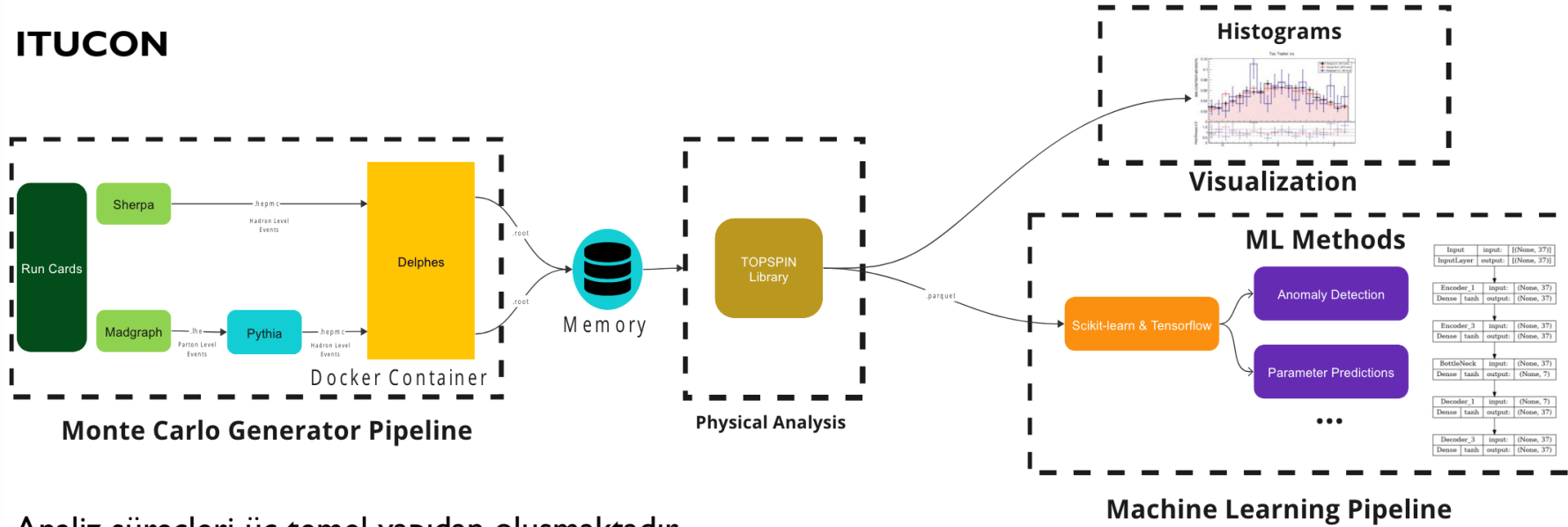


Anomali Tespiti yöntemi ile Üst Kuark Spin Polarizasyonları ve Korelasyonları kullanılarak Standart Model ve Standart Model Ötesi Olayların Tespiti

19.05.2024

Açelya Deniz Güngördü, Altan
Çakır, Dorukhan Boncukçu, M.
Ekim Vural

ITUCON



Analiz süreçleri üç temel yapıdan oluşmaktadır.

- Monte Carlo Üretimi Süreçleri
- Fiziksel Analiz
- Makine Öğrenimi İşlem Süreçleri



Top Quark Nedir ?

- Top kuark, zayıf CP ihlalini açıklamak için 1973 yılında ortaya atılmıştır
- 1995 Tevatron'da keşfedilmiştir.

Standard Model of Elementary Particles

three generations of matter (fermions)

	I	II	III		
mass	≈2.2 MeV/c ²	≈1.28 GeV/c ²	≈173.1 GeV/c ²	0	≈125.09 GeV/c ²
charge	2/3	2/3	2/3	0	0
spin	1/2	1/2	1/2	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H Higgs
QUARKS					SCALAR BOSONS
	≈4.7 MeV/c ²	≈96 MeV/c ²	≈4.18 GeV/c ²	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	≈0.511 MeV/c ²	≈105.66 MeV/c ²	≈1.7768 GeV/c ²	≈91.19 GeV/c ²	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
LEPTONS				GAUGE BOSONS	
	<2.2 eV/c ²	<1.7 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	≈80.39 GeV/c ²	
	0	0	0	±1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	

