

TAEK ARAŞTIRMA PROJESİ

Durmuş Ali Demir, Kerem Cankocak, İsmail Turan

CERN CMS DENEYİ'NDE YENİ KUVVET YASALARININ ARAŞTIRILMASI (SEARCH FOR NEW FORCE LAWS AT THE CERN CMS EXPERIMENT)

Özet

Elektroyeğin etkileşmelerin standart modeli (SM), yapılagelmiş bütün deneylerle mükemmel bir uyum sergilemiş olmasına rağmen, bizzat kendisinin sahip olduğu kuantum kararsızlığı nedeniyle hayati bir problemle karşıkarşıya kalmaktadır (*ayar hiyerarşisi problemi*). Morötesi geçerlilik sınırı yükseldikçe Elektroyeğin kuramı bir bütün olarak geçersiz kılan bu kararsızlık önlenmelidir ki nükleer bozulmalar bilinen hızda, güneş bilinen parlaklıkta, W/Z bozonlar ölçülmüş kütle değerlerinde kalabilsinler. Temelde, bunu başarmak için bilinen iki ana yol vardır: Süpersimetri ve Çok-boyutlu Uzay-zamanlar. Bu projenin amacı bu iki kuramsal yapıyı belli bir takım belirtilerini esas alarak CERN-CMS Deneyi'nde alınacak verilerle birlikte, MC analizleri yoluyla incelemek ve yoklamaktır. Projenin ağırlık noktası bu etkileri (asgari yapıyı oluşturan Minimal Süpersimetrik Model (MSSM) ile Einstein çekim kuramında bulunmayan) *yeni kuvvet yasaları* araştırmak olacaktır. Daha ayrıntılı bir ifade ile, süpersimetrik modeller çerçevesinde ana konu ek ayar gruplarına sahip modelleri içerdikleri ek kuvvet yasaları yoluyla incelemek olacaktır öyle ki, süpersimetrik yapı gereği, bu inceleme yalnızca ayar bozununu değil bizzat ayar fermiyonunu da kapsayacaktır. Böylesi modellerin (ki bunlara X-SUSY adını vereceğiz) hem süpersicim ve büyük birleşik kuram (GUT) kanallarıyla hem de MSSM'nin kendi doğallık probleminin çözümü için ortaya çıktığı bilinmektedir. Öte yandan, çokboyutlu uzayzaman kuramları çerçevesinde ana konu yüksek eğrilikli çekim kuramlarını zorunlu olarak içerdikleri ek gravitonlar yoluyla incelemek olacaktır (ki bu tür modellere X-GRAV adını vereceğiz). Projenin öncelikli hedefi X-SUSY modellerini incelemek olacaktır ve eğer proje süresi ve iş gücü izin verirse X-GRAV modelleri de çalışılacaktır. Her iki kuramsal yapı için de onların kimliklerini ele verecek belli karakteristik olayların LHC deneylerinde ortaya çıkması beklenmektedir.

Abstract

The Standard Model of Electroweak interactions (SM) , though has exhibited excellent agreement with all the experiments performed so far, suffers from a vital problem stemming from its quantum instability (the *gauge hierarchy problem*). This instability, which invalidates whole electroweak theory as its ultraviolet validity boundary raises to higher values, has to be avoided so as to keep radioactivity at its known rate, the sun to shine as she does, and W/Z bosons to weigh at their measured masses. There are, boldly speaking, two known ways to do this: Supersymmetry and Higher Dimensional Spacetimes. This project aims at studying certain signatures of these two avenues in the CMS Experiment at CERN by performing appropriate Monte Carlo and data analyses. The main focus of the project will be to explore, experimentally, the *extra forces* not found in the Minimal Supersymmetric Standard Model (MSSM) and in the Einstein gravity. In course of the project, main emphasis will be put on supersymmetry, and if the project duration and work power permit higher dimensional models will also be analyzed. In supersymmetry, the prime emphasis will be on the supersymmetric models with extra gauge symmetries (X-SUSY, in short) such that a search strategy based on not only the gauge forces themselves but also on the gauge fermions will be developed and studied. The X-SUSY type models are known to arise from superstrings and GUTs as well as from solution of the naturalness problem of the MSSM itself. As for higher dimensional models, the focus will be on higher-curvature gravity in higher dimensional spacetimes (X-GRAV, in short) wherein extra massive graviton states naturally arise. For both models, X-SUSY and X-GRAV, one expects certain LHC signals indicative of their distinctive features admitting discovery or exclusion.

KURAMSAL YAPI

Doğanın kısa mesafelerdeki (kabaca 10^{-18} m) davranışını (kuvvet yasaları ve temel parçacıkların yapıları bağlamında) açıklayan ve yapılagelen bütün deneylerle hayret verici bir uyum gösteren Standart Model evrendeki toplam maddenin yaklaşık %25'ini oluşturan Kara Madde (KM) için herhangi bir açıklama getiremediği gibi KM adayı olabilecek bir parçacığa da sahip değildir. SM'in bir diğer ve daha da hayati problemi ise kuantum mekaniksel etkiler karşısında kararlı davranamayışdır öyle ki nükleer etkileşmelerden sorumlu olan kuvvet (yeğni etkileşme kuvveti) kuantum etkileri altında ciddi ölçüde zayıflayıp çekim kuvveti mertebesinde, son derece zayıf bir kuvvete dönüşmektedir. Bu problem, bilinen adıyla *ayar hiyerarşisi problemi*, SM'nin en temel problemi olup başka tüm problemler (örneğin KM problemi) bu problemi çözebilen modeller çerçevesinde analiz edilmelidir. Hiyerarşi meselesine çözüm getirebilen iki ana yaklaşım ise süpersimetrik modeller ile çokboyutlu uzayzaman modelleri olup bu projenin konusu bu modeller çerçevesinde yeni fizik olaylarını araştırmaktır. Bu noktada bu modellere ve sundukları kara madde adaylarına ilişkin kısa bir tanımlama vermek faydalı olacaktır:

