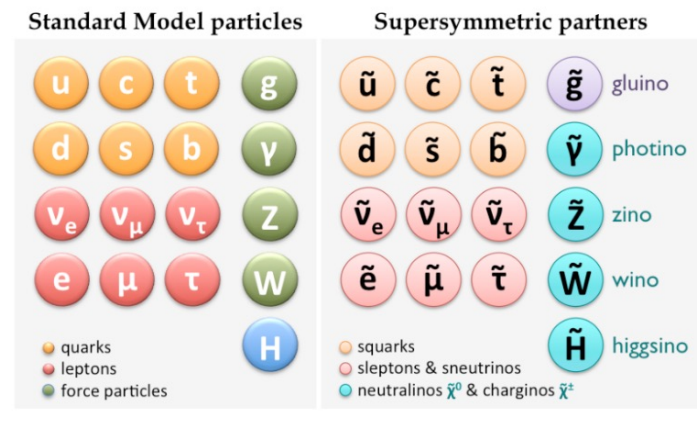


# Faz-II CMS Aramalarının pMSSM-19 Üzerindeki Etkisi

Samuel Bein, Malte Mrowietz, Dorukhan Boncukcu, Acelya Deniz Gungordu, Sezen Sekmen, Peter Schleper, Harrison Prosper, Mirac Ekim Vural, Oguz Guzel, Yildiray Komurcu, Hyejin Kwon, Kevin Pedro, Altan Cakir

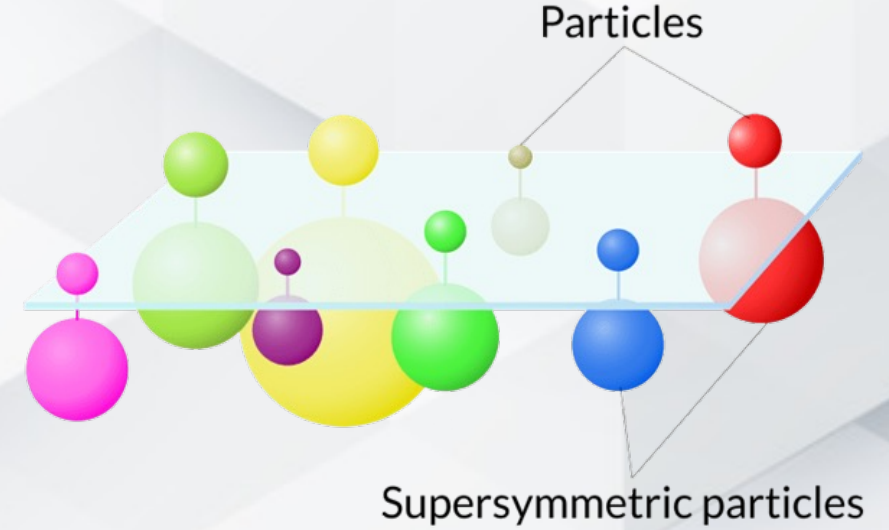
**Standard Model** : Evrendeki tüm maddenin dört temel kuvvet tarafından yönetilen temel parçacıklardan oluştuğunu iddia eder.



**Beyond Standard Model** : Standart Model'in eksikliklerini açıklamak için gereken teorik gelişmeler olarak tanımlanan Beyond Standard Model, Standart Model'in açıklayamadığı, **güçlü CP problemi, nötrino salınımı, madde-antimadde asimetrisi ve karanlık madde ile karanlık enerjinin doğası** gibi konuları ele alır.

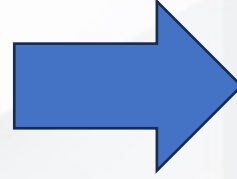


- *Süpersimetri (SUSY)*, Standart modelin sınırlarını genişletmek için öne sürülmüş bir çerçeve sunar.
- Her standart model parçacığının **süpersimetrik bir eşinin** olduğu kabul edilir.



## MSSM

Yaklaşık **100'den fazla** serbest parametresi bulunmaktadır.



## pMSSM

Daha spesifik olarak süpersimetrik parçacıkların ve süpersimetriyi kıran etkileşimlerin parametrelerini sınırlar.

- **pMSSM**, MSSM'nin daha **sade** bir versiyonudur ve yalnızca belirli **bir alt kümesini** ele alır. Bu nedenle, daha **az sayıda serbest parametreye** sahiptir .

