



Iranian Scientific Association
of Public Administration



University of
Sistan and Baluchestan

Predicting Patterns of Development and Perceived Corruption: A Hybrid Clustering–Logistic Regression Approach

Elham Razghandi ¹ 

¹. Assistant Professor, Department of Commercial Services and Ecosystems, Faculty of Commerce and Trade, Faculty of Management, University of Tehran, Tehran, Iran.
E-mail: elham.razghandi@ut.ac.ir.

Abstract:

The present study examines global and regional patterns of governance and development, with a focus on the interaction between two key indicators: The Human Development Index and the Corruption Perceptions Index. While the inverse relationship between these two indicators has been confirmed in many previous studies, most of them have relied on traditional correlation and regression analyses and have shown shortcomings in predicting the position of countries. To address this gap, this study employs a two-step analytical framework. In the first step, using the k-means clustering algorithm, countries are classified into four distinct clusters based on their similarity in the mentioned indicators, which represent different patterns in the state of governance and development among these countries. In the second step, a multinomial logistic regression model is developed to predict the probability of countries belonging to each clusters based on the numerical values of the Human Development Index and the Corruption Perceptions Index. The findings indicate that the Human Development Index has a stronger predictive role than compared to the Corruption Perceptions Index, such that an increase in this index significantly

Article type: Research

Cite this article: E. Razghandi (2026). Predicting Patterns of Development and Perceived Corruption: A Hybrid Clustering–Logistic Regression Approach. *Governance and Development Journal*, 6 (2), 211-233.
DOI: 10.22111/JIPAA.2026.52475.1068.

Received: 30.06.2025

Revised: 08.11.2025

Accepted: 21.02.2026

Published: 22.06.2026



© The Author (s)

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

raises the probability of countries belonging to clusters with higher development and transparency. In contrast, the Corruption Perceptions Index alone does not possess significant predictive power. The high explanatory power of the model, with a coefficient of determination equal to 0.984, confirms its validity in analyzing the cluster structure. These results have important policy implications and emphasize the strategic necessity of focusing on human development as a more effective lever for improving governance compared to merely anti-corruption policies. The combination of cluster analysis and predictive modeling in this study provides an innovative, data-driven tool for comparative analysis and the design of policy scenarios.

Keywords: Human Development Index, Corruption Perceptions Index, Data Analysis, Clustering, Multinomial Logistic Regression.



دانشگاه تهران، تهران

حکمرانی و توسعه

شماره ۳۴۶۱-۲۷۸۳

Homepage: www.jipaa.ir



مجله حکمرانی و توسعه

پیش‌بینی الگوهای توسعه و ادراک فساد: رویکردی ترکیبی مبتنی بر خوشه‌بندی و رگرسیون لجستیک

الهام رازقندی^۱

۱. نویسنده مسئول، استادیار، گروه تجارت، دانشکدگان مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: elham.razghandi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۲ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱ کلیدواژه‌ها: شاخص توسعه انسانی، شاخص ادراک فساد، تحلیل داده، خوشه‌بندی، رگرسیون لجستیک چندگانه.	پژوهش حاضر به بررسی الگوهای جهانی و منطقه‌ای فساد ادراک شده و توسعه، با تمرکز بر تعامل دو شاخص کلیدی توسعه انسانی و ادراک فساد می‌پردازد. در حالی که رابطه معکوس میان این دو شاخص در بسیاری از مطالعات پیشین تأیید شده، اغلب آن‌ها بر تحلیل‌های همبستگی و رگرسیون سنتی تکیه داشته و از منظر پیش‌بینی جایگاه کشورها کاستی‌هایی داشته‌اند. برای رفع این خلأ، این پژوهش از چارچوبی تحلیلی در دو مرحله بهره گرفته است؛ در گام نخست، با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی k-means، کشورها بر اساس شباهت در شاخص‌های مذکور در چهار خوشه متمایز طبقه‌بندی شده‌اند که نشان‌دهنده الگوهای متفاوت در وضعیت ادراک فساد و توسعه این کشورها است. در گام دوم، مدل رگرسیون لجستیک چندگانه برای برآورد احتمال تعلق کشورها به هر یک از خوشه‌ها براساس مقادیر عددی دو شاخص توسعه انسانی و ادراک فساد توسعه داده شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد شاخص توسعه انسانی نقش برآورد کنندگی قوی‌تری دارد به گونه‌ای که افزایش در این شاخص به‌طور معناداری احتمال تعلق کشورها به خوشه‌های با توسعه و شفافیت بالاتر را افزایش می‌دهد. در مقابل، شاخص ادراک فساد به‌تنهایی از قدرت برآورد معناداری برخوردار نیست. قدرت تبیینی بالای مدل با ضریب تعیین معادل ۰٫۹۸۴، مؤید اعتبار آن در تحلیل ساختار خوشه‌هاست. این نتایج دلالت‌های سیاستی مهمی دارد و بر ضرورت تمرکز راهبردی بر

استناد: رازقندی، الهام (۱۴۰۵) "پیش‌بینی الگوهای توسعه و ادراک فساد: رویکردی ترکیبی مبتنی بر خوشه‌بندی و رگرسیون لجستیک" حکمرانی

DOI: 10.22111/JIPAA.2026.52475.1068

و توسعه، ۶(۲) ۲۱۱-۲۳۳.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان



© نویسندگان

توسعه انسانی به‌عنوان اهرمی مؤثرتر در بهبود حکمرانی نسبت به سیاست‌های صرفاً ضد فساد تأکید می‌کند. ترکیب تحلیل خوشه‌ای و مدل‌سازی پیش‌بینانه در این پژوهش، ابزاری نوین و مبتنی بر داده برای تحلیل تطبیقی و طراحی سناریوهای سیاستی فراهم آورده است.

مقدمه

شاخص‌های توسعه انسانی (HDI)^۱ و ادراک فساد (CPI)^۲ از مهم‌ترین ابزارهای سنجش وضعیت حکمرانی و رفاه اجتماعی کشورها به‌شمار می‌آیند. توسعه انسانی، میزان پیشرفت یک کشور را در ابعاد کلیدی سلامت، آموزش و استانداردهای زندگی نشان می‌دهد (UNDP, 2023). این شاخص که از سال ۱۹۹۰ به‌صورت سالانه توسط برنامه توسعه سازمان ملل متحد منتشر می‌شود، تلاشی است برای سنجش وضعیت توسعه کشورها بر مبنای سه بُعد اصلی امید به زندگی، سطح تحصیلات و درآمد سرانه. این شاخص به‌عنوان جایگزینی مفهومی برای شاخص‌های صرفاً اقتصادی همچون تولید ناخالص داخلی مطرح شده و تلاش می‌کند تصویری جامع‌تر از کیفیت زندگی و ظرفیت‌های انسانی ارائه دهد. شاخص HDI گرچه با گذشت زمان بهبود یافته، اما همچنان با محدودیت‌هایی همچون وزن‌دهی یکسان به مؤلفه‌ها، استفاده از پارامترهای قراردادی، و نادیده‌گرفتن نابرابری مواجه است. با وجود این محدودیت‌ها، همچنان یکی از پرکاربردترین شاخص‌های مقایسه‌ای در سطح جهانی است و توجه سیاست‌گذاران را به ابعاد غیرمادی توسعه، نظیر سلامت و آموزش، معطوف ساخته است (Lind, 2019).

شاخص ادراک فساد نیز یکی از پرکاربردترین و معتبرترین ابزارها برای سنجش سطح فساد در بخش عمومی کشورها محسوب می‌شود. این شاخص بر مبنای ترکیبی از داده‌های چندین منبع معتبر بین‌المللی، همچون بانک جهانی، مجمع جهانی اقتصاد و مؤسسات ارزیابی ریسک سیاسی، تدوین می‌گردد و نگرش نخبگان اقتصادی و کارشناسان نسبت به گستردگی فساد در نهادهای دولتی را منعکس می‌سازد. ویژگی بارز CPI، اتکای آن بر برداشت‌های ادراکی از فساد است؛ چرا که فساد به‌عنوان پدیده‌ای پنهان و غیرقابل مشاهده مستقیم، اغلب تنها از طریق تجربه و داوری افراد قابل ارزیابی است (Budsaratragoon et al., 2019). کارکرد CPI فراتر از رتبه‌بندی ساده کشورهاست و به‌عنوان شاخصی راهبردی در تحلیل کیفیت حکمرانی، شفافیت نهادی و کارآمدی سیاست‌های عمومی به‌کار می‌رود. سطوح پایین CPI معمولاً با کاهش اعتماد عمومی، ناکارآمدی در تخصیص منابع و ضعف در جذب سرمایه‌گذاری خارجی همراه است؛ در حالی که کشورهایی با امتیاز بالاتر در CPI، عموماً دارای نظام‌های شفاف‌تر، ساختارهای رقابتی‌تر و محیطی مناسب‌تر برای رشد اقتصادی و توسعه اجتماعی هستند.

