

CALPAGAN: CALorimetry for **PA**rticles using **GAN**s

kal-pa-zan: counterfeiter in Turkish

Ebru Şimşek, Bora Işıldak, Reyhan Aydoğan, Anıl Doğru

Burak Bayrak, Şeyda Ertekin



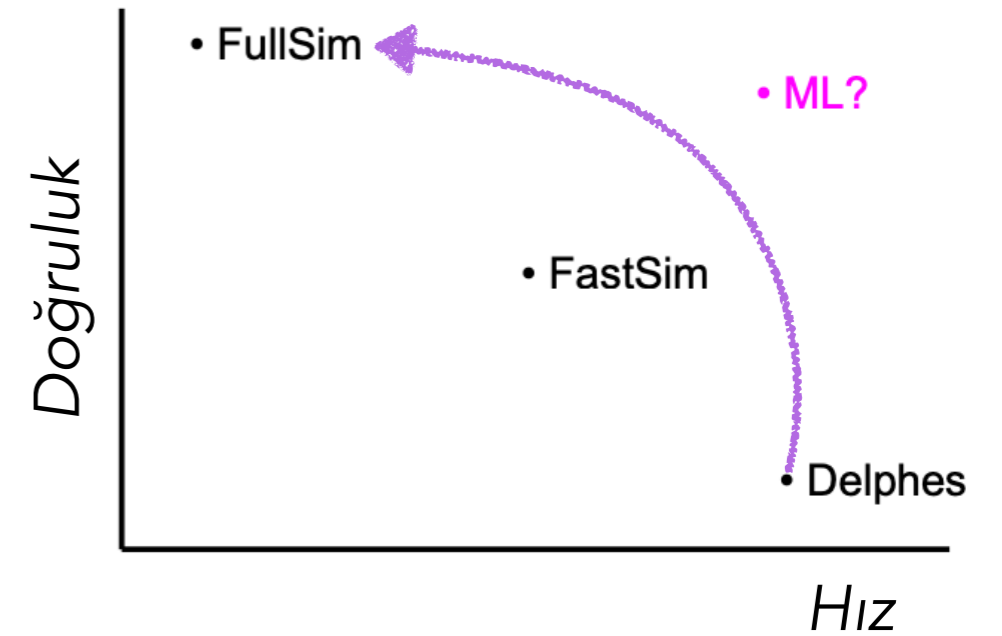
Bu çalışma TÜBİTAK ARDEB 1001 119F015 No'lu proje ile desteklenmiştir.

YEFİST 2022

Giriş

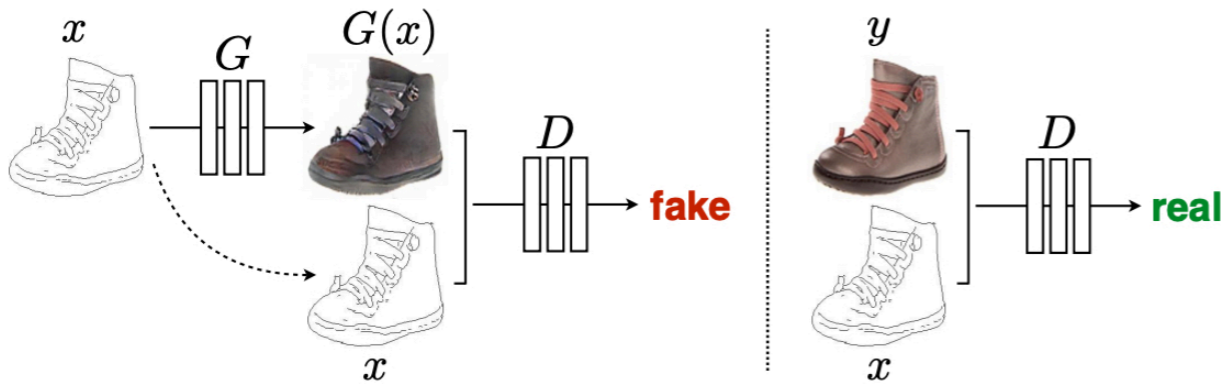
- Generative Adversarial Network (GAN) kullanımı olay (nesne) oluşturma ve dedektör benzetiminde oldukça popüler hale gelmiştir.
- Temel motivasyon HL-LHC'nin ihtiyaçlarıdır. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ) deneylerinin sahip olduğu hesaplama kaynaklarının yarısından fazlası bu tip benzetimlerin gerçekleştirilmesi için kullanılmaktadır (Jansky, 2015).
- Birkaç sorun var:
 - Üretken modeller fizik yasalarına uyuyor mu?
 - bunu yapmaları nasıl sağlanır?
 - hangi fiziksel süreç?

Hız - Doğruluk

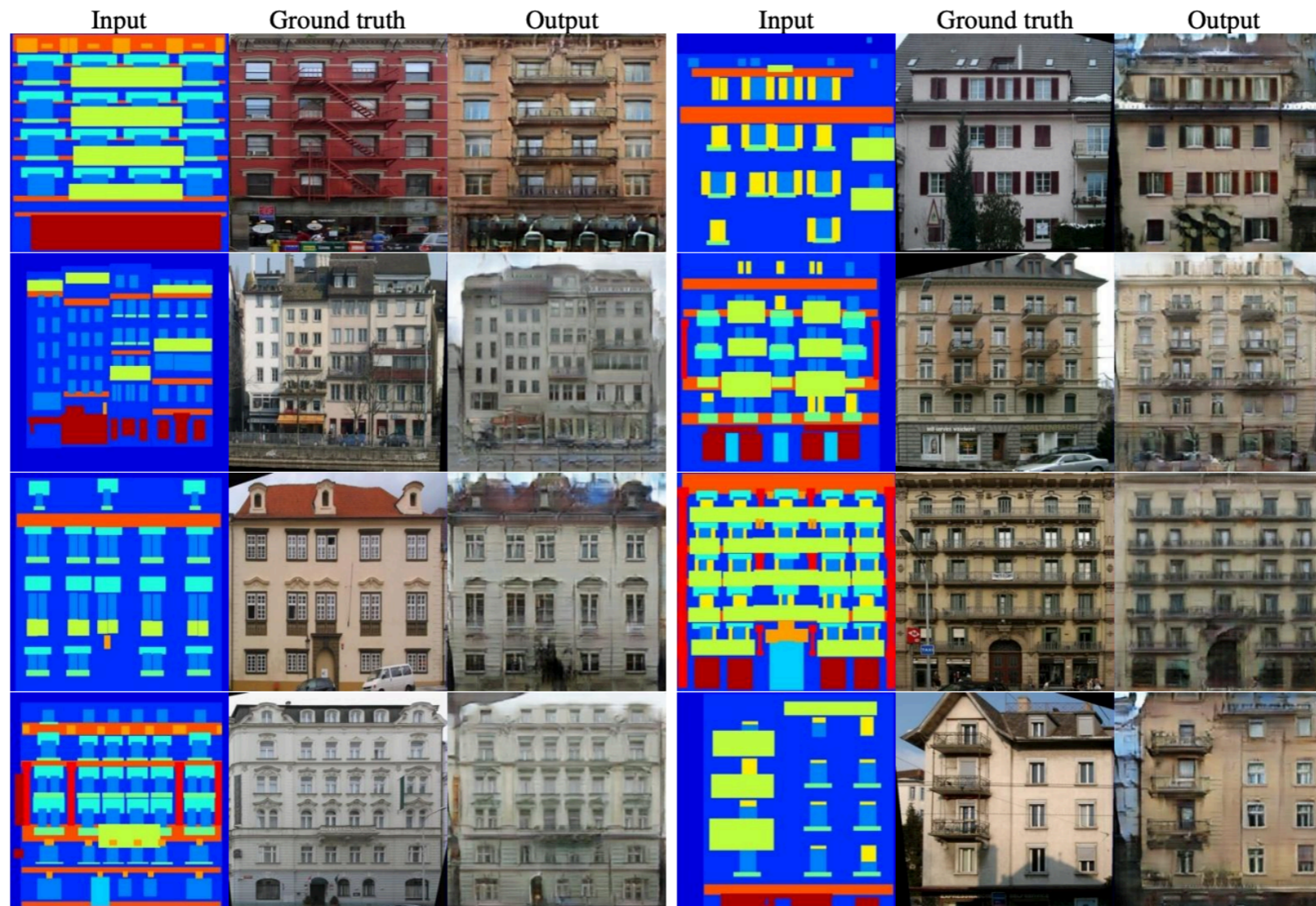


pix2pix - koşullu GAN

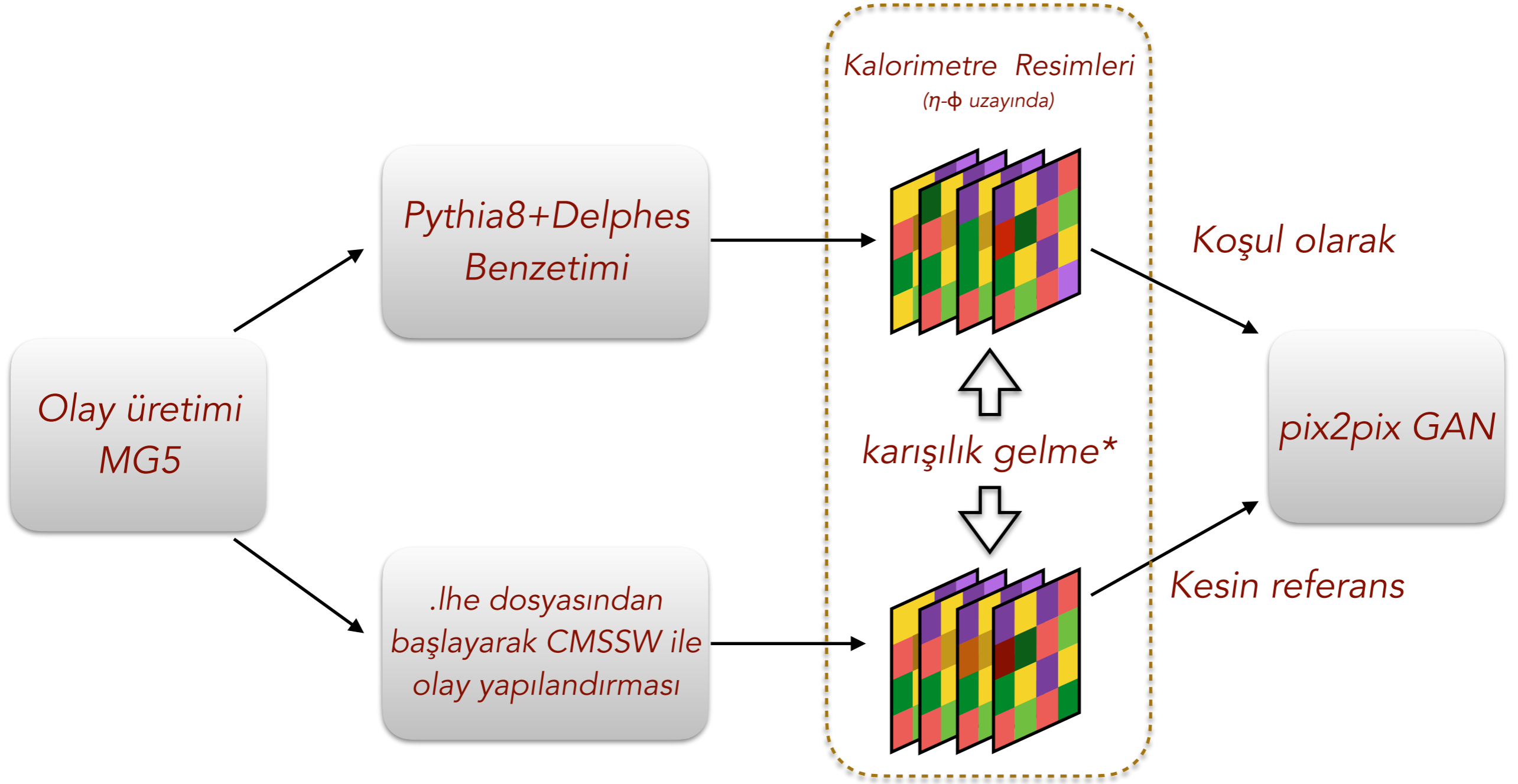
Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks <https://arxiv.org/pdf/1611.07004.pdf>



“Daha fazla GEANT4 benzeri”
görüntüler elde etmek için DELPHES
tarafından oluşturulan kalorimetre
görüntülerini girdi olarak kullanılabilir.