- A) **Supersimetrik Modeller (SUSY):** Hiyerarşi probleminin temel nedeni SM'nin Higgs sektörünün doğal olmayışdır yani Higgs alanının kütesinin sıfırlanmasının sistemin simetrilerini artırmamasıdır. Bu bağlamda problemin çözümü öncelikle Higgs sektörünün doğallaştırılmasını gerektirmektedir. Bu doğallaştırma için gereken temel öge yeni bir simetri yasasının bulunması olup süpersimetri (her bir parçacığa aralarındaki spin farkı $\frac{1}{2}$ olacak şekilde bir kardeş tayin edilmesi) uygun bir simetridir. Bu simetri yapısının en önemli sonuçlarından biri en hafif süpersimetrik parçacığın kararlı (hiç bozulmadan kalan ve dolayısıyla uzun ömürlü olan) bir parçacık oluşudur. Bu en hafif süpersimetrik parçacık (LSP) bir kara madde adayıdır. Mevcut proje çerçevesinde değişik süpersimetrik modellerdeki LSP adayları incelenecek ve LSP'nin LHC deneylerinde gözlemlenebilmesi için gerekli koşullar tartışılacaktır.
- B) **Çokboyutlu Uzaylar:** Hiyerarşi probleminin nedeni kuantum genliklerinin hesabında keyfi derecede küçük mesafelere inilmesidir. Halbuki, SM'in üst geçerlilik sınırı olan 1 TeV civarında çokboyutlu, ek boyutların kabaca 1 mm veya daha kısa olduğu ve Newton çekim sabitinin bu civarda değer aldığı bir uzayzaman bulunması mümkündür ki bu durumda hiyerarşi problemi kendiliğinden ortadan kalkar. Bu türden yüksek boyutlu çekim kuramları çeşitli KM adaylarını haizdir: en hafif Kaluza-Klein seviyesi veya Q-topları gibi.

Bu iki yol yeni fizik yasalarının alabileceği muhtemel şekille hakkında ana çerçeveyi çizmektedir. . Bununla birlikte, bu yolların her biri çözmeyi hedeflediği problemin benzeri başka doğallık problemlerini içermektedir ve bu bağlamda doğallık problemlerinden arınmış, mevcut deneysel sınırlamalarla uyumlu, doğa tarafından kabul edilebilir özellikleri haiz alt modellerin oluşturulup çalışılması gerekmektedir. Bu durum özellikle süpersimetrik modellerde kendini apaçık gösterir. Aşağıda bu iki alt model açıklanacak ve projenin konu ve kapsamı bu yolla tanımlanacaktır.

AA) X-SUSY: Süpersimetrik modeller içinde en sık kullanılan, en çok analiz edilmiş olan model MSSM'dir. MSSM, basit bir dille, iki Higgs dublet alanına sahip SM'in parçacıklarının her birine bir süpereş tayin edilmesi suretiyle spektrumun ikiye katlanması ile oluşan ve döngü olarak da ayar

hiyerarşisi problemini ortadan kaldıran bir modeldir. Bu model, görünüşte SM'in son derece basit bir genişletilmesi olmakla birlikte, SM'in Higgs sektöründe karşılaştığımız türden hayati bir doğallık problemi ile karşı karşıya kalır. Bu problem, temelde, MSSM'nin süperpotansiyelinde mevcut ikili terimden kaynaklanmaktadır öyle ki bu terim iki Higgs dubleti ile μ tabir edilen bir kütle parametresinden oluşur. Söz konusu olan süperpotansiyel olduğu için bu parametre süpersimetriyi kıran sektör ile ilişkilendirilemez ve MSSM'nin kendisi de bu parametrenin orijini hakkında hiç bir açıklamada bulunmaz. Bu parametrenin doğal değerleri sıfır ya da Planck kütlesi olup her ikisi de modeli geçersiz kılan değerlerdir. Bu problem, SM'deki ayar hiyerarşisi problemi gibi bir doğallık problemidir. Diğer bir deyimle, MSSM bir model olarak SM'deki doğallık problemini çözmek üzere dizayn edilmişken bizzat kendisi bu problem ile karşılaşarak varlık nedeniyle çatışmaya düşer. μ parametresinin gerçekçi değeri 1 TeV civarı olup onun bu değere stabilize olmasını sağlayan mekanizmanın anlaşılması gerekmektedir. Bu işlemi MSSM içinde yapmak mümkün değildir; MSSM'nin ötesinde, MSSM'yi de kapsayan, yeni bir yapıya, daha geniş bir modele ihtiyaç vardır.

