

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده علوم پایه

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد فیزیک ( ذرات بنیادی)

## جستجوی ابر تقارن در رویداد های شامل کوارک تاپ در CMS

نرگس سلیمی

استاد راهنمای اول:

دکتر علی ایمانیپور

استاد راهنمای دوم:

دکتر سعید پاک طینت

بهمن ماه ۱۳۸۷

## چکیده

کشف ابر تقارن یکی از اهداف اصلی برخورد دهنده هادرونی بزرگ ساخته شده در CERN است. سناریوی ابر تقارن یک توسعه بسیار نوید بخش را برای مدل استاندارد ذرات بنیادی (SM)، حل واگرایی های مرتبه دو و مسئله سلسله مراتب ارائه می دهد. ابر تقارن یک تقارن جدید بین درجات آزادی فرمیون ها و بوزون ها اعمال می کند. در اینجا یک سناریوی بسیار مقید را در نظر می گیریم که گرانش، مسئول اصلی شکست ابر تقارن می باشد. این مدل mSUGRA نامیده می شود. کوارک تاپ می تواند از تلاشی کوارک های اسکالر یا گلیئون ها به همراه یک نوترالینو به وجود آید. این نوترالینو می تواند سبک ترین ذره ابر تقارن باشد (LSP)، یا نوترالینو سنگین تر که در نهایت به LSP که یک ذره پایدار است تلاشی می کند (با فرض بقای پارته R) و به عنوان انرژی عرضی گم شده (MET) ظاهر می شود. در اینجا در حالت نهایی حداقل یک کوارک تاپ به علاوه یک MET بزرگ وجود دارد. رهیافت ما برای استفاده از این ویژگی، جستجوی تعداد اضافی کوارک های تاپ استخراج شده، در دنباله توزیع MET از رویدادهای  $t\bar{t}$  می باشد.

یک برازش جنبشی با دو قید برای استخراج کوارک تاپ برای هر دو حالتی که جت  $b$  قابل شناسایی باشد یا نباشد، استفاده شده است. توانایی CMS برای پیدا کردن SUSY با جرم کم در رویدادهایی با یک کوارک تاپ در حالت نهایی، به وسیله شبیه سازی مطالعه شده است. نشان داده شده است که برای نقطه ۱ LM، برای حالتی که جت  $b$  قابل شناسایی باشد، با یک انتگرال درخشندگی  $30 pb^{-1}$  و برای حالتی که جت  $b$  قابل شناسایی نباشد، با یک انتگرال درخشندگی  $9/6 pb^{-1}$  یک کشف  $5\sigma$  با فرض غالب بودن عدم قطعیت های آماری قابل انجام است. سیگنال نهایی بر روی پس زمینه، برای هر دو حالت، ۱۲ است.

**کلمات کلیدی:** کوارک تاپ، برازش جنبشی، ابر تقارن، بازسازی، آشکارساز

تقدیم به

زیباترین سازهای زندگی ام  
آنان که عاشقانه های، مستی را در وجودم بجا کردند

وجود چون کوه استوار پدرم

و

چون دریا صبور و پر مهر مادرم

که سخط سخط زندگی ام را از فداکاری آنان دارم.

## سپاس نامه

پیش از همه از آن که بیش از همه یاری گرم بوده و است سپاسگذارم.

و پس از آن متشکرم از:

استاد راهنمای گرامی خودم جناب آقای دکتر ایمانپور که بنده را در طول تحقیق یاری نموده اند.

استاد راهنمای دوم خودم جناب آقای دکتر پاک طینت، که نه تنها از لحاظ علمی از هیچ کوششی برای به ثمر رسیدن این مطالعه فروگذاری نکردند، بلکه از لحاظ اخلاقی نیز الگوی من هستند.  
داوران گرامی جناب آقای دکتر احمد مشاعی و جناب آقای دکتر مجتبی محمدی که زحمت خواندن و تصحیح پایان نامه را بر عهده داشتند.

جناب آقای دکتر ابوالحسنی و خانم دکتر صفرزاده که از راهنمایی های ارزشمند شان بهره بردم.  
از سرکار خانم علیزاده و جناب آقای باقری در پژوهشکده ذرات، برای همکاری هایشان کمال تشکر را دارم.  
از خواهران مهربان و با ارزشم، فهیمه، محبوبه و مهشید که همواره از محبت های آنها بهره برده ام، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از دوستان عزیزم، خانم ها فرشته محبی و درخشان اخگر که همیشه یاریگر من بوده اند، سپاسگذارم.  
لازم به ذکر است که بدون همکاری پژوهشکده ذرات و شتابگرهای مرکز تحقیقات فیزیک نظری و ریاضیات در فراهم آوردن امکانات لازم برای انجام این مطالعه، به ثمر رساندن این پژوهش امکان پذیر نبود.