CMS YAYINLARI

Top Physics Publications			Spin Correlation and Top Polarization	
101	TOP-18-006	Measurement of the top quark polarization and $t\bar{t}$ spin correlations using dilepton final states in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV	PRD 100 (2019) 072002	2019-10-09
51	TOP-14-023	Measurements of $t\bar{t}$ spin correlations and top quark polarization using dilepton final states in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV	PRD 93 (2016) 052007	2016-03-09
50	TOP-13-015	Measurement of spin correlations in $t\bar{t}$ production using the matrix element method in the muon+jets final state in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV	PLB 758 (2016) 321	2016-07-10
27	TOP-13-003	Measurements of $t\bar{t}$ spin correlations and top-quark polarization using dilepton final states in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV	PRL 112 (2014) 182001	2014-05-05

<https://cms-results.web.cern.ch/cms-results/public-results/publications/TOP/SPINCORR.html>

ATLAS yayınları

Spin correlation measurement at 13 TeV	TOPQ	Eur. Phys. J. C 80 (2020) 754	2019-03-18	13	36 fb ⁻¹	Documents 1903.07570 Inspire Internal
Measurements of top quark spin observables in dilepton ttbar events at 8 TeV	TOPQ	JHEP 03 (2017) 113	2016-12-21	8	20 fb ⁻¹	Documents 1612.07004 Inspire Internal
Measurement of lepton polar angle correlations from ttbar decays in the helicity basis at 7 TeV	TOPQ	Phys. Rev. D 93 (2016) 012002	2015-10-26	7	5 fb ⁻¹	Documents 1510.07478 Inspire HepData Internal
Measurement of spin correlation in ttbar events and search for stop at 8 TeV	TOPQ	Phys. Rev. Lett. 114 (2015) 142001	2014-12-15	8	20 fb ⁻¹	Documents 1412.4742 Inspire Internal
Measurements of spin correlation in ttbar events at 7 TeV	TOPQ	Phys. Rev. D 90 (2014) 112016	2014-07-16	7	5 fb ⁻¹	Documents 1407.4314 Inspire Internal
Observation of spin correlation in ttbar events at 7 TeV	TOPQ	Phys. Rev. Lett. 108 (2012) 212001	2012-03-19	7	2.1 fb ⁻¹	Documents 1203.4081 Inspire Internal

<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/AtlasPublic/Publications>

Özellikler:

- Yük
- Kütle
- Genişlik
- **Spin ve Polarization**
- Coupling

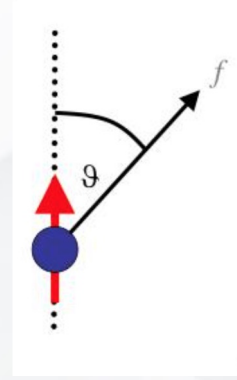
Top kuark diğerlerinden farklı olarak, son derece kısa ömrü nedeniyle (hadronlaşmadan önce bozunur), daha kararlı parçacıklar gibi spinini "ölçmenin" kavramı doğrudan gerçekleştirilemez.

Spin korelasyon

Top kuarkların spinleri arasındaki etkileşimlerin sonucu olarak ortaya çıkabilir, kuantum mekaniği prensiplerine dayanır.

Örneğin, bir çift parçacığın üretimi sırasında, bu parçacıkların spinleri birbirine bağlı olabilir ve bu nedenle birbirleriyle belirli bir şekilde ilişkilidir.

Top kuarklar, üretildikleri çarpışma anında yüksek enerjili olup, hızla diğer parçacıklara dönüşerek yıkılırlar. Bu yıkım sürecinde, top kuarklarının spinleriyle ilişkili olarak çeşitli parçacıklar yayılır. Bu yayılım ürünlerinin dağılımı, top kuarkların spinlerinin yönüyle ilişkilendirilebilir. Bu da, top kuark spin korelasyonunu oluşturur.



Polarizasyon, bozunum ürünlerinin açısal dağılımı yoluyla incelenebilir!