^۱ Human Development Index- HDI

^۲ Corruption Perceptions Index- CPI

این دو شاخص که به ترتیب توسط نهاد برنامه توسعه سازمان ملل متحد^۱ و سازمان شفافیت بین‌الملل^۲ می‌شوند، هر یک به‌تنهایی اطلاعات مهمی درباره کیفیت حکمرانی ارائه می‌دهند؛ اما بررسی هم‌زمان آن‌ها می‌تواند تصویری جامع‌تر از چالش‌ها و فرصت‌های توسعه در کشورهای مختلف ترسیم کند. بنابراین، درک رابطه بین این دو می‌تواند بینش عمیقی از تأثیر فساد بر توسعه انسانی کشورها و بالعکس ارائه دهد و درک بهتری از الگوهای جهانی و منطقه‌ای در زمینه ادراک فساد و توسعه انسانی ایجاد کند. عمده پژوهش‌های انجام‌شده در این دو حوزه به وجود رابطه معکوس میان شاخص‌های توسعه انسانی و ادراک فساد اشاره دارند؛ به این معنا که افزایش سطح توسعه انسانی معمولاً با کاهش سطح فساد ادراک‌شده همراه است. این رابطه بیانگر آن است که بهبود در وضعیت سلامت، آموزش و درآمد در کشورها می‌تواند با کاهش میزان ادراک فساد هم‌زمان شود (Mauro, 1995). فساد نه تنها بر میزان هزینه‌های عمومی در یک کشور اثرگذار است، بلکه ترکیب این هزینه‌ها را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. این پدیده منجر به تخصیص غیربهبینه منابع و کاهش سرمایه‌گذاری در حوزه خدمات اجتماعی می‌شود و در نتیجه، کیفیت خدمات آموزشی و بهداشتی کاهش یافته و سطح نابرابری در جامعه افزایش می‌یابد (Samanta and Sanyal, 2023; Ortega et al., 2016). با این وجود، رابطه میان این دو شاخص الزاماً خطی و ساده نیست به این معنا که اگرچه بهبود در توسعه انسانی معمولاً با کاهش در فساد ادراک‌شده همراه است، اما این تأثیر پس از رسیدن به یک نقطه مشخص کاهش می‌یابد و در کشورهایی که از پیش دارای امتیازات بالایی در این زمینه هستند، بهبودهای بیشتر الزاماً تأثیر چشمگیری بر کاهش سطوح فساد ندارد (Samanta and Sanyal, 2023). بنابراین، تحلیل جامع این رابطه نیازمند بررسی پیچیدگی‌های درونی آن است. روش‌های سنتی تحلیل این شاخص‌ها اغلب بر همبستگی یا تحلیل‌های رگرسیونی استوار هستند (Osakede et al., 2023; Bhimani et al., 2022; Adeleke and McSharry, 2022; Sims et al., 2012)، که توانایی شناسایی الگوهای گروهی و تفاوت‌های ساختاری میان کشورها را ندارند. تحلیل خوشه‌ای^۳ به عنوان یک ابزار قدرتمند داده‌کاوی، امکان گروه‌بندی کشورها بر اساس شباهت‌هایشان در دو شاخص HDI و CPI را فراهم می‌کند. این روش می‌تواند به شناسایی خوشه‌های معنادار از کشورها کمک کند که در هر خوشه، کشورهای دارای شرایط مشابه از نظر توسعه انسانی و سطح فساد دسته‌بندی می‌شوند. اما مسئله‌ای که وجود دارد این است که در سیاست‌گذاری عمومی، صرف طبقه‌بندی کشورها کافی نیست؛ آنچه اهمیت دارد، توانایی برآورد جایگاه کشورها در این طبقه‌بندی بر اساس مقادیر عددی شاخص‌هاست. تشخیص اینکه یک کشور با وضعیت خاص خود در کدام الگوی جهانی توسعه و فساد جای می‌گیرد، هم در تحلیل و هم در تصمیم‌سازی، ارزش بالایی دارد.

¹ United Nations Development Programme- UNDP

² Transparency International

³ Clustering analysis

تشخیص این‌که یک کشور با مقادیر مشخص در شاخص‌های توسعه انسانی و ادراک فساد در کدام یک از الگوهای جهانی ادراک فساد و توسعه جای می‌گیرد، نه تنها از منظر تحلیل تطبیقی دارای اهمیت علمی است، بلکه از دیدگاه سیاست‌گذاری عمومی نیز واجد کارکردهای عملی چشم‌گیری است. چنین دانشی به سیاست‌گذاران این امکان را می‌دهد تا جایگاه نسبی کشور خود را در مقایسه با سایر کشورها ارزیابی کرده و دریابند که کشور مورد نظر در کدام دسته‌بندی کلان قرار دارد؛ توسعه‌یافته و شفاف، در حال گذار یا چالش‌های ساختاری یا دارای ضعف‌های نهادینه در توسعه و ادراک فساد. افزون بر این، بهره‌گیری از مدل‌های برآورد کننده به سیاست‌گذاران اجازه می‌دهد تا تأثیر تغییرات فرضی در شاخص‌های HDI و CPI را بر احتمال جابه‌جایی کشورها میان خوشه‌ها به صورت کمی مورد تحلیل قرار دهند. به عنوان نمونه، می‌توان بررسی کرد که در صورت بهبود شاخص توسعه انسانی یک کشور بدون تغییر هم‌زمان در سطح ادراک فساد، احتمال ارتقاء آن کشور به خوشه‌ای مطلوب‌تر تا چه میزان افزایش می‌یابد. چنین بینشی، زمینه‌ساز طراحی مداخلات سیاستی مبتنی بر شواهد و تخصیص بهینه منابع در سطح ملی و بین‌المللی خواهد بود. همچنین، کشورهایی که در خوشه‌های میانی قرار دارند می‌توانند از این نوع تحلیل برای الگوبرداری از مسیر پیشرفت کشورهای موفق در همان گروه یا خوشه‌های بالاتر استفاده کنند. در واقع، برآورد جایگاه خوشه‌ای کشورها بر اساس شاخص‌های کمی، می‌تواند به مثابه آینه‌ای مقایسه‌ای عمل کند که مسیر حرکت به سوی بهبود حکمرانی، افزایش رفاه عمومی و ارتقای جایگاه بین‌المللی را روشن‌تر و هدفمندتر می‌سازد. از این رو، پژوهش حاضر با ارائه تصویری دقیق‌تر از الگوهای جهانی و منطقه‌ای موجود در رابطه با ارتباط دو شاخص توسعه انسانی و فساد ادراک شده و نیز پیش‌بینی جایگاه هر یک از کشورها در خوشه‌های به دست آمده علاوه بر کمک در جهت پر کردن شکاف‌های پژوهشی موجود در این زمینه، می‌تواند به عنوان راهنمایی برای سیاست‌گذاران در بهبود توسعه انسانی و کاهش فساد محسوب شود و مبنای تصمیم‌گیری‌های استراتژیک در راستای دستیابی به اهداف توسعه پایدار قرار گیرد. سوال اصلی که پژوهش حاضر به دنبال پاسخگویی به آن است عبارت است از اینکه الگوهای جهانی و منطقه‌ای شاخص‌های توسعه انسانی و ادراک فساد چگونه هستند و چگونه می‌توان بر اساس این دو شاخص، احتمال تعلق کشورها را به خوشه‌های تعیین شده برای ادراک فساد و توسعه انسانی برآورد نمود؟ برای پاسخ به این سؤالات، ترکیبی از دو رویکرد مکمل به کار گرفته شده است. ابتدا با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی k-means کشورها بر اساس شاخص‌های HDI و CPI در چهار خوشه معنادار گروه‌بندی می‌شوند. سپس، از رگرسیون لجستیک چندگانه^۱ برای ساخت مدل برآورد کننده احتمال تعلق به خوشه‌ها استفاده می‌شود که بر مبنای این داده‌ها، جایگاه خوشه‌ای کشورها را تخمین می‌زند. چنین مدلی نه تنها امکان تحلیل تطبیقی دقیق‌تری فراهم می‌کند، بلکه به روشن شدن جهت‌گیری‌های سیاستی کشورها نیز کمک می‌نماید.

