مروری به کاربردهای روش ماشین بردار پشتیبان در مهندسی عمران

صبغت الله جوینده[1]،مجتبی لزگی نظرگاه [*2]، حمید اسکندری نداف[3]

1- دانشجویی کارشناسی ارشد دانشگاه حکیم سبزواری

2- دانشیار گروه عمران دانشگاه حکیم سبزواری

3- دانشیار گروه عمران دانشگاه حکیم سبزواری

Email: M.lezgy@yahoo.com

چکیده

ماشین بردار پشتیبان یکی از جدیدترین روش‌های هوش مصنوعی است که به دلیل عملکرد بهتر نسبت به سایر روش‌های هوش مصنوعی به منظور حل مسایل پیش‌بینی مورد توجه محققین قرار گرفته است. مدل ماشین بردار پشتیبان در بسیاری از مسائل مهندسی عمران به منظور پیش‌بینی خواص انواع مواد با پایه سیمانی استفاده شده است. در این مقاله با بررسی عملکرد روش ماشین بردار پشتیبان، مروری بر کارهای انجام شده توسط دیگر محققان بر روی انواع خواص ملات سیمان و بتن انجام شده است.

کلمات کلیدی: ماشین بردار پشتیبان، پیش‌بینی، کرنل غیر خطی، ملات سیمان، بتن

1. مقدمه

ماشین بردار پشتیبان در ابتدا توسط بوسر، گایون و وپنیک [1, 2] ارائه شده است و اولین بار در کنفرانس یادگیری محاسباتی ۱۹۹۲ (COLT[1]) ارائه شد. خواص اساسی این رویکرد در حال حاضر در مقالات موجود است و در یادگیری ماشین از جمله ابرصفحه‌های حاشیه بزرگ در فضای ورودی از دهه ۱۹۶۰ استفاده شده است [2, 3]. در روش ماشین بردار پشتیبان دو حاشیه وجود دارد که عبارتند از حاشیه نرم و سخت که حاشیه سخت قابل تطبیق در نرم‌افزار MATLAB و دیگر نرم‌افزارهای مربوطه نبوده به دلیل این‌که کران بالایی این نوع حاشیه معلوم نبوده و طبقه‌بندی حاشیه نرم برای اولین بار توسط کورتس و وپنیک برای حالت غیرخطی تعمیم داده شد [2, 4]. در سال ۱۹۹۵، الگوریتم ماشین بردار پشتیبان به حالت رگرسیون گسترش یافت [2, 5] الگوریتم SVM، جزء الگوریتم‌های تشخیص الگو دسته‌بندی می‌شود و از این الگوریتم، هنگامی که نیاز به تشخیص الگو یا دسته‌بندی اشیا در طبقه بندی خاص باشد می‌توان استفاده کرد. ماشین بردار پشتیبان روشی است که با دسته‌بندی داده ها و یادگیری ارتباط بین آن‌ها با استفاده از کرنل‌های مختلف روابط بین بردار ورودی و خروجی را بدست می آورد. یک ماشین بردار پشتیبان طبقه‌بندی را با ساخت یک ابرصفحه N بعدی انجام می‌دهد که به‌طور مطلوب داده‌ها را به دو دسته تقسیم می‌کند به صورتی که مدل‌های SVM به مدل شبکه‌های عصبی نزدیک باشند. با استفاده از یک تابع کرنل SVM یک روش آموزشی جایگزین برای چندجمله‌ای، تابع پایه‌ای شعاعی و چندلایه‌ای طبقه‌بندی پیش‌گیرنده‌ها است که در آن وزن شبکه‌ها با حل یک مسئله برنامه‌ریزی درجه‌دوم با محدودیت‌های خطی تعیین می‌گردد. در اصطلاح ادبیات ماشین بردار پشتیبان، یک متغیر پیش‌بینی ویژگی نامیده می‌شود. مشخصات یک مدل بردار پشتیبان براساس انواع ویژگی‌های تبدیل شده که برای تعریف ابرصفحه استفاده شده است تعیین می شود. مجموعه‌ای از

* Corresponding author, Tel: +985144012784
E-mail address: M.lezgy@yahoo.com
[1] Conference on Learning Theory