## فهرست:

د	..... فهرست شکل ها.....
ز	..... فهرست جدول ها.....
۱	..... ۱- مقدمه .....
	..... ۲- آشکارساز CMS در LHC .....
۴	..... ۲.۱ برخورد دهنده هادرونی بزرگ LHC .....
۹	..... ۲.۲ آشکارساز CMS .....
۱۰	..... ۲.۲.۱ ردیاب .....
۱۴	..... ۲.۲.۲ انرژی سنج الکترومغناطیسی .....
۱۶	..... ۲.۲.۳ انرژی سنج هادرونی .....
۱۸	..... ۲.۲.۴ سیستم میوئونی (Muon System) .....
۲۰	..... ۲.۲.۵ آهنربای ابررسانا .....
۲۱	..... ۲.۲.۶ غربال ( Trigger ) .....
	..... ۳- ابر تقارن .....
۲۳	..... ۳.۱ مدل استاندارد برهمکنش های الکتروضعیف .....
۲۴	..... ۳.۱.۱ بخش الکتروضعیف .....
۲۵	..... ۳.۱.۲ بخش کوارک .....
۲۶	..... ۳.۱.۳ شکست تقارن الکتروضعیف در مدل استاندارد .....
۲۹	..... ۳.۲ باز کردن سوالات در مدل استاندارد .....
۲۹	..... ۳.۲.۱ مسئله سلسله مراتب .....
۳۰	..... ۳.۲.۲ مسئله واگرایی مرتبه دو .....
۳۱	..... ۳.۲.۳ ابر تقارن و ذرات شامل آن .....
۳۴	..... ۳.۳.۱ برهمکنش های جدید بر حسب برهمکنش های قدیمی .....
۳۵	..... ۳.۴.۱ ساخت لاگرانژین MSSM .....
۳۶	..... ۳.۴.۲ ابر پتانسیل MSSM .....
۳۷	..... ۳.۴.۳ لاگرانژین MSSM برای میدان های کایرال .....
۳۸	..... ۳.۴.۴ خلاصه .....
۳۸	..... ۳.۵ شکست ابر تقارن به صورت نرم .....
۳۹	..... ۳.۵.۱ شکست ابر تقارن توسط گراویتون ( mSUGRA ) .....
۳۹	..... ۳.۵.۲ پارامترهای mSUGRA .....
۳۹	..... ۳.۵.۳ طیف سنجی mSUGRA .....
۴۰	..... ۳.۵.۴ جرم های گیجینو و ترکیب آنها .....

۴۰	..... تحول جرم گیجینو ۳.۵.۴.۱
۴۱	..... جرم چارجینوها و ترکیب آنها ۳.۵.۴.۲
۴۱	..... جرم نوترالینوها و ترکیب آنها ۳.۵.۴.۳
۴۲	..... جرم کوارک های اسکالر و لپتون های اسکالر ۳.۵.۵
۴۲	..... ترکیب فرمیون ها ۳.۵.۵.۱
۴۳	..... شکست تقارن الکتروضعیف ورای مدل استاندارد ۳.۶
۴۳	..... شکست تقارن الکتروضعیف در MSSM ۳.۶.۱
۴۴	..... تولید ذرات اسکالر در برخورد دهنده های هادرونی ۳.۷
۴۵	..... تولید کوارک های اسکالر و گلوئینوها ۳.۷.۱
۴۶	..... تولید جفت های تاپ اسکالر ۳.۷.۲
۴۷	..... رابطه تولید گلوئینوها و کوارک های اسکالر با گیجینوها ۳.۷.۳
۴۷	..... تلاشی ذرات اسکالر و اثرات آنها ۳.۸
۴۷	..... تلاشی لپتون اسکالر ۳.۸.۱
۴۸	..... تلاشی کوارک های اسکالر ۳.۸.۲
۴۸	..... مدهای تلاشی تاپ اسکالر ۳.۸.۳
۴۹	..... مدهای تلاشی sbottom ۳.۸.۴
۴۹	..... تلاشی های گلوئینو ۳.۸.۵
۵۰	..... مدهای تلاشی نوترالینو ۳.۸.۶
۵۰	..... تلاشی به لپتون های اسکالر ۳.۸.۶.۱
۵۰	..... تلاشی به $Z$ ها ۳.۸.۶.۲
۵۰	..... تلاشی به $W$ ها ۳.۸.۶.۳
۵۱	..... تلاشی به هیگز ها ۳.۸.۶.۴
۵۱	..... تلاشی نوترالینو تابشی ۳.۸.۶.۵

#### ۴- مطالعات فیزیکی جت و انرژی عرضی گم شده

۵۳	..... برهمکنش های QCD ۴.۱
۵۳	..... جت ۴.۲
۵۴	..... جداسازی آبشار الکترومغناطیسی منزوی از جت ها ۴.۲.۱
۵۵	..... الگوریتم یافتن جت ۴.۲.۲
۵۶	..... الگوریتم اصلی برای یافتن جت ها ۴.۲.۲.۱
۵۶	..... پارامترهای الگوریتم جت یاب ساده ۴.۲.۲.۲
۵۸	..... تصحیح مقیاس انرژی جت ها ۴.۲.۳
۵۸	..... حذف جت های تقلبی ۴.۲.۴

۵۹	..... ۴.۳ انرژی عرضی گم شده
۶۰	..... ۴.۳.۱ تصحیحات $E_T^{miss}$
	۵- برازش جنبشی با دو قید برای استخراج کوارک تاپ
۶۳	..... ۵.۱ مقدمه
۶۳	..... ۵.۲ توصیف ریاضی برازش جنبشی
۶۴	..... ۵.۲.۱ تعریف مسئله
۶۵	..... ۵.۲.۲ خطی سازی
۶۶	..... ۵.۲.۳ اجرای روش
۶۸	..... ۵.۳ نتایج استخراج کوارک تاپ
۷۳	..... ۵.۴ تاثیر برازش بر روی سینماتیک تاپ های بازسازی شده
۷۵	..... ۵.۵ تکرار آنالیز برای حالتی که جت $b$ قابل شناسایی نباشد
۷۵	..... ۵.۵.۱ نتایج استخراج کوارک تاپ
۸۱	..... ۵.۵.۲ تاثیر برازش بر روی سینماتیک تاپ های بازسازی شده
	۶- جستجوی رویدادهای شامل SUSY در CMS
۸۳	..... ۶.۱ مقدمه
۸۳	..... ۶.۲ تولید و تلاشی ذرات اسکالر در نقطه جرم کم (LM1)
۸۴	..... ۶.۳ مسیر آنالیز
۸۸	..... ۶.۴ نتایج
۹۲	..... ۶.۵ تکرار آنالیز برای حالتی که جت $b$ قابل شناسایی نباشد
۹۲	..... ۶.۵.۱ مسیر آنالیز
۹۵	..... ۶.۵.۲ نتایج
۹۸	..... ۶.۶ نتیجه گیری
۹۹	..... فهرست منابع