- 3 gaugino parametresi
  - Bino kütle parametresi ( $M_1$ )
  - Wino kütle parametresi ( $M_2$ )
  - Gluino kütle parametresi ( $M_3$ )
- 6 squark kütle parametresi
  - $M_{q,1}(=M_{q,2}), M_{q,3}, M_{u,1}(=M_{u,2}), M_{u,3}, M_{d,1}(=M_{d,2})$  ve  $M_{d,3}$
- 4 slepton kütle parametresi
  - $M_{l,1}(=M_{l,2}), M_{l,3}, M_{r,1}(=M_{r,2}), M_{r,3}$
- 3 trilinear sfermion-Higgs coupling
  - $A_t, A_b, A_l$
- 3 Higgs ile alakalı başka parametreler
  - $\mu, \tan\beta, m_A$

$$M_3, M_{q,1}, M_{u,1}, M_{d,1}, M_{q,3}, M_{u,3}, M_{d,3} \in [0 \text{ TeV}, 10 \text{ TeV}]$$

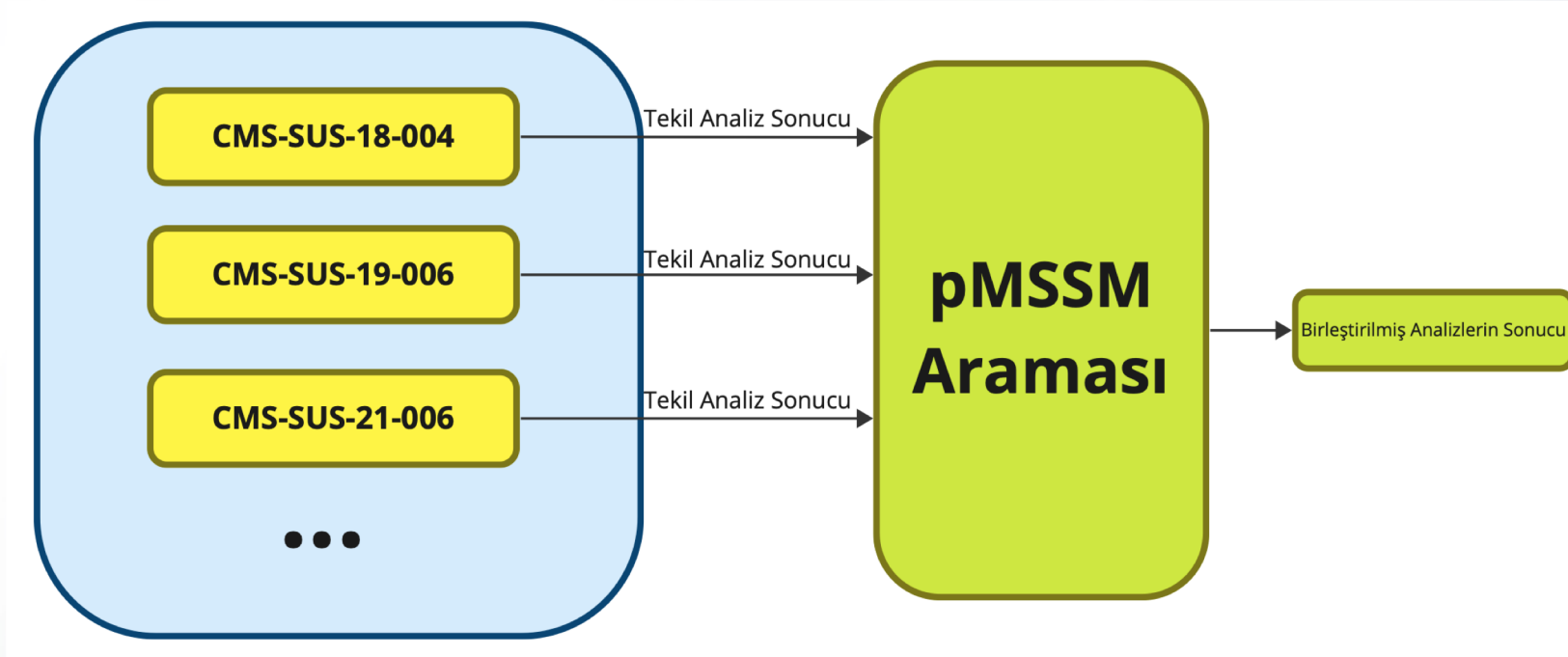
$$M_{l,1}, M_{r,1}, M_{l,3}, M_{r,3}, m_A \in [0 \text{ TeV}, 4 \text{ TeV}]$$