^۱ Multinomial Logistic Regression

ادبیات نظری پژوهش

شاخص توسعه انسانی که یکی از پرکاربردترین شاخص‌های سنجش توسعه به‌شمار می‌رود، سه بعد اساسی سلامت^۱، آموزش^۲ و ثروت^۳ را در قالب یک معیار ترکیبی خلاصه می‌کند (Nations U, 2024). این شاخص که سالانه توسط برنامه توسعه سازمان ملل متحد برای اندازه‌گیری سطح توسعه انسانی در کشورها طراحی شده است، ابزاری جامع برای سنجش وضعیت توسعه انسانی است که هدف آن ارائه تصویری ترکیبی از وضعیت سلامت، آموزش و استانداردهای زندگی در کشورهاست (UNDP, 2023). شاخص HDI شامل سه مؤلفه سلامت و طول عمر (شاخص مرتبط: امید به زندگی در بدو تولد^۴)، دسترسی به آموزش (میانگین سال‌های تحصیل^۵؛ سال‌های مورد انتظار تحصیل^۶) و استانداردهای زندگی (درآمد ناخالص ملی^۷) است. نحوه محاسبه این شاخص به صورت رابطه (۱) است.

HDI

$$\text{شاخص درآمد} \times \text{شاخص آموزش} \times \text{شاخص سلامت} = \sqrt[3]{\text{رابطه ۱}}$$

شاخص فساد ادراک‌شده نیز یکی از معتبرترین ابزارهای سنجش فساد در جهان است که توسط سازمان شفافیت بین‌الملل منتشر می‌شود. این شاخص بر اساس داده‌های گردآوری‌شده از سیزده منبع مستقل مانند گزارش‌های سازمان‌های بین‌المللی، تحقیقات علمی و نظرسنجی‌های حاصل شده از کسب‌وکارها و متخصصان به دست می‌آید (Lambsdorff, 2007). طبق گزارش سازمان شفافیت بین‌الملل (۲۰۲۳) این شاخص برای هر کشور می‌تواند مقداری بین صفر تا صد باشد، که امتیاز صفر نشان‌دهنده فساد بسیار بالا و صد نشان‌دهنده شفافیت کامل در آن کشور است. مفهوم فساد در این شاخص به معنای سوءاستفاده از قدرت عمومی برای منافع شخصی است و معمولاً شامل مواردی "پرداخت رشوه"، "اختلاس"، "سوءمدیریت" و "پارتی‌بازی" می‌شود (Rose and Peiffer, 2019). این شاخص به دلیل پوشش جهانی، مقایسه‌پذیری و تمرکز بر ادراکات متخصصان و نهادهای بین‌المللی، شاخصی معتبر محسوب می‌گردد.

عمده پژوهش‌های اخیر صورت گرفته در رابطه با توسعه انسانی و فساد نشان می‌دهند که این دو مفهوم به شدت به یکدیگر مرتبط هستند. توسعه انسانی به عنوان شاخصی چندبعدی شامل بهداشت، آموزش و استانداردهای زندگی، بازتاب‌دهنده کیفیت زندگی و رفاه اجتماعی در یک کشور است (Clarke et al., 2015; Ortega et al., 2024)؛ در مقابل آن فساد، به عنوان مانعی جدی در مسیر توسعه اقتصادی و

¹ Health

² Education

³ Wealth

⁴ Life Expectancy at Birth

⁵ Mean Years of Schooling

⁶ Expected Years of Schooling

⁷ Gross National Income - GNI

اجتماعی، نه تنها منابع عمومی را از مسیر صحیح خود منحرف می‌کند بلکه تأثیرات منفی بر شفافیت، نهادها و اعتماد عمومی دارد (Rubakha et al., 2023). بررسی تعامل این دو متغیر، به ویژه در سطوح جهانی و منطقه‌ای، می‌تواند الگوهای متنوعی را نمایان سازد که برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی توسعه پایدار حیاتی هستند. در ادامه به بررسی برخی پژوهش‌های صورت گرفته در سه حوزه مختلف (پژوهش‌های مرتبط با HDI، پژوهش‌های مرتبط با CPI و نیز پژوهش‌های ترکیبی و دربرگیرنده رابطه این دو شاخص) پرداخته می‌شود. نوان و همکاران^۱ (۲۰۲۴)، با تحلیل داده‌های ۱۱۱ کشور در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۲ به بررسی اثرات مالیات‌های زیست‌محیطی بر کاهش فساد و پیامدهای جانبی آن پرداخته‌اند و مشخص کردند که مالیات زیست‌محیطی می‌تواند فساد را کاهش دهد، اما در جوامعی با فساد بالا، احتمال سوءاستفاده از درآمدهای مالیاتی نیز وجود دارد. ژائو و وو^۲ (۲۰۲۴)، با استفاده از مدل‌های اقتصادسنجی و تحلیل داده‌های ۱۷۶ کشور در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۰ به بررسی تأثیر فساد و دسترسی نابرابر به منابع زیست‌محیطی بر شاخص‌های توسعه انسانی پرداخته‌اند. نتیجه این بود که شکاف دسترسی به انرژی بین مناطق شهری و روستایی، علاوه بر افزایش نابرابری مانع بهبود شاخص‌های توسعه انسانی می‌شود. علاوه بر این، فساد به طور قابل توجهی توانایی نهادهای دولتی را برای اجرای سیاست‌های پایداری کاهش می‌دهد. جیانگ و همکاران^۳ (۲۰۲۳)، مقدار HDI را در سطح استانی در چین محاسبه کرده و تفاوت‌های قابل توجهی را نه تنها بین مناطق شرقی و غربی، بلکه بین مناطق شمالی و جنوبی چین شناسایی کرده‌اند. لیان و همکاران^۴ (۲۰۲۳)، میزان HDI را در ۱۵۴ کشور در هفت منطقه از جهان مقایسه کرده و نشان داده‌اند که سطح HDI در کشورهای اروپایی نسبتاً بالا است، در حالی که در آفریقا همچنان فضای قابل توجهی برای بهبود وجود دارد. کورن و همکاران^۵ (۲۰۲۳)، نشان دادند که چهار عامل شامل اقتصاد، انرژی‌های تجدیدپذیر، تحقیقات علمی و منابع، همگی از عوامل تقویت‌کننده HDI هستند. لانگ و همکاران^۶ (۲۰۲۰)، سطح HDI را در چهار منطقه چین در سال ۲۰۱۷ بررسی کرده و نشان داده‌اند که تایوان و ژوشان عملکرد بهتری نسبت به چونگمینگ و هاینان داشته‌اند. آنها همچنین نشان داده‌اند که توسعه اقتصادی یک عامل مهم برای ارتقای HDI محسوب می‌شود. آکسیک و همکاران^۷ (۲۰۲۰)، با استفاده از مدل‌های اقتصادسنجی و داده‌های پانل کشورهای آفریقایی به بررسی تأثیر سرمایه‌گذاری خارجی و توسعه مالی بر بهبود شاخص‌های توسعه انسانی پرداخته‌اند و دریافتند که توسعه مالی می‌تواند به شرط وجود نهادهای قوی و سیاست‌های شفاف، بهبود توسعه انسانی را تسهیل نماید.

¹ Nguyen et al.² Zhao and Wu³ Jiang et al.⁴ Lian et al.⁵ Kaewnern et al.⁶ Long et al.⁷ Akisik et al.

سارکودی و آدامز^۱ (۲۰۲۰)، با استفاده از تحلیل رگرسیون و داده‌های پانل ۴۶ کشور به بررسی ارتباط میان مصرف انرژی با کاهش نابرابری و بهبود توسعه انسانی پرداختند. که نتایج این پژوهش نشان داد که دسترسی به انرژی باعث بهبود شاخص‌های توسعه انسانی می‌شود، اما این تأثیر به شدت وابسته به کیفیت حاکمیت است. ارتگا^۲ (۲۰۱۶)، با استفاده از دو شاخص CPI و HDI و تحلیل داده‌های پانل مربوط به ۶۹ کشور، به بررسی تأثیر فساد بر توسعه انسانی و شاخص‌های آن پرداخته و نشان داد فساد دارای اثر منفی بر توسعه انسانی بوده و از طریق کاهش رشد اقتصادی و کیفیت خدمات عمومی، شاخص‌های امید به زندگی و آموزش را تضعیف می‌کند.

