



AYAR GENİŞLETMELİ SÜPERSİMETRİK MODELLERİN LHC'DEKİ HİGGS SİNYALLERİ

Hale SERT İYTE and DESY

Ankara YEF Günleri

27/12/2011

“Tevatron Higgs Mass Bounds: Projecting U(1)' Models to LHC Domain”

Phys. Letts. **B692** (2010) 327–335, [arXiv:1005.1674v1 [hep-ph]]

by *H.S., E. Cincioglu, D. A. Demir and L. Solmaz*

Higgs (Sinyalleri)
ne demektir?

**AYAR GENİŞLETMELİ
SÜPERSİMETRİK MODELLERİN
LHC'DEKİ HİGGS SİNYALLERİ**

Ayar Genişletmeli
Süpersimetrik Model
nedir?

Neden Süpersimetriyi genişletiyoruz?

İÇERİK

■ Giriş

- Higgs boson'u nedir?
- Çalışmanın amacı

■ Modeller

- SM, MSSM ve $U(1)$ ' modellerinin karşılaştırılması
- $U(1)$ ' modelinin motivasyonları
- $U(1)$ ' modelde Higgs Kütlelerinin hesaplanması

■ Analiz

- Parametreler
- Sonuçlar
 - $U(1)$ ' modelinin belli parametreleri üzerindeki **Sınırlandırmalar**
 - LHC deki $U(1)$ ' model parametreleri için **Tahminler**

■ Özet

İÇERİK

■ Giriş

- Higgs boson'u nedir?
- Çalışmanın amacı

■ Modeller

- SM, MSSM ve $U(1)'$ modellerinin karşılaştırılması
- $U(1)'$ modelinin motivasyonları
- $U(1)'$ modelde Higgs Kütlelerinin hesaplanması

■ Analiz

- Parametreler
- Sonuçlar
 - $U(1)'$ modelinin belli parametreleri üzerindeki Sınırlandırmalar
 - LHC deki $U(1)'$ model parametreleri için Tahnimler

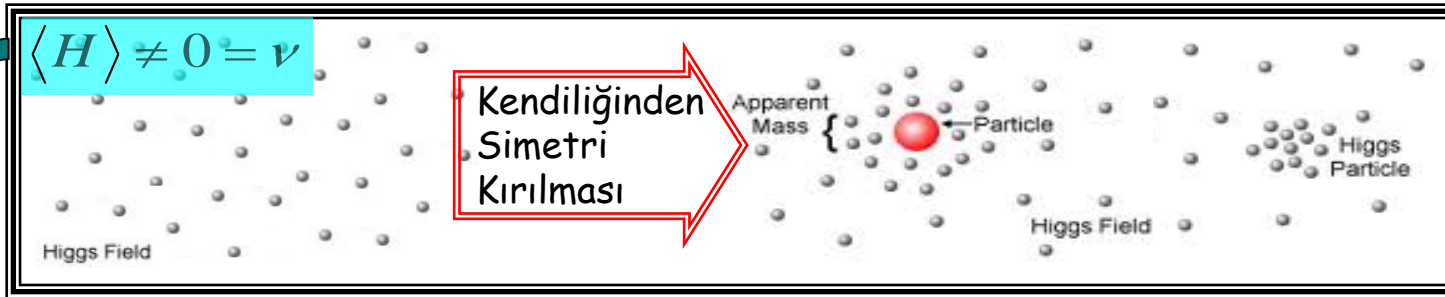
■ Özet

GİRİŞ

Higgs Bozonu nedir? / Kütle'yi Nasıl Açıklayabiliriz?

Yüksek Enerjilerde:
 $M_q = 0 \quad M_l = 0$

Düşük Enerjilerde:
 $M_q \neq 0 \quad M_l \neq 0$



□ Higgs alanı sıfırdan farklı vakum beklenen değerine sahiptir (VEV).

$$H \equiv \langle H \rangle + h$$

Higgs
Alanı

Higgs
VEV

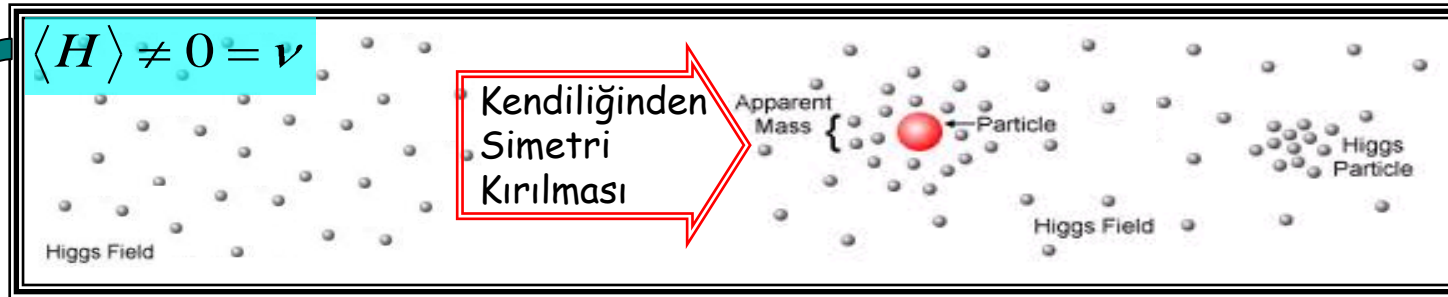
Higgs
Bozonu

GİRİŞ

Higgs Bozonu nedir? / Kütle'yi Nasıl Açıklayabiliriz?

Yüksek Enerjilerde:
 $M_q = 0 \quad M_l = 0$

Düşük Enerjilerde:
 $M_q \neq 0 \quad M_l \neq 0$



□ Higgs alanı sıfırdan farklı vakum beklenen değerine sahiptir (VEV).

$$H \equiv \langle H \rangle + h$$

Higgs Alanı

Higgs VEV

Higgs Bozonu

Higgs bozonunun kütlesi

henüz ölçülemedi;

sadece

deneysel sınırlandırmalar

var.

Deneysel Sonuçlar

Tevatron Run II Preliminary, L=2.0-5.4 fb

Gözlenen Dışlama Bölgesi
 $163 < m_h < 166$

95% CL Limit/SM

10

1

LEP Exclusion

Tevatron Exclusion

Expected
 Observed
 $\pm 1\sigma$ Expected
 $\pm 2\sigma$ Expected

$m_h > 114.4$

SM=1

November 6, 2009

100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200
 $m_H (\text{GeV}/c^2)$

Ref: <http://www-d0.fnal.gov/Run2Physics/WWW/results/prelim/HIGGS/H86/H86F04.jpeg>

GİRİŞ

MODELLER

ANALİZ

ÖZET

Deneysel Sonuçlar

Tevatron Run II Preliminary, L=2.0-5.4 fb

Beklenen Dışlama Bölgesi
 $159 < m_h < 168$

95% CL Limit/SM

10

1

LEP Exclusion

Tevatron Exclusion

- Expected
- Observed
- $\pm 1\sigma$ Expected
- $\pm 2\sigma$ Expected

SM=1

November 6, 2009

100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200
 $m_H(\text{GeV}/c^2)$

$m_h > 114.4$

Ref: <http://www-d0.fnal.gov/Run2Physics/WWW/results/prelim/HIGGS/H86/H86F04.jpeg>

GİRİŞ

MODELLER

ANALİZ

ÖZET

Çalışmanın Amacı

- LEP ve Tevatron sınırlandırmaları altında $U(1)$ ' model parametreleri için izinli bölgeleri belirlemek
- Sınırlandırılmış parametre uzayını kullanarak LHC ölçümleri için tahminde bulunmak
- Farklı $U(1)$ ' modelleri için Higgs bozon kütlelerinin nümerik bir analizini gerçekleştirdik.

İÇERİK

- Giriş
 - Higgs boson'u nedir?
 - Çalışmanın amacı

- **Modeller**
 - SM, MSSM ve U(1)' modellerinin karşılaştırılması
 - U(1)' modelinin motivasyonları
 - U(1)' modelde Higgs Kütlelerinin hesaplanması

- Analiz
 - Parametreler
 - Sonuçlar
 - U(1)' modelinin belli parametreleri üzerindeki Sınırlandırmalar
 - LHC deki U(1)' model parametreleri için Tahnimler

- Özet

MODELLER

MODELLER ÖZELLİKLER	SM Standart Model	MSSM Minimal Süpersimetrik Model	U(1)' MODEL Ayar-Genişletmeli MSSM
Ayar grubu	$SU(3) \otimes SU(2) \otimes U(1)$	$SU(3) \otimes SU(2) \otimes U(1)$	$SU(3) \otimes SU(2) \otimes U(1) \otimes U(1)'$
Ayar alanları	$G_{1,2,\dots,8}, W_{1,2,3} \text{ \& } B_\mu$	$G_{1,2,\dots,8}, W_{1,2,3} \text{ \& } B_\mu$	$G_{1,2,\dots,8}, W_{1,2,3}, B_\mu \text{ \& } B'_\mu$
Higgs alanları	$H = \begin{pmatrix} H^+ \\ H^0 \end{pmatrix}$	$H_u = \begin{pmatrix} H_u^+ \\ H_u^0 \end{pmatrix} \quad H_d = \begin{pmatrix} H_d^0 \\ H_d^- \end{pmatrix}$	$H_u = \begin{pmatrix} H_u^+ \\ H_u^0 \end{pmatrix} \quad H_d = \begin{pmatrix} H_d^0 \\ H_d^- \end{pmatrix} \quad S$
Ayar bozonları	$G_{1,2,\dots,8}, W^\pm, Z, A_\mu$	$G_{1,2,\dots,8}, W^\pm, Z, A_\mu$	$G_{1,2,\dots,8}, W^\pm, Z, Z', A_\mu$
Higgs bozonları	h	$h, H, A \text{ \& } H^\pm$	$h, H, H', A \text{ \& } H^\pm$

U(1)' Modelleri

MSSM in μ Problemi

$$W = -\mu H_u \cdot H_d + h_u Q \cdot H_u U + h_d Q \cdot H_d D + h_e L \cdot H_d E$$

• boyutlu

• enerji ölçeği değişken

boyutsuz

- o μ EW ölçekte olmalı!



U(1)' Modelleri

MSSM in μ Problemi

$$W = -\mu H_u \cdot H_d + h_u Q \cdot H_u U + h_d Q \cdot H_d D + h_e L \cdot H_d E$$

• boyutlu

• enerji ölçeği değişken

boyutsuz

- o μ EW ölçekte olmalı!



Genel U(1)' Modelleri

- Temeli düşük enerjili modellere dayanır.
- μ problemini açıklamak için motive olmuşlardır.
- Bir tane extra ayar grubu ve bir singlet S var.

$$\mu_{eff} = h_s \langle S \rangle$$

$$W \ni \mu_{eff} H_u \cdot H_d = h_s \langle S \rangle H_u \cdot H_d$$



$h_s \rightarrow$ boyutsuz

$\langle S \rangle \approx$ EW ölçekte

E_6 tabanlı U(1)' Modeller

- Temeli yüksek enerjili modellere dayalıdır.
- SUSY GUT'taki simetri kırılması sonucunda ortaya çıkmıştır.
- μ problemini açıklar.

$$E(6) \rightarrow SO(10) \otimes U(1)_{\psi} \rightarrow SU(5) \otimes U(1)_{\chi} \otimes U(1)_{\psi} \rightarrow$$

$$\rightarrow G_{SM} \otimes U(1)'$$

$$U(1)' = \cos \theta_{E_6} U(1)_{\psi} - \sin \theta_{E_6} U(1)_{\chi}$$

θ_{E_6} (karışım açısı)

Kırılma yönü

$U(1)_{\chi} \otimes U(1)_{\psi}$ uzaydaki

- Farklı θ_{E_6} değerleri için, E(6) gruplarına dayalı farklı $U(1)'$ modelleri var.

U(1)' model'de Higgs Kütlelerinin hesaplanması

- U(1)' modeldeki süperpotensiyel:

$$W = -h_s S H_u \cdot H_d + h_u Q \cdot H_u u_R^c + h_d Q \cdot H_d d_R^c + h_e L \cdot H_d e_R^c$$

- Tree level skaler potensiyel :

$$V_{tree} = V_F + V_D + V_{soft}$$

<p>F Terim:</p> $V_F = \left \frac{\partial W}{\partial \phi_i} \right ^2$ <p>$\phi_i \rightarrow$ Tüm skaler alanlar (doubletler + singlet)</p>	<p>D Terim:</p> $V_D = \frac{1}{2} D_a D^a$ <p>$D^a = g_a \phi_i^\dagger T^a \phi_i$</p> <p style="text-align: center;"> Ayar etkileşme sabiti generator </p> <p>where $\phi_i \rightarrow$ SU(2) grubu için doubletler \rightarrow U(1) grubu için tüm skaler alanlar</p>
<p>Soft Terim:</p> $V_{soft} = m_{H_u}^2 H_u ^2 + m_{H_d}^2 H_d ^2 + m_s^2 S ^2 + (h_s A_s S H_u \cdot H_d + h.c.)$ <p style="text-align: center;"> Skaler'lerin kütle-kare terimi Üçlü etkileşme sabiti </p>	

U(1)' model'de Higgs Kütlelerinin hesaplanması

- U(1)' modeldeki süperpotensiyel:

$$W = -h_s S H_u \cdot H_d + h_u Q \cdot H_u u_R^c + h_d Q \cdot H_d d_R^c + h_e L \cdot H_d e_R^c$$

- Tree level skaler potensiyel :

$$V_{tree} = V_F + V_D + V_{soft}$$

$$V_F = |h_s|^2 \left[|H_u \cdot H_d|^2 + |S|^2 \left(|H_u|^2 + |H_d|^2 \right) \right]$$

$$V_D = \frac{G^2}{8} \left(|H_u|^2 - |H_d|^2 \right)^2 + \frac{g_2^2}{2} \left(|H_u|^2 |H_d|^2 - |H_u \cdot H_d|^2 \right) + \frac{g_Y^2}{2} \left(Q_{H_u} |H_u|^2 + Q_{H_d} |H_d|^2 + Q_S |S|^2 \right)^2$$

$$V_{soft} = m_{H_u}^2 |H_u|^2 + m_{H_d}^2 |H_d|^2 + m_s^2 |S|^2 + (h_s A_s S H_u \cdot H_d + h.c.)$$

$$G^2 = g_Y^2 + g_2^2$$

Üçlü etkileşim sabiti

U(1)' Yükleri

SU(2) & U(1)' simetri gruplarının ayar etkileşim sabitleri

U(1)' model'de Higgs Kütlelerinin hesaplanması

- Toplam potansiyel: $V_{total} = V_{tree} + \Delta V$



Radiative doğrultma faktörü

$$\Delta V = \frac{1}{64 \pi^2} Str \left[M^4 \left(\ln \frac{M^2}{\Lambda^2} - \frac{3}{2} \right) \right]$$

Kuarkların ve Skuarkların
alan bağımlı kütle matrixleri

Renormalizasyon
ölçeği

$$Str \equiv \sum_J (-1)^{2J} (2J+1) Tr$$

U(1)' model'de Higgs Kütlelerinin hesaplanması

- Toplam potensiyel: $V_{total} = V_{tree} + \Delta V$

Kuarkların ve Skuarkların alan bağımlı kütle matrixleri

Renormalizasyon ölçeği

Radiative doğrultma faktörü

$$\Delta V = \frac{1}{64 \pi^2} Str \left[M^4 \left(\ln \frac{M^2}{\Lambda^2} - \frac{3}{2} \right) \right]$$

$$Str \equiv \sum_J \left(-1 \right)^{2J} \left(J+1 \right) Tr$$

- Extremum koşulları:

$$T_i = \left(\frac{\partial V_{total}}{\partial \psi_i} \right)_{\psi_i=0}$$

$$\psi_i = \phi_u, \phi_d, \phi_s, \varphi_u, \varphi_d, \varphi_s$$

- Soft terimdeki parametrelerin kütleleri elde edilir.