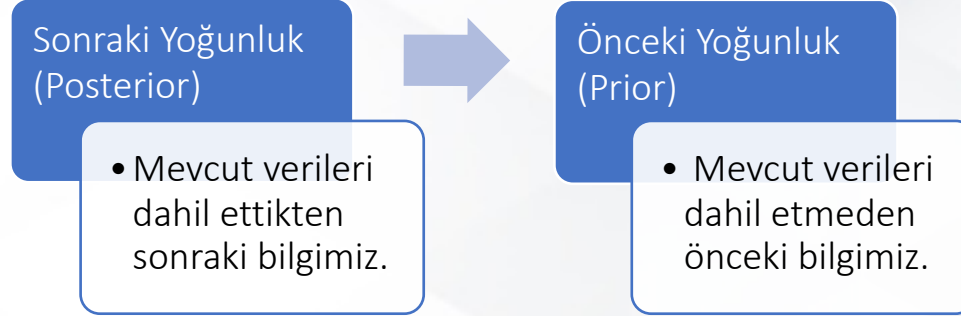
$$M_1, M_2, \mu \in [-4 \text{ TeV}, 4 \text{ TeV}]$$

$$A_t, A_b, A_l \in [-7 \text{ TeV}, 7 \text{ TeV}]$$

$$\tan\beta \in [2, 60]$$

- CMS kolabrasyonu tarafından 2. Faz SUSY çoğunlukla aramaları/analizleri tamamlandı.
- Bu aramaların ortak etkilerini belirlemek için sonuçları pMSSM açısından yorumluyoruz.
- Temel olarak amaç, **farklı** açılardan incelenmiş CMS SUSY analizlerinin sonuçlarını **tek bir** pMSSM uzayında birleştirmektir. Böylece tüm sonuçları tek bir yerden yorumlamak ve incelemek mümkün olur. Bu oluşturulan parametre uzayından halen dışlanmamış bölgeleri belirlemek de çalışmanın amaçlarından biridir.
- Bu çalışma CMS SUSY analiz gruplarının işbirliği ile çekirdek bir grup tarafından yürütülür.





$$\underbrace{P(\text{Teori}|\text{Veri})}_{\text{Sonraki Yoğunluk (Posterior)}} = \underbrace{P(\text{Veri}|\text{Teori})}_{\text{Olasılık (Likelihood)}} \times \underbrace{P(\text{Teori})}_{\text{Önceki Yoğunluk (Prior)}}$$

Sonraki Yoğunluk (posterior), verilen datanın teoriye göre gerçekleşme olasılığı ve teorinin doğru olma olasılığının (önceki yoğunluk) çarpımıdır.

$$\text{Bayes Faktörü} = \frac{P(D|\theta)}{P(D|SM)}$$

gözlemlenen verinin bir pMSSM noktası altında ortaya çıkma olasılığının, gözlemlenen verinin bir SM altında ortaya çıkma olasılığına bölümü

Bayes Faktörü kullanılarak, pMSSM noktasının standard sapmalar cinsinden ne kadar saptığını ifade eden Z faktörü hesaplanır.

$$Z = \begin{cases} \sqrt{2 \cdot |\ln B|}, \ln B > 0 \\ -\sqrt{2 \cdot |\ln B|}, \ln B < 0 \end{cases}$$

Z faktörü;

