımız çalışmada değişkenlerin birbirleriyle olan korelasyonları, sinyal ve arka plan için Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Çalışmamızda korelasyon katsayısı değerlerimiz -100 ve $+100$ arasında değişmektedir. Şekillerde görüldüğü gibi kullandığımız değişkenlerden birbiriyle fazla

korelasyon içinde olan herhangi iki değişken olmadığı için, burada eşik değeri %90 korelasyon durumundadır (%90 keyfi belirlenmiş bir değerdir). Eğer birbiriyle çok fazla korelasyon içinde olan (%90 ve fazlası) değişkenler olsaydı bu değişkenlerden biri girdi değişkeni olarak kullanılmayacaktı.



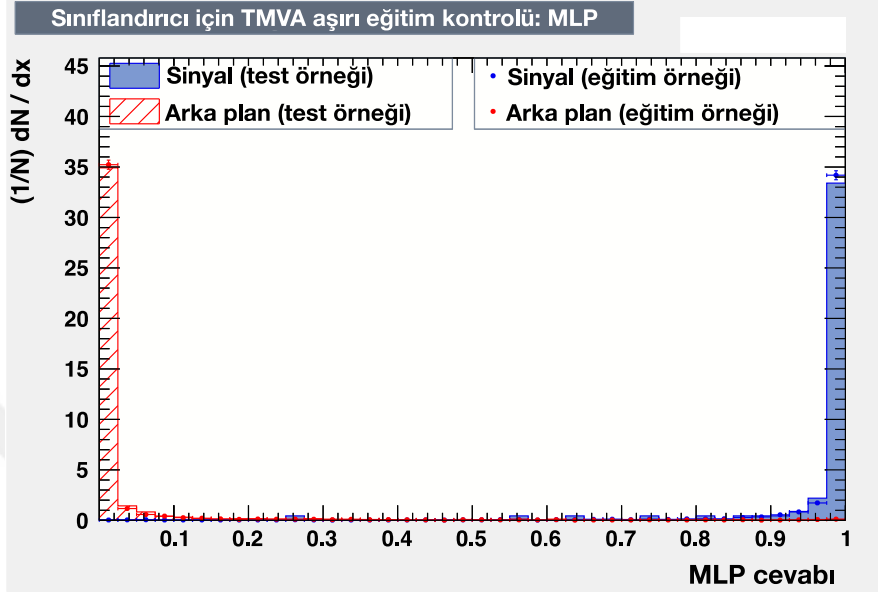
Şekil 4.5: Sinyal ve arka plan için korelasyon matrisi.

BDT, MLP ve DNN metotlarının eğitilmesi sonucunda elde ettiğimiz sinyal ve arka plan ayırım sonuçları aşağıda verilmiştir.



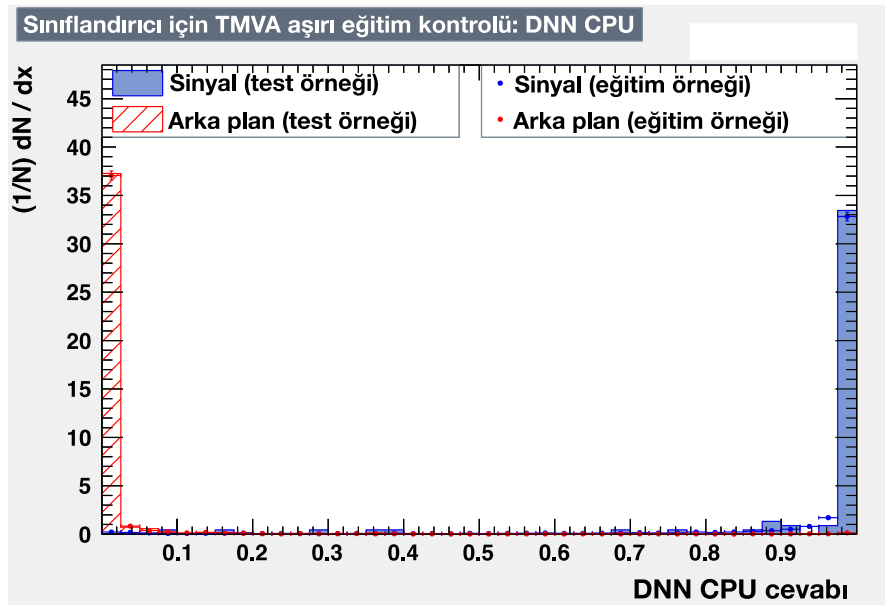
Şekil 4.6: Sinyal ve arka plan için BDT çıktısı dağılımı.

Şekil 4.6’da görüldüğü gibi, BDT eğitimi ve BDT test sonuçları kıyaslanmıştır. Sinyal ve arka plan dağılımları çok iyi derecede birbirinden ayırt edilebilmiştir. Eğitim ve test sonuçları kıyaslandığında birbirine yakın değerler çıktığı görülmüştür.



Şekil 4.7: Sinyal ve arka plan için MLP çıktısı dağılımı.

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi, MLP eğitimi ve MLP test sonuçları kıyaslanmıştır. Sinyal ve arka plan dağılımları çok iyi derecede birbirinden ayırt edilebilmiştir. Sinyal ve arka plan için eğitim ve test sonuçları kıyaslandığında test MLP’nin eğitim MLP’ye oranı neredeyse 1’dir.



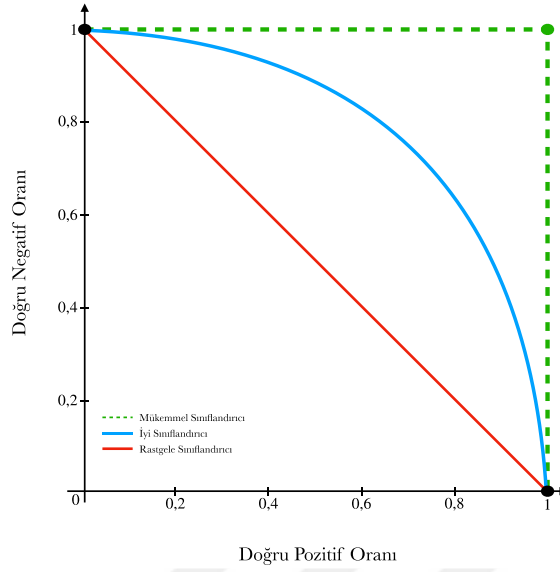
Şekil 4.8: Sinyal ve arka plan için DNN çıktısı dağılımı.