فهرست شکل ها

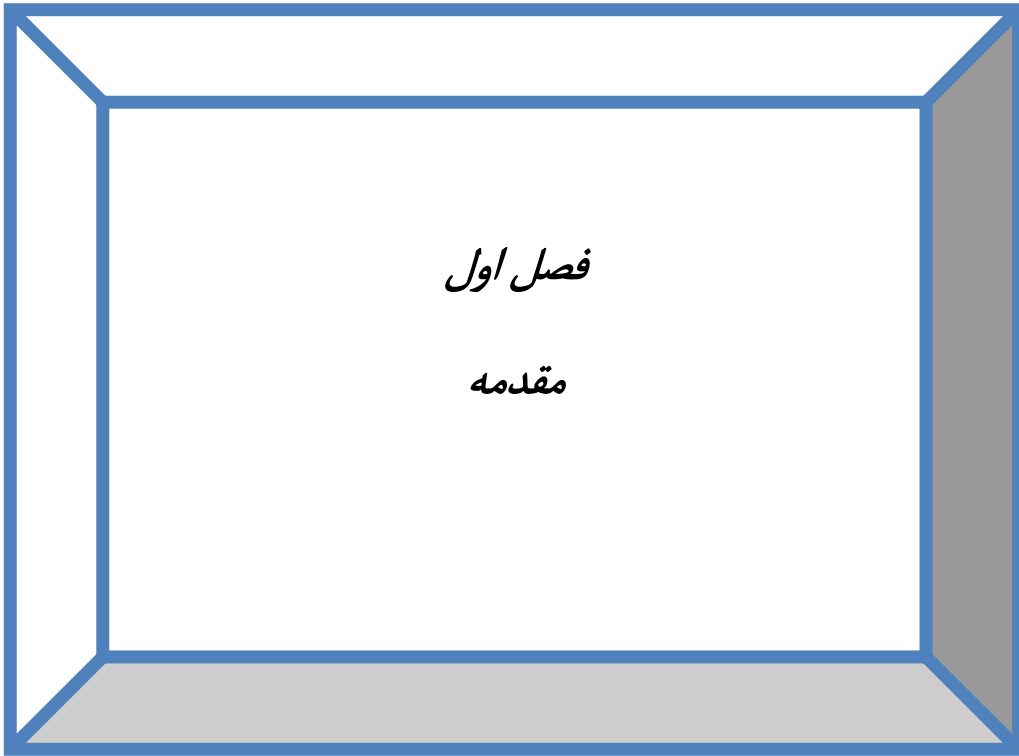
۸	..... شکل ۲.۱ ، مقطع عرضی LHC
۹	..... شکل ۲.۲ ، حلقه تونل LHC
۱۱	..... شکل ۲.۳ ، نمای سه بعدی آشکارساز CMS
۱۲	..... شکل ۲.۴ ، نمای طولی آشکارساز CMS
۱۳	..... شکل ۲.۵ ، نمای عرضی آشکارساز CMS
۱۴	..... شکل ۲.۶ ، طرح بندی ردیاب
۱۶	..... شکل ۲.۷ ، انرژی سنج الکترومغناطیسی آشکارساز CMS
۲۰	..... شکل ۲.۸ ، طرح بندی یک چهارم سیستم میوئونی CMS برای اجرای اولیه با درخشندگی کم
۲۷	..... شکل ۳.۱ پتانسیل هیگز
	..... شکل ۳.۲ محدوده بالا و پایین بر روی جرم هیگز به عنوان تابعی از پارامتر برش $\Lambda$ برای $175 \text{ GeV}$
۲۹	..... $m_t = 173.1 \text{ GeV}$ و $\alpha_s = 0.118$
	..... شکل ۳.۳ تاثیر حلقه های squared جرم هیگز از (الف) جفت شدگی های سه تایی فرمیون ها ، (ب) جفت شدگی های دوتایی اسکالرها
۳۰	..... شکل ۳.۴ تولید و تلاشی ذرات اسکالر در فضای پارامتر mSUGRA . $\tilde{t}$ و $m_{\tilde{\chi}^\pm}$ به ترتیب شامل
۴۵	..... نواحی تحقیق برای لپتون های اسکالر و چارجینو هستند
۴۶	..... شکل ۳.۵ تولید سطح مقطع ها برای $\tilde{g}, \tilde{q}$ در LHC
۴۷	..... شکل ۳.۶ دیاگرام های فاینمن شامل تولید مرتبط کوارک های اسکالر و گلوئینوها با گجینوها
۵۵	..... شکل ۴.۱ دانه دانه $\eta, \phi$ انرژی سنج هادرونی CMS
	..... شکل ۴.۲ دقت $E_T$ جت به عنوان تابعی از $E_T$ تولید شده. برای $ \eta  < 1$ (چپ) و $3/5 <  \eta  < 4/5$ (راست). دقت به صورت نسبت R.M.S تفاوت انرژی تشخیص داده شده توسط الگوریتم و انرژی
۵۷	..... جت تولید شده، تعریف شده است.
	..... شکل ۴.۳ توزیع شبه سرعت جت های بازسازی شده بر حسب $E_T$ آنها در یک نمونه رویدادهای
۵۸	..... $Z^0$ با $M(Z^0) = 91.1876 \text{ GeV}/c^2$ با شرط $1 \text{ GeV}$ (سمت چپ) و $3 \text{ GeV}$ (سمت راست).
۵۹	..... شکل ۴.۴ سمت چپ درخشندگی پایین و سمت راست درخشندگی بالا
	..... شکل ۴.۵ جداسازی انرژی عرضی گم شده قبل (حلقه های توخالی) و بعد از تصحیحات (حلقه های توپر)، برای رویدادهای شامل $t\bar{t}$ بر حسب $E_T^{miss}$ بازسازی شده.
۶۰	..... شکل ۴.۶ خطا در مقیاس انرژی عرضی گم شده قبل (حلقه های تو خالی) و بعد از تصحیحات جت (حلقه های توپر)، برای رویدادهای شامل $t\bar{t}$ بر حسب $E_T^{miss}$ بازسازی شده.
۶۱	..... شکل ۵.۱ توزیع حداقل $\chi^2$ در هر رویداد (بالای سمت چپ) و توزیع احتمال آن (بالای سمت راست). جرم های ناوردای بوزون W و کوارک تاپ در سطر دوم نشان داده شده است. نتایج برازش با ( خطوط قرمز ضخیم) و بدون ( خطوط آبی نقطه چین) اعمال برش بر روی احتمال $\chi^2$ مقایسه
۶۹	..... شده اند.