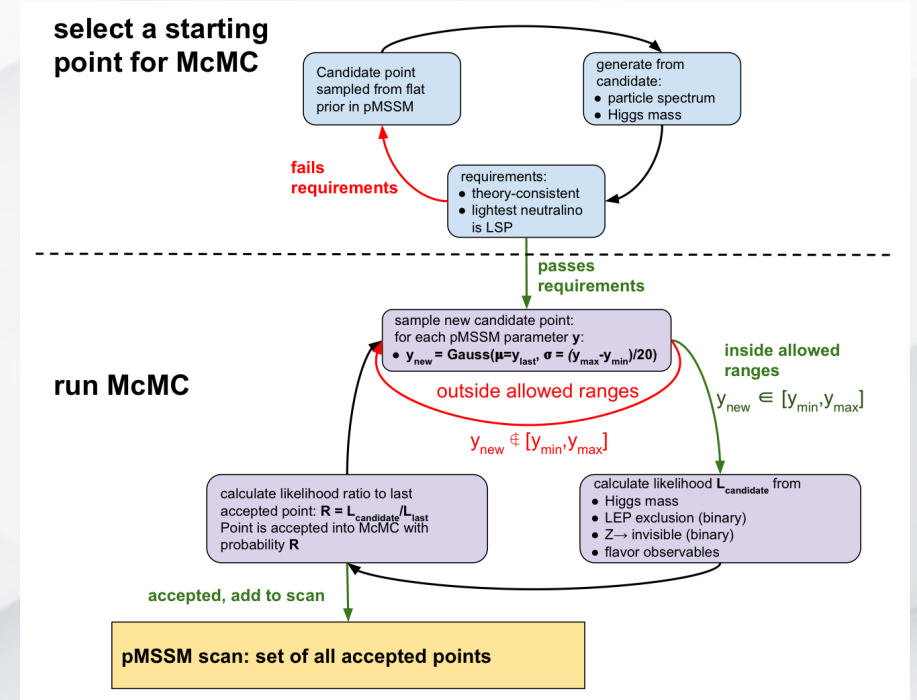
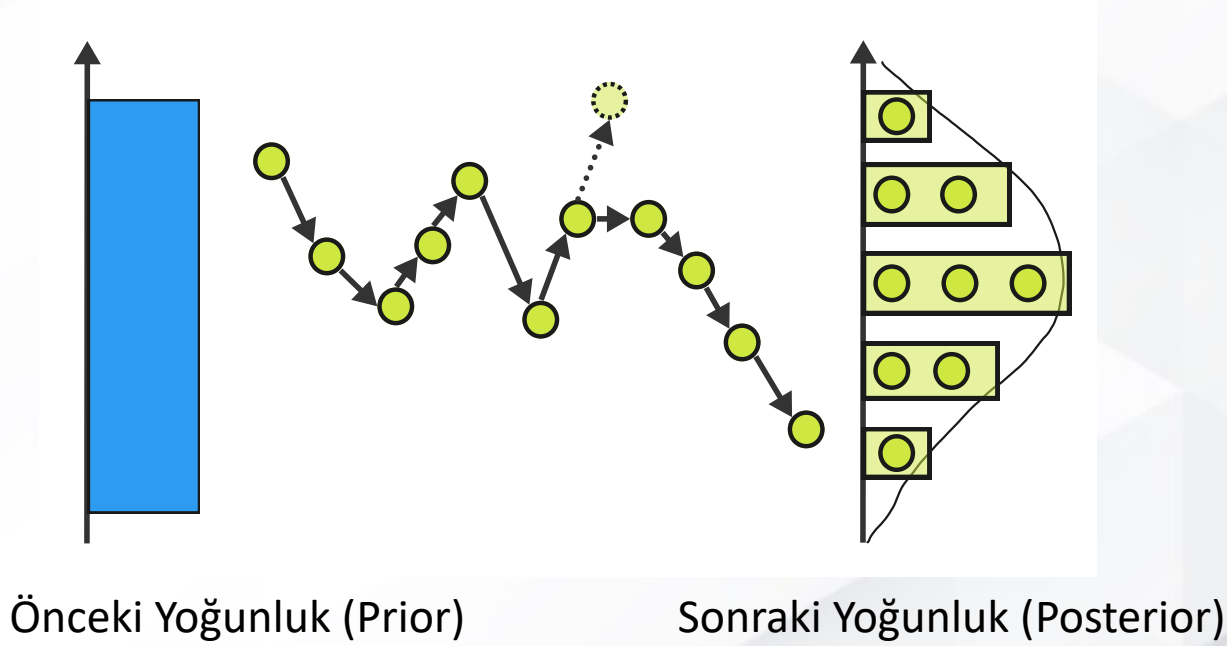
- Eğer negatif ise pMSSM noktasının doğayı açıklama şansının daha az olacağına işaret eder.
- Eğer pozitif ise pMSSM noktasının doğayı açıklama şansının daha yüksek olacağına işaret eder.

denebilir.

Z faktörü -1.64 eşit veya küçükse %95 güven aralığıyla ilgili pMSSM modeli **dışlanmış** diyebiliriz.



