

# یادگیری ماشین کوانتومی

چگونه محاسبات کوانتومی به داده‌کاوی معنا می‌دهد؟

مؤلف:

پیتر ویتك

مترجم:

دکتر شهرین پور بهرامی

(عضو هیأت علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای تبریز)

مهندس نسیم عبدالملکی

نیاز دانش

Wittek, Peter	: ویتک، پیتر	سرشناسه
یادگیری ماشین کوانتمی: چگونه محاسبات کوانتمی به داده‌کاوی معنا می‌دهد؟	: عنوان و نام پدیدآور	
مولف پیتر ویتک؛ مترجم شهین پوربهرامی، نسیم عبدالملکی.	: مشخصات نشر	
تهران: نیاز دانش، ۱۳۹۸	: مشخصات ظاهری	
ص: مصور، جدول ۲۴۴	: شابک	
978-600-8906-51-3	: وضعیت فهرست‌نویسی	
فیبا	: یادداشت	
عنوان اصلی: Quantum machine learning : what quantum computing means to data mining, c2014	: عنوان دیگر	موضوع
Machine learning	: فرآگیری ماشینی	موضوع
Data mining	: داده‌کاوی	موضوع
Quantum theory	: کوانتم	موضوع
	: پوربهرامی، شهین، ۱۳۶۳ -، مترجم	شناسه افزوده
	: عبدالملکی، نسیم، ۱۳۶۳ -، مترجم	شناسه افزوده
	: Q۳۲۵/۵	ردیبندی کنگره
	: ۰۰۶/۳۱	ردیبندی دیوبی
	: ۵۷۸۴۹۳۵	شماره کتابشناسی ملی



نام کتاب	: یادگیری ماشین کوانتمی
	چگونه محاسبات کوانتمی به داده‌کاوی معنا می‌دهد؟
مؤلف	: پیتر ویتک
مترجمن	: دکتر شهین پوربهرامی (عضو هیأت علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای تبریز) - مهندس نسیم عبدالملکی
مدیر اجرایی - ناظر بر چاپ	: حمیدرضا احمدی شیرازی - محمد شمس
ناشر	: نیاز دانش
صفحه‌آرا	: واحد تولید انتشارات نیازدانش
نوبت چاپ	: دوم - ۱۴۰۱
شمارگان	: ۱۰۰
قیمت	: ۱۳۰۰۰۰۰ ریال

ISBN: 978-600-8906-51-3

شابک: ۳-۵۱-۹۷۸-۶۰۰-۸۹۰۶-۵۱-۳

هرگونه چاپ و تکثیر (اعم از زیراکس، بازنویسی، ضبط کامپیوتوئی و تهیه CD) از محتويات این اثر بدون اجازه کتبی ناشر ممنوع است، متخلفان به موجب بند ۵ از ماده ۲ قانون حمایت از مؤلفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

کلیه حقوق این اثر برای ناشر محفوظ است.

آدرس انتشارات: تهران، میدان انقلاب، خیابان ۱۲ فروردین، تقاطع وحید نظری، پلاک ۲۵۵، طبقه ۱، واحد ۲  
۰۲۱-۶۶۴۷۸۱۰۶-۶۶۴۷۸۱۰۸-۰۹۱۲۷۰۷۳۹۳۵

[www.Niaze-Danesh.com](http://www.Niaze-Danesh.com)

مشاوره جهت نشر: ۰۹۱۲ - ۲۱۰۶۷۰۹

## فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
بخش اول: مفاهیم پایه.....	۱۱
فصل اول: معرفی.....	۱۳
۱-۱ تئوری یادگیری و داده کاوی.....	۱۷
۲-۱ چرا کامپیوترهای کوانتومی.....	۱۹
۳-۱ یک مدل ناهمگن.....	۲۰
۴-۱ مروری اجمالی بر الگوریتم های یادگیری ماشین کوانتومی .....	۲۱
۵-۱ آموزش کوانتومی مانند محاسبات کلاسیک.....	۲۲
فصل دوم: یادگیری ماشین.....	۲۵
۱-۲ مدل های مبتنی بر داده.....	۲۷
۲-۲ فضای ویژگی .....	۲۸
۳-۲ یادگیری ناظارت شده و بدون ناظارت.....	۳۲
۴-۲ عملکرد تعیین پذیری .....	۳۷
۵-۲ پیچیدگی مدل .....	۳۹
۶-۲ رویکرد گروهی .....	۴۳
۷-۲ وابستگی داده ها و پیچیدگی محاسباتی .....	۴۵
فصل سوم: مکانیک کوانتوم .....	۴۹
۱-۳ حالت ها و برهم نهی ها.....	۵۱
۲-۳ نمایش ماتریس چگالی و حالت های مخلوط.....	۵۳
۳-۳ سیستم های مرکب و درهم تبیین گی .....	۵۶
۴-۳ تکامل.....	۶۲
۵-۳ اندازه گیری .....	۶۴