Polarizasyon

Top kuarkların üretildiği çarpışmalar sırasında sahip olduğu spinlerin belirli bir yönde hizalanmasıdır.

Bu yıkım sürecinde, top kuarkların spin yönelimi, yıkım ürünlerinin dağılımıyla ilişkilendirilebilir.

Top kuarklarının spin polarizasyonu, genellikle yıkım ürünlerinin belirli bir açıya göre dağılımı aracılığıyla ölçülür.

Örneğin, top kuarklarının üretilip yıkıldığı çarpışmaların sonucunda çıkan diğer parçacıkların yönleri analiz edilir ve bu yönlerin top kuark spinlerine göre dağılımı incelenir.

Spin Density Observables

$$i,j,k = \{\hat{k}, \hat{r}, \hat{n}\}$$

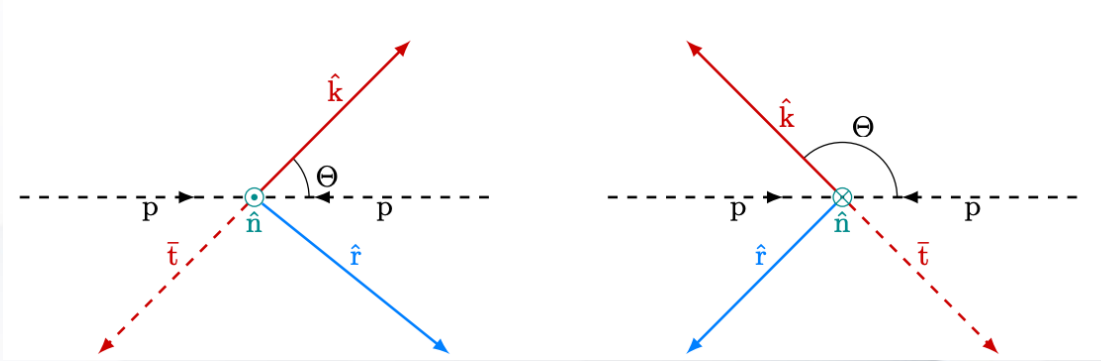
$$\hat{r} = (\hat{p} - \hat{k} \cos \Theta) / \sin \Theta$$

$$\hat{n} = (\hat{p} \times \hat{k}) / \sin \Theta$$

1,2= Lepton directions in parent top quark's zero momentum frame (ZMF)

19 Total:

- $\cos \theta_1^i$ for measuring polarizations $B_{1,2}^i$
- $\cos \theta_1^i \cos \theta_2^i$ for measuring diagonal spin correlations C_{ii}
- $\cos \theta_1^i \cos \theta_2^j \pm \cos \theta_1^j \cos \theta_2^i$ for measuring cross spin correlations $C_{ij} \pm C_{ji}$
- $\cos \varphi = \hat{\ell} \cdot \bar{\ell}$ for measuring $\frac{-1}{3} \text{Tr}(\vec{C})$
- Lab frame angular distributions:
 - $\cos \varphi_{\text{lab}}$
 - $|\Delta \phi_{\ell \bar{\ell}}|$ and $|\Delta \eta_{\ell \bar{\ell}}|$



