

Trójstopniowy model podejmowania decyzji dotyczących wyboru lokalizacji cementowni z wykorzystaniem metod GIS, MCDM i AHP: studium przypadku w prowincjach Konya Plain Project [KPP] w Turcji

A three-stage decision-making model for cement plant site selection with GIS, MCDM, and AHP methods: A case study in Konya Plain Project [KPP] Provinces, Turkey

Fadim Koç^{1,*}, Ceren Yağcı², Fatih Iscan³

¹ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Department of Architecture and Urban Planning Hisarcık, Kütahya, Turkey

² Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Department of Geomatics Engineering, Osmaniye, Turkey

³ Konya Technical University, Department of Geomatics Engineering, Konya, Turkey

*Corresponding Author: Fadim Koç, e-mail: fadim.koc@dpu.edu.tr

Streszczenie

W niniejszym badaniu określono najbardziej odpowiednie lokalizacje dla cementowni przy użyciu systemu informacji geograficznej i wielokryterialnej analizy decyzyjnej [MCDM] w ramach projektu Konya Plain Project [KPP] [prowincje Aksaray, Karaman, Kırıkkale, Kırşehir, Konya, Nevşehir, Niğde, Yozgat]. Warunki fizyczne regionu zostały określone na podstawie raportów oceny oddziaływania na środowisko i opinii ekspertów, a odpowiednie obszary wybrano na podstawie kryteriów technicznych, społecznych, kulturowych i ekonomicznych. W celu określenia najbardziej odpowiednich regionów zastosowano trzyetapowy proces decyzyjny i system punktacji dla prowincji KPP. Ogółem w tych prowincjach wybrano 56 odpowiednich regionów. Jako najbardziej odpowiednie lokalizacje obiektów wybrano 7. i 6. region prowincji Karaman, 5. region prowincji Kırıkkale oraz 1. i 4. region prowincji Konya

Słowa kluczowe: cementownia, wybór lokalizacji, AHP, GIS, MCDM, zrównoważony rozwój

Summary

In this study, the most suitable locations for cement factory are identified by using the Geographical Information System and Multi-Criteria Decision Analysis [MCDM] in the Konya Plain Project [KPP] [Aksaray, Karaman, Kırıkkale, Kırşehir, Konya, Nevşehir, Niğde, Yozgat] provinces. The physical conditions of the region were determined based on the Environmental Impact Assessment Reports and expert opinions, and the suitable areas were chosen with technical, social, cultural, and economic criteria. In order to determine the most suitable regions, A three-stage decision-making process and Scoring System has been used for KPP Provinces. Overall, 56 suitable regions were decided among these provinces. The most suitable facility locations were chosen 7th and 6th region of Karaman province, 5th region of Kırıkkale province, 1st and 4th region of Konya Province.

Keywords: cement plant, site selection, AHP, GIS, MCDM, sustainability

1. Wprowadzenie

Wzrost liczby ludności i industrializacja w ostatnich latach spowodowały wzrost zapotrzebowania miast na infrastrukturę, mieszkania i potrzeby społeczno-gospodarcze. Ponadto wzrost konsumpcji na osobę, rozwój światowej gospodarki i globalna polityka monetarna przyspieszyły rozwój zwłaszcza w światowym sektorze budowlanym i zwiększyły zapotrzebowanie na cement. Ze względu na swoje właściwości techniczno-ekonomiczne cement

1. Introduction

Increasing population and industrialization in recent years have increased the infrastructure, housing, and socio-economic needs of cities. In addition, the increase in consumption per person trend, growth in the world economy, global monetary policies accelerated the developments especially in the world construction sector, and increased the need for cement. Cement, due to its techno-economic characteristics, is a substance that is given special

jest materiałem, do której rządy, zwłaszcza w krajach rozwijających się, przywiązują szczególną wagę. Popyt na cement rośnie z dnia na dzień ze względu na szybko rozwijające się gospodarki w krajach rozwijających się, gdzie urbanizacja i industrializacja są intensywne. Szczególnie w krajach, takich jak Turcja, nowy zakład przemysłowy będzie miał znaczenie dla sytuacji gospodarczej, ponieważ stworzy nowe miejsca pracy i możliwości ekonomiczne. Z tego powodu uruchomienie i utworzenie cementowni stało się bardzo ważne.

Cementownie muszą być zlokalizowane w odpowiednim miejscu, aby chronić środowisko i zapobiegać marnowaniu inwestycji. Decyzja o wyborze odpowiedniej lokalizacji ma długoterminowe, trudne do zmiany, kosztowne i strategiczne znaczenie (1).

Miejsce założenia fabryki oznacza zazwyczaj położenie geograficzne, w którym przedsiębiorstwo prowadzi swoją działalność gospodarczą (2). Źle wybrana lokalizacja zakładu powoduje wysokie koszty transportu, niedostateczne zaopatrzenie w siłę roboczą i surowce, straty konkurencyjne i finansowe oraz zanieczyszczenie środowiska. Decydenci zazwyczaj przyjmują perspektywę ekonomiczną przy wyborze lokalizacji zakładu. Jednak w przypadku zakładu zrównoważonego i stałego problemy te nie powinny być rozpatrywane wyłącznie z perspektywy ekonomicznej. Ponadto należy ocenić infrastrukturę, aspekty środowiskowe, społeczne i ekonomiczne; przy wyborze lokalizacji zakładu należy zbadać ochronę życia i środowiska naturalnego, zdolność organizacji do osiągnięcia maksymalnej wydajności oraz jej projekt przy minimalnych szkodach. Dlatego wybór lokalizacji powinien być uzależniony od wielu kryteriów. Ponieważ w procesie wyboru lokalizacji obiektu branych jest pod uwagę wiele kryteriów, zbyt duża ilość informacji komplikuje planowanie. Aby wyeliminować tę niejasność, stosuje się łącznie systemy informacji geograficznej [GIS, z ang. Geographical Information Systems], analityczny proces hierarchiczny [AHP, z ang. Analytical Hierarchy Process] oraz wielokryterialną analizę kryteriów [MCDM, z ang. Multi-Criteria Criteria Analysis]. W ostatnich latach dostępność informacji znacznie skróciła proces podejmowania decyzji i planowania, oszczędzając czas i pracę. GIS ułatwia przygotowanie analiz, które będą stanowić podstawę procesu MELA, mającego kluczowe znaczenie zwłaszcza w badaniach dotyczących wyboru lokalizacji. Ponadto MPA umożliwia decydentom odpowiednią i systematyczną analizę oraz ocenę różnych kryteriów uzyskanych z różnych źródeł. Aby wykorzystać te różne kryteria w analizie, zastosowano technikę analitycznego procesu hierarchicznego [AHP] opracowaną przez Thomasa L. Saaty'ego w latach 70. XX wieku w celu dokładniejszego zdefiniowania wzajemnego oddziaływania kryteriów i określenia ich priorytetów.

Techniki te są stosowane w takich dziedzinach, jak zdrowie, bezpieczeństwo, hydrologia i gospodarka wodna, zarządzanie biznesowe i finansowe, zarządzanie zasobami ludzkimi, turystyka, logistyka i zarządzanie łańcuchem dostaw, projektowanie, inżynieria i systemy produkcyjne, zarządzanie energią itp. (3–10).

Wraz z postępującą urbanizacją zaczęło nasilać się niszczenie przyrody, jak również zagrożenie wyczerpywaniem się zasobów

importance by governments, especially in developing countries. Demand for cement is increasing day by day due to rapidly developing economies in developing countries where urbanization and industrialization are intense. Especially in developing countries such as Turkey, a new industrial plant for the economic situation will come to the fore since it will create new jobs and economic opportunities. For this reason, the activation and establishment of cement factories has become very important.

For this reason, cement factories must be located in the right place in order to protect the environment and prevent the investments to go to waste. This decision to choose the right location is of long-term, difficult to change, costly, and strategic importance (1).

The place of establishment of a factory generally means the geographical location where the enterprise maintains its economic activities (2). A poorly chosen facility location causes high transportation costs, labor and raw materials not being met adequately, competitive and financial losses and environmental pollution. Decision-makers generally take an economic perspective in the selection of facility location. However, for a sustainable and permanent facility, such problems should not be looked at only from an economic perspective. Besides, it should evaluate the infrastructure, environmental, social, and economic aspects; The protection of the living and natural life, the organization's ability to achieve maximum efficiency, and its design with minimum damage should be examined in the selection of the facility location. Therefore, the location selection should be determined with many criteria. Since many criteria are taken into account in the facility location selection process, the existence of too much information makes planning complicated. To eliminate this confusion, Geographical Information Systems [GIS], Analytical Hierarchy Process [AHP], and Multi-Criteria Criteria Analysis [MCDM] are used together. In recent years, the availability of information has significantly shortened the decision, planning process, saved time and labor. GIS facilitates the preparation of analysis studies that will form a basis for the MELA Process, which has critical importance, especially in location selection studies. Also, MPA enables decision-makers to analyze and evaluate various criteria obtained from various sources adequately and systematically. To use these various criteria in the analysis, the Analytical Hierarchy Process [AHP] technique developed by Thomas L. Saaty in the 1970s was used to more accurately define the effects of the criteria on each other and to determine the priorities of the criteria.

It is seen that these techniques, are used in the fields of health, safety; hydrology and water management; business and financial management; human resources management; tourism; logistics and supply chain management; design, engineering and manufacturing systems; energy management etc. (3–10).

With the effect of increasing urbanization, the destruction of nature has started to increase, and natural resources running out started to be threatened. For this reason, both researchers and politicians have carried out studies on environmental management. Regarding facility location, studies on oil natural gas storage, nuclear power

Tablica 1 / Table 1

KRYTERIA WYBORU LOKALIZACJI W ZGŁOSZONYCH PRACACH

CRITERIA OF SITE SELECTION ON APPLIED PAPERS

Obiekt / Subject	Badania Researches	Kryteria / Criterion	Metody / Methods	Wpływ na środowisko Environmental impacts
Magazyny ropy naftowej, gazu ziemnego, produktów petrochemicznych i chemicznych / Storage facilities for oil, natural gas, petrochemicals and chemicals	(11) (12)	Wykorzystanie gruntów, Odległość od drogi, Litologia, Odległość zbocza od przepływu, Wysokość nad poziomem morza, Terroryzm, Burza piaskowa, Odległość od rurociągu, Gniazda ptaków, / Land Use, , Distance To Road, Lithology, Slope Distance To Flow, Altitude, , Terrorism, Dust Storm, Distance To Pipeline, Bird Nests,	MCDM, GIS, Fuzzy Method ¹ , DST TOPSIS, AHP,	Obszary chronione, Hałas, Zanieczyszczenie powietrza (NO _x i PM10), Odpady, Gleba, Życie codzienne, Zanieczyszczenie wody, Odpady, Ścieki, Emisje / Protected Areas, ,Noise, Air Pollution (Nox and PM10), Wastes, Soil, Living Life, Water Pollution (Wastewater), Wastes, Wastewater, Waste, Emissions
Elektrownia jądrowa Nuclear Energy Plant	(13) (14) (15) (16) (17) (18) (19) (4) (20) (21) (22) (23)	Średnia temperatura, dostępność wody chłodzącej, akceptacja społeczna, liczba ludności, koszty budowy, sieć elektryczna, powódź, topografia, bliskość uskoków, wrażliwość środowiskowa, bliskość granic państwowych, sejsmiczność, możliwości transportowe i kontrola obiektów niebezpiecznych, średnia prędkość wiatru, kwalifikowalność, akceptacja społeczna, dostawy paliwa jądrowego / Average Temperature, Availability of Cooling Water, Public Acceptance, Population, Construction Cost, Electrical Network, Flooding, Topography, Proximity to Faults, Environmental Sensitivity, Proximity to National Boundaries, Seismicity, Transportation Opportunities and Hazardous Facilities Screening, , Average Wind Speed, Eligibility of, Public Acceptance, Nuclear Fuel Supply	FuzzyTOPSIS, MDCM, Interval Type-2 Fuzzy, AHP, TOPSIS, GIS, SMR, RISK ASSESSMENT PROMETHEE II, Z-numbers, BWM, DEMATEL, RPM, MCDP	Zanieczyszczenie radioaktywne wody i gleby, emisje do atmosfery, odpady konwencjonalne niebędące odpadami radioaktywnymi, radiotoksyczność spowodowana zewnętrznym i wewnętrznym narażeniem na promieniowanie podczas fazy budowy i eksploatacji. / Radioactive Contamination of Water and Soil, Air Emissions, Non-radioactive Conventional Wastes, Radiotoxicity due to External and Internal Radiation Exposure during construction and operation phases.
Składowisko odpadów stałych / Solid Waste Storage facility	(24) (25) (26) (27) (28) (29) (30) (31) (32) (33) (34) (35) (36)	Wykorzystanie gruntów, temperatura, geologia, odległość od wód powierzchniowych, odległość od wód gruntowych, odległość od głównych dróg i autostrad, odległość od obszarów chronionych, archeologia, nachylenie terenu, uskoki, odległości od osad, w tym przemysłowych, wysokość nad poziomem morza. / Land Use, Temperature, Geology, Distance to Surface Water, Distance to Groundwater, Distance from Main Roads and Highways, Distance to Protected Areas, Archaeological, Slope, Faults , Distances to Settlements Including Industry, Altitude	GIS, AHP, MCDM, MULTIMOORA, Type-1 Fuzzy Sets, Type-2 Fuzzy Sets, VIKOR Grey relational Analysis, Remote Sensing, Delphi Method, RISAM, Cost-Effectiveness Analysis, Modified Cost-Effectiveness Analysis	Zanieczyszczenie hałasem, zanieczyszczenie gleby, emisja gazów odlotowych, zanieczyszczenie wód powierzchniowych/gruntowych, emisja zapachów. / Noise Pollution, Soil Pollution, Waste Gas Emission, Surface / Groundwater Pollution, Odor Emission.
Cementownie / Cement Plants	(37) (38) (39) (40) (45) (49)	Surowiec, pojemność zbiornika, zrównoważony charakter surowca, bliskość kopalń, obecność pracowników fizycznych, obecność pracowników umysłowych, obszar oddziaływania popiołu, jakość, transport i odległości, odległość od środków transportu, potencjalne autostrady, odległość od najbliższych wsi, historia, energia, odległość od miejsc, bliskość powierzchni, zanieczyszczenie hałasem, usługi publiczne, zanieczyszczenie powietrza, flora i fauna, wkład w społeczeństwo, populacja, emisje, infrastruktura, topografia, geomorfologia, struktura sejsmiczna, wsparcie lokalne, koszt gruntu, struktura tektoniczna, geofizyka, dostępność, jakość wykonania; / Raw Material, Reservoir Capacity, Raw Material Sustainability, Proximity to Mines, Existence of Blue Collar, Existence of White Collar, Ash Impact Area, Quality, Transportation and Distances, Distance to Transportation Vehicles, Potential Highways, Distance from Nearest Villages History, Energy, Distance to Places, Proximity to Surface, Noise Pollution, Public Services, Air Pollution, Flora and Fauna Life, Contribution to Society, Population, Emissions, Infrastructure, Topographic, Geomorphology, Seismic Structure, Local Support, Cost of Land, Tectonic Structure, Geophysics, , Accessibility, Workmanship	Type-2 Fuzzy Sets, TOPSIS, MCDM, AHP20, GIS, LR, MR, HR imagery	Obszary chronione, Życie codzienne, Hałas, Zanieczyszczenie powietrza (NO _x i PM10), Odpady, Ścieki, Emisje odpadów, Gleba, Zanieczyszczenie wody (ścieki) / Protected Areas, Living Life, Noise, Air Pollution (Nox and PM10), Wastes, Wastewater, , Emissions Wastes, Soil, Water Pollution (Wastewater)

naturalnych. Z tego powodu zarówno naukowcy, jak i politycy przeprowadzili badania dotyczące zarządzania środowiskiem. W odniesieniu do lokalizacji obiektów przeprowadzono badania dotyczące magazynowania ropy naftowej i gazu ziemnego, elektrowni jądrowych, odpadów stałych i lokalizacji cementowni w celu ochrony środowiska, gleb i organizmów żywych. Fabryki te mają podobny wpływ na środowisko w regionie, w którym się znajdują. Wpływ ten przedstawiono w tablicy 1.