ویژگی‌هایی که یک مورد را توصیف می‌کنند (یعنی یکی از ردیف های مقادیر پیش‌بینی‌کننده) یک بردار نامیده می‌شود. بنابراین هدف مدل‌سازی SVM این است که یک ابرصفحه مطلوب را پیدا کند که خوشه‌های بردار را جدا کند به طوری که موارد با یک دسته متغیر هدف در یک طرف سطح و موارد با دسته دیگر بر روی اندازه‌های دیگر سطح قرار می‌گیرند. بردارهایی که در نزدیکی ابرصفحه قرار دارند، بردارهای پشتیبان(SV) نامیده می شوند. روش ماشین بردار پشتیبان عموماً برای مسائلی که در آن‌ها دو دسته داده وجود دارد، استفاده می‌شود، اما روش‌های متفاوتی برای ترکیب چند SVM و ایجاد یک الگوریتم دسته‌بندی چندکلاسه پیشنهاد شده است. در این الگوریتم دسته‌بندی دو صفحه، در مرز دو کلاس داده‌ها قرارگرفته می‌شود، و مسئله یافتن مرز حداکثری بین این دو صفحه و در نتیجه بین دو دسته داده‌ها است، به این صورت این دو صفحه آن‌قدر از هم دور شوند که به داده‌ها برخورد کنند. یکی از مسائلی که در ارائه یک ماشین دسته‌بندی کننده غیرخطی بردار پشتیبان با آن مواجه هستیم، نحوه‌ی تعریف هسته و پارامترهای مرتبط با آن است، که دسته شناخته شده‌ای از توابع هسته همچون هسته‌های چندجمله‌ای، گاوسی و سیگموئید اند که نیازمند تنظیم شدن پارامترها جهت کارایی مطلوب هستند. روش کمینه‌سازی مینیمال ترتیبی یکی از روش‌های شناخته شده جهت آموزش این ماشین دسته‌بندی در بهترین زمان ممکن می‌باشد. مدل مورد استفاده در ماشین‌های بردار پشتیبان، به‌ویژه در پایه‌ای‌ترین حالات (مثلاً طبقه‌بندی دو کلاسه)، یک مدل با ساختار خطی و بسیار مشابه با آن چیزی است که مثلاً در شبکه عصبی پرسپترون چندلایه‌ای استفاده می‌شود. در واقع، در کنار برخی تفاوت‌های دیگری که این دو مدل دارند، عملاً یک ساختار بسیار مشابه را با دو روش مختلف آموزش می‌دهند. در شبکه عصبیMLP پارامترهای این مدل با کمینه‌سازی خطا تنظیم می‌شوند، اما در SVM ریسک ناشی از عدم طبقه‌بندی صحیح به‌عنوان یک تابع هدف تعریف می‌شود و پارامترها نسبت به آن، تنظیم و بهینه‌سازی می‌شوند. از طرفی، استفاده از اصطلاح شبکه عصبی مصنوعی یا هر اصطلاح مشابه دیگری برای اشاره به چنین ابزارهایی، صرفاً برای ایجاد یک مدل مناسب و نزدیک به واقعیت بوده و اصل قضیه، رابطه ی ریاضی است که در پشت این سیستم‌ها وجود دارد. بنابراین بسیاری از سیستم‌ها و مدل‌های مورد استفاده در حوزه یادگیری ماشینی، عملاً از ساختارهای ریاضی بسیار مشابه و بعضاً یکسان استفاده می‌نمایند، و تنها در طرز بیان مسئله، شیوه تربیت و تنظیم مدل‌ها و توصیف با یکدیگر تفاوت دارند. امروزه روش بردار پشتیبان در مسایل مهندسی به خصوص مهندسی عمران برای دسته‌بندی و پیش بینی انواع خواص ملات سیمان و بتن مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به این موضوع که مواد با پایه سیمانی غیر همگن بوده و درنتیجه رفتاری غیرخطی از خود نشان می‌دهند بکارگیری روشی که بتواند این خواص را به درستی پیش‌بینی کند کاربرد فراوانی در صرفه جویی زمان و هزینه خواهد داشت. بدین منظور در این پژوهش به مرور تحقیقات صورت گرفته در مورد کابرد و عملکرد روش بردار پشتیبان در پیش‌بینی این خواص پرداخته شده است.

