



LS-2HDM'de W-Bozon Kütlesi ve Müon $g-2$ Ölçümlerinin Deneysel Sınırlandırmalar ile İncelenmesi

YEFİST 2023

Dr. Ali Çiçi - Dr. Öğretim Üyesi Hüseyin Dağ

14 Ekim, 2023

Bursa Teknik Üniversitesi

1. Giriş
2. İki Higgs Dubletli Model
3. LS-THDM
4. Bulgular ve Tartışma
5. Sonuçlar

Giriş

- * Lepton Spesifik İki Higgs Dubletli Model
- * CDF'nin ölçtüğü W-bozon kütlesi
- * Müon g-2

İki Higgs Dubletli Model

Neden İki Higgs Dubletli Model?

- * Standart Model'in Higgs sektörü minimal olmak zorunda değil.
- * SM'e ikinci bir skaler dublet eklenerek modelin Higgs sektörü zenginleştirilebilir.
- * $m_t/m_b \approx 40$
- * Çeşni değiştiren nötral akımlar (FCNC)
- * Süpersimetrik Modeller (MSSM)
- * Önerdiği Ekstra Higgs'ler ile W-bozon kütlesi ve müon g-2 ölçümlerine cevap olabilme ihtimali

$$\Phi_1 = \begin{pmatrix} \phi_1 + i\phi_2 \\ \phi_3 + i\phi_4 \end{pmatrix} ; \quad \Phi_2 = \begin{pmatrix} \phi_5 + i\phi_6 \\ \phi_7 + i\phi_8 \end{pmatrix} .$$

$$v_{\text{SM}}^2 = v_1^2 + v_2^2 .$$

$$\tan \beta_H = \frac{v_2}{v_1}, \quad v_2 = v \sin \beta_H, \quad v_1 = v \cos \beta_H$$

$$\begin{aligned} V_{\text{yumuşak}, Z_2}(\Phi_1, \Phi_2) = & -m_1^2 \Phi_1^\dagger \Phi_1 - m_2^2 \Phi_2^\dagger \Phi_2 - \frac{1}{2} m_3^2 (\Phi_1^\dagger \Phi_2 + \Phi_2^\dagger \Phi_1) \\ & + \lambda_1 (\Phi_1^\dagger \Phi_1)^2 + \lambda_2 (\Phi_2^\dagger \Phi_2)^2 + \frac{1}{4} \lambda_3 (\Phi_1^\dagger \Phi_2 + \Phi_2^\dagger \Phi_1)^2 \\ & - \frac{1}{4} \lambda_4 (\Phi_1^\dagger \Phi_2 - \Phi_2^\dagger \Phi_1)^2 + \lambda_5 \Phi_1^\dagger \Phi_1 \Phi_2^\dagger \Phi_2 . \end{aligned}$$

LS-THDM

Z_2 Simetrisi

Ağaç seviyesinde FCNC'yi engellemek için;

$$\Phi_1 \rightarrow \Phi_1 \text{ ve } \Phi_2 \rightarrow -\Phi_2$$

$$\Phi_1 \rightarrow -\Phi_1 \text{ ve } \Phi_2 \rightarrow \Phi_2$$

$$D_{jR} \rightarrow \mp D_{jR} \quad U_{jR} \rightarrow -U_{jR} \text{ ve } E_{jR} \rightarrow \mp E_{jR} .$$

	Φ_1	Φ_2	u_R	d_R	ℓ_R	Q_L, L_L
Tip-1	+	-	-	-	-	+
Tip-2	+	-	-	+	+	+
Lepton Spesifik	+	-	-	-	+	+

Farklı tipte THDM'ler için Z_2 simetrisi yükleri

$$\begin{aligned}\Phi_1 &\rightarrow -\Phi_1 \text{ ve } \Phi_2 \rightarrow \Phi_2 \\ D_{jR} &\rightarrow D_{jR} \quad U_{jR} \rightarrow U_{jR} \text{ ve } E_{jR} \rightarrow -E_{jR} .\end{aligned}$$

simetrisi altında LS-THDM'nin Yukawa lagranjyeni;

$$-\mathcal{L}_{YLS} = \eta_{ij}^U \bar{Q}_{iL} \tilde{\Phi}_2 U_{jR} + \eta_{ij}^D \bar{Q}_{iL} \Phi_2 D_{jR} + Y_{ij}^E \bar{L}_{iL} \Phi_1 E_{jR} + h.c.$$

Bulgular ve Tartışma

* W-bozon kütlesi CDF tarafından $80.4335 \pm 0.0094 \text{ GeV}$ olarak SM'den 7σ 'lık bir sapma ile rapor edildi. Bu sapma LS-THDM'nin önerdiği ekstra Higgs bozonları tarafından sağlanabilir.