W literaturze naukowej istnieje niewiele badań dotyczących wyboru lokalizacji cementowni (37). Pekin (37) wspominał o oddziaływaniu popiołów z cementowni. Cebi i Otay (38) podjęli próbę wyeliminowania niepewności kryteriów, starając się określić kryteria wyboru lokalizacji przy zakładaniu cementowni w najszerszym znaczeniu. W badaniu przeprowadzonym przez Fard M. M. i in. (39) wykorzystano metody GIS i AHP w celu określenia najbardziej odpowiedniej lokalizacji dla cementowni, biorąc pod uwagę kryteria techniczne, środowiskowe i społeczne. Badanie to jest jednym z pierwszych przykładów wykorzystania metod GIS i AHP łącznie do wyboru lokalizacji cementowni.

W niniejszych badaniach podjęto próbę określenia najbardziej odpowiednich regionów dla zakładów cementowych w prowincjach objętych projektem Konya Plain Project [KPP] przy użyciu metod GIS i AHP. Określono 23 kryteria w zakresie infrastruktury, wymiaru środowiskowego, społeczno-kulturowego oraz ekonomicznego. Współczynniki wagowe kryteriów zostały określone przy użyciu metody AHP. W ramach MCDM zastosowano trzyetapowy proces decyzyjny w celu określenia lokalizacji zakładów cementowych na obszarze objętym badaniem. Najbardziej odpowiednie regiony dla planowanego zakładu cementowego w regionie KPP zostały określone na podstawie prowincji i okręgów.

2. Część doświadczalna

2.1. Obszar badań

Obszar badań został określony jako prowincje i okręgi regionu KPP. KPP to regionalny projekt rozwojowy mający na celu rozwój gospodarczy i społeczny regionu. Region ten składa się z 8 prowincji, w tym prowincji Konya, Aksaray, Kırşehir, Karaman, Nevşehir, Kırıkkale, Yozgat i Niğde oraz 86 okręgów. Region KPP stanowi 5,4% populacji Turcji, a jego powierzchnia wynosi 12% terytorium kraju, czyli 9500 km² [patrz rys. 1]. W regionie KPP działają obecnie 4 cementownie w Konya, Niğde, Nevşehir i Yozgat.

2.2. Określanie kryteriów

Po zbadaniu wszystkich warunków ilościowych i jakościowych, przeanalizowaniu niezbędnych przepisów i we współpracy z ekspertami, określono kryteria infrastrukturalne, środowiskowe, społeczno-kulturowe i ekonomiczne dotyczące wyboru lokalizacji cementowni [tablica 2]. W przypadku udostępnienia danych zostały one uzyskane od Generalnej Dyrekcji ds. Badań i Eksploracji Surowców Mineralnych, spółki Meram Electricity Distribution Incorporated Company, Ministerstwa Rolnictwa i Leśnictwa T.C.,

plants, solid waste, and cement factories' location selection have been carried out to protect the environment, scarce soil, and living things. These factories affect the region where they are located similarly in terms of environmental impacts. These environmental impacts are given in Table 1.

There are few studies in the literature on cement plant site selection studies (37). Pekin (37) mentioned the ash impact area of the cement plant. Cebi and Otay (38) worked to eliminate the uncertainties of the criteria by trying to determine the location selection criteria in the establishment of cement plants in the broadest sense. In their study conducted by Fard M. M. et al. (39), they used GIS and AHP methods to determine the most suitable location for the cement factory, taking into account technical, environmental, and social criteria. This study is one of the first examples to use GIS and AHP methods together for cement plant site selection.

In this study, the most suitable regions for cement plants in the provinces of the Konya Plain Project [KPP] were tried to be determined by using GIS and AHP methods. 23 criteria were determined in terms of infrastructure, environmental, social-cultural dimensions as well as economic dimensions. The weight coefficients of the criteria were determined using the AHP method. With MCDM, a three-stage decision-making process has been applied to determine the cement plant facility locations in the study area. The most suitable regions for the cement plant planned to be established in the KPP region have been determined based on provinces and districts.

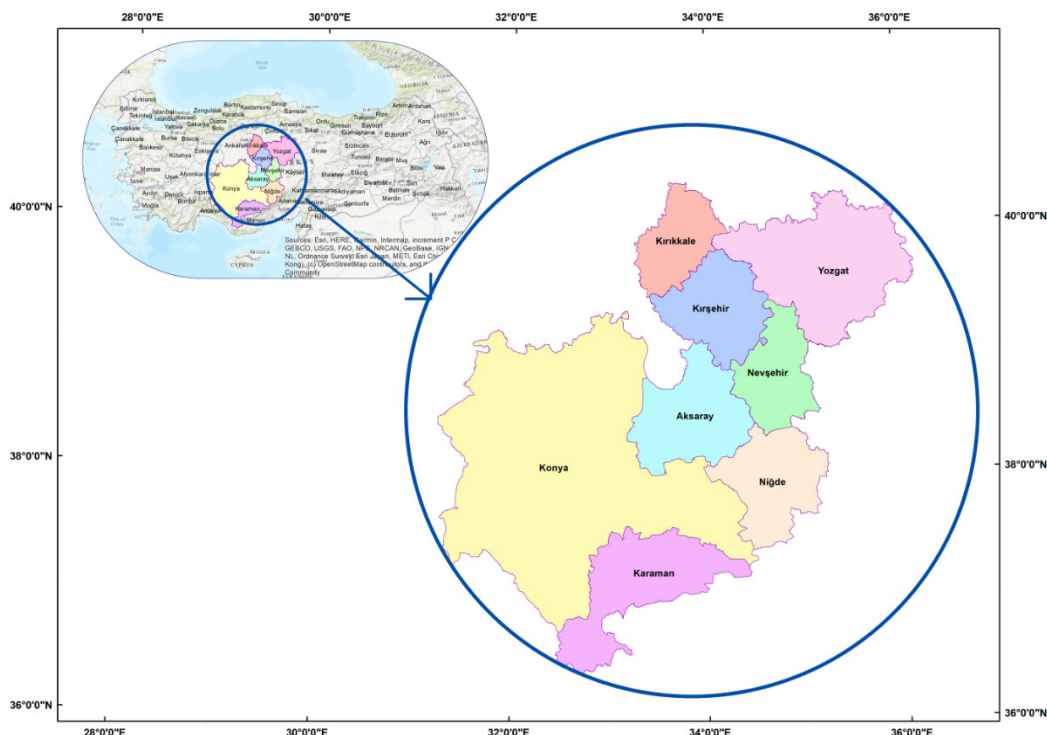
2. Experimental

2.1. Study area

The study area has been determined as the provinces and districts of the KPP Region. KPP is a regional development project aiming at the economic and social development of the region. This region consists of 8 provinces including Konya, Aksaray, Kırşehir, Karaman, Nevşehir, Kırıkkale, Yozgat and Niğde provinces and 86 districts. KPP region is ideally 5,4% of Turkey's population, area sizes amount to 12% with 9500 km² [see Fig. 1]. There are a total of 4 cement factories in Konya, Niğde, Nevşehir, and Yozgat, which are currently operating in the KPP Region.

2.2. Determination of criteria

By investigating all quantity and quality conditions, examining the necessary regulations and in cooperation with experts, infrastructure, environmental, socio-cultural, and economic criteria were determined for cement plant site selection [Table 2]. Where data is provided; It has been obtained from General Directorate Of Mineral Research And Explorations, Meram Electricity Distribution Incorporated Company, T.C. Ministry of Agriculture and Forestry, Revenue Department, and Turkish Statistical Institute institutions, Open Street Map website, and open sources.



Rys. 1. Obszar badań.

Fig. 1. Study area.

Departamentu Skarbowego oraz Tureckiego Instytutu Statystycznego, strony internetowej Open Street Map oraz otwartych źródeł.

Kryteria infrastrukturalne:

Kryteria dotyczące surowców cementowych są ważnym czynnikiem przy wyborze lokalizacji planowanej cementowni, ponieważ bliskość surowców pozwala na łatwy transport. Kryteria dotyczące kolei są mniej istotne w porównaniu z transportem lotniczym i drogowym, jeśli weźmie się pod uwagę koszty ogólne transportu. Kryteria dotyczące dróg są ważne dla transportu i wysyłki. Kryteria dotyczące lotniska zostały uwzględnione w analizie, ponieważ klienci przybywający do cementowni mogą szybciej do niej dotrzeć, a produkty mogą być szybciej wprowadzane na rynek. Jeśli chodzi o kryteria dotyczące centrum transformatorowego, pożądane jest, aby centrum znajdowało się w pobliżu, ponieważ ma ono na celu dostarczanie energii do fabryki bez przerw i zapewnienie najszybszego rozwiązania w niekorzystnych sytuacjach, które mogą wystąpić. Kryterium dotyczące miejsc osiedlenia jest ważne, ponieważ znajduje się ono poza obszarem cementowni. Ponieważ toksyczne gazy i odpady wydobywające się z kominów fabryk i zakładów przemysłowych mają negatywny wpływ na środowisko i zdrowie ludzi, pożądane jest, aby znajdowały się one z dala od terenu zakładu, aby nie zwiększać istniejącego zanieczyszczenia środowiska w tym regionie. Pożądane jest również, aby narzędzia lub sprzęt w fabryce znajdowały się w pobliżu, aby można było szybko dostarczyć materiały wykorzystywane do napraw, remontów i budowy.

Infrastructure criteria:

The cement raw materials criteria is a important criteria for the location of the planned facility for the cement plant being close to the raw material requires ease of transportation. The railway criteria is lower compared to air and road when considering the cost for transportation. The road criteria is important for transport and shipping. The airport criteria has been included in the analysis with the idea that customers coming for the factory reach faster and the production can be marketed faster. In terms of the electrical transformer center criteria, it is desired that the center be close to the factory since it is aimed to deliver the energy to the factory without interruption and to produce the fastest solution in adverse situations that may occur. The settlement center criteria is important in that it is located outside the cement factory residential area. While the toxic gases and wastes coming out of the chimney in factories and industries adversely affect the environment and human health, it is desired to be away from the plant site in order not to increase the existing environmental pollution in that region. It is also desired that a tool or equipment in the factory be close to being able to quickly supply the materials used in the breakdown, repair, and construction.

Environmental criteria:

In terms of waste water treatment plant criteria, the cement factory should be located far from the facility, considering that it meets the water needs of the city. According to the criteria of protected areas, cement factories cannot be established in those regions. There are approximately two thousand mounds, protected reeds, and lakes in the KPP region. The criteria of forest areas aims to

Tablica 2 / Table 2

KRYTERIA STOSOWANE PRZY WYBORZE LOKALIZACJI CEMENTOWNI.

CRITERIA USED FOR CEMENT PLANT LOCATION SELECTION.

Kryteria infrastrukturalne Infrastructure Criteria	Kryteria środowiskowe Environmental Criteria	Kryteria społeczno-kulturowe Socio-cultural Criteria	Kryteria ekonomiczne Economic Criteria
- Surowce / Cement Raw Materials - Kolej / Railway - Drogi / Road - Litniska / Airport - Centrum transformatorów elektrycznych / Electric Transformer Center - osiedlenie / Settlement	- Oczyszczalnia ścieków / Waste Water Treatment Plant - Obszary chronione / Protected Area - Lasy / Forest Area - Źródła wody / Water Resources - Grunty rolne / 1st Agricultural Land - Zanieczyszczenia powietrza / Air Pollution - Topografia terenu / Topography (Slope) - Leje krasowe / Sinkholes - Uskoki / Fault Line - Sytuacja geologiczna / Geology Situation	- Placówki służby zdrowia / Health Institutions - Poziom wykształcenia / Education Level - Gęstość populacji / Population Density - Liczba kin i teatrów / Number of Cinemas and Theaters	- Koszty gruntów / Land Cost - Stopa bezrobocia / Unemployment Rate - Obszary przemysłowe i handlowe / Industry And Trade Areas

Kryteria środowiskowe:

Jeśli chodzi o kryteria dotyczące zakładu uzdatniania wody, cementownia powinna być zlokalizowana z dala od obiektu, biorąc pod uwagę, że oczyszczalnia zaspokaja potrzeby miasta w zakresie zaopatrzenia w wodę. Zgodnie z kryteriami dotyczącymi obszarów chronionych, cementownie nie mogą być zakładane w tych regionach. W regionie KPP znajduje się około dwóch tysięcy kopców, chronionych trzcin i jezior. Kryteria dotyczące obszarów leśnych mają na celu ochronę lasów. Obszary leśne są największym elementem zapewniającym czyste powietrze w regionie, w którym się znajdują, dlatego konieczne jest, aby nie niszczyć obszarów leśnych i chronić żyjące w nich gatunki flory i fauny. Kryteria dotyczące zasobów wodnych są niezbędne, aby zapobiec przedostawaniu się szkodliwych odpadów z fabryki do wody i chronić gatunki fauny i flory żyjące w wodzie. Kryteria dotyczące zanieczyszczenia powietrza są niezbędne, aby cementownie planowały swoją lokalizację z dala od obszarów o wysokim poziomie zanieczyszczenia powietrza. Zgodnie z kryteriami dotyczącymi lejów krasowych lokalizacja cementowni powinna być oddalona od obszarów, na których mogą występować leje krasowe i erozje. Kryteria dotyczące linii geologicznych uskoki są niezbędne, aby zapobiec utracie życia, a następnie utracie mienia w wyniku ewentualnych trzęsień ziemi. Planowanie powinno być prowadzone z dala od tych obszarów. Kryteria dotyczące warunków geologicznych zostały uwzględnione w analizie, ponieważ lokalizacja cementowni oraz prace, które mają być wykonywane przez fabrykę, nie powinny być zakłócanie przez strukturę gruntu, a podczas wznoszenia budynku i po jego ukończeniu dąży się do ustanowienia korzystnej relacji między budynkiem a gruntem. Nachylenie terenu jest kryterium uwzględnionym w analizie przy ocenie kosztów na etapie budowy fabryki. Postanowiono uwzględnić w analizie kryteria dotyczące gruntów rolnych w celu ochrony istniejących gruntów rolnych i przeniesienia industrializacji poza obszar rolniczy.

protect forest areas. Forest areas are the biggest element that provides the clean air space of the region where it is located, and it is necessary not to damage the forest areas and to protect the flora and fauna species living in them. The water resources criteria is necessary to prevent harmful wastes from the factory from entering the water and to protect the fauna and flora species living in the water. The air pollution criteria is necessary for cement plants to plan away from areas with high air pollution. According to the sinkhole criteria, the cement plant facility location should be far from the sinkholes and pothole areas that may occur. The criteria of fault line is necessary to prevent loss of life first and then property loss in possible fault movements. And planning should be carried out away from these areas. The criteria of the geology situation were decided to be included in the analysis since the cement plant facility location, the works to be carried out by the factory are not interrupted due to the ground structure, and the building ground relationship is aimed to be established well during and after the raising a building. The slope is a criteria included in the analysis when evaluated in terms of cost during the construction phase of the factory. It has been decided to include the criteria for agricultural land in the analysis to protect existing agricultural lands and to deploy industrialization outside the agricultural area.