- شکل ۵.۲ ، همان توزیع شکل ۵.۱ برای اولین کوآرک تاپ ..... ۷۰
- شکل ۵.۳ ، همان توزیع های شکل ۵.۱ برای دومین کوآرک تاپ (بالا) و سومین کوآرک تاپ (پایین)..... ۷۱
- شکل ۵.۴ ، نمودار فاصله کوآرک های تاپ تولید شده از کوآرک های تاپ استخراج شده برای همه ترکیبات (بالا) و برای ترکیباتی با حداقل  $\chi^2$  (پایین)..... ۷۳
- شکل ۵.۵ ، تعداد تکرارها و "Cut Step"ها برای همه ترکیبات (سمت چپ) و برای ترکیبات با حداقل  $\chi^2$  (سمت راست)..... ۷۴
- شکل ۵.۶ ، شبیه همان شکل ۴۰۵ است، احتمال توزیع  $\chi^2$  با ۲ درجه آزادی باید بزرگتر از ۰/۰۵ باشد. اعداد CutStep تقریباً در تمام موارد صفر است..... ۷۴
- شکل ۵.۷ ، تفاوت بین انرژی  $W$  (کوآرک تاپ) بازسازی شده/ برازش شده و  $W$  (کوآرک تاپ) تولید شده. ترکیبات جت برازش شده از برش احتمال عبور می کنند. قسمت های مرکزی توزیع ها (۱۰۵ و -۱۰۵)، برای تاکید و بهبود در نتیجه، با یک تابع گاوسی برازش شده است (خط آبی ضخیم). برازش نتیجه تفاوت انرژی  $W$  و کوآرک تاپ را به ترتیب به اندازه ۱۵٪ و ۲۴٪ بهبود بخشیده است..... ۷۵
- شکل ۵.۸ ، توزیع حداقل  $\chi^2$  در هر رویداد (بالای سمت چپ) و توزیع احتمال آن (بالای سمت راست). جرم های ناوردای بوزون  $W$  و کوآرک تاپ در سطر دوم، برای حالتی که جت  $b$  قابل شناسایی نباشد، نشان داده شده است. نتایج برازش با (خطوط قرمز ضخیم) و بدون (خطوط آبی نقطه چین) اعمال برش بر روی احتمال  $\chi^2$  مقایسه شده اند..... ۷۶
- شکل ۵.۹ ، همان توزیع شکل ۵.۷ برای اولین کوآرک تاپ (بالا) و دومین کوآرک تاپ (پایین)..... ۷۷
- شکل ۵.۱۰ ، همان توزیع شکل ۴.۷ برای سومین کوآرک تاپ..... ۷۸
- شکل ۵.۱۱ ، نمودار فاصله کوآرک های تاپ تولید شده از کوآرک های تاپ استخراج شده، برای حالتی که جت  $b$  قابل شناسایی نباشد..... ۷۹
- شکل ۵.۱۲ ، تعداد تکرارها و "Cut Step"ها برای همه ترکیبات (سمت چپ) و برای ترکیبات با حداقل  $\chi^2$  (سمت راست)، برای حالتی که جت  $b$  قابل شناسایی نباشد..... ۸۰
- شکل ۵.۱۳ ، شبیه همان شکل ۵.۱۲ است، احتمال توزیع  $\chi^2$  با ۲ درجه آزادی باید بزرگتر از ۰/۰۵ باشد. اعداد CutStep تقریباً در تمام موارد صفر است..... ۸۰
- شکل ۵.۱۴ ، تفاوت بین انرژی  $W$  (کوآرک تاپ) بازسازی شده/ برازش شده و  $W$  (کوآرک تاپ) تولید شده. ترکیبات جت برازش شده از برش احتمال عبور می کنند. قسمت های مرکزی توزیع ها (۱۰۵ و -۱۰۵)، برای تاکید و بهبود در نتیجه، با یک تابع گاوسی برازش شده است (خط آبی ضخیم). برازش نتیجه تفاوت انرژی  $W$  را به اندازه ۳٪ بدتر کرده است و تفاوت انرژی کوآرک تاپ را به اندازه ۴٪ بهبود بخشیده است..... ۸۱
- شکل ۶.۱ ، توزیع های MET برای نمونه های مختلف..... ۸۵
- شکل ۶.۲ ، توزیع تعداد جت ها، توزیع شامل هر دوی جت های سبک و جت های  $b$ ، بعد از اعمال برش بر روی MET می باشد..... ۸۶