مروری بر ادبیات پژوهشی نشان می‌دهد که اگرچه رابطه میان شاخص‌های توسعه انسانی و ادراک فساد در بسیاری از مطالعات مورد بررسی قرار گرفته، اما این تحقیقات اغلب به تحلیل همبستگی میان این متغیرها محدود شده‌اند و کمتر به تحلیل‌های پیش‌بینانه و مدل‌سازی تعلق کشورها به سطوح یا خوشه‌های توسعه توجه کرده‌اند. در بیشتر این مطالعات، تمرکز اصلی بر اثرگذاری متغیرهای اقتصادی، اجتماعی یا زیست‌محیطی بر توسعه انسانی بوده و نقش شاخص‌های حکمرانی، به‌ویژه فساد ادراک شده، به صورت جامع و تلفیقی مورد بررسی قرار نگرفته است. علاوه بر این، استفاده از روش‌های سنتی آماری مانند تحلیل همبستگی و رگرسیون خطی رایج بوده، در حالی که تکنیک‌های داده‌کاوی و مدل‌سازی پیش‌بینانه مانند رگرسیون لجستیک که می‌توانند به برآورد احتمال عضویت کشورها در خوشه‌های توسعه کمک کنند، کمتر به کار گرفته شده‌اند. حتی زمانی که از تحلیل خوشه‌ای برای طبقه‌بندی کشورها بر اساس شباهت در مقادیر HDI و CPI استفاده شده، خروجی مطالعات صرفاً محدود به شناسایی الگوهای موجود بوده و از قابلیت این الگوها برای برآورد وضعیت آینده کشورها بهره‌ای برده نشده است. در این میان، پژوهش‌هایی که از ترکیب تحلیل خوشه‌ای و رگرسیون لجستیک برای تبیین عوامل برآورد کننده احتمال عضویت کشورها در خوشه‌های توسعه انسانی و فساد استفاده کرده باشند، بسیار نادر هستند. این خلأ پژوهشی، ضرورت توسعه رویکردهای نوآورانه‌ای را برجسته می‌سازد که علاوه بر تحلیل وضعیت موجود، قابلیت طبقه‌بندی و برآورد احتمال عضویت کشورها بر اساس وضعیت کنونی را نیز فراهم آورند. در همین راستا، مطالعه حاضر با هدف پر کردن شکاف‌های فوق، در گام نخست با استفاده از تکنیک تحلیل خوشه‌ای کشورها را بر اساس مقادیر دو شاخص HDI و CPI خوشه‌بندی می‌نماید تا الگوهای منطقه‌ای و سطحی موجود میان کشورها شناسایی شود. در گام دوم، به منظور فراتر رفتن از طبقه‌بندی صرف و دستیابی به بینشی پیش‌بینانه، از رگرسیون لجستیک چندگانه برای مدل‌سازی احتمال عضویت هر کشور در یکی از خوشه‌های توسعه انسانی و فساد استفاده خواهد شد. این رویکرد دو مرحله‌ای نه تنها درک دقیق‌تری از وضعیت فعلی کشورها ارائه می‌دهد، بلکه با فراهم ساختن امکان برآورد احتمال عضویت

¹ Sarkodie and Adams

² Ortega et al.

کشورها در خوشه‌های مختلف توسعه و ادراک فساد، می‌تواند ابزاری مؤثر در اختیار سیاست‌گذاران برای طراحی مداخلات هدفمند و برنامه‌ریزی توسعه‌ای در سطوح ملی و بین‌المللی قرار دهد.

روش پژوهش

در این پژوهش به‌منظور پاسخ‌گویی به سؤال اصلی، از روش‌های کمی خوشه‌بندی و رگرسیون لجستیک چندگانه بهره گرفته شده است. داده‌های مورد استفاده شامل اطلاعات مربوط به دو شاخص توسعه انسانی و فساد ادراک شده است که به ترتیب از گزارش سالانه توسعه انسانی منتشرشده توسط نهاد برنامه سازمان ملل متحد^۱ و سازمان شفافیت بین‌الملل^۲ استخراج شده‌اند. داده‌ها از آخرین نسخه‌های رسمی موجود استخراج شده‌اند (HDI (سال مرجع ۲۰۲۲؛ انتشار گزارش ۲۰۲۳-۲۰۲۴ UNDP) و CPI (سال مرجع ۲۰۲۳؛ انتشار ۲۰۲۴ سازمان شفافیت بین‌الملل). جهت حفظ پوشش جغرافیایی و پایداری سری‌ها، سال‌های مرجع به‌صورت نهم‌سال نزدیک (± 1 سال) انتخاب شده‌اند. تحلیل صرفاً کشورهایی را شامل می‌شود که برای هر دو شاخص در سال‌های مرجع داده معتبر داشته‌اند و موارد فاقد CPI/HDI کنار گذاشته شده‌اند. فرایند تحلیل داده‌ها در دو مرحله طراحی شده است. در گام نخست، از تکنیک خوشه‌بندی k-means برای طبقه‌بندی کشورها بر اساس شباهت در مقادیر شاخص‌های CPI و HDI استفاده شده تا الگوهای منطقه‌ای و سطحی میان کشورها شناسایی گردد. این تکنیک، امکان کشف ساختارهای پنهان در داده‌ها و شناسایی خوشه‌های معنادار از کشورهایی با ویژگی‌های مشابه را فراهم می‌سازد. در گام دوم، برای مدل‌سازی احتمال تعلق کشورها به هر یک از خوشه‌های شناسایی‌شده، از رگرسیون لجستیک چندگانه بهره گرفته شده است. این مدل آماری، امکان برآورد احتمال عضویت در خوشه‌ها را بر اساس مقادیر عددی شاخص‌های توسعه انسانی و فساد فراهم می‌کند و به تحلیل پیش‌بینانه و تصمیم‌سازی‌های راهبردی در حوزه توسعه بین‌الملل کمک می‌نماید. تمامی مراحل پردازش و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای پایتون و SPSS انجام شده است.

خوشه‌بندی به روش k-means

خوشه‌بندی به روش K-Means یکی از روش‌های یادگیری بدون نظارت^۳ است که برای گروه‌بندی داده‌ها به خوشه‌های مشابه استفاده می‌شود. این روش تلاش می‌کند تا داده‌ها را بر اساس ویژگی‌های مشترک در گروه‌هایی قرار دهد که شباهت‌های درون خوشه‌ای حداکثر و تفاوت‌های بین خوشه‌ای حداقل باشد (Hartigan and Wong, 1979). فرایند اجرای الگوریتم K-Means به شرح زیر است که ابتدا تعداد خوشه‌ها (K) تعیین می‌گردد، سپس مراکز اولیه خوشه‌ها به طور تصادفی انتخاب شده و داده‌ها به خوشه‌ها به گونه‌ای تعلق می‌گیرند که هر نقطه به نزدیک‌ترین مرکز خوشه اختصاص داده شود. این فاصله معمولاً به شکل اقلیدسی (رابطه ۲) محاسبه می‌شود.

^۱ <http://hdr.undp.org>

^۲ <https://www.transparency.org>

^۳ Unsupervised Learning

$$d(x, c) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - c_i)^2}$$

که در رابطه فوق:

مرکز خوشه c :

تعداد ابعاد مشاهده موردنظر n :

سپس به‌روزرسانی مراکز خوشه‌ها بر اساس میانگین نقاط تخصیص داده شده به آن بر اساس رابطه (۳) صورت می‌گیرد.

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} x_i}{n_j}, j = 1, 2, \dots, k$$

(رابطه 3)

که در رابطه فوق

مرکز خوشه بروزسانی شده c_j :

تعداد مشاهده موجود در خوشه n_j :

این فرایند تا زمانی تکرار می‌شود که مراکز خوشه‌ها تغییر نکرده یا تغییرات بسیار کوچک باشند. در پژوهش حاضر به منظور اجرای تکنیک خوشه‌بندی از نرم افزار پایتون استفاده شده است. لازم به ذکر است که در این پژوهش k-means بر اساس فاصله اقلیدسی در واحدهای اصلی (0-1) HDI و CPI (0-100) اجرا شده است که هدف آن، ارائه تیپ‌بندی توصیفی در مقیاس‌های سیاست‌محور بوده است. بنابراین نتایج به متریک انتخابی مشروطند و نامتغیر به مقیاس نیستند.

رگرسیون لجستیک چندگانه

در این پژوهش به‌منظور برآورد احتمال عضویت در خوشه‌ها، از تکنیک رگرسیون لجستیک چندگانه استفاده شده است. این روش آماری زمانی به‌کار می‌رود که متغیر وابسته دارای بیش از دو سطح باشد و هدف برآورد احتمال تعلق به یکی از این سطوح بر اساس مقادیر متغیرهای مستقل است (Nielsen et al., 2025). فرمول کلی مدل رگرسیون لجستیک چندگانه برای k خوشه با در نظر گرفتن خوشه r به‌عنوان طبقه مبنا^۱ به صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود.

$$p(Y = k) = \frac{e^{\beta_{k0} + \beta_{k1}HDI + \beta_{k2}CPI}}{1 + \sum_{j=1, j \neq r}^K e^{\beta_{j0} + \beta_{j1}HDI + \beta_{j2}CPI}} \quad (\text{رابطه 4})$$

احتمال قرارگیری در طبقه مبنا نیز از طریق رابطه (۵) محاسبه می‌گردد.