* Müon anomal manyetik momenti

$\Delta a_\mu = a_\mu^{exp} - a_\mu^{SM} = (251 \pm 59) \times 10^{-11}$ şeklinde SM'den 4.2σ 'lık bir sapma ile ölçüldü.

$$\lambda_i < 4\pi (i = 1, \dots, 5)$$

$$3(\lambda_1 + \lambda_2) \pm \sqrt{9(\lambda_1 - \lambda_2)^2 + 4(2\lambda_3 + \lambda_4)^2} < 16\pi,$$

$$\lambda_1 + \lambda_2 \pm \sqrt{(\lambda_1 - \lambda_2)^2 + 4|\lambda_5|^2} < 16\pi,$$

$$\lambda_1 + \lambda_2 \pm \sqrt{(\lambda_1 - \lambda_2)^2 + 4|\lambda_5|^2} < 16\pi,$$

$$\lambda_3 + 2\lambda_4 \pm 3|\lambda_5| < 8\pi,$$

$$\lambda_3 \pm \lambda_4 < 8\pi,$$

$$\lambda_3 \pm |\lambda_5| < 8\pi.$$

$$\lambda_{1,2} > 0,$$

$$\lambda_3 > -\sqrt{\lambda_1\lambda_2},$$

$$\lambda_3 + \lambda_4 - |\lambda_5| > -\sqrt{\lambda_1\lambda_2}$$

Deneyisel Sınırlandırmalar

- $m_{H^\pm} > 80 \text{ GeV}$,
- $S = -0.02 \pm 0.10$, $T = 0.03 \pm 0.12$, $U = 0.01 \pm 0.11$,
- $0.8 \times 10^{-9} \leq BR(B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-) \leq 6.2 \times 10^{-9}$,
- $2.99 \times 10^{-4} \leq BR(B_s \rightarrow X_s \gamma) \leq 3.87 \times 10^{-4}$,

h_1 'in SM Higgs'i olma koşulu:

- $m_{h_1} = 125.0 \pm 2 \text{ GeV}$

W-Bozon kütle üzerindeki kütle sınırı:

- $M_W^{\text{LS-2HDM}} = 80.4335 \pm 3 \times 0.0094 \text{ GeV} (3\sigma)$

Taramada Kullanılan Potansiyel Parametrelerinin Sınırları

Tarama potansiyel tabanlı olup, potansiyelin serbest parametreleri üzerindeki sınırlar aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}0 &\leq \lambda_{1,2} \leq \pi \\0 &\leq \lambda_3 \leq 4\pi \\-2\pi &\leq \lambda_{4,5} \leq 0 \\-5 &\leq m_3^2 \leq 5 \text{ TeV}^2, \\1.2 &\leq \tan \beta \leq 40.\end{aligned}$$

$$v^2 = v_1^2 + v_2^2 \simeq v_{\text{SM}}^2$$

Higgs Kütle Spektrumu

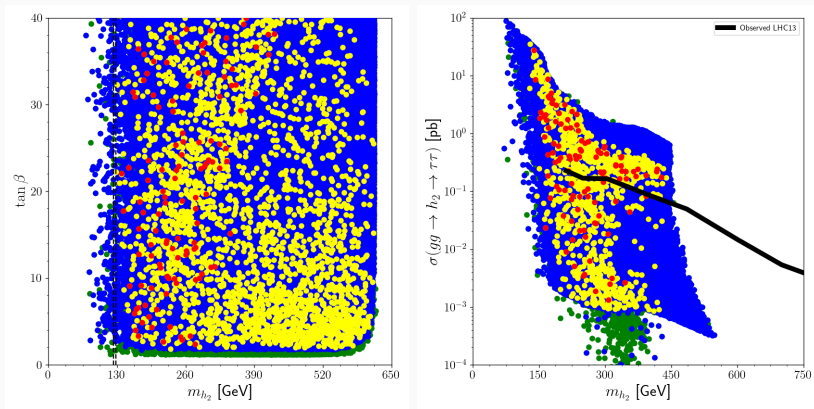


Figure 1: Yeşil noktalar, teorik sınırlandırmaları sağlayan çözümleri, mavi noktalar yeşil noktaların alt kümesi, teorik ve deneysel sınırlandırmaları sağlayan çözümleri, sarı noktalar, mavi noktaların alt kümesi, teorik, deneysel ve $m_{h_1} = 125 \pm 2$ GeV şartını sağlayan çözümler, kırmızı noktalar hem tüm şartları hem de $M_W^{LS-2HDM} = 80.4335 \pm 3 \times 0.0094$ GeV şartını sağlayan çözümleri temsil etmektedir. Siyah çizgi ATLAS 13 TeV üst limiti göstermektedir.