- شکل ۶.۳، توزیع احتمال  $\chi^2$  برای نمونه های مختلف، هر رویداد برش ها را بر روی MET و کثرت جت ها عبور می دهد و یک برازش همگرا دارد.....
- ۸۶
- شکل ۶.۴، توزیع MET، بعد از همه برش ها .....  
 ۸۹
- شکل ۶.۵، توزیع جرم ناوردای W و کوآرک تاپ برای نمونه های مختلف بعد از اعمال همه برش ها .....  
 ۸۹
- شکل ۶.۶، توزیع های MET برای نمونه های مختلف برای حالتی که جت b قابل شناسایی نباشد.....  
 ۹۳
- شکل ۶.۷، توزیع تعداد جت ها بعد از اعمال برش بر روی MET می باشد. این توزیع برای حالتی است که جت b قابل شناسایی نباشد.....  
 ۹۳
- شکل ۶.۸، توزیع احتمال  $\chi^2$  برای نمونه های مختلف، هر رویداد برش ها را بر روی MET و تعداد جت ها عبور می دهد و یک برازش همگرا دارد.....  
 ۹۴
- شکل ۶.۹، توزیع MET، بعد از همه برش ها برای حالتی که جت b قابل شناسایی نباشد.....  
 ۹۶
- شکل ۶.۱۰، توزیع جرم ناوردای W و کوآرک تاپ برای نمونه های مختلف بعد از اعمال همه برش ها برای حالتی که جت b قابل شناسایی نباشد.....  
 ۹۷

فهرست جدول ها

۶	.....جدول ۲.۱ ، پارامترهای ماشین مربوط به برخورد دهنده LHC
۳۲	.....جدول ۳.۱ ذرات شامل MSSM
۳۳	.....جدول ۳.۲ اعداد کوانتومی ذرات اسکالر MSSM
۳۴	.....جدول ۳.۳ اعداد کوانتومی گیجینو MSSM
	.....جدول ۵.۱ ، مقایسه کمی تعداد کوارک های تاپ بازسازی شده ، قبل و بعد از اعمال برش بر روی
۷۲	.....احتمال توزیع $\chi^2$
	.....جدول ۵.۲ ، مشاهده بازده و خلوص و نیز بهبود انرژی های کوارک تاپ و بوزون W زمانی که اولین
۷۲	.....کوارک تاپ به عنوان بهترین کوارک تاپ انتخاب می شود
	.....جدول ۵.۳ ، مقایسه کمی تعداد کوارک های تاپ بازسازی شده، قبل و بعد از اعمال برش بر روی
۷۸	.....احتمال توزیع $\chi^2$ برای حالتی که جت b قابل شناسایی نباشد
	.....جدول ۵.۴ ، مشاهده بازده و خلوص و نیز بهبود انرژی های کوارک تاپ و بوزون W زمانی که اولین
	.....کوارک تاپ به عنوان بهترین کوارک تاپ انتخاب می شود. در این قسمت جت b از بقیه جت ها
۷۸	..... متمایز نشده است
	.....جدول ۶.۱ ، قسمتی از طیف تولید شده در نقطه LM1. جرم کوارک تاپ برابر $175 \text{ GeV}/c^2$ می
۸۴	..... باشد
	.....جدول ۶.۲ ، تاثیر برش های مختلف بر روی نمونه های مختلف می باشد. در هر سطر تعداد رویدادهای
	.....باقی مانده بعد از برش نشان داده شده است. " $N_{ev}$ " تعداد رویدادهای استفاده شده در این آنالیز را
	.....نشان می دهد. " $N_{ev}^{100pb^{-1}}$ " همان عدد را بعد از بهنجار کردن به سطح مقطع برای $(100pb^{-1})$ ،
۸۷	.....نشان می دهد. wT/noT به معنی نسبت SUSY ( با تاپ ) به SUSY ( بدون تاپ ) ، می باشد
	.....جدول ۶.۳ ، تعداد رویداد های باقی مانده بعد از اعمال همه برش ها برای $100pb^{-1}$ . بازدهی کلی
۸۸	..... برای نمونه های مختلف، در ستون آخر نشان داده شده است
۹۱	.....جدول ۶.۴ ، مقادیر خطا به ازای مقادیر مختلف $\sigma$
۹۵	.....جدول ۶.۵ ، شامل همان داده های جدول ۱ برای حالتی است که جت b قابل شناسایی نباشد
	.....جدول ۶.۶ ، تعداد رویداد های باقی مانده بعد از اعمال همه برش ها برای $100pb^{-1}$ برای حالتی که
	.....جت b قابل شناسایی نباشد. بازدهی کلی برای نمونه های مختلف، در ستون آخر نشان داده شده
۹۵	..... است



فصل اول

مقدمه

نظریه میدان های ابر متقارن نه تنها نقش مهمی در توسعه فیزیک نظری داشته بلکه در سه دهه اخیر، تاثیر عمیقی بر روی فیزیک ذرات بنیادی تجربی نیز داشته است.

دلایل متعددی وجود دارد برای اینکه یک فیزیکدان ذرات بنیادی بخواهد نظریه های ابر متقارن را در نظر بگیرد و مهمترین دلیل، آن است که به واسطه حذف بین حلقه های فرمیونی و بوزنی، تصحیحات تشعشی اهمیت کمی در نظریه های ابر متقارن دارند. یکی از خواص مهم ابر تقارن این است که با استفاده از تبدیلات تقارنی فرمیون ها و بوزون ها را می توان به یکدیگر مربوط کرد. این یک دیدگاه قوی و خیلی دقیق از نقطه نظر تئوری نیست.