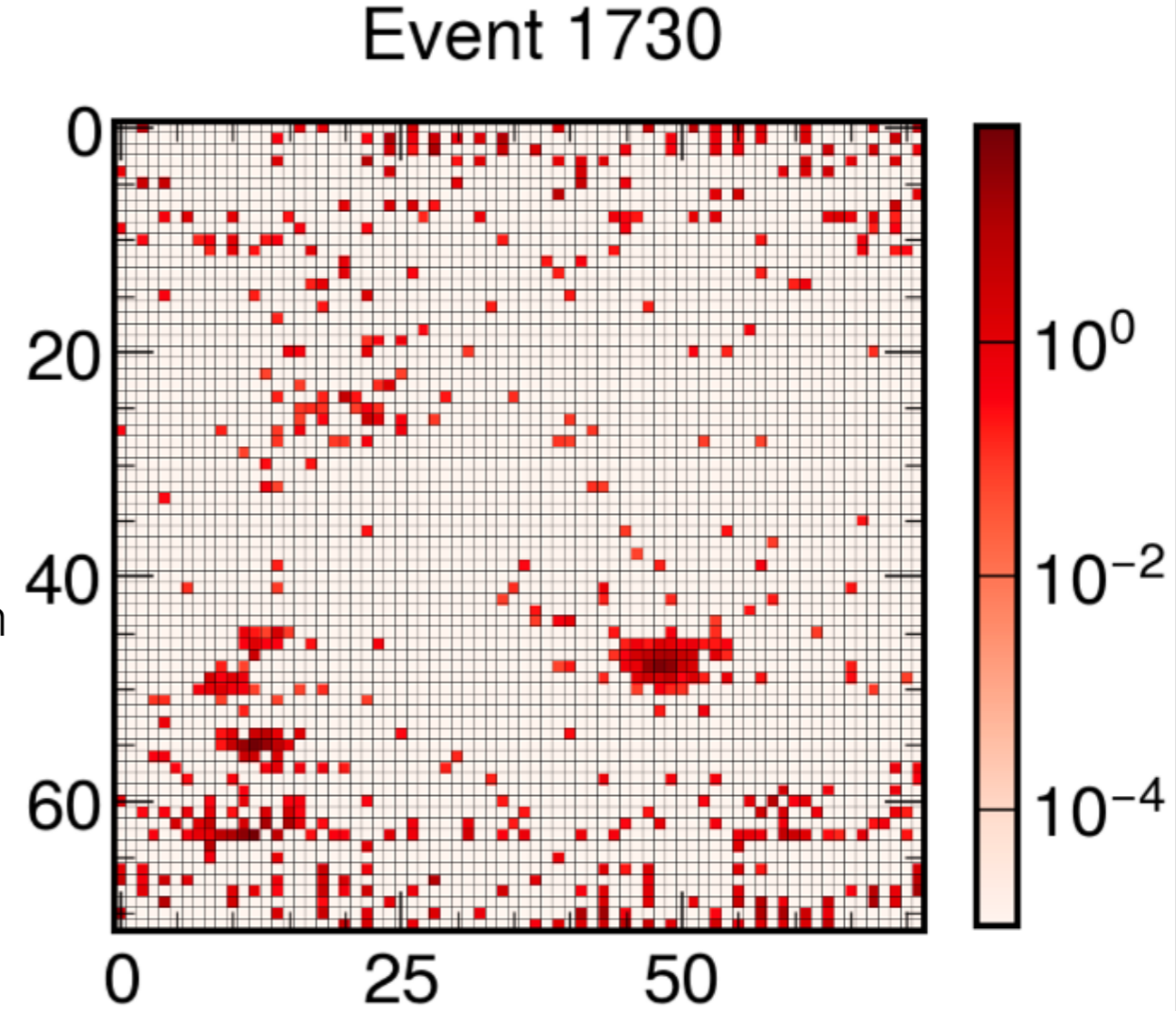


Eğitim Yöntemi



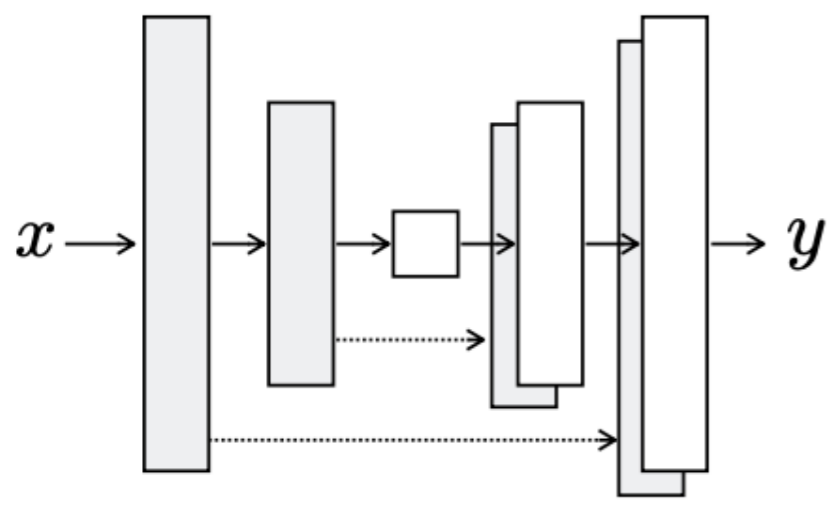
Uygulama

- Madgraph5 ile 10000 tane $pp \rightarrow Wj(jj)$ ve 10000 tane $pp \rightarrow jj$ olayı üretilmiştir.
- LHE dosyası, Pythia8 parton duşu/hadronizasyon'a ve ardından Delphes'e beslenmiştir.
- Delphes çıktısından kalorimetre görüntüleri oluşturulmuştur.
- CMSSW_5_3_32'de (CMS OpenData) tam simülasyon için aynı LHE dosyası kullanılmıştır.
- RECO dosyalarından kalorimetre görüntüleri oluşturuldu.
- GAN PyTorch kullanılarak oluşturulmuştur.



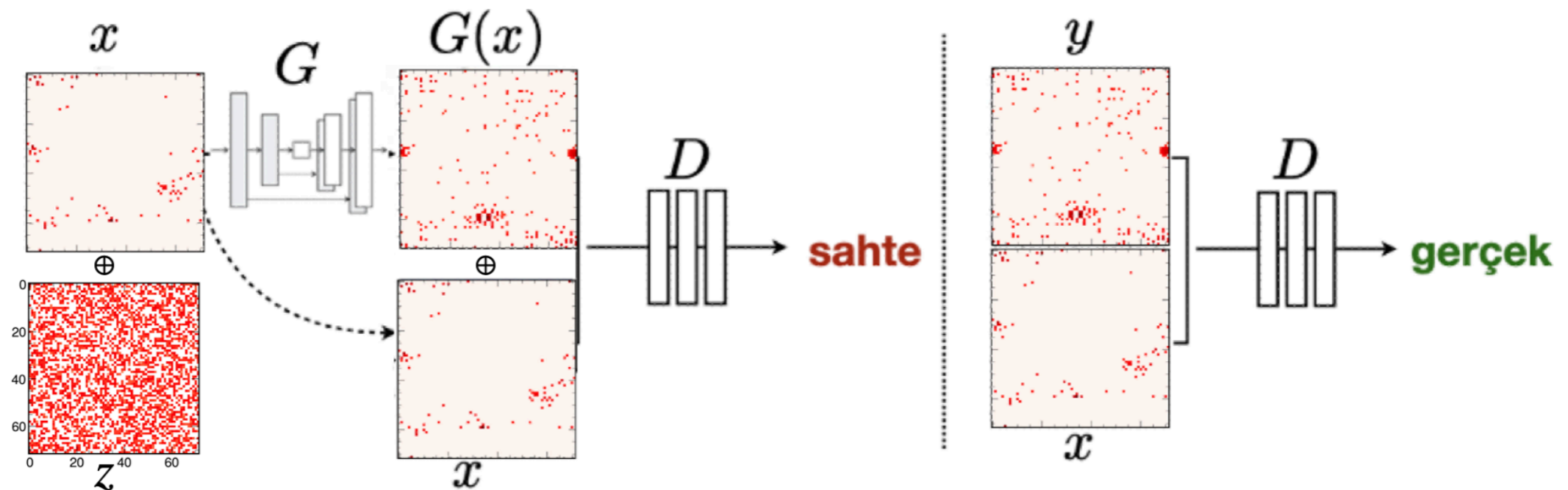
GEANT4 ile üretilmiş bir olayın kalorimetri enerji görüntüsü.