### McMC Çalışma Mantığı

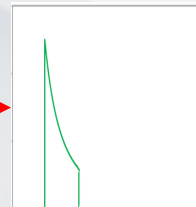
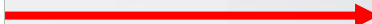
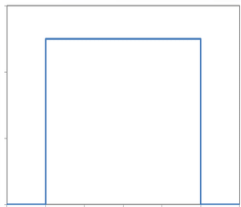
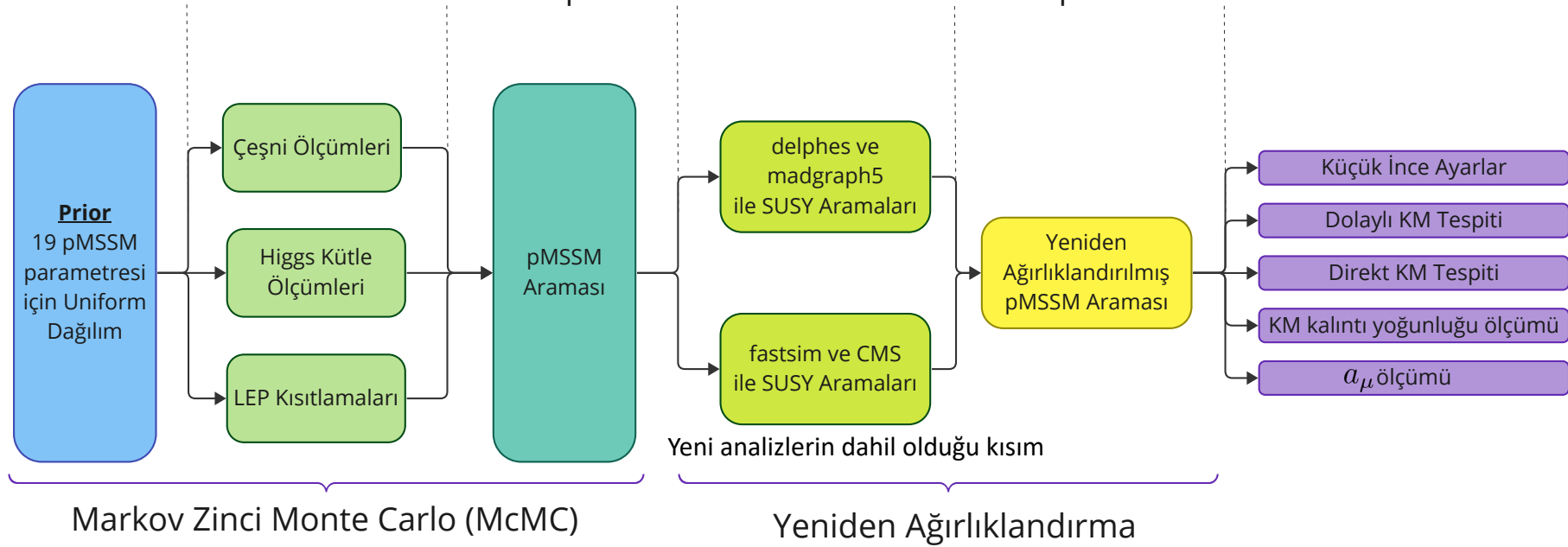