Higgs Kütle Spektrumu

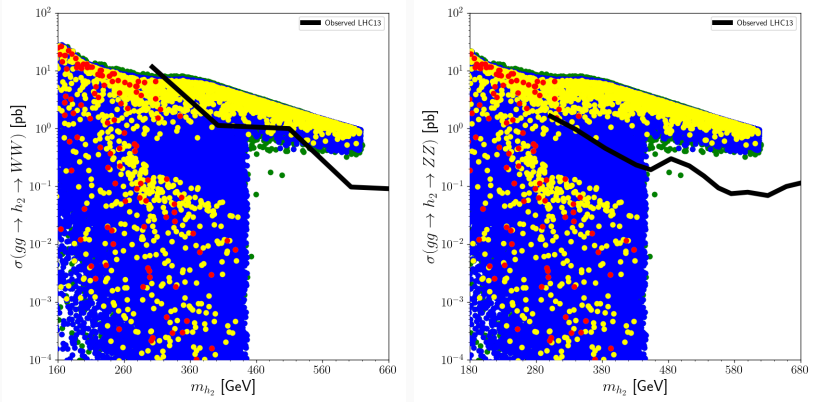


Figure 2: Renk kodlaması Figür 1 ile aynıdır. Siyah çizgi ATLAS 13 TeV üst limiti göstermektedir.

Higgs Kütle Spektrumu

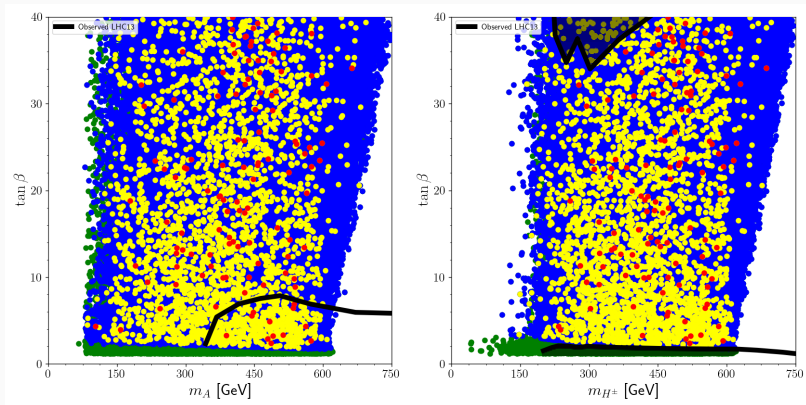


Figure 3: Renk kodlaması Figür 2 ile aynıdır. Siyah çizgi ATLAS 13 TeV üst limiti göstermektedir.

Higgs Kütle Spektrumu

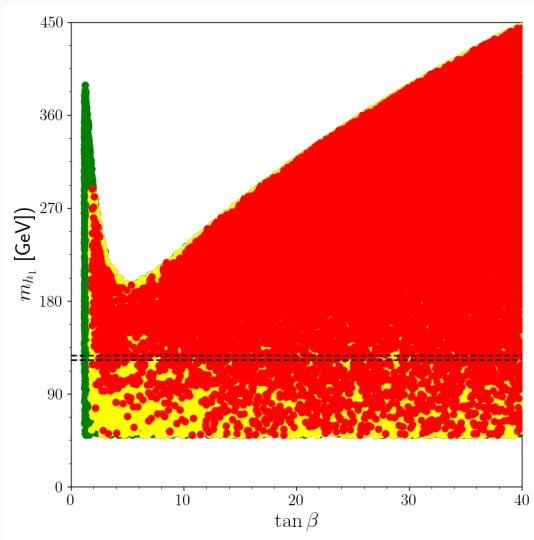


Figure 4: Renk kodlaması Figür 2 ile aynıdır.