Uygulama



Generator (U-Net tipi)

(i . ve $n-i$. katmanlar arasında atlamalı bağlantılar var)



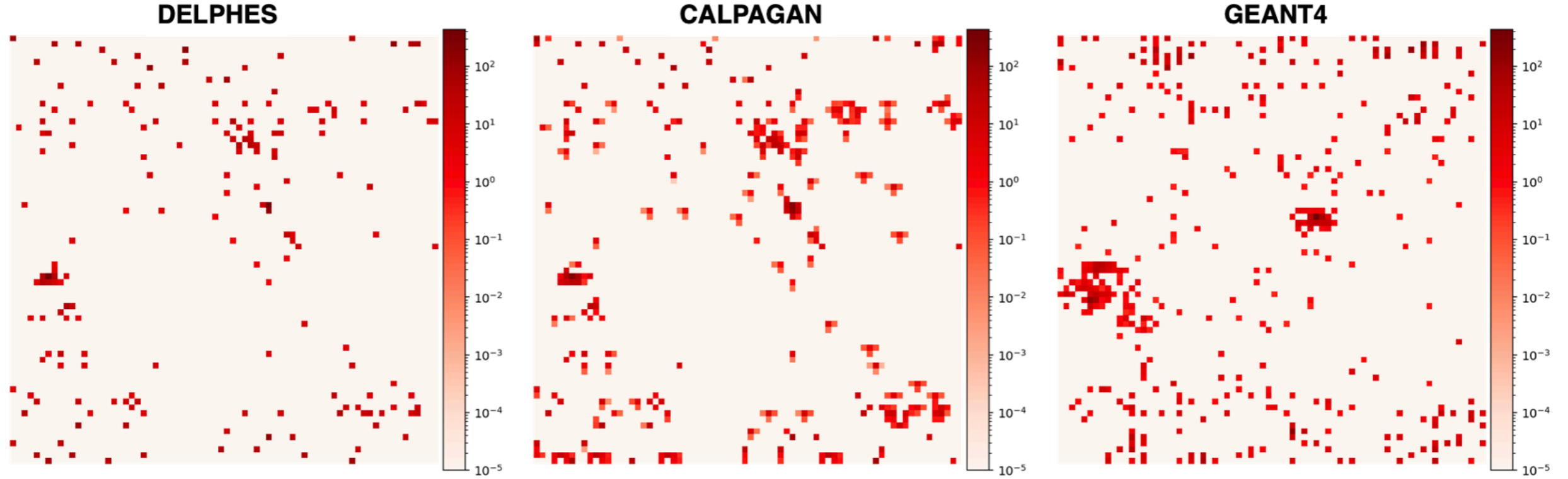
Kayıp Fonksiyonu

$$\mathcal{L}_{cGAN}(G, D) = \mathbb{E}_{x,y}[\log D(x, y)] + \mathbb{E}_{x,z}[\log(1 - D(x, G(x, z)))]$$

$$\mathcal{L}_{L1}(G) = \mathbb{E}_{x,y,z} [\|y - G(x, z)\|_1]$$

$$G^* = \arg \min_G \max_D \mathcal{L}_{cGAN}(G, D) + \lambda \mathcal{L}_{L1}(G) \quad (\lambda = 400)$$

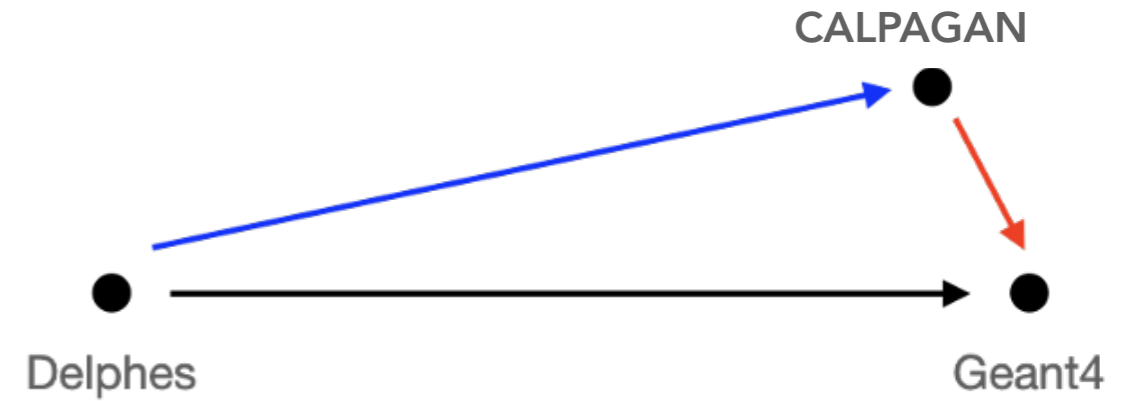
CALPAGAN SONUÇLARI



Modelin başarısını ölçmek için resimler arasındaki Fréchet Inception uzaklığı (Fréchet Inception Distance) ölçüldü.

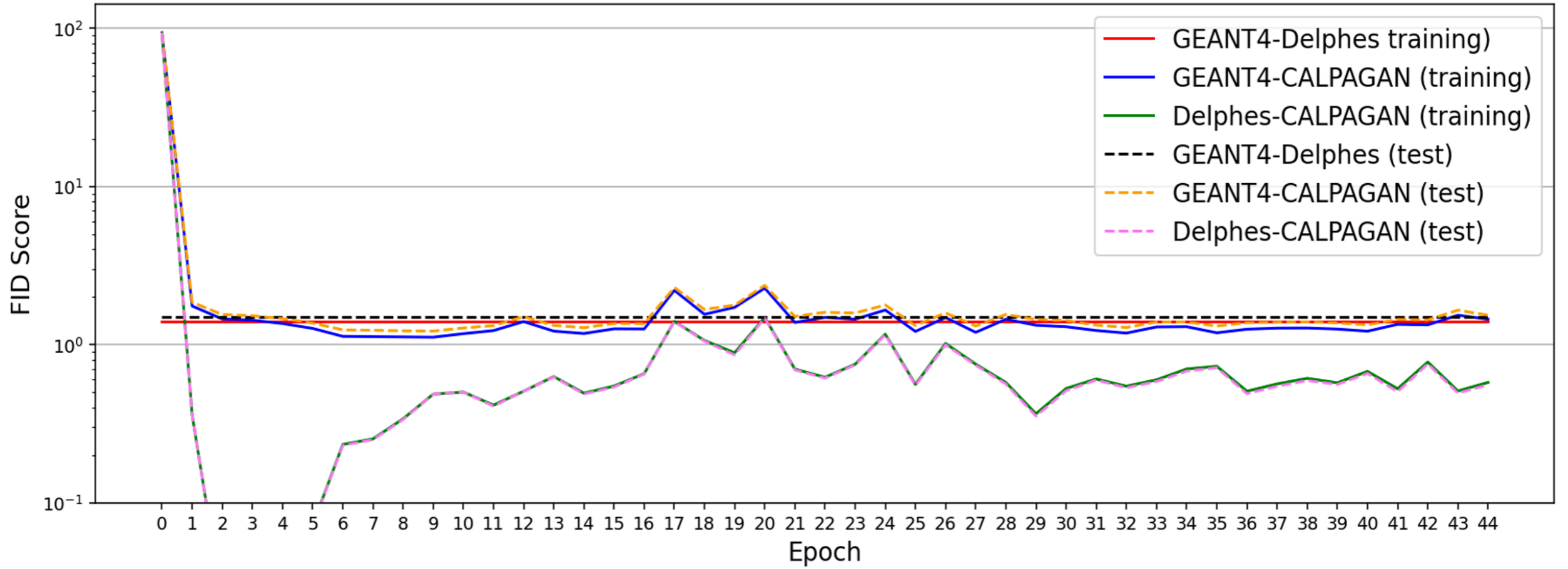
$$d_F(\mathcal{N}(\mu, \Sigma), \mathcal{N}(\mu', \Sigma'))^2 = \|\mu - \mu'\|_2^2 + \text{tr}\left(\Sigma + \Sigma' - 2\left(\Sigma^{\frac{1}{2}} \cdot \Sigma' \cdot \Sigma^{\frac{1}{2}}\right)^{\frac{1}{2}}\right)$$

μ iki boyutlu bir resmin satırlar eksenindeki ortalamaları, Σ ise yine aynı eksenindeki standart sapmalardır.



CALPAGAN BAŞARIMI

Olayların yarısı eğitim için diğer yarısı da sınama için kullanılmıştır.