۶-۳ عدم قطعیت روابط	۶۷
۷-۳ تونل زنی	۶۸
۸-۳ قضیه آدیباتیک	۶۹
۹-۳ قضیه بدون کلونینگ	۷۱
فصل چهارم : محاسبات کوانتمی	
۱-۴ کیویت و کره بلوخ	۷۴
۲-۴ مدارهای کوانتمی	۷۸
۳-۴ محاسبات کوانتمی آدیباتیک	۸۴
۴-۴ موازی سازی کوانتمی	۸۵
۵-۴ الگوریتم گراور	۸۶
۶-۴ کلاس های پیچیدگی	۸۹
۷-۴ نظریه اطلاعات کوانتمی	۸۹
بخش دوم: الگوریتم های یادگیری کلاسیک	
فصل پنجم: الگوریتم های بدون نظارت	
۱-۵ تحلیل مؤلفه های اصلی	۹۵
۲-۵ جاسازی منیفلد	۹۶
۳-۵ خوشبندی K-میانگین و K-میانه	۹۸
۴-۵ خوشبندی سلسله مراتبی	۹۹
۵-۵ خوشبندی مبتنی بر چگالی	۱۰۱
فصل ششم: تشخیص الگو و شبکه های عصبی	
۱-۶ پرسپترون	۱۰۵
۲-۶ شبکه های هاپفیلد	۱۰۶
۳-۶ شبکه های پیشرو	۱۰۹
	۱۱۱

۱۱۵	۴-۶ یادگیری عمیق
۱۱۶	۵-۶ پیچیدگی محاسباتی
فصل هفتم: یادگیری نظارت شده و ماشین‌های بردار پشتیبان	
۱۲۱	۱-۷ K-نزدیکترین همسایگی
۱۲۱	۲-۷ طبقه‌بندهای حاشیه بهینه
۱۲۴	۳-۷ حاشیه‌های نرم
۱۲۵	۴-۷ غیرخطی بودن و توابع کرنل
۱۳۰	۵-۷ فرمول‌بندی کمترین مربعات
۱۳۰	۶-۷ عملکرد تعمیم‌پذیری
۱۳۱	۷-۷ مشکلات چند کلاسه
۱۳۲	۸-۷ توابع هزینه
۱۳۴	۹-۷ پیچیدگی محاسباتی
فصل هشتم: تحلیل رگرسیون	
۱۳۵	۱-۸ کمترین مربعات خطی
۱۳۶	۲-۸ رگرسیون غیرخطی
۱۳۷	۳-۸ رگرسیون غیرپارامتری
۱۳۸	۴-۸ پیچیدگی محاسباتی
فصل نهم: بوستینگ	
۱۴۱	۱-۹ کلاس‌بندهای ضعیف
۱۴۳	۲-۹ بوستینگ تطبیقی
۱۴۴	۳-۹ بوسترهاي محدب
۱۴۶	۴-۹تابع هزینه‌ی زیان غیرمحدب

بخش سوم: محاسبات کوانتمی و یادگیری ماشین	۱۵۳
فصل دهم: ساختار خوشه‌بندی و محاسبات کوانتمی	۱۵۵
۱-۱۰ حافظه دسترسی تصادفی کوانتمی	۱۵۶
۲-۱۰ محاسبه ضرب داخلی	۱۵۸
۳-۱۰ تحلیل مؤلفه‌های اصلی کوانتمی	۱۶۰
۴-۱۰ به سمت جاسازی منیفلد کوانتمی	۱۶۳
۵-۱۰ الگوریتم K-میانگین کوانتمی	۱۶۳
۶-۱۰ الگوریتم K-میانه کوانتمی	۱۶۵
۷-۱۰ خوشه‌بندی سلسله مراتبی کوانتمی	۱۶۶
۸-۱۰ پیچیدگی محاسباتی	۱۶۷
فصل یازدهم: شناسایی الگوی کوانتمی	۱۶۹
۱-۱۱ حافظه انجمنی کوانتمی	۱۷۰
۲-۱۱ پرسپترون کوانتمی	۱۷۷
۳-۱۱ شبکه‌های عصبی کوانتمی	۱۷۸
۴-۱۱ تحقیق فیزیکی	۱۸۰
۵-۱۱ پیچیدگی محاسباتی	۱۸۲
فصل دوازدهم: کلاس‌بندی کوانتمی	۱۸۳
۱-۱۲ نزدیکترین همسایگی	۱۸۴
۲-۱۲ ماشینهای بردار پشتیبان با جستجو گر اور	۱۸۷
۳-۱۲ ماشینهای بردار پشتیبان با افزایش سرعت نمایی	۱۸۸
۴-۱۲ پیچیدگی محاسباتی	۱۹۰
فصل سیزدهم: رگرسیون و توموگرافی فرآیند کوانتمی	۱۹۱
۱-۱۳ دوگانه کanal حالت	۱۹۳