- Higgs bosonlarının kütle kare matrix:

$$M^2 = \left(\frac{\partial^2 V_{total}}{\partial \psi_i \partial \psi_j} \right)_{\psi_i=\psi_j=0}$$

$$\Psi_i, \Psi_j = \phi_u, \phi_d, \phi_s, \varphi_u, \varphi_d, \varphi_s$$

- Bu matrixin özdeğerleri hesaplanarak, Higgs bozonlarının kütle kare terimlerini elde edebiliriz.

İÇERİK

- Giriş
 - Higgs boson'u nedir?
 - Çalışmanın amacı

- Modeller
 - SM, MSSM ve $U(1)'$ modellerinin karşılaştırılması
 - $U(1)'$ modelinin motivasyonları
 - $U(1)'$ modelde Higgs Kütlelerinin hesaplanması

- Analiz
 - Parametreler
 - Sonuçlar
 - $U(1)'$ modelinin belli parametreleri üzerindeki **Sınırlandırmalar**
 - LHC deki $U(1)'$ model parametreleri için **Tahminler**

- Özet

ANALİZ

Birinci Bölüm

- Analizimiz sırasında, ilk olarak uygulanacak parametre uzayını tartıştık ve sonra U(1)' model parametreleri üzerine sınırlandırmalar koymak için figürler elde ettik.

İkinci Bölüm

- Hangi modelin deneysel sınırlandırmalara en hassas olduğunu incelemek için 4 farklı U(1)' model düşündük.

E(6) SUSY GUT dan,
3 tanesini seçiyoruz;

- ❑ $\theta_{E(6)} = \arcsin \sqrt{\frac{3}{8}} \Rightarrow \eta$ Model
- ❑ $\theta_{E(6)} = \arcsin \frac{1}{4} \Rightarrow N$ Model
- ❑ $\theta_{E(6)} = 0 \Rightarrow \psi$ Model

Düşük-enerji den,
Bu model için U(1)' yükleri :

$$\left. \begin{array}{l} Q_{H_u} = Q_{H_d} = Q_{Q_L} = -1 \\ Q_t = Q_b = Q_s = 2 \end{array} \right\} X \text{ Model}$$

İlk Bölüm için Parametreler

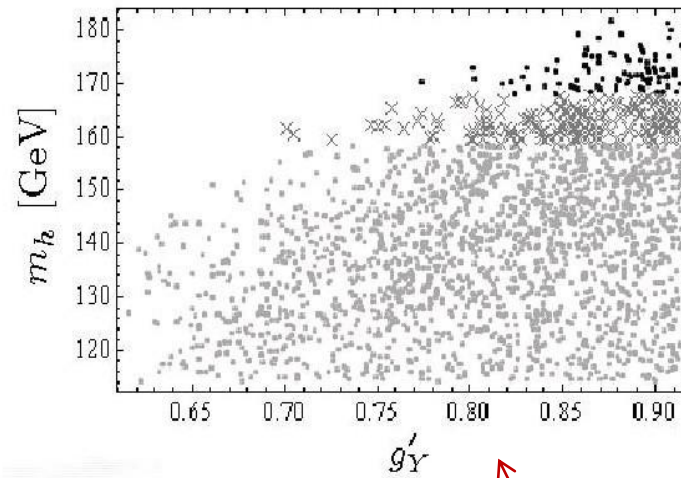
Parametre uzayını taramak için kullanılan parametreler :

<p>U(1)' Ayar Etkileşim Sabiti</p> <ul style="list-style-type: none"> □ η , N , ψ modelleri için; g_Y', g_Y dan $2g_Y$ ya değişir. □ X modeli için; g_Y' tek adımda GUT simetri kırılması ayar etkileşim sabitine sabitlenmiştir. $g_Y' = \sqrt{\frac{5}{3}} \sqrt{g_2^2 + g_Y^2} \sin \theta_w$	<p>Ayar ve Yukawa Etkileşim Sabitleri</p> <ul style="list-style-type: none"> □ <u>Ağaç seviyesinde:</u> $m_h^2 <_{\approx} a_i + b_i h_s^2$ Büyük b_i/a_i oranları için $m_h \propto h_s$ □ <u>Tek halka seviyesinde:</u> Bu tarz bir ilişkinin g_Y', h_s, ... parametreleri için de sağlanıp sağlanmadığını inceledik
<p>Z-Z' Karışımı: $\alpha_{Z-Z'} < 10^{-3}$, $m_{Z_2} \geq 1 \text{ TeV}$</p>	<p>Higgs VEV larının oranları: $0.5 < \tan \beta < 5$</p>
<p>Higgsino Yukawa Etkileşim Sabiti</p> $0.1 < h_s < 0.8$	<p>Skuark Soft Kütle terimleri:</p> $m_{\tilde{Q}}, m_{\tilde{t}_R}, m_{\tilde{b}_R} \approx [0.1, 1] \text{ TeV}$ $m_{\tilde{t}_1} > 180 \text{ GeV} \quad m_{\tilde{b}_1} > 240 \text{ GeV}$
<p>Singlet VEV ları:</p> $v_s \approx [1, 2] \text{ TeV}, \quad \mu_{\text{eff}} < 1 \text{ TeV}$	<p>Üçlü etkileşim sabiti:</p> $A_t, A_b, A_s \approx [1, 1] \text{ TeV}$

❖ Figüre yapısının açıklanması:

1. *X Modeli*
2. *η Modeli*
3. *N Modeli*
4. *ψ Modeli*

İlk bölüm: m_h



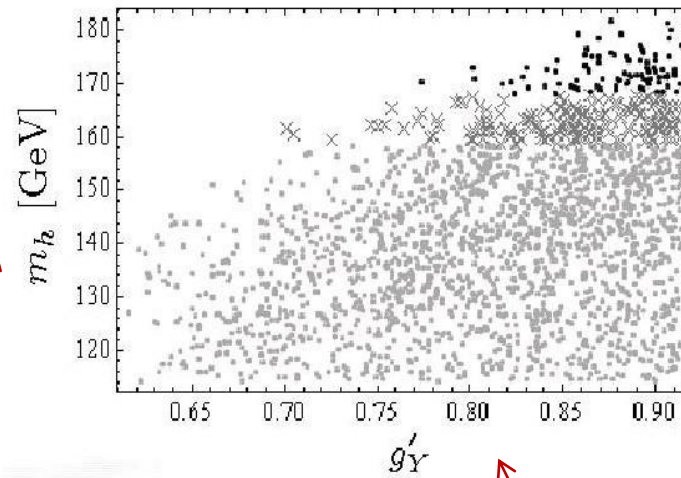
İlk bölüm: $g_Y' & h_s$

❖ Figüre yapısının açıklanması:

1. X Modeli
2. η Modeli
3. N Modeli
4. ψ Modeli

İlk bölüm: m_h

İkinci bölüm: $m_h, m_{\tilde{t}_1}$ & $m_{\tilde{t}_2}$



İlk bölüm: g_Y' & h_s

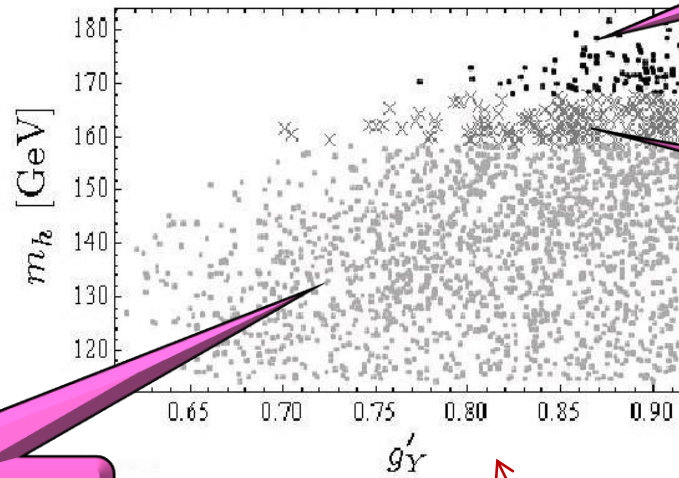
İkinci bölüm: $\mu_{eff}, m_{Z_2}, m_{H\&A}, m_{H'\&Z_2}$

❖ Figüre yapısının açıklanması:

1. X Modeli
2. η Modeli
3. N Modeli
4. ψ Modeli

Siyah noktalar \rightarrow tevatron dışlama bölgesinin üzerindeki bölge

İlk bölüm: m_h



Gri çarpılar \rightarrow yasaklı bölge

İkinci bölüm: $m_h, m_{\tilde{t}_1}$ & $m_{\tilde{t}_2}$

Gri noktalar \rightarrow tevatron dışlama bölgesinin altındaki bölge

İlk bölüm: g_Y' & h_s

İkinci bölüm: $\mu_{eff}, m_{Z_2}, m_{H\&A}, m_{H'\&Z_2}$

İÇERİK

- Giriş
 - Higgs boson'u nedir?
 - Çalışmanın amacı

- Modeller
 - Farklı modellerin karşılaştırılması
 - U(1)' modelinin motivasyonları
 - U(1)' modelde Higgs Kütlelerinin hesaplanması

- Analiz
 - Parametreler
 - Sonuçlar
 - U(1)' modelinin belli parametreleri üzerindeki **Sınırlandırmalar** ($g_{Y'}$ & h_s)
 - LHC deki U(1)' model parametreleri için **Tahminler**

- Özet

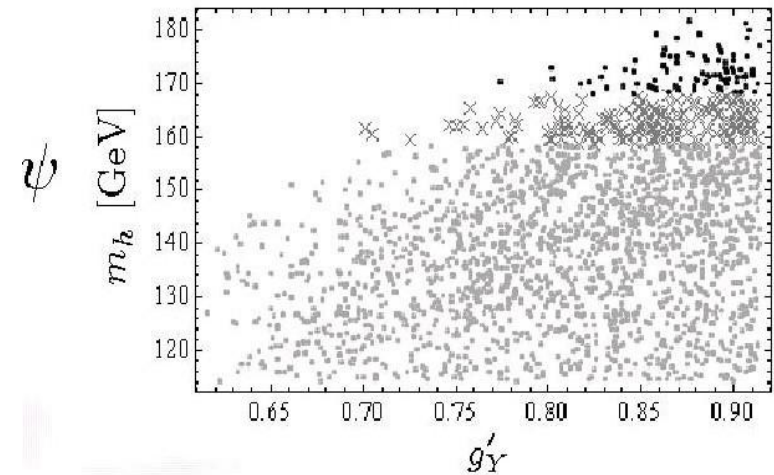
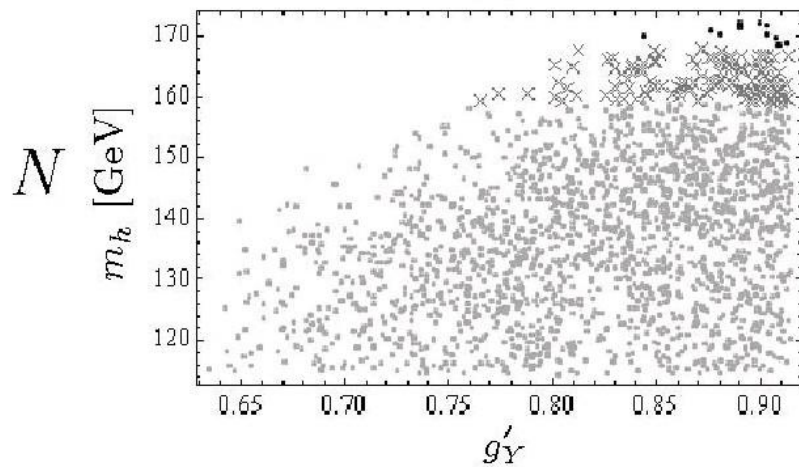
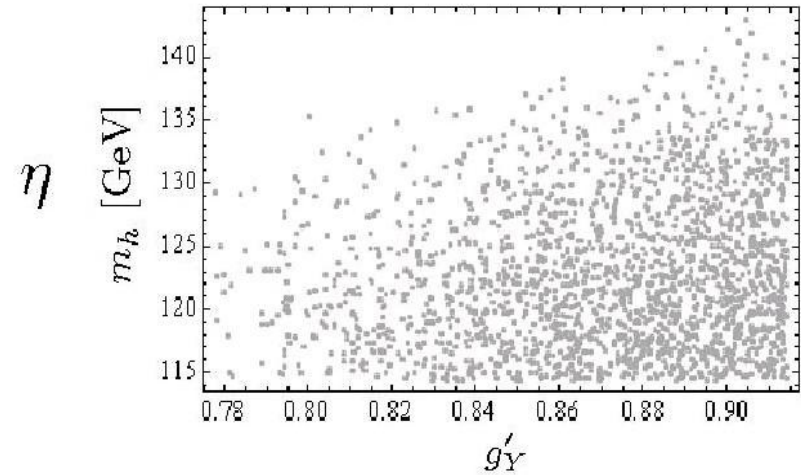
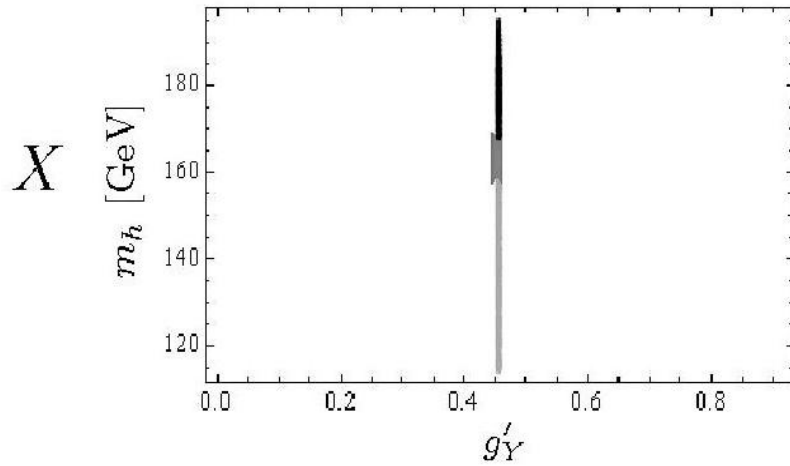
◆ m_h in g_Y' ye göre değişimi

LEP Sınırı:

$$m_h > 114.4 \text{ GeV}$$

Tevatron Dışlama Bölgesi:

$$159 < m_h < 168 \text{ GeV}$$



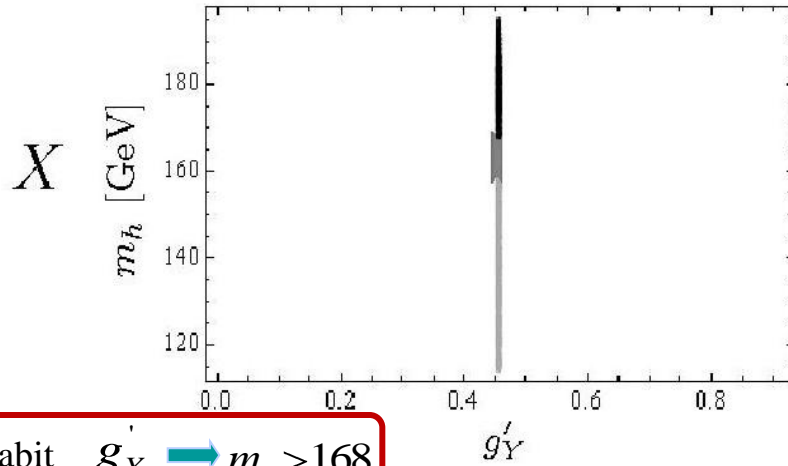
◆ m_h in g_Y' ye göre değişimi

LEP Sınırı:

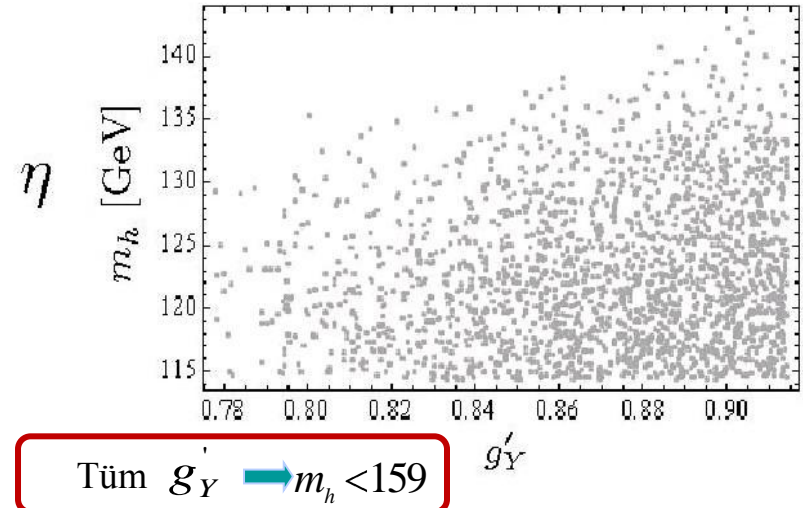
$$m_h > 114.4 \text{ GeV}$$

Tevatron Dışlama Bölgesi:

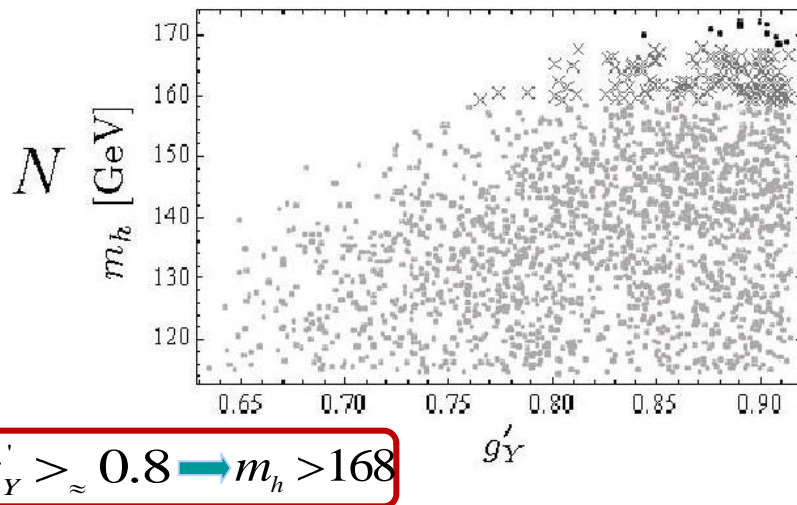
$$159 < m_h < 168 \text{ GeV}$$



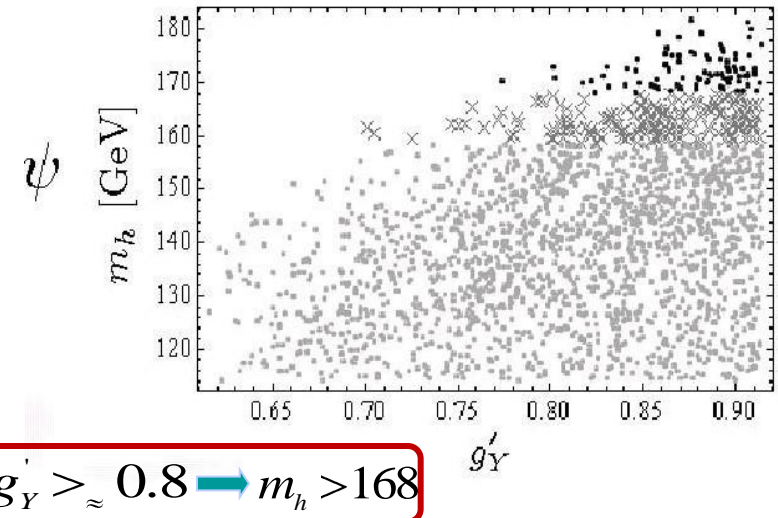
Sabit $g_Y' \rightarrow m_h > 168$



Tüm $g_Y' \rightarrow m_h < 159$



$g_Y' \gtrsim 0.8 \rightarrow m_h > 168$



$g_Y' \gtrsim 0.8 \rightarrow m_h > 168$

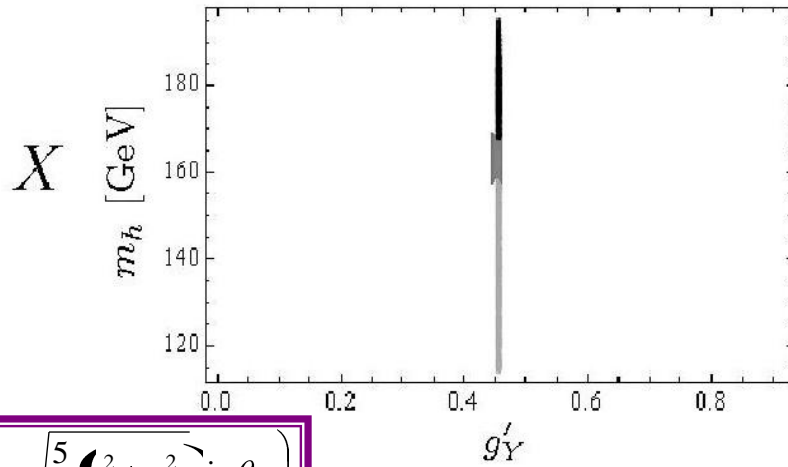
◆ m_h in g_Y' ye göre değişimi

LEP Sınırı:

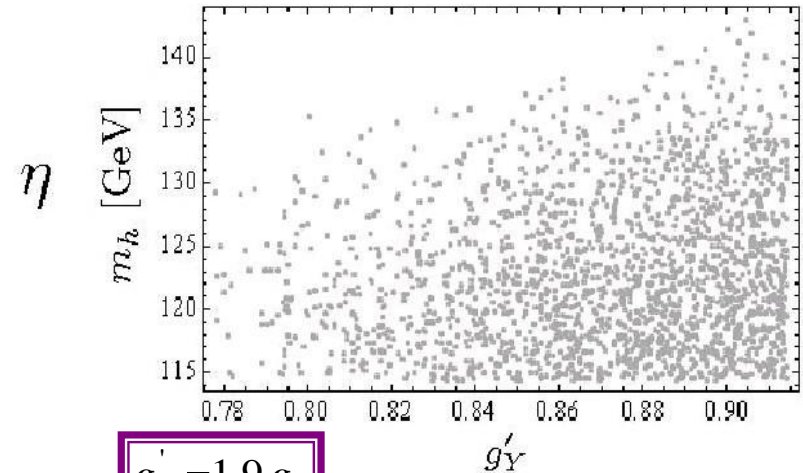
$$m_h > 114.4 \text{ GeV}$$

Tevatron Dışlama Bölgesi:

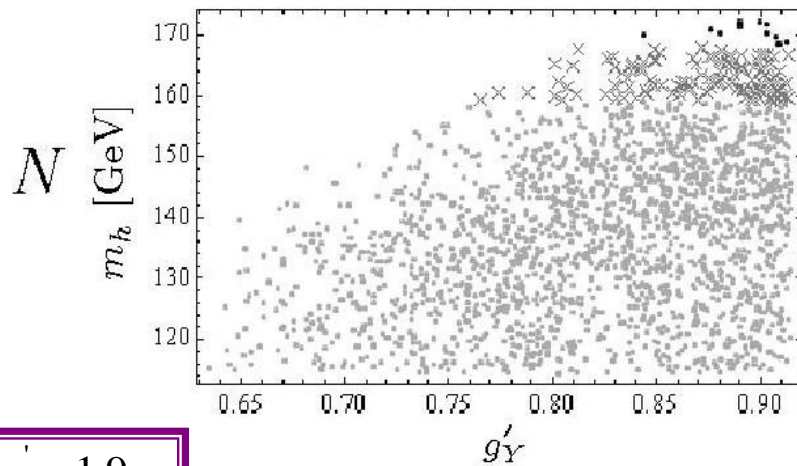
$$159 < m_h < 168 \text{ GeV}$$



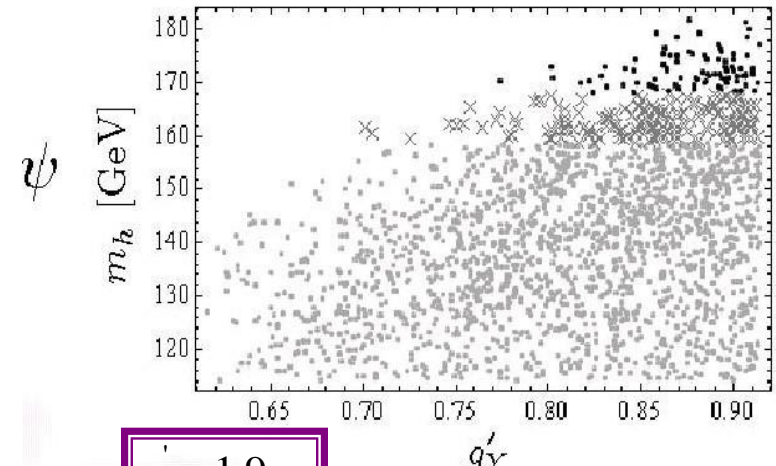
$$g_Y' = \sqrt{\frac{5}{3}} (\frac{1}{2} + g_Y^2) \sin \theta_w$$



$$g_Y' = 1.9 g_Y$$



$$g_Y' = 1.9 g_Y$$



$$g_Y' = 1.9 g_Y$$

GİRİŞ

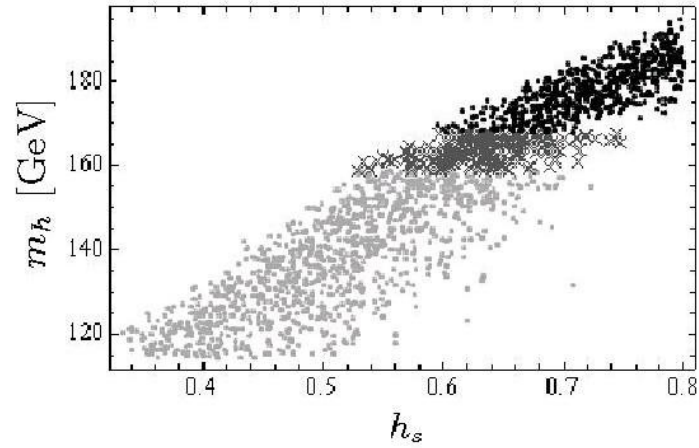
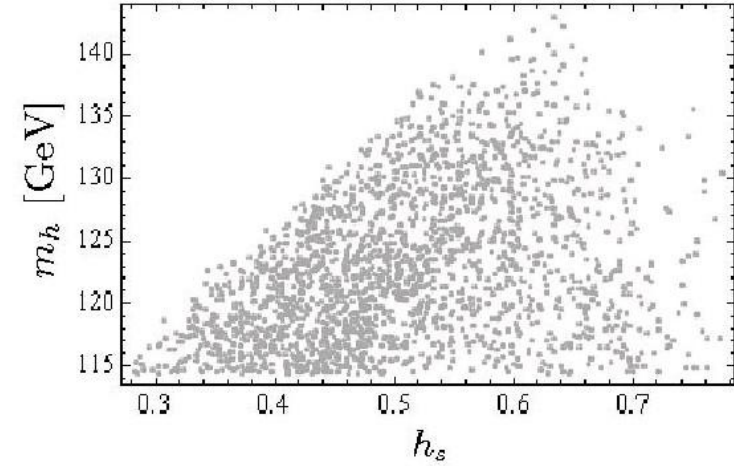
MODELLER

ANALİZ

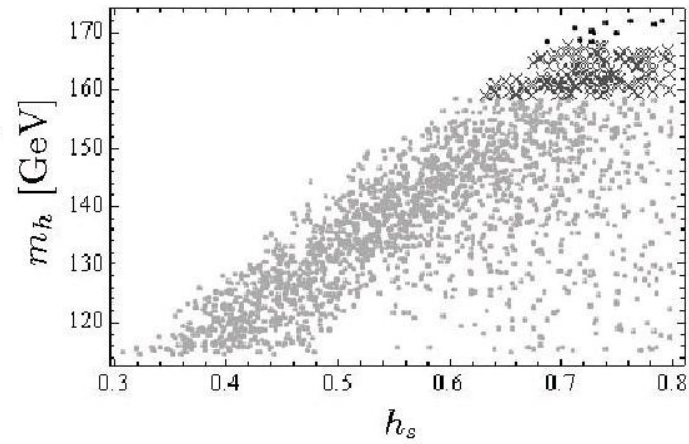
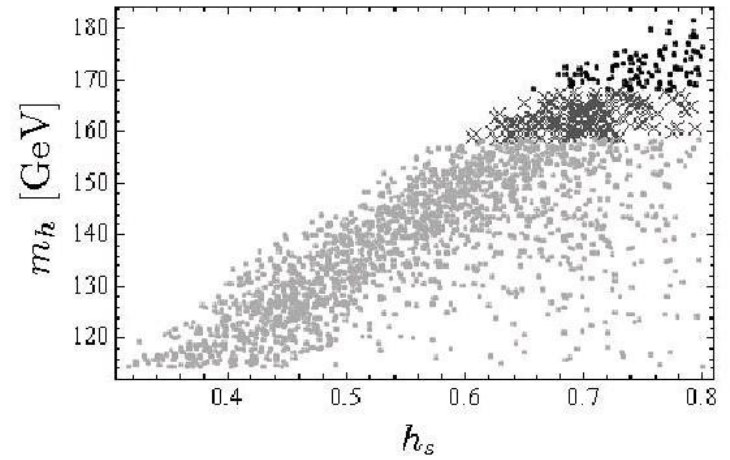
ÖZET