اگر بخواهیم نظریه ابر متقارن را به گونه ای به طبیعت ربط دهیم، باید دید که این تقارن به چه صورتی شکسته شده است. بوزون ها و فرمیون های مربوط به یک چند تاییه ابر متقارن، جرم های مشابهی خواهند داشت. برای مثال الکترون که یک فرمیون است، یک شریک بوزونی که دقیقاً جرم مشابه با الکترون دارد، خواهد داشت. کشف ابر تقارن یکی از اهداف اصلی برخورد دهنده هادرونی بزرگ ساخته شده در CERN است. نظریه ابر تقارن یک توسعه بسیار نوید بخش را برای مدل استاندارد ذرات بنیادی (SM)، حل واگرایی های مرتبه دو و مسئله سلسله مراتب ارائه می دهد. در اینجا یک سناریوی بسیار مقید را در نظر می گیریم که گرانش، مسئول اصلی شکست ابر تقارن می باشد. این مدل mSUGRA نامیده می شود. کوارک تاپ می تواند از تلاشی کوارک های اسکالر یا گلئون ها به همراه یک نوترالینو به وجود آید. این نوترالینو می تواند سبک ترین ذره ابر تقارن باشد (LSP)، یا نوترالینو سنگین تر که در نهایت به LSP که یک ذره پایدار است تلاشی می کند (با فرض بقای پارته R) و به عنوان انرژی عرضی گم شده (MET) ظاهر می شود. در اینجا در حالت نهایی حداقل یک کوارک تاپ به علاوه یک MET بزرگ وجود دارد. رهیافت ما برای استفاده از این ویژگی، جستجوی تعداد اضافی کوارک های تاپ استخراج شده، در دنباله توزیع MET از رویدادهای  $t\bar{t}$  می باشد.

فصل دوم

آشکارساز CMS در LHC

## ۲.۱ برخورد دهنده هادرونی بزرگ LHC

مدل استاندارد ذرات بنیادی، نظریه ای توانمند و دقیق برای توصیف بسیاری از پدیده های فیزیک انرژی های بالا می باشد. بسیاری از آزمون های تجربی این مدل در برخورد دهنده بزرگ الکترون - پوزیترون انجام شده است. از اواسط سال ۱۹۸۹ تا پایان سال ۲۰۰۰، این آزمایش با انرژی مرکز جرم بین ۹۰ GeV تا ۲۰۰ GeV در حال انجام بود. اگر چه مدل استاندارد بسیاری از داده های کنونی به دست آمده از شتاب دهنده ها را توضیح می دهد، از پاسخ دادن به تعدادی سوال بنیادی ناتوان است. این سوالات دریچه ای به روی مدل های فراتر از مدل استاندارد فیزیک ذرات بنیادی می گشایند. مطالب این فصل با توجه به منابع [۱]، [۱۱] و [۱۳] نگاشته شده است.

برای جستجوی فیزیک نوین، برخورد دهنده بزرگ هادرونی (LHC)، برخورد دهنده ای دایروی با  $7+7 \text{ TeV}$  انرژی که دو باریکه پروتون را به هم می کوبد، هم اکنون در تونل LEP ساخته شده است. در ۴ نقطه مهم در تونل ۲۷ کیلومتری LHC که در زیر زمین است، دسته های پروتون به یکدیگر برخورد می کنند و با انرژی مرکز جرم  $14 \text{ TeV}$  امکان تولید ذرات سنگین تر و جدید را فراهم می آورند. این برخورد دهنده چالش انگیز، امکان مطالعه موضوعات تحقیقاتی زیادی، از آزمون های دقت مدل استاندارد، فیزیک هیگز، ابر تقارن و سایر پدیده های فرا استاندارد مدل گرفته، تا فیزیک ذره B (شکست تقارن CP) و فیزیک یون های سنگین (پلاسمای کوارک-گلئون) را فراهم می آورد.

در محدوده نقاط برخورد، آشکارسازهای عظیم به طول ۲۰ تا ۴۰ متر نظیر CMS و ATLAS، قرار خواهند گرفت تا خواص ذرات را با دقت و بازدهی حیرت انگیزی بررسی کنند. پتانسیل برخورد کننده LEP برای پیدا کردن فیزیک جدید به وسیله انرژی محدود شده بود.



برای اجتناب از مشکل تابش سینکترون ، دو امکان وجود دارد : می توان شعاع برخورد دهنده را افزایش داد یا می توان جرم ذرات شتابدار را افزایش داد. این را می توان از فرمول افت انرژی سینکترون برای ذرات نسبیتی مشاهده کرد :

$$-\Delta E = \frac{4\pi\alpha}{3R} \beta^{\gamma} \gamma^4 \quad (2.1)$$

$$\beta = \frac{v}{c} \approx 1 \quad \text{و} \quad \gamma = \frac{E}{mc^2}$$

که R شعاع شتابدهنده، E انرژی ذره و m جرم ذره می باشد. (  $\alpha$  ثابت ساختار ریز است ). به دلایل مالی یک محرک قوی برای دوباره استفاده کردن تونل LEP وجود دارد. بنابراین تصمیم گرفته شد که یک برخورد دهنده پروتون- پروتون ساخته شود. چون پروتون ها ۲۰۰۰ بار سنگین تر از الکترون ها هستند، افت انرژی  $10^{13} \approx (2000)^4$  بار کوچکتر از الکترون ها در همان تونل می باشد. در نتیجه حذف تابش سینکروترون به عنوان یک فاکتور محدود کننده برای انرژی برخورد کننده، محسوب می شود. ماکزیمم انرژی یک باریکه پروتون در تونل LEP، می تواند برای جبران کردن نیروی گریز از مرکز ذرات به دست آید [۱].