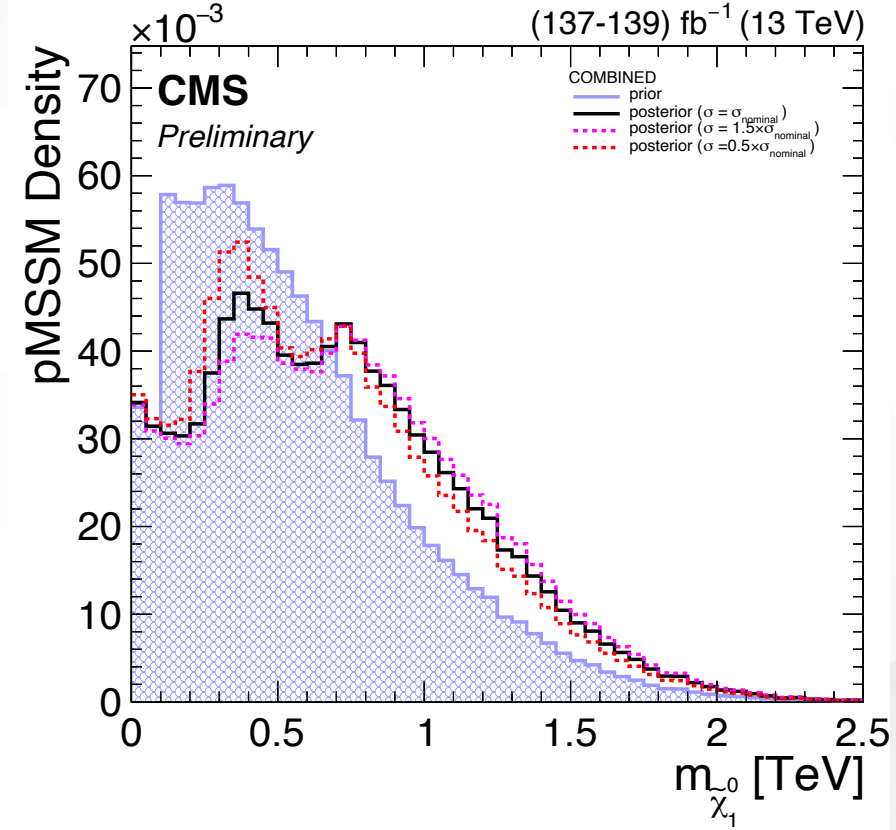
Yaklaşık herbiri 40000 pMSSM noktası içeren 600 McMC ile 24 milyona pMSSM noktası üretilmiştir.

$$\text{prior} \otimes \text{likelihood} = \text{posterior}$$

$$\downarrow$$

$$\text{LHC prior} \otimes \text{LHC likelihood} = \text{LHC posterior}$$





Sonraki Yoğunluk  
(Posterior)