◆ m_h in h_s e göre degisimi

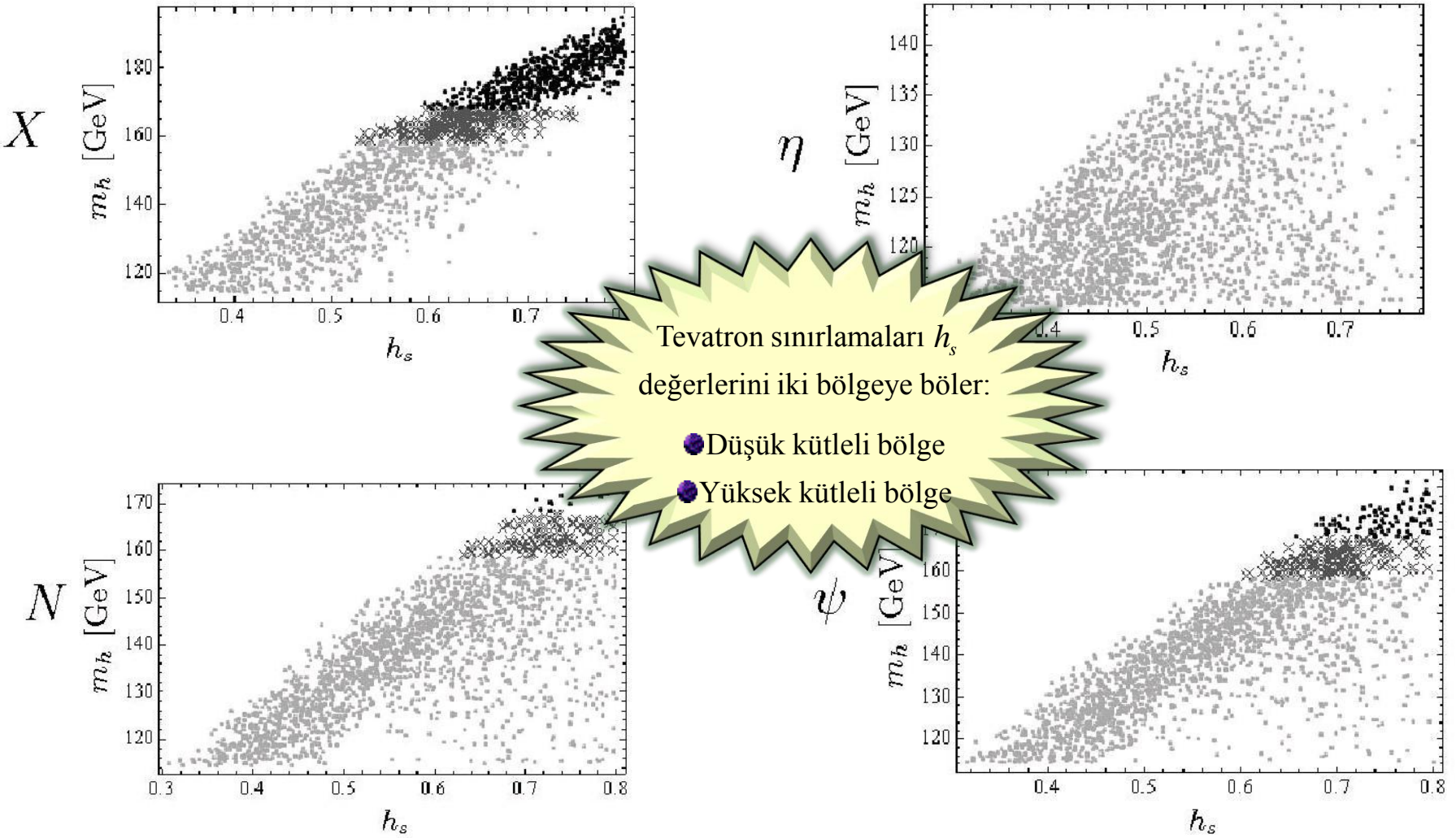
X

 η 

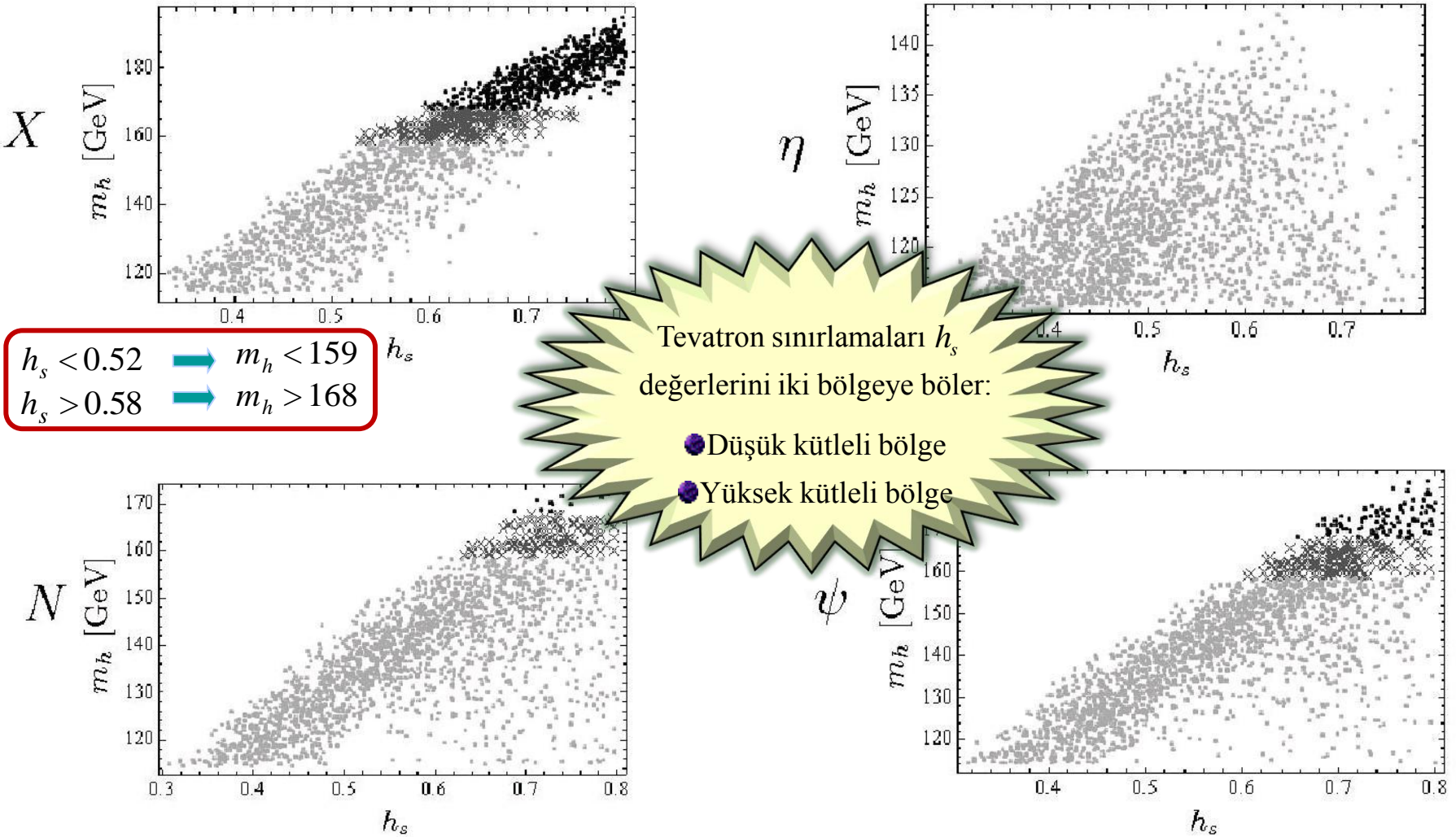
N

 ψ 

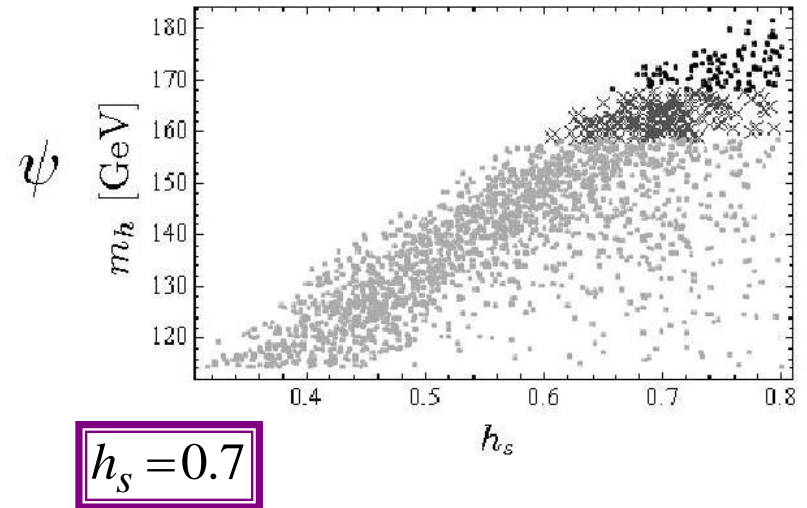
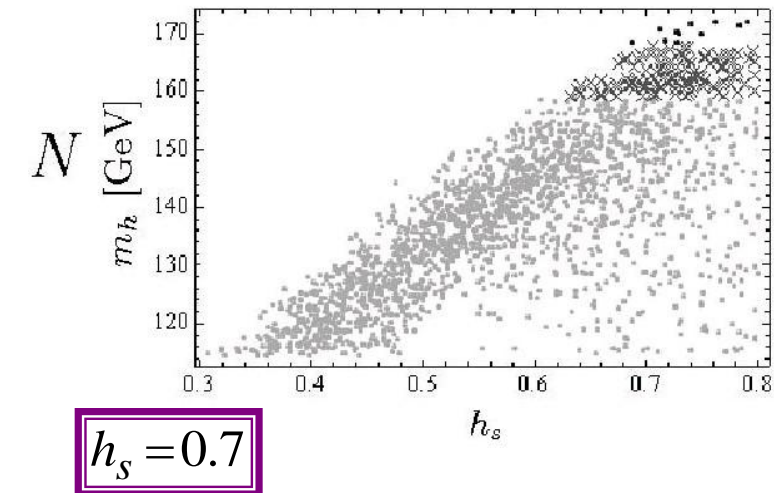
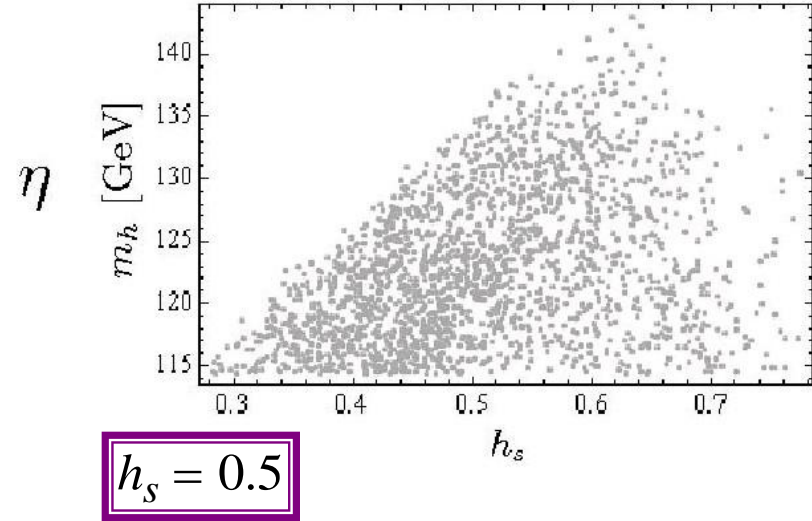
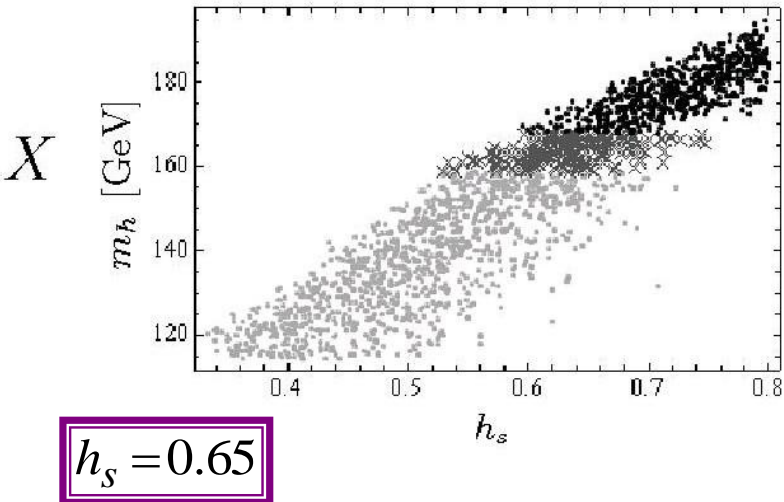
◆ m_h in h_s e göre değişimi



◆ m_h in h_s e göre değişimi



◆ m_h in h_s e göre degisimi



İÇERİK

- Giriş
 - Higgs boson'u nedir?
 - Çalışmanın amacı

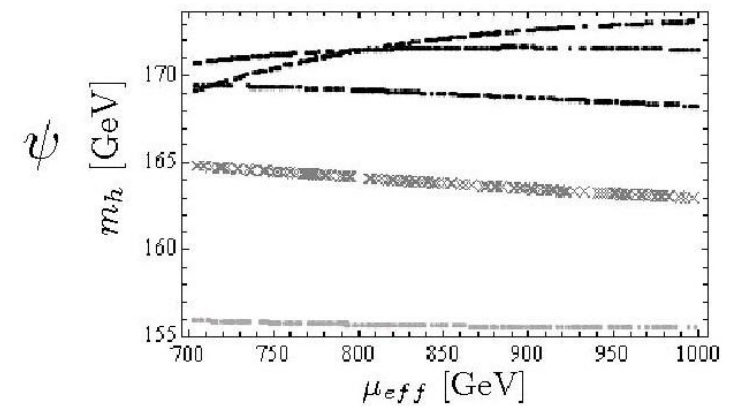
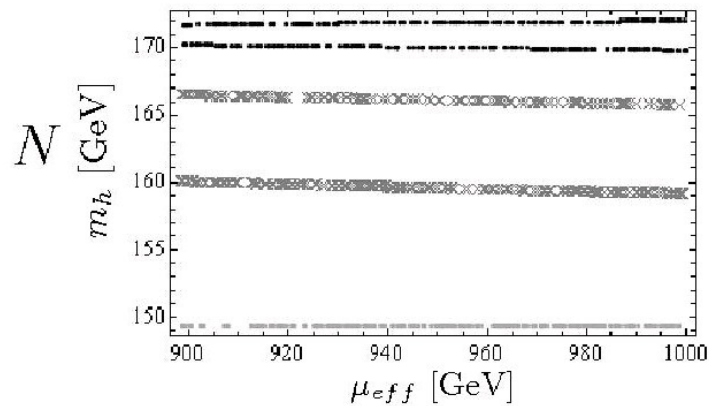
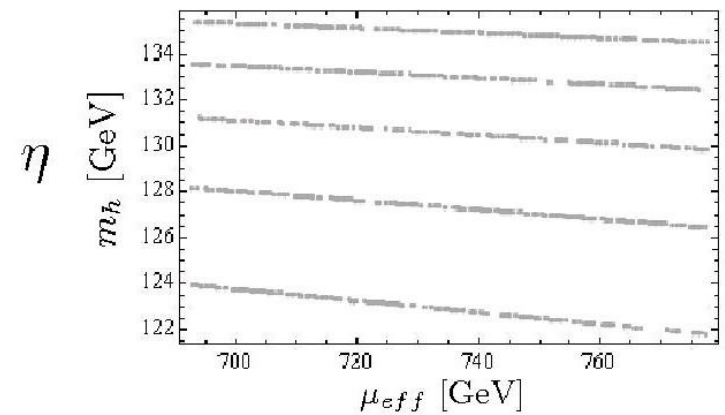
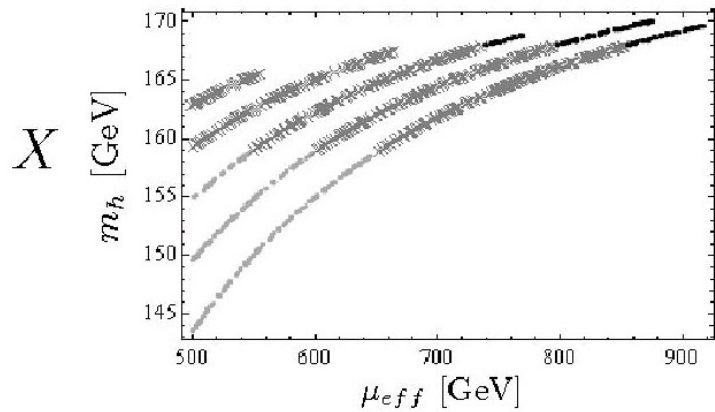
- Modeller
 - Farklı modellerin karşılaştırılması
 - U(1)' modelinin motivasyonları
 - U(1)' modelde Higgs Kütlelerinin hesaplanması

- Analiz
 - Parametreler
 - Sonuçlar
 - U(1)' modelinin belli parametreleri üzerindeki Sınırlandırmalar
 - LHC deki U(1)' model parametreleri için **Tahminler**