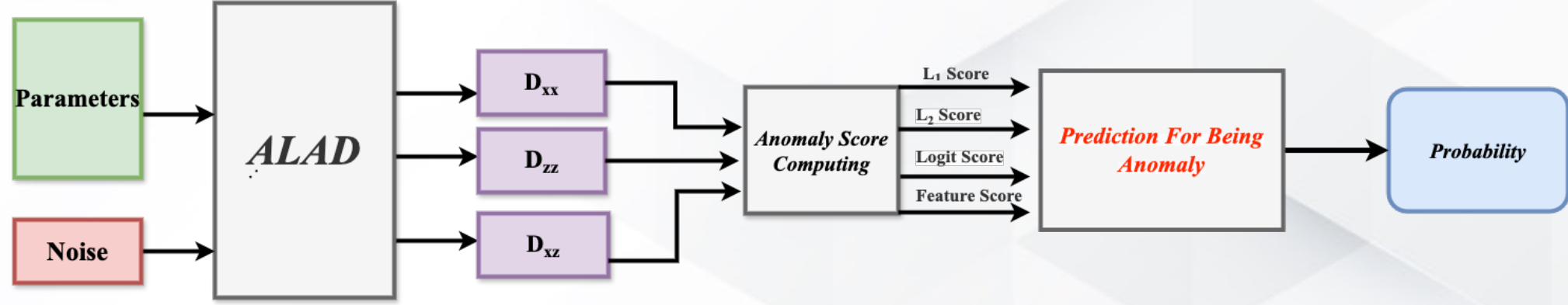
İTÜ



250TH
YEAR
1773-2023

Makine Öğrenmesi

Adversarially Learned Anomaly Detection (ALAD)

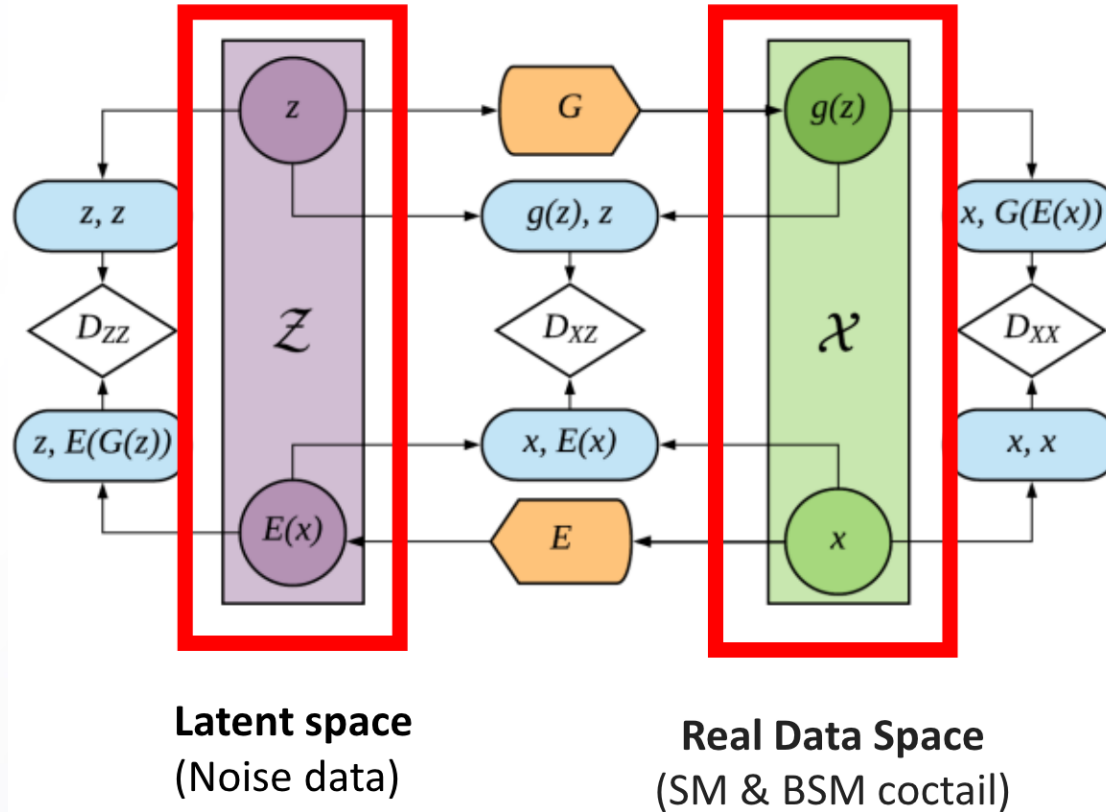


Karşıtlık Öğretilmiş Anomali Tespiti (ALAD), verilen bir olay setinin GAN (General Adversarial Network) tarafından yeniden yapılandırılmasından ne kadar uzakta olduğunu değerlendiren, yeniden yapılandırma tabanlı bir anormallik algılama yöntemidir.