μ problemini çözebilme yani MSSM'yi doğallaştırma gücüne sahip, kozmolojik/astrofizik yeni problemlere yol açmayan bilinen tek yol MSSM'nin ayar grubunu (yani SM'in ayar grubunu) ek ayar grupları ile genişletmektir. Bu genişletme işlemi tikel olmayıp değişik ayar grupları (örneğin Pati-Salam grubu veya başkaca yapılar) düşünülebilir. Ancak, μ probleminin çözümü açısından basit bir Abelyan grup yeterlidir ki buna $U(1)'$ grubu diyoruz bildiğimiz hiperyük grubundan ayırmak için. Elde ettiğimiz bu modeli X-SUSY olarak adlandırıyoruz. Bu model MSSM'deki parçacıklara ilaveten $U(1)'$ grubunun ayar bozonu ve ayar fermiyonunu ve de μ parametresini dinamik olarak indükleyen, teoremin süperpotansiyeline yerleştirilmiş SM ayar grubu altında değişimsiz kalan bir kiral alanı içerir. Daha açık bir deyimle, X-SUSY modeli MSSM'ye göre yeni bir Z bozonu (buna Z' diyoruz), yeni bir Zino (buna Zino' diyoruz), yeni bir Higgs alanı (buna singlet Higgs S diyoruz) ve yeni bir Higgsino alanı (buna singlino S-tilde diyoruz) içeren, μ probleminden arınmış, genişletilmiş bir modeldir. Bu sayılan parçacıklar X-SUSY modelini MSSM'den farklı kılan, dolayısıyla X-SUSY'nin keşfedilmesi için ihtiyaç duyulan sinyalleri yaratan temel parçacıklardır.

X-SUSY modelinin varlığını işaret eden, fenomenolojik veya deneysel anlamda ihtiyaç duyulan ipuçlarını sağlayan etkileri üç ana gruba bölmek faydalı olabilir: a) Z' bozonundan gelen etkiler, b) Zino' fermiyonundan gelen etkiler, c) Singlet Higgs ve Singlino'dan gelen etkiler. Kuramın bütünü içinde böyle bir ayrıştırma doğru değildir zira bütün sektörler birbirleri ile iletişim içinde olup birbirlerinden haberdardırlar. Bununla birlikte, belli altın keşif yöntemlerinin geliştirilmesi açısından uygundur.

a) Z' bozonundan gelen etkiler. Bu sınıfta en önemli etki, deneysel ve fenomenolojik anlamda en çok çalışılmış olan Z' bozonunun kuark—anti-kuark çarpışması ile s-kanalında üretimi ve akabinde bozularak MSSM'de beklenenin dışında lepton veya kuark çiftleri üretmesi olayıdır. Bu olay literatürde en çok çalışılmış olay olup Z' bozonunun keşfi için altın kanal niteliğindedir. Literatürde mevcut analizler Z' bozonunun yalnızca SM parçacıklarına bozulacaklarını esas aldığından Z' bozonu alt sınır olarak kabaca 1 TeV kütleyle sahip olmak durumunda kalmaktadır. Z' bozonunun diğer bozulma kanalları hesaba katıldığında bu sınırlama 200-250 GeV kadar aşağı inmektedir.

b) Zino' fermiyonundan gelen etkiler. Bu etkiler henüz literatürde çalışılmış olmayıp bu yönde yapılacak çalışmalar hem kuramsal hem de deneysel anlamda yeni olacak olup, bu alanda yeni keşif yöntemlerine, yeni altın kanalların belirlenmesine yol açabilecek potansiyele sahiptir. Bu durumu çarpıcı bir örnek ile açıklamak daha aydınlatıcı olabilir: MSSM'de sağ -el skaler fermiyonlar

(bildiğimiz sağ-el kuark ve leptonların süpereşeri olan skaler parçacıklar) yalnızca bir fermion ve bino'ya (hiperyük ayar bozonunun süpereşi olan fermiyon) bozulur. Bu LHC deneylerinde 2 jet + 0 lepton + MET sinyalleri olarak ortaya çıkar. Ne var ki aynı parçacıklar yani skaler fermiyonlar X-SUSY çerçevesi içinde bir fermion ve Zino' veya binoya bozulur. İlki ise leptonlu olaylara yol açar. Diğer bir deyimle, MSSM'de mümkün olmamakla birlikte, X-SUSY çerçevesi içinde sağ-el skaler fermiyonların leptonsuz 2 jet + 0 lepton+MET ve ilaveten leptonlu 2 jet + (2 veya 4) lepton + MET olayları üretmesi de mümkündür. Bu olay hem fenomenolojik hem de deneysel olarak çalışılması hedeflenen yöndür. Bu olayların bize sağlayacağı en önemli veri LHC'de ortaya çıkacak modelin nasıl bir süpersimetrik yapı olduğunu bize vermesi olacaktır.

c) Singlet Higgs ve Singlino'dan Gelen Diğer Etkiler: Bu sınıfta çok çeşitli çarpışma ve bozulma süreçleri analiz edilebilir. Higgs bozon keşfine ilişkin süreçler bu sınıfta analiz edilebilir. Hem Bjorken süreçleri hem de ayar bozonu füzyon süreçleri singlet Higgs'den etkilenecektir. Öte yandan Z' bozonunun bizzat kendisi veya Higgs bozonlarına bozunumu da LHC'deki diffraktif süreçleri etkileyecektir.