2. کاربرد روش ماشین بردار پشتبان در تکنولوژی بتن

1.2. پیش بینی خصوصیات مکانیکی انواع بتن

در سال‌های اخیر پیش‌بینی خواص مکانیکی بتن و ملات به منظور صرفه جویی در هزینه تولید و زمان مورد توجه محققین قرار گرفته است. بدین منظور با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی مانند شبکه عصبی، ژنتیک الگوریتم و سایر روش‌ها رابطه ای بین عوامل تاثیرگذار بر خواص مکانیکی بتن بدست آورده اند. یکی از روش های کاربردی در این راستا روش ماشین بردار پشتیبان می‌باشد که در مهندسی عمران کاربرد فروان دارد. از جمله این کاربردها پیش‌بینی خصوصیات مکانیکی مانند مقاومت فشاری، کششی و خمشی انواع بتن می توان نامبرد. در این راستا، چندین پژوهشگر خصوصیات تازه و سخت شده بتن خود متراکم و بتن معمولی را با استفاده از انواع مختلف SVM پیش‌بینی کردند. سونیبی و همکاران [2] بعضی از خصوصیات تازه بتن خودمتراکم را با استفاده از کرنل‌های تابع پایه‌ای شعاعی و چندجمله‌ای رگرسیون ماشین بردار پشتیبان

پیش‌بینی کردند. آنها دریافتند که کرنل تابع پایه‌ای شعاعی رگرسیون ماشین بردار پشتیبان می تواند با دقت بالا این خصوصیات را پیش‌بینی کند و یک روش جایگزین برای پیش‌بینی خصوصیات تازه بتن خود متراکم را فراهم کند. خطیبنیا و همکاران [6] ترکیبی از توابع هسته موجک WLS-SVM و توابع هسته موجک مورلیت، به نام WWLS-SVM[1] پیشنهاد کردند و با استفاده از این روش اعضای بتن مسلح را بهینه سازی کردند. یان و شی [7] از SVM برای پیش‌بینی مدول الاستیک بتن معمولی و با مقاومت بالا استفاده کردند. در همین راستا نتایج حاصل از روش SVM را با نتایج آزمایشگاهی و همچنین روش دیگر هوش مصنوعی مقایسه کردند و نتایج نشان داد روش SVM نسبت به سایر روش‌ها عملکرد بهتری داشت. در پژوهشی دیگر، چو و همکاران [8] با استفاده از تکنیک SVM، مقاومت فشاری بتن با کارایی بالا را پیش‌بینی کردند و قابلیت شبیه‌سازی رفتار SVM با استفاده از داده‌های بتنی جمع‌آوری شده از چندین کشور را مورد بررسی قرار دادند. چنگ و همکاران [9] یک مدل پیشرفته ترکیبی هوش مصنوعی[2] (AI) منطق فازی، روش SVM و الگوریتم‌های ژنتیکی فشرده سریع را برای پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن پیشنهاد دادند. چن و همکاران [10] دمای معلق سازه های بتنی آسیب دیده را با استفاده از ماشین بردار پشتیبان برآورد و مورد ارزیابی قرار دادند. روی و همکاران [9] مقاومت فشاری بتن با عملکرد بالا را با استفاده از الگوریتم های فازی (FL)، ماشین های بردار پشتیبان وزنی (WSVM) و الگوریتم های ژنتیک سریع (FMGA) پیش‌بینی کردند. نظری و سنجیان [11] از ماشین بردار پشتیبان برای مدل سازی و پیش‌بینی مقاومت فشاری خمیر ژوپلیمر، ملات و استفاده کردند. گوپتا [12] استفاده از روش تابع پایه‌ای شعاعی ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی بتن خود متراکم را مورد بررسی قرار داد. محسنی و همکاران [13] خصوصیات سخت و تازه بتن خود متراکم (SCC) حاوی نانو CuO (NC) و پلی پروپیلن (PP) با استفاده از ماشین بردار پشتیبان بررسی و ارزیابی کردند. شین و همکاران [14] مقاومت کششی برشی و مقاومت فشاری بتن سیلندر را با استفاده از ماشین بردار پشتیبان پیش‌بینی نمودند. ژانگ و همکاران [15] خوردگی بتن در سولفوریک اسید با روش ماشین بردار پشتیبان پیش‌بینی و مورد ارزیابی قرار دادند. کرین [16] ماشین های بردار پشتیبان و ماشین های بردار مرتبط در پیش‌بینی مقاومت فشاری غیر محوری سنگ های آتشفشانی بکار برد. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود نتایج این تحقیقات نشان می‌هد روش بردار پشتیبان در پیش‌بینی انواع خواص تازه و سخت شده بتن عملکرد مناسبی داشته و می تواند جایگزین مناسبی برای جایگزینی روش‌های هوش مصنوعی سنتی شود.