Normal olayların doğru bir şekilde yeniden yapılandırılması gerekirken, anormallik içeren olaylar kötü bir şekilde yeniden yapılandırılması beklenmektedir. Böylece denetimli öğrenme yöntemleri kullanılarak anormallik olup olmadığının tahmin edilmesi için kullanılan anormallik puanları elde edilir.

Gizli Uzay (Latent Space)

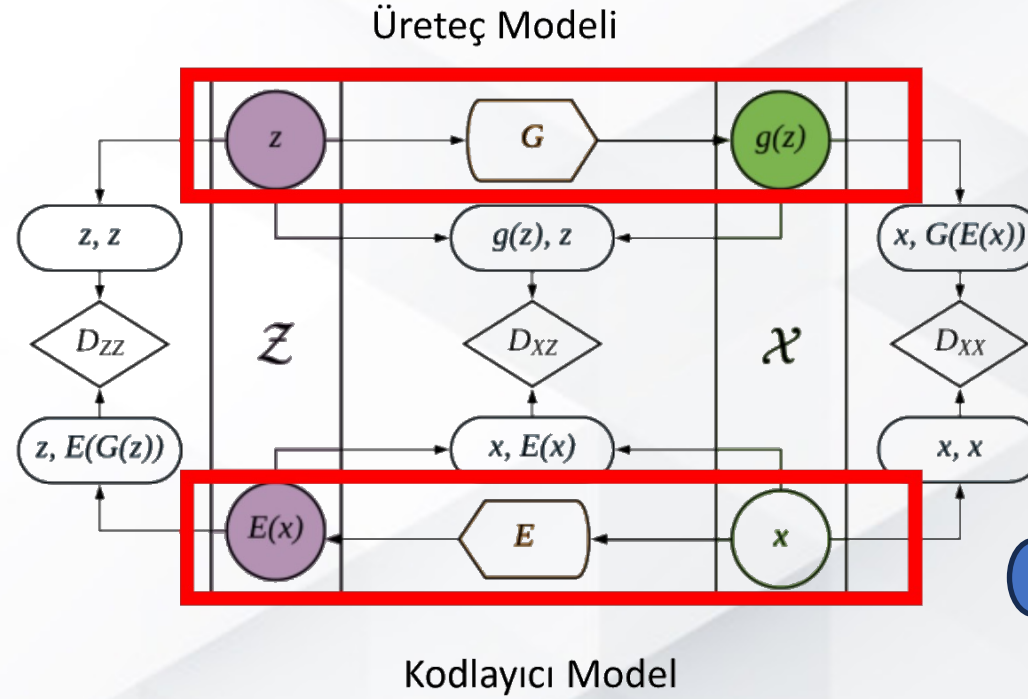
Üretken mimarilerde, üretmeyi amaçlanan verilerin temel dağılımını yakalamak ve temsil etmek için kullanılan Gizli Alan



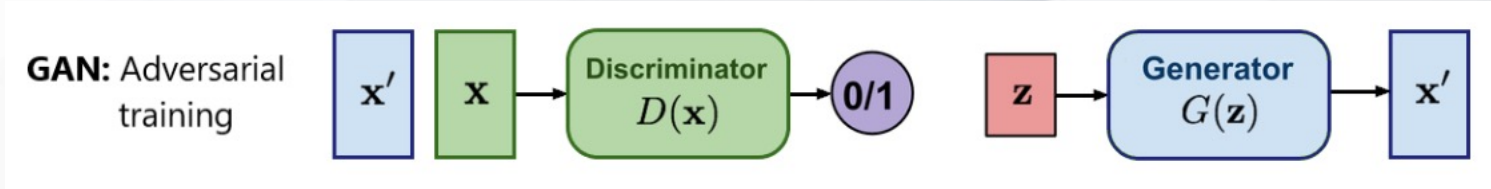
Gerçek Veri Uzayı (Real data space)