X-SUSY hakkındaki çalışmaların kapsamı yukarıdaki b) ve c) sıklarında belirtilen özellikler olup zorunlu olarak a) şıkında belirtilen sınırlamaları da hesaba katacaktır. Temelde b) ve c) sıkları X-SUSY yönündeki çalışmaların konusu ve kapsamını belirlemektedir.

BB) X-GRAV:

Bu projede hedeflenen ana konu çokboyutlu uzayın geometrik yapısını yoklayan diğer bir deyimle eğrilik tensörünün genel bir fonksiyonu ile tarif edilen Einstein-ötesi çekim teorilerinde (ki biz buna X-GRAV diyoruz) ortaya çıkan skaler veya tensörel parçacıkları araştırmaktır. Böylesi kuramları önemli veya gerekli kılan temel neden bunların içerdikleri ek parçacıkların, en azından ek skaler parçacıkların, KM'yi açıklama potansiyeline sahip olmasındandır. Bu bağlamda, çokboyutlu uzaylar çerçevesinde (ayar hiyerarşisi problemini çözmek için) yüksek eğrilikli çekim kuramı (bunların KM adayı içerebilmesi açısından ve de bunları yasaklayacak hiç bir nedenin bulunmayışından) incelenmesi, analiz edilmesi gerekli bir yön olarak ortaya çıkar.

Genel Görecelik Kuramı yalnızca genel kovaryans (yani keyfi bir koordinat dönüşümü altında fiziksel niceliklerin değişimsiz kalacağı) koşulu üzerine kurulmuştur. Bu bağlamda sistemin eylemini kurarken yalnız eğrilik skaleri değil genel olarak diğer eğrilik tensörlerinden kurulmuş değişimsizlerin de kullanılabileceği ortaya çıkar. Einstein kuramı yalnızca eğrilik skalerini içerirken en genel halde yazılmış olan eylem eğrilik değişimsizlerinden oluşan keyfi reel bir fonksiyonu ihtiva eder. Daha açık bir deyimle, eylem Ricci skaleri, Ricci tensörü ve Riemann tensörünün envaryantlarından oluşmuş genel bir fonksiyon olup en temel etkisi bir yandan Einstein denklemlerini genellemek öte yandan da Einstein kuramında olmayan yeni parçacıkları ihtiva etmektir. Bu ek parçacıklar bu tür genelleştirilmiş çekim kuramlarının genel bir özelliği olup varlıkları veya etkileri böylesi çekim kuramlarının keşfi için bir ipucu oluşturur. Bu parçacıklar şöyle sıralanabilir:

1) **Spin=2 kütesiz graviton:** Bu parçacık Einstein teorisinde bulunan yegane parçacık olup ters-kare yasası uyarınca uzun mesafeler boyunca çekim kuvvetinin etki göstermesini sağlar.

2) **Spin=2 kütleli graviton:** Bu parçacık Einstein teorisinde kesinlikle bulunmayan, eylem parametrelerine göre hayalet (ghost) özellikleri sergileyebilen, Yukawa kuvvetine sebep olması nedeni ile etkileri ters-kare yasasına göre çok daha kısa mesafelerde gözlemlenebilen bir tensör parçacıktır.

3) **Spin=0 kütleli graviton:** Bu parçacık da Einstein teorisinde bulunmayan, hayalet özellikleri de göstermeyen, etkileri Yukawa etkileşmesi gereğince kısa mesafelerde gözlemlenebilen bir skaler parçacıktır.

Spin=2 ve spin=0 kütleli gravitonlar kütleli parçacıklar arasındaki gravitasyonel etkileşmeleri değiştirdikleri için bilinen Newton yasalarına göre farklılıklara yol açarlar. Bu farklılıklar LHC deneyinde kendilerini proton—proton çarpışmalarında SM veya MSSM’de beklenenlerin dışında olayların yaratılmasında göstereceklerdir. Öte yandan, bu yeni parçacıkları özellikle de skaler parçacık, tamamiyle geometrik orijinli olmakla birlikte skaler-tensör teorileri çerçevesinde kara enerji ve KM’ye önemli katkılar verir.

Yukarıdaki yeni skaler ve tensörel parçacıklar LHC’de bir çok çarpışma olayının genliğini ve dolayısıyla olay sayısını değiştirir. Bu tür etkileri örneklemek bağlamında LHC çarpıştırıcısında iki adet foton üretimini analiz etmek arkaplan bağımlılığı az olduğu için aydınlatıcı bir çalışma olacaktır. Proton-proton çarpışmasında foton çifti üretimi iki şekilde oluşur: a) kuark ile karşıt-kuark’ın yokoluşu (bu SM’de de var olan kısımdır) ve b) İki zamkın (gluon) yokoluşları (bu yalnızca çokboyutlu uzaylardan gelen graviton değiş-tokuşu ile olabilir) ile. En büyük katkı ikinciden gelir. Dolayısıyla foton çifti üretimi SM’de, Einstein teorisinde ve de mevcut yüksek-eğrilikli çekim teorisinde başka başka değerler alacaktır.

Bu projedeki temel hedef LHC’den elektron-pozitron ve foton çiftlerinin üretimini esas alarak, SM, Einstein çekim kuramı ve X-GRAV yapılarını karşılaştırmalı olarak analiz etmek ve ilgili simülasyon sonuçlarını CMS deney verileri ile karşılaştırmaktır. Bu analizin, LHC’deki yeni fizik kuramının çokboyutlu uzaylar çerçevesinde olması durumunda, Einstein-ötesi çekim kanunlarının varlığı ve de ek parçacıkların KM adayı olup olamayacakları anlamında bir takım sonuçlar vermesi beklenmektedir.