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi, DNN eğitimi ve DNN test sonuçları kıyaslanmıştır. Sinyal ve arka plan dağılımları çok iyi derecede birbirinden ayırt edilebilmiştir. Sinyal ve arka plan için eğitim ve test sonuçları kıyaslandığında, DNN’den elde edilen sonuçların MLP’den elde edilen sonuçlara yakın olduğu görülmüştür.

Bu üç metodun ayırım performansını gösteren metriklerden birisi Alıcı İşlem Karakteristiği Eğrisidir (Receiver Operating Characteristic Curve, ROC). ROC Eğrisi, bir testin en yüksek özgüllük ve en yüksek duyarlılık değerlerini belirlemek, farklı kesim noktalarında elde edilen özgüllük ve duyarlılık değerlerini karşılaştırmak, belirli özgüllük değerlerine denk gelen duyarlılık değerlerini belirlemek, iki ya da daha fazla testin sonuçlarındaki başarılarını karşılaştırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bir ROC Eğrisi, farklı eşik değerleri için dikey eksen üzerinde doğru pozitifler (duyarlılık) ve yatay eksen üzerinde yanlış pozitiflerin (özgüllük) oranlarının yer aldığı eğridir. Değişken değerleri belirlenen eşik değerine göre sinyal (S) ve arka plan (B) olmak üzere ikiye ayrılır. Tablo 4.2’de gösterilen sınıflandırma sonucuna göre; tahmin edilen değer S ve gerçek değer S ise sonuç doğru pozitif (DP), tahmin edilen değer S ve gerçek değer B ise sonuç yanlış pozitif (YP), tahmin edilen değer B ve gerçek değer B ise sonuç doğru negatif (DN) ve tahmin edilen değer B ve gerçek değer S ise sonuç yanlış negatif (YN) olarak adlandırılmaktadır.

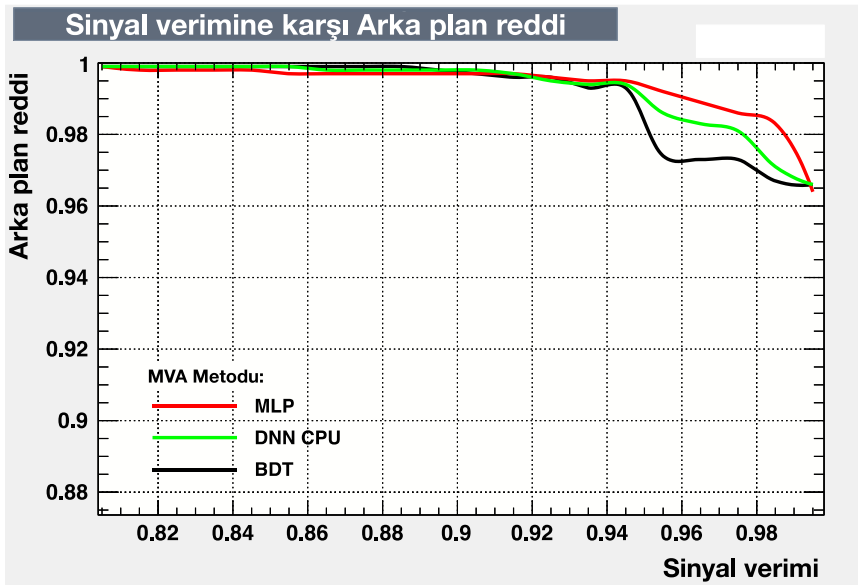
Tablo 4.2: ROC Eğrisi analizi sınıflandırması.

		Gerçek Değer	
		Pozitif	Negatif
Tahmin Edilen Değer	Pozitif	DP	YP
	Negatif	YN	DN



Şekil 4.9: İdeal bir ROC Eğrisi.

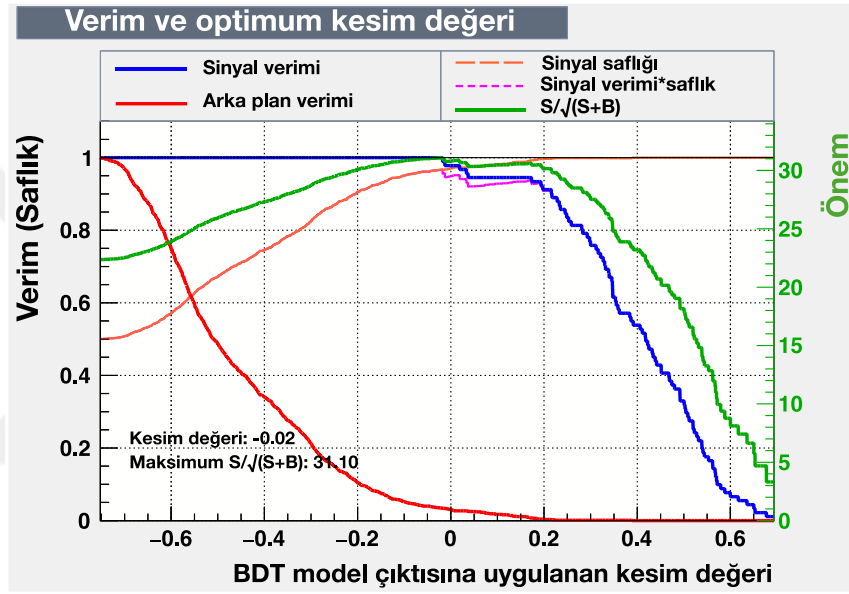
Şekil 4.9'a göre eşik değeri rastgele sınıflandırıcı olarak adlandırılmaktadır. Rastgele sınıflandırıcı değerinin altında kalan sonuçlar test sonuçları için yararlı değildir ve yapılan testler herhangi bir başarı ifade etmemektedir. Burada yeşil çizgilerle gösterilen sınıflandırıcı, mükemmel sınıflandırıcı olarak adlandırılır. Rastgele sınıflandırıcı ile mükemmel sınıflandırıcı arasında olan sınıflandırıcılar mükemmel sınıflandırıcıya ne kadar yakın ise mükemmel sınıflandırıcının başarısı o kadar iyi demektir.



Şekil 4.10: Sinyal verimine karşı ayrılan arka plan ROC Eğrisi.