Social-cultural criteria:

The criteria for the number of health institutions has been added to the criteria to reach the health institutions as soon as possible when faced with health problems for the personnel and their families, to perform the necessary medical interventions in the best way, and to supply all health supplies quickly. The criteria of education level was decided to be included in the analysis considering that the children of the workers who will work in the factory can be given a good level of education, the desired level of staff can be found and the crime rates will be low in places where the education level is high. The criteria of population density was decided to be included in the analysis because the facility to be established

Kryteria społeczno-kulturowe:

Kryteria dotyczące liczby placówek służby zdrowia zostały dodane do kryteriów, aby zapewnić jak najszybszy dostęp do placówek służby zdrowia w przypadku problemów zdrowotnych personelu i ich rodzin, jak najlepsze wykonanie niezbędnych zabiegów medycznych oraz szybkie dostarczenie wszystkich środków medycznych. Postanowiono uwzględnić w analizie kryterium poziomu wykształcenia, biorąc pod uwagę, że dzieci pracowników zatrudnionych w fabryce powinny mieć edukację na dobrym poziomie, można znaleźć personel o pożądanym poziomie kwalifikacji, a w miejscach o wysokim poziomie wykształcenia wskaźniki przestępczości są niskie. Kryterium gęstości zaludnienia zostało uwzględnione w analizie, ponieważ zakład, który ma powstać w ramach działalności fabryki, ma mniejsze szanse na znalezienie wykwalifikowanego personelu w regionie o niskiej gęstości zaludnienia, a warunki środowiskowe mogą ulec pogorszeniu w regionie o wysokiej gęstości zaludnienia. Kryterium liczby kin i teatrów zostało uwzględnione w analizie, ponieważ jest to dziedzina, która wspiera działalność społeczno-kulturalną ludzi poza pracą w cementowni.

Kryteria ekonomiczne:

Kryteria dotyczące kosztów gruntu są uwzględnione w analizie w celu porównania sytuacji kosztowej i korzyści ekonomicznych, jakie przyniesie zakład po utworzeniu, jeśli fabryka nie posiada własnego gruntu, ilość posiadanego gruntu jest niewystarczająca lub nie ma gruntów skarbowych. Kryterium stopy bezrobocia jest ważne w kontekście lokalizacji fabryki w miejscach o wysokiej stopie bezrobocia, aby zmniejszyć tę stopę i zaspokoić zapotrzebowanie na personel. Kryterium obszarów przemysłowych i handlowych jest konieczne, aby móc uzyskać niezbędne narzędzia i materiały z obszarów przemysłowych oraz efektywnie wykorzystać obszary handlowe do sprzedaży produkowanego cementu.

2.3. Metody

W niniejszym badaniu zastosowano strukturę rastrową warstwy danych. Warstwy danych zebrane z różnym poziomem dokładności zostały przekształcone do formatu danych rastrowych o spójnej rozdzielczości w środowisku GIS. Proces ten nie tylko zwiększa dokładność map, ale także przyczynia się do bardziej efektywnych i wiarygodnych analiz.

Zastosowano metodę MCDM [wielokryterialnej analizy decyzyjnej] wspieraną przez GIS. MCDM jest rozwiązaniem stosowanym w przypadkach, gdy można ocenić łącznie więcej niż jedno kryterium. Podstawową metodą rozwiązywania problemów jest podzielenie problemu na małe, proste i zrozumiałe części oraz połączenie tych części w taki sposób, aby uzyskać znaczący wynik (41).

MCDM [wielokryterialne podejmowanie decyzji, *ang. Multiple Criteria Decision Analysis*] to metoda analityczna mająca na celu określenie najbardziej odpowiedniej opcji poprzez uwzględnienie wielu kryteriów w złożonych problemach decyzyjnych (48). Jest to technika często stosowana, szczególnie w systemach wspomagających

within the scope of the activities of the factory is less likely to have qualified personnel in the region with low population density, and the environmental conditions are likely to worsen in the region with high population density. The criteria for the number of cinemas and theaters has been included in the analysis so that it is a field that supports people's socio-cultural activities outside of work for the cement plant facility location.

Economic criteria:

The criteria of land cost criteria is included in the analysis to compare the cost situation and the economic benefit that the facility will bring after the establishment, if the factory does not have its own land, the amount of its own land is not sufficient or there is no treasury land. The criteria of unemployment rate is important in terms of the location of the factory in places where the unemployment rate is high, to reduce this rate and to meet the need for personnel. The criteria of industry and trade areas is a necessary criteria to be able to obtain the necessary tools and materials from industrial areas and to use the commercial areas effectively in the sale of the cement it produces.

2.3. Method

In this study, all of these data layers are used in the raster structure. Data layers collected at different levels of precision have been converted into raster data format with a consistent resolution in the GIS environment. This process not only enhances the accuracy of the maps but also contributes to more effective and reliable analyses.

GIS-supported MCDM [Multiple Criteria Decision Analysis] was used. MCDM is a solution applied in cases where more than one criteria can be evaluated together. The basic method in problem-solving is to divide the problem into small, simple, and understandable parts and to make a connection from these parts so that a meaningful result can be obtained (41).

MCDM [Multi-Criteria Decision Making] is an analytical method aimed at determining the most suitable option by considering multiple criteria in complex decision-making problems (48). It is a technique frequently used, particularly in decision support systems and GIS applications. On the other hand, Kernel Analysis is a method used for assessing spatial density. This analysis is applied to visualize and evaluate the density distribution of spatial event data. Fundamentally, it creates a bell-shaped curve around the analyzed point, where the density value decreases as the distance increases (47). The results of the density analysis are typically presented as a raster surface, containing the calculated density value for each cell. The kernel function utilizes bandwidth and cell size parameters, which directly impact the accuracy and interpretability of the analysis (47). The bandwidths for each criterion are provided in Table 3. When MCDM and Kernel Analysis are used together, the decision-making process becomes more detailed and effective. Kernel analysis visualizes the spatial data by generating separate density maps for each criterion, while MCDM techniques help determine the optimal decisions by considering the relationships between the criteria. This integrated approach

nia decyzji i aplikacjach GIS. Z drugiej strony jądrowy estymator gęstości [ang. *Kernel analysis*] jest metodą stosowaną do oceny gęstości przestrzennej. Analiza ta jest stosowana do wizualizacji i oceny rozkładu gęstości danych dotyczących zdarzeń przestrzennych. Zasadniczo tworzy ona krzywą w kształcie dzwonu wokół analizowanego punktu, gdzie wartość gęstości maleje wraz ze wzrostem odległości (47). Wyniki analizy gęstości są zazwyczaj przedstawiane w postaci powierzchni rastrowej zawierającej obliczoną wartość gęstości dla każdej komórki. Funkcja jądrowa gęstości wykorzystuje parametry szerokości pasma i rozmiaru komórki, które mają bezpośredni wpływ na dokładność i interpretowalność analizy (47). Pasma dla każdego kryterium podano w tablicy 3. Gdy MCDM i analiza jądrowego estymatora gęstości [kernel analysis] są stosowane razem, proces podejmowania decyzji staje się bardziej szczegółowy i skuteczny. Analiza jądrowego estymatora gęstości wizualizuje dane przestrzenne poprzez generowanie oddzielnych map gęstości dla każdego kryterium, podczas gdy techniki MCDM pomagają w podejmowaniu optymalnych decyzji poprzez uwzględnienie relacji między kryteriami. Takie zintegrowane podejście ułatwia rozwiązywanie złożonych i wielowymiarowych problemów przestrzennych, takich jak wybór lokalizacji, w bardziej kompleksowy sposób.

GIS to system informacyjny, który pełni funkcje gromadzenia, przechowywania, analizowania i prezentowania danych graficznych i niegraficznych uzyskanych w wyniku operacji opartych na lokalizacji w sposób zintegrowany (42). GIS przeprowadza te analizy w ramach zintegrowanej platformy, ułatwiając porównywanie i analizowanie różnych warstw danych. Umożliwia to decydentom uzyskanie głębszego zrozumienia danych dzięki wizualizacjom graficznym i mapowym, zwiększając tym samym zdolność do podejmowania świadomych i trafnych decyzji.

W celu określenia najbardziej odpowiednich regionów dla budowy cementowni w regionie KPP przeprowadzono trzyetapowy proces decyzyjny. W pierwszym etapie decyzyjnym określono najbardziej odpowiednie regiony na podstawie 20 kryteriów ważonych metodą AHP. W drugim etapie decyzyjnym wyniki uzyskane w etapie pierwszym zostały ponownie ocenione pod kątem warunków geologicznych, nachylenia terenu i klas gruntów rolnych. W trzecim etapie określono najbardziej odpowiednie regiony zgodnie z systemem punktacji opracowanym na podstawie niektórych kryteriów infrastrukturalnych i środowiskowych. Etapy tego procesu przedstawiono na rys. 2. W analizach przeprowadzonych w ramach niniejszych badań wykorzystano oprogramowanie ArcGIS.

2.3.1. Analiza buforowa i jądrowy estymator gęstości [ang. *Kernel analysis*]

Analizę buforów przeprowadzono w odniesieniu do następujących kryteriów: surowce cementowe, kolej, drogi, lotniska, osady, centra transformatorów elektrycznych, obszary przemysłowe i handlowe, oczyszczalnie ścieków, zasoby wodne, obszary leśne, obszary chronione i leje krasowe. Zakresy i wagi stref buforowych określono zgodnie z tablicą 3 na podstawie wywiadów z ekspertami i analizy literatury. Zgodnie z wartościami podanymi w tablicy 3

facilitates the resolution of complex and multidimensional spatial problems, such as site selection, in a more comprehensive manner.

GIS is an information system that performs the functions of collecting, storing, analyzing, and presenting graphical and non-graphic data obtained through location-based operations in integrated (42). GIS conducts these analyses within an integrated platform, facilitating the comparison and analysis of diverse data layers. It enables decision-makers to gain a deeper understanding of the data through graphical and map-based visualizations, thereby enhancing the capacity for informed and accurate decision-making.

A three-stage decision-making process was carried out in determining the most suitable regions for the cement factory in the KPP Region. In the I. decision-making stage, the most suitable regions were determined according to 20 criteria weighted with AHP. In the I. decision-making stage, the results obtained in Stage I were re-evaluated according to geology, slope, and agricultural land classes. In the third stage, the most suitable regions were determined according to the scoring system developed according to some infrastructure and environmental criteria. The process steps of this process are shown in Fig. 2. ArcGIS software was used in the analyzes performed in these studies.

2.3.1. Performing buffer and kernel analysis

Buffer analysis was performed on the criteria of cement raw materials, railway, road, airport, settlement, electrical transformer center, industrial and commercial area, waste water treatment plant, water resources, fault line, forest areas, protected areas, and sinkholes. Buffer zone ranges and weights were determined as in Table 3 according to expert interviews and literature study. According to the values in Table 3, the buffer zone analyzes of thirteen criteria were performed [see Fig. 3].

Kernel Density Analysis was conducted to better evaluate the distribution of the criteria of numbers of cinema and theater, land cost, health institutions, air pollution, education level, unemployment rate, and population number in the region [see Fig. 4]. Kernel Density Analysis was chosen because it covers the study area and is suitable for the data structure.

2.3.2. AHP

AHP method was used to determine the priority weights of the criteria concerning each other. This method is a decision-making system based on comparisons made by giving relative importance values to criteria to select alternatives in complex decision problems (43) and is important for GIS. Using GIS and AHP approaches together eliminates the criteria uncertainty and provides a fairer approach in weighing the criteria. To compare AHP and criteria, the 1-9 points significance scale, which is accepted by experts and developed by Saaty, was used. According to this scale, 1,3,5,7 and 9 is respectively defined as equally important, a little more important, quite important, much more important, definitely more important, and 2, 4, 6, 8 as intermediate values. In the application of the AHP method, the matrices created with the data obtained from

przeprowadzono analizę stref buforowych dla trzynastu kryteriów [patrz rys. 3].

Przeprowadzono analizę jądrowego rozkładu gęstości, aby lepiej ocenić rozkład kryteriów dotyczących liczby kin i teatrów, kosztów gruntów, placówek służby zdrowia, zanieczyszczenia powietrza, poziomu wykształcenia, stopy bezrobocia i liczby ludności w regionie [patrz rys. 4]. Wybrano analizę gęstości jądrowej, ponieważ obejmuje ona obszar badań i jest odpowiednia dla stosowanej struktury danych.

2.3.2. Analityczny proces hierarchiczny AHP [ang. Analytical Hierarchy Process]

Metoda AHP została wykorzystana do określenia priorytetowych wag kryteriów. Metoda ta jest systemem podejmowania decyzji opartym na porównaniach dokonywanych poprzez przypisanie kryteriom względnych wartości ważności w celu wyboru alternatyw w złożonych problemach decyzyjnych (43) i ma duże znaczenie dla GIS. Wykorzystanie łącznie podejść GIS i AHP eliminuje niepewność kryteriów i zapewnia bardziej sprawiedliwe podejście do nadania im ważności. Aby porównać AHP i kryteria, zastosowano 9-punktową skalę znaczenia, która jest akceptowana przez ekspertów i została opracowana przez Saaty'ego. Zgodnie z tą skalą, 1, 3, 5, 7 i 9 są odpowiednio definiowane jako równie ważne, nieco ważniejsze, dość ważne, znacznie ważniejsze, zdecydowanie ważniejsze, a 2, 4, 6, 8 jako wartości pośrednie. W zastosowaniu metody AHP macierze utworzone na podstawie danych uzyskanych z opinii ekspertów są oceniane poprzez połączenie ze średnią geometryczną. Spójne odpowiedzi decydentów podczas dokonywania porównań binarnych są ważne dla rozwiązania problemu pod względem wiarygodności badania. W tym celu określa się wskaźnik spójności i przyjmuje się, że wskaźnik ten jest mniejszy niż 0,1 (44).