[1] Wavelet–based Weighted Least Squares–Support Vector Machines
[2] Artificial Intelligence

جدول 1. نتایج انواع مختلف روش ماشین بردار پشتیبان در مقالات ذکر شده

MAPE	RMSE	R^2	Model	خروجی	روش‌ها	نوسینده
4.08	26.923	0.974	Training	Slump flow	SVM-RBF	سونیبی و همکاران [2]
24.54	0.554	0.91		T50(s)		
20.9	1.717	0.812		T60(s)		
4.54	1.517	0.995		V-funnel(s)		
49	3.991	0.976		Orimet (s)		
4.94	0.0042	0.988		L-box blocking ratio		
4.04	36.7	0.948		Slump flow	SVM-Polynomial	
37.3	1.041	0.698		T50(s)		
63.1	3.085	0.539		T60(s)		
183.8	19.226	0.539		V-funnel(s)		
302.9	20.659	0.505		Orimet(s)		
32.2	0.161	0.797		L-box blocking ratio		
8.382	0.089	0.9925	Training	compressive strength	WWLS-SVM	محسنی و همکاران [13]
8.1737	0.0873	0.9894			LS-SVM	
6.4478	0.0996	0.9891			SVM	
8.9702	0.1026	0.991	Testing		WWLS-SVM	
9.4682	0.1122	0.9894			LS-SVM	
11.7447	0.1381	0.9891			SVM	
10.2434	0.4978	0.8115	Training		RBF	یان و همکاران [7]
4.987	0.2748	0.9442	Testing			
0.16154	0.1082	0.8184	Training		SVM	کرین [16]
0.19808	0.1187	0.7712	Testing			
7.122	8.854	0.7222	Training		SVM	چنگ و همکاران [9]
8.116	10.401	0.752	Testing			

2.2. پیش بینی خصوصیات مکانیکی ملات سیمان

علاوه بر پیش‌بینی خواص بتن از ماشین بردار پشتیبان برای بررسی و پیش‌بینی خصوصیات مکانیکی از جمله مقاومت فشاری و خمشی انواع ملات سیمان نیز استفاده شده است. کیان و همکاران [17] از ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی مقاومت فشاری ملات که در معرض حمله سولفات قرار گرفته است استفاده شده است. همچنین دیگری خطیب نیا و همکاران [18] مقاومت های فشاری و کششی ملات سیمان خودمتراکم حاوی اجزای نانو را با استفاده از WLS-SVM و-WWLS SVM پیش‌بینی نمودند. لشکری و همکاران[19] مقاومت خاک رس پایدار ژئوپلیمر با استفاده از رگرسیون ماشین بردار پشتیبان (SVR) پیش‌بینی و بررسی نمودند. جدول 2 نتایج حاصل از پیش‌بینی روش های های ارایه شده با استفاده از بردار پشتیبان در مورد ملات سیمان را نشان می‌دهد.

جدول 2. نتایج انواع مختلف روش ماشین بردار پشتیبان در مقالات ذکر شده

پژوهشگر	روش‌ها	خروجی	Model	R^2	RMSE	MAPE
کیان و همکاران [17]	SVM	مقاومت فشاری	Training	0.9994	2.68	3.32
			Testing	0.9991	3.56	3.71
خطیبنیا و همکاران [18]	WLS-SVM	مقاومت فشاری	Training	0.9999	0.0014	0.0365
	WWLS-SVM			0.9999	0.0069	0.4768
	WLS-SVM		Testing	0.9999	0.0067	0.4632
	WWLS-SVM			0.9999	0.0069	0.4717
	WLS-SVM	مقاومت خمشی	Training	0.9997	0.025	1.2912
	WWLS-SVM			0.9999	0.0103	0.806
	WLS-SVM		Testing	0.9997	0.057	6.3448
	WWLS-SVM			0.9996	0.0528	4.8817

3. نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی کاربرد روش ماشین بردار پشتیبان در پیش‌بینی انواع خواص تازه و سخت شده بتن و ملات سیمان پرداخته شده است که نتایج به صورت زیر خلاصه می‌شود.