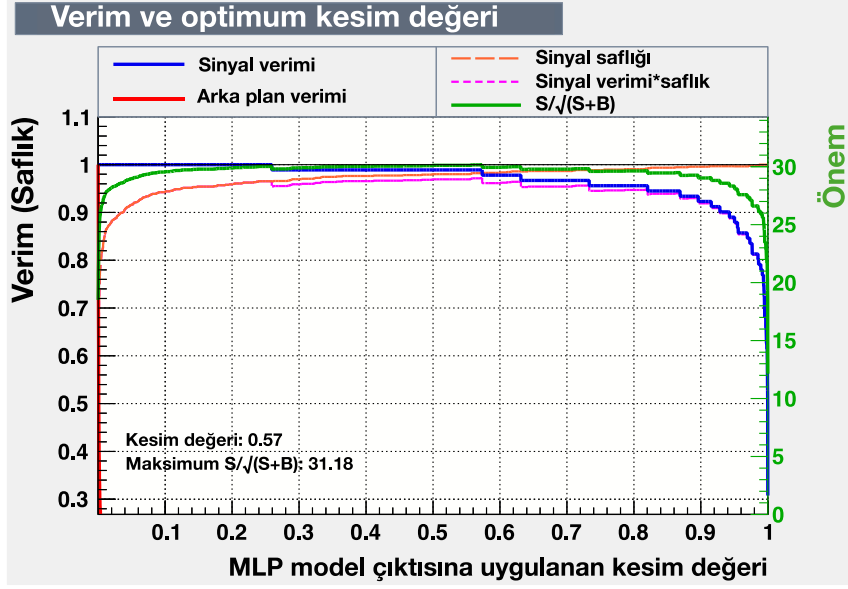
Şekil 4.10’de verilen ve BDT, MLP ve DNN metotları eğitilerek oluşturulan ROC Eğrisinde görüldüğü gibi en iyi eğitilen, sinyal ve arka plan ayrımı için en iyi DP sonucunu veren metot MLP’dir. Mükemmel denebilecek kadar iyi sınıflandırılmış sonuçlar vermiştir. MLP metodundan sonra en iyi sonucu veren metotlar sırasıyla DNN ve BDT olmuştur.

BDT, MLP ve DNN metotlarının eğitim sonuçları için çıktıya uygulanan kesme değeri elde edilen, sinyal önemini veren grafikler Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’de gösterilmiştir. Kesme değeri sinyal verimliliğinin maksimum olduğu değerde yapılmaktadır.



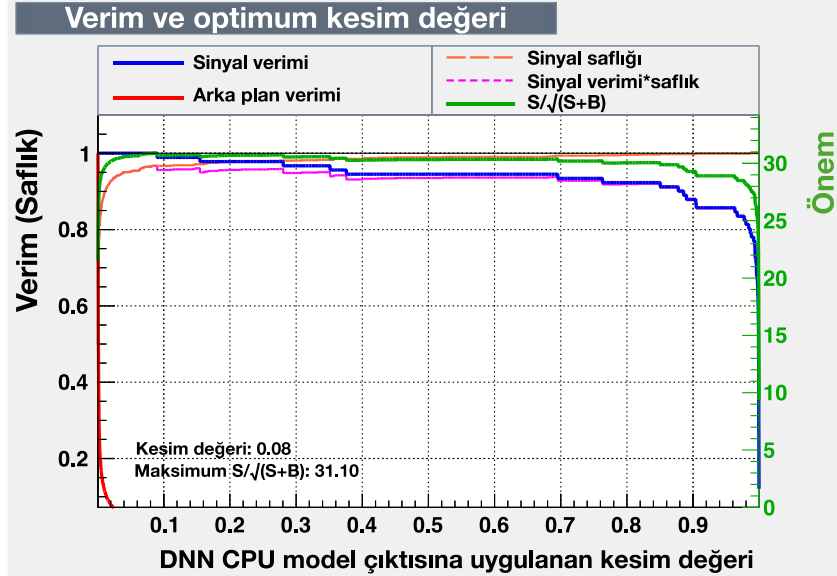
Şekil 4.11: BDT için verim, önem ve optimum kesim değeri.

Şekil 4.11’de görüldüğü gibi, BDT için 1000 sinyal olayı ve 1000 arka plan olayı verim ve optimum kesim değerleri verilmiştir. Kesim -0.02 değerinde yapıldığında maksimum sinyal verimi 31.10 değerini almaktadır. Optimum kesim değerinde arka plan verimi 0’a yaklaşırken ve sinyal verimi en yüksek değerini almaktadır.



Şekil 4.12: MLP için verim, önem ve optimum kesim değeri.

Şekil 4.12’de görüldüğü gibi, MLP için 1000 sinyal olayı ve 1000 arka plan olayı verim ve optimum kesim değerleri verilmiştir. Kesim 0.57 değerinde yapıldığında maksimum sinyal verimi 31.18 değerini almaktadır. Arka plan verimi neredeyse yoktur ve sinyal verimi net bir şekilde gözlemlenebilmiştir.



Şekil 4.13: DNN için verim, önem ve optimum kesim değeri.

Şekil 4.13’de görüldüğü gibi, DNN için 1000 sinyal olayı ve 1000 arka plan olayı verim ve optimum kesim değerleri verilmiştir. Kesim 0.08 değerinde yapıldığında maksimum sinyal

verimi 31.10 değerini almaktadır. Arka plan verimi yok denecek azdır ve sinyal verimi net bir şekilde gözlemlenebilmiştir.

Farklı ΣL değerleri için beklenen sinyal sayısı, olay sayıları, arka plan sayıları ve bu sayılara karşılık gelen sinyal önemi ve yapay öğrenme çıktılarına uygulanan kesme değerleri, BDT, MLP ve DNN metotları için aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.3: Farklı ışınlılık değerlerinde BDT, MLP, DDN metotları için sinyal önemi ve kesme değerleri.

L (fb^{-1})	N_S	$N_{t\bar{t}}$	N_{W+jets}	N_B	$\frac{S}{\sqrt{S+B}}$			Kesme Değeri		
					BDT	MLP	DNN	BDT	MLP	DNN
1000	76	14594165	2112115	16706279	6,48	7,78	7,83			
2000	153	29188329	4224230	33412559	9,16	11,00	11,07	0,389	0,987	0,985
3000	229	43782494	6336345	50118838	11,23	13,48	13,58			

Tablo 4.3’de gösterilen sinyal sayısı, $t\bar{t}$ çifti sayısı, $W + jet$ sayısı ve arka plan sayısı aşağıda gösterilen denklemler ile elde edilmiştir.