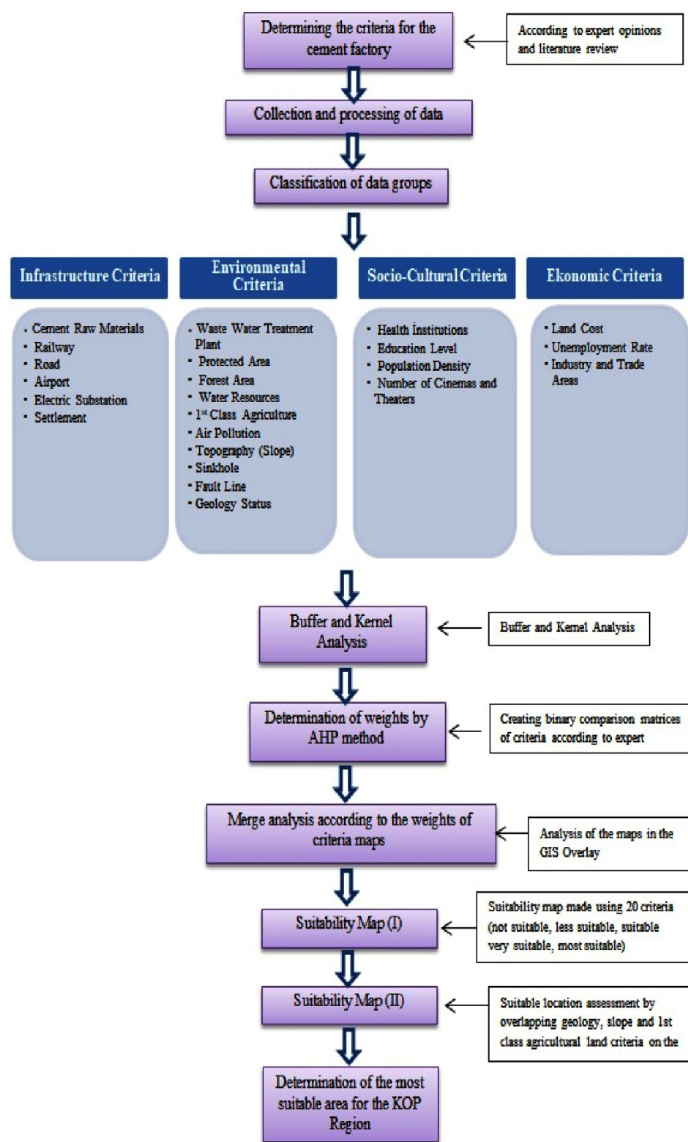
Wagi 20 kryteriów określonych w celu wyłonienia najbardziej odpowiednich regionów dla budowy cementowni zostały ustalone na podstawie opinii ekspertów [inżynierii lądowej, inżynierii kartograficznej, inżynierii środowiska, biznesu itp.]. Utworzono macierz porównawczą i ustalono współczynnik spójności na poziomie 0,099. Wagi 20 kryteriów podano w tablicy 4.

3. Wyniki

1. Proces podejmowania decyzji

W ramach tego procesu dane z analizy buforowej i estymacji jądrowej przeprowadzonej dla 20 kryteriów ważonych metodą AHP zostały nałożone na siebie przy użyciu analizy nakładek ważonych. W wyniku rejestracji określono najbardziej odpowiednie lokalizacje dla cementowni w regionie KPP [patrz rys. 5].

Analizując rys. 5, obszary zaznaczone ciemnozielonym kolorem są najbardziej odpowiednie, obszary zaznaczone jasnozielonym kolorem są bardzo odpowiednie, obszary zaznaczone żółtym kolorem są odpowiednie, obszary zaznaczone pomarańczowym



Rys. 2. Schemat blokowy.

Fig. 2. Flow chart.

the expert opinions are evaluated by combining with the geometric mean. Consistent answers of decision-makers when making binary comparisons are important in solving the problem in terms of the reliability of the study. For this purpose, the consistency rate is determined and it is accepted that this ratio is less than 0.1 (44).

The weights of the 20 criteria determined to determine the most suitable regions for the cement factory were determined by taking expert opinions [civil engineering, mapping engineering, environmental engineering, and business, etc.]. The comparison matrix was created and the consistency ratio was found to be 0.099. The weights of 20 criteria are given in Table 4.

3. Results

1. Decision making process

In this process, buffer and kernel analysis data performed for 20 criteria weighted with AHP were overlapped using Overlay Analysis.

Tablica 3 / Table 3

ZAKRESY STREF BUFOROWYCH I STOPNIE WAGOWE KRYTERIÓW.

BUFFER ZONE RANGES AND WEIGHT DEGREES OF CRITERIA.

Kryteria Criteria	Strefa buforowa Buffer Zone Ranges, km	Waga Weight	Kryteria Criteria	Strefa buforowa Buffer Zone Ranges, km	Waga Weight	Kryterium / Criteria	Strefa buforowa Buffer Zone Ranges, km	Waga Weight
surowce / cement raw materials	0-10	10	kolej / railway	0-3	10	drogi / road	0-2	10
	10 - 20	9		3-5	9		2-4	9
	20 - 30	8		5-8	8		4-6	8
	30 - 40	7		8-10	7		6-8	7
	40 - 50	6		10 - 15	6		8-10	6
	50 - 60	5		15 - 20	5		10-12	5
	60 - 70	4		20 - 40	4		12-14	4
	70 - 80	3		40 - 60	3		14-16	3
	80 - 90	2		60 - 100	2		16-20	2
	90 - 100	1		100-150	1		20-30	1
lotniska / airport	0-20	10	osiedlenie / settlement	0-3.5	1	centrum transformatorów elektrycznych / electric transformer center	0-5	10
	20-40	9		3.5-7	2		5-10	9
	40-60	8		7-10.5	3		10-15	8
	60-80	7		10.5-14	10		15-20	7
	80-100	6		14-17.5	9		20-25	6
	100-120	5		17.5-21	8		25-30	5
	120-140	4		21-24.5	7		30-40	4
	140-160	3		24.5-28	6		40-50	3
	160-180	2		28-31.5	5		50-60	2
	180-200	1		31.5-37	4		60-80	1
obszary przemysłu i handlu / industry and trade areas	0-5	1	oczyszczalnia ścieków / waste water treatment plant	0-10	1	zasoby wody / water resources	0-10	1
	5-10	2		10-30	5		10-15	5
	10-15	3		30-60	7		15-20	7
	15-20	10		60-200	10		20-80	10
	20-25	9	uskoki geologiczne / fault line	0-10	1	obszary leśne / forest area	0-10	1
	25-30	8		10-20	5		10-20	5
	30-40	7		20-30	7		20-30	7
	40-50	6		30-150	10		30-150	10
	50-60	5	obszary chronione / protected area	0-10	1	żelazce krasowe sinkhole	0-50	1
	60-80	4		10-100	10		50-150	7
							150-350	10

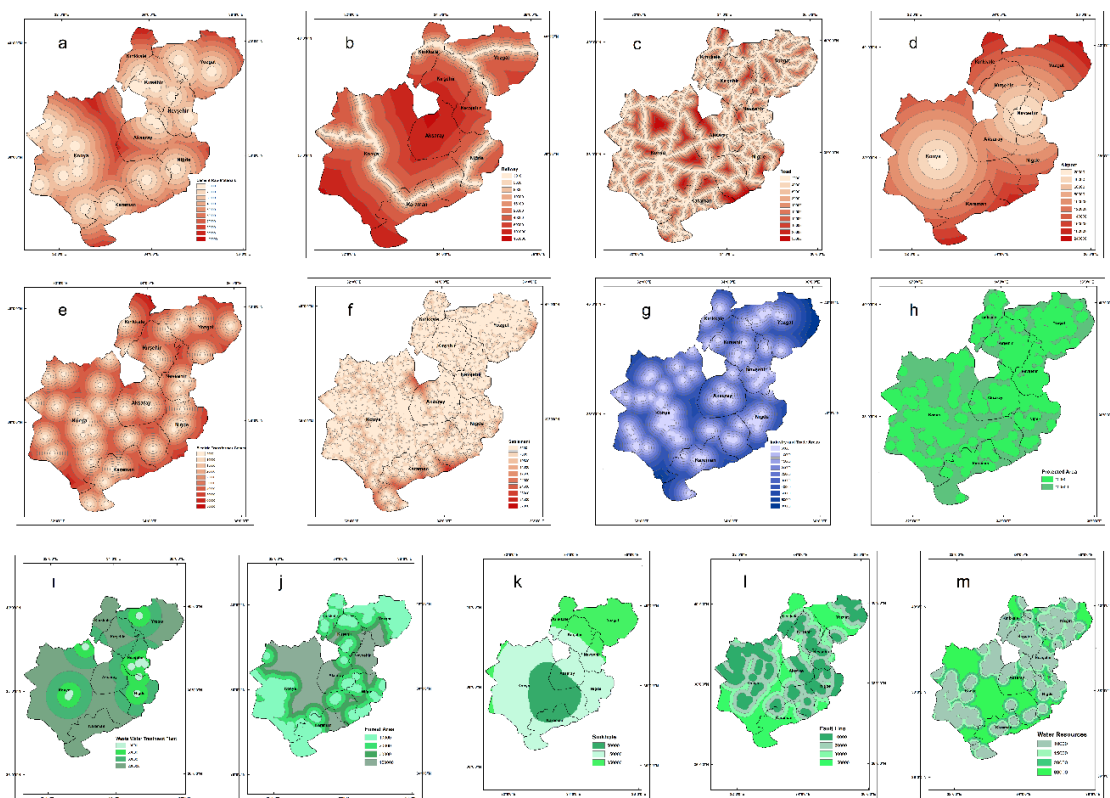
kolorem są mniej odpowiednie, a obszary zaznaczone czerwonym kolorem są nieodpowiednie.

II. Proces decyzyjny

Struktura geologiczna i nachylenie terenu mają ogromne znaczenie dla lokalizacji i budowy wszelkich obiektów. Szczególnie pod

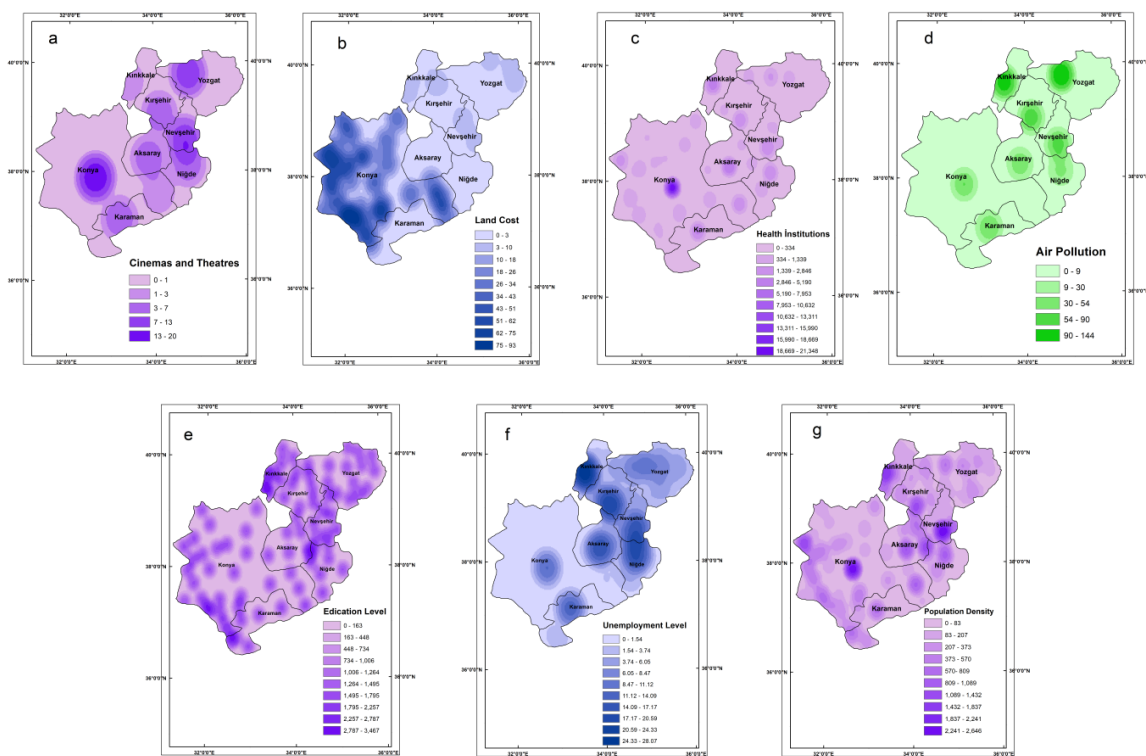
As a result of the registration, the most suitable locations for the cement factory in the KPP region have been determined [see Fig. 5].

When Fig. 5. is examined, the areas shown in dark green are the most suitable regions, the areas shown in light green are very suitable regions, the areas shown in yellow are the appropriate



Rys. 3. Analiza buforowa prowincji KPP (a) Surowce cementowe, (b) Koleje, (c) Drogi, (d) Lotniska, (e) Centra transformatorów elektrycznych, (f) Osiedlenie, (g) Obszary przemysłowe i handlowe, (h) Obszary chronione, (i) Oczyszczalnie ścieków, (j) Obszary leśne, (k) Leje krasowe, (l) Linie uskoków geologicznych, (m) Zasoby wodne.

Fig. 3. KPP Provinces Buffer Analysis (a) Cement Raw Materials, (b) Railways, (c) Road, (d) Airports, (e) Electricity Transformer Centers, (f) Settlements, (g) Industrial and Commercial Areas, (h) Protected Areas, (i) Waste Water Treatment Facilities, (j) Forest Areas, (k) Sinkholes, (l) Fault Lines, (m) Water Resources.



Rys. 4. Mapy analizy gęstości regionu KPP (a) Liczba kin i teatrów (b) Koszt gruntów, (c) Liczba placówek służby zdrowia, (d) Zanieczyszczenie powietrza, (e) Poziom wykształcenia, (f) Stopa bezrobocia, (g) Liczba ludności.

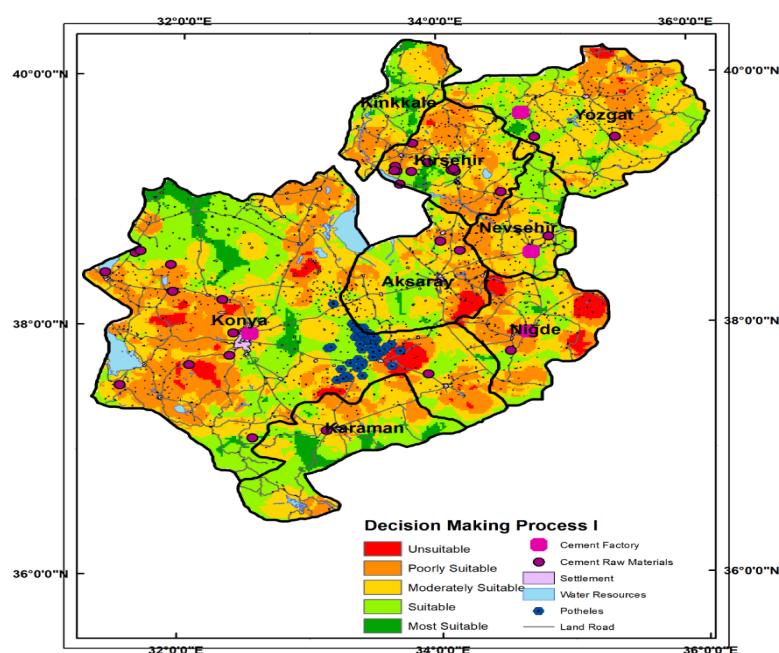
Fig. 4. KPP Region Density Analysis Maps (a) Number of Cinema and Theater (b) Land Cost, (c) Number of Health Institutions, (d) Air Pollution, (e) Education Level, (f) Unemployment Rate, (g) Population Number.

Tablica 4 / Table 4

WAGI KRYTERIÓW OKREŚLONE METODĄ AHP.

CRITERIA WEIGHTS DETERMINED BY AHP METHOD.