۲-۱۳	توموگرافی فرآیند کوانتمی	۱۹۴
۳-۱۳	گروه‌ها، گروه‌های فشرده Lie و گروه واحد	۱۹۶
۴-۱۳	تئوری نمایش	۱۹۹
۵-۱۳	کاربرد موازی و ذخیره واحد	۲۰۴
۶-۱۳	حالت بهینه برای یادگیری	۲۰۶
۷-۱۳	اعمال واحد و یافتن پارامتر برای حالت ورودی	۲۰۹
فصل چهاردهم: بوستینگ و محاسبات کوانتمی آدیاباتیک		۲۱۳
۱-۱۴	تبرید کوانتمی	۲۱۵
۲-۱۴	بهینه‌سازی دودویی بدون محدودیت درجه دو	۲۱۷
۳-۱۴	مدل Ising	۲۱۸
۴-۱۴	Q بوست	۲۱۹
۵-۱۴	غیرمحدب	۲۱۹
۶-۱۴	تُنکی، عمق بیت و کارایی تعمیم‌پذیری	۲۲۲
۷-۱۴	نگاشت به سخت‌افزار	۲۲۵
۸-۱۴	پیچیدگی محاسباتی	۲۲۹
	کتابشناسی	۲۳۱

#### مقدمه ۴۰

یادگیری ماشین یک حوزه‌ی مطالعاتی شکفت‌انگیز است برای شناسایی رویدادهای غیرعادی از جمله داده‌های حسگر جریان‌دار، تشخیص موضوعات نو ظهور استخراج مجموعه متن و همجنین مشکلات هیجان انگیز که بیش از حد دور نیستند. نظریه اطلاعات کوانتومی نیز با هیجان همراه است. دستکاری ذرات در سطح زیراتومی، ما را قادر به انجام عمل انتقالات فوریه با سرعت نمایی می‌کند یا جستجو در یک پایگاه داده را به طور مرتب سریعتر از حد کلاسیک آن می‌کند. کدگذاری فوق‌العاده‌ی از انتقال دو بیت کلاسیک فقط با استفاده از یک کیویت صورت می‌پذیرد. رمزنگاری کوانتومی؛ در تئوری تقریباً غیرقابل شکست است. سؤال اساسی این کتاب ساده است: چه چیزی از محاسبات کوانتومی می‌تواند در یادگیری ماشین مشارکت کند؟ ما طیعتاً انتظار سرعت گرفن بالا از روش‌های کوانتومی داریم، اما چه نوع از سرعت؟ درجه دوم؟ یا آیا سرعت بالا امکان‌پذیر است؟ هر فرم از کاهش پیچیدگی محاسباتی طبیعی است؟ آیا رابطه جایگزینی در مقابل کاهش پیچیدگی محاسباتی وجود دارد؟

زمان اجرا فقط یکی از نگرانی‌الگوریتم‌های یادگیری است. آیا می‌توانیم عملکرد تعیین بالاتری با تبدیل به محاسبات کوانتومی به دست آوریم؟ بعد از همه این‌ها، آیا بررسی خطای آموزش در مقایسه با الگوریتم‌های کلاسیک سخت نخواهد بود؟ مشکل واقعی یافتن الگوریتم‌های است که بتوانند روی نمونه‌های تست که قبل از مشاهده نشده‌اند، نیز خوب عمل کنند.

#### یادداشت نویسنده

بهینه‌سازی کوانتمی آدیباتیک<sup>۱</sup> برای پیدا کردن بهینه‌سازی سراسری توابع هدف غیرمحدب بکارگرفته می‌شود. گراور<sup>۲</sup> الگوریتم مینیمم سراسری را در یک فضای جستجو گستته بدست می‌آورد. کوانتم توموگرافی بر فرآیندهای بهینه‌سازی دو بعدی از یادگیری فعال و انتقال متکی است. با این پارادایم‌های ذکر شده چگونه مشکلات یادگیری ماشین را دوباره بازنویسی کنیم؟ ظرفیت ذخیره‌سازی نیز مورد توجه است. حافظه‌های انجمانی کوانتمی انواع شبکه‌های هاپفیلد کوانتمی، الگوهای بیشتری را از همتایان کلاسیک‌شان ذخیره می‌کنند. چطور می‌توانیم از این ظرفیت به طور جدی و مؤثر استفاده کنیم؟ این مدل سؤالات مشابه باعث نوشتن این کتاب شد. در متون‌های مختلف این موضوع در حال گسترش است اما مخاطبان این مقالات به ندرت دانشجویانی هستند که در حوزه‌ی یادگیری ماشین کار می‌کنند. از سوی دیگر، دانشمندان اطلاعات کوانتمی، کسانی که در این حوزه کار می‌کنند لزوماً به درک عمیقی از هدف تئوری یادگیری هنگام طراحی الگوریتم‌های جدید نمی‌پردازند. این کتاب به بررسی هر دو این جوامع می‌پردازد: نظریه‌پردازان محاسبات کوانتمی و پردازش اطلاعات کوانتمی که با گسترش حوزه‌ی کار خود مایل به ماندن در تاریخ هستند و همچنین محققان در یادگیری ماشین که می‌خواهند از محاسبات کوانتمی سود ببرند.

پیتر ویتك

کاستل‌فلز، ۲۰۱۴ مه ۳۰

---

<sup>۱</sup> Adibatic

<sup>۲</sup> Grover