Sinyal sayısı için;

$$N_S = L \times \sigma_S \times \varepsilon_S \quad (4.2)$$

$t\bar{t}$ çifti sayısı için;

$$N_{t\bar{t}} = L \times \sigma_{t\bar{t}} \times \varepsilon_{t\bar{t}} \quad (4.3)$$

$W + jet$ sayısı için;

$$N_{W+jets} = L \times \sigma_{W+jets} \times \varepsilon_{W+jets} \quad (4.4)$$

Arka plan sayısı için;

$$N_B = L \times \sigma_B \times \varepsilon_B \quad (4.5)$$

denklemleri kullanılmıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında, SMÖ çalışmaları içinde yer alan ve yeni bir model olan $U(1)'$ modeli ve bu modelin ayar bozonu olan ağır Z' rezonansı incelenmiştir. Kütlesi 3000 GeV alınan Z' bozonu, $t\bar{t}$ yarı leptonik kanalında derin öğrenme metodu kullanılarak araştırılmıştır. Derin Öğrenme metotları ile sinyal ve arka plan olaylarının birbirinden hangi ölçülerde ve nasıl ayrıldığı hesaplanmıştır.

Çalışma, $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ 'de ki proton – proton çarpışmaları için 100000 sinyal ($pp \rightarrow Z' \rightarrow t\bar{t}$) ve yaklaşık 800000 arka plan sürecinin simülasyon sonucu üretilmesiyle gerçekleştirilmiştir.

$pp \rightarrow Z' \rightarrow t\bar{t}$ sürecinin Feynman diyagramları incelenmiştir ve son durumda en az iki hafif jet, en az iki b-jet, en az bir lepton ve bir kayıp enerjinin olduğu olaylar seçilmiştir. Sinyali arka plandan ayırt etmek için çeşitli derin öğrenme metotları kullanılmıştır.

BDT, MLP ve DNN modelleri kullanılarak elde edilen sinyal verimlilik değerleri, farklı tesir kesiti (σ) ve farklı toplam ışınlilik (ΣL) değerleri için bulunmuştur. BDT, MLP ve DNN eğitim ve test sonuçlarının kıyaslamaları yapılmıştır.

$L = 1000 \text{ fb}^{-1}$ ışınlilik değerinde BDT, MLP ve DNN eğitimlerinin sinyal verimliliği sırasıyla $S = 6.48$, $S = 7.78$ ve $S = 7.83$ olarak, $L = 2000 \text{ fb}^{-1}$ ışınlilik değerinde BDT, MLP ve DNN eğitimlerinin sinyal verimliliği sırasıyla $S = 9.16$, $S = 11.00$ ve $S = 11.07$ olarak ve $L = 3000 \text{ fb}^{-1}$ ışınlilik değerinde BDT, MLP ve DNN eğitimlerinin sinyal verimliliği sırasıyla $S = 11.23$, $S = 13.48$ ve $S = 13.58$ olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi sinyal verimlilikleri 6σ 'nın üstünde bir değerdir. Eğer çalışma sonucu bulunan sinyal verimliliği değeri 6σ 'nın altında olsaydı, böyle bir durumda kesin bir keşiften bahsedilemezdi. Fakat elde ettiğimiz sonuçlarda sinyal verimliliği değeri 6σ 'nın üstünde çıktığı için bulunan sonuçlarda Z' bozonun keşfi kullandığımız yöntemle yapılabilir demektir. Dolayısıyla BDT, MLP ve DNN eğitimleri ile elde ettiğimiz sinyal verimlilikleri sonuçları, Z' bozonunun bu değerler arasında bir rezonansa sahip olduğu ve bulunan sinyalin Z' bozonu olma olasılığının çok yüksek olduğunu gösterir.

Ayrıca bu çalışmada, sinyal verimini arka plan olaylarından en iyi ayırt eden metodun MLP olduğuna karar verilmiştir. BDT, MLP ve DNN metotlarının hepsi ROC eğrisinde rastgele

sınıflandırıcının üstündedir. Fakat mükemmel sınıflandırıcı durumuna en yakın olan metot MLP olarak tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, SM eksikliklerini gidermek için ortaya atılan SMÖ modellerinden biri olan $U(1)'$ ayar simetrisine sahip Z' bozonunun varlığının, derin öğrenme yöntemleri kullanılarak 1000, 2000 ve 3000 fb^{-1} toplam ışınlılıkta 6σ 'nın üzerinde bir sinyal verimliliği ile keşfedilebileceği öngörülmüştür. Bu çalışma, gelecekte gerçekleştirilecek hızlandırıcı deneyleri için bir motivasyon kaynağı teşkil edebilir. Simülasyon ile elde edilen sonuçlar değerlendirilip, gerçek sonuçlarla kıyaslandığında literatüre katkı sağlanabilir.