Kryteria / Criteria	Waga / Weight, %	Kryteria / Criteria	Waga / Weight, %	Kryteria / Criteria	Waga / Weight, %
Surowce / Cement Raw Materials	4	Obszary chronione / Protected Area	11,4	Koszty gruntów / Land Cost	2,4
Centra transformatorów elektrycznych / Electric Transformer Center	4,3	Oczyszczalnie ścieków / Waste Water Treatment Plant	6,4	Instytucje zdrowia / Health Institutions	1,2
Drogi / Road	3,2	Obszary leśne / Forest Area	11,7	Zanieczyszczenie powietrza / Air Pollution	8,2
Lotniska / Airport	0,8	Wyboje / Potholes	11,6	Poziom wykształcenia Education Level	1.9
Kolej / Railway	1,6	Uskoki geologiczne / Fault Line	11,3	Stopa bezrobocia Unemployment Rate	2,4
Osady / Settlement	3,2	Zasoby wody / Water Resources	10,9	Gęstość zaludnienia Population Density	1,6
Obszary przemysłowe I handlowe Industry And Trade Areas	1,1	Kina i teatry / Number of Cinemas and Theatres	0,7		



Rys. 5. Mapa przydatności I do wyboru lokalizacji cementowni.

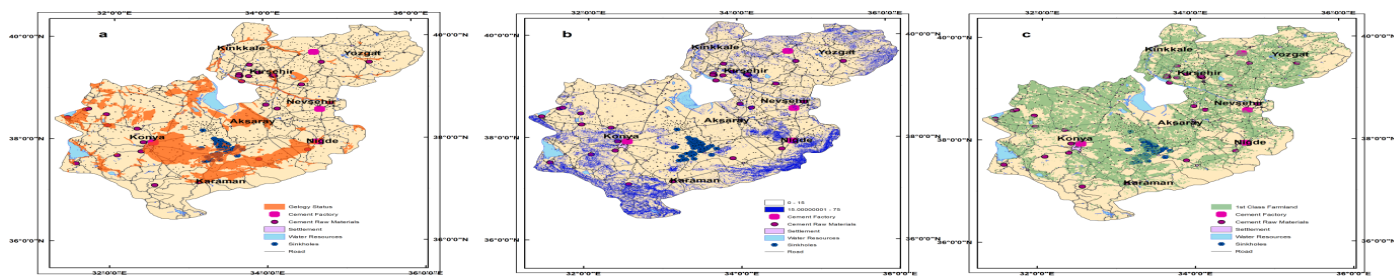
Fig. 5. Suitability map I for cement plant site selection.

względem bezpieczeństwa życia i mienia niezwykle ważne jest, aby obiekty inżynierskie [mosty, tamy itp.] oraz fabryki, których realizacja wiąże się z bardzo wysokimi kosztami i zatrudnieniem wielu osób, budowane były w regionach odpowiednich pod względem geologicznym i nachylenia terenu. Z tego powodu w II. procesie decyzyjnym uwzględniono strukturę geologiczną i nachylenie terenu podczas budowy budynku i po jego wybudowaniu, ponieważ celem było ustanowienie dobrej relacji między budynkiem a gruntem. Ponadto na tym etapie uwzględniono również położenie gruntów rolnych klasy I w regionie, aby chronić istniejące grunty rolne, przeprowadzić industrializację poza obszarem rolniczym i zapew-

regions, the areas shown in orange are less suitable regions, and the areas shown in red are unsuitable regions.

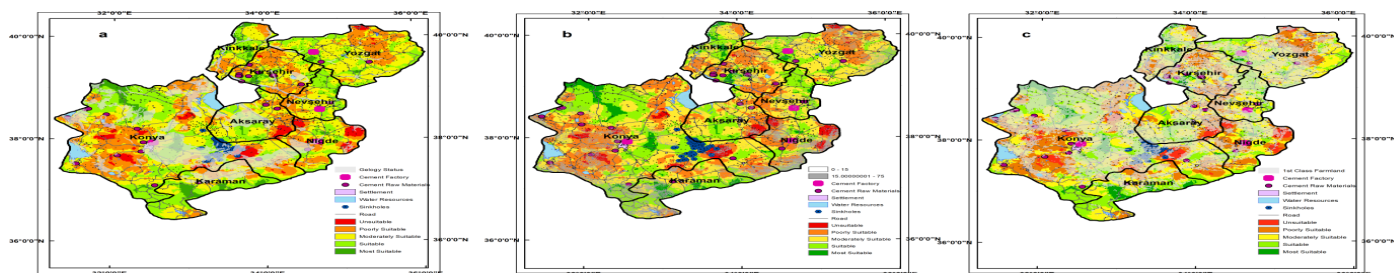
II. Decision-making process

Geological structure and slope are extremely important for locating and constructing any structure. Especially in terms of life and property safety, it is extremely important to build the engineering structures (bridges, dams, etc.) and factories, which are realized at very high costs and where many people are working, and the areas where the factories will be built in suitable regions in terms of geology and slope. For this reason, in the II. the decision-making process, the geological structure, and the slope were taken into consideration in the building construction and after it was built, as it was aimed to establish a good building-ground relationship. Besides, at this stage, the position of the 1st class agricultural lands in the region was also taken into consideration to protect the existing agricultural lands, to make industrialization outside the agricultural area, and to ensure sustainable land management. The geology, slope, and 1st class agricultural land maps of the KPP region are shown in Fig. 6. When Fig. 6.a is examined, the blue-colored areas show areas that are not geologically unsuitable [soft ground]. When Fig. 6.b is examined, the blue-colored areas show the areas where the slope is greater than 15%. It is expressed that the slope above 15% in terms of construction costs increases the cost. Therefore, areas with a slope of more than 15% are considered unsuitable regions for the cement factory. The highest slope of the KPP Region is 75 percent. In Fig. 6.c, the blue-colored areas show the agricultural lands. It is not deemed appropriate to build a factory in these areas.



Rys. 6. (a) Mapa geologiczna, (b) mapa nachylenia terenu, (c) mapa gruntów rolnych pierwszej klasy.

Fig. 6. (a) Geology map, (b) Slope map (c) 1st class agricultural lands map.



Rys. 7. Mapa nałożona na mapę przydatności I (a) Stan geologiczny, (b) Stan nachylenia terenu (c) Stan gruntów rolnych klasy 1.

Fig. 7. Map overlaid with suitability map I (a) Geological status, (b) Slope status (c) 1st class agricultural lands status.

nić zrównoważone gospodarowanie gruntami. Mapy geologiczne, nachylenia terenu i gruntów rolnych pierwszej klasy regionu KPP przedstawiono na rys. 6. Na rysunku 6.a obszary zaznaczone na niebiesko wskazują tereny, które nie są nieodpowiednie pod względem geologicznym [miękkie podłoże]. Na rysunku 6.b obszary zaznaczone na niebiesko wskazują tereny, na których nachylenie przekracza 15%. Nachylenie powyżej 15% powoduje wzrost kosztów budowy. Dlatego obszary o nachyleniu powyżej 15% są uważane za nieodpowiednie dla budowy cementowni. Najwyższe nachylenie terenu w regionie KPP wynosi 75%. Na rysunku 6.c obszary zaznaczone na niebiesko oznaczają tereny rolnicze. Nie uznaje się za właściwe budowanie fabryki na tych obszarach.

W drugim etapie procesu decyzyjnego mapa geologiczna, mapa nachylenia terenu oraz mapa gruntów rolnych pierwszej klasy zostały nałożone oddzielnie na „mapę przydatności I” uzyskaną w pierwszym etapie [patrz rys. 7]. Celem tego działania jest zawężenie zakresu regionów odpowiednich w pierwszym etapie i znalezienie regionów najbardziej odpowiednich pod względem geologicznym, nachylenia terenu i gruntów rolnych. Zielone obszary na rys. 7 pokazują regiony najbardziej odpowiednie, a obszary czerwone pokazują regiony nieodpowiednie.

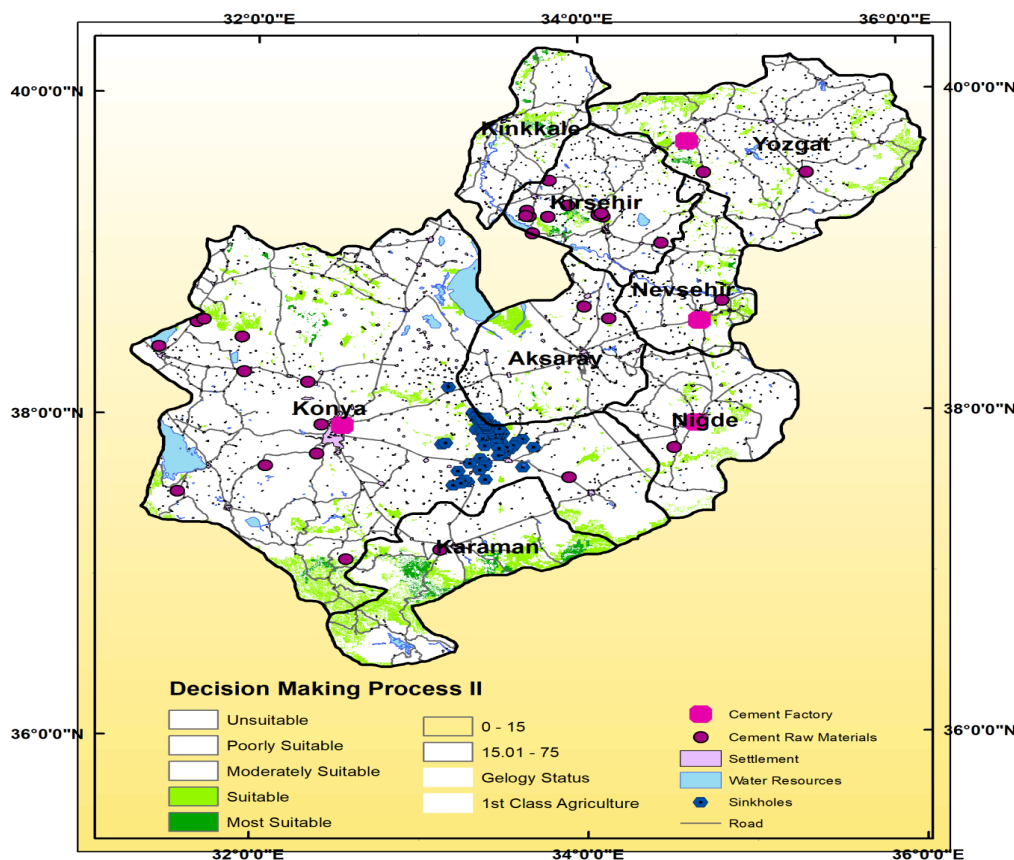
Po przeanalizowaniu rys. 7 stwierdzono, że niektóre regiony są odpowiednie pod względem geologicznym, ale nieodpowiednie pod względem nachylenia terenu i gruntów rolnych, niektóre regiony są odpowiednie pod względem gruntów rolnych, ale nieodpowiednie pod względem nachylenia terenu i warunków geologicznych, a niektóre regiony są odpowiednie pod względem nachylenia terenu, ale nieodpowiednie pod względem warunków geologicznych i gruntów rolnych. Istnieją obszary, które spełniają wszystkie trzy kryteria. Aby podjąć najdokładniejsze decyzje i określić najbardziej odpowiednie

In the II. decision-making process, the geology map, the slope map, and the 1st class agricultural land map were overlapped separately on the “Suitability Map I” obtained in the first stage [see Fig. 7]. The aim here is to narrow down the suitable regions in the first phase and find the most suitable regions in terms of geological, slope, and agricultural lands. The green areas in Fig. 7. show the most suitable regions and the red areas show the unsuitable regions.

When Fig. 7 is examined, it has been determined that some regions are geologically suitable, not suitable in terms of slope and agricultural lands, some regions are suitable for agricultural lands, not suitable for the slope and geologically, and some regions are suitable for slope, not suitable for geological and agricultural lands. There are areas suitable for all three criteria. These three criteria should be evaluated together to make the most accurate decisions and determine the most suitable regions. With the Suitability Map I, these three criteria was overlaid together and the most suitable regions for the KPP region were determined [see Fig. 8]. Fig. 8. is arranged in such a way that the most suitable regions are green to make the most suitable regions appear clear, and the unsuitable regions are white.

III. Decision-making process

At this stage, an evaluation was made on a provincial basis. A total of 90 regions where cement factories can be built have been selected for each province (8) in the KPP Region. Since Konya is the largest city in the region, 20 regions were selected in this province and 10 regions in other provinces. These regions have been selected over the areas that are suitable mostly in terms of geology, slope, and 1st class agricultural land criteria. The number of regions suitable in terms of geology, slope, and 1st class agricultural land



Rys. 8. Mapa przydatności II do wyboru lokalizacji cementowni.

Fig. 8. Suitability map II for cement plant site selection.

regiony, należy ocenić te trzy kryteria łącznie. Za pomocą mapy przydatności I nałożono na siebie te trzy kryteria i określono regiony najbardziej odpowiednie dla regionu KPP [patrz rys. 8]. Rys. 8. jest ułożony w taki sposób, że regiony najbardziej odpowiednie są zaznaczone na zielono, aby były wyraźnie widoczne, a regiony nieodpowiednie są zaznaczone na białą.

III. Proces decyzyjny

Na tym etapie przeprowadzono ocenę na poziomie prowincji. W regionie KPP wybrano łącznie 90 regionów, w których można zbudować cementownię, dla każdej prowincji (8). Ponieważ Konya jest największym miastem w regionie, w tej prowincji wybrano 20 regionów, a w pozostałych prowincjach – 10 regionów. Regiony te wybrano spośród obszarów, które są najbardziej odpowiednie pod względem geologicznym, nachylenia terenu i kryteriów dotyczących gruntów rolnych pierwszej klasy. Liczba regionów odpowiednich pod względem geologicznym, nachylenia terenu i kryteriów dotyczących gruntów rolnych pierwszej klasy wynosi 54. Przyszłe oceny będą kontynuowane w odniesieniu do 54 regionów.

Na podstawie „Mapy przydatności II” opracowanej przy użyciu 23 kryteriów dokonano wizualnej interpretacji, biorąc pod uwagę odległości [6 kryteriów] od surowców cementowych, lejów krasy, dróg, osad, zasobów wodnych i istniejących cementowni w regionie. System punktacji został opracowany z uwzględnieniem tych odległości. System został opracowany w celu wyeliminowania ludzkich niepewności i obiektywnego wyboru regionu. Dla 54

kryteriów jest 54. Future evaluations will continue on 54 regions.

With the “Suitability Map II” produced using 23 criteria, visual interpretation was made by taking into account the distances [6 criteria] from cement raw materials, sinkholes, road, settlements, water surfaces, and existing cement factories in the region. The scoring system has been developed considering these distances. The system has been developed to eliminate human uncertainties and objectively select a region. For 54 regions, the maximum and minimum scores were given to the distances of the 6 criteria are given in Table 5. When analyzed according to the table 5; Appropriate distances were awarded 10 points, and unsuitable distances were awarded 0 points. Accordingly, a region can get a maximum of 60 points.

The most suitable locations for cement factories in 8 provinces in the KPP region and 10 regions selected

for each province are shown in Fig. 9. and Fig. 10. The scoring of the most suitable 54 regions for these provinces is given in Table 6.