GAN eğitimi sırasında FID skorları

CALPAGAN BAŞARIMI

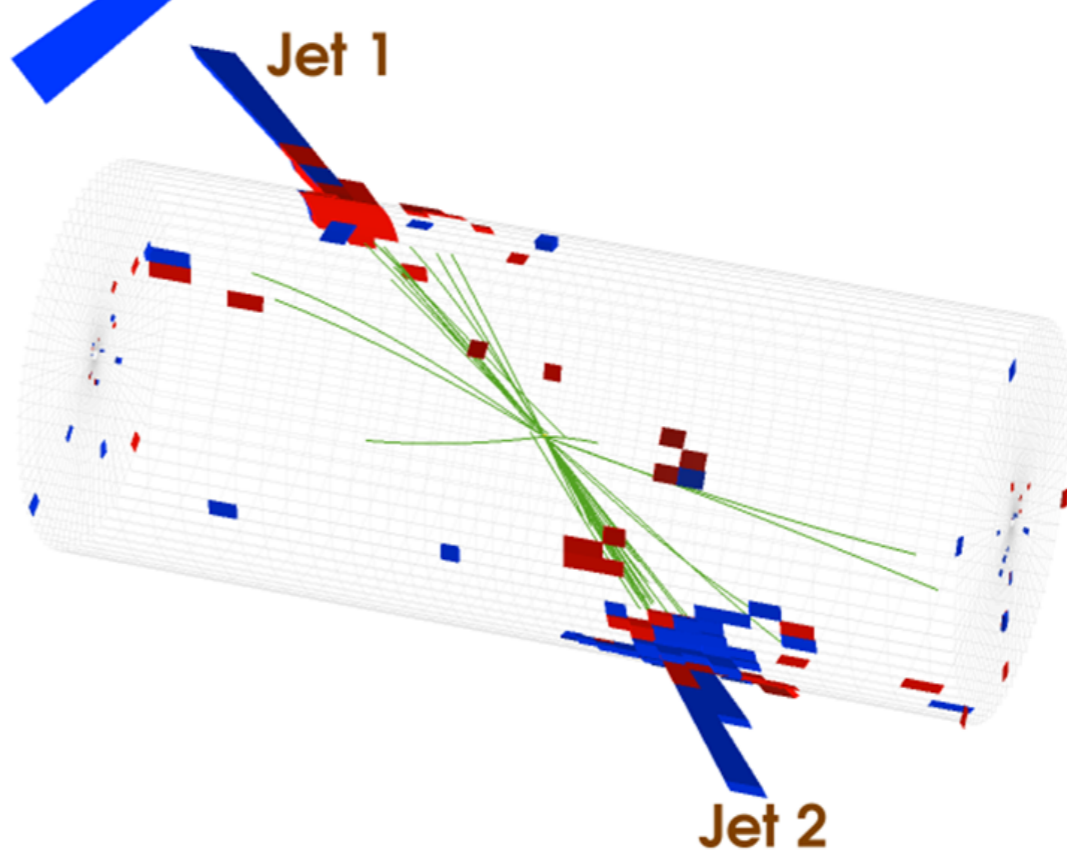
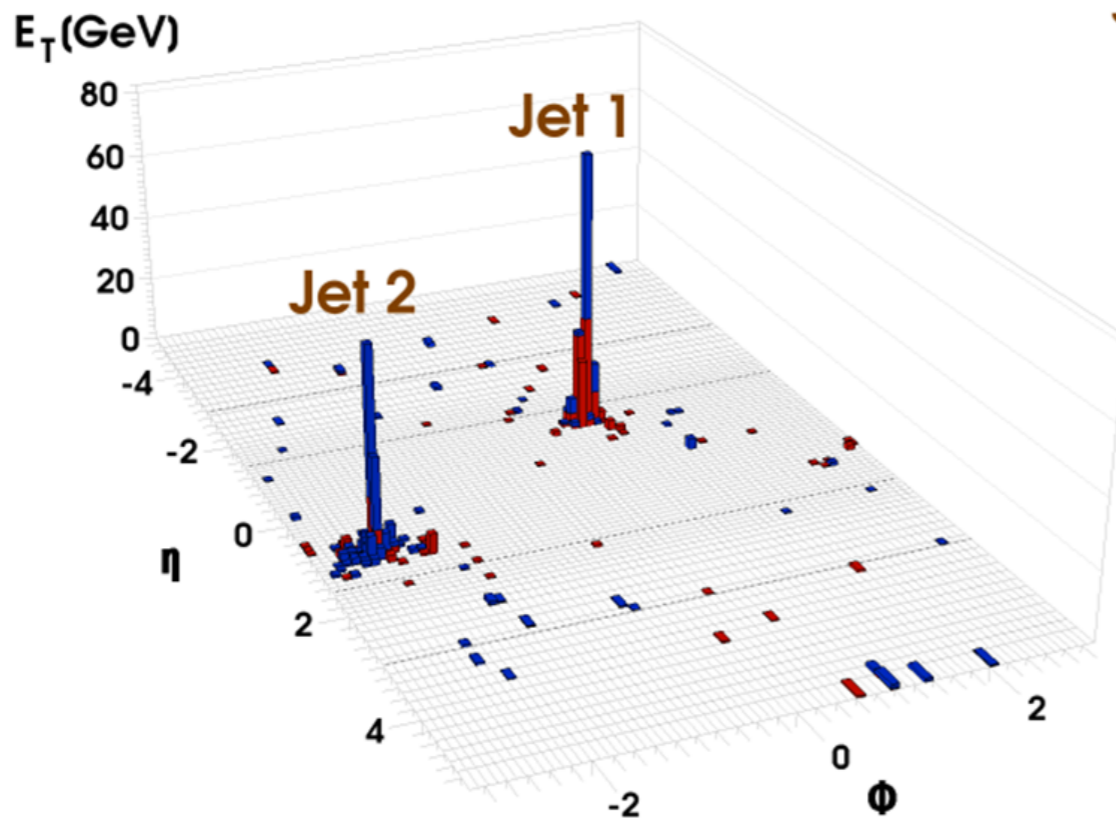
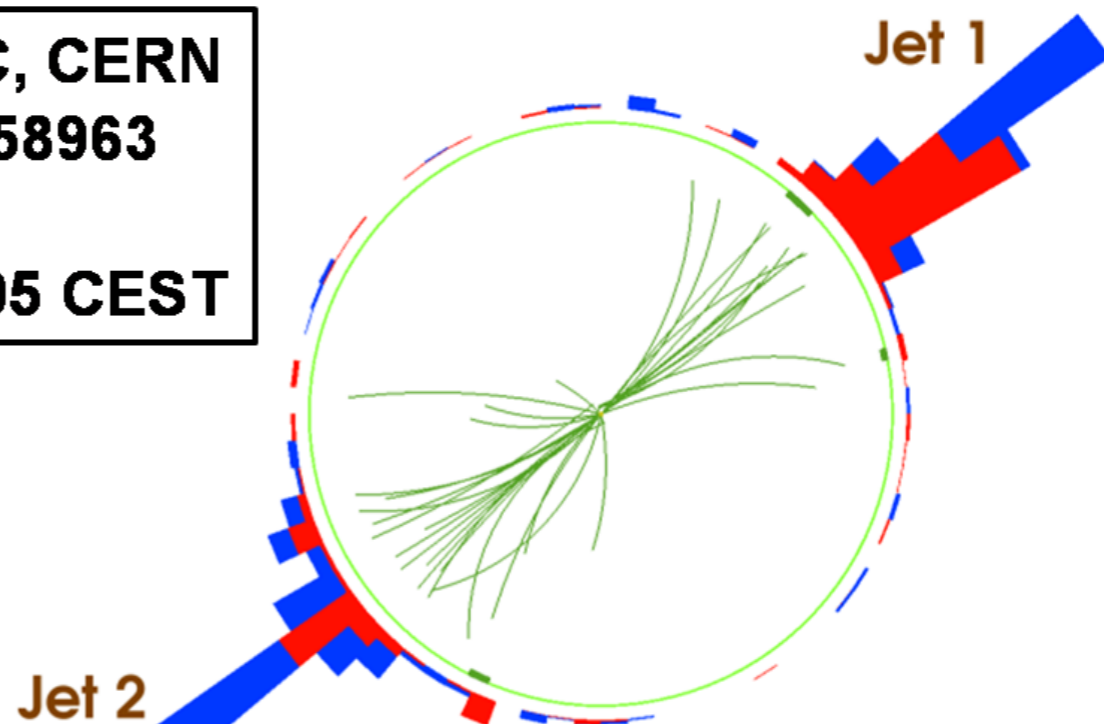
- FID sonuçları modelin başarısı ile ilgili büyük bir ipuçları verse de nihai olarak kontrol edilmesi gereken fiziksel gözlemlenebilirler gereklidir.
- Bunun için pyjet yardımıyla kalorimetre resimlerinden jetler oluşturuldu ve bu jetlerin kinematik ve yapısal özellikleri elde edildi.
- Jetlerin kinematik ve yapısal özellikleri için GEANT4, Delphes ve CALPAGAN'dan elde edilen dağılımlar karşılaştırıldı.
- Delphes-GEANT4 (**D-G**), GEANT4-CALPAGAN (**G-C**) ve Delphes-CALPAGAN (**D-C**) dağılımları arasındaki uzaklıkları gösterilmiştir.
- Dağılımlar arasındaki χ^2 uzaklıkları şu şekilde hesaplanmıştır:

$$\chi^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{i=N_{\text{bins}}} \frac{y_1^i - y_2^i}{y_1^i + y_2^i}$$

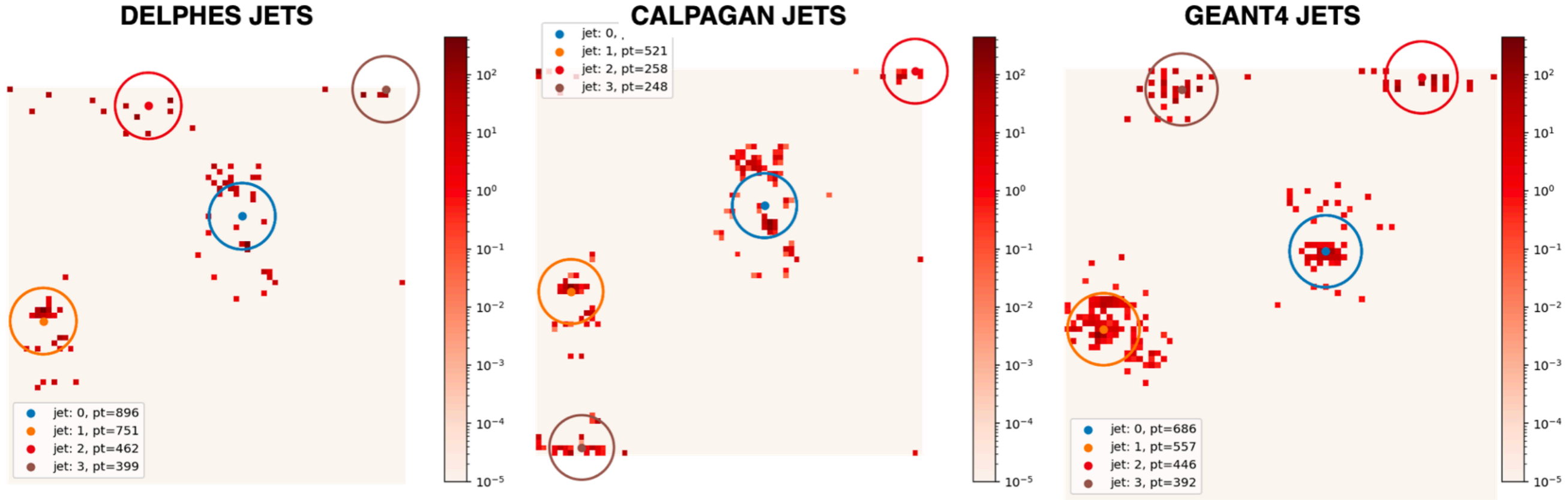
Jetler



CMS Experiment at LHC, CERN
Run 133450 Event 16358963
Lumi section: 285
Sat Apr 17 2010, 12:25:05 CEST