Son olarak, X-SUSY ve X-GRAV arasındaki temel farklılığa işaret etmek tamamlayıcı olacaktır. Bu iki model parçacık spketrumu, kuvvet yasaları ve diğer bir çok yönden apaçık farklıdır. Ancak, LHC’de gözlemlenecek sinyal anlamında belki de en temel farklılık foton çifti üretimi olacaktır öyle ki bu kanalın varlığı ancak ve ancak X-GRAV (veya çokboyutlu uzaylarda Einstein kuramı) çerçevesinde olabilir. Z’ bozonu foton çifti vermez. Bu bağlamda X-GRAV ve X-SUSY, son durumdaki foton sinyali açısından, temel bir farklılığa sahiptir. Elbette skaler kuarklar ve leptonların gözlemlenmesi durumunda esas araştırma yönü X-SUSY modelini MSSM’den ayırmak olacaktır.

SİMÜLASYON

Her bir model için ve çarpışma süreci için simülasyon programları yazılması ve detektörün kabul çapının belirlenmesi gerekmektedir. CMS deneyinde kullanılan detektör simülasyon programlarının geliştirilmesiyle gerçekleştirilecek olan bu çalışma ile detektör veri almaya başladıktan sonra çıkacak olan sinyallerin hangi modelleri işaret ettiği belirlenecektir. Geliştirilecek olan bu programlar ile incelemekte olduğumuz modeller için Monte Carlo simülasyonu çalışmaları yapılacaktır. Bunların sonucunda detektör verilerine benzer veriler elde edilecek. Daha sonra detektör veri almaya başladığında çıkacak sinyallerin hangi modelleri işaret ettiği belirlenecektir. Kuramsal altyapıyı oluşturan modeller yani X-SUSY ve X-GRAV hakkında mevcut, kullanılabilir bir yazılım yoktur. Bu

yazılımlar bu proje kapsamında oluşturulacaktır. Bu bağlamda projenin ilk adımı, kuramı tarif eden Lagrange yoğunluğu seviyesinde modelin haiz olduğu bütün etkileşimleri içeren ilgili model dosyalarını ve bu yolla tesir kesitleri ve bütün dağılımları otomatik olarak hesaplayacak bir platform oluşturmaktır. İkinci adım olarak bu paketin PYTHIA gibi bir olay-oluşturucu (event generator) pakete bağlanması gerekmektedir. CMS deneyi çerçevesi içinde analiz için ise paketin CMSSW paketine bağlanması, analizin CMS dedektörünün yapısı, kabul sınırları ve diğer özellikleri hesaba katılarak yapılması gerekmektedir.

Simülasyon kısmı için öngörülen ana adımlar şu şekildedir:

- 1) CalcHEP veya CompHEP paketleri çerçevesinde model dosyalarını oluşturmak. Bu esnada hem modelin doğru olarak oluşturulması hem de mevcut paketler ile belli koşullar altında uyumunun yoklanması yoluyla test edilmesi gerekmektedir. Literatürde simülasyon altyapısı oluşturulmuş modeller CalcHEP paketi için <http://www.ifh.de/~pukhov/calchep.html> adresinde CompHEP için ise <http://comphep.sinp.msu.ru/> adresinde bulunabilir.
- 2) Modeli fenomenolojik bağlamda PYTHIA bağlantısı yoluyla test etmek, çeşitli olaylar yaratarak ilgili sinyalin model parametreleri ve LHC olayları coğrafyasındaki yerlerini belirlemek.
- 3) Model dosyasını, CMS dedektörünün simülasyon programı (reconstruction package) CMSSW'ya bağlayarak CMS analiz sistemi içine yerleştirmek. (Validation (test) süreci sonucunda yazılımın kabul edilebilir bulunması durumunda CMS'in genel yazılım sistemine dahil edilmesi, CMS yayınlarında kullanılması mümkün olacaktır.). Önceki aşamalarda üretilen parçacıklarının parametreleri, CMS dedektörünün simülasyonuna girdi olarak verilecektir. Bu simülasyon bir çok alt programdan oluşmaktadır. Detektörün her bir alt-detektörü için, bir parçacığın bu alt-detektörlerden geçerken yaratacağı sinyali hesaplayan ayrı bir paket vardır. Bu programlar, dedektörün üzerinde bulunan bütün elektroniği simüle etmektedir. Binlerce elektronik karttan oluşan CMS dedektörünün dijitalizasyonu, her **25 ns**'de bir veri toplanmasına göre dizayn edilmiştir. Bütün bu simülasyon programları, **GEANT** adı verilen bir parçacık fiziği simülasyon paketi kullanılarak yazılmıştır ve C++ tabanlıdır. Böylelikle, üretilen her bir parçacığın dedektörde bıraktığı sinyaller (enerji, momentum, yük,..vb) incelenerek, modelin öngördüğü parçacıkların, Standart Model parçacıklarının yarattığı ardalardan önemli derecede farklı olduğu parametre uzayı tesbit edilecektir ve uygun olay tipleri seçilecektir. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın gözleyebileceği büyüklükte sinyale yol açan parametre değerleri LSP hakkındaki kozmolojik/astrofizik sınırlamalarla karşılaştırılacaktır.