In Fig. 9. (a), the most suitable regions and 10 regions selected for the cement factory in Aksaray are shown. It has been determined that regions 1st, 2nd, 3rd, 7th and 8th are suitable for the cement factory in terms of 23 criteria. Regions 4th, 5th and 6th in terms of the geological situation; Regions 9th and 10th are not suitable for cement plant establishment in terms of agricultural land. According to Table 6, the most suitable region for Aksaray Province is the 3rd region with the highest score with 37 points.

The most suitable regions for Karaman province are regions 2nd, 4th, 5th, 6th, 7th, and 8th [see Fig. 9 (b)]. 3rd region in terms of both geology and agricultural land; Regions 1st, 9th and 10th are not suitable only for agricultural land. According to Table 6, the most suitable region for Karaman Province is the 7th region with 52 points.

The most suitable regions for Kırıkkale province, regions 1st, 2nd, 4th, 5th, and 7th are the most suitable regions for cement factories [see Fig. 9 (c)]. 6th zone in terms of the slope; The 3rd region in terms of both geological and agricultural land; 8th, 9th and 10th regions are not suitable for the cement factory in terms of agricultural land. According to Table 6, the most suitable region for Kırıkkale Province is the 5th region with 46 points.

Fig. 9. (d) shows that the most suitable regions for cement factories in Kırşehir province are 1st, 4th, 5th, 6th, 7th, 8th, 9th, and 10th regions.

Tablica 5 / Table 5

RANKING ATRYBUTÓW DLA MAP DOTYCZĄCYCH WYBORU LOKALIZACJI CEMENTOWNI.

ATTRIBUTE RANKING FOR THE MAPS IN THE CEMENT PLANT SITE SELECTION.

Odległość od dróg / Road distance (km)	Ranking	Odległość od surowców Cement raw materials distance (km)	Ranking	Odległość od lejów krasowych inkholes distance (km)	Ranking	Odległość cementowni Cement plant distance (km)	Ranking	Odległość od osiedleń Settlement distance (km)	Ranking	Zasoby wody Water resources (km)	Ranking
0-2	10	0-10	10	0-50	1	0-90	0	0-3.5	1	0-10	1
2-4	9	10-20	9	50-150	7	90+	10	3.5-7	2	10-15	5
4-6	8	20-30	8	150-350	10			7-10.5	3	15-20	7
6-8	7	30-40	7					10.5-14	10	20-80	10
8-10	6	40-50	6					14-17.5	9		
10-12	5	50-60	5					17.5-21	8		
12-14	4	60-70	4					21-24.5	7		
14-16	3	70-80	3					24.5-28	6		
16-20	2	80-90	2					28-31.5	5		
20-30	1	90-100	1					31.5-37	4		
30+	1	100+	0					37+	0		

regionów maksymalne i minimalne wyniki przyznano odległościom 6 kryteriów podanym w tablicy 5. Po przeanalizowaniu tablicy 5 odpowiednie odległości otrzymały 10 punktów, a nieodpowiednie odległości otrzymały 0 punktów. W związku z tym region może uzyskać maksymalnie 60 punktów.

Najbardziej odpowiednie lokalizacje dla cementowni w 8 prowincjach regionu KPP oraz 10 regionów wybranych dla każdej prowincji przedstawiono na rys. 9 i rys. 10. Punktację 54 najbardziej odpowiednich regionów dla tych prowincji podano w tablicy 6.

Na rys. 9. (a) przedstawiono najbardziej odpowiednie regiony oraz 10 regionów wybranych pod budowę cementowni w Aksaray. Stwierdzono, że regiony 1, 2, 3, 7 i 8 są odpowiednie pod budowę cementowni pod względem 23 kryteriów. Regiony 4, 5 i 6 pod względem warunków geologicznych; regiony 9 i 10 nie są odpowiednie do budowy cementowni pod względem gruntów rolnych. Zgodnie z tablicą 6 najbardziej odpowiednim regionem dla prowincji Aksaray jest region 3, który uzyskał najwyższą liczbę punktów (37).

Najbardziej odpowiednie regiony dla prowincji Karaman to regiony 2, 4, 5, 6, 7 i 8 [patrz rys. 9 (b)]. Region 3 pod względem zarówno warunków geologicznych, jak i gruntów rolnych; regiony 1, 9 i 10 nie są odpowiednie wyłącznie pod względem gruntów rolnych.

Najbardziej odpowiednie regiony dla prowincji Kırıkkale, regiony 1, 2, 4, 5 i 7, są najbardziej odpowiednie dla cementowni [patrz rys. 9 (c)]. 6. strefa pod względem nachylenia terenu; 3. region pod względem warunków geologicznych i gruntów rolnych; 8., 9. i 10. region nie są odpowiednie dla cementowni pod względem gruntów rolnych. Zgodnie z tablicą 6 najbardziej odpowiednim regionem dla prowincji Kırıkkale jest 5. region z 46 punktami.

It has been determined that the 2nd and 3rd zones are not suitable in terms of the slope. The best place for Kırşehir Province is the 9th Region with the highest score with 42 points [Table 6].

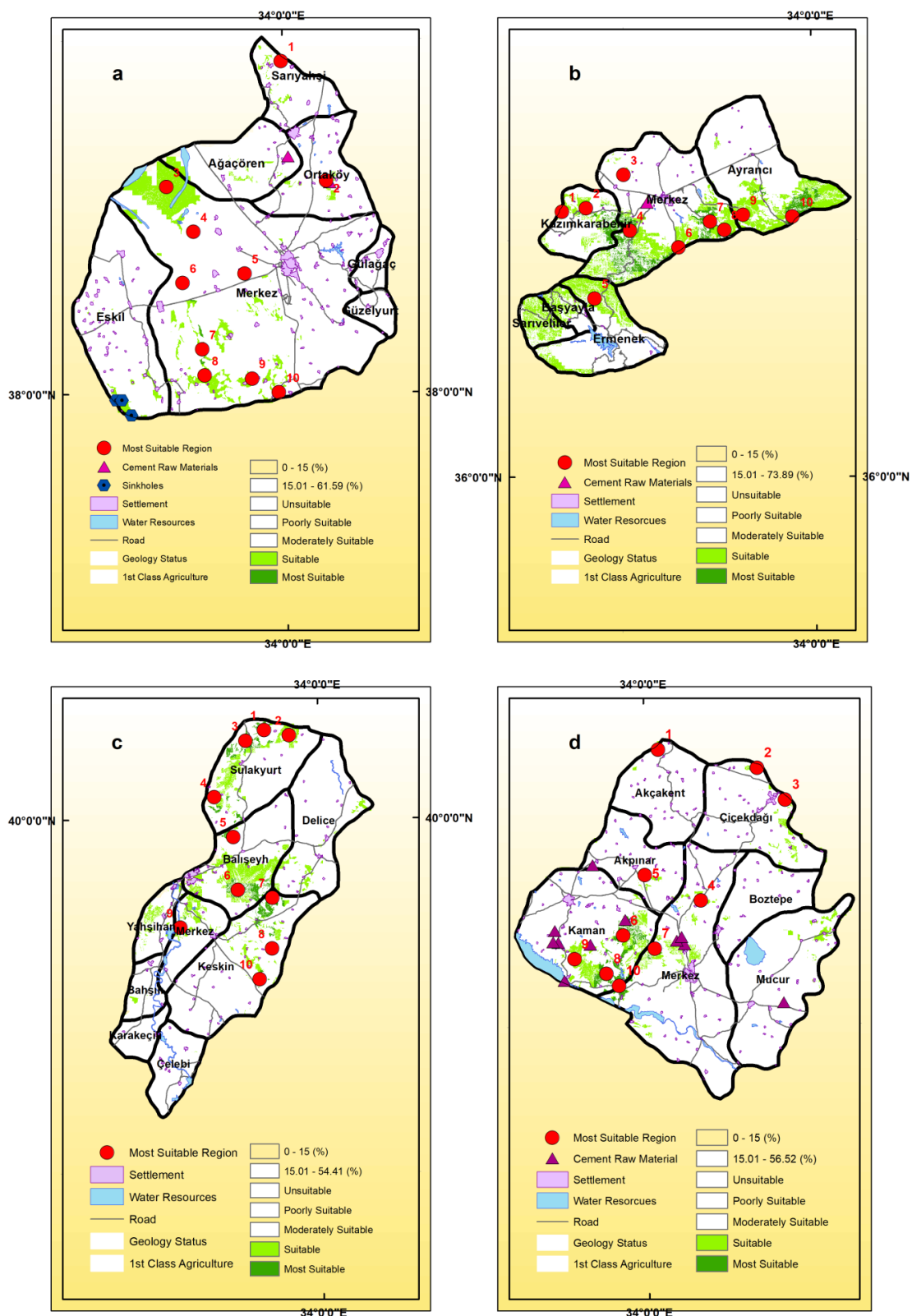
Fig. 10. shows the most suitable regions of Konya, Nevşehir, Niğde, and Yozgat provinces, respectively. It has been determined that the most suitable regions belong to Konya province in the 1st, 2nd, 3th, 5th, and 10th regions; In all 10 regions in Nevşehir province; In Niğde province, in the 2nd, 3rd, 5th, 7th, 8th, and 10th regions; in Yozgat province, except for the 10th Region.

According to Table 6; The most suitable regions of Konya, Nevşehir, Niğde, and Yozgat provinces are the 1st Region with 46 score, 4th Region with 39 score, 7th Region with 33 score, and 6th Region with 36 score, respectively.

4. Discussion and conclusion

In recent years, in cities where urbanization and industrialization are concentrated, the economy, growth, workforce, and especially planning of cities have changed. The necessity and importance of linking these plans with the choice of location in protecting the environment and meeting the needs of the expanding cities have emerged. However, the perspectives of developed and developing countries towards cement factories, which are a new industrial facility to be established, are different in terms of economy and location selection.

It has been determined that especially developing countries prefer these factories because of the idea that they will create new jobs and economic opportunities. Choosing the most suitable location is very important for the location of the factory for cement factory to gain economic profit, minimize the damage to the environment,

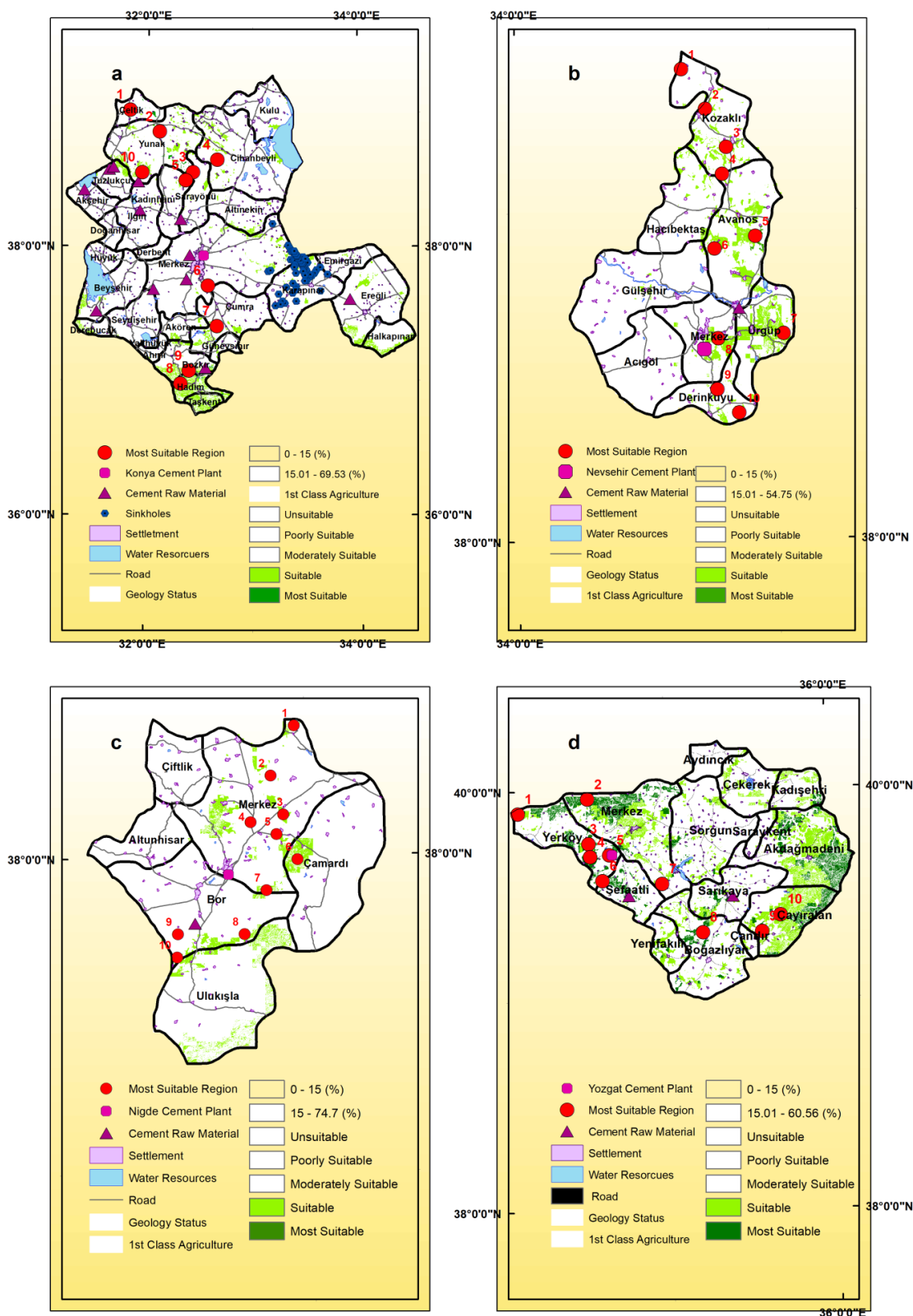


Rys. 9. Mapa przydatności III do wyboru lokalizacji cementowni (a) prowincja Aksaray (b) prowincja Karaman (c) prowincja Kırıkkale (d) prowincja Kırşehir.

Fig. 9. Suitability Map III for Cement Plant Site Selection (a) Aksaray Province (b) Karaman Province (c) Kırıkkale Province (d) Kırşehir Province.

Rys. 9. (d) pokazuje, że najbardziej odpowiednie regiony dla cementowni w prowincji Kırşehir to regiony 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9 i 10. Stwierdzono, że strefy 2 i 3 nie są odpowiednie pod względem nachylenia terenu. Najlepszym miejscem dla prowincji Kırşehir jest region 9, który uzyskał najwyższy wynik 42 punktów [tablica 6].

and ensure its operation without deteriorating its socio-cultural structure. For this selection, more accurate and usable results can be obtained by using the GIS-supported MCDM method together. While this method offers appropriate solutions in spatial decision problems and the determination of the most suitable regions in ce-



Rys. 10. Mapa przydatności III do wyboru lokalizacji cementowni (a) prowincja Konya (b) prowincja Nevşehir (c) prowincja Niğde (d) prowincja Yozgat.
Fig. 10. Suitability Map III for cement plant site selection (a) Konya province (b) Nevşehir province (c) Niğde province (d) Yozgat province.