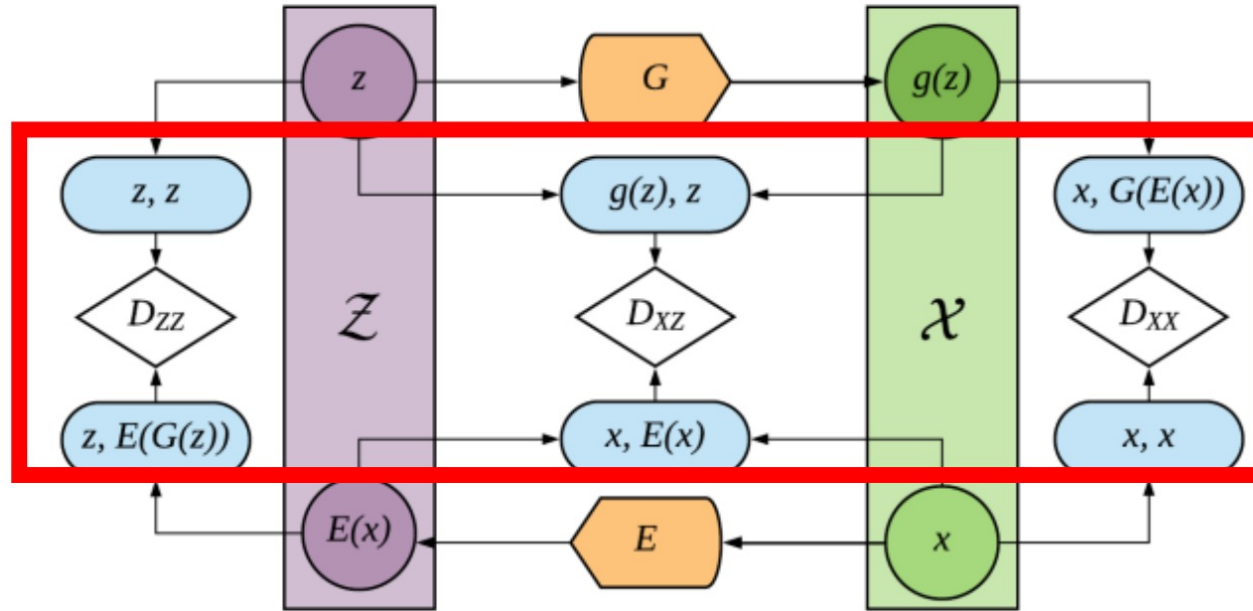
Gerçek veri alanı, gerçek veri örneklerinin bulunduğu yüksek boyutlu alanı ifade eder.

● Jeneratör “G” ile gösterilir. Gizli bir “z” değişkeni alır ve “G(z)”(latent) çıktısı üretir



