

یادگیری ماشین کوانتومی به عنوان ابزاری برای تشخیص منشأ جت‌های خیزیافته در فیزیک ذرات تجربی

پریچهر کنگازیان^۱، عبیده جعفری^۱، حامد بخشیان^۱، Morizio Pierini^۲

^۱دانشگاه صنعتی اصفهان

^۲سازمان پژوهش‌های هسته‌ای اروپا (CERN)

بهمن ۱۴۰۴

مسئله‌ی ما:

تشخیص $Z \rightarrow b\bar{b}$ خیز یافته از $g \rightarrow b\bar{b}$ خیز یافته با یادگیری ماشین کوانتومی

□ چرا Z ؟

□ احساس نیاز به مدل جدید به دلیل نواقص مدل استاندارد

□ امکان وجود یک نظریه در انرژی‌های بالاتر

□ مدل استاندارد در غالب یک نظریه‌ی موثر

□ راه‌های گشتن: اندازه‌گیری دقیق برای مدل استاندارد یا

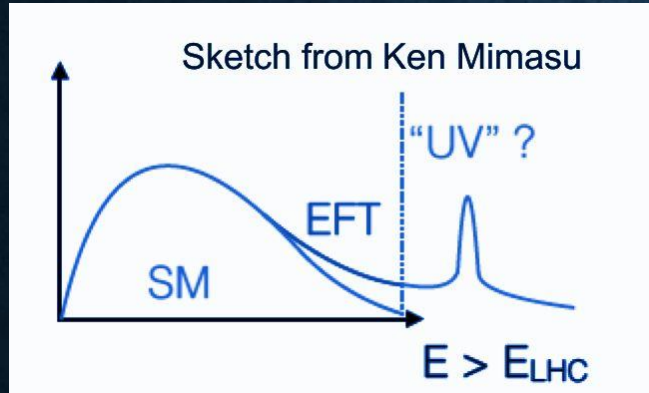
جست‌وجوی مستقیم

□ حساسیت فیزیک فرای مدل استاندارد به برهمکنش‌های Z

□ مثل ضرایب موجود در CFT مرتبط با جفت‌شدگی کوارک تاپ و Z

مسئله‌ی ما:

تشخیص $Z \rightarrow b\bar{b}$ خیز یافته از $g \rightarrow b\bar{b}$ خیز یافته با یادگیری ماشین کوانتومی



□ چرا خیز یافته؟

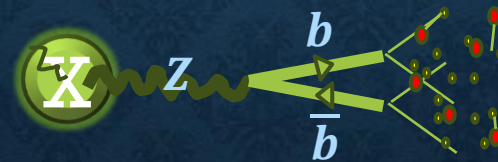
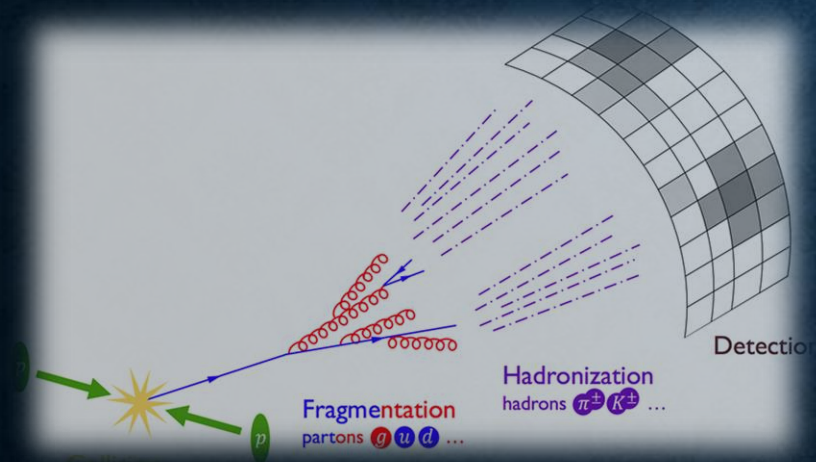
□ امکان وجود یک نظریه در انرژی‌های بالاتر

□ کشف فیزیک جدید ← نیاز به مطالعه‌ی جت‌های

پرانرژی (خیز یافته) و شناسایی منشأ آن‌ها

□ چالش ۱: آمار کم در انرژی‌های بالا

□ چالش ۲: پیچیدگی شدید داده‌ها به دلیل ادغام محصولات



مسئله‌ی ما:

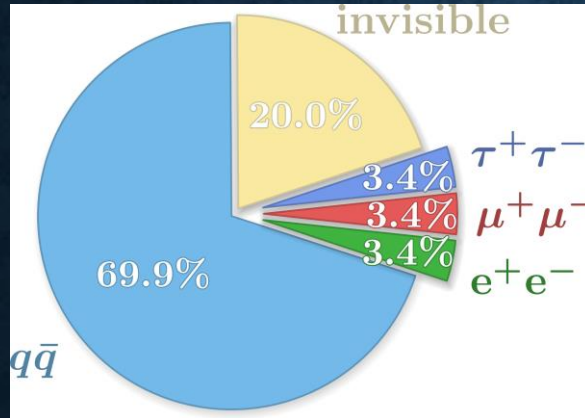
تشخیص $Z \rightarrow b\bar{b}$ خیز یافته از $g \rightarrow b\bar{b}$ خیز یافته با یادگیری ماشین کوانتومی