Rys. 10 pokazuje najbardziej odpowiednie regiony prowincji Konya, Nevşehir, Niğde i Yozgat. Ustalono, że najbardziej odpowiednie regiony należą do prowincji Konya w regionach 1, 2, 3, 5 i 10; we wszystkich 10 regionach prowincji Nevşehir; w prowincji Niğde w regionach 2, 3, 5, 7, 8 i 10; w prowincji Yozgat, z wyjątkiem regionu 10.

ment factories' location selection, it facilitates the decision-making process by reducing the number of candidate areas. Therefore, GIS technology is used as an important tool in many studies. The works for choosing the place for the cement factory are as follows; While Pekin (37) and Cebi and Otay (38) were working towards the criteria, Fard M.M. et al. Conducted a site selection study using GIS

Zgodnie z tablicą 6 najbardziej odpowiednie regiony w prowincjach Konya, Nevşehir, Niğde i Yozgat to odpowiednio region 1. z wynikiem 46 punktów, region 4. z wynikiem 39 punktów, region 7. z wynikiem 33 punktów i region 6. z wynikiem 36 punktów.

4. Dyskusja i wnioski

W ostatnich latach w miastach, w których koncentruje się urbanizacja i industrializacja, zmieniła się gospodarka, wzrost, siła robocza, a zwłaszcza planowanie miast. Pojawiła się konieczność i znaczenie powiązania tych planów z wyborem lokalizacji w celu ochrony środowiska i zaspokojenia potrzeb rozwijających się miast. Jednak perspektywy krajów rozwiniętych i rozwijających się w odniesieniu do cementowni, które są nowymi obiektami przemysłowymi, różnią się pod względem gospodarki i wyboru lokalizacji. Ustalono, że zwłaszcza kraje rozwijające się preferują takie fabryki, ponieważ uważają, że stworzą one nowe miejsca pracy i możliwości gospodarcze. Wybór najbardziej odpowiedniej lokalizacji jest bardzo ważny dla cementowni, aby osiągnąć zysk ekonomiczny, zminimalizować szkody dla środowiska i zapewnić jej funkcjonowanie bez pogorszenia struktury społeczno-kulturowej. W przypadku tego wyboru dokładniejsze i bardziej użyteczne wyniki można uzyskać, stosując łącznie metodę MCDM wspieraną przez GIS. Metoda ta oferuje odpowiednie rozwiązania w zakresie problemów związanych z podejmowaniem decyzji przestrzennych i określaniem najbardziej odpowiednich regionów pod kątem lokalizacji cementowni, a także ułatwia proces podejmowania decyzji poprzez zmniejszenie liczby potencjalnych obszarów. Dlatego technologia GIS jest wykorzystywana jako ważne narzędzie w wielu badaniach. Prace nad wyborem lokalizacji cementowni są następujące: podczas gdy Pekin (37) oraz Cebi i Otay (38) pracowali nad kryteriami, Fard M.M. i in. przeprowadzili w 2015 r. badanie dotyczące wyboru lokalizacji z wykorzystaniem GIS i AHP. W swojej pracy uwzględnili oni wiele kryteriów. Zarówno w ich pracy, jak i w niniejszym badaniu zastosowano wspólne kryteria środowiskowe [bliskość dróg wodnych, bliskość linii kolejowych, bliskość głównych dróg, odległość od autostrad krajowych, wartość gruntów] oraz społeczne [odległość od najbliższego szpitala, liczba osób na obszarze dotkniętym problemem]. Jednak w niniejszym badaniu zastosowano różne kryteria, takie jak liczba lejów krasowych, kin i teatrów, poziom wykształcenia, odległość od linii uskoków geologicznych, warunki geologiczne, nachylenie terenu, odległość od lotniska, powierzchnia terenu, grunty rolne pierwszej klasy, stopa bezrobocia, zanieczyszczenie powietrza, ze względu na różne skutki środowiskowe i strukturę społeczną. Oprócz tych kryteriów w analizie można było uwzględnić jako kryteria hale sportowe, ośrodki szkoleniowe, różne parki i ogrody oraz niebezpieczne linie i obiekty. Jednak w niniejszym badaniu dane te nie mogły zostać uwzględnione w analizie, ponieważ nie były dostępne. Mimo to w niniejszym badaniu uwzględniono więcej kryteriów środowiskowych i społecznych niż w poprzednich badaniach. Wszystkie kryteria zastosowane w niniejszym badaniu są kryteriami, które chronią środowisko nie tylko podczas fazy instalacji cementowni, ale także podczas jej eksploatacji. Wspierają

and AHP first in 2015. They have taken into account many criteria in their work. Between their work and this study, there are environmental [proximity to waterways, proximity to railways, proximity to main roads, distance to national highways, land value] and social [distance to the nearest hospital, number of people in the affected area] common criteria. However, in this study, different criteria such as the number of sinkholes, cinemas and theaters, education level, distance to fault lines, geological condition, slope, distance to the airport, site areas, first-class agricultural lands, unemployment rate, air pollution have been used due to the different environmental effects and social structure. In addition to these criteria, sports halls, training centers, various parks and gardens, and dangerous lines and facilities could be included in the analysis as criteria. However in this study, these data could not be included in the analysis because they were not available. Despite this, more environmental and social criteria were taken into account in this study compared to previous studies. All of the criteria used in this study are criteria that protect the environment not only during the installation phase of the cement factory but also while it is in operation, as well as supporting sustainable land management and increasing the profit of the factory. Researches show that certain criteria cannot be set for the cement plant location selection. This situation is because each region has its own characteristics. The reason for choosing the KPP Region of the study area in this study; In this study, the reason for choosing the KPP Region of the study area is Turkey's central presence and strength of both the agricultural sector and the industrial sector in the development of this region. In addition to this, it is because of the thought that it will be beneficial in terms of reducing the unemployment rate in this region, reducing the transportation cost of the cement produced and the presence of the road hinterland.

When this study is compared with other studies, it can be one of the pioneering examples performed with the three-stage decision-making process by using MCDM, AHP, and GIS techniques together for the use of different criteria and location analysis. When this three-stage site selection process is made at the planning stage, it will contribute to the improvement of the environment and human life and the self-sustainability of nature. It is aimed to eliminate the uncertainties in the evaluation of people and multiple criteria by including the effects of the process from the establishment phase of the factory to its production and the possibility of closure in the location selection phase. Also, the right selection of the cement plant results in sustainability, the protection of living life and natural resources, the production of ready-made products for local and foreign industries, and a source of income and prosperity for the local community and government.

In the first stage of this study, which was carried out with the three-Stage Decision Making Process to eliminate the uncertainties in human evaluations, the spatial analysis was performed with 20 criteria, and "Suitability Map I" was created. In the second stage, geology, slope, and 1st class agricultural land criteria were added to this suitability analysis, and "Suitability Map II" was created. In the third stage, the most suitable regions were determined based on provinces and districts with the Scoring System, which takes

zrównoważone gospodarowanie gruntami i zwiększają zyski fabryki. Badania pokazują, że nie można ustalić określonych kryteriów wyboru lokalizacji cementowni. Wynika to z faktu, że każdy region ma swoje własne cechy charakterystyczne. Powodem wyboru regionu KPP jako obszaru badań w niniejszym opracowaniu jest centralne położenie Turcji oraz silna pozycja zarówno sektora rolnego, jak i przemysłowego w rozwoju tego regionu. Ponadto uznano, że będzie to korzystne z punktu widzenia zmniejszenia stopy bezrobocia w tym regionie, obniżenia kosztów transportu produkowanego cementu oraz obecności zaplecza drogowego.

W porównaniu z innymi badaniami, niniejsze opracowanie może stanowić jeden z pionierskich przykładów zastosowania trzystopniowego procesu decyzyjnego z wykorzystaniem technik MCDM, AHP i GIS w celu zastosowania różnych kryteriów i analizy lokalizacji. Zastosowanie tego trzystopniowego procesu wyboru lokalizacji na etapie planowania przyczyni się do poprawy stanu środowiska i jakości życia ludzi oraz samowystarczalności przyrody. Ma on na celu wyeliminowanie niepewności w ocenie ludzi i wielu kryteriów poprzez uwzględnienie skutków procesu od fazy zakładania fabryki do jej produkcji oraz możliwości zamknięcia w fazie wyboru lokalizacji. Ponadto właściwy wybór lokalizacji cementowni skutkuje zrównoważonym rozwojem, ochroną życia i zasobów naturalnych, produkcją gotowych produktów dla lokalnego i zagranicznego przemysłu oraz źródłem dochodów i dobrobytu dla lokalnej społeczności i władz.

W pierwszym etapie badania, przeprowadzonym z wykorzystaniem trzystopniowego procesu decyzyjnego w celu wyeliminowania niepewności w ocenach ludzkich, przeprowadzono analizę przestrzenną z wykorzystaniem 20 kryteriów i stworzono „mapę przydatności I”. W drugim etapie do tej analizy przydatności dodano kryteria geologiczne, nachylenie terenu i grunty rolne pierwszej klasy, tworząc „mapę przydatności II”. W trzecim etapie określono najbardziej odpowiednie regiony w oparciu o prowincje i okręgi przy użyciu systemu punktacji, który uwzględnia lokalizację, transport, surowce i kryteria środowiskowe. Najbardziej odpowiednim regionem dla prowincji Aksaray jest obszar nr 3 w północnej części okręgu Merkez. Najbardziej odpowiednimi regionami dla Karaman są regiony 7 i 8 w południowo-wschodniej części okręgu Merkez oraz region 6 w południowej części okręgu Merkez. Najbardziej odpowiednim regionem dla prowincji Kırıkkale jest 5 regionów między Balışeyh a dzielnicą Sulakyurt. Najbardziej odpowiednim regionem dla prowincji Kırşehir jest 9. region w południowej części dzielnicy Kaman. Najbardziej odpowiednim regionem dla prowincji Konya jest 1. region w zachodniej części dzielnicy Çeltik. Najbardziej odpowiednim regionem dla prowincji Nevşehir jest czwarty region na granicy Kozaklı, Avanos i Hacıbektaş. Najbardziej odpowiednim regionem dla prowincji Niğde jest siódmy region w południowej części dystryktu Merkez. Najbardziej odpowiednim regionem dla Yozgat jest szósty region w zachodniej części dystryktu Şefaattli. Zgodnie z systemem punktacji najbardziej odpowiednim regionem jest region 7, który uzyskał najwyższą łączną liczbę punktów w Karaman. Zgodnie z metodą MCDM i systemem punktacji dla wyboru lokalizacji cementowni w regionie KPP, jako najbardziej odpowiednie lokalizacje obiektów wybrano 7. region prowincji

into account the location, transportation, raw material and environmental criteria most suitable region for Aksaray province is area number 3 in the northern part of Merkez district. The most suitable regions for Karaman are the 7th and 8th region in the southeastern part of the Merkez district and the 6th region in the south part of the Merkez district. The most suitable region for Kırıkkale province is the 5 regions between Balışeyh and Sulakyurt district. The most suitable region for Kırşehir province is the 9th region in the southern part of Kaman district. The most suitable region for Konya province is the 1st Region in the western part of Çeltik district. The most suitable region for Nevşehir province is the 4th region on the border of Kozaklı, Avanos, and Hacıbektaş. The most suitable region for Niğde province is the 7th region in the south part of Merkez district. The most suitable region for Yozgat is the 6th region in the western part of the Şefaattli district. According to scoring system, the most suitable region is 7th region which is taken the highest total score in Karaman. According to the MCDM method and scoring system for cement plant site selection in the KPP Region, the most suitable facility locations were chosen 7th region of Karaman province with 52 points, 6th region of Karaman province with 50 points, 5th region of Kırıkkale province, 1st region of Konya province with 46 points and the 4th region of Konya with 45 points.

When the location of the Konya Cement Factory, which operates in Konya, is examined; It has been determined that it is in suitable regions according to 20 criteria, slope, and 1st class agricultural lands. However, it has been observed that it is not in the geologically very suitable region. The fact that this factory is close to the road and that there is no agricultural area in its immediate vicinity is important for nature protection. However, according to the results of the analysis, it is considered that the location of the factory is not suitable because it is located in the industrial zone according to the upper scale plans and it is close to the residential areas although it appears in a moderately suitable region.

When the location of the cement factory in Nevşehir province is examined; It has been determined to be in suitable regions according to 20 criteria, slope, 1st class agricultural lands, and geology. In addition, the establishment of a cement factory for Nevşehir Province is not considered appropriate due to the density of tourist areas and its proximity to the cement factory.

In this study, an approach that takes into account nature, environment, and social life, includes expert opinions and uses scientific methods [MCDM, AHP, and GIS] for cement plant location selection in the KPP region. Together with the use of this type of approach is common, it is used in many different fields with different perspectives. Multiple spatial datasets can offer a detailed depiction of a spatially explicit inventory of cement plants. Moreover, various methodological approaches can be proposed to enhance the scope of this study. This underscores the necessity of reconstructing the inventory of cement plants and systematically evaluating their operational status and activity levels (45). There are many benefits of making the cement factory site selection process by experts at the planning stage, such as not wasting investments, reducing costs, and protecting the environment and nature. It helps to protect ag-

Karaman z 52 punktami, 6. region prowincji Karaman z 50 punktami, 5. region prowincji Kırkkale, 1. region prowincji Konya z 46 punktami i 4. region Konya z 45 punktami.

Po zbadaniu lokalizacji cementowni Konya Cement Factory, która działa w Konya, stwierdzono, że znajduje się ona w odpowiednim regionie pod względem 20 kryteriów, nachylenia terenu i gruntów rolnych pierwszej klasy. Jednakże zaobserwowano, że nie jest to region odpowiedni pod względem geologicznym. Fakt, że fabryka ta znajduje się w pobliżu drogi i że w jej bezpośrednim sąsiedztwie nie ma terenów rolniczych, ma znaczenie dla ochrony przyrody. Jednak zgodnie z wynikami analizy uznaje się, że lokalizacja fabryki nie jest odpowiednia, ponieważ zgodnie z planami wyższego rzędu znajduje się ona w strefie przemysłowej i jest położona w pobliżu obszarów mieszkalnych, mimo że wydaje się, że znajduje się w regionie umiarkowanie odpowiednim.

Po przeanalizowaniu lokalizacji cementowni w prowincji Nevşehir stwierdzono, że jest ona odpowiednia pod względem 20 kryteriów, nachylenia terenu, gruntów rolnych pierwszej klasy i warunków geologicznych. Ponadto utworzenie cementowni w prowincji Nevşehir nie jest uważane za właściwe ze względu na gęstość obszarów turystycznych i bliskość cementowni.

W niniejszym badaniu zastosowano podejście uwzględniające naturę, środowisko i życie społeczne, obejmujące opinie ekspertów i wykorzystujące metody naukowe [MCDM, AHP i GIS] do wyboru lokalizacji cementowni w regionie KPP. Podejście tego typu jest powszechnie stosowane w wielu różnych dziedzinach z różnych perspektyw. Wiele zestawów danych przestrzennych może zapewnić szczegółowy opis. Ponadto można zaproponować różne podejścia metodologiczne w celu poszerzenia zakresu niniejszego badania. Podkreśla to konieczność rekonstrukcji cementowni oraz systematycznej oceny ich stanu operacyjnego i poziomu działalności (45). Wybór lokalizacji cementowni przez ekspertów na etapie planowania ma wiele zalet, takich jak uniknięcie marnowania inwestycji, obniżenie kosztów oraz ochrona środowiska i przyrody. Pomaga chronić grunty rolne i życie naturalne, umożliwiając zachowanie i efektywne ich wykorzystanie. Ponadto umiejscowienie fabryki w odpowiednim obszarze przynosi korzyści zarówno fabryce, jak i gospodarce kraju. Redukcję emisji dwutlenku węgla z produkcji cementu i czystszy klimat można osiągnąć poprzez wyższy wzrost gospodarczy, otwartość handlu, zużycie energii odnawialnej i dochody z zasobów naturalnych. Osiągnięcie neutralności klimatycznej może wymagać przyjęcia odnawialnych źródeł energii i wdrożenia bardziej wydajnych technologii w celu zmniejszenia emisji dwutlenku węgla z produkcji cementu (46). Sugeruje się, że w celu złagodzenia wpływu cementowni na środowisko należy wprowadzić przepisy ograniczające lokalizację fabryk w pobliżu obszarów mieszkalnych. Ponadto fabryki te powinny być otoczone pasami zieleni złożonymi z wysokich drzew, a odpowiednie ministerstwa powinny podjąć skoordynowane działania w celu zminimalizowania zanieczyszczenia powietrza (49).