¹ Reference category

$$p(Y = r) = \frac{1}{1 + \sum_{j=1, j \neq r}^K e^{\beta_{j0} + \beta_{j1}HDI + \beta_{j2}CPI}} \quad (\text{رابطه 5})$$

که در این روابط

احتمال تعلق یک کشور به خوشه k : $p(Y = k)$

عرض از مبدأ مدل: β_{k0}

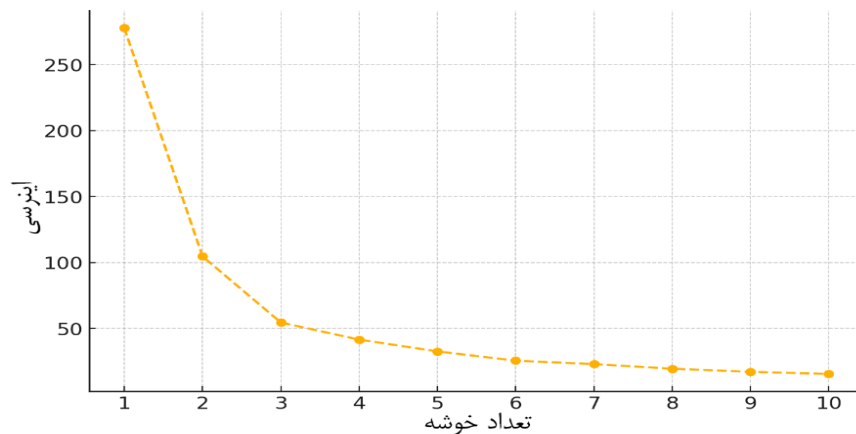
ضرایب مربوط به متغیرهای HDI و CPI برای خوشه k : β_{k1}, β_{k2}

در پژوهش حاضر به منظور اجرای مدل فوق از نرم افزار SPSS استفاده شده است.

یافته‌های پژوهش

مرحله اول - خوشه‌بندی

قبل از اجرای خوشه‌بندی به روش k-means، پارامتر تعداد بهینه خوشه با استفاده از روش آرنج^۱ مشخص می‌گردد. معمولاً تعداد خوشه بهینه در نقطه‌ای است که کاهش اینرسی به طور چشمگیری کم می‌شود. طبق شکل (۱)، تعداد بهینه خوشه‌ها برابر با چهار در نظر گرفته می‌شود. طبق جدول شماره (۱)، برای تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها علاوه بر نمودار آرنج، شاخص‌های داخلی Silhouette، Davies-Bouldin و Calinski-Harabasz برای تعداد خوشه ۳، ۴ و ۵ محاسبه شده است.



شکل ۱. روش آرنج جهت تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها

¹ Elbow method

جدول ۱. شاخص‌های داخلی برای تعیین k

Davies–Bouldin	Calinski–Harabasz	Silhouette	k
۰٫۶۶	۸۲۰	۰٫۵۳	۳
۰٫۵۰	۱۰۳۰	۰٫۶۴	۴
۰٫۵۶	۹۵۰	۰٫۵۹	۵

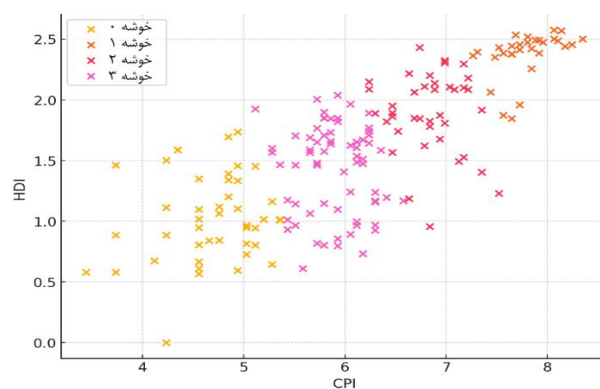
طبق جدول (۱)، هر سه شاخص داخلی $K = 4$ را تأیید می‌کنند. Silhouette بالاتر؛ Davies–Bouldin پایین‌تر و Calinski–Harabasz بالاتر نسبت به $K = 3, 5$. همچنین مطابق با جدول (۲)، پایداری تخصیص‌ها با اجرای تکراری k -means و گزارش Adjusted Rand Index (ARI) روی صد اجرا ارزیابی گردیده است.

جدول ۲. پایداری تخصیص‌ها

ARI-sd	ARI-mean	n-runs	k
۰٫۰۲۱	۰٫۹۴۸	۱۰۰	۴

پایداری راه‌حل چهارخوشه‌ای در اجرای تکراری k -means با شروع‌های تصادفی مستقل بالا گزارش شده است ($ARI = 0.948 \pm 0.021$). این ارزیابی، پایداری تخصیص در برابر کمینه‌های محلی را می‌سنجد.

در شکل شماره (۲)، خروجی تکنیک خوشه بندی برای کشورهای مختلف بر اساس دو شاخص HDI، CPI ارائه شده است.


 شکل ۲. خوشه بندی به روش k -means بر اساس چهار خوشه

همگرایی حاصل شده در مراکز خوشه‌ها و نیز مشخصات مرکز هر خوشه به ترتیب در جداول (۳) و (۴) ارائه شده است.

جدول شماره ۳. پیشینه تکرارها جهت ایجاد همگرایی در مرکز خوشه‌ها

تکرار	تغییر در مرکز خوشه‌ها			
	۱	۲	۳	۴
۱	۱,۵۰	۱,۵۰	۱۶۶۰	۱۷,۱۹
۲	۶,۲۲	۵,۶۳	۲,۴۳	۳,۲۷
۳	۳,۴۳	۲,۶۹	۲,۲۴	۲,۴۵
۴	۲,۰۴	۱,۲۳	۱,۰۰	۱,۹۳
۵	۰,۹۷	۰,۴۶	۰,۲۲	۱,۲۳
۶	۰,۳۴	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۳۱
۷	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰

طبق جدول شماره (۳)، الگوریتم Lloyd طی ۷ تکرار به همگرایی رسیده است و جابه‌جایی مراکز در گام‌های پایانی ناچیز بوده که با پایداری گزارش شده هم‌خوانی دارد.

جدول ۴. مراکز نهایی خوشه‌ها

شاخص	۳	۲	۱	۰
CPI-Index	۵۶	۳۹	۲۳	۷۵
HDI-Index	۰,۸۱	۰,۷۰	۰,۵۶	۰,۹۱

فاصله‌های درون و بین خوشه‌ها نیز به ترتیب در جداول (۵) و (۶) گزارش شده است.

جدول ۵. میانگین فاصله درون خوشه‌ای به تفکیک خوشه

شماره خوشه	میانگین فاصله تا مرکز
۰	۵,۲۲
۱	۳,۹۷
۲	۳,۷۴
۳	۴,۰۶

طبق جدول شماره (۵)، میانگین فاصله درون خوشه‌ای برای خوشه‌های $C0 = 5.22$ ، $C1 = 3.97$ ، $C2 = 3.74$ و $C3 = 4.06$ می‌باشد که این الگو با پراکندگی بیش‌تر در خوشه ۰ و فشردگی نسبی خوشه‌های ۱ و ۲ هم‌خوانی دارد.

جدول شماره ۶. فاصله میان مراکز خوشه‌ها

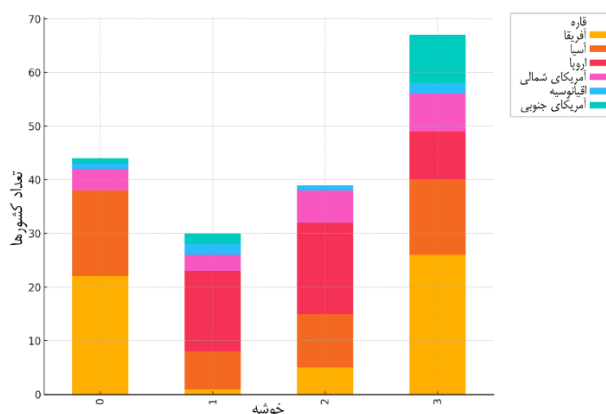
شماره خوشه	۰	۱	۲	۳
۰		۵۲,۹۵	۳۷,۱۱	۲۰,۱۵
۱	۵۲,۹۵		۱۵,۸۴	۳۲,۸۰
۲	۳۷,۱۱	۱۵,۸۴		۱۶,۹۶
۳	۲۰,۱۵	۳۲,۸۰	۱۶,۹۶	

طبق جدول شماره (۶)، فواصل بین مرکزی خوشه‌ها حاکی از جدایی معنی‌دار مراکز است و با مقادیر میانگین فاصله‌های درون خوشه‌ای سازگار است.

