كاربرد سيستم‌هاي مهندسي سنگ در ارزيابي پايداري فضاهاي زيرزميني

مسعودصادقي[i] *; وامق رسولي[ii]

چكيده

دستيابي به طراحي بهينه در فعاليت‌هاي مهندسي سنگ، نيازمند شناخت عوامل موثر و روابط بين آنها است. امروزه سيستم‌هاي مهندسي سنگ در تحليل فرايندهاي پيچيده مهندسي سنگ كاربرد روزافزوني دارند. در اين روش عوامل مهم روي قطر اصلي ماتريس قرار گرفته و اندركنش بين آنها با مقداردهي كمي در عناصر غير قطري تعيين و سپس به كمك اين ماتريس ميزان اثردهي و اثرپذيري هر عامل در سيستم ارزيابي مي‌شود. در اين مقاله يك سيستم مهندسي با كدگذاري ماتريس اندركنش و با استفاده از رياضيات فازي ساخته شده است. از اين سيستم براي ارزيابي پايداري تونل آب‌بر سد سيمره در ناحيه خردشده گرابن استفاده شده است. نتايج به‌دست آمده با طبقه‌بندي‌هاي مهندسي توده‌سنگ انجام شده مقايسه شده‌اند. نتايج نشان مي‌دهند كه لايه‌بندي و گسل‌ها مهم‌ترين عوامل كاهش ناپايداري در ناحيه گرابن هستند. با استفاده از اين روش، توده‌سنگ ناحيه خردشده گرابن در كلاس پايداري III (به نسبت پايدار) قرار مي‌گيرد كه به نتايج طبقه‌بندي‌هاي مهندسي سنگ صورت گرفته نزديك است.

كلمات كليدي

سيستم‌هاي مهندسي سنگ، پايداري تونل، طبقه‌بندي مهندسي توده‌سنگ، ناحيه خردشده، سد سيمره.

Application of Rock Engineering Systems in Evaluation of Stability of Underground Excavations

Masoud sadeghi; Vamegh rasouli

ABSTRACT

In rock engineering practice, understanding the most effective parameters and their relationships is important in order to obtain an optimum engineering design. The applications of rock engineering system (RES) in the analysis of complicated rock engineering processes have been widespread. In this method, the main parameters are located along the diagonal of the matrix, and their interactions are quantified by assigning values in the off-diagonal elements. Then, this matrix is used to assess the amount of cause and effect of each parameter within the whole system. In this paper, a rock engineering systems is constructed where the coding of the matrix is made using fuzzy mathematics. This system is used to analyze the stability of the water transmit tunnel of Seymareh Dam within the crushed zone of Graben rocks. The results are compared to those of the rock mass classification systems. It is observed that the bedding and falts are the two major factors of instability. Using the new method, the Graben rock is classified in group III, i.e. moderately stable rock, which is close to what predicted using rock classification system.

KEYWORDS

Rock engineering systems (RES), tunnel stability, engineering rock mass classification systems, crushed zone, seymareh dam.

تاريخ دريافت مقاله:۱۳۸۵/۲/۱۸

تاريخ اصلاحات مقاله:۱۳۸۷/۲/۲۵

[i] *نويسنده مسئول و دانشجوي كارشناسي ارشد مكانيک سنگ ؛ دانشگاه صنعتي اميركبير : masoud7882@aut.ac.ir

[ii] عضو هيأت علمي دانشكده مهندسي نفت؛ دانشگاه صنعتي اميركبير : vrasouli@aut.ac.ir.

۱- مقدمه

پايداري فضاهاي زيرزميني مانند مغار نيروگاه‌هاي برق-آبي، تونل‌هاي انتقال آب و فضاهاي زيرزميني معدني از مهم‌ترين مسائل مربوط به پژوهش‌هاي عمراني و معدني به‌شمار مي‌آيد. عوامل متعددي مانند تنش‌هاي برجا، ساختار توده‌سنگ، روش‌هاي حفاري، عمق حفاري، ابعاد و شكل حفاري، كيفيت ماده‌سنگ و توده‌سنگ، بر پايداري فضاهاي زيرزميني اثر مي‌گذارند. با افزايش تعداد عوامل، مدل‌سازي ساز و كارها و مسيرهاي اندركنش به وسيله روش‌هاي مرسوم مشكل مي‌شود. بنابراين نياز به استفاده از روش‌هاي تحليلي جديد براي تجزيه و تحليل فرايندهاي پيچيده مهندسي سنگ ضروري است[۵].