چرا $Z \rightarrow b\bar{b}$ ؟ □

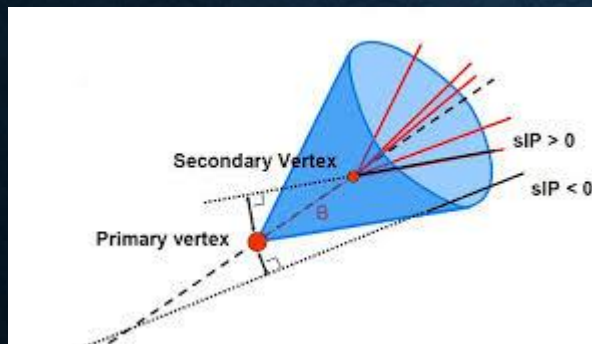
□ پاسخ چالش ۱: آمار کم در انرژی‌های بالا

□ نسبت واپاشی شاخه‌ای بالای $Z \rightarrow q\bar{q}$

□ جت‌های کوارک b متمایزند



نسبت واپاشی‌های مختلف بوزون Z



مسئله‌ی ما:

تشخیص $Z \rightarrow b\bar{b}$ خیز یافته از $g \rightarrow b\bar{b}$ خیز یافته با یادگیری ماشین کوانتومی

□ چرا یادگیری ماشین؟

□ پاسخ چالش ۲: پیچیدگی شدید داده‌ها به دلیل

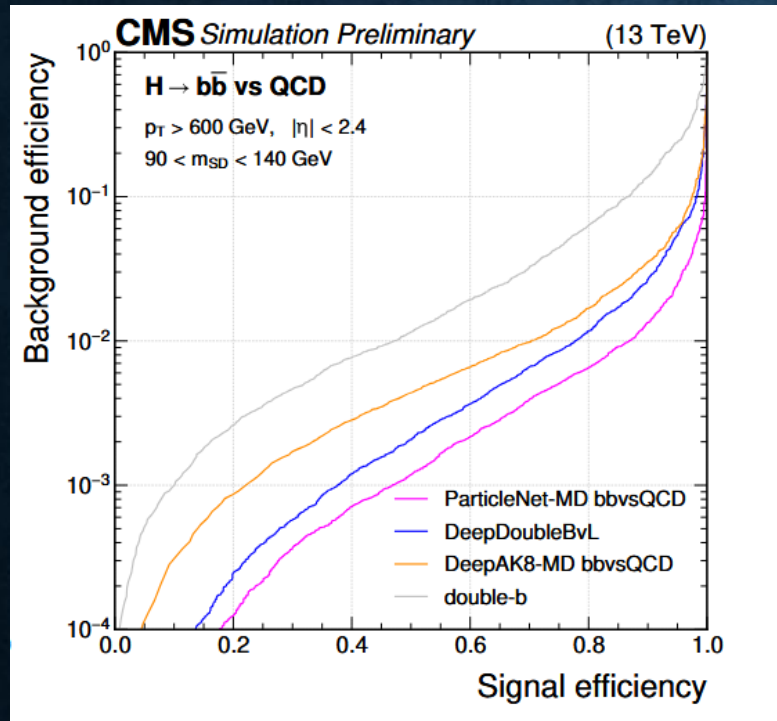
ادغام محصولات

□ یادگیری ماشین

□ الگوریتم‌ها برای شناسایی جت‌های خیز یافته در LHC:

□ ParticleNet (در ادامه از آن استفاده می‌کنیم)

□ ترنسفورمرها



مسئله‌ی ما:

تشخیص $Z \rightarrow b\bar{b}$ خیز یافته از $g \rightarrow b\bar{b}$ خیز یافته با