استدلال های تئوری قوی با فرض اینکه مقیاس پدیده های فیزیکی جدید در حدود ۱ TeV می باشد، وجود دارد. بنابراین یک پروژه برخوردکننده جدید باید قادر به کشف این مقیاس باشد. برخوردکننده های پروتون یک پیچیدگی های اضافی در مقایسه با برخوردکننده های لپتونی دارند. زیرا پروتون ها ذرات بنیادی نیستند بلکه ذرات مرکب می باشند و از کوارک ها و گلئون ها تشکیل شده اند که تنها کسری از تکانه پروتون را حمل می کنند. ( در صورتی که لپتون ها ذرات بنیادی می باشند). بنابراین برای اینکه بتوانیم یک نمونه آماری با مفهوم را از بوزون های هیگز ۱ TeV تولید کنیم، انرژی مرکز جرم pp برخورد کننده باید در حدود چند TeV باشد. برای پروژه LHC تصمیم گرفته شد دو قطبی های مغناطیسی با ۸/۳۳ تسلا، که با یک باریکه با انرژی ۷ TeV متناظر هستند، ( یعنی با انرژی مرکز جرم ۱۴ TeV ) به کار رود. به منظور دستیابی به میدان مغناطیسی فوق، انواع جدید ابررساناهای مغناطیسی تهیه شد که در دمای هلیوم مایع عمل می کند. از نظر اندازه شتاب دهنده، یک مشکل اساسی برای مسائل بروودی مطرح شد.

به علاوه باید مراقب بود میدان مغناطیسی ناگهان فاز ابر رسانایی خودش را ترک نکند ( خاموش شدن ). زیرا این مسئله منجر به افت انرژی خیلی زیادی در مغناطیس می شود. بنابراین به منظور جلوگیری کردن از خاموش شدن مغناطیس ها در قسمت های مختلف شتابدهنده، در CERN، یک زمینه فعال تحقیقاتی به وجود آمد. پارامترهای ماشین مربوط به عملکرد LHC، در جدول ۱-۲ آورده شده اند [۱۳].

از دیگر کمیت های مهم در یک برخورد کننده، درخشندگی است. آهنگ تولید نوع خاصی از رویدادهای فیزیکی با  $\sigma L$  داده می شود که  $\sigma$  در این رابطه سطح مقطع تولید فرایند فیزیکی و  $L$  درخشندگی برخورد دهنده است. برای حفظ اعتبار آماری، با افزایش انرژی برخورد دهنده، ما باید درخشندگی را به صورت متناسب با  $E^2$  زیاد کنیم، زیرا سطح مقطع برخورد پارتون ها به صورت  $\frac{1}{E^2}$  کاهش می یابد. با در نظر گرفتن ساختار پارتون ها، LHC چنان طراحی شده است که می تواند در رژیم درخشندگی بالا،  $L = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  را تولید کند. در سه سال ابتدایی پس از راه اندازی LHC، درخشندگی دستگاه در رژیم پایین یعنی  $L = 2 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  خواهد بود.

جدول ۱-۲ پارامترهای ماشین مربوط به برخورد دهنده LHC

		pp	HI	
Energy per nucleon	$E$	7	2.76	TeV
Dipole field at 7 TeV	$B$	8.33	8.33	T
Design Luminosity*	$\mathcal{L}$	$10^{34}$	$10^{27}$	$\text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Bunch separation		25	100	ns
No. of bunches	$k_B$	2808	592	
No. particles per bunch	$N_p$	$1.15 \times 10^{11}$	$7.0 \times 10^7$	

درخشندگی یک شتابگر که دسته های  $n_1$  و  $n_2$  تایی از ذرات را با بسامد  $f$  به هم می کوبد، عبارت است از :

$$L = f \frac{n_1 n_2}{4\pi\sigma_x \sigma_y} \quad (2.2)$$

که  $\sigma_x$  و  $\sigma_y$  پهنای مقطع عرضی باریکه ها ( که گاوسی فرض می شود) هستند. به این ترتیب واضح است که برای رسیدن به درخشندگی بالا، بسامد و تعداد ذرات هر دسته باید افزایش یابد و پهنای باریکه ها باید کم شود. عدد نوعی  $n_i$  حدود  $10^{11}$  ذره در هر دسته است. در اینجا جا دارد رویدادهای موجود در LHC را به دو دسته تقسیم کنیم:

دسته اول، رویدادهای ناشی از برهمکنش های نرم یا رویدادهای مینیمم بایاس<sup>۱</sup> : رویدادهایی که از برخورد دو پروتون در فواصل زیاد، ایجاد می شوند. انتقال تکانه بین ذرات برهمکنش کننده در این حالت ناچیز است و ذرات خروجی دارای تکانه عرضی کم و تکانه طولی زیاد می باشند.

دسته دوم، رویدادهای ناشی از برهمکنش های سخت : رویدادهایی هستند که از برخورد شاخ به شاخ بین هر دو پارتون از پروتون های ورودی به وجود می آیند. ذرات تولید شده نهایی تکانه عرضی زیادی دارند.

<sup>۱</sup> Minimum Bias Event

با توجه به عدد  $n_i$ ، تعداد متوسط برخوردهای پروتونی الاستیک ( رویدادهای مینیمم بایاس ) به ازای هر برخورد دسته ذرات، عددی قابل توجه است ( در رژیم درخشندگی بالا این عدد ۲۰ و در رژیم درخشندگی پایین ۵ است).

این مسئله شرایط آزمایشگاهی را دشوار می کند. زیرا وقتی یک رویداد سخت رخ می دهد، در درخشندگی بالا ۲۰ رویداد مینیمم بایاس روی هم می افتند. این روی هم افتادگی که pile-up نام دارد، از مشکلات اساسی LHC بوده و نقش عمده ای در طراحی آشکارسازها دارد. از سوی دیگر، آهنگ برخورد دسته ذرات به یکدیگر در LHC، ۴۰ مگا هرتز است. به این معنا که در هر ۲۵ نانو ثانیه، در LHC یک برخورد رخ می دهد که این بسامد بالا نیز، واکنش بسیار سریعی را برای حفظ داده ها می طلبد.