- Özet

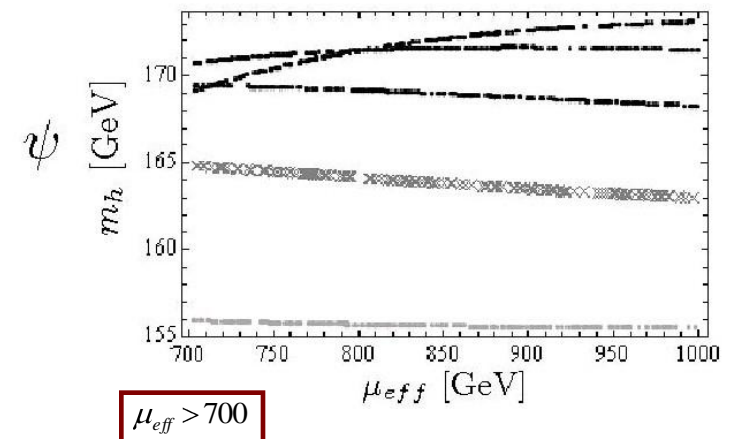
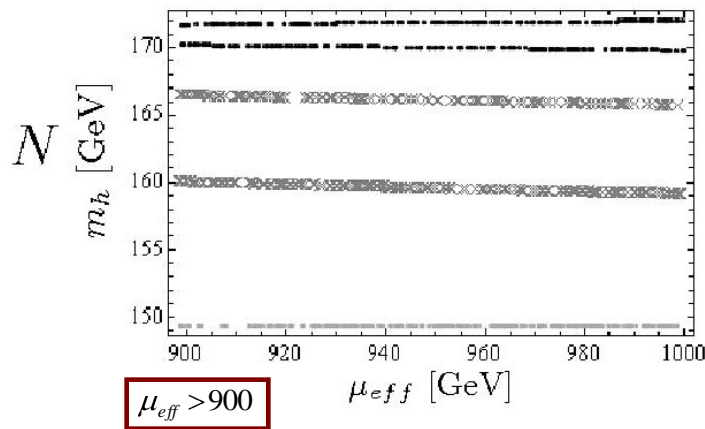
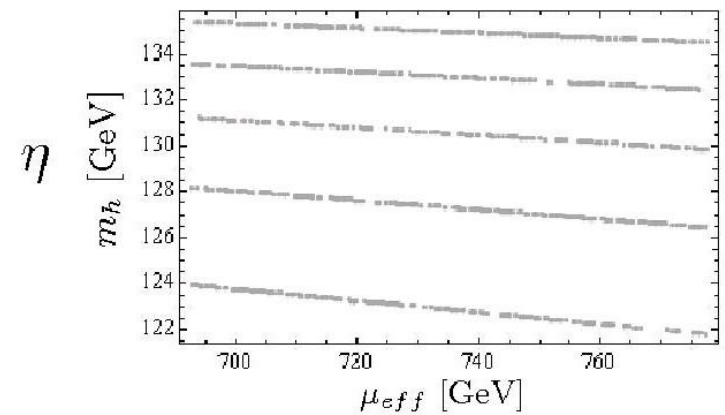
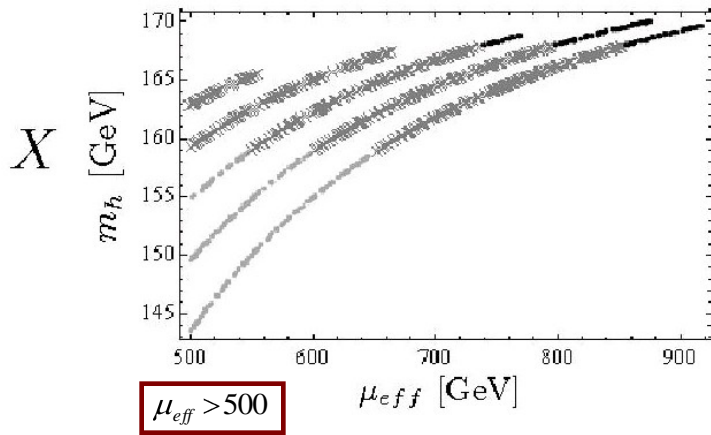
◆ m_h in μ_{eff} e göre deęisimi

X Model için: $h_s=0.65$ η Model için: $h_s=0.5$ N Model için: $h_s=0.7$ ψ Model için: $h_s=0.7$
 $g_Y = g_{Y_{GUT}}$ $g_Y = 1.9 g_Y$ $g_Y = 1.9 g_Y$ $g_Y = 1.9 g_Y$



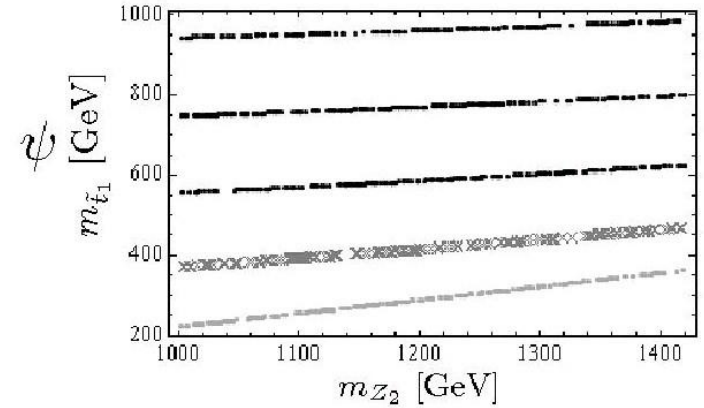
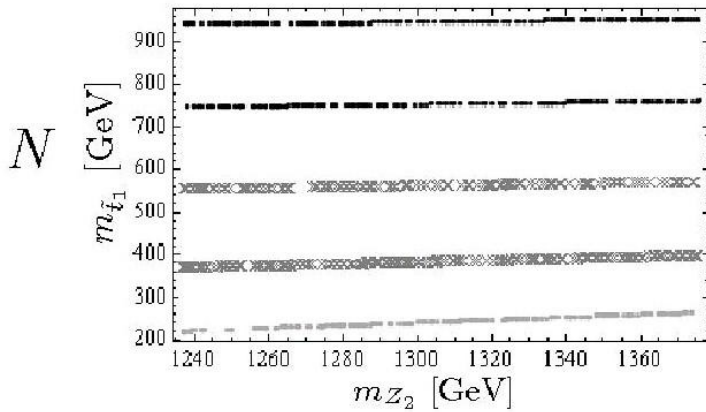
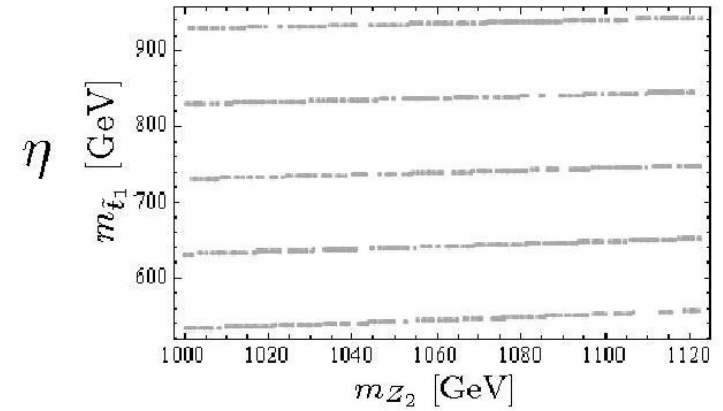
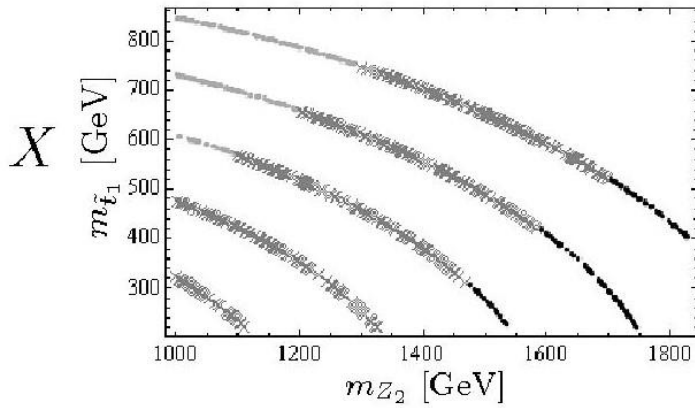
◆ m_h in μ_{eff} e göre değişimi

X Model için: $h_s=0.65$ η Model için: $h_s=0.5$ N Model için: $h_s=0.7$ ψ Model için: $h_s=0.7$
 $g_Y = g_{Y_{GUT}}$ $g_Y = 1.9 g_Y$ $g_Y = 1.9 g_Y$ $g_Y = 1.9 g_Y$



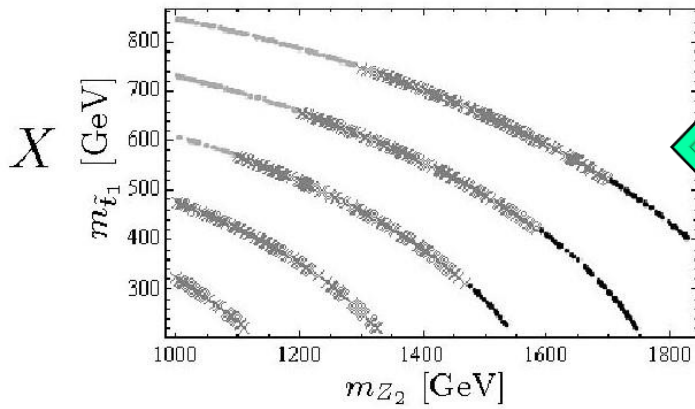
◆ $m_{\tilde{t}_1}$ in m_{Z_2} e göre değişimi

X Model için: $h_s=0.65$ η Model için: $h_s=0.5$ N Model için: $h_s=0.7$ ψ Model için: $h_s=0.7$
 $g_Y = g_{Y_{GUT}}$ $g_Y = 1.9 g_Y$ $g_Y = 1.9 g_Y$ $g_Y = 1.9 g_Y$

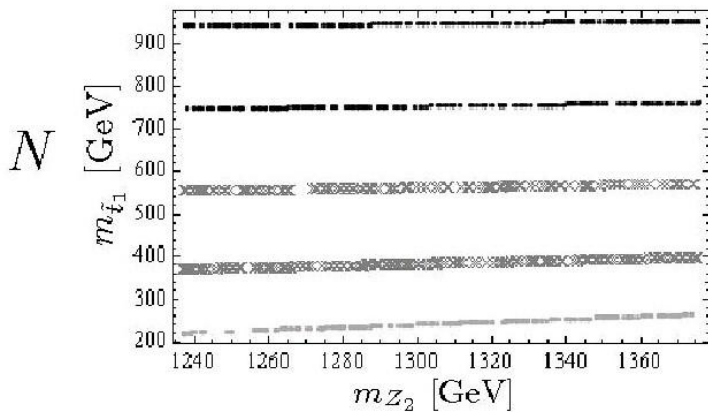
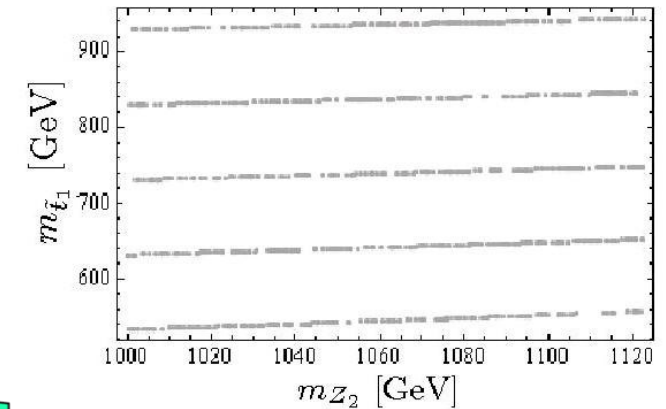


$m_{\tilde{t}_1}$ in m_{Z_2} e göre değişimi

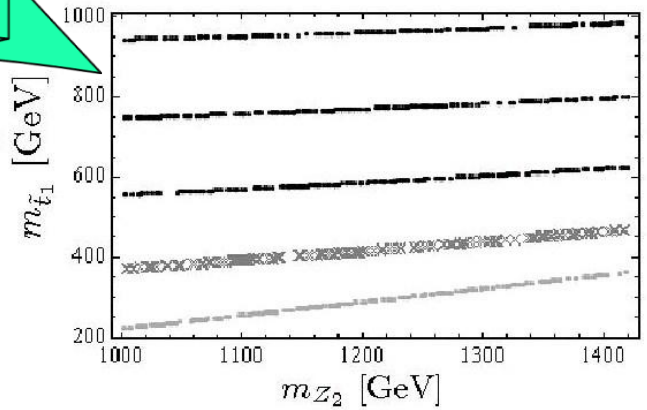
X Model için: $h_s = 0.65$ η Model için: $h_s = 0.5$ N Model için: $h_s = 0.7$ ψ Model için: $h_s = 0.7$
 $g_Y = g_{Y_{GUT}}$ $g_Y = 1.9 g_Y$ $g_Y = 1.9 g_Y$ $g_Y = 1.9 g_Y$



$m_{\tilde{t}_1} \in [500, 800] \text{ GeV}$ &
 $m_{Z_2} \in [1.0, 1.3] \text{ TeV}$
 $m_{\tilde{t}_1} \in [400, 550] \text{ GeV}$ &
 $m_{Z_2} \in [1.5, 1.8] \text{ TeV}$

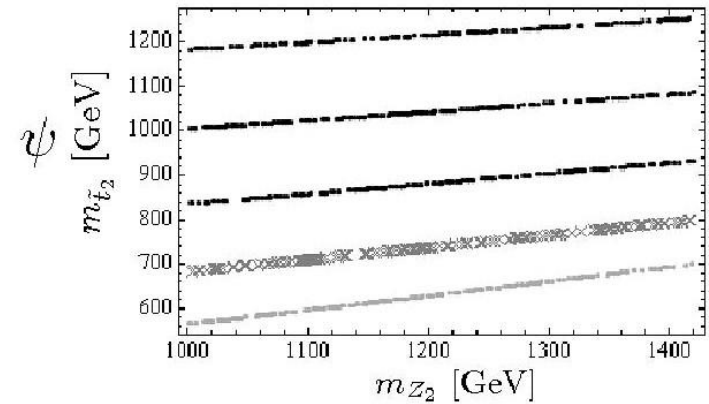
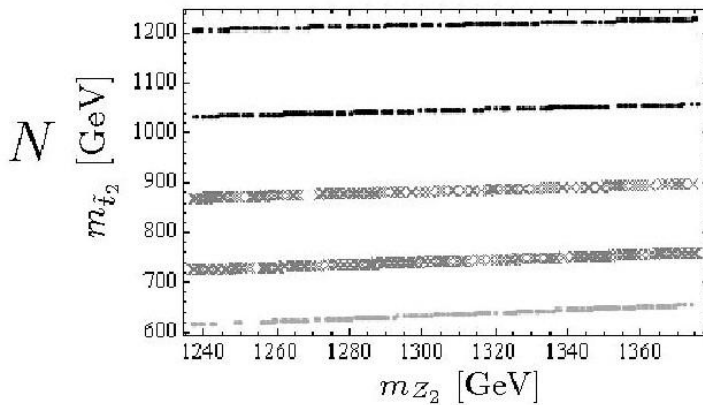
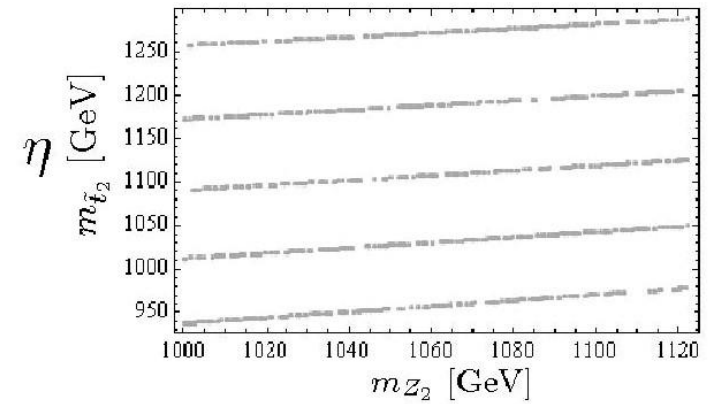
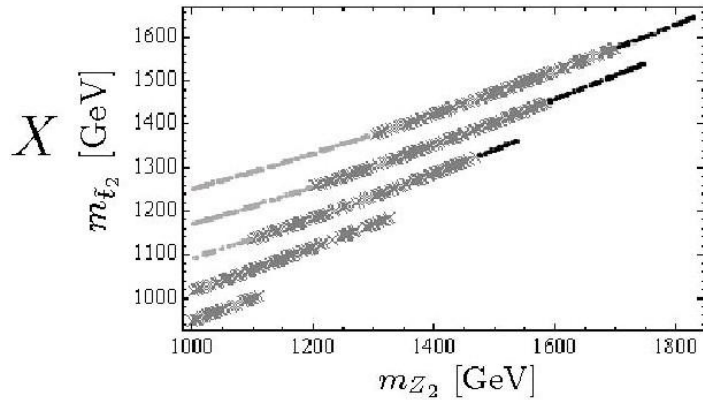
 η 