یادگیری ماشین کوانتومی

چرا کوانتوم؟

یادآوری راه حل: یادگیری ماشین

کلاسیک یا کوانتومی؟ مسئله این است

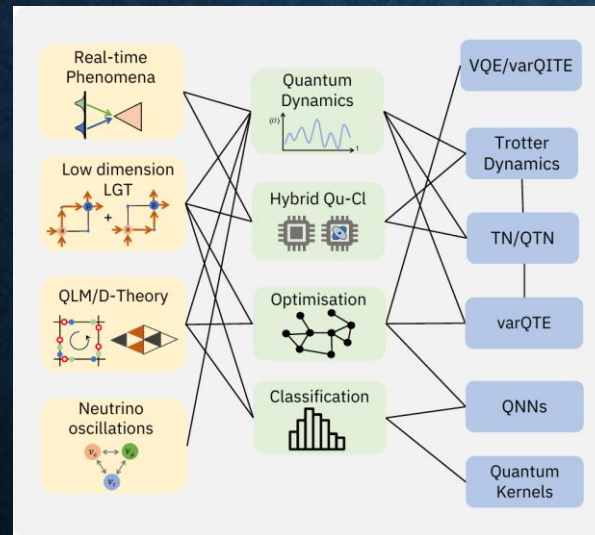
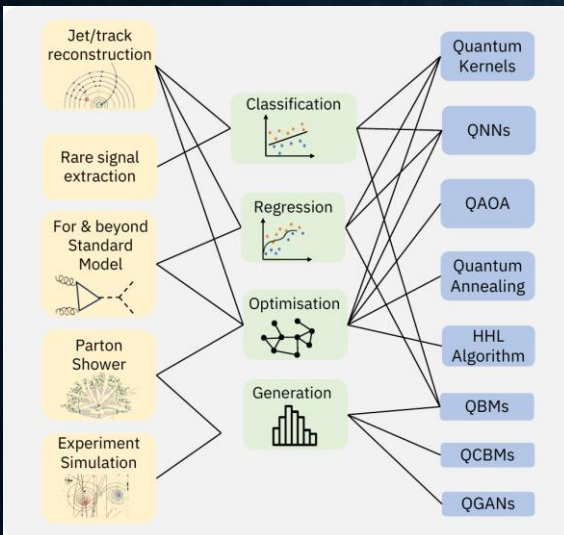
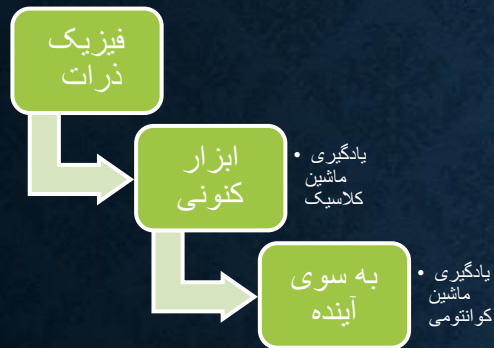
نیاز به مطالعه‌ی الگوریتم‌های کوانتومی

انگیزه:

افزایش روزافزون داده‌های تولید شده در سرن

نیاز به پردازش سریع‌تر

امید به کشف همبستگی‌های جدید بین داده‌ها



مسئله‌ی ما:

تشخیص $Z \rightarrow b\bar{b}$ خیزیافته از $b\bar{b}$ خیزیافته با یادگیری ماشین کوانتومی

□ روش مطالعه

□ شبیه‌سازی مدارهای کوانتومی

□ انجام فرایند یادگیری با استفاده از این مدارها

□ چالش

□ تعداد کم کیوبیت‌ها

□ ابعاد بسیار زیاد داده‌ها در فیزیک ذرات

□ نیاز به کاهش بعد

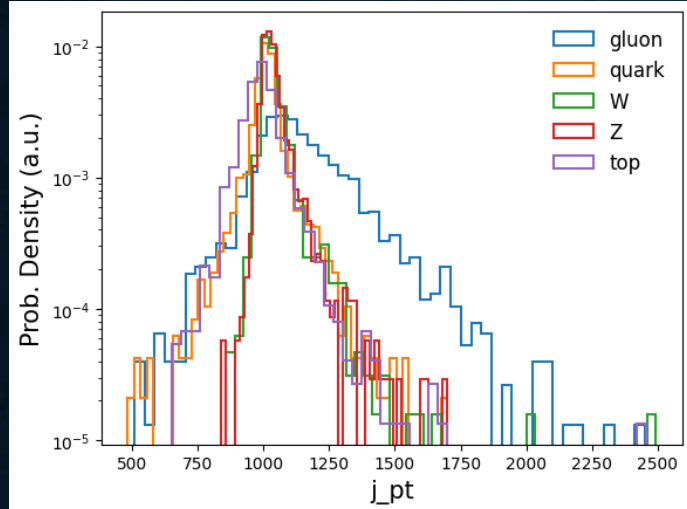
□ آموزش بر روی داده‌های کاهش بعد یافته





پیش پردازش و بازآرایی

مجموعه داده‌ها



مقایسه‌ی توزیع تکانه‌ی عرضی جت‌ها با
منشأ گلوئون، بوزون Z و W و کوارک
تاپ و دیگر کوارک‌ها

□ ۲۰ هزار جت با حداقل تکانه‌ی عرضی 200 GeV
با منشأ گلوئون و بوزون Z

□ هر جت به طور متوسط ۱۰۰ ذره دارد

□ هر ذره ۱۶ ویژگی دارد

□ انرژی و انرژی نسبی (نسبت به انرژی جت)

□ مولفه‌های بردار تکانه

□ تکانه‌ی عرضی و تکانه‌ی عرضی نسبی

□ مختصات‌های زاویه‌ای ϕ و η اصلی و نسبی و

مختصات‌های زاویه‌ای چرخیده به طوری که محور

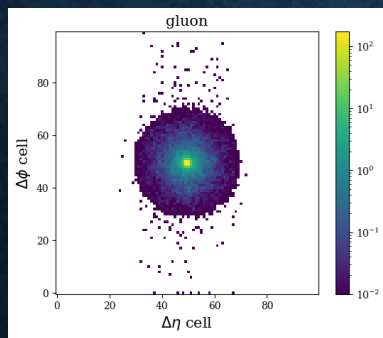
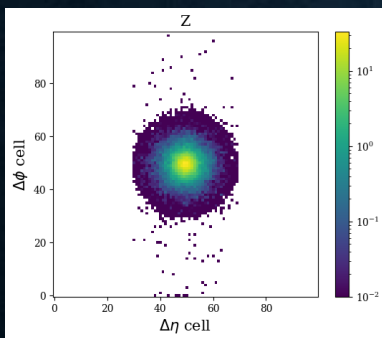
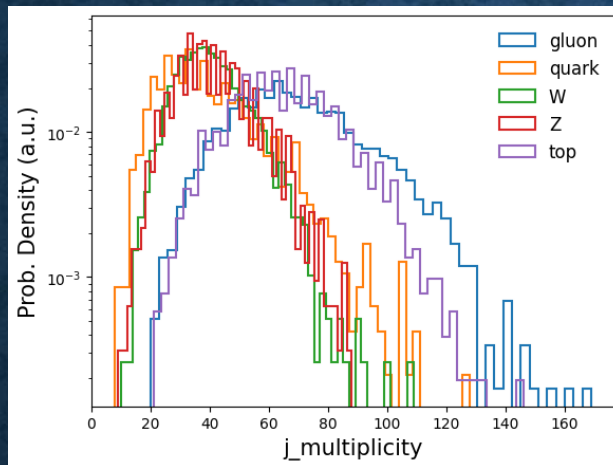
جت بردار ϕ باشد