طبق نمودار شماره (۴)، توزیع خوشه‌ها به صورت زیر است:

خوشه ۰ (زرد): کشورهایی با مقادیر پایین در هر دو شاخص HDI و CPI؛ این کشورها معمولاً چالش‌هایی در توسعه انسانی و مقابله با فساد دارند؛ خوشه ۱ (نارنجی): کشورهایی با HDI و CPI بالا؛ این دسته احتمالاً کشورهای توسعه‌یافته با سطح بالای رفاه و شفافیت هستند؛ خوشه ۲ (قرمز): کشورهایی با CPI بالا اما **مقادیر** HDI متوسط؛ این کشورها ممکن است در کاهش فساد موفق بوده باشند، اما هنوز در شاخص‌های توسعه انسانی به جایگاه بالایی نرسیده‌اند؛ خوشه ۳ (صورتی): کشورهایی با مقادیر HDI و CPI متوسط؛ این کشورها در حال گذار یا توسعه هستند، اما هنوز چالش‌هایی در هر دو زمینه دارند.

طبق روند کلی مشاهده شده در خروجی مشخص می‌شود که در کل دو شاخص HDI و CPI با یکدیگر همبستگی مثبتی دارند به این معنا که با افزایش در شاخص توسعه انسانی، امتیاز مربوط به شاخص ادراک فساد نیز بیش‌تر می‌گردد که این به معنای شفافیت بیش‌تر و فساد کمتر در کشور مربوطه است. در شکل شماره (۳)، فراوانی هر یک از قاره‌ها در هر یک از خوشه‌های چهارگانه مشخص شده است. طبق این نمودار، در خوشه شماره یک (خوشه با توسعه انسانی بالاتر و سطح فساد کمتر) به ترتیب بیش‌ترین فراوانی و کمترین فراوانی کشورها متعلق به قاره‌های اروپا و آفریقا است.



شکل ۳. نحوه توزیع کشورهای هر قاره در خوشه‌های چهارگانه

طبق شکل شماره (۳) مشخص می‌شود که: بیشترین سهم از خوشه ۰ (زرد) را کشورهای آفریقایی تشکیل می‌دهند؛ این کشورها معمولاً با مشکلات زیرساختی، آموزشی، و اقتصادی مواجه هستند. سطح پایین

CPI نشان‌دهنده میزان بالای فساد و عدم شفافیت در این کشورها است و پایین بودن HDI نیز نشان‌دهنده چالش‌های عمده در بهبود کیفیت زندگی، آموزش، و سلامت در این کشورها است. خوشه ۱ (نارنجی) بیشتر شامل کشورهایی از اروپا، آمریکای شمالی، و اقیانوسیه است. که نماینده بهترین عملکرد در کاهش فساد و بهبود شاخص‌های انسانی هستند. CPI بالا نشان‌دهنده شفافیت بالا و فساد پایین در این کشورها بوده و HDI بالا نشان‌دهنده سطح بالای توسعه انسانی، آموزش، و سلامت است. خوشه ۲ (قرمز) بیشتر از کشورهای آسیایی و برخی کشورهای اروپایی تشکیل شده است. CPI بالا نشان‌دهنده موفقیت در کاهش فساد در این کشورهاست در حالیکه HDI متوسط نشان‌دهنده این است که هنوز به سطح کشورهای توسعه‌یافته از نظر شاخص‌های انسانی نرسیده‌اند. این خوشه احتمالاً شامل کشورهایی است که در حال انتقال از یک وضعیت توسعه متوسط به سطح بالاتر هستند. و نهایتاً خوشه ۳ (سورتمی) ترکیبی از کشورهای آفریقایی، آسیایی و آمریکای جنوبی است. هر دو شاخص CPI و HDI در این خوشه در سطح متوسط قرار دارند و نشان‌دهنده کشورهایی است که معمولاً در حال گذار از وضعیت توسعه‌نیافتگی به توسعه‌یافتگی هستند و دارای چالش‌هایی در هر دو زمینه فساد و توسعه انسانی هستند اما بهبودهایی نسبت به خوشه ۰ در آن‌ها مشاهده می‌شود. بر مبنای سال‌های مرجع (HDI 2022 و CPI 2023) ایران در خوشه ۰ قرار می‌گیرد.

مرحله دوم- تعیین احتمال تعلق به خوشه‌ها بر اساس دو شاخص HDI و CPI

در این بخش با استفاده از تکنیک رگرسیون لجستیک چندگانه، احتمال تعلق هر یک از کشورها به خوشه‌های چهارگانه زیر مشخص می‌شوند.

خوشه ۰: کشورهای با توسعه پایین و فساد بالا؛

خوشه ۱: کشورهای توسعه‌یافته با شفافیت بالا؛

خوشه ۲: کشورهای با شفافیت بالا ولی توسعه متوسط؛

خوشه ۳: کشورهای در حال گذار.

طبق خروجی ارائه شده در جدول ۷، معناداری آماره کای-دو برابر است با ۰/۰۰۰، که این مقدار کمتر از سطح خطای ۵٪ است. بنابراین فرضیه صفر که دلالت داشت بر عدم وجود تفاوت میان مدل بدون متغیرهای مستقل (شاخص‌های HDI و CPI) و مدلی که در آن متغیرهای مستقل وارد شده اند، رد می‌شود. بنابراین وجود ارتباط میان متغیرهای مستقل و متغیر وابسته تأیید می‌شود.

جدول ۷. اطلاعات برازش مدل

Model	Model Fitting Criteria	Likelihood Ratio Tests		
	Log Likelihood ^۲ -	Sig.	Df	Chi-Square
Intercept Only	۴۸۸,۸۹۳			
Final	۳۷,۲۴۹	۰/۰۰۰	۶	۴۵۱,۶۴۴

طبق جدول ۸، مقدار R^2 Nagelkerke که معادل R^2 در رگرسیون خطی می‌باشد برابر است با ۰.۹۸۴. که به این معنا است که ۹۸,۴٪ از تغییرات متغیر وابسته توسط متغیرهای مستقل رگرسیون لجستیک، تبیین می‌شود.

جدول ۸. مقادیر R^2

Cox and Snell	۰/۹۱۹
Nagelkerke	۰/۹۸۴
McFadden	۰/۹۲۴

آزمون نسبت درستنمایی رابطه کلی بین یک متغیر مستقل و متغیر وابسته را ارزیابی می‌نماید. با توجه به جدول ۹، چون تنها آماره کای-دو برای شاخص HDI در سطح خطای ۵٪ معنادار می‌باشد، بنابراین تنها این متغیر دارای ارتباط کلی با متغیر وابسته نوع خوشه است.

جدول ۹. آزمون نسبت درستنمایی

Effect	Model Fitting Criteria	Likelihood Ratio Tests		
	Log Likelihood of Reduced ^۲ -Model	Chi-Square	Df	Sig.
مقدار ثابت	۴۲۹,۴۲۱	۳۹۲,۱۷۲	۳	۰/۰۰۰
شاخص CPI	۳۹,۷۳۹	۲,۴۹۰	۳	۰/۴۷۷
شاخص HDI	۳۳۹,۹۲۴	۳۰۲,۶۷۵	۳	۰/۰۰۰

طبق جدول ۱۰، آزمون والد، در سطح خطای ۵٪ تنها شاخص HDI در پیش بینی احتمال تعلق هر یک از کشورها در خوشه‌های چهارگانه تأثیرگذار است.

جدول ۱۰. آزمون والد

خوشه	B	Std. Error	Wald	Df	Sig.	Exp(B)	Confidence ۹۵% Interval for Exp(B)	
							Lower Bound	Upper Bound
۱	مقدار ثابت	-۴۶۶٫۶۷۱	۱۵۶٫۵۹۷	۸٫۸۸۰	۱	۰٫۰۰۳		
	شاخص CPI	-۰٫۲۰۱	۰٫۲۲۵	۰٫۸۰۰	۱	۰٫۳۷۱	۰٫۸۱۷	۱٫۲۷۲
	شاخص HDI	۶۴۳٫۰۸۶	۲۰۹٫۱۸۱	۹٫۴۵۱	۱	۰٫۰۰۲	E۱٫۹۴۴	E۱٫۷۱۱
۲	مقدار ثابت	-۷۵٫۱۷۷	۳۰٫۲۶۱	۶٫۱۷۱	۱	۰٫۰۱۳		
	شاخص CPI	-۰٫۰۷۸	۰٫۱۱۱	۰٫۴۹۳	۱	۰٫۴۸۲	۰٫۹۲۵	۱٫۱۵۰
	شاخص HDI	۱۴۰٫۰۳۹	۵۴٫۹۲۷	۶٫۵۰۰	۱	۰٫۰۱۱	E۶٫۵۸۱	E۳٫۷۳۹
۳	مقدار ثابت	-۳۶۲٫۴۳۶	۱۵۰٫۷۶۹	۵٫۷۷۸	۱	۰٫۰۱۶		
	شاخص CPI	-۰٫۲۵۰	۰٫۲۱۵	۱٫۳۵۳	۱	۰٫۰۱۶	۰٫۷۷۹	۱٫۱۸۷
	شاخص HDI	۵۲۴٫۷۴۰	۲۰۳٫۴۳۵	۶٫۶۵۳	۱	۰٫۰۱۰	E۷٫۷۸۹	E۵٫۳۳۴
خوشه ۰: طبقه مرجع								