ابداع انواع سيستم‌هاي طبقه‌بندي توده‌سنگ و كاربرد آنها در مهندسي سنگ، گام مهمي در ارزيابي پايداري فضاهاي زيرزميني است. اگرچه، به‌طور كلي، محدوده مقادير عوامل در ارزيابي پايداري فضاهاي زيرزميني در بيشتر روش‌هاي محاسباتي ثابت درنظر گرفته مي‌شود، در روش‌هاي معمول طبقه‌بندي توده‌سنگ، عدم اطمينان ناشي از ناقص بودن داده‌ها و مبهم بودن اطلاعات به طور مستقيم در محاسبات وارد نمي‌شود [۵]. در اين مقاله اهميت اثرگذاري عوامل بر پايداري فضاهاي زيرزميني بر پايه تئوري سيستم‌هاي مهندسي سنگ (Hudson,1992) بررسي شده است. در اين بررسي از منطق فازي براي اعمال عدم اطمينان استفاده شده است.

۲- چند مفهوم پايه در رياضيات فازي

۲-۱- مجموعه فازي

مفهوم مجموعه‌فازي براي اولين بار به‌وسيله پرفسور لطفي‌زاده (۱۹٦۵) معرفي شد. مجموعه فازي A شامل عضوx به‌صورت رابطه (۱) تعريف مي‌شود:

$$A = \{\mu(x), x\} \qquad (۱)$$

كه $\mu(x)$ درجه عضويت x در مجموعه A است. درجه عضويت مقداري بين ۰ تا ۱ دارد. تابع عضويت، تابعي است كه درجه تعلق x در A را مشخص مي‌نمايد. تابع عضويت با توجه به اهداف محاسباتي و واقعيت‌هاي حاكم بر سيستم انتخاب مي‌شود [۳].

۲-۲- عملگر فازي

انواع متنوعي از عملگرهاي فازي در كاربردهاي عملي استفاده مي‌شود. عملگر فازي مدل وزن‌دهي متوسط [۲] براي مسائل چندمتغيره بسيار مناسب است؛ كه در تحقيق حاضر از اين روش استفاده شده است. ساختار اين عملگر فازي به‌صورت رابطه (۲) تعريف مي‌شود [۲]:

$$B = AOR = (b_1\ b_2 \ldots b_n)$$
$$bj = \min\{1, \sum_{i=1}^{n} a_i r_{ij}\} \qquad (۲)$$

در رابطه فوق B ماتريس هدف، A ماتريس ضرايبي وزن، R ماتريس همبستگي و O عملگر فازي است.

۲-۳- ماتريس همبستگي **R**

پنج كلاس پايداري به صورت خيلي پايدار، پايدار، به نسبت پايدار، ناپايدار و خيلي ناپايدار به شكل مجموعه $V=\{v_1\ v_2\ v_3\ v_4\ v_5\}$ و n عامل $u_1,u_2,\ldots,u_n$ به صورت مجموعه $U=\{u_1,u_2,\ldots,u_n\}$ در نظر بگيريد. به اين ترتيب درجه عضويت i-امين عامل در j-امين كلاس پايداري به صورت r_{ij} تعريف و ماتريس R براي هر كلاس پايداري به شكل رابطه (۳) به‌دست مي‌آيد [۲]:

$$Ri = [r_{i1}\ r_{i2}\ r_{i3}\ r_{i4}\ r_{i5}] \qquad (۳)$$

۲-٤- ماتريس ضرايب وزني **A**

به‌طوركلي، اهميت هر عامل در پايداري فضاهاي زيرزميني با يكديگر متفاوت است؛ بنابراين مي‌توان هر عامل را با ضريب وزني خاصي مشخص نمود. ماتريس ضرايب وزني عوامل به صورت رابطه (٤) تعريف مي‌شود [۲]:

$$A = (a_1\ a_2 \ldots a_n) \qquad (٤)$$
$$a_j \geq 0, \sum_{i=1}^{n} a_i$$

۳- سيستم‌هاي مهندسي سنگ

به‌طوركلي، فعاليت‌هاي مهندسي سنگ شامل ساز و كارهاي اندركنش پيچيده بسياري هستند. امروزه، روش سيستم‌هاي مهندسي سنگ به عنوان روشي موثر در تحليل ساز و كارهاي پيچيده و حل مسائل مهندسي سنگ گسترش يافته است. طبق تئوري سيستم‌هاي مهندسي سنگ، همه طبقه‌بندي‌هاي مهندسي سنگ‌ها را مي‌توان به صورت تابعي از عوامل قطري ماتريس اندركنش درنظر گرفت. انتخاب عوامل و وزن‌دهي آنها در سيستم طبقه‌بندي توده‌سنگ با كدگذاري ماتريس اندركنش تعيين مي‌شود [۴].

۳-۱- انتخاب عوامل اصلي

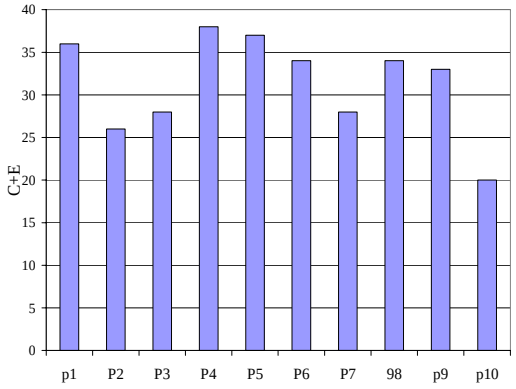
انتخاب عوامل اصلي در ارزيابي پايداري، مهم‌ترين موضوع سيستم‌هاي مهندسي سنگ و تشكيل ماتريس اندركنش است. با

استفاده از نظرات كارشناسي، شرايط خاص منطقه و تجربه‌هاي عملي در مسائل پايداري فضاهاي زيرزميني مي‌توان عوامل اصلي ماتريس اندركنش را تعيين نمود. در اين مقاله با توجه به شرايط ساختگاه، كيفيت عمومي توده‌سنگ و نوع حفاري، ۱۰ عامل اصلي موثر بر پايداري فضاهاي زيرزميني انتخاب شده‌اند. اين عوامل عبارتند از: ۱) مقاومت تك محوري ماده‌سنگ ۲) مدول الاستيسيته ماده‌سنگ ۳) كيفيت ماده‌سنگ؛ سخت يا نرم ٤) شاخص كيفي توده‌سنگ RQD ٥) فاصله‌داري درزه‌ها ٦) خواص مقاومتي ناپيوستگي‌ها ۷) نسبت مقاومت تك‌محوري به تنش اصلي حداكثر ۸) اندازه حفاري كه به صورت نسبت مساحت حفاري به محيط حفاري تعريف شده است ۹) شرايط عمومي آب زيرزميني (مقدار جريان نشت، Fs يا فشار آب درزه‌اي، Pw و ۱۰) هندسه حفاري.

عوامل، روي قطر اصلي ماتريس اندركنش قرار گرفته و با استفاده از روش نيمه‌كمي خبره كدگذاري شده است. در اين روش عوامل بر اساس شدت اندركنش هر جفت از عوامل از مقدار عددي صفر (بدون اندركنش) تا مقدار٤ (اندركنش قوي) كدگذاري مي‌شوند. در اين روش، عوامل موثر روي قطر اصلي ماتريس قرار مي‌گيرند و اندركنش آنها با يكديگر بر حسب ميزان آن با كدگذاري در عناصر غيرقطري ماتريس مشخص مي‌شود. بدين ترتيب مجموع خانه‌هاي سطري، معرف اثري است كه عامل موجود در آن سطر روي ديگر عوامل دارد و مجموع خانه‌هاي ستوني معرف اثري است كه عامل موجود در آن ستون از ديگر عوامل گرفته است [٤]. مقادير كدگذاري به صورت نمودار اثر-تاثير و هيستوگرام شدت اندركنش هر عامل در شكل (۱) نشان داده شده است. در اين تحقيق پارامترهاي σ_c ، RQD، S_d، ϕ_j يا C_j، R_h و $W_g(P_w, F_s)$ به عنوان عوامل بحراني موثر بر پايداري در نظر گرفته شده‌اند.