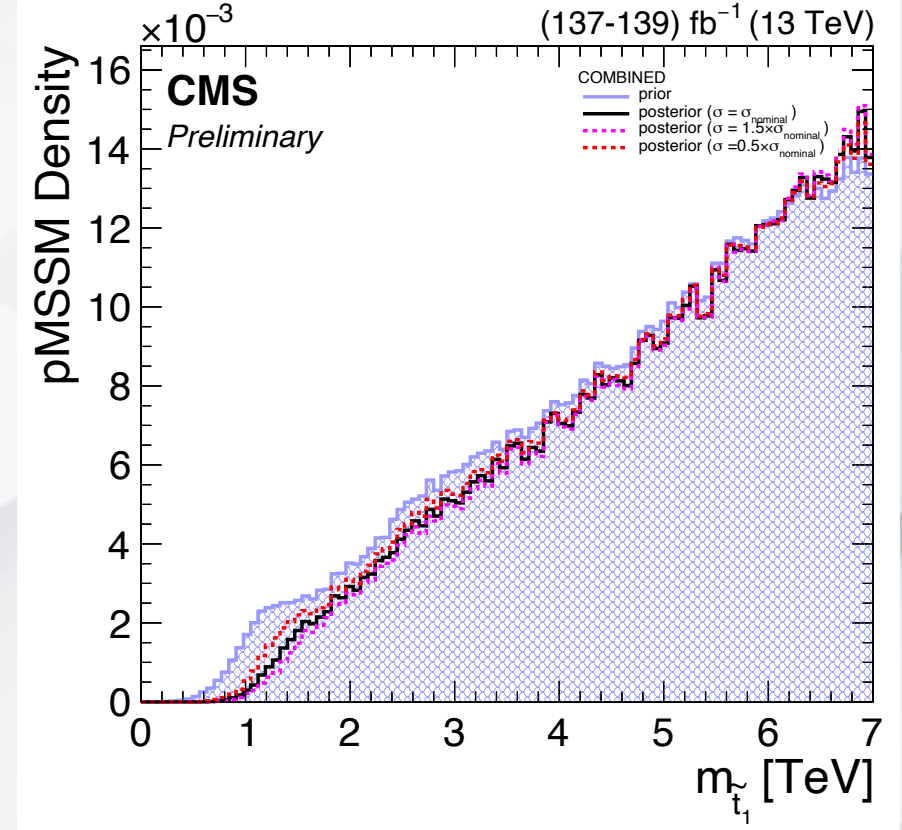


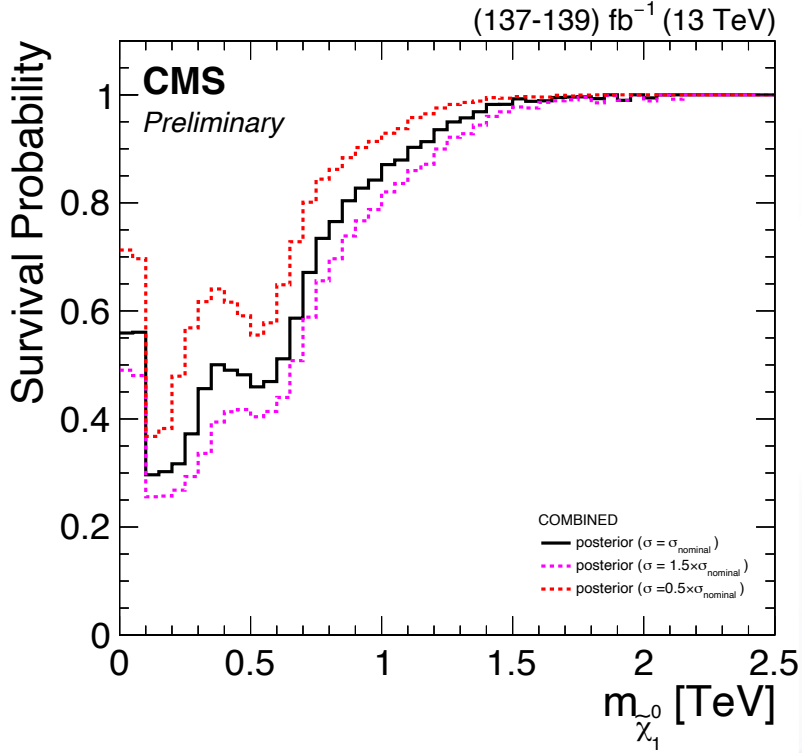
Önceki Yoğunluk  
(Prior)

- Mevcut verileri dahil ettikten sonraki bilgimiz.

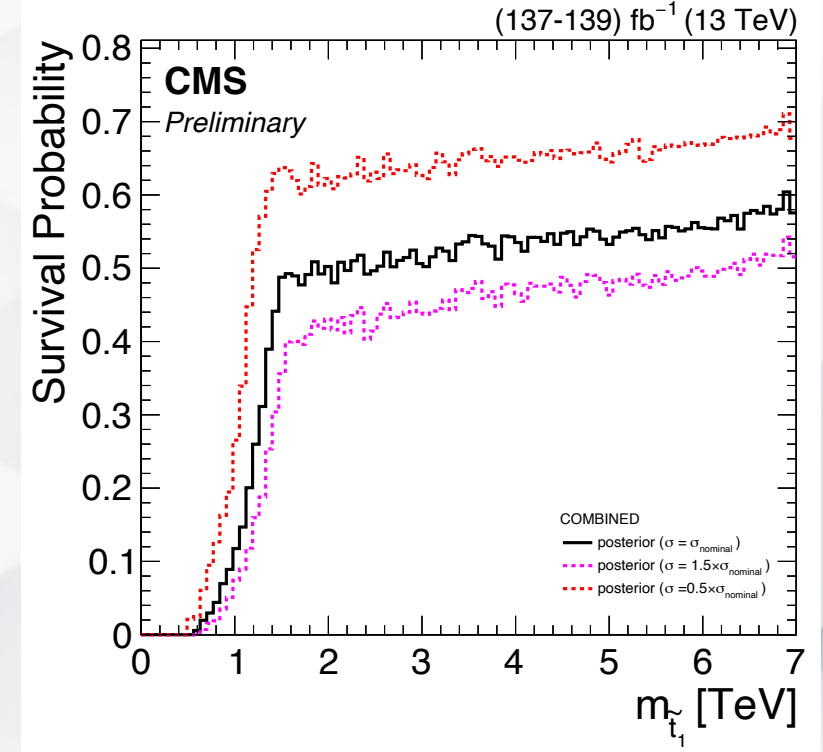
- Mevcut verileri dahil etmeden önceki bilgimiz.

Bu grafikler CMS SUSY analizlerinin pMSSM uzayına yeni katkılarını göstermektedir.