VERİ ANALİZİ

Projenin son kısmı veri analizi olacaktır. Yukarıda sözü edilen modellerin dedektörde hangi sinyalleri üretmesi gerektiği belirlendikten sonra yapılacak olan veri analizi sayesinde, gerçek verilerin ışığında, yeni fizik modellerinin öngördüğü sinyaller araştırılacak ve eğer yeni parçacıklar bulunursa bunların kütleleri ve kuplajları ölçülecektir. LHC deneylerinden toplanacak olan veriler GRID sistemi ile dünya üzerinde bu konu üzerinde çalışmalar yapan enstitülere incelenmek üzere gönderilecektir. Bu kısım, GRID sistemine uygun şekilde dahil olmadıkça CERN'de yapılacaktır. Bu bağlamda analiz kısmı bizzat CERN'de yürütülecek veya CERN'de elde edilen verilerin IYTE ve araştırmacıların bulundukları diğer kurumlara aktarılıp oralarda işlenmesi ile gerçekleştirilecektir.

Bu projede incelenecek olan Standart model ötesi fizik modellerinin öngördüğü parçacıklar, bilinen Standart Model parçacıklara bozunmaktadır. Veri analizi sırasında, dedektörden gelen sinyaller bu SM parçacıklarının belirlenmesinde kullanılacaktır. Bu parçacıkların dedektörde gözlemlenen değerlerinin (sayıları, kinematiği,...vb) MC modelleri ile karşılaştırılması yoluyla, modelin öngördüğü diğer parçacıklar saptanmış olacaktır. Örneğin skaler kuarkın kuark ve KM parçacığına olan bozunumu ortaya büyük miktarda kayıp enerji (dedektörde gözlemlenmeyen) çıkartmaktadır. Kısım 1' de anlatılan modellerin herbirinin değişik gözlemlenebilir özellikleri vardır. Veri analizi ile LHC verilerinden çıkan gözlemlenebilir özellikler Kısım 1'deki modele has özelliklerle karşılaştırılacak, ardaalan ayıklamasından sonra elde ettiğimiz fizik sinyali modellerin ispatlanması veya yanlışlanması sağlayacaktır.

YÖNTEM

LHC hızlandırıcısındaki dedektörlerin ölçüm sonuçları içinden (çarpışan protonlardan ortaya çıkan milyarlarca parçacık arasından) istenilen parçacığı saptamak çok iddialı bir teknolojik, nümerik ve de fiziksel hedeftir. Bundan dolayı bu tür deneylerde alınan verilerin anlam kazanması ancak Monte Carlo simülasyonları ile karşılaştırılmalarına bağlıdır ve tasarlanan bir deneyin, temel parçacıkları nasıl saptayacağı, ilgili olayların dedektör simülasyonları ile belirlenir. Dolayısıyla, bu projenin hedefi, basit bir ifade ile, KONU ve KAPSAM'da belirtilen kuramsal öngörülerini Kısım 2'de anlatılan simülasyon çalışmaları yoluyla ve Kısım 3'de tarif edilen veri analizi yöntemiyle, LHC hızlandırıcısından elde edilecek sonuçlarla karşılaştırarak doğanın muhtemel işleyiş yasasını yoklamaktır. Elbetteki doğanın işleyişi – henüz bilmediğimiz – tek bir yapıya dayanırken simülasyon çalışmaları için spesifik bir modelin girilip, bilgisayar ortamında ilgili çarpışma olaylarının yaratılması, bu olayların dedektördeki görünümünün dedektör simülasyonu yoluyla belirlenmesi ve en nihayetinde deneysel gerçek veriler ile karşılaştırılması gerekmektedir. Elde tek bir model bulunmadığı için Monte Carlo çalışmaları deneysel verilerin akışı ile birlikte yenilenmeli veya değiştirilmelidir. Bu projedeki hedef X-SUSY ve X-GRAV modellerini öncelikle bilgisayar ortamına aktarmak, LHC'de beklenen olayları bilgisayar ortamında oluşturmak, bu olayların CMS dedektöründeki görünümünü de CMSSW yazılımı çerçevesinde belirlemek ve en nihayetinde oluşturulan olayları (GEN EVENTS) gerçek olaylar (REAL EVENTS) ile karşılaştırarak farzedilen modelin doğada bulunma olasılığını belli hata bantları içinde belirlemektir.

- Daha ayrıntılı bir ifade ile, proton—proton çarpışmasının standart model ötesi parçacıklarını üreten ilgili CalcHEP ve/veya CompHEP paketlerinin oluşturulması ve bunların PYTHIA isimli 'event generator' programına bağlanması, daha sonra bu fizik olaylarının CMSSW dedektör simülasyonuna gönderilmesi ve bu yolla belli bir olaylar demeti oluşturulması hedeflenmektedir. (bu noktada protonun kuark ve gluon içeriğini belirlemek için deneysel veriler veya onların uygun bir parametrizasyonu, örneğin CTEQ olasılık dağılımları, kullanılacaktır). İstatistik hataları azaltmak için çok sayıda üretilen her parçacığın ve bu parçacıkların bozunduğu her kanalın, fizik modeline göre parametreleri belirlenecektir (tesir kesiti, enerji, momentum,...vb). Gözlenmek istenen sinyalin ardalandan farkının tespiti için bütün SM parçacıkları ve onların bozunum kanalları, PYTHIA Monte Carlo olay yaratıcısı kullanılarak simüle edilecektir. Üretilen olayları CMS dedektörünün simülasyon yazılımı olan CMSSW'ya girdi olarak verilecektir. Genel olarak CMSSW bir çok alt programdan oluşmaktadır. Dedektörün her bir alt-dedektörü için, bir parçacığın bu alt-dedektörlerden geçerken yaratacağı sinyali hesaplayan ayrı bir paket vardır. Bu programlar,