P۱	۴	۲	۲	۲	۲	۳	۲	۳	۱
۳	P۲	۲	۲	۱	۱	۱	۰	۲	۰
۲	۲	P۳	۱	۲	۲	۱	۱	۲	۱
۲	۲	۱	P٤	۴	۳	۲	۲	۲	۲
۱	۱	۱	۴	P۵	۴	۲	۲	۲	۲
۲	۲	۱	۲	۳	P٦	۲	۲	۲	۱
۳	۱	۲	۱	۱	۰	P۷	۲	۲	۰
۱	۱	۲	۳	۳	۳	۲	P۸	۳	۱
۱	۱	۲	۲	۱	۱	۱	۲	P۹	۲
۰	۰	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۲	P۱۰

الف- ماتريس اندركنش



ب- هيستوگرام شدت اندركنش عوامل

شكل(۱) ماتريس اندركنش، نمودار اثر-تاثير و هيستوگرام شدت اندركنش عوامل[۳]

۳-۲- انتخاب تابع عضويت و طبقه بندي عوامل در كلاس‌هاي طبقه‌بندي

انتخاب تابع عضويت براي عوامل يكي از مشكل‌ترين مسائل در محاسبات چند متغيره فازي است. به طور معمول تابع عضويت، ابتدا با آزمايش نتايج به‌دست آمده، داده‌هاي آماري و تجربيات كارشناسي و سپس با اصلاح تابع به صورت سعي و خطا تخمين زده مي‌شود [۲]. در اين مقاله با فرض توزيع نرمال داده‌ها از تابع عضويت نرمال طبق رابطه (۵) استفاده شده است [۳]:

$$\mu(x_i) = e^{-(\frac{x_i - a}{c})^2} \quad (5)$$

در رابطه فوق a وc ضرايب مرتبط با توزيع و به ترتيب مقدار متوسط و انحراف معيار عامل مربوطه هستند. با مراجعه به سيستم‌هاي طبقه‌بندي مهندسي سنگ‌ها يك جدول كمي از كلاس‌هاي پايداري مرتبط با هر يك از عوامل در جدول (١) پيشنهاد شده است [٢].

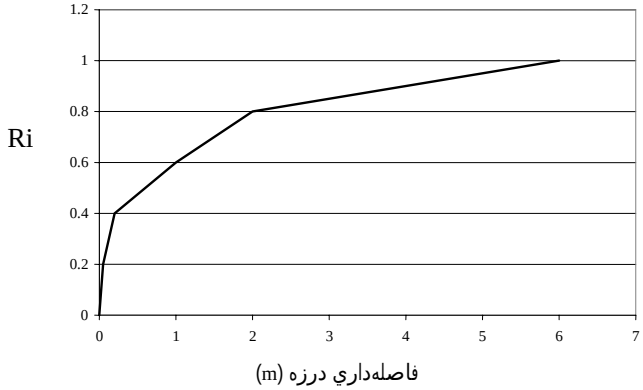
جدول (١): كلاس‌هاي طبقه‌بندي پايداري مرتبط با هر عامل[٢]

كلاس پايداري / عوامل		خيلي پايدار	پايدار	به نسبت پايدار	ناپايدار	خيلي ناپايدار
		كلاس ١	كلاس ٢	كلاس ٣	كلاس ۴	كلاس ۵
σ_c (MPa)		١٧۵-٢٠٠	١٠٠-١٧۵	۵٠-١٠٠	٢۵-۵٠	١٠-٢۵
RQD(%)		٨۵-١٠٠	٧٠-٨۵	۵٠-٧٠	٢۵-۵٠	١٠-٢۵
فاصله‌داري Sd(m)		٣-۶	١-٣	٠/٣-١	٠/٠۵-٠/٣	٠/٠١-٠/٠۵
خواص مقاومتي ناپيوستگي‌ها	ϕ_j	٣۵-۴۵	٣٠-٣۵	٢٠-٣٠	١٠-٢٠	۵-١٠
	Cj(MPa)	٠/٣-١	٠/٢-٠/٣	٠/١۵-٠/٢	٠/١-٠/١۵	٠/٠۵-٠/١
نسبت مساحت به محيط حفاري		٠/۵-١/۵	١/۵-٣	٣-۶	۶-١٠	١٠-٢٠
وضعيت آب زيرزميني	Pw(MPa)	٠/٠۵-٠/١	٠/١-٠/٢۵	٠/٢۵-٠/۵	٠/۵-١	١-٢
	Fs(l/min)	٠/٠٠٠۵-٠/٠٠١	٠/٠٠١-١	١-۵٠	۵٠-۵٠٠	۵٠٠-١٠٠٠