KAYNAKLAR

- [1]. Peskin, M. E. and Schroeder, D. V., 2018, *An Introduction to Quantum Field Theory*, Boca Raton, FL, USA, Taylor & Francis, ISBN: 9780201503975.
- [2]. Goldstein, H., Poole, C., Safko, J., and Addison, S. R., 2002, *Classical Mechanics*, 3rd ed., *Am. J. Phys.* 70 (7), 782–783.
- [3]. Noether, E., 1971, Invariante variations probleme. *Nachr. Ges. Gottingen, Math. Physik Klasse (1918)* 235. Translation by M. Tavel, Milestones in mathematical physics: Noether's theorem, *Transp. Theory Stat. Phys.* 1 , 183–207.
- [4]. Yao, W. M. et al., 2006, Review of particle physics, *J. Phys. G Nucl. Part. Phys.* IOP Publishing. 33 (1), 1.
- [5]. Babu, K. S. et al., 2013, Baryon Number Violation, ArXiv:1311.5285.
- [6]. Işıldak, B., 2005, *Measurement of the Differential Dijet Production Cross Section in Proton-Proton Collisions at $s=7$ TeV*, Boğaziçi Üniversitesi.
- [7]. Tanabashi, M. et al., 2018, Review of particle physics, *Phys. Rev. D.* American Physical Society. 98 (3), 30001.
- [8]. Patrignani, C., Group, P. D., Agashe, K., and Aielli, G., 2016, Review of Particle Physics, *Chinese Phys. C.* 40 (10), 100001.
- [9]. Herb, S. W. et al., 1977, Observation of a dimuon resonance at 9.5 GeV in 400-GeV proton-nucleus collisions, *Phys. Rev. Lett.* APS. 39 (5), 252.
- [10]. Abe, F. et al., 1995, Observation of top quark production in p p collisions with the Collider Detector at Fermilab, *Phys. Rev. Lett.* APS. 74 (14), 2626.
- [11]. Abachi, S. et al., 1995, Observation of the top quark, *Phys. Rev. Lett.* APS. 74 (14), 2632.
- [12]. Liss, T. M. and Tipton, P. L., 1997, The discovery of the top quark, *Sci. Am.* JSTOR. 277 (3), 54–59.
- [13]. Abazov, V. M. et al., 2009, Observation of single top-quark production, *Phys. Rev. Lett.* APS. 103 (9), 92001.
- [14]. Abazov, V. M. et al., 2007, Evidence for Production of Single Top Quarks and First Direct Measurement of $|V_{tb}|$, *Phys. Rev. Lett.* APS. 98 (18), 181802.
- [15]. Aaltonen, T. et al., 2009, Observation of electroweak single top-quark production, *Phys. Rev. Lett.* APS. 103 (9), 92002.
- [16]. Quadt, A., 2007, *Top quark physics at hadron colliders*, Berlin, Springer, ISBN: 9783540710592.
- [17]. Hacışahinoğlu, B., 2017, *Elektron-Proton Çarpıştırıcılarında Higgs-Üst Sektör*

Kuarkların Çeşni Değiştiren Yüksüz Akım Bağlaşımlarının Araştırılması, İstanbul Üniversitesi.

- [18]. Turing, A. M., 1948, Intelligent machinery, NPL Mathematics Division.
- [19]. Koza, J. R., Bennett, F. H., Andre, D., and Keane, M. A., 1996, *Automated Design of Both the Topology and Sizing of Analog Electrical Circuits Using Genetic Programming BT - Artificial Intelligence in Design '96*, Dordrecht, Springer Netherlands, ISBN: 978-94-009-0279-4.
- [20]. Bishop, C. M., 2006, *Pattern recognition and machine learning*, Springer Science+ Business Media, ISBN: 0387310738.
- [21]. Friedman, J. H., 1998, Data mining and statistics: What's the connection?, *Comput. Sci. Stat.* 29 (1), 3–9.
- [22]. Bengio, Y. and LeCun, Y., 2007, Scaling learning algorithms towards AI, *Large-scale kernel Mach.* 34 (5), 1–41.
- [23]. Bengio, Y., Courville, A., and Vincent, P., 2013, Representation learning: A review and new perspectives, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* IEEE. 35 (8), 1798–1828.
- [24]. Arel, I., Rose, D. C., and Karnowski, T. P., 2010, Deep machine learning-a new frontier in artificial intelligence research, *IEEE Comput. Intell. Mag.* 5 (4), 13–18.
- [25]. McCulloch, W. S. and Pitts, W., 1943, *A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity*, Springer.
- [26]. Turing, A. M., 2009, *Computing machinery and intelligence*, Parsing Turing Test, Springer.
- [27]. Rosenblatt, F., 1957, *The perceptron, a perceiving and recognizing automaton Project Para*, Cornell Aeronautical Laboratory.
- [28]. Ivakhnenko, A. G. and Lapa, V. G., 1967, *Cybernetics and forecasting techniques*, North-Holland.
- [29]. Ivakhnenko, A. G., 1971, Polynomial theory of complex systems, *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.* IEEE. (4), 364–378.
- [30]. Fukushima, K. and Miyake, S., 1982, Neocognitron: A self-organizing neural network model for a mechanism of visual pattern recognition, *Compet. Coop. neural nets*. Springer. p. 267–285.
- [31]. Hopfield, J. J., 1982, Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities, *Proc. Natl. Acad. Sci. National Acad Sciences.* 79 (8), 2554–2558.
- [32]. Ackley, D. H., Hinton, G. E., and Sejnowski, T. J., 1985, A learning algorithm for Boltzmann machines, *Cogn. Sci.* Elsevier. 9 (1), 147–169.
- [33]. Weng, J., Ahuja, N., and Huang, T. S., 1992, Cresceptron: a self-organizing neural

- network which grows adaptively, [*Proceedings 1992*] *IJCNN Int. Jt. Conf. Neural Networks*. IEEE. p. 576–581.
- [34]. Weng, J. J., Ahuja, N., and Huang, T. S., 1993, Learning recognition and segmentation of 3-d objects from 2-d images, *1993 Int. Conf. Comput. Vis.* IEEE. p. 121–128.
- [35]. Weng, J. J., Ahuja, N., and Huang, T. S., 1997, Learning recognition and segmentation using the cresceptron, *Int. J. Comput. Vis.* Springer. 25 (2), 109–143.
- [36]. Schmidhuber, J., 2015, Deep learning in neural networks: An overview, *Neural networks*. Elsevier. 61 , 85–117.
- [37]. Hinton, G. E., 2007, Learning multiple layers of representation, *Trends Cogn. Sci.* Elsevier. 11 (10), 428–434.
- [38]. Nasa, <https://science.nasa.gov/astrophysics/focus-areas/what-is-dark-energy>, [Ziyaret Tarihi: 29 Kasım 2019].
- [39]. Langacker, P., 2009, The physics of heavy Z' gauge bosons, *Rev. Mod. Phys.* 81 (3), 1199–1228.
- [40]. Lykken, J. D., 1996, Z' Bosons and Supersymmetry, ArXiv:hep-ph/9610218.
- [41]. Collaboration, C., 2011, Search for Resonances in Semi-leptonic Top-pair Decays Close to Production Threshold, *Cern CDS*.
- [42]. Dimopoulos, S. and Georgi, H., 1981, Softly broken supersymmetry and SU (5), *Nucl. Phys. B*. Elsevier. 193 (1), 150–162.
- [43]. Weinberg, S., 1979, Implications of dynamical symmetry breaking: an addendum, *Phys. Rev. D*. APS. 19 (4), 1277.
- [44]. Susskind, L., 1979, Dynamics of spontaneous symmetry breaking in the Weinberg-Salam theory, *Phys. Rev. D*. APS. 20 (10), 2619.
- [45]. Hill, C. T. and Parke, S. J., 1994, Top quark production: Sensitivity to new physics, *Phys. Rev. D*. APS. 49 (9), 4454.
- [46]. Chivukula, R. S., Dobrescu, B. A., Georgi, H., and Hill, C. T., 1999, Top quark seesaw theory of electroweak symmetry breaking, *Phys. Rev. D*. APS. 59 (7), 75003.
- [47]. Arkani-Hamed, N., Cohen, A. G., and Georgi, H., 2001, Electroweak symmetry breaking from dimensional deconstruction, *Phys. Lett. B*. Elsevier. 513 (1–2), 232–240.
- [48]. Randall, L. and Sundrum, R., 1999, Large Mass Hierarchy from a Small Extra Dimension, *Phys. Rev. Lett.* American Physical Society. 83 (17), 3370–3373.
- [49]. Altarelli, G., Mele, B., and Ruiz-Altaba, M., 1989, Searching for new heavy vector bosons in p-pbar colliders, *Zeitschrift für Phys. C Part. Fields*. Springer. 45 (1), 109–121.
- [50]. Fuks, B. and Ruiz, R., 2017, A comprehensive framework for studying W' and Z' bosons