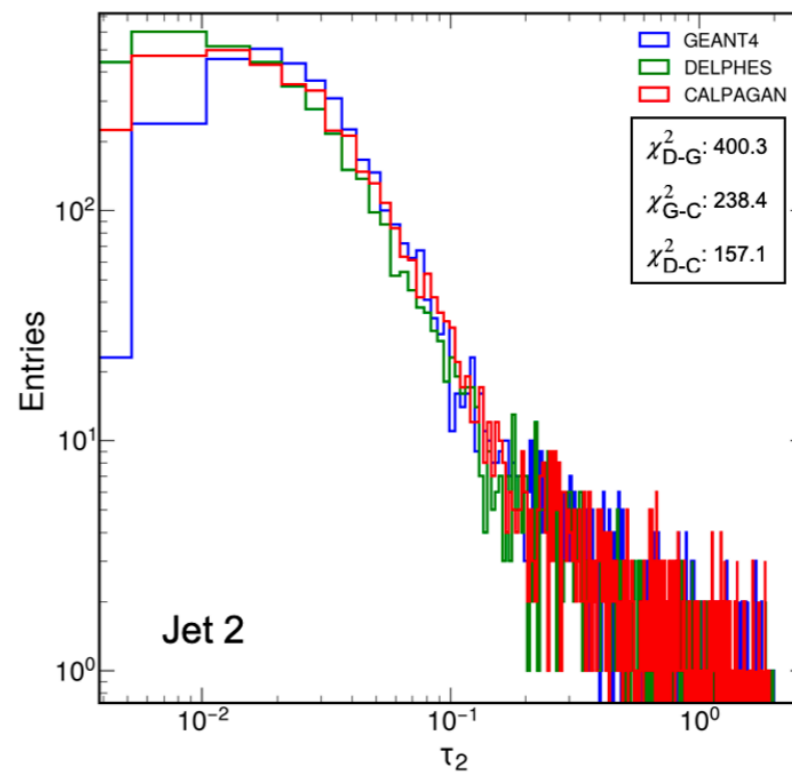
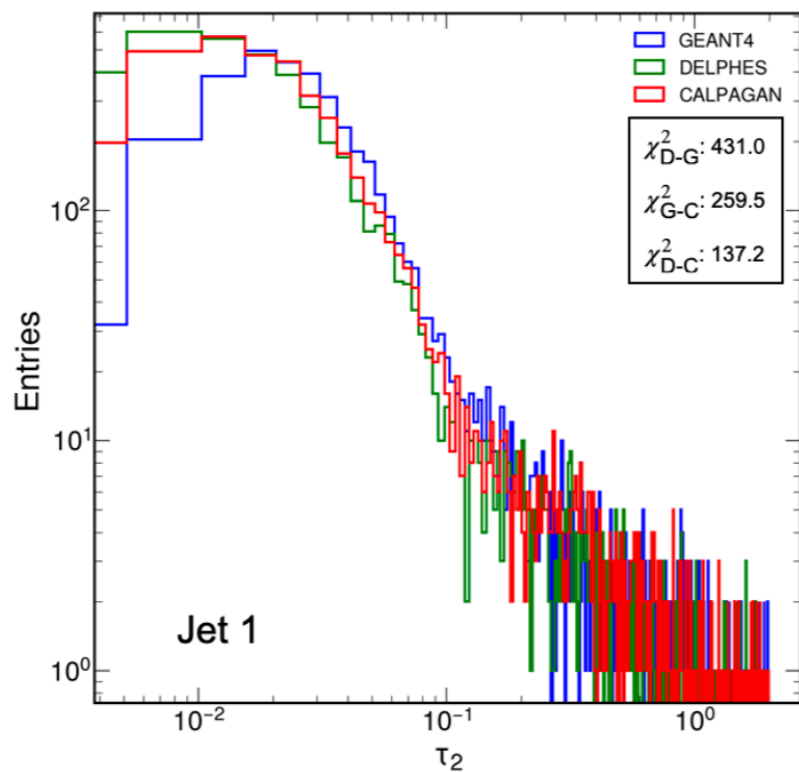
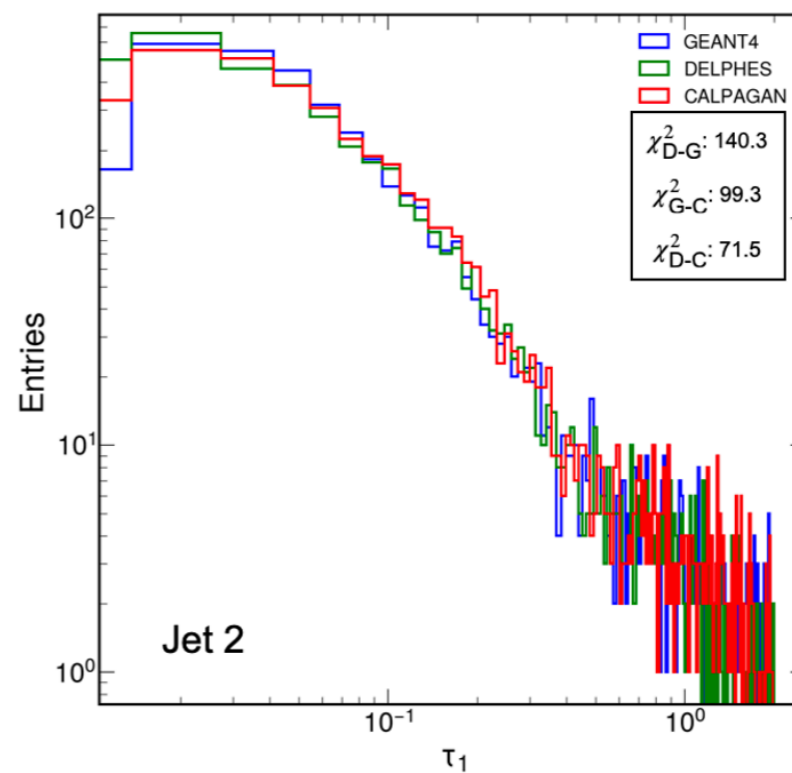
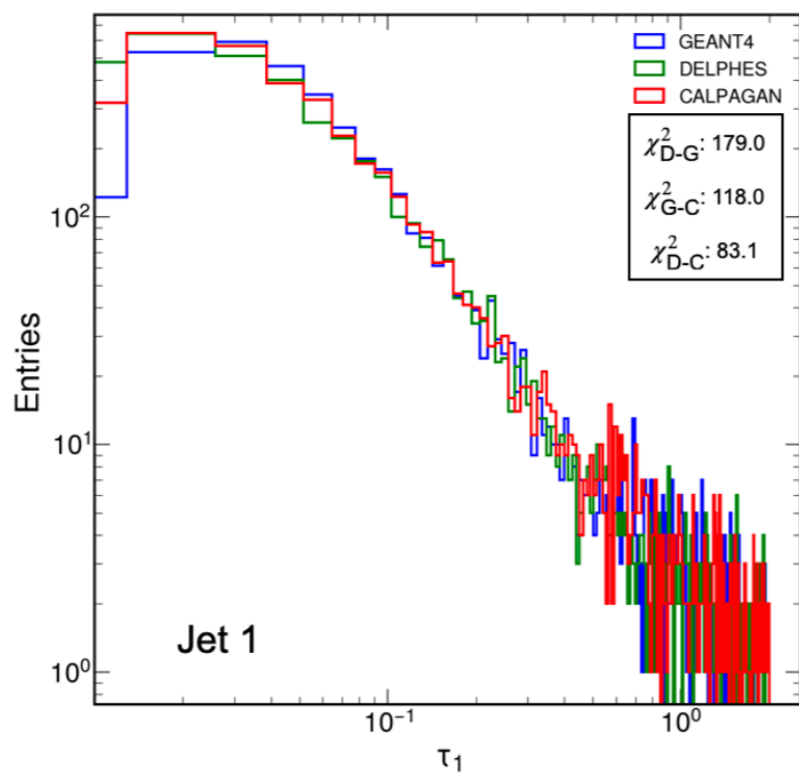


Jetler



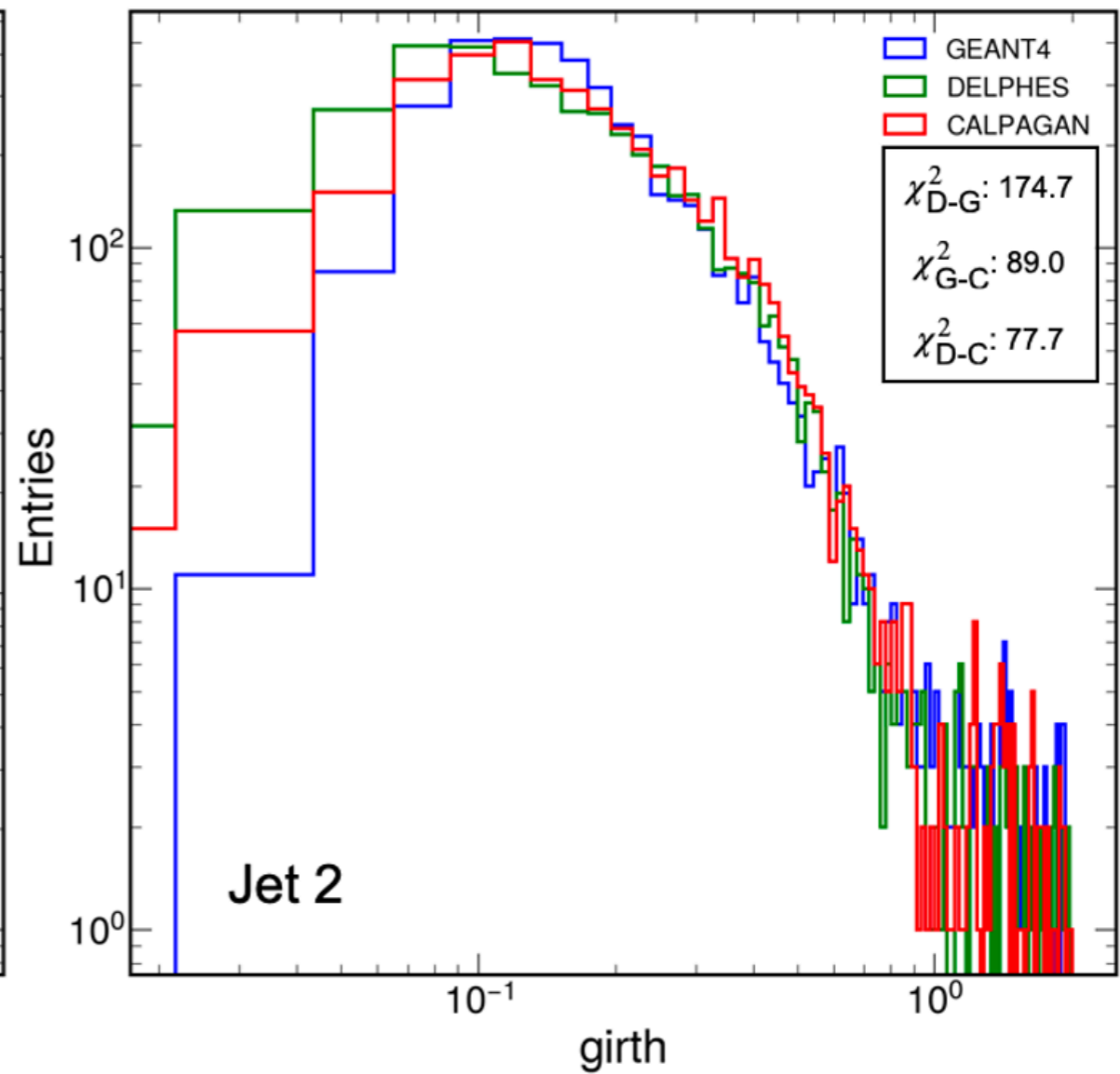
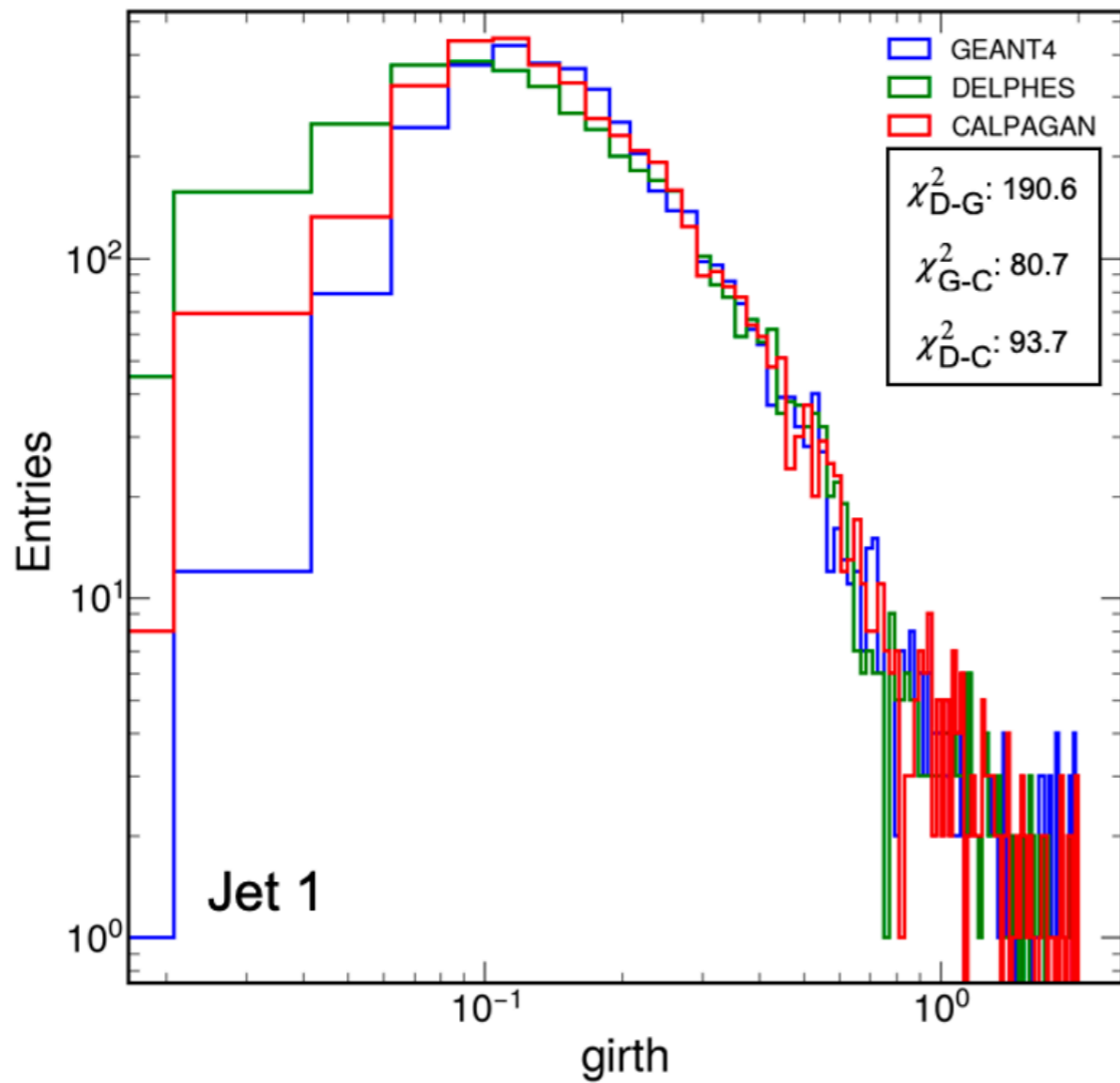
ÜTA ile test kümesinden elde edilen olay resimlerinin Delphes ve Geant4 olay resimleri ile karşılaştırması (üst: 5000 test olayından rastgele seçilmiş bir örnek). Bu olay resimlerinden elde edilen jetlerin η (yatay) ve ϕ (dikey) uzayındaki görüntüleri.