در اين مقاله براي ارزيابي پايداري تونل، شاخص پايداري به صورت رابطه (٦) تعريف شده است:

$$TSI = \sum_{i=1}^{n} W_i R_i \quad (6)$$

كه TSI شاخص پايداري تونل و R_i مقدار مربوط به هر عامل در محدوده [١ ٠] است كه مانند آنچه در شكل (٢) براي فاصله‌داري درزه نشان داده شده، محاسبه مي‌شود.



شكل (٢): نمودار مقداردهي پيوسته براي فاصله‌داري درزه

W_i ضريب وزني هر عامل است كه از رابطه (٧) به‌دست مي‌آيد:

$$W_i = \frac{C_i + E_i}{\sum C_i + E_i} \times 100 \quad (7)$$

طبقه‌بندي كلاس‌هاي پايداري تونل بر اساس مقادير شاخص پايداري تونل در جدول (٢) آورده شده است.

جدول (٢): طبقه‌بندي كلاس‌هاي پايداري تونل

توصيف كلاس پايداري	خيلي پايدار	پايدار	متوسط	ناپايدار	خيلي ناپايدار
كلاس پايداري	١	٢	٣	۴	۵
شاخص پايداري تونل	<٠/٢۵	٠/٢۵ - ٠/۵	٠/۵ - ٠/٧	٠/٧ - ٠/٨۵	>٠/٨۵

٤- مثال عملي

در اين مقاله وضعيت پايداري تونل آب‌بر نيروگاه سد سيمره در ناحيه خردشده گرابن در كيلومترهاي ٣٦٥+٠ تا ٤٢٩+٠ بررسي و با نتايج طبقه‌بندي مهندسي سنگ‌ها مقايسه شده است. تونل آب‌بر طرح سد و نيروگاه سيمره در محدوده تاقديس راوندي در سنگ آهك‌هاي سازند آسماري قرار گرفته است. تونل، مقطع دايره‌اي با قطر حفاري ١٣ متر دارد. وجود دسته درزه‌هاي گوناگون، ريز گسل‌ها با پرشدگي رسي و خرده سنگي، وجود ناحيه خرد شده بلوكي و رطوبت به صورت قطرات آب از ويژگي‌هاي ناحيه خرد شده گرابن است. مشخصات ژئومكانيكي توده‌سنگ و ناپيوستگي‌ها در محدوده ناحيه گرابن در جدول(٣) آورده شده است [١].

جدول(٣): مشخصات ژئومكانيكي توده‌سنگ و ناپيوستگي‌ها در محدوده ناحيه خردشده گرابن [١]

پارامتر		مقدار
UCS(MPa)		٨٣/٤
RQD(%)		٧٥
S_d(m)	دسته درزه	٢
	لايه‌بندي	٠/٥
	گسل‌ها	٦
ϕ_j	دسته درزه	٥
	لايه‌بندي	٤٥
	گسل‌ها	٠
C_j(MPa)	دسته درزه	٠/١٥
	لايه‌بندي	١/٥
	گسل‌ها	٠
R_h(m)		٣/٢٥
F_s(l/min)		<١

طبقه‌بندي ژئومكانيكي توده‌سنگ اين ناحيه به روش‌هاي RMR، Q و RMi (كمالي بنديي و همكاران، ١٣٨٣) انجام شده است. كيفيت توده‌سنگ مورد مطالعه به روش Q به ازاي مقادير متفاوت ضريب كاهش تنش (SRF) و نوع نگهداري در جدول (٤) آورده شده است.