at hadron colliders with automated jet veto resummation, *J. High Energy Phys.* Springer. 2017 (5), 32.

- [51]. De Favereau, J. et al., 2014, DELPHES 3: a modular framework for fast simulation of a generic collider experiment, *J. High Energy Phys.* Springer. 2014 (2), 57.
- [52]. Cacciari, M., Salam, G. P., and Soyez, G., 2008, The anti- k_t jet clustering algorithm, *J. High Energy Phys.* IOP Publishing. 2008 (04), 063–063.



EKLER

EK 1. Delphes çıktısının yapay öğrenme eğitimi için kullanılacak girdi değişkenlerine çeviren kodlar.

```

#include "progressbar.hpp"

#include <cmath>

// returns the cosine of the 3D angle between two jets(particles)
float cos_delta_omega(TLorentzVector v1, TLorentzVector v2)
{
  TVector3 p3_1 = v1.Vect();
  TVector3 p3_2 = v2.Vect();
  float scalar_product = p3_1.Dot(p3_2);
  return (scalar_product / (p3_1.Mag() * p3_2.Mag()));
}

// returns up to the fourth Legendre Polynomial
float legendre_l(int l, float x)
{
  if (l == 0) return 1;
  else if (l == 1) return x;
  else if (l == 2) return 0.5 * (3 * pow(x, 2) - 1);
  else if (l == 3) return 0.5 * (5 * pow(x, 3) - 3 * x);
  else return 0;
}

void flattree_producer(TString infile_name, TString outfile_name)
{
  int nthreads = 4;
  ROOT::EnableImplicitMT(nthreads);
  auto file = new TFile(infile_name);
  TTreeReader myReader("Delphes", file);
  auto outfile = new TFile(outfile_name, "RECREATE");
}

```

```

float met, metphi, ht, sphericity, aplanarity, fox_wolfram[4], jet_pt[4];

int n_light_jets, n_jets, n_bjets, n_leptons;

std::vector<TLorentzVector> v_jet_p4;

TLorentzVector jet_p4;

// Create the TTree and branches

TTree *outtree = new TTree("flatree", "flattree");

outtree->Branch("br_njets"    , &n_jets,    "n_jets/I");
outtree->Branch("br_nleptons" , &n_leptons, "n_leptons/I");
outtree->Branch("br_nbjets"   , &n_bjets,   "n_bjets/I");
outtree->Branch("br_HT"      , &ht,       "ht/F");
outtree->Branch("br_jet_pt"   , &jet_pt,   "jet_pt[4]/F");
outtree->Branch("br_sphericity", &sphericity, "sphericity/F");
outtree->Branch("br_aplanarity", &aplanarity, "aplanarity/F");
outtree->Branch("br_fox_wolfram", &fox_wolfram, "fox_wolfram[4]/F");
outtree->Branch("br_MET"      , &met,      "MET/F");
outtree->Branch("br_METPhi"   , &metphi,   "METPhi/F");

//Electron Definitions

TTreeReaderValue<int> rv_Electron_size(myReader, "Electron_size");
TTreeReaderArray<float> ra_Electron_pT(myReader, "Electron.PT");
TTreeReaderArray<float> ra_Electron_Eta(myReader, "Electron.Eta");
TTreeReaderArray<float> ra_Electron_Phi(myReader, "Electron.Phi");
TTreeReaderArray<int> ra_Electron_Q(myReader, "Electron.Charge");
TTreeReaderArray<float> ra_Electron_IsoVar(myReader, "Electron.IsolationVar");