□ فاصله‌ی ذره نسبت به مرکز جت در مختصات ϕ و η

□ $\cos \theta_{rel}$ و $\cos \theta$

□ بعد داده‌های اولیه 16×100

تعداد ذرات درون جت‌های
ذکر شده در عکس بالا



تصاویر جت با منشأ گلوئون و بوزون Z

بازآرایی

□ هدف

□ آماده سازی داده

□ گام اول:

□ انتخاب ۱۰ ذره پر انرژی جت

□ گام دوم:

□ مشخص کردن ۱۰ همسایه ی نزدیک هر کدام از این ذرات در مختصات η و ϕ

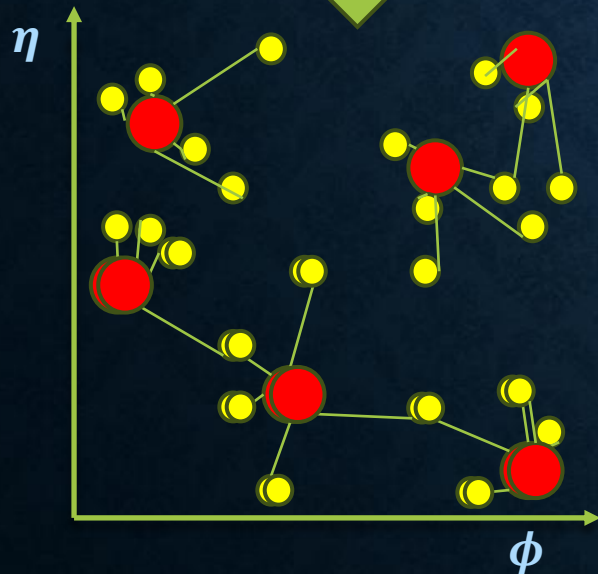
□ گام سوم:

□ محاسبه ی قدرمطلق اختلاف ویژگی همسایه ها نسبت به ذره ی پرانرژی مرکزی

□ بعد نهایی داده ها پس از بازآزایی 10×160

جت های
خیز یافته
 g و b

بازآرایی





فشرده سازی

فشرده سازی

□ هدف: سازگاری بعد داده های ورودی برای یک مدار ۱۰ کیوبیتی

□ بعد نهایی داده ها پس از فشرده سازی 10×4

□ روش فشرده سازی:

□ خودرمزنگارها

□ خودرمزنگار چیست؟

□ شبکه های عصبی شامل دو بخش:

□ رمزگذار

□ رمزگشا

□ معیار عمل کرد خودرمزنگارها:

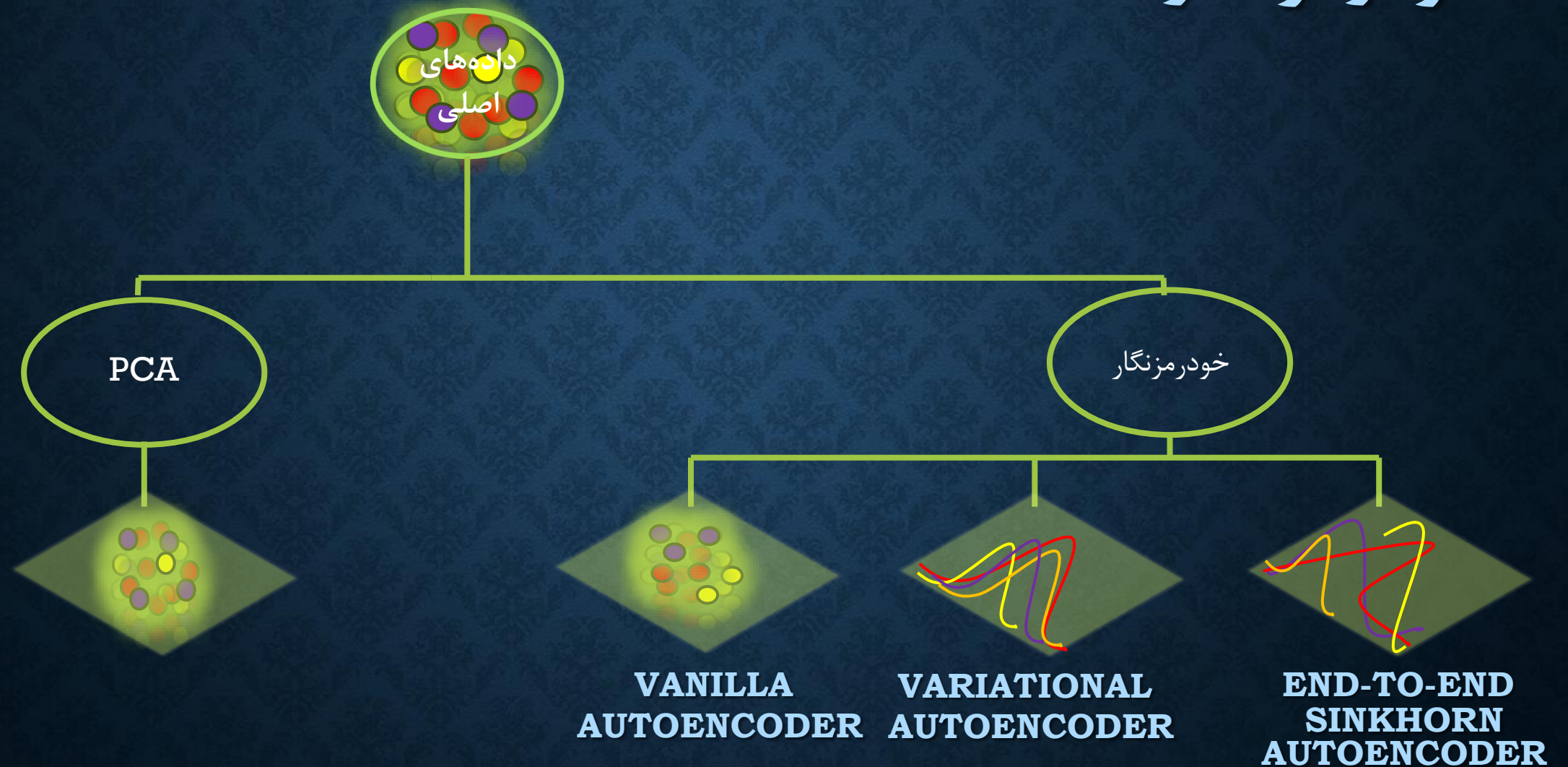
□ مقایسه با کیفیت فضای فشرده شده با الگوریتم **PCA**

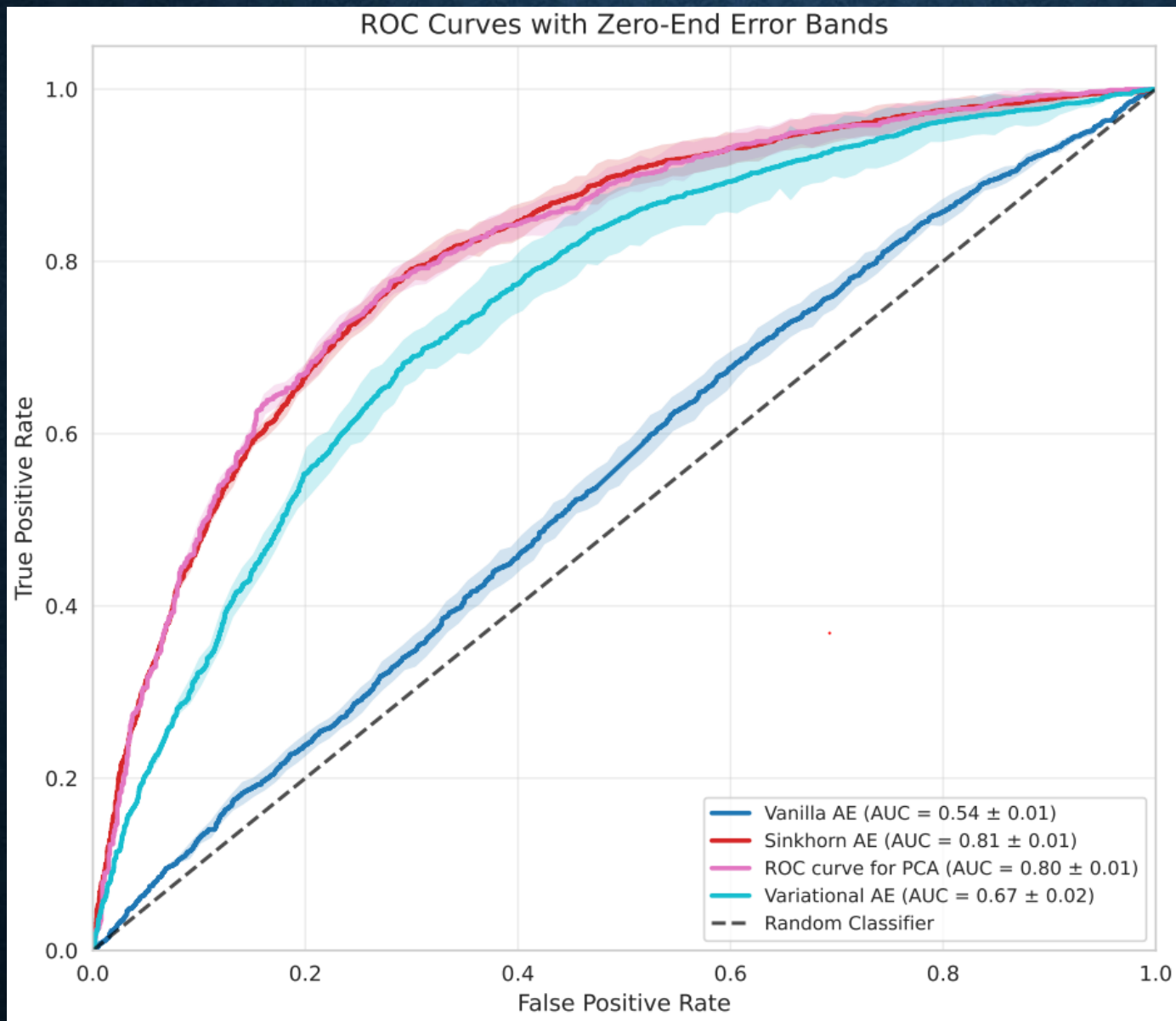
□ آموزش الگوریتم **ParticleNet** بر روی تمامی فضاهای فشرده و