detektörün üzerinde bulunan bütün elektroniği simüle etmektedir. Binlerce elektronik karttan oluşan CMS detektörünün dijitalizasyonu, her 25 ns'de bir veri toplanmasına göre dizayn edilmiştir. Bütün bu simülasyon programları, GEANT adı verilen bir parçacık fiziği simülasyon paketi kullanılarak yazılmıştır ve C++ tabanlıdır.

Üretilen her olay parçacığının dedektörde bıraktığı sinyaller (enerji, momentum, yük,..vb) incelenerek, SM ötesi parçacıkların, SM parçacıklarının yarattığı ardalardan önemli derecede farklı olduğu parametre uzayı tesbit edilecektir ve uygun olay tipleri seçilecektir. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın gözleyebileceği büyüklükte sinyale yol açan parametre değerleri aranan değerlerdir. Bilinen enerji, momentum ve rapidite veto bölgelerine ilaveten her bir bozulma zinciri için enerji ve momentum korunumları uygulanarak (kendini dedektörde kayıp enerji ve momentum olarak yansıtan KM adayları) LSP kütlesi altproses enerjisi ve diğer parçacık kütleleri cinsinden ifade edilecektir. Bütün bunların başarılması simülasyon alt yapısının yazılıp hazırlanmasını, dedektör parametrelerinin belirlenmesini, ilgili deney grupları (şu an için Tevatron, ileride CMS, ATLAS veya ALICE) ile iletişimde kalınmasını gerektirmektedir. Bu projede incelenecek olan Standart Model ötesi fizik modellerinin (X-SUSY ve X-GRAV) öngördüğü parçacıklar, bilinen Standart Model parçacıklara bozunmaktadır. Veri analizi sırasında, detektörden gelen sinyaller bu SM parçacıklarının belirlenmesinde kullanılacaktır. Bu parçacıkların belirlenmesi yoluyla, modelin öngördüğü diğer parçacıklar saptanmış olacaktır.

X-SUSY MODELİ LİTERATÜR ÖZETİ

U(1)' gibi bir ek ayar grubunun varlığı durumunda Mu probleminin çözümü ve modelin bir bütün olarak çeşitli özellikleri kuramsal seviyede

CVETIC, M. *et. al* Phys. Rev. D56, 2861 (1997)

yayınında tartışılmıştır. Bu yayın X-SUSY için temel bir kaynak ödevi görür. Yine bu model içinde Higgs kütlelerinin bir halka düzeyinde yüksek hassasiyette hesabı ise

DEMIR, D and EVERETT, L., Phys. Rev. D69, 015008 (2004)

yayınında verilmiştir. Önceden açıklandığı üzere X-SUSY modelinin en bilinen özelliklerinden biri Z' bozonunun varlığını tahmin etmesidir ki bu bözönün hadron çarpıştırıcısı deneylerinde keşfi

KANG, J and LANGACKER, P., Phys. Rev. D71, 035014 (2005)

yayınında tartışılmıştır. DeneySEL anlamda ise en son sınırlamalar Tevatron tarafından

ABULENCIA, A. *et. al*, Phys. Rev. Lett. 96, 211801 (2006)

yayınında (ve daha yakın tarihli bir takım konferans sunumlarında) verilmiştir. Bu çalışmalar genel olarak Higgs sektörü ile Z' bozonunun CMS'deki etkilerini çalışmak için yeterlidir. Genellik ve yenilik anlamında, Kang & Langacker (2005) çalışmasından farklı olarak Z' bozonu E(6) grubu çerçevesinden çıkarılarak daha genel bir yapıda ele alınabilir. Diğer yandan LHC'deki enerji iskalası Tevatron'dakinden çok daha yüksek olduğu için daha ağır ve daha zayıf kuplajlı Z' bozonlarına erişmek mümkün olabilecektir.

Öte yandan, Zino' ve singlino dahil edildiğinde nötr fermiyon sektörü (nötralinolar) MSSM'ye göre iki adet fazladan parçacık içerir. Nötralinoların en hafif olanı yani LSP direkt bir KM adayı olup X-SUSY çerçevesinde yapılan analiz

BARGER, V. *et. al*, Phys. Lett. B630, 85 (2005)

yayınında verilmiştir. Bu analiz sahip olduğu bir takım faraziyelerden dolayı sınırlı olup daha genel bir analiz ile yenilenmelidir. Bununla birlikte Zino' etkilerini gözlemlemek anlamında önemli ipuçları verir.