Ostatecznie integracja zaawansowanej sztucznej inteligencji [AI] i technik uczenia maszynowego w wielokryterialnym podejmowaniu

rynkowych ziem i życia naturalnego, umożliwiając ochronę i efektywne wykorzystanie, szczególnie rzadkiej ziemi. Ponadto, umiejscowienie fabryki w odpowiednim miejscu powoduje zarówno zysk fabryki, jak i wzrost gospodarki. Redukcja emisji dwutlenku węgla z produkcji cementu i czystszy klimat można osiągnąć poprzez wyższy wzrost gospodarczy, otwartość handlu, zużycie energii odnawialnej i dochody z zasobów naturalnych. Osiągnięcie neutralności klimatycznej może wymagać przyjęcia odnawialnych źródeł energii i wdrożenia bardziej wydajnych technologii w celu zmniejszenia emisji dwutlenku węgla z produkcji cementu (46). Sugeruje się, że w celu złagodzenia wpływu cementowni na środowisko należy wprowadzić przepisy ograniczające lokalizację fabryk w pobliżu obszarów mieszkalnych. Ponadto fabryki te powinny być otoczone pasami zieleni złożonymi z wysokich drzew, a odpowiednie ministerstwa powinny podjąć skoordynowane działania w celu zminimalizowania zanieczyszczenia powietrza (49).

Ultimately, the integration of advanced artificial intelligence [AI] and machine learning techniques in Multi-Criteria Decision Making [MCDM] allows for a clearer identification of the relationships between criteria. It enhances the ability to manage big data and supports real-time decision-making, thus improving the development of decision support systems. This integration facilitates a more nuanced understanding of how criteria interact with one another, ultimately leading to more efficient and effective decision-making processes.

Acknowledgements

This study was carried out in the scope of the Master Thesis of Fadim KOÇ. This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial or not-for-profit sectors.

decyzji [MCDM] pozwala na jaśniejsze określenie relacji między kryteriami. Zwiększa to możliwości zarządzania dużymi zbiorami danych i wspiera podejmowanie decyzji w czasie rzeczywistym, poprawiając tym samym rozwój systemów wspomagania decyzji. Integracja ta ułatwia bardziej nowoczesne zrozumienie wzajemnych powiązań między kryteriami, co ostatecznie prowadzi do bardziej wydajnych i skutecznych procesów decyzyjnych.

Podziękowania

Badanie zostało przeprowadzone w ramach pracy magisterskiej Fadim KOÇ. Badanie nie otrzymało żadnego konkretnego dofinansowania od agencji finansujących z sektora publicznego, komercyjnego lub non-profit.

Literatura / References

1. F. Onel, Organization Location Selection of Multi-Criteria Decision Making Methods of Implementation. Pamukkale University (2014). <http://hdl.handle.net/11499/2817>.
2. O. Demirdogen, B. Bilgili, Factors Affecting Location Selection Decisions for Organized Industrial Zones: The Case of Erzurum. *J. Atatürk Univ. Soc. Sci. Inst.* **4**, (2004).
3. K.L. Chang, S.K. Liao, T.W. Tseng, C.Y. Liao, An ANP based TOPSIS approach for Taiwanese service apartment location selection. *Asia Pac. Manage. Rev.* **20**, 49–55 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.12.007>.
4. P. Heng-ming, W. Xiao-kang, W. Tie-li, L. Ya-hua, W. Jian-qiang, A multi-criteria decision support framework for inland nuclear power plant site selection under Z-Information: A case study in Hunan province of China. *Mathematics* **8**, (2020). <https://doi.org/10.3390/math8020252>.
5. M. Bottero, E. Comino, V. Riggio, Application of the Analytic Hierarchy Process and the Analytic Network Process for the assessment of different wastewater treatment systems. *Environ. Model. Softw.* **26**, 1211–1224 (2011). <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.04.002>.
6. C.Q. Cui, B. Wang, Y.X. Zhao, Q. Wang, Z.M. Sun, China's regional sustainability assessment on mineral resources: Results from an improved analytic hierarchy process-based normal cloud model. *J. Clean. Prod.* **210**, 105–120 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.324>.
7. M.A.B. Promentilla, T. Furuichi, K. Ishii, N. Tanikawa, A fuzzy analytic network process for multi-criteria evaluation of contaminated site remedial countermeasures. *J. Environ. Manage.* **88**, 479–495 (2008). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.013>.
8. S. Kheybari, F.M. Rezaie, H. Farazmand, Analytic network process: An overview of applications. *Appl. Math. Comput.* **367**, (2020). <https://doi.org/10.1016/j.amc.2019.124780>.
9. Y. Xu, Y. Li, L. Zheng, L. Cui, S. Li, W. Li, Y. Cai, Site selection of wind farms using GIS and multi-criteria decision making method in Wafangdian, China. *Energy* **207**, (2020). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118222>.
10. Z.H. Mei Peng, L. Song, An Analytic Network Process Approach for Rapid Loss Assessment of High Casualty Fires in China. *Fire Technol.* **50** (3), 1163–1179 (2013). <https://doi.org/10.1007/s10694-013-0329-6>.
11. M. Mokarram, D. Sathyamoorthy, Determination of suitable locations for the construction of gas power plant using multicriteria decision and Dempster–Shafer model in GIS. *Energy Sources, Part A: Recovery, Util. Environ. Eff.* **00**, 1–16 (2019). <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1666189>.
12. S. Saffarian, M. Shafiee, N. Zaredar, A Novel Approach Toward Natural and Anthropogenic Risk Assessment of Gas Power Plants. *Hum. Ecol. Risk Assess.* **20**, 346–365 (2014). <https://doi.org/10.1080/10807039.2013.785766>.
13. Ü. Kurt, The fuzzy TOPSIS and generalized Choquet fuzzy integral algorithm for nuclear power plant site selection - A case study from Turkey. *J. Nucl. Sci. Technol.* **51**, 1241–1255 (2014). <https://doi.org/10.1080/00223131.2014.918524>.
14. M. Erdogan, I. Kaya, A combined fuzzy approach to determine the best region for a nuclear power plant in Turkey. *Appl. Soft Comput. J.* **39**, 84–93 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.11.013>.
15. Z.M. Baskurt, C.C. Aydin, Nuclear power plant site selection by Weighted Linear Combination in GIS environment, Edirne, Turkey. *Prog. Nucl. Energy* **104**, 85–101 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2017.09.004>.
16. A. Devanand, M. Kraft, I.A. Karimi, Optimal site selection for modular nuclear power plants. *Comput. Chem. Eng.* **125**, 339–350 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.03.024>.
17. P.C. Basu, Site evaluation for nuclear power plants – The practices. *Nucl. Eng. Des.* **352**, 110140 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.nuceng-des.2019.06.002>.
18. Y. Wu, F. Liu, Y. Huang, C. Xu, B. Zhang, Y. Ke, W. Jia, A two-stage decision framework for inland nuclear power plant site selection based on GIS and type-2 fuzzy PROMETHEE II: Case study in China. *Energy Sci. Eng.* **8**, 1941–1961 (2020). <https://doi.org/10.1002/ese3.640>.
19. A.A. Eluyemi, S. Sharma, S.J. Olotu, D.E. Falebita, A.A. Adepelumi, I.A. Tubosun, F.I. Ibitoye, S. Baruah, A GIS-based site investigation for nuclear power plants (NPPs) in Nigeria. *Sci. Afr.* **7**, (2020). <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00240>.
20. U. Dermol, B. Kontić, Use of strategic environmental assessment in the site selection process for a radioactive waste disposal facility in Slovenia. *J. Environ. Manage.* **92**, 43–52 (2011). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.08.010>.
21. P.F. Valdor, A.G. Gómez, V. Velarde, A. Puente, Can a GIS toolbox assess the environmental risk of oil spills? Implementation for oil facilities in harbors. *J. Environ. Manage.* **170**, 105–115 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.01.012>.
22. J.V. Stone, Risk Perception Mapping and the Fermi II nuclear power plant: Toward an ethnography of social access to public participation in Great Lakes environmental management. *Environ. Sci. Policy* **4**, 205–217 (2001). [https://doi.org/10.1016/S1462-9011\(01\)00029-6](https://doi.org/10.1016/S1462-9011(01)00029-6).
23. O. Raboun, E. Chojnacki, C. Duffa, D.R. Insua, A. Tsoukiàs, Spatial risk assessment in case of multiple nuclear release scenarios. *Socio-Econ. Plan. Sci.* **70**, 100721 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.seps.2019.06.006>.
24. B. Nas, T. Cay, F. Iscan, A. Berkay, Selection of MSW landfill site for Konya, Turkey using GIS and multi-criteria evaluation. *Environ. Monit. Assess.* **160**, 491–500 (2010). <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0713-8>.
25. M.N. Mokhtarian, S. Sadi-Nezhad, A. Makui, A new flexible and reliable interval valued fuzzy VIKOR method based on uncertainty risk reduction in decision making process: An application for determining a suitable location for digging some pits for municipal wet waste landfill. *Comput. Ind. Eng.* **78**, 213–233 (2014). <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.09.008>.
26. M. Rezaeimahmoudi, A. Esmaeli, A. Gharegozlu, H. Shabaniyan, L. Rokni, Application of geographical information system in disposal site selection for hazardous wastes. *J. Environ. Health Sci. Eng.* **12**, 1–6 (2014). <https://doi.org/10.1186/s40201-014-0141-3>.
27. Y. Li, C. Lin, Y. Wang, X. Gao, T. Xie, R. Hai, X. Wang, X. Zhang, Multi-criteria evaluation method for site selection of industrial wastewater discharge in coastal regions. *J. Clean. Prod.* **161**, 1143–1152 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.030>.
28. H. Yousefi, Z. Javadzadeh, Y. Noorollahi, A. Yousefi-Sahzabi, Landfill site selection using a multi-criteria decision-making method: A case study of the salafcheghan special economic zone, Iran. *Sustainability (Switzerland)* **10**, 1–16 (2018). <https://doi.org/10.3390/su10041107>.
29. H. Abd-El Monsef, S.E. Smith, Integrating remote sensing, geographic information system, and analytical hierarchy process for hazardous waste landfill site selection. *Arab. J. Geosci.* **12**, 1–14 (2019). <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4266-7>.
30. S. Rahimi, A. Hafezalkotob, S.M. Monavari, A. Hafezalkotob, R. Rahimi, Sustainable landfill site selection for municipal solid waste based on a hybrid decision-making approach: Fuzzy group BWM-MULTIMOORA-GIS. *J. Clean. Prod.* **248**, 119186 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119186>.
31. C. Yagci, F. Iscan, Geographic Information Systems (Gis) Based Approach for Site Selection of Medical Waste Landfill in Konya. *Int. J. Ecosyst. Ecol. Sci.-Ijees* **6**, 587–592 (2016).
32. N.B. Chang, G. Parvathinathan, J.B. Breeden, Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. *J. Environ. Manage.* **87**, 139–153 (2008). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.011>.

33. A. Singh, Remote sensing and GIS applications for municipal waste management. *J. Environ. Manage.* **243**, 22–29 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.017>.
34. B. Zakaria, R. Abdullah, M.F. Ramli, P.A. Latif, Selection criteria using the Delphi method for siting an integrated hazardous waste disposal facility in Malaysia. *J. Environ. Plan. Manage.* **56**, 512–530 (2013). <https://doi.org/10.1080/09640568.2012.689614>.
35. M. Gholamalifard, J. Phillips, M.J. Ghazizade, Evaluation of unmitigated options for municipal waste disposal site in Tehran, Iran using an integrated assessment approach. *J. Environ. Plan. Manage.* **60**, 792–820 (2017). <https://doi.org/10.1080/09640568.2016.1181610>.
36. G. Döberl, M. Ortmann, W. Fröhlich, Introducing a goal-oriented sustainability assessment method to support decision making in contaminated site management. *Environ. Sci. Policy* **25**, 207–217 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2012.10.013>.
37. A.V. Pekin, Environmental Pollution Control in Cement Industry. Report (1999). <http://istanbul.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/12323.pdf>.
38. F. Cebi, İ. Otay, Multi-Criteria and Multi-Stage Facility Location Selection under Interval Type-2 Fuzzy Environment: A Case Study for a Cement Factory. *Int. J. Comput. Intell. Syst.* **8**, 330–344 (2015). <https://doi.org/10.1080/18756891.2015.1001956>.
39. M. Mirhadi Fard, C.J. Kibert, A.R. Chini, Decision-making for sustainable location of a cement plant in the state of Florida. *Int. J. Sust. Eng.* **9**, 76–92 (2016). <https://doi.org/10.1080/19397038.2015.1050971>.
40. P.K. Dey, E.K. Ramcharan, Analytic hierarchy process helps select site for limestone quarry expansion in Barbados. *J. Environ. Manage.* **88**, 1384–1395 (2008). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.07.011>.
41. J. Malczewski, GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* **20**, 703–726 (2006). <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>.
42. T. Yomralioglu, Geographical Information Technologies. (2010). https://web.itu.edu.tr/tahsin/Arsiv/tahsin/Yayn_MakaleTR_files/74_22.pdf.
43. S. Sipahi, M. Timor, The analytic hierarchy process and analytic network process: An overview of applications. *Manage. Decis.* **48**, 775–808 (2010). <https://doi.org/10.1108/00251741011043920>.
44. T.L. Saaty, Axiomatization of the Analytic Hierarchy Process. 91–108 (1985). https://doi.org/10.1007/978-3-642-46536-9_4.
45. Y. Yang, Y. Liu, L. Liu, Z. Liu, H. Wu, Monitoring global cement plants from space. *Remote Sens. Environ.* **302**, 113954 (2024).
46. F.V. Bekun, A.A. Alola, B.A. Gyamfi, P.A. Kwakwa, G.I.Z.E.M. Uzuner, Econometrics analysis on cement production and environmental quality in European Union countries. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* **20** (4), 4265–4280 (2023).
47. ArcGIS 2024, Kernel Density. Pobrane 24 listopada 2024 ze strony: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-kernel-density-works.htm> (Ostatni dostęp: 24.11.2024).
48. S.K. Sahoo, S.S. Goswami, A Comprehensive Review of Multiple Criteria Decision-Making (MCDM) Methods: Advancements, Applications, and Future Directions. *Decision Making Advances* **1** (1), 25–48 (2023).
49. G. Mustafa, Assessing the environmental impact of cement plants in Beni Suef, Egypt: An Applied Study in Industrial Geography. *Arab J. Geogr. Inf. Syst.* **16** (1), (2023).