مقایسه ی منحنی عمل کرد



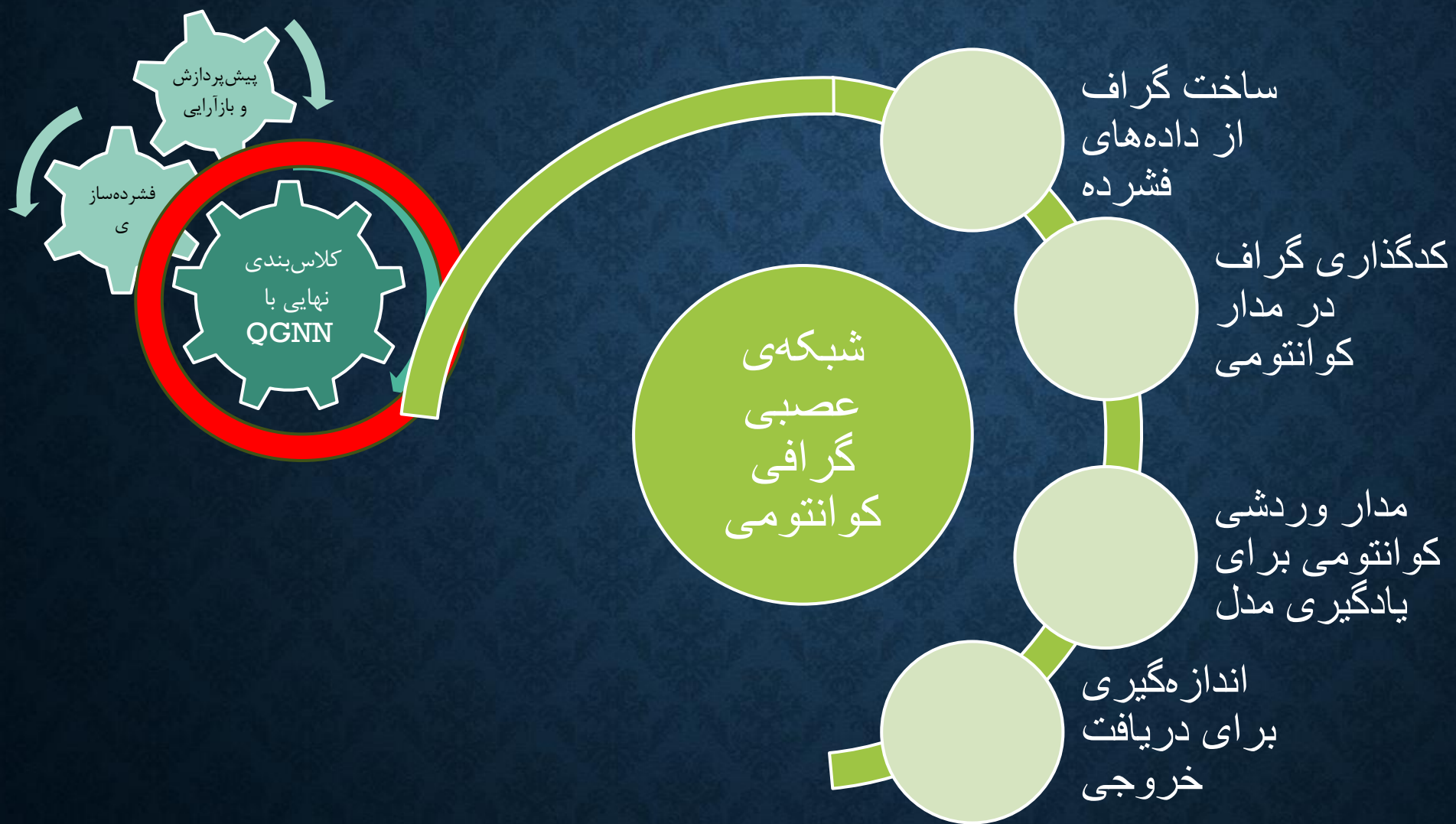
خودرمزنگارها







کلاس بندی نهایی با QGNN



ساخت گراف برای ورود به QGNN



□ یادآوری: بعد نهایی بعد از فشرده‌سازی 10×4

□ ساخت گراف

□ انتخاب سه هم‌سایه‌ی نزدیک بر حسب فاصله‌ی اقلیدسی

□ وصل کردن این هم‌سایه‌ها با یال به یک دیگر

□ وزن هر یال:

□ عکس فاصله اقلیدسی دو نقطه

کدگذاری رأس‌های گراف

□ روش بارگذاری پی در پی:

□ کدگذاری یک ویژگی با استفاده

از گیت **RX** بر روی هر کیوبیت

□ یک لایه مدار وردشی پارامتر

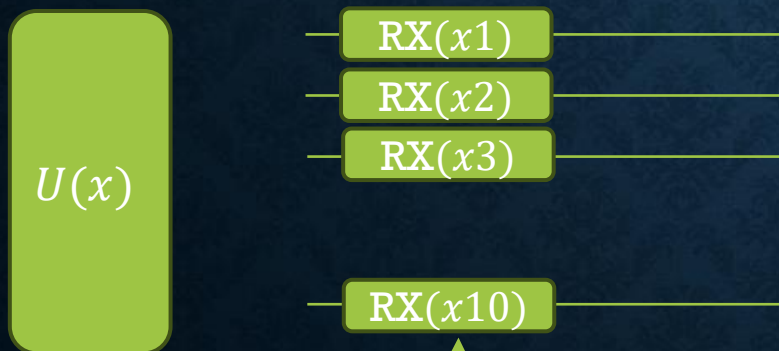
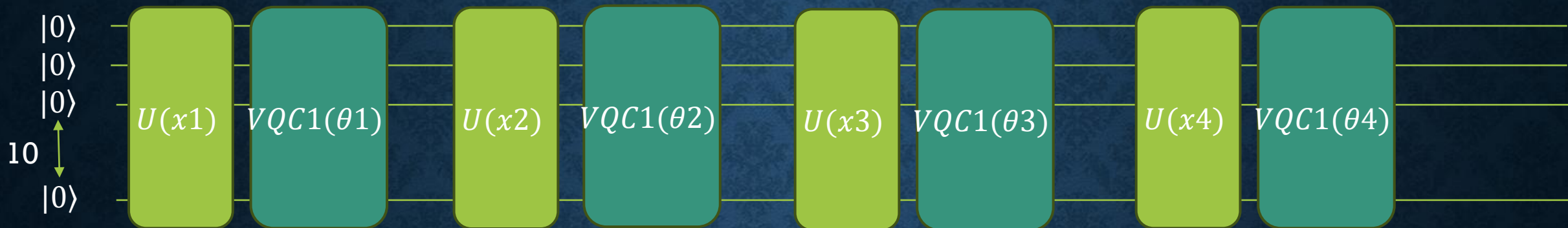
کوانتومی (مدار وردشی ۱)

□ تکرار مراحل بالا تا کدگذاری

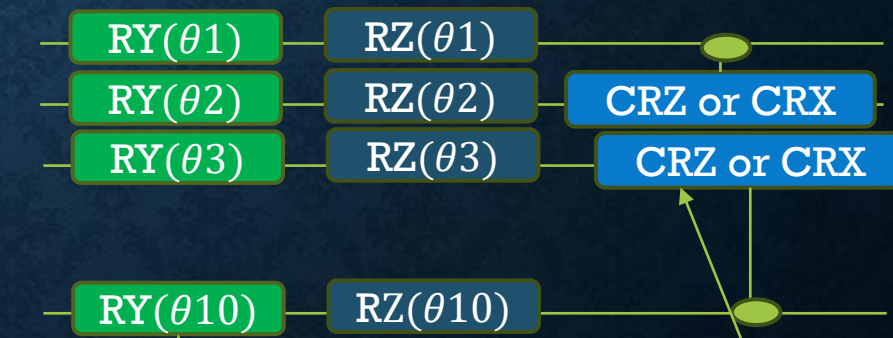
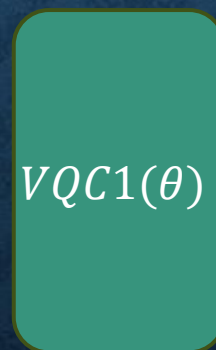
تمامی ۴ ویژگی



بارگذاری پی در پی



ویژگی‌های گره‌ها



پارامترهای آموزشی

اتصال بر اساس ساختار گراف

کدگذاری یال‌های گراف

□ کدگذاری یال‌های گراف در مدار
در غالب همیلتونی کلی مدار

$$H = \sum_{i,j>i} l_{ij} Z_i Z_j$$

□ اثر عملگر تحول زمانی مربوط به
این همیلتونی بر روی مجموعه
کیوبیت‌ها



ماشینی برای فهم داده‌های ورودی

□ یک مدار وردشی دیگر (مدار وردشی ۲)