$m_{Z_2} \approx [1.4] \text{ TeV}$
 $m_{\tilde{t}_1} \neq [400, 500] \text{ GeV}$

 ψ 

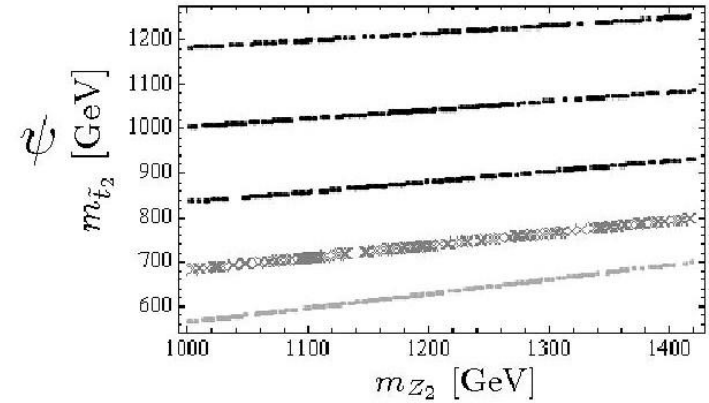
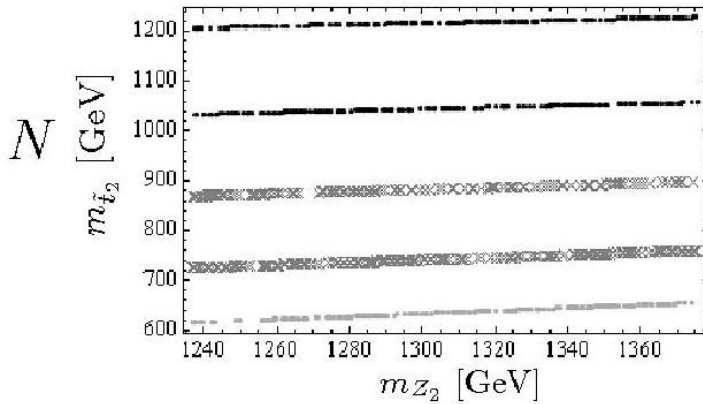
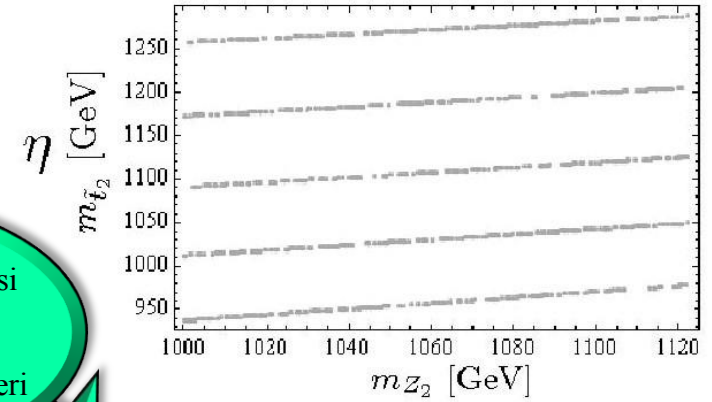
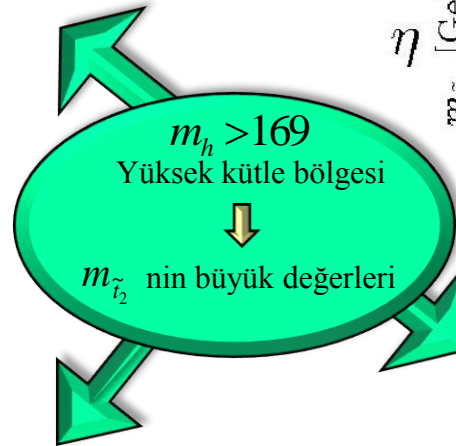
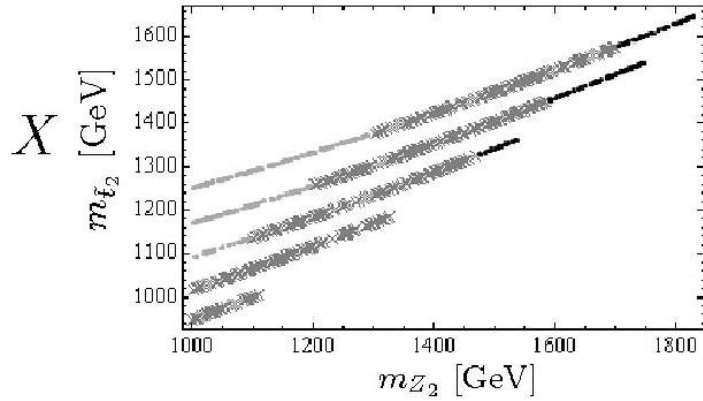
$m_{\tilde{t}_2}$ in m_{Z_2} e göre değişimi

X Model için: $h_s=0.65$ η Model için: $h_s=0.5$ N Model için: $h_s=0.7$ ψ Model için: $h_s=0.7$
 $g_Y = g_{Y_{GUT}}$ $g_Y = 1.9 g_Y$ $g_Y = 1.9 g_Y$ $g_Y = 1.9 g_Y$



◆ $m_{\tilde{t}_2}$ in m_{Z_2} e göre değişimi

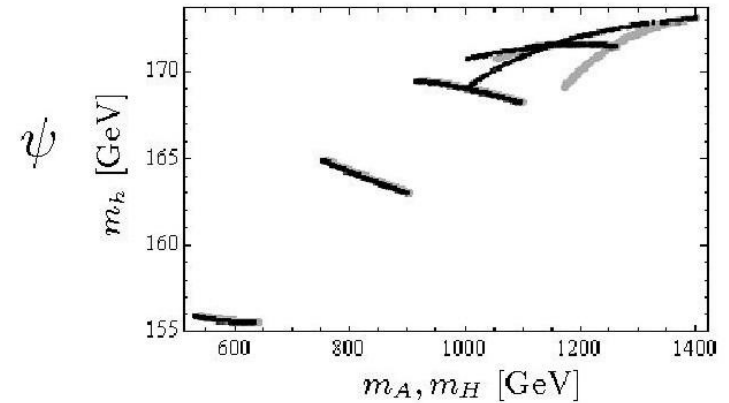
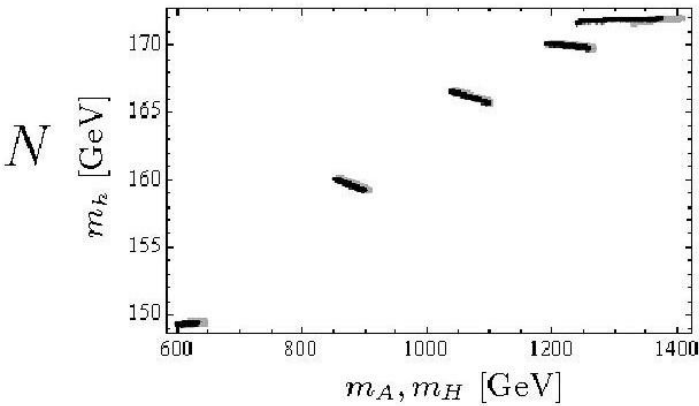
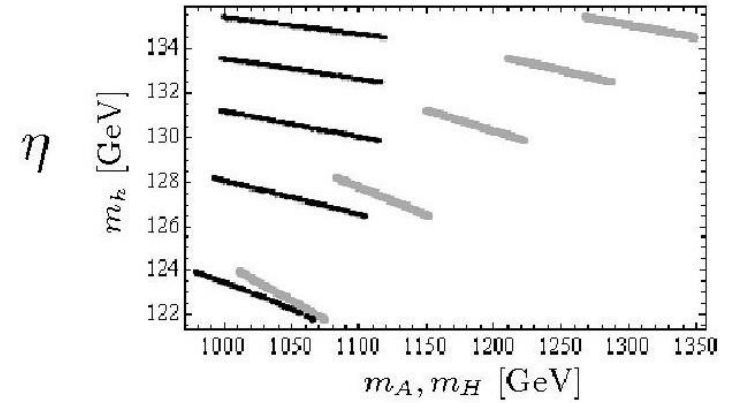
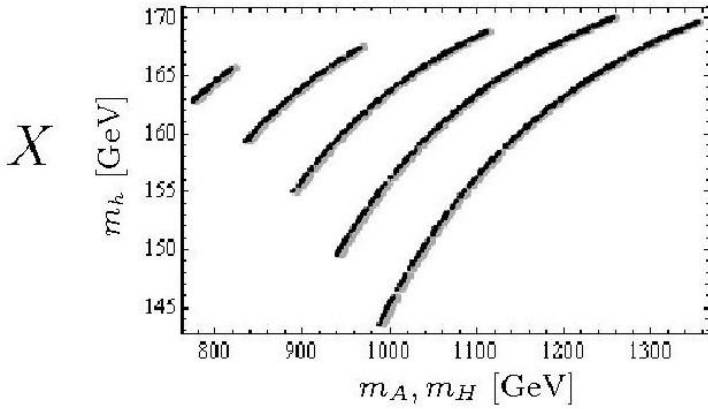
X Model için: $h_s=0.65$ η Model için: $h_s=0.5$ N Model için: $h_s=0.7$ ψ Model için: $h_s=0.7$
 $g_Y = g_{Y_{GUT}}$ $g_Y = 1.9 g_Y$ $g_Y = 1.9 g_Y$ $g_Y = 1.9 g_Y$



$$\diamond m_h - m_A, m_H$$

Etkileşmenin zayıf olduğu rejimde: $m_H \approx m_{Z_2} \gg m_H \approx m_A \gg m_h$

X Model için: $h_s = 0.65$ η Model için: $h_s = 0.5$ N Model için: $h_s = 0.7$ ψ Model için: $h_s = 0.7$
 $g_Y = g_{Y_{GUT}}$ $g_Y = 1.9 g_Y$ $g_Y = 1.9 g_Y$ $g_Y = 1.9 g_Y$



GİRİŞ

MODELLER

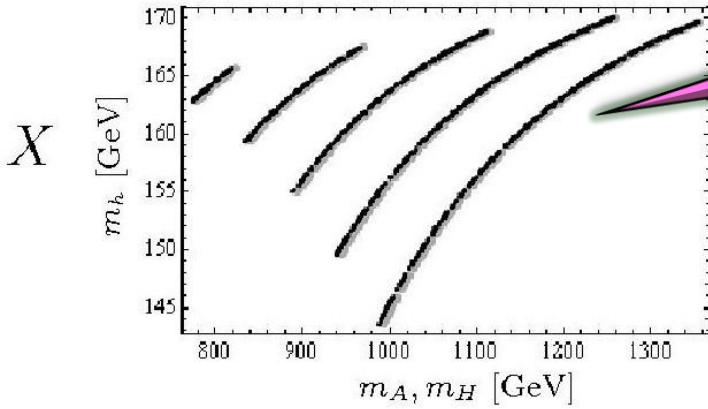
ANALİZ

ÖZET

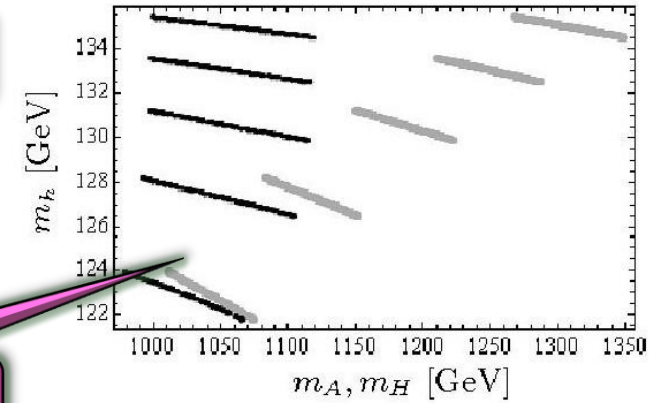
$$\diamond m_h - m_A, m_H$$

Etkileşmenin zayıf olduğu rejimde: $m_H \approx m_{Z2} \gg m_H \approx m_A \gg m_h$

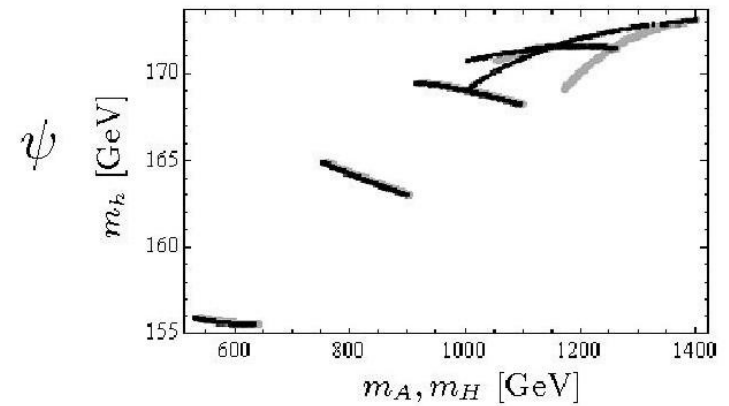
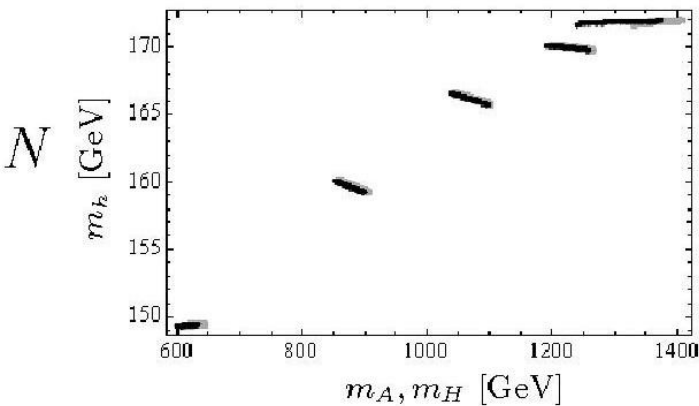
X Model için: $h_s = 0.65$ η Model için: $h_s = 0.5$ N Model için: $h_s = 0.7$ ψ Model için: $h_s = 0.7$
 $g_Y = g_{Y_{GUT}}$ $g_Y = 1.9 g_Y$ $g_Y = 1.9 g_Y$ $g_Y = 1.9 g_Y$