```

```
//Muon Definitions
```

```
TTreeReaderValue<int> rv_Muon_size(myReader, "Muon_size");
TTreeReaderArray<float> ra_Muon_pT(myReader, "Muon.PT");
TTreeReaderArray<float> ra_Muon_Eta(myReader, "Muon.Eta");
TTreeReaderArray<float> ra_Muon_Phi(myReader, "Muon.Phi");
TTreeReaderArray<int> ra_Muon_Q(myReader, "Muon.Charge");
TTreeReaderArray<float> ra_Muon_IsoVar(myReader, "Muon.IsolationVar");
```

```
//Jet Definitions
```

```
TTreeReaderValue<int> rv_Jet_size(myReader, "Jet_size");
TTreeReaderArray<float> ra_Jet_pT(myReader, "Jet.PT");
TTreeReaderArray<float> ra_Jet_Eta(myReader, "Jet.Eta");
TTreeReaderArray<float> ra_Jet_Phi(myReader, "Jet.Phi");
TTreeReaderArray<float> ra_Jet_Mass(myReader, "Jet.Mass");
TTreeReaderArray<int> ra_Jet_Q(myReader, "Jet.Charge");
TTreeReaderArray<unsigned int> ra_Jet_Btag(myReader, "Jet.BTag");
```

```
//Met Definitions
```

```
TTreeReaderValue<int> rv_MET_size(myReader, "MissingET_size");
TTreeReaderArray<float> ra_MET_MET(myReader, "MissingET.MET");
TTreeReaderArray<float> ra_MET_Eta(myReader, "MissingET.Eta.");
TTreeReaderArray<float> ra_MET_Phi(myReader, "MissingET.Phi");
```

```
//HT Definitions
```

```
TTreeReaderValue<int> rv_HT_size(myReader, "ScalarHT_size");
TTreeReaderArray<float> ra_HT(myReader, "ScalarHT.HT");
```



```
// Histogram Definitions
//auto histo_jet_multiplicity = new TH1F("Jet_Size", "Jet_Size", 20, 0, 20);
int n_events;
int n_passed_events(0);
int n_vetoed_events(0);
int n_cut_lepton_size(0);
int n_cut_met(0);
int n_cut_n_light_jets(0);
int n_cut_n_btag_jets(0);

bool cut_lepton_size;
bool cut_met;
bool cut_n_btag_jets;
bool cut_n_light_jets;
bool cut_lepton_pt;
bool cut_jet1_pt;
bool veto_event;

n_events = myReader.GetEntries(1);

// initialize the progress bar
const int limit = myReader.GetEntries(1);
ProgressBar progressBar(limit, 70);
// Loop over Events
for (unsigned int i_event = 0; i_event < (int)(n_events); ++i_event)
{ ++progressBar;
```

```

// display the bar
progressBar.display();
myReader.SetEntry(i_event);

// Define the Cuts
met = ra_MET_MET.At(0);
metphi = ra_MET_Phi.At(0);
cut_met = met < 20.;
n_leptons = (*rv_Electron_size) + (*rv_Muon_size);
cut_lepton_size = n_leptons < 1;
//std::cout << i_event << "\t" << *rv_Electron_size + *rv_Muon_size << std::endl;

//---- count number of b-tagged jets -----
n_bjets = 0;
for (unsigned int i_jet = 0; i_jet < *rv_Jet_size; ++i_jet)
{ if (ra_Jet_Btag.At(i_jet) > 0)
  {n_bjets += 1;}}
n_light_jets = *rv_Jet_size - n_bjets;
cut_n_light_jets = n_light_jets < 2;
cut_n_btag_jets = n_bjets < 2;

//---- Veto events failing to satisfy the cuts --
if (cut_lepton_size) {n_cut_lepton_size += 1; continue;}
if (cut_n_light_jets) {n_cut_n_light_jets += 1; continue;}
if (cut_n_btag_jets) {n_cut_n_btag_jets += 1; continue;}
if (cut_met) {n_cut_met += 1; continue;}
n_passed_events += 1;

```

```

//---- fill jet pts -----
//---- construct sphericity tensor -----
//---- compute fox-wolfram moments -----

v_jet_p4.clear();

float sumE(0), sumPxx(0), sumPxy(0), sumPxz(0), sumPyy(0), sumPyz(0), sumPzz(0),
sumP2(0);

for (int i_jet = 0; i_jet < *rv_Jet_size; ++i_jet)

{if (i_jet < 4)

{jet_pt[i_jet] = ra_Jet_pT.At(i_jet);}.

jet_p4.SetPtEtaPhiM(ra_Jet_pT.At(i_jet),      ra_Jet_Eta.At(i_jet),      ra_Jet_Phi.At(i_jet),
ra_Jet_Mass.At(i_jet));

v_jet_p4.push_back(jet_p4);

sumE += v_jet_p4.back().Energy();

sumPxx += v_jet_p4.back().Px() * v_jet_p4.back().Px();
sumPxy += v_jet_p4.back().Px() * v_jet_p4.back().Py();
sumPxz += v_jet_p4.back().Px() * v_jet_p4.back().Pz();
sumPyy += v_jet_p4.back().Py() * v_jet_p4.back().Py();
sumPyz += v_jet_p4.back().Py() * v_jet_p4.back().Pz();
sumPzz += v_jet_p4.back().Pz() * v_jet_p4.back().Pz();
sumP2 += v_jet_p4.back().P() * v_jet_p4.back().P();}

if (sumP2 > 0)

{float Txx = sumPxx / sumP2;

float Tyy = sumPyy / sumP2;

float Tzz = sumPzz / sumP2;

float Txy = sumPxy / sumP2;

```

```
float Txz = sumPxz / sumP2;
```

```
float Tyz = sumPyz / sumP2;
```

```
TMatrixDSym T(3);
```

```
T(0, 0) = Txx;
```

```
T(0, 1) = Txy;
```

```
T(0, 2) = Txz;
```

```
T(1, 0) = Txy;
```

```
T(1, 1) = Tyy;
```

```
T(1, 2) = Tyz;
```

```
T(2, 0) = Txz;
```

```
T(2, 1) = Tyz;
```

```
T(2, 2) = Tzz;
```

```
//---- compute sphericity -----
```

```
TMatrixDSymEigen TEigen(T);
```

```
TVectorD eigenValues(TEigen.GetEigenValues());
```

```
sphericity = 1.5 * (eigenValues(1) + eigenValues(2));
```

```
//---- compute aplanarity -----
```

```
aplanarity = 1.5 * (eigenValues(2));
```

```
//---- compute Fox-Wolfram moments -----
```

```
float sumPij[4] = {0.0, 0.0, 0.0, 0.0};
```

```
for (unsigned int i_jet = 0; i_jet < v_jet_p4.size(); i_jet++)
```

```
{ for (unsigned int j_jet = 0; j_jet < v_jet_p4.size(); j_jet++)
```

```
{ float factor = ( v_jet_p4.at(i_jet).P() * v_jet_p4.at(j_jet).P() ) / (sumE * sumE.);
```

```

for (unsigned int i = 0; i < 4; i++) {
    sumPij[i] += factor * legendre_l(i, cos_delta_omega(v_jet_p4.at(i_jet),
v_jet_p4.at(j_jet))); //legendre 0 = 1}}
for (int i = 0; i < 4; i++) {
    fox_wolfram[i] = sumPij[i];}}.
ht = ra_HT.At(0);
n_jets = *rv_Jet_size;
outtree->Fill();}

std::cout << std::endl;
std::cout << "n_events:" << n_events << std::endl;
std::cout << "n_passed_events" <<n_passed_events << "\t" << n_vetoed_events <<
std::endl;
std::cout << "n_cut_lepton_size:" << n_cut_lepton_size << std::endl;
std::cout << "n_cut_n_light_jets:" << n_cut_n_light_jets << std::endl;
std::cout << "n_cut_n_btag_jets:" << n_cut_n_btag_jets << std::endl;
std::cout << "n_cut_met:" << n_cut_met << std::endl;
outfile->cd();
outtree->Write();
outfile->Close();}