1. ماشین بردار پشتیبان یکی از روش‌های نسبتا جدید پیش‌بینی است که آموزش آن نسبتاً آسان و ساده است. همچنین خطای بوجود آمده بر حین دسته‌بندی داده به صورت لحظه ای کنترل می‌شود.
2. کرنل تابع پایه‌ای شعاعی رگرسیون بردار پشتیبان دارای عملکرد و نتایج بهتر نسبت به انواع دیگری از کرنل‌های رگرسیون بردار پشتیبان است. می‌تواند به عنوان یک روش جایگزین برای پیش‌بینی خصوصیات مکانیکی انواع ملات و انواع بتن بکار برده شود.
3. به اساس تحقیقات پژوهشگران که در باره کاربردهای ماشین بردار پشتیبان در مهندسی عمران پرداخته اند نتایج نشان می‌دهد که روش ماشین بردار پشتبان می تواند جایگزین آزمایش‌های تکراری و خسته کننده شود و با دقت بالا خصوصیات مکانیکی ملات و سیمان را مدل سازی و پیش‌بینی می‌کند.
4. این روش نسبت به انواع دیگر روش‌های هوش مصنوعی تئوری قوی‌تری داشته و به دلیل ساختار برنامه‌ای مسطح به بهینه کلی[1] می‌رسد و به نتایج بهتر و یک تفسیر هندسی دست پیدا می‌کند. موجودیت ساختار برنامه‌ای مسطح سبب می‌شود که کارایی SVM بهتر شود.

4. مراجع

1. Boser, B.E., I.M. Guyon, and V.N. Vapnik. *A training algorithm for optimal margin classifiers*. in *Proceedings of the fifth annual workshop on Computational learning theory*. 1992. ACM.
2. Sonebi, M., et al., *Modelling the fresh properties of self-compacting concrete using support vector machine approach.* Construction and Building materials, 2016. **106**: p. 55-64.
3. Cristianini, N. and J. Shawe-Taylor, *An introduction to support vector machines and other kernel-based learning methods*. 2000: Cambridge university press.
4. Vapnik, V., *The nature of statistical learning theory*. 2013: Springer science & business media.

[1] Global Optimum

5. Cortes, C. and V. Vapnik, *Support-vector networks.* Machine learning, 1995. **20**(3): p. 273-297.
6. Khatibinia, M., S. Gharehbaghi, and A. Moustafa, *Seismic reliability-based design optimization of reinforced concrete structures including soil-structure interaction effects*, in *Earthquake Engineering-From Engineering Seismology to Optimal Seismic Design of Engineering Structures*. 2015, InTech.
7. Yan, K. and C. Shi, *Prediction of elastic modulus of normal and high strength concrete by support vector machine.* Construction and building materials, 2010. **24**(8): p. 1479-1485.
8. Chou, J.-S., et al., *Machine learning in concrete strength simulations: Multi-nation data analytics.* Construction and Building Materials, 2014. **73**: p. 771-780.
9. Cheng, M.-Y., et al., *High-performance concrete compressive strength prediction using time-weighted evolutionary fuzzy support vector machines inference model.* Automation in Construction, 2012. **28**: p. 106-115.
10. Chen, B.-T., et al., *Estimation of exposed temperature for fire-damaged concrete using support vector machine.* Computational Materials Science, 2009. **44**(3): p. 913-920.
11. Nazari, A. and J.G. Sanjayan, *Modelling of compressive strength of geopolymer paste, mortar and concrete by optimized support vector machine.* Ceramics International, 2015. **41**(9): p. 12164-12177.
12. Gupta, S., *Support vector machines based modelling of concrete strength.* World Academy of Science, Engineering and Technology, 2007. **36**: p. 305-311.
13. Naseri, F., et al., *Experimental observations and SVM-based prediction of properties of polypropylene fibres reinforced self-compacting composites incorporating nano-CuO.* Construction and Building Materials, 2017. **143**: p. 589-598.
14. Yan, K., et al., *Prediction of splitting tensile strength from cylinder compressive strength of concrete by support vector machine.* Advances in Materials Science and Engineering, 2013. **2013**.
15. Zhang, W. and Z. Song. *Prediction of concrete corrosion in sulfuric acid by SVM-based method*. in *2nd International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology (EMEIT-2012)*. 2012.
16. Ceryan, N., *Application of support vector machines and relevance vector machines in predicting uniaxial compressive strength of volcanic rocks.* Journal of African Earth Sciences, 2014. **100**: p. 634-644.
17. Chen, H., et al., *An approach for predicting the compressive strength of cement-based materials exposed to sulfate attack.* PloS one, 2018. **13**(1): p. e0191370.
18. Khatibinia, M., et al., *Modeling mechanical strength of self–compacting mortar containing nanoparticles using wavelet–based support vector machine.* Comput. Concr, 2016. **18**(6): p. 1065-1082.
19. Mozumder, R.A., A.I. Laskar, and M. Hussain, *Empirical approach for strength prediction of geopolymer stabilized clayey soil using support vector machines.* Construction and Building Materials, 2017. **132**: p. 412-424.