Siyah noktalar $\rightarrow m_h \propto m_H$



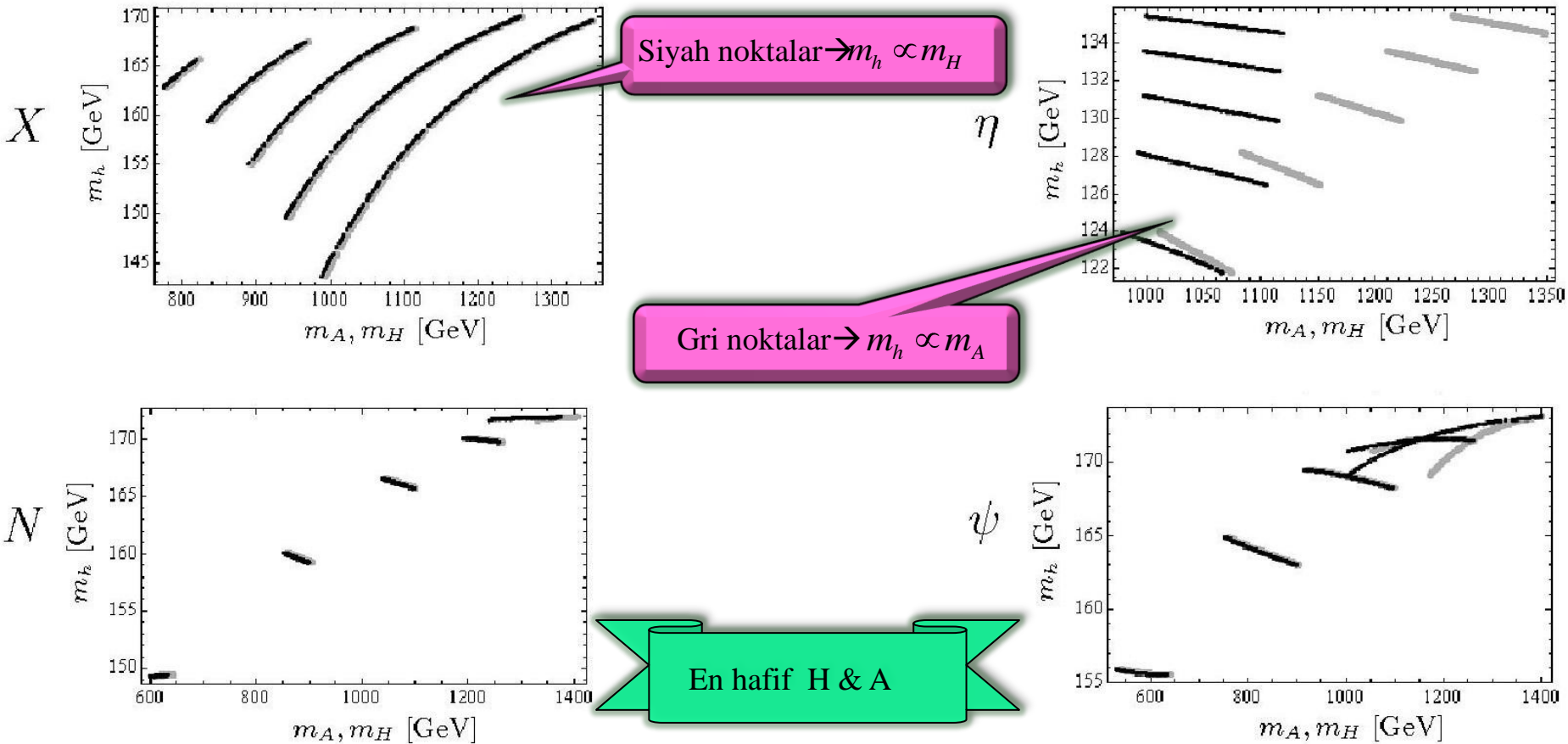
Gri noktalar $\rightarrow m_h \propto m_A$



$$\diamond m_h - m_A, m_H$$

Etkileşmenin zayıf olduğu rejimde: $m_H \approx m_{Z_2} \gg m_H \approx m_A \gg m_h$

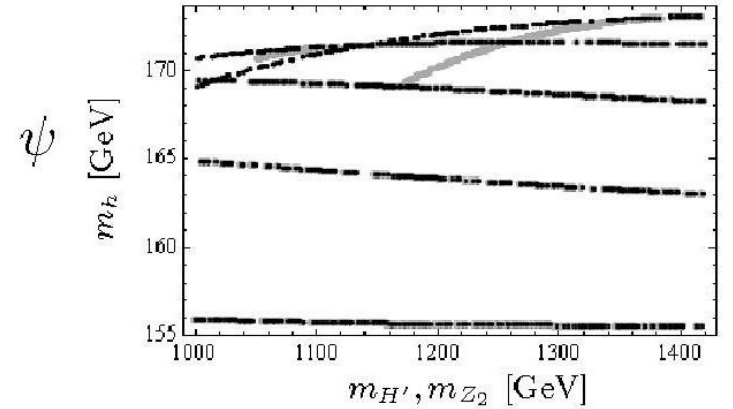
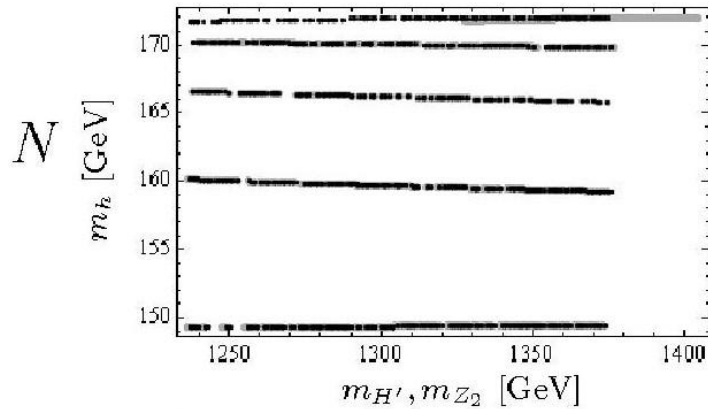
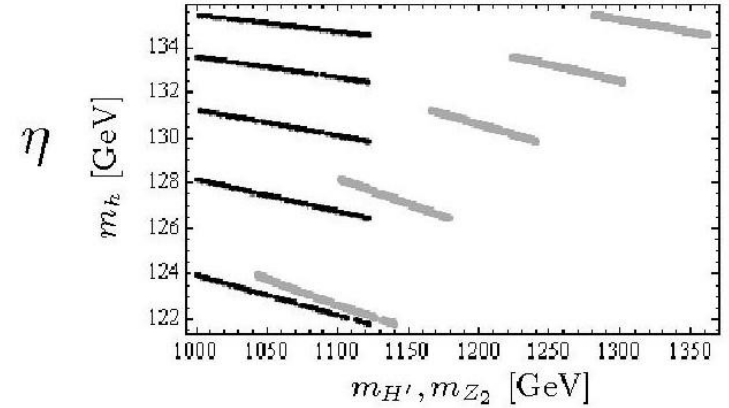
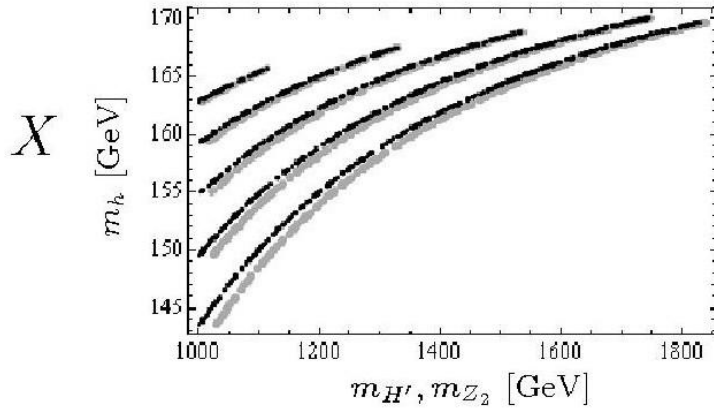
X Model için: $h_s=0.65$ η Model için: $h_s=0.5$ N Model için: $h_s=0.7$ ψ Model için: $h_s=0.7$
 $g_Y = g_{Y_{GUT}}$ $g_Y = 1.9 g_Y$ $g_Y = 1.9 g_Y$ $g_Y = 1.9 g_Y$



$$\diamond m_h - m_{H'}, m_{Z_2}$$

Etkileşmenin zayıf olduğu rejimde: $m_{H'} \approx m_{Z_2} \gg m_H \approx m_A \gg m_h$

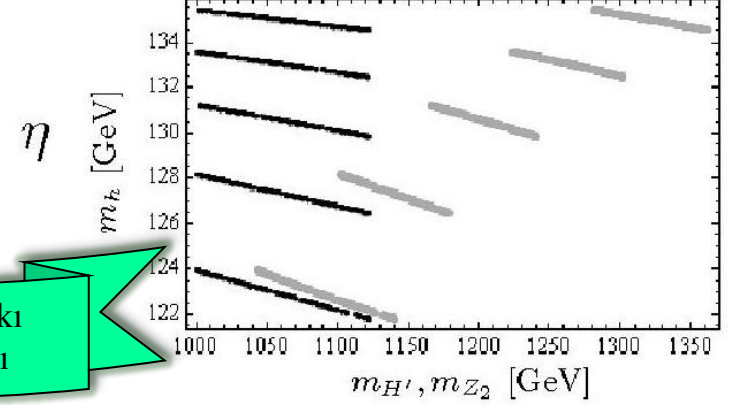
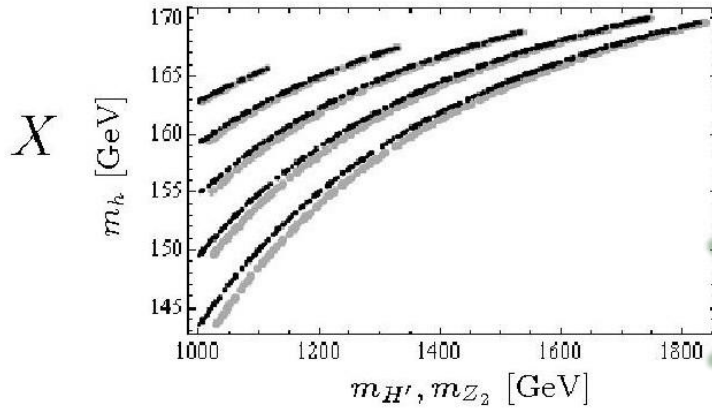
X Model için: $h_s = 0.65$ η Model için: $h_s = 0.5$ N Model için: $h_s = 0.7$ ψ Model için: $h_s = 0.7$
 $g_Y = g_{Y_{GUT}}$ $g_Y = 1.9 g_Y$ $g_Y = 1.9 g_Y$ $g_Y = 1.9 g_Y$



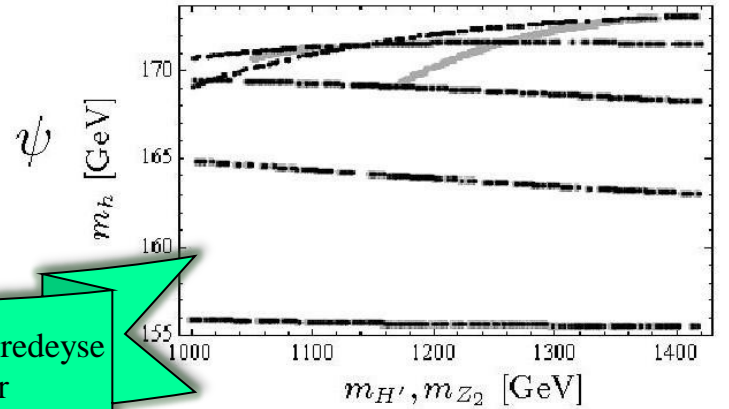
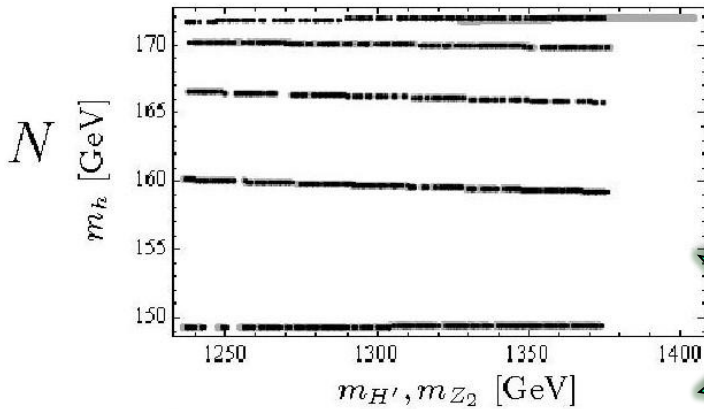
$$\diamond m_h - m_{H'}, m_{Z_2}$$

Etkileşmenin zayıf olduğu rejimde: $m_{H'} \approx m_{Z_2} \gg m_H \approx m_A \gg m_h$

X Model için: $h_s = 0.65$ η Model için: $h_s = 0.5$ N Model için: $h_s = 0.7$ ψ Model için: $h_s = 0.7$
 $g_Y = g_{Y_{GUT}}$ $g_Y = 1.9 g_Y$ $g_Y = 1.9 g_Y$ $g_Y = 1.9 g_Y$



parametrelere sıkı
bir şekilde bağlı



parametrelere neredeyse
bağımsız kalır

İÇERİK

■ Giriş

- Higgs boson'u nedir?
- Çalışmanın amacı

■ Modeller

- Farklı modellerin karşılaştırılması
- U(1)' modelinin motivasyonları
- U(1)' modelde Higgs Kütlelerinin hesaplanması

■ Analiz

- Parametreler
- Sonuçlar
 - U(1)' modelinin belli parametreleri üzerindeki Sınırlandırmalar
 - LHC deki U(1)' model parametreleri için Tahminler

■ Özet

ÖZET

- ✓ LEP ve Tevatron sınırlandırmaları altında Higgs bozonlarının kütlelerini çeşitli model parametreleri cinsinden analiz ettik.
- ✓ Bu analiz için 4 farklı $U(1)'$ modelini kullandık ().
- ✓ Düşündüğümüz modeller arasından X modelin Tevatron sınırlandırmalarına en duyarlı olduğunu, modelin ise duyarsız olduğunu gözlemledik.
- ✓ Sonuç olarak, parametre uzayının izinli bölgeleri üzerine belli sınırlandırmalar koyduk.
- ✓ Bu sınırlandırmalar yeterli enerjilere ulaşıldığında LHC de doğrudan test edilebilirler.

ÖZET

- ✓ LEP ve Tevatron sınırlandırmaları altında Higgs bozonlarının kütlelerini çeşitli model parametreleri cinsinden analiz ettik.
- ✓ Bu analiz için 4 farklı U(1)' modelini kullandık (X , N , ψ and η).
- ✓ Düşündüğümüz modeller arasından X modelin Tevatron sınırlandırmalarına en duyarlı olduğunu, modelin ise duyarsız olduğunu gözlemledik.
- ✓ Sonuç olarak, parametre uzayının izinli bölgeleri üzerine belli sınırlandırmalar koyduk.
- ✓ Bu sınırlandırmalar yeterli enerjilere ulaşıldığında LHC de doğrudan test edilebilirler.

ÖZET

- ✓ LEP ve Tevatron sınırlandırmaları altında Higgs bozonlarının kütlelerini çeşitli model parametreleri cinsinden analiz ettik.
- ✓ Bu analiz için 4 farklı U(1)' modelini kullandık (X , N , ψ and η).
- ✓ Düşündüğümüz modeller arasından X modelin Tevatron sınırlandırmalarına en duyarlı olduğunu, η modelin ise duyarsız olduğunu gözlemledik.
- ✓ Sonuç olarak, parametre uzayının izinli bölgeleri üzerine belli sınırlandırmalar koyduk.
- ✓ Bu sınırlandırmalar yeterli enerjilere ulaşıldığında LHC de doğrudan test edilebilirler.