N-subjettiness



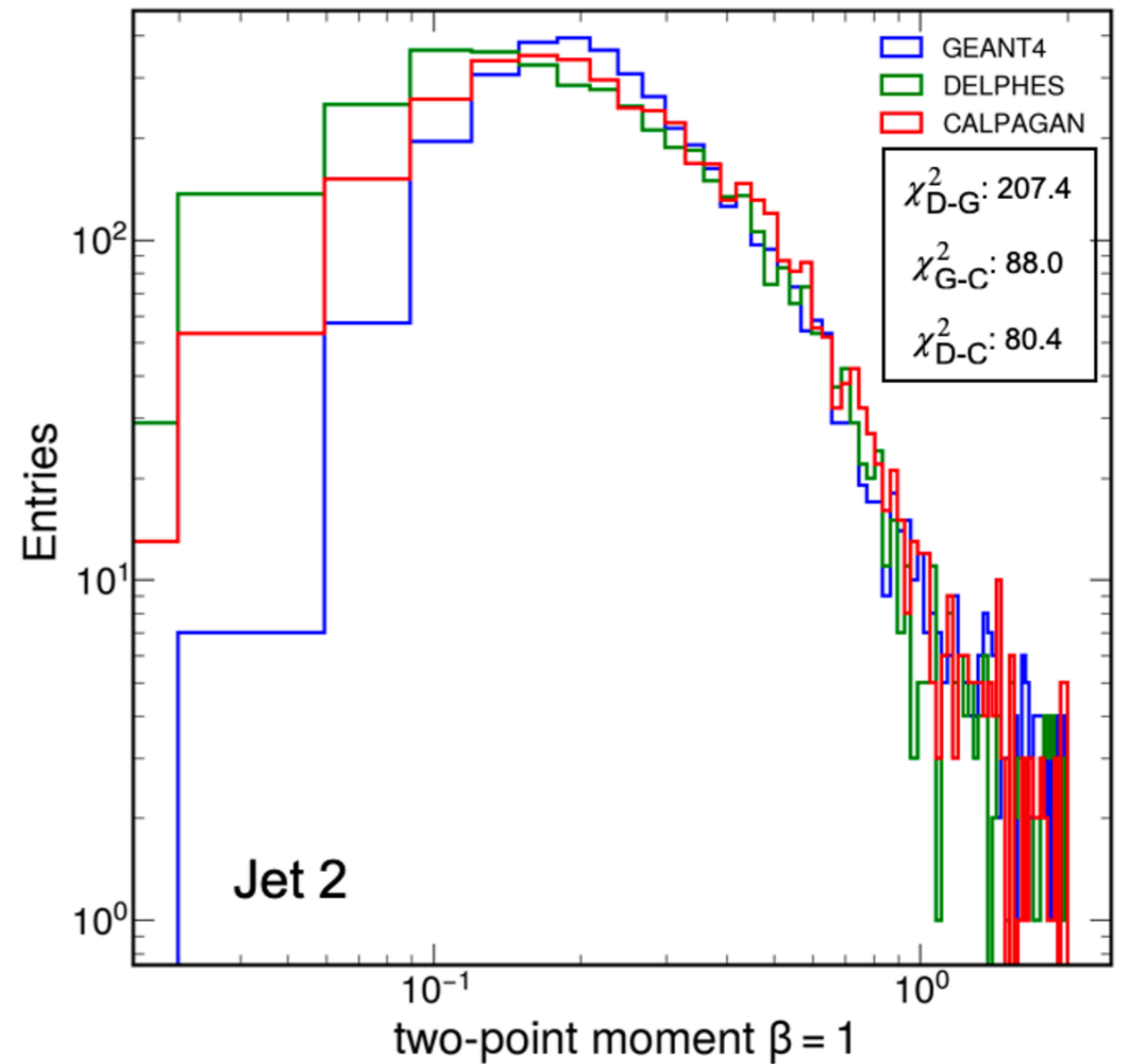
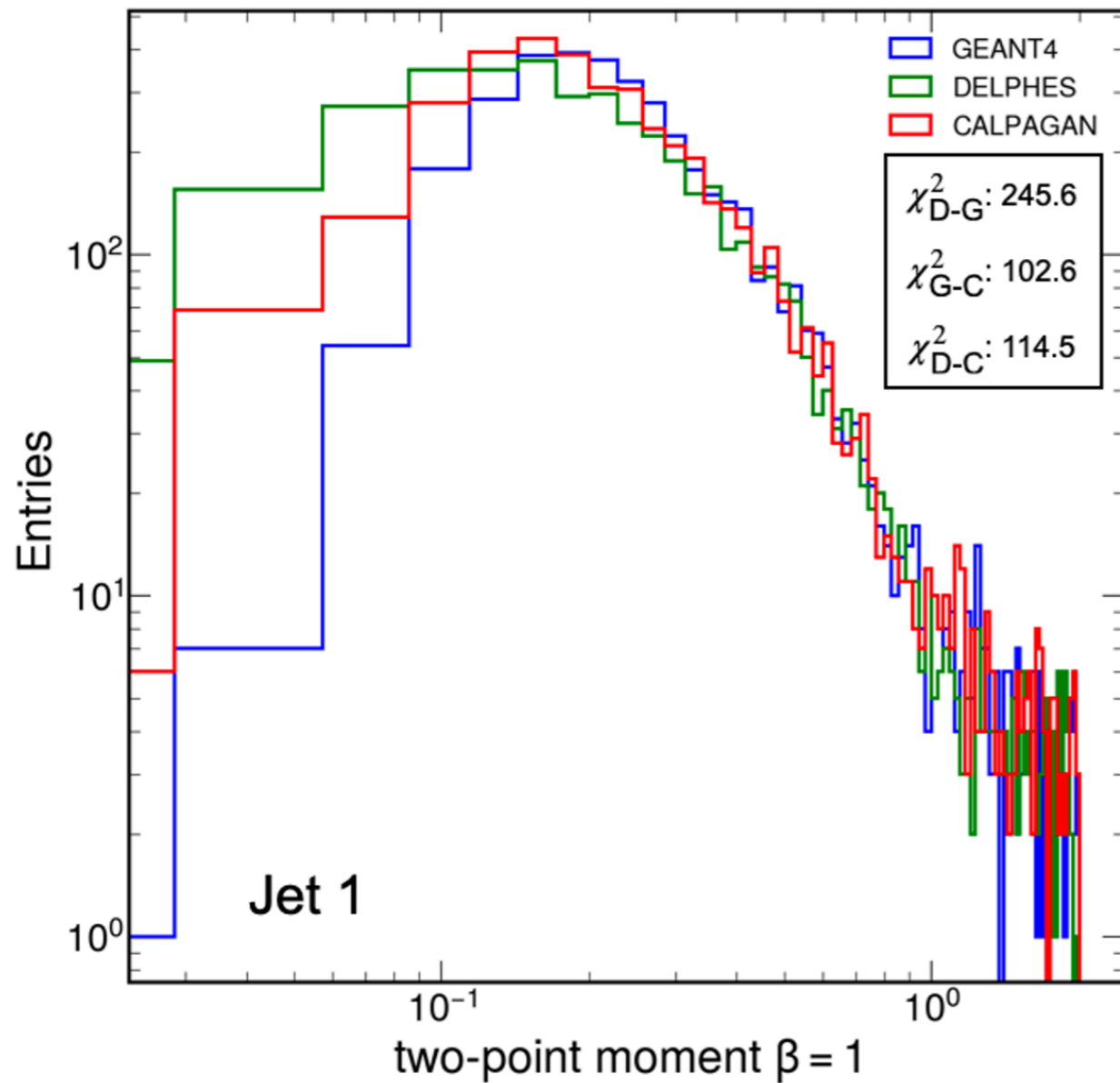
Jet Girth