طبق نتایج به دست آمده، نهایتاً توابع پیش‌بینی‌کننده خوشه‌ای که هر کشور بر اساس مقادیر دو شاخص HDI و CPI به آن تعلق می‌یابد بصورت روابط (۶) الی (۹) می‌باشد.

$$\begin{aligned}
 p(y=1) &= \frac{e^{-466.67+643.08HDI}}{1 + e^{-466.67+643.08HDI} + e^{-75.177+140.04HDI} + e^{-362.43+524.74HDI}} \quad (\text{رابطه 6}) \\
 p(y=2) &= \frac{e^{-75.177+140.04HDI}}{1 + e^{-466.67+643.08HDI} + e^{-75.177+140.04HDI} + e^{-362.43+524.74HDI}} \quad (\text{رابطه 7}) \\
 p(y=3) &= \frac{e^{-362.43+524.74HDI}}{1 + e^{-466.67+643.08HDI} + e^{-75.177+140.04HDI} + e^{-362.43+524.74HDI}} \quad (\text{رابطه 8}) \\
 p(y=0) &= \frac{1}{1 + e^{-466.67+643.08HDI} + e^{-75.177+140.04HDI} + e^{-362.43+524.74HDI}} \quad (\text{رابطه 9})
 \end{aligned}$$

نتیجه‌گیری

عمده مطالعات صورت گرفته در زمینه توسعه انسانی و ادراک فساد صرفاً حاکی از وجود رابطه‌ای معکوس و معناداری میان این دو شاخص می‌باشند؛ به این معنا که با کاهش فساد و افزایش شفافیت می‌توان انتظار بهبود شاخص‌های مرتبط با توسعه انسانی در یک کشور را داشت (Zhao and Wu, 2024;)

(Samanta and Sanyal, 2023)؛ با این حال، در این راستا نیز بیشتر تحقیقات صورت گرفته بر همبستگی‌های آماری یا تحلیل‌های رگرسیونی تمرکز کرده‌اند و نشان داده‌اند که افزایش شاخص‌های توسعه انسانی معمولاً با کاهش ادراک فساد همراه است و بالعکس (Osakede et al., 2023; Bhimani et al., 2022; Adeleke and McSharry, 2022; Akisik et al., 2020; Sarkodie and Adams, 2020). یافته‌های پژوهش حاضر ضمن تایید نتایج مطالعات پیشین مبنی بر وجود همبستگی مثبت میان دو شاخص HDI و CPI (به معنای وجود رابطه معکوس میان سطح توسعه انسانی و میزان فساد ادراک شده در یک کشور)، با به‌کارگیری تکنیک‌های پیشرفته‌تری همچون تحلیل خوشه‌ای و رگرسیون لجستیک، توانسته است دیدگاه‌های جدیدی را ارائه دهد که فراتر از تحلیل‌های پیشین است. به این معنا که الگوهای منطقه‌ای مشخص‌تری را برجسته نموده و نشان داده است که چالش‌ها و فرصت‌های موجود در مناطق مختلف جهان به شدت با هم متفاوت است. طبق یافته‌های به دست آمده از پژوهش حاضر، پراکندگی نقاط در خوشه‌ها با هم متفاوت است. پراکندگی زیاد در خوشه صفر (مقادیر پایین CPI و HDI) نشان‌دهنده تفاوت‌های جدی میان کشورهایی با چالش‌های مشترک است. برخی از این کشورها ممکن است فساد بالایی داشته باشند اما سطح توسعه انسانی در آن‌ها نزدیک به متوسط باشد، در حالی که برخی دیگر، هم فساد بالا و هم توسعه انسانی بسیار پایین دارند. این تنوع ممکن است به دلیل تفاوت در سیاست‌های داخلی، یا سرمایه‌گذاری در حوزه‌های خاص مانند آموزش و بهداشت باشد. پراکندگی بالای خوشه سه (مقادیر متوسط CPI و HDI) ناشی از این است که کشورها در نقاط مختلف طیف میانی شاخص‌ها قرار دارند. برخی کشورها ممکن است در حال حرکت به سمت خوشه‌های بالاتر باشند در حالیکه برخی دیگر ممکن است در مرحله رکود یا حتی افت باشند. این خوشه احتمالاً شامل کشورهایی با سطوح مختلف نهاده‌سازی شفافیت و توسعه انسانی هستند، مثلاً کشورهای در حال توسعه یا گذار. این در حالیست که خوشه‌های یک و دو متراکم‌تر هستند. خوشه یک (مقادیر بالا CPI و HDI) در برگیرنده کشورهای توسعه‌یافته با الگوهای مشترک است. این خوشه دارای پراکندگی کم است، زیرا این کشورها معمولاً سطح توسعه و شفافیت مشابهی دارند. علاوه بر این، خوشه دو (CPI بالا و HDI متوسط) نیز دارای پراکندگی کم است. پراکندگی کمتر ناشی از تمرکز این کشورها در مقادیر CPI بالا و HDI متوسط است که نشان می‌دهد این کشورها در کنترل فساد موفق بوده‌اند اما در توسعه انسانی هنوز جای پیشرفت دارند.

به‌کارگیری مدل رگرسیون لجستیک چندگانه در این پژوهش، ابزاری تحلیلی و کاربردی برای درک سازوکار تعلق کشورها به الگوهای متفاوت توسعه و ادراک فساد فراهم ساخته است. یافته‌ها حاکی از آن‌اند که در میان دو شاخص اصلی مورد بررسی، تنها شاخص توسعه انسانی (HDI) دارای قدرت تبیینی معنادار و قوی برای برآورد احتمال عضویت کشورها به خوشه‌های مختلف است؛ به‌گونه‌ای که آماره آزمون والد برای HDI در تمامی مقایسه‌های بین خوشه‌ای معنادار بوده و مقادیر بالای ضریب احتمال

Exp(B) نشان می‌دهد که با افزایش سطح توسعه انسانی، احتمال قرارگیری در خوشه‌های بالاتر (از منظر توسعه و شفافیت) به‌طور تصاعدی افزایش می‌یابد. برازش کلی مدل نیز با ضریب Nagelkerke R^2 برابر با ۰,۹۸۴، حکایت از دقت بالای مدل در تبیین الگوی تعلق کشورها به خوشه‌ها دارد. این میزان از برازش برای یک مدل چندگانه، نشان‌دهنده آن است که ساختار توزیع کشورها در چهار خوشه استخراج‌شده، به‌خوبی توسط متغیرهای ورودی مدل بازنمایی شده‌اند و مدل از توان برآورد قابل‌اتکایی برخوردار است. از سوی دیگر، عدم معناداری شاخص CPI در مدل نهایی، پرسش‌هایی مهم درباره محدودیت‌های این شاخص در تبیین الگوهای ساختاری حکمرانی در مقایسه با شاخص‌های توسعه انسانی مطرح می‌کند. با اینکه CPI در ادبیات به‌عنوان شاخصی پراستناد در تحلیل فساد تلقی می‌شود، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که سطح ادراک فساد به‌تنهایی نمی‌تواند نقش برآورد کنندگی معناداری در احتمال عضویت در طبقه‌بندی وضعیت ادراک فساد کشورها ایفا کند، مگر آنکه در کنار شاخص‌های ساختاری‌تر توسعه مورد تحلیل قرار گیرد. با توجه به آنکه پیش از خوشه‌بندی استانداردسازی انجام نشده است، مرزبندی k-means به وزن نسبی ابعاد حساس می‌ماند؛ بااین‌همه، تفسیر کیفی چهار خوشه مطرح شده در برابر تبدیل‌های خطی یکنواخت پایدار است.

از منظر سیاست‌گذاری، این یافته‌ها دلالت‌های مهمی دارند. اول آنکه، برنامه‌ریزی برای ارتقاء جایگاه کشورها در نظام بین‌المللی توسعه و ادراک فساد، مستلزم تمرکز راهبردی بر بهبود مؤلفه‌های توسعه انسانی است. دوم، سیاست‌گذاران می‌توانند با استفاده از مدل ارائه‌شده، به‌صورت کمی تحلیل کنند که چه میزان بهبود در HDI (برای مثال در آموزش یا سلامت) می‌تواند به جابجایی خوشه‌ای منجر شود. سوم، این نوع مدل‌سازی پیش‌بینی‌پذیر، ابزار مفیدی برای شبیه‌سازی سناریوهای سیاستی و تخصیص منابع هدفمند به‌شمار می‌آید. در نهایت، به‌کارگیری رگرسیون لجستیک در کنار خوشه‌بندی صرفاً روشی مکمل نیست، بلکه به‌مثابه پلی تحلیلی میان طبقه‌بندی توصیفی و تحلیل علی-پیش‌بینانه عمل می‌کند. این رویکرد ترکیبی، گامی مهم در جهت عبور از توصیف وضعیت به سمت تجویز سیاستی مبتنی بر شواهد است و می‌تواند به شکل‌گیری نقشه‌های راه واقعی برای گذار از توسعه‌یافتگی ناقص به حکمرانی پیشرفته کمک کند.