□ حدس پارامترهای اولیه

□ تغییر پارامترها با استفاده از الگوریتم‌های کاهش گرادیان



$VQC2(\theta)$

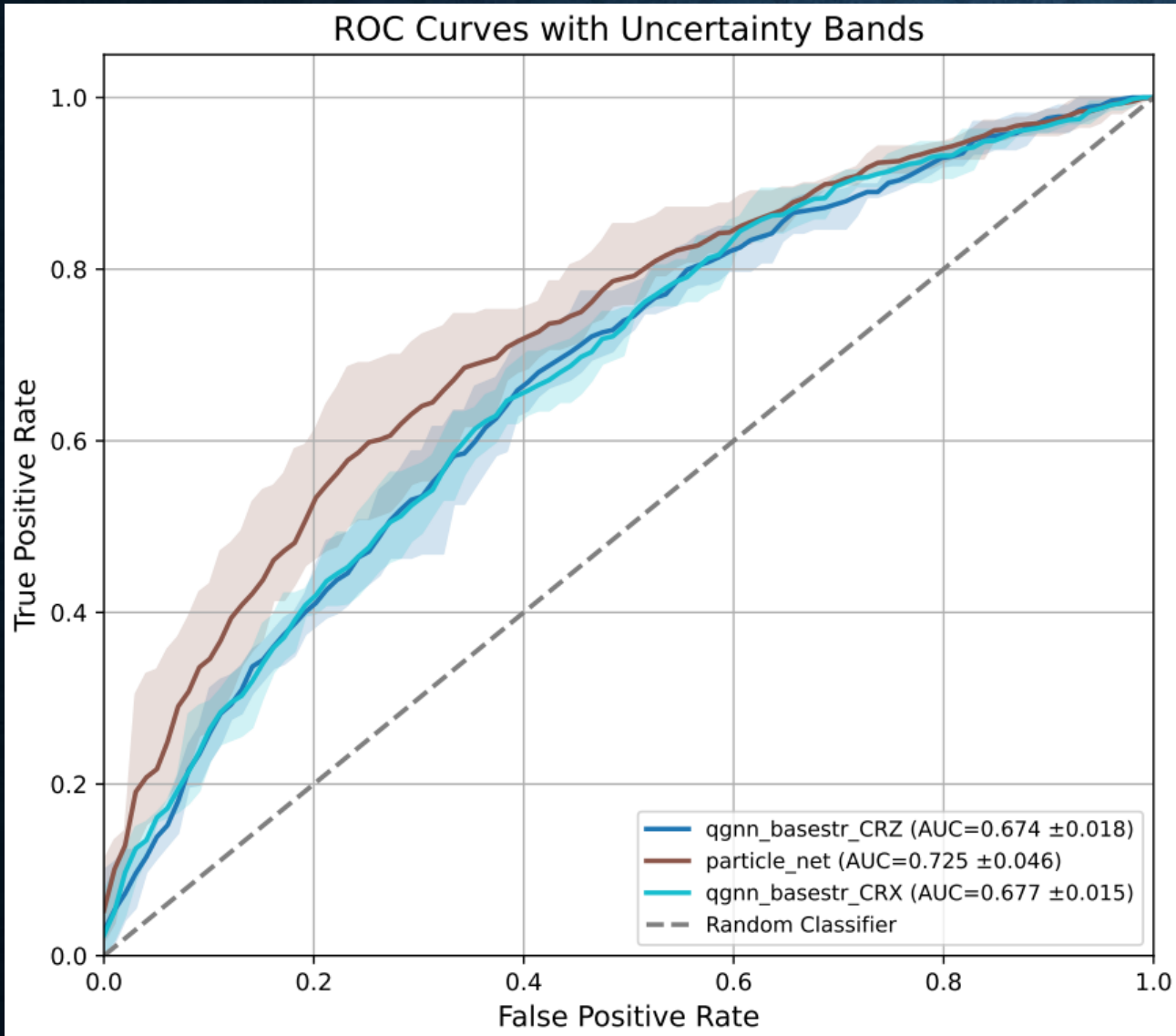
$RZ(\theta_1)$

$RZ(\theta_2)$

$RZ(\theta_3)$

$RZ(\theta_{10})$

خروجی مدل و نتایج



□ اندازه‌گیری عملکرد پائولی Z بر روی کیوبیت‌ها

□ در نهایت اگر این میانگین بین ۰ و ۱ بود پیش‌بینی الگوریتم به عنوان جت بوزون Z تلقی می‌شود.

□ در غیر این صورت جت گلوئون
□ بعد از پیش‌بینی:

□ محاسبه‌ی تابع خطا **BCE**

□ عمل کرد شبکه با توجه به کاهش بعد داده‌ها از ۱۶۰ به ۴ قابل قبول است

نتیجه گیری

نتیجه‌گیری

- در جهت تلاش برای کشف فیزیک فرای مدل استاندارد، جت‌های خیز یافته را مطالعه کردیم.
- انگیزه‌ی انجام محاسبات سریع‌تر و کشف همبستگی‌های پنهان کوانتومی ما را بر آن داشت که به مطالعه‌ی عمل‌کرد ابزارهای کوانتومی در این زمینه بپردازیم
- محدودیت تعداد کیوبیت‌ها باعث شد ناگزیر باشیم در ابتدا فرایند کاهش بعد را انجام دهیم
- سپس مدار کوانتومی را شبیه‌سازی کردیم که یک فرایند یادگیری ماشین کوانتومی را برای ما ترتیب بدهد
- عمل‌کرد این الگوریتم با بهترین الگوریتم‌های مورد استفاده در حال حاضر قابل مقایسه است
- می‌توان در ادامه از این شبکه برای بررسی اندازه‌گیری‌ها در مدل استاندارد استفاده کرد
- همچنین فرایندهای آموزش همزمان شبکه‌های فشرده سازی و مدار کوانتومی نیز قابل دسترس خواهند بود



سیاس گزارم