Şu ana kadar sayılan yayınlar, özellikle de Demir & Everett (2004), temel etkileşmeleri vermekle birlikte Zino' fermiyonunca indüklenen LHC olayları henüz analiz edilmiş değildir. Daha açık bir deyimle, skaler fermionların veya gluinoların X-SUSY modeli içindeki bozunum zincirleri henüz tartışılmış değildir. Bu projede güdülen ana hedef bu konudaki kuramsal ve deneysel boşluğu doldurmak, LHC'de X-SUSY sinyatürlerini analiz ederken yalnızca Z' bozonu değil önün süperesinin de hesaba katılması gerektiğini göstermektir. Bu çapraz analiz yöntemi ki kuramın süpersimetrik oluşunun direkt bir sonucudur hem analiz yöntemi hem de analizin hedefleri bakımından kendi başına bir yeniliktir.

Higgs sektörüne ilişkin olarak, elektron-pozitron çarpıştırıcılarına ilişkin analizler

DEMİR, D. and PAK, N., Phys. Lett. B439, 309 (1998); Phys. Lett. B411, 292 (1997)

LHC çerçevesinde analiz edilmeli ve yukarıdaki süreçlere ilaveten vekto bozon füzyonu da hesaba katılmalıdır. Demir & Everett (2004)'den görüleceği üzere en hafif Higgs bozonu ki LHC onu arayacaktır MSSM'ninkinden çok daha ağır olabilme özelliğine sahiptir. Bu durum LHC'de hafif bir Higgs bozonu bulunamaması durumunda özel bir önemi haiz olacaktır.

X-GRAV MODELİ LİTERATÜR ÖZETİ

Einstein-Hilbert eyleminin eğrilik tensörlerinin envariantlarının genel bir fonksiyonu şeklinde genellenmesi (X-GRAV modeli) ilk kez

STELLE, K., Phys. Rev. D16, 953 (1977)

tarafından renormalize olabilmeyi artırmak anlamında incelenmiştir. Öte yandan çokboyutlu uzayların ayar hiyerarşisi problemine çözüm sağlayabileceği ilk kez

ARKANI-HAMED, N., DIMOPOULOS, S., DVALI, G., Phys. Lett. B429, 263 (1998)

çalışmasında gösterilmiştir. Yüksek eğriliklı çekim kuramını çok boyutlu uzaylar çerçevesinde analiz etmenin temel avantajı hem hiyerarşi problemini, hem renormalize olabilme özelliğini, hem de skaler-tensor kuramları anlamında KM ve kara enerji adayları içermesinden dolayıdır. Yakın zamanda

DEMİR, D., TANYILDIZI, S., Phys. Lett. B633, 368 (2006)
ve ASLAN, O., DEMİR, D., Phys. Lett. B635, 343 (2006)

tarafından gösterildiği üzere bu tür çekim kuramları kütleli $\text{spin}=2$ ve $\text{spin}=0$ gravitonlar içermektedir. Bu kuramlarda ortaya çıkan hayalet parçacık sorununu (ki kuantum çekim kuramı bulunduğunda bu problem bambaşka bir şekil de alabilir) önlemek için parametreler arasında özel ilişkiler gerekebilecektir.

X-GRAV yapısını LHC'de analiz etmekteki en önemli özellik, Aslan & Demir (2006)'da gösterildiği üzere, yeni $\text{spin}=2$ ve $\text{spin}=0$ gravitonların foton çifti, lepton çifti, kuark çifti gibi sinyallere ek katkılar vermesidir. Özellikle de foton çifti özel bir konuma sahiptir. Bu çalışmanın vereceği en önemli sonuç, çekim kuramının Einstein'inki gibi mı yoksa yüksek eğrilik etkileri içeren bir biçimde mı olduğunun direkt bir testini verecek olmasıdır. Bu bir parçacık çarpıştırıcısında çekim kuramının testini sağlaması bakımından altın bir kanaldır.

SİMÜLASYON LİTERATÜR ÖZETİ

Skaler kuark ve gluino üretimi literatürde çeşitli hassasiyet seviyelerinde çalışılmıştır. Bu alanda yapılan en son yayın

ALAN, A., CANKOCAK, K., DEMİR, D. Phys. Rev. D75, 095002 (2007), Erratum-ibid. D76, 119903 (2007)

elektroyeğin etkileşimleri de hesaba katması sebebi ile bu parçacıkların üretimini en hassas şekilde ele almaktadır. Bu çalışma, X-SUSY çerçevesinde yenilendikten sonra, Zino' tarafından indüklenen yeni olayların belirlenmesi için kilit bir rol oynayacaktır.

VERİ ANALİZİ LİTERATÜR ÖZETİ

CMS deneyinde incelenen fizik analizlerinin genel ve ayrıntılı bir özeti

CMS Collaboration (G.L. Bayatian *et al.*) "CMS technical design report, volume II: Physics performance", J.Phys.G34, 995 (2007)

yayınında bulunabilir. Öte yandan, LHC deneylerinde süpersimetrik parçacıkların saptanabilme koşullarının incelendiği

CHIORBOLI, M. *et al.* CMS NOTE-2006/133 PH-SUSY (2006)

yayını önemli bir adımdır. Diğer yandan

ZHUKOV, V. *et al.* CMS NOTE-2006/113 -PH-SUSY (2006)

yayını üç lepton sinyalinin CMS içerisindeki görünümünü analiz eder. Mevcut projedeki X-SUSY çerçevesindeki analiz çeşitli leptonlu ve leptonsuz olayları analiz edeceği için yukarıdaki çalışmalardan faydalanacak ve fakat çok daha genel bir analiz gerektirecektir.