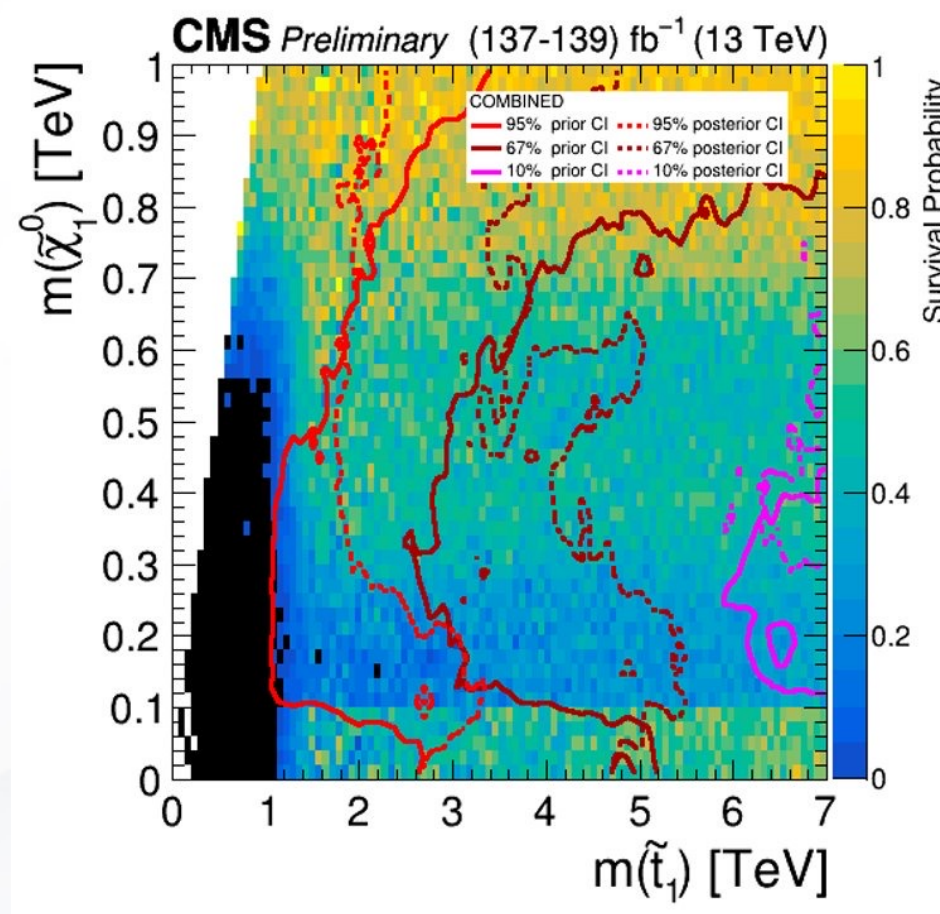
Bu grafikler temelde ilgili parametrelerin halen dışlanmamış bölgelerini belirlemek için kullanılır.



Eğer  $Z < -1.64$  ise ilgili pMSSM noktası için dışlanmış diyebiliriz.

$$\text{Her histogram bini için } P_{\text{Hayatta Kalma}} = \frac{\sum w_{\text{hayatta kalan}}}{\sum w}$$

Hayatta Kalma Olasılığı Grafikleri



Konturlar, veriler göz önüne alındığında, evrenin kontur içindeki pMSSM modellerinden biri olarak gerçekleşme olasılığını göstermektedir. Bu, öncelik (prior) seçiminizin doğru olduğu ve olasılık modelimizin doğru olduğu varsayımı altındadır.

- Şu anda yaklaşık 10 taneye kadar CMS SUSY analiz sonucunu tek bir pMSSM uzayında birleştiriyoruz ve ortak bir sonuç çıkarıyoruz.
- Çalışmanın taslak analiz notu CMS içinde yayınlandı (**CMS AN-2019/189**). Tüm elde edilen sonuçlarla beraber yaz konferansları için ön sonuçları yayınlamayı amaçlıyoruz.

- Mrowietz, M. (2023). Status of R-parity conserving supersymmetry after the LHC Run 2 and other experiments (Doctoral dissertation, University of Hamburg)
- CMS collaboration. (2016). Phenomenological MSSM interpretation of CMS searches in pp collisions at  $\sqrt{s}=7$  and 8 TeV. arXiv preprint arXiv:1606.03577
- CMS AN-2019/189