با توجه به یافته‌های حاصل، پیشنهادهای کاربردی و پژوهشی که در ادامه به آن اشاره می‌شود می‌تواند به توسعه بیشتر این خط پژوهشی کمک نماید. در زمینه سیاست‌گذاری؛ طراحی نقشه سیاستی مبتنی بر پیش‌بینی داده‌محور از جمله پیشنهادات قابل استفاده در نهادهای برنامه‌ریزی می‌باشد. طراحی مسیر ارتقاء خوشه‌ای که بر اساس آن مشخص شود برای مثال با چه میزان بهبود در شاخص HDI (مثلاً افزایش میانگین سال‌های تحصیل یا درآمد سرانه)، احتمال جابجایی کشور به خوشه‌ی بالاتر افزایش می‌یابد. یافته‌ها نشان می‌دهد که فساد بدون توسعه انسانی کنترل‌پذیر نیست. بنابراین، در کشورهای خوشه ۰ و ۲ باید سیاست‌های ضد فساد با مداخلات آموزشی و بهداشتی تلفیق شوند تا اثربخش باشند، این مسئله

می‌تواند منجر به بازنگری در سیاست‌های ضد فساد در کشورها با HDI پایین شود. الگوبرداری منطقه‌ای از کشورهایی با مسیر انتقال موفق درون هر خوشه نیز می‌تواند برنامه‌ریزی سیاستی را هدفمندتر کند. در زمینه پیشنهادهای پژوهش‌محور نیز می‌توان به مواردی چون ترکیب مدل رگرسیون لجستیک چندگانه با الگوریتم‌های یادگیری ماشین مانند درخت تصمیم یا جنگل تصادفی اشاره نمود تا دقت برآورد کنندگی احتمال عضویت خوشه‌ها ارتقاء یابد و تعاملات غیرخطی میان شاخص‌ها بهتر شناسایی شود. گسترش مدل با افزودن متغیرهای نهادی یا فرهنگی مانند کیفیت نهادهای قضایی، مشارکت سیاسی یا سرمایه اجتماعی به‌عنوان متغیرهای تعدیل‌گر نیز می‌تواند تبیین نظری مدل را گسترش دهد. تحلیل پویای جابه‌جایی خوشه‌ای در گذر زمان به منظور بررسی اینکه کشورها در گذر زمان چگونه بین خوشه‌ها حرکت می‌کنند و چه عواملی موجب این جابجایی شده است (تحلیل روندهای تغییرات HDI و CPI) و نیز بومی‌سازی مدل برای مناطق خاص برای مثال خاورمیانه، به منظور تطبیق با ویژگی‌ها و حساسیت‌های بومی کشورها در یک منطقه خاص، از جمله پیشنهادات برای پژوهش‌های آتی است. علاوه بر این، با توجه به محدودیت‌های ساختاری شاخص‌های HDI و CPI در تبیین کامل وضعیت حکمرانی و توسعه انسانی کشورها، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، یک شاخص ترکیبی جدید طراحی شود که علاوه بر دو شاخص مذکور، متغیرهای مکملی مانند کیفیت نهادهای مشارکت مدنی، نابرابری درآمد، سرمایه اجتماعی و شاخص‌های حکمرانی جهانی را نیز دربر گیرد. برای وزن‌دهی به این متغیرها نیز به‌جای روش‌های ثابت و ذهنی، از تکنیک‌های داده‌محور مانند تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تحلیل AHP و سایر روش‌های وزن‌دهی مبتنی بر داده استفاده شود. این شاخص می‌تواند در مدل‌های برآورد احتمال عضویت خوشه‌ای کشورها آزموده شود و با شاخص‌های کلاسیک از نظر دقت تبیینی مقایسه گردد.

References:

1. Adeleke, O., & McSharry, P. E. (2022). Female enrollment, child mortality and corruption are good predictors of a country's UN education index. *International Journal of Educational Development*, 90, 102561.
2. Akisik, O., Gal, G., & Mangaliso, M. P. (2020). IFRS, FDI, economic growth and human development: The experience of Anglophone and Francophone African countries. *Emerging Markets Review*, 45, 100725.
3. Bhimani, A., Hausken, K., & Arif, S. (2022). Do national development factors affect cryptocurrency adoption? *Technological Forecasting and Social Change*, 181, 121739.
4. Clarke, A. J., Christensen, M., Balabanski, A. H., Dos Santos, A., Barber, P. A., Brown, A., & Brodtmann, A. G. (2024). Prevalence of dementia among Indigenous populations of countries with a very high Human Development Index: a systematic review. *The Lancet Healthy Longevity*.
5. Hartigan, J. A., & Wong, M. A. (1979). Algorithm AS 136: A k-means clustering algorithm. *Journal of the royal statistical society. series c (applied statistics)*, 28(1), 100-108.
6. Jiang, M., Behrens, P., Lyu, L., Tang, Z., Chen, D., Cao, Y., ... & Zhu, B. (2023). Additional north-south differences in China revealed by the Planetary Pressure-Adjusted Human Development Index. *Resources, Conservation and Recycling*, 198, 107191.
7. Kaewnern, H., Wangkumharn, S., Deeyaonarn, W., Yousaf, A. U., & Kongbuamai, N. (2023). Investigating the role of research development and renewable energy on human development: An insight from the top ten human development index countries. *Energy*, 262, 125540.
8. Lambsdorff, J. G. (2007). The methodology of the corruption perceptions index 2007. Internet Center for Corruption Research. http://www.icgg.org/corruption.cpi_2006.html.
9. Lian, X., Fu, Z., & Chen, J. (2023). Analysis of spatial differences in global regional human development index under planetary pressure and decomposition study of driving factors. *Journal of Environmental Management*, 348, 119292.
10. Lind, N. (2019). A development of the human development index. *Social Indicators Research*, 146(3), 409-423.
11. Long, X., Yu, H., Sun, M., Wang, X. C., Klemesš, J. J., Xie, W., & Wang, Y. (2020). Sustainability evaluation based on the Three-dimensional Ecological Footprint and Human Development Index: A case study on the four island regions in China. *Journal of Environmental Management*, 265, 110509.

12. Mauro, P. (1995). Corruption and growth. *The quarterly journal of economics*, 110(3), 681-712.
13. Nations U, 2024. Report 2023/2024 Reimagining Cooperation in a Polarized World.
14. Nguyen, C. P., Doytch, N., Nguyen, B. Q., & Le Tran, D. T. (2024). Do environmental taxes corrupt governments? *Economic Systems*, 101268.
15. Nielsen, M. B., Eriksen, P. S., Mogensen, H. S., Morling, N., & Andersen, M. M. (2025). Enhanced SNP genotyping with symmetric multinomial logistic regression. *Forensic Science International: Genetics*, 103291.
16. Ortega, B., Casquero, A., & Sanjuán, J. (2016). Corruption and convergence in human development: Evidence from 69 countries during 1990–2012. *Social Indicators Research*, 127, 691-719.
17. Osakede, U. A., Aramide, V. O., Adesipo, A. E., & Akunna, L. C. (2023). Correlates of human development in Africa: Evidence across gender and income group. *Research in Globalization*, 6, 100135.
18. Rose, R., & Peiffer, C. (2019). Understanding corruption in different contexts. *Public Policy Research in the Global South: A Cross-Country Perspective*, 27-41.
19. Rubakha, M., Tkachyk, L., & Horodniak, I. (2023). Modeling the impact of macroeconomic indicators on the Corruption Perceptions Index: Example of Ukraine, Bulgaria, and Georgia. *Regional Science Policy & Practice*, 15(9), 2295-2318.
20. Samanta, S., & Sanyal, R. (2023). Cure for Corruption: a High HDI Score? *Eurasian Journal of Social Sciences*, 11(1), 38-46.
21. Sarkodie, S. A., & Adams, S. (2020). Electricity access, human development index, governance and income inequality in Sub-Saharan Africa. *Energy Reports*, 6, 455-466.
22. Sims, R. L., Gong, B., & Ruppel, C. P. (2012). A contingency theory of corruption: The effect of human development and national culture. *The Social Science Journal*, 49(1), 90-97.
23. Transparency International. (2023). Corruption Perceptions Index.
24. Wang, H., Feil, J. H., & Yu, X. (2023). Let the data speak about the cut-off values for multidimensional index: Classification of human development index with machine learning. *Socio-Economic Planning Sciences*, 87, 101523.