Lepton Çeşni Evrenselliği Z-Bozon Bozunumu

$$\frac{\Gamma_{Z \rightarrow \mu^+ \mu^-}}{\Gamma_{Z \rightarrow e^+ e^-}} = 1.0009 \pm 0.0028 \delta_{\mu\mu} = \frac{\Gamma_{Z \rightarrow \mu^+ \mu^-}}{\Gamma_{Z \rightarrow e^+ e^-}} - 1$$
$$\frac{\Gamma_{Z \rightarrow \tau^+ \tau^-}}{\Gamma_{Z \rightarrow e^+ e^-}} = 1.0019 \pm 0.0032 \delta_{\tau\tau} = \frac{\Gamma_{Z \rightarrow \tau^+ \tau^-}}{\Gamma_{Z \rightarrow e^+ e^-}} - 1$$

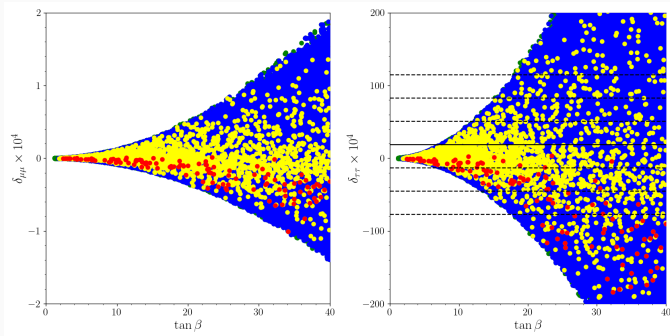


Figure 5: Renk kodlaması Figür 2 ile aynıdır.

Lepton Çeşni Evrenselliği Tau Bozunumu

$$\left(\frac{g_\tau}{g_\mu}\right) = 1.0011 \pm 0.0015, \quad \left(\frac{g_\tau}{g_e}\right) = 1.0029 \pm 0.0015,$$

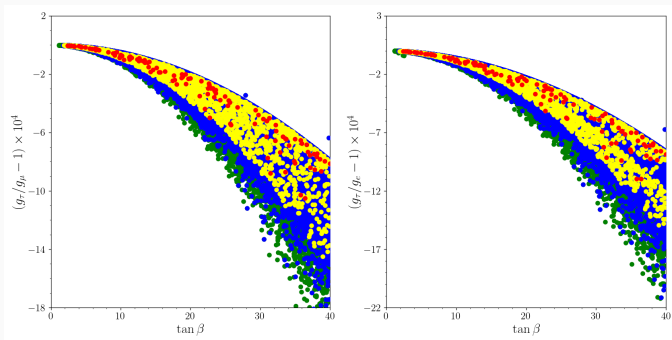


Figure 6: Renk kodlaması Figür 2 ile aynıdır.

W-bozon Kütlesi

$$M_W^{\text{SM}} = 80.357 \pm 0.008 \text{ GeV}$$

$$M_W^{\text{CDF}} = 80.4335 \pm 0.0094 \text{ GeV}$$

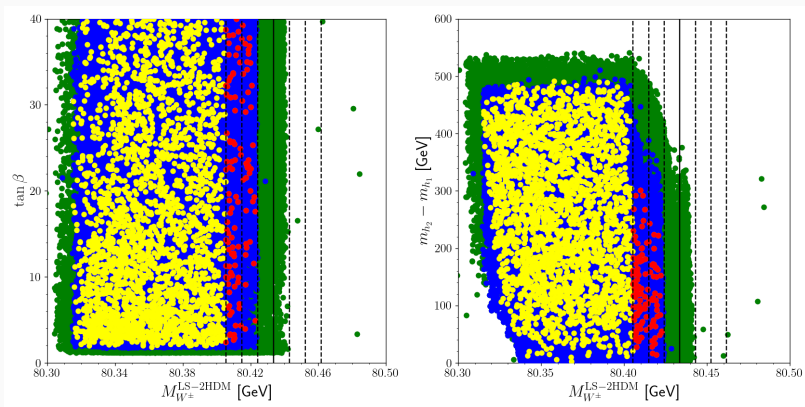
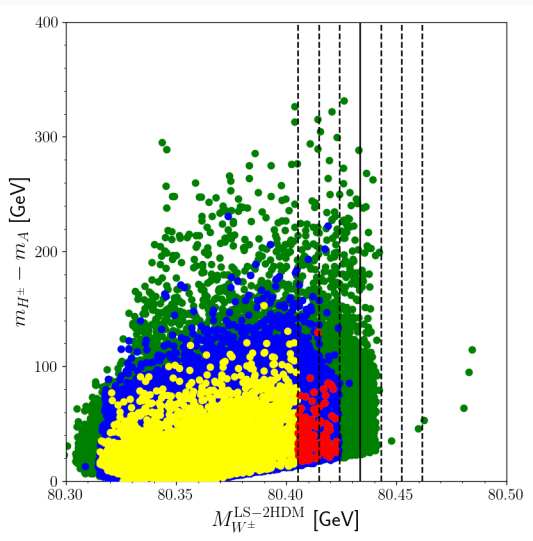


Figure 7: Renk kodlaması Figür 2 ile aynıdır.