$$g = \sum_{i \in \text{jet}} \frac{p_T^i}{p_T^{\text{jet}}} r_i$$

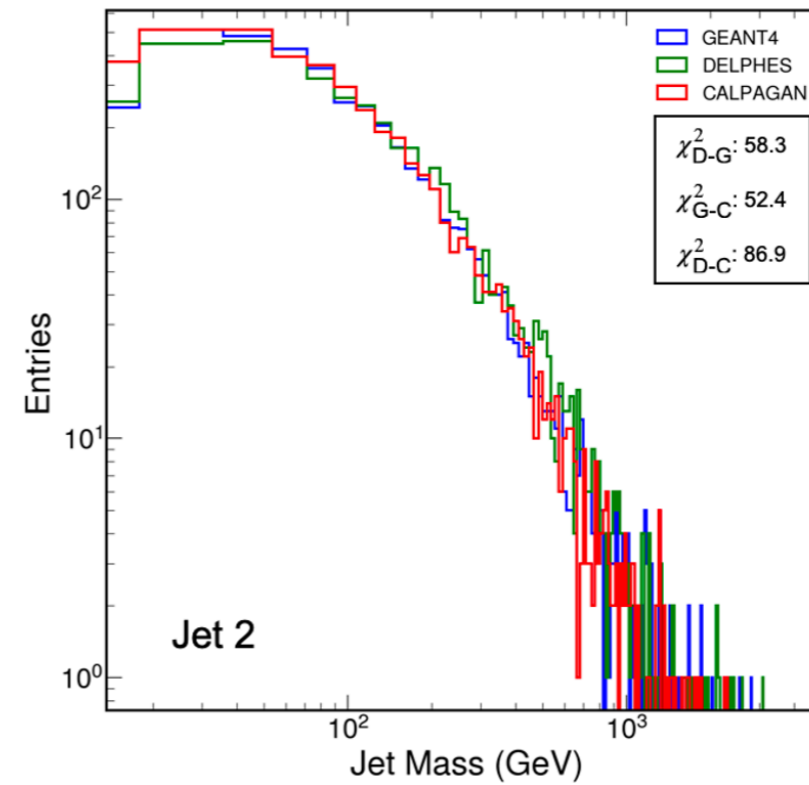
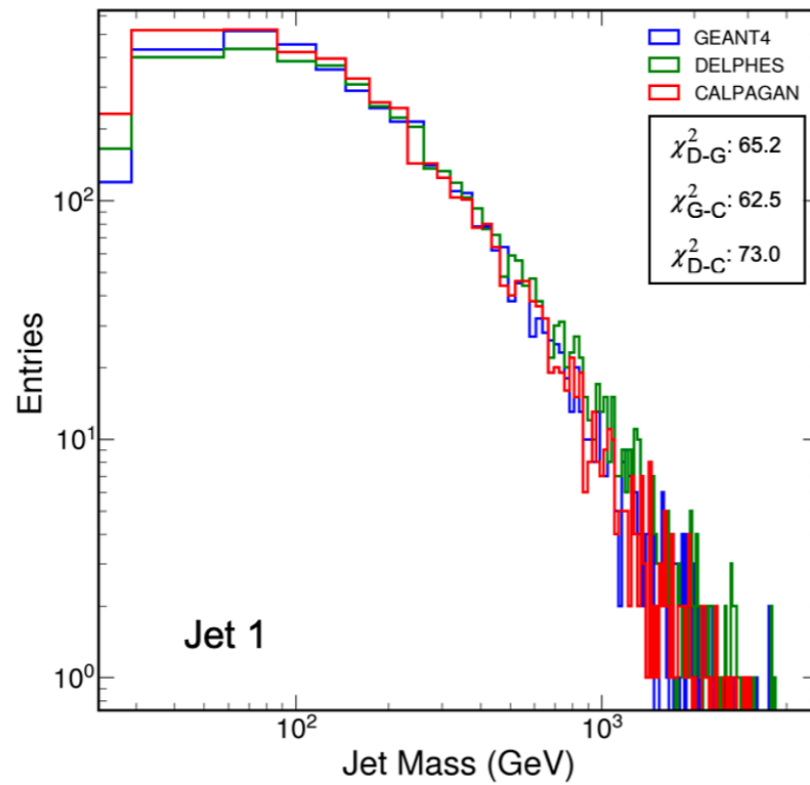
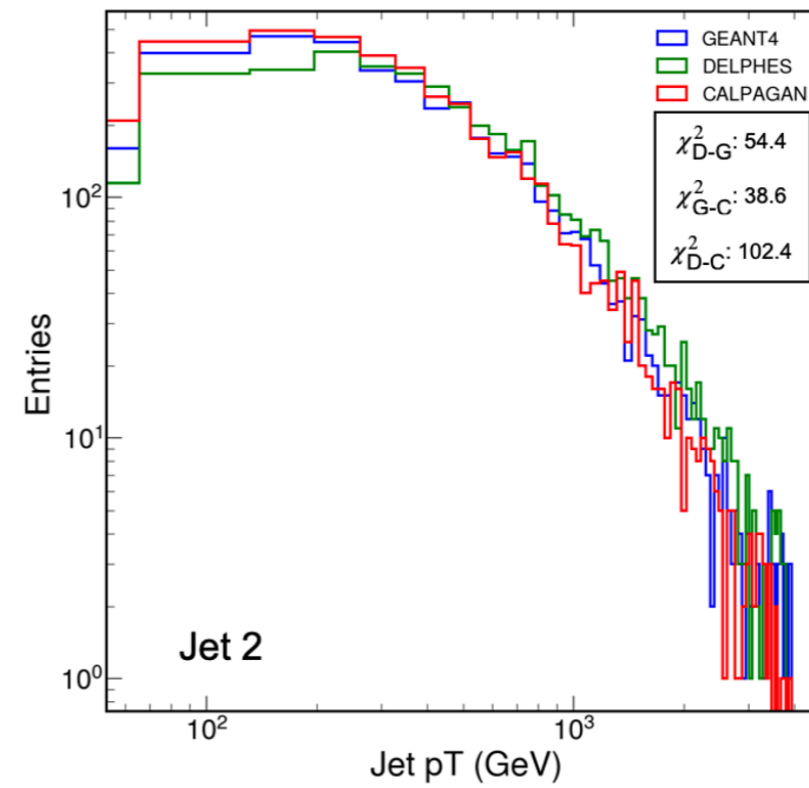
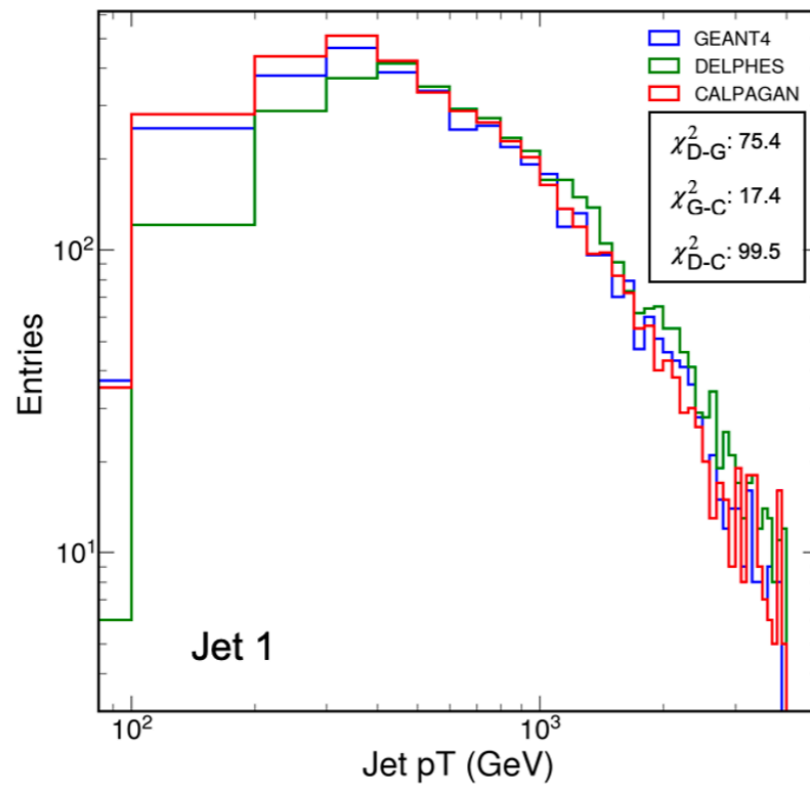