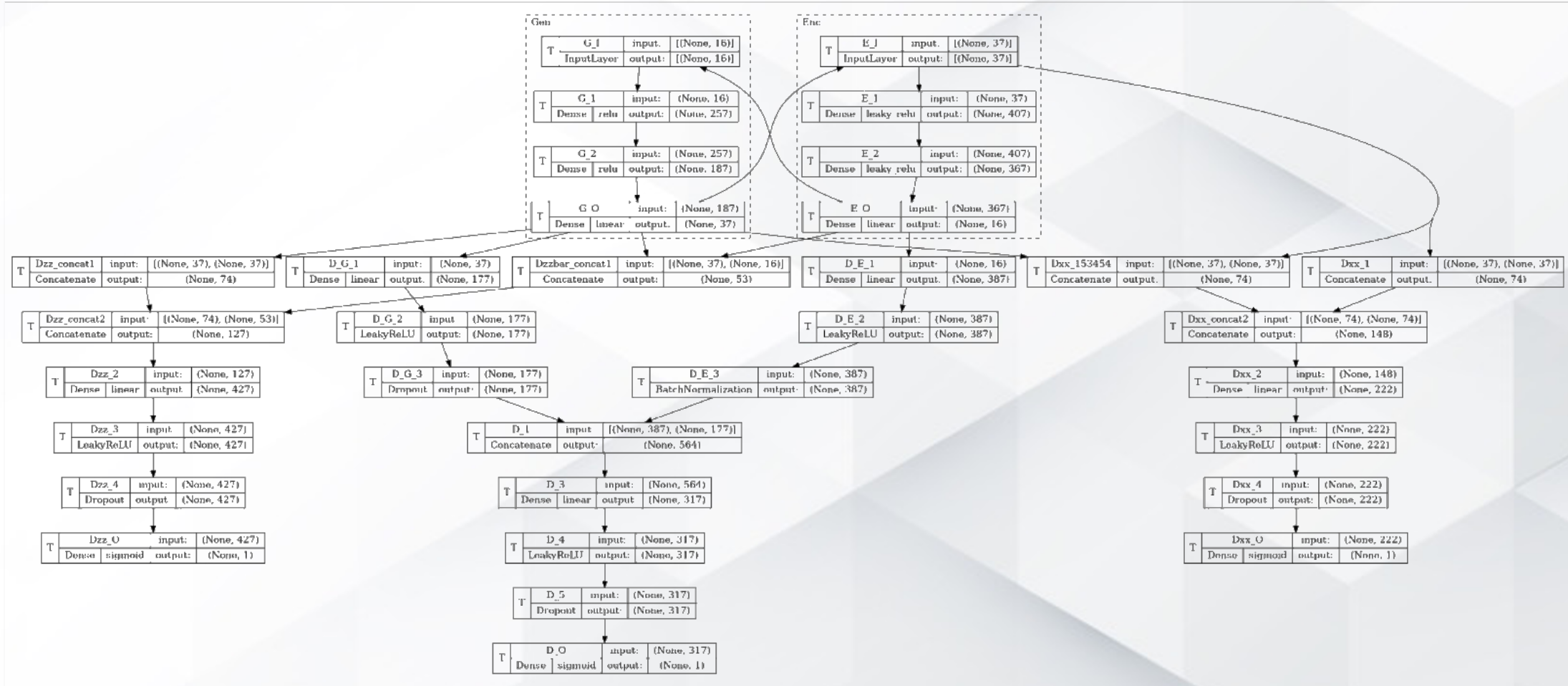
● Kodlayıcı “E” ile gösterilir. Gerçek veri “x”i gizli uzaya eşleyerek “E(x)” (encoded) üretir





Gerçek veri örnekleri " x " ile oluşturulan örnekler " $G(E(x))$ " arasında ayrım yapan D_{xx} ayırıcı modeli. D_{xz} ayırıcı modeli, kodlanmış gerçek veri " $E(x)$ " ile gizli değişken " z " arasında ayrım yapar. Gizli değişken " z " ile oluşturulan başka bir gizli gösterim " $E(G(z))$ " arasında ayrım yapan D_{zz} Ayırıcı.

- L_1 : $A(x) = \|x - x'\|_1$
- L_2 : $A(x) = \|x - x'\|_2$
- Logits : $A(x) = \log(D_{xx}(x, x'))$
- Features : $A(x) = \|f_{xx}(x, x) - f_{xx}(x, x')\|_1$



- Üst kuark spin polarizasyon ve korelasyon gözlemlenebilirleri kullanarak standart model ve standart model ötesi veri örneklerini derin öğrenme yöntemleri ile tahminlemeye çalışılmaktadır.
- Karşıklık öğretilmiş anomali tespiti algoritması kullanılmaktadır.
- Standart modele ait örneklerin yeniden yapılandırma kayıplarının az iken Standart modelin ötesi örneklerin yeniden yapılandırma kayıplarının yüksek olması beklenmektedir.

- Bernreuther, W., Heisler, D., & Si, Z. G. (2015). A set of top quark spin correlation and polarization observables for the LHC: Standard Model predictions and new physics contributions. *Journal of High Energy Physics*, 2015(12), 1-36
- Zenati, H., Romain, M., Foo, C. S., Lecouat, B., & Chandrasekhar, V. (2018, November). Adversarially learned anomaly detection. In *2018 IEEE International conference on data mining (ICDM)* (pp. 727-736). IEEE.
- Zhang, X., Mu, J., Zhang, X., Liu, H., Zong, L., & Li, Y. (2022). Deep anomaly detection with self-supervised learning and adversarial training. *Pattern Recognition*, 121, 108234.