W-bozon Kütlesi

$$M_W^{\text{SM}} = 80.357 \pm 0.008 \text{ GeV}$$

$$M_W^{\text{CDF}} = 80.4335 \pm 0.0094 \text{ GeV}$$



Müon Anomal Manyetik Momenti

$$\Delta a_\mu = a_\mu^{\text{exp}} - a_\mu^{\text{SM}} = (2.51 \pm 0.59) \times 10^{-9}$$

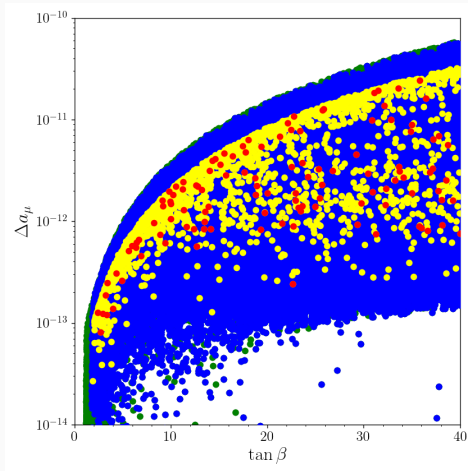


Figure 9: Renk kodlaması Figür 2 ile aynıdır.

Sonuçlar

LS-2HDM'nin Parametre Uzayı Üzerindeki Sınırlar

Teorik, deneysel, SM Higgs'inin h_1 olduğu ve W-boson kütlesi ile ilgili sınırlandırmalar dikkate alındığında LS-2HDM'nin parametre uzayı aşağıdaki gibi sınırlandırılır.

$$160 \leq m_{h_2} \leq 200 \text{ GeV}$$

$$m_A \geq 330 \text{ GeV}$$

$$230 \leq m_{H^\pm} \leq 680 \text{ GeV}$$

$$2.5 \leq \tan \beta \leq 8.0$$

HiggsTools Tarafından İzin Verilen Çözüm

Exclude Edilmeyen Çözüm			
$\lambda_{1\text{input}}$	$\lambda_{2\text{input}}$	$\lambda_{3\text{input}}$	$\lambda_{4\text{input}}$
1.6203	1.3252×10^{-1}	5.5846	-3.0072
$\lambda_{5\text{input}}$	$m_{3\text{input}}^2$	$\tan \beta$	$\cos(\beta - \alpha)$
-2.2657	-3.7084×10^3	3.3094	0.398
m_{h_1}	m_{h_2}	m_A	m_{H^\pm}
1.2516×10^2	1.6996×10^2	3.8827×10^2	4.1620×10^2
$B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$	$B_s \rightarrow X_s \gamma$	$\delta_{\mu\mu}$	$\delta_{\tau\tau}$
3.145×10^{-9}	3.084×10^{-4}	-3.512×10^{-7}	-9.929×10^{-5}
g_τ/g_μ	g_τ/g_e	g_μ/g_e	S
0.999993	0.999992	0.999999	-1.4809×10^{-2}
T	U	$M_W^{\text{LS-2HDM}}$	Δa_μ
1.1913×10^{-1}	1.096×10^{-3}	80.4103	1.204×10^{-13}

Table 1: Bütün kütle değerleri GeV mertebesindedir.

- Yüklü Higgs kütlesi, oblique parametreler ve nadir B-meson deneyinden gelen sınırlandırmaların etkisi parametre uzayında zayıftır.
- h_1 SM Higgs'i olma şartı çözüm sayısını azaltmaktadır.
- $160 \leq m_{h_2} \leq 200$ GeV, $m_A \geq 330$ GeV ve $230 \leq m_{H^\pm} \leq 680$ GeV
- LFU tau ve Z-decay etkili değil.
- CDF tarafından rapor edilen W-bozon kütlesinin LS-THDM çerçevesinde elde edilebileceği bulundu.
- Δa_μ 'ye çözüm bulunamadı.