بر خلاف بیشتر برخوردهای هادرونی که به طور سنتی، پروتون و پاد پروتون را به هم می کوبند، LHC، از برخورد پروتون- پروتون استفاده می کند و علت اصلی آن، توانایی پایین در تولید حجم زیاد پاد پروتون است؛ حجم زیادی که بتواند درخشندگی مطلوب ما را ایجاد نماید. از آنجایی که در حد انرژی LHC، بخش فعال پروتون در تولید ذرات جدید گلوئون ها هستند، نه کوارک ها، و توزیع گلوئون ها در پروتون و پاد پروتون یکسان است، تصمیم گرفته شد که در LHC از برخورد pp استفاده شود.

این انتخاب بر طراحی LHC تاثیر بسزایی داشته است. در LEP، می توانستیم با استفاده از یک لوله با مقطع بیضی برای باریکه ذرات، الکترون و پوزیترون را یکی پس از دیگری شتاب دهیم. چرا که به دلیل اختلاف بار، الکترون و پوزیترون در یک میدان مغناطیسی در خلاف جهت هم شتاب می گیرند. اما در LHC دو ذره هم بار هستند. بنابراین به دو لوله مجزا و دو میدان مغناطیسی با جهت مخالف نیازمندیم. مقطع عرضی این سیستم را در شکل ۱-۲ می بینیم.

<sup>۱</sup> SPS، پروتون ها را با انرژی ۴۵۰ GeV به LHC می فرستد. قبل از وارد شدن به SPS، پروتون ها ابتدا با یک شتابگر خطی، یک بوستر و <sup>۲</sup> PS شتاب می گیرند. برای آنکه هر دو حلقه LHC پر شود، به ۲۴ دور SPS نیازمندیم. بعد از فرآیند پر شدن، که حدود هفت دقیقه طول می کشد، نیمه عمر باریکه در LHC، به ۲۲ ساعت می رسد اما داده گیری تنها به ده ساعت اول محدود می شود، زیرا بعد از این زمان، درخشندگی افت فراوانی پیدا می کند. طوری که دیگر برای داده گرفتن مناسب نیست. در LHC، چهار آزمایش <sup>۳</sup> CMS (سیملوله فشرده میوئون)، <sup>۴</sup> ATLAS ( یک ابزار چمبره ای در LHC)، LHCb که برای مطالعه فیزیک کوارک b طراحی شده

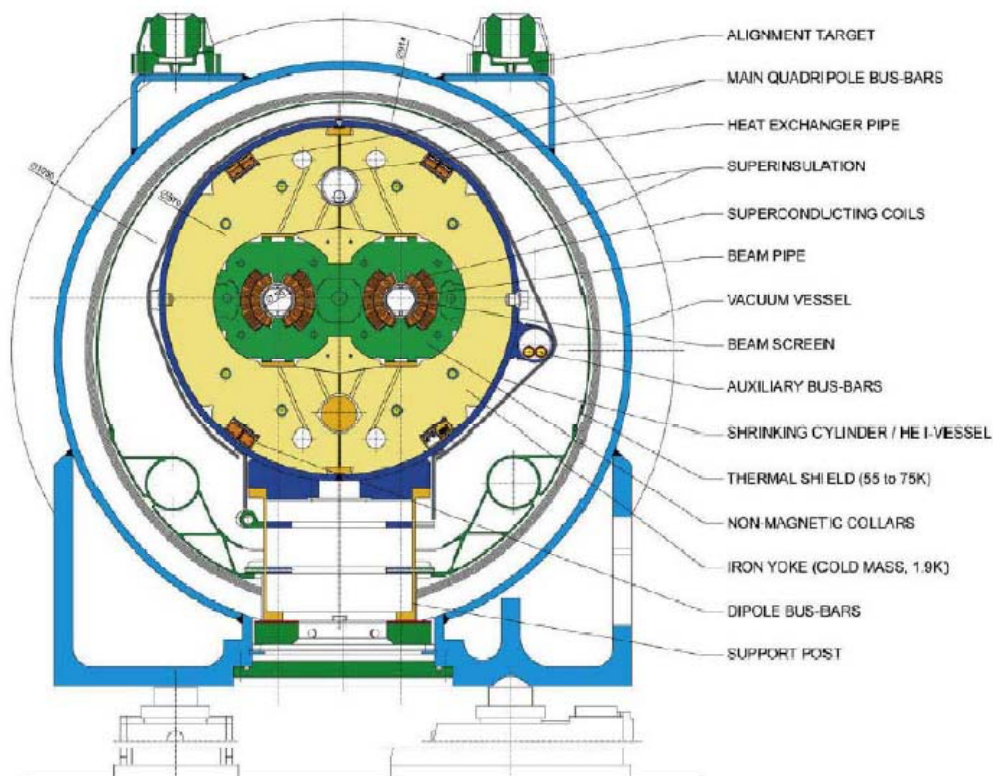
<sup>۱</sup> Super Proton Synchrotron

<sup>۲</sup> Proton Synchrotron

<sup>۳</sup> Compact Muon Solenoid

<sup>۴</sup> A Toroidal LHC Apparatus

است و ALLICE<sup>۱</sup> ( آزمایش برخورد یون های بزرگ )، برای مطالعه فیزیک یون های سنگین، ساخته شده اند و هر یک از داده های برخورد pp بهره می گیرند. مکان آنها در طول حلقه LHC، در شکل ۲-۲ آمده است [۱۱].



شکل ۱-۲ مقطع عرضی LHC

این آشکارسازها قرار است موضوعات زیر را بررسی کنند:

SM: آزمون های دقت پارامترها در مدل استاندارد ذرات، به خصوص در مواردی که به کوارک سر (top) مربوط است.

EWSB: مطالعه شکست تقارن الکتروضعیف در مدل استاندارد با تلاش برای یافتن یک یا چند بوزون هیگز و یا اثبات مدل های جایگزین.

<sup>۱</sup> A Large Ion Collider Experiment