جدول (٤): كيفيت توده‌سنگ مورد مطالعه به روش Q [١]

مقدار Q	كلاس توده‌سنگ	نوع نگهداري
Q١=٣/٧٥	متوسط	بولت ١*١ متر؛ شاتكريت به ضخامت ٣ سانتي‌متر
Q٢=٣٧/٥	خوب	بولت تمام تزريق ٢*٢ متر
Q٣=١٨/٧٥	خوب	بولت تمام تزريق ١/٥*١/٥ متر

شاخص پايداري تونل به ازاي هر دسته ناپيوستگي با استفاده از معادله (٦) و جدول (١) محاسبه شده است. به اين ترتيب كه ابتدا با استفاده از جدول (١) مقدار هر عامل مانند آنچه در شكل (٢) نشان داده شده، به‌دست مي‌آيد. سپس ضريب وزني هر عامل با استفاده از ماتريس اندركنش و معادله (٧) محاسبه شده كه با جايگذاري در معادله (٦) مقدار شاخص پايداري تونل به‌دست مي‌آيد. نتايج اين بررسي در جدول (٥) آمده است.

جدول (٥): شاخص پايداري به ازاي دسته ناپيوستگي‌هاي منطقه

نوع ناپيوستگي	شاخص پايداري تونل	كلاس توده‌سنگ
دسته درزه	٠/٦	متوسط
لايه‌بندي	٠/٦٨	متوسط
گسل‌ها	٠/٦٢	متوسط

نتايج اين ارزيابي نشان مي‌دهد كه توده‌سنگ در كلاس پايداري متوسط قرار مي‌گيرد. هم‌چنين به ترتيب اهميت، صفحات لايه‌بندي، گسل‌ها و دسته درزه نقش موثري در ايجاد ناپايداري توده‌سنگ اطراف فضاي حفاري دارند.

براي ارزيابي دقيق‌تر و آساني در قضاوت مهندسي از رياضيات فازي در ارزيابي پايداري تونل استفاده شده است. ماتريس ضرايب وزني A با توجه به نتايج كدگذاري ماتريس اندركنش در شكل (١) به صورت زير به‌دست مي‌آيد:

$$A=[٠/١٧\ ,\ ٠/١٨\ ,\ ٠/١٧٥\ ,\ ٠/١٦١\ ,\ ٠/١٦١\ ,\ ٠/١٥٦\ ] \qquad (٦)$$

با توجه به سه دسته ناپيوستگي با خواص متفاوت، با استفاده از معادله(٥) و جدول(٢)، ماتريس همبستگي R در سه حالت مختلف به صورت زير به‌دست مي‌آيد:

$$R_J=\begin{bmatrix} ٠ & ٠/٢٣٦ & ٠/٩٢٥ & ٠ & ٠ \\ ٠/٠٢٣ & ٠/٩٢٦ & ٠/٢١ & ٠/٠٠٢ & ٠ \\ ٠/١٤٥ & ١ & \vdots & ٠/٠٦٣ & ٠/٤٩٩ \\ \vdots & ٠/٢٩١ & ٠/٦١٧ & ٠/٠٢ & ٠/٠٢٢ \\ ٠ & ٠/٤٩٩ & ٠/٥ & ٠/٣٥٧ & ٠/٠٠٢ \end{bmatrix}$$

$$R_B=\begin{bmatrix} ٠ & ٠/٢٣٦ & ٠/٩٢٥ & ٠ & ٠ \\ ٠/٠٢٣ & ٠/٩٢٦ & ٠/٢١ & ٠/٠٠٢ & ٠ \\ ٠/٠٠٧ & ٠/٢١ & ٠/٨٨ & ٠ & \vdots \\ ٠/٥٠١ & \vdots & \vdots & ٠/٠٠٩ & \vdots \\ \vdots & ٠/٢٩١ & ٠/٦١٧ & ٠/٠٢ & ٠/٠٢٢ \\ ٠ & ٠/٤٩٩ & ٠/٥ & ٠/٣٥٧ & ٠/٠٠٢ \end{bmatrix}$$

$$R_F=\begin{bmatrix} ٠ & ٠/٢٣٦ & ٠/٩٢٥ & ٠ & ٠ \\ ٠/٠٢٣ & ٠/٩٢٦ & ٠