```

EK 2. Yapay öğrenme eğitimi için kullanılan kodlar.

```

#include "TMVA/Factory.h"
#include "TMVA/MethodCategory.h"
#include "TFile.h"
#include "TTree.h"
#include "TCut.h"

```

```

#include "TH1F.h"

using namespace TMVA;
using namespace TMath;

void trainMVACat();

void trainMVACat() {
char name[1000];

// backgrounds:[ttbar, wjets]
float bkg_XSEC[2] = {7.193496e+01, 1.464984e+05};
float sig_XSEC[1] = {1.077730e-03};
float bkg_NORM[2] = {100000, 693610};
float sig_NORM[1] = {100000};

TFile *bkgSrc[2];

bkgSrc[0] = TFile::Open("../outfile_ttbar.root");
bkgSrc[1] = TFile::Open("../outfile_wjets.root");
TFile *sigSrc = TFile::Open("../outfile_zprime.root");
TTree *sigTree = (TTree *)sigSrc->Get("flatree");
TTree *bkgTree[1];

TFile *outf = new TFile("mva_zprime.root", "RECREATE");

TMVA::Factory *factory = new TMVA::Factory("factory_mva_zprime", outf,
"!V:!Silent:Color:DrawProgressBar:Transformations=I:AnalysisType=Classification");

TMVA::DataLoader loader("dataset");

loader.AddSignalTree(sigTree, sig_XSEC[0] / sig_NORM[0]);

//loader.AddSignalTree(sigTree, sig_XSEC[0] / sig_NORM[0]);

```

```

for (int k = 0; k < 2; k++) {
bkgTree[k] = (TTree *)bkgSrc[k]->FindObjectAny("flatree");

//loader.AddBackgroundTree(bkgTree[k], bkg_XSEC[k] / bkg_NORM[k]);

loader.AddBackgroundTree(bkgTree[k], 1.);}

const int NVAR = 16;

TString VAR[NVAR] = {"n_jets", "ht", "sphericity", "jet_pt[0]", "jet_pt[1]", "jet_pt[2]",
"jet_pt[3]", "aplanarity", "fox_wolfram[0]", "fox_wolfram[1]", "fox_wolfram[2]",
"fox_wolfram[3]", "MET", "METPhi", "n_leptons", "n_bjets"};

/*const int NVAR = 3;

TString VAR[NVAR] = {"n_jets", "n_leptons", "n_bjets"};

//char TYPE[NVAR] = {"I", "F", "F", "F", "F", "F", "F", "F", "F", "F", "F", "F", "F", "F", "F",
"F", "F", "F", "I", "F", "I"};*/

for (int i = 0; i < NVAR; i++) {
loader.AddVariable(VAR[i]);}

TCut mycuts;

loader.PrepareTrainingAndTestTree(mycuts,
"nTrain_Signal=7000:nTrain_Background=7000:nTest_Signal=1000:nTest_Background=100
0:SplitMode=Random:NormMode=NumEvents:!V");

/*factory->BookMethod( &loader, TMVA::Types::kKNN, "KNN",

"H:nkNN=20:ScaleFrac=0.8:SigmaFact=1.0:CreateMVAPdfs:Kernel=Gaus:UseKernel=F:Us
eWeight=T:!Trim" );*/

factory->BookMethod(&loader, TMVA::Types::kBDT, "BDT",
"!V:NTrees=200:MinNodeSize=20.5%:MaxDepth=2:BoostType=AdaBoost:AdaBoostBeta=0
.5:UseBaggedBoost:BaggedSampleFraction=0.5:SeparationType=GiniIndex:nCuts=20");

factory->BookMethod( &loader, TMVA::Types::kMLP, "MLP",
"H:!V:NeuronType=tanh:VarTransform=N:NCycles=600:HiddenLayers=N+5:TestRate=5:!U
seRegulator" );

```

```

// Use Deep Neural-Network

/////General layout.

TString layoutString ("Layout=TANH|128,TANH|128,TANH|128,LINEAR");

/////Training strategies.

TString training0("LearningRate=1e-1,Momentum=0.9,Repetitions=1,"
"ConvergenceSteps=20,BatchSize=256,TestRepetitions=10,"
"WeightDecay=1e-4,Regularization=L2,"
"DropConfig=0.0+0.5+0.5+0.5, Multithreading=True");

TString training1("LearningRate=1e-2,Momentum=0.9,Repetitions=1,"
"ConvergenceSteps=20,BatchSize=256,TestRepetitions=10,"
"WeightDecay=1e-4,Regularization=L2,"
"DropConfig=0.0+0.0+0.0+0.0, Multithreading=True");

TString training2("LearningRate=1e-3,Momentum=0.0,Repetitions=1,"
"ConvergenceSteps=20,BatchSize=256,TestRepetitions=10,"
"WeightDecay=1e-4,Regularization=L2,"
"DropConfig=0.0+0.0+0.0+0.0, Multithreading=True");

TString trainingStrategyString ("TrainingStrategy=");
trainingStrategyString += training0 + "|" + training1 + "|" + training2;

/////General Options.

TString dnnOptions ("!H:V>ErrorStrategy=CROSSENTROPY:VarTransform=N:"
"WeightInitialization=XAVIERUNIFORM");
dnnOptions.Append (":");
dnnOptions.Append (layoutString);

```



```
dnnOptions.Append (":");  
dnnOptions.Append (trainingStrategyString);  
  
TString cpuOptions = dnnOptions + ":Architecture=CPU";  
factory->BookMethod( &loader, TMVA::Types::kDNN, "DNN CPU", cpuOptions);  
factory->TrainAllMethods();  
factory->TestAllMethods();  
factory->EvaluateAllMethods();  
outf->Close();}
```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Tuğçe Eda YORULMAZ
Doğum Yeri	Havza/Samsun
Doğum Tarihi	21.06.1990
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	0535 798 8353
E-Posta Adresi	tugceedayorulmaz@hotmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Fizik Bölümü
Mezuniyet Yılı	18.07.2014

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Fizik
Programı	Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği

Makale ve Bildiriler	