Jet İki Nokta Momenti

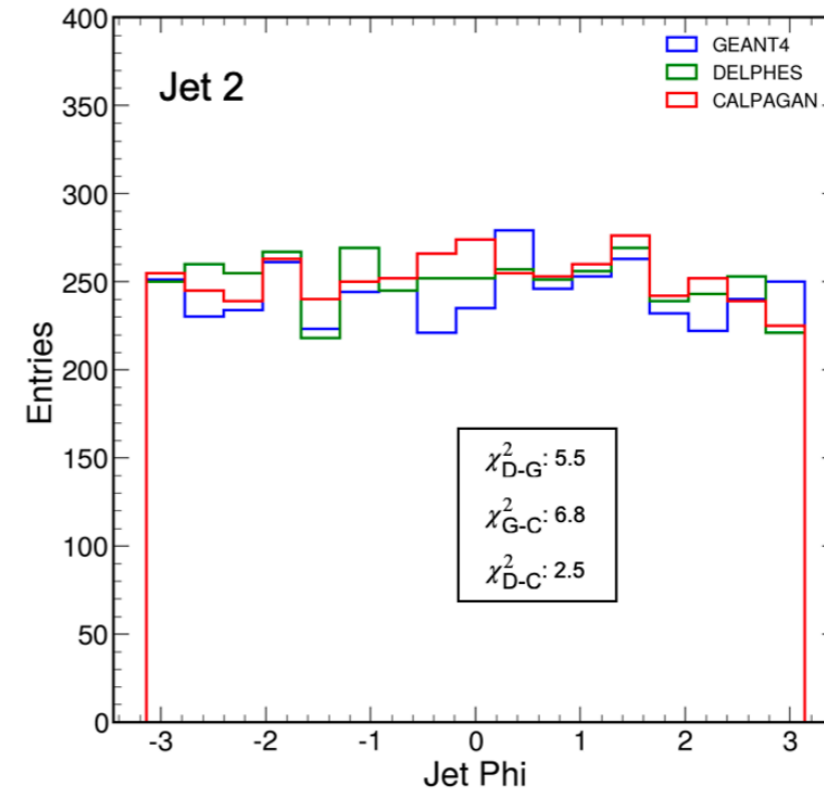
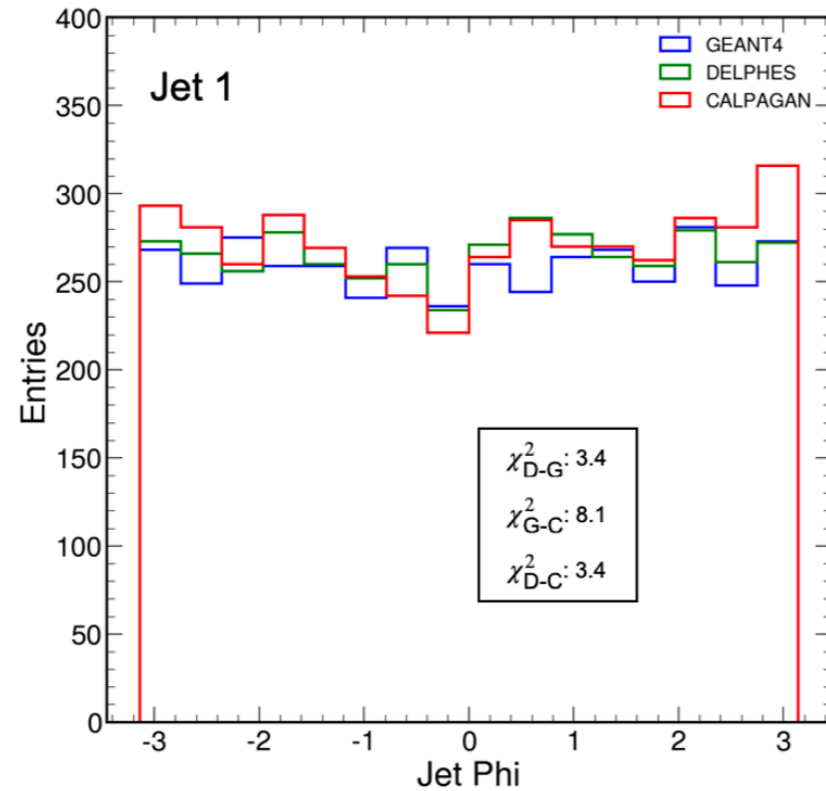
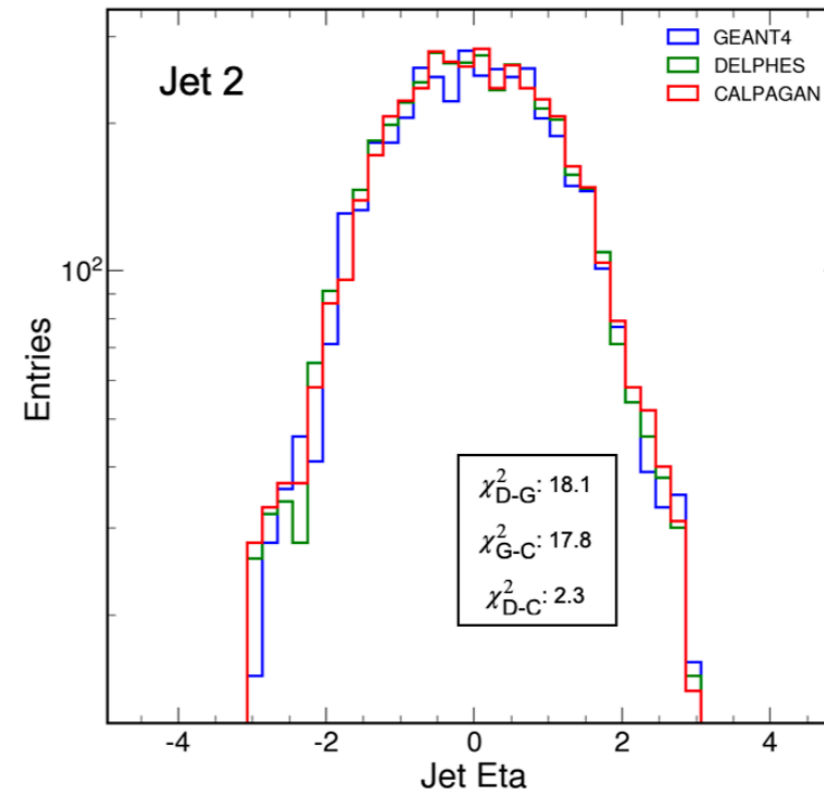
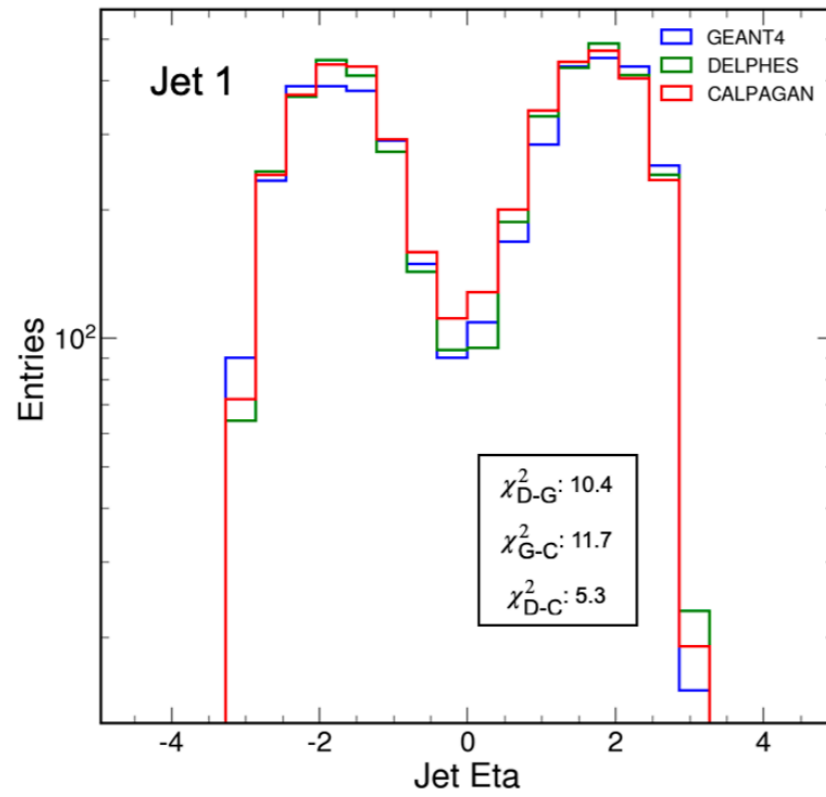
$$T_\beta = \frac{1}{(p_T^{\text{jet}})^2} \sum_{i \in \text{jet}} \sum_{j \in \text{jet}} p_T^i p_T^j \Delta R^\beta$$



Jet p_T , jet kütlesi vb.



Jet p_T , jet kütlesi vb.



CALPAGAN BAŞARIMI - Özet

W+Jetler

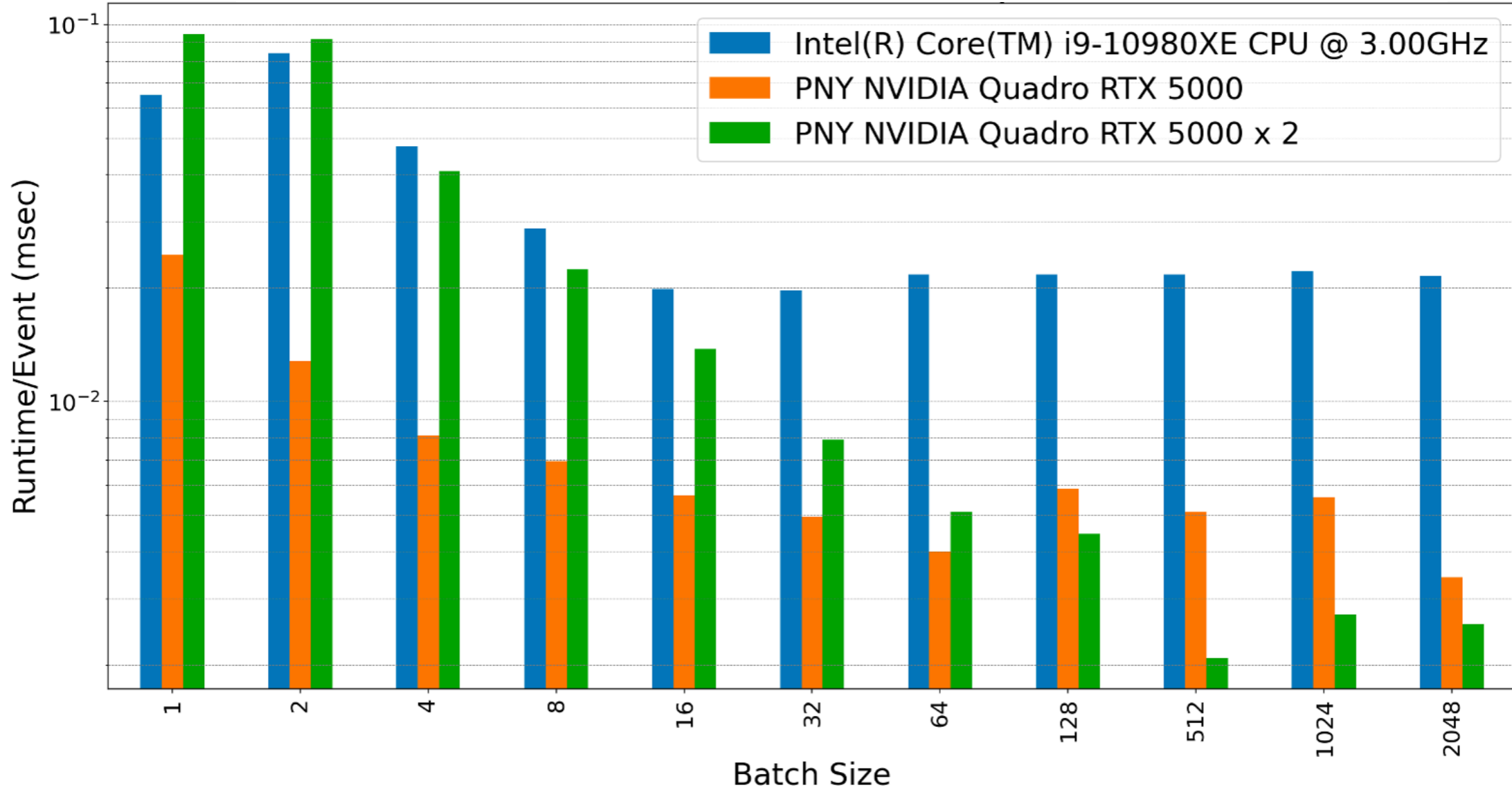
	χ^2 uzaklıkları					
	Delphes-GEANT4		GEANT4-CALPAGAN		DELPHEES-CALPAGAN	
	Jet 1	Jet 2	Jet 1	Jet 2	Jet 1	Jet 2
1-subjettiness	179.0	140.3	118.0	99.3	83.1	71.5
2-subjettiness	431.0	400.3	259.5	238.4	137.2	157.1
Jet girth	190.6	174.7	80.7	89.0	93.7	77.7
İki-nokta momenti	245.6	207.4	102.6	88.0	114.5	80.4
Jet p_T	75.4	54.4	17.4	38.6	99.5	102.4
Jet m_{mass}	65.2	58.3	62.5	52.4	73.0	86.9
Jet η	10.4	18.1	11.7	17.8	5.3	2.3
Jet ϕ	3.4	5.5	8.1	6.8	3.4	2.5
$\Delta\eta$	9.3		17.3		16.1	
$\Delta\phi$	24.8		15.7		11.5	

Dijet

	χ^2 uzaklıkları					
	Delphes-GEANT4		GEANT4-CALPAGAN		DELPHEES-CALPAGAN	
	Jet 1	Jet 2	Jet 1	Jet 2	Jet 1	Jet 2
1-subjettiness	179.0	140.3	137.0	94.5	245.9	88.1
2-subjettiness	431.0	400.3	158.4	242.2	342.6	147.5
Jet girth	190.6	174.7	172.3	77.7	302.4	84.3
İki-nokta momenti	245.6	207.4	132.5	85.1	310.5	86.2
Jet p_T	75.4	54.4	62.8	44.4	207.3	89.3
Jet m_{mass}	65.2	58.3	47.9	44.8	54.7	55.3
Jet η	10.4	18.1	19.0	20.5	6.5	13.2
Jet ϕ	3.4	5.5	3.0	7.4	1.2	4.1
$\Delta\eta$	12.0		10.5		13.7	
$\Delta\phi$	14.3		23.5		24.5	

Hızlandırma Çarpanı

CPU, Tek GPU ve Çift GPU İçin Olay Başına Çıkarımı



CALPAGAN 2 GPU ile 10^{-4} saniye mertebesinde olay resmi üretebilmektedir. GEANT4 ile CMS'te gerçekleşen bir olay benzetiminin 10 saniye mertebesinde olduğu göz önünde bulundurulduğunda istenile 10.000x hızlandırma faktörüne ulaşıldığı söylenebilir*.

*bu tip bir karşılaştırmanın doğrudan yapılabilmesi için öne sürülen modelin Geant4 benzetiminin sunduğu bütün çıktıları sağlaması gerekir.

TEŞEKKÜRLER