ÖZET

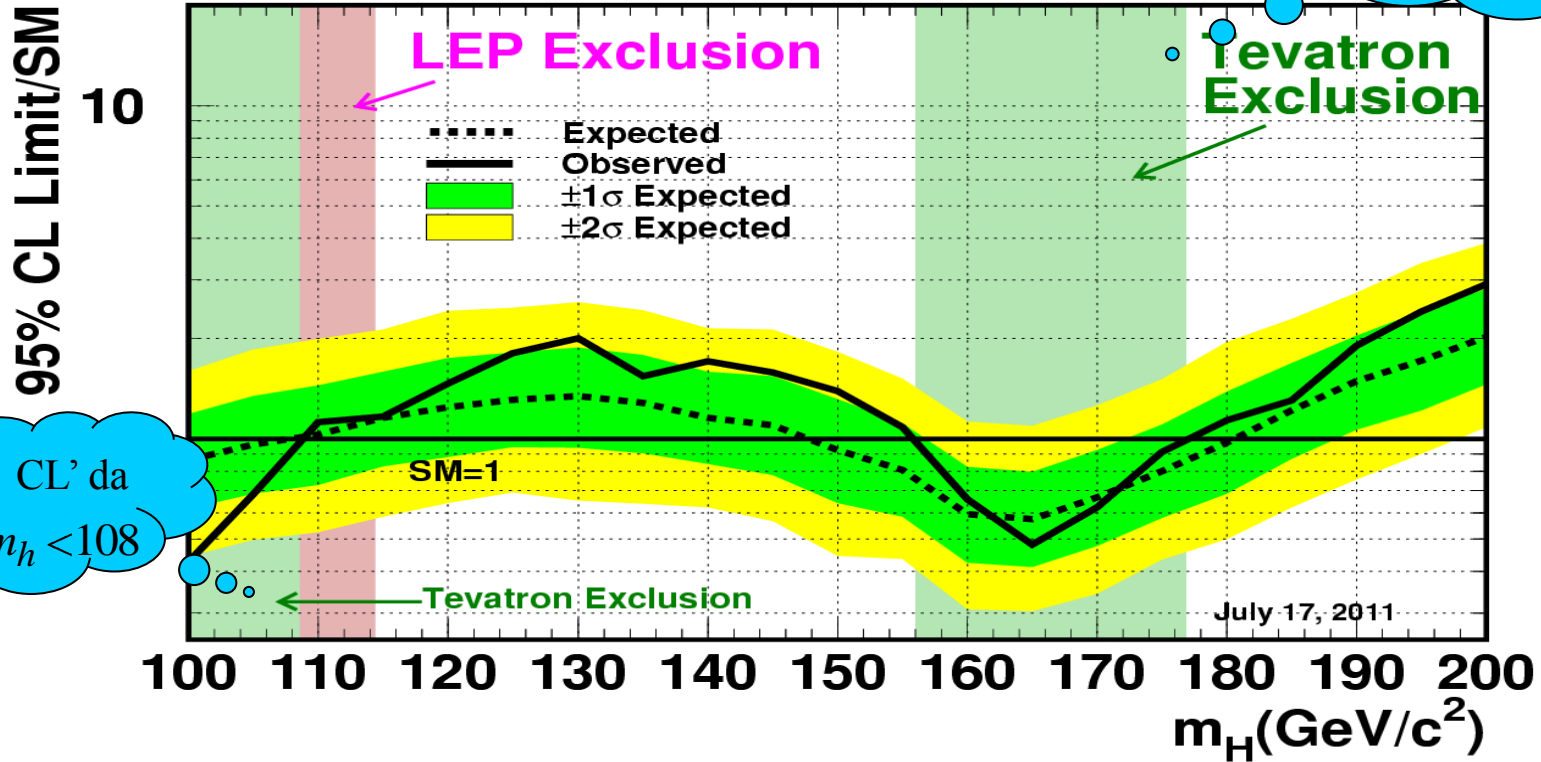
- ✓ LEP ve Tevatron sınırlandırmaları altında Higgs bozonlarının kütlelerini çeşitli model parametreleri cinsinden analiz ettik.
- ✓ Bu analiz için 4 farklı $U(1)$ ' modelini kullandık (X , N , ψ and η).
- ✓ Düşündüğümüz modeller arasından X modelin Tevatron sınırlandırmalarına en duyarlı olduğunu, η modelin ise duyarsız olduğunu gözlemledik.
- ✓ Sonuç olarak, parametre uzayının izinli bölgeleri üzerine belli sınırlandırmalar koyduk.
- ✓ Bu sınırlandırmalar yeterli enerjilere ulaşıldığında LHC de doğrudan test edilebilirler.

ÖZET

- ✓ LEP ve Tevatron sınırlandırmaları altında Higgs bozonlarının kütlelerini çeşitli model parametreleri cinsinden analiz ettik.
- ✓ Bu analiz için 4 farklı $U(1)$ ' modelini kullandık (X , N , ψ and η).
- ✓ Düşündüğümüz modeller arasından X modelin Tevatron sınırlandırmalarına en duyarlı olduğunu, η modelin ise duyarsız olduğunu gözlemledik.
- ✓ Sonuç olarak, parametre uzayının izinli bölgeleri üzerine belli sınırlandırmalar koyduk.
- ✓ Bu sınırlandırmalar yeterli enerjilere ulaşıldığında LHC de doğrudan test edilebilirler.

TEVATRON'DAN GELEN SON VERİLER

Tevatron Run II Preliminary, $L \leq 8.6 \text{ fb}^{-1}$



➤ m_h aşağıdaki aralıktaki değerleri alamaz:

$$100 < m_h < 109 \text{ GeV} \text{ and } 148 < m_h < 180 \text{ GeV}$$

Ref: http://tevnpnphwg.fnal.gov/results/SM_Higgs_Summer_11/tevbayeslimits17july2011.gif

TEŞEKKÜR

- ❑ Durmuş Ali DEMİR
- ❑ Levent SOLMAZ
- ❑ TÜBİTAK, 109T718 projesi aracılığı ile finansal desteği için
- ❑ TAEK, CERN-A5.H2.P1.01-13 projesi aracılığı ile finansal desteği için



TÜBİTAK

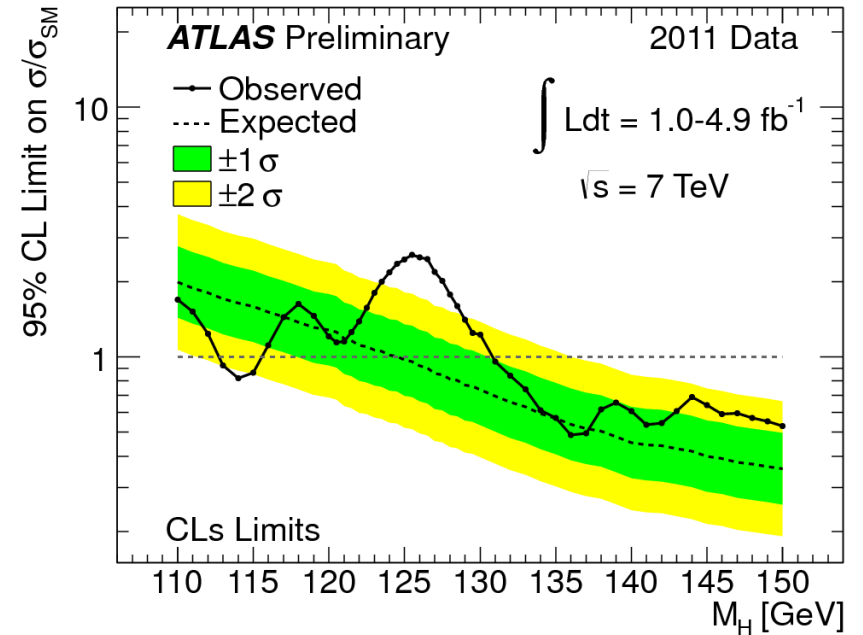
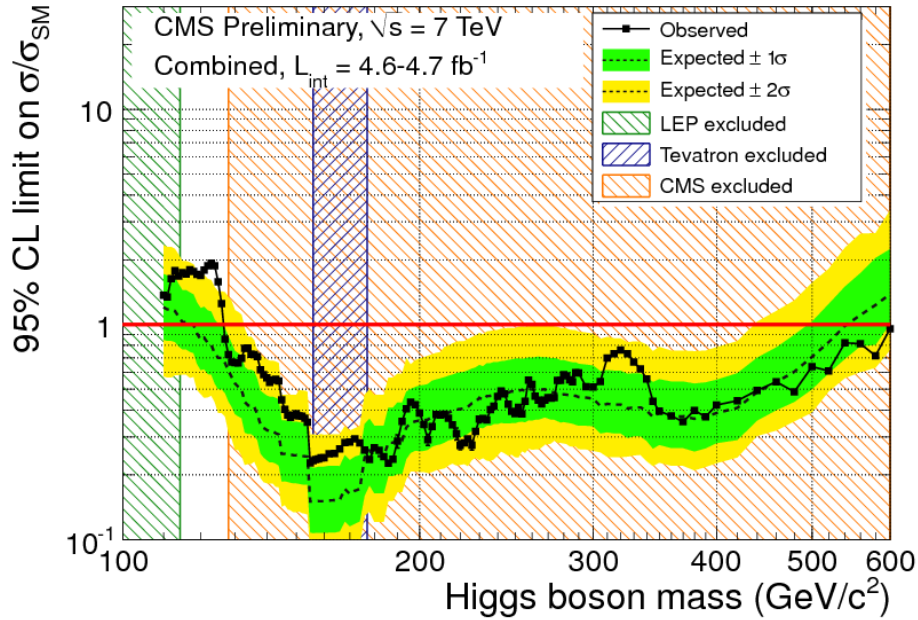


TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU

DİNLEDİĞİNİZ İÇİN TEŞEKKÜRLER!!

BACKUP SLIDES

CMS ve ATLAS SONUÇLARI



Parameters for the second part

Using the results of the first analysis,

- We choose Higgsino Yukawa couplings $h_s = 0.65, 0.5, 0.7 \text{ and } 0.7$ for X, η, N and ψ models, respectively.
- We set $g_Y' = 1.9 g_Y$ for all three **E(6) models** and keep it at the GUT one-step breaking value for the **X model** $\left(g_Y' = \sqrt{\frac{5}{3}} (g_2^2 + g_Y^2)^{1/2} \sin \theta_w \right)$
- The selected inputs are
 - $m_{\text{common}} = m_{\tilde{Q}} = m_{\tilde{t}_R} = m_{\tilde{b}_R} = -A_t = -A_b = -A_s = 0.2 \text{ to } 1 \text{ TeV}$ with increments 200 GeV in N and ψ models.
 - $m_{\text{common}} = m_{\tilde{Q}} = m_{\tilde{t}_R} = m_{\tilde{b}_R} = -A_t = -A_b = -A_s = 0.5 \text{ to } 1 \text{ TeV}$ with increments 100 GeV in X and η models.

Charges of the particles under U(1)' models

	Q_X	$2\sqrt{15}Q_\eta$	$2\sqrt{10}Q_N$	$2\sqrt{6}Q_\psi$
Q_{H_u}	-1	4	-2	-2
Q_{H_d}	-1	1	-3	-2
Q_S	2	-5	5	4
Q_{Q_L}	-1	-2	1	1
$Q_{t_R^c}$	2	-2	1	1
$Q_{d_R^c}$	2	1	2	1

Ref: Langacker, P. . The Physics of Heavy Z' Gauge Bosons. "Rev. Mod. Phys. **81**, 1199(2008)" [arXiv:0801.1345 [hep-ph]].

Gauge Invariance:

- Superpotential in the U(1)' model

$$W \ni -h_s S H_u \cdot H_d + h_t Q \cdot H_u t_R^c + h_b Q \cdot H_d b_R^c$$

- $Q_S + Q_{H_u} + Q_{H_d} = 0$
- $Q_Q + Q_{H_u} + Q_{t_R^c} = 0$

Z-Z' Mixing

Mixing Matrix:

$$M_{Z-Z'}^2 = \begin{pmatrix} M_Z^2 & \delta_{Z-Z'}^2 \\ \delta_{Z-Z'}^2 & M_{Z'}^2 \end{pmatrix}$$

$$M_Z^2 = \frac{(g_Y^2 + g_2^2)}{4} \left[v_u^2 + v_d^2 \right]$$

$$M_{Z'}^2 = g_Y'^2 \left[Q_{H_u}^2 v_u^2 + Q_{H_d}^2 v_d^2 + Q_S^2 v_S^2 \right]$$

$$\delta^2 = \frac{g_Y' \sqrt{g_Y^2 + g_2^2}}{2} \left[Q_{H_u} v_u^2 - Q_{H_d} v_d^2 \right]$$

Eigenvalues:

$$M_{Z_1, Z_2}^2 = \frac{1}{2} \left[M_Z^2 + M_{Z'}^2 \mp \sqrt{(M_Z^2 - M_{Z'}^2)^2 + 4\delta_{Z-Z'}^4} \right]$$

Mixing Angle:

$$\alpha_{Z-Z'} = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{2\delta_{Z-Z'}^2}{M_{Z'}^2 - M_Z^2} \right)$$

Higgs Fields / Expansion of them around vacuum / VEVs:

- $$H_u = \begin{pmatrix} H_u^+ \\ H_u^0 \end{pmatrix} \Rightarrow H_u = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \sqrt{2} H_u^+ \\ v_u + \phi_u + i\varphi_u \end{pmatrix} \Rightarrow \langle H_u^0 \rangle \equiv \frac{v_u}{\sqrt{2}}$$
- $$H_d = \begin{pmatrix} H_d^0 \\ H_d^- \end{pmatrix} \Rightarrow H_d = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} v_d + \phi_d + i\varphi_d \\ \sqrt{2} H_d^- \end{pmatrix} \Rightarrow \langle H_d^0 \rangle \equiv \frac{v_d}{\sqrt{2}}$$
- $$S = S^0 \Rightarrow S = \frac{1}{\sqrt{2}} (v_s + \phi_s + i\varphi_s) \Rightarrow \langle S \rangle \equiv \frac{v_s}{\sqrt{2}}$$

Field Dependent Masses of Quarks:

- $$m_t^2 \propto |H_u^0|^2$$
- $$m_b^2 \propto |H_d^0|^2$$

Scalar Fermion Mass-Squared Matrices

$$m_{\tilde{f}}^2 = \begin{pmatrix} M_{\tilde{f}LL}^2 & M_{\tilde{f}LR}^2 \\ M_{\tilde{f}RL}^2 & M_{\tilde{f}RR}^2 \end{pmatrix}$$

For U(1)' model:

- $$M_{\tilde{t}_{LL}}^2 = m_{\tilde{Q}}^2 + m_t^2 - \frac{1}{12} (g_2^2 - g_Y^2) (|H_u^0|^2 - |H_d^0|^2) + g_Y'^2 Q_Q (|H_u|^2 + |H_d|^2 + |S|^2)$$
- $$M_{\tilde{t}_{RR}}^2 = m_{\tilde{t}_R}^2 + m_t^2 - \frac{1}{3} g_Y^2 (|H_u^0|^2 - |H_d^0|^2) + g_Y'^2 Q_U (|H_u|^2 + |H_d|^2 + |S|^2)$$
- $$M_{\tilde{t}_{LR}}^2 = M_{\tilde{t}_{RL}}^2 = h_t (H_u^0 - h_s S H_d^0)$$

For MSSM:

- $$M_{\tilde{t}_{LL}}^2 = m_{\tilde{Q}}^2 + m_t^2 - \frac{1}{12} (g_2^2 - g_Y^2) (|H_u^0|^2 - |H_d^0|^2)$$
- $$M_{\tilde{t}_{RR}}^2 = m_{\tilde{t}_R}^2 + m_t^2 - \frac{1}{3} g_Y^2 (|H_u^0|^2 - |H_d^0|^2)$$
- $$M_{\tilde{t}_{LR}}^2 = M_{\tilde{t}_{RL}}^2 = h_t (H_u^0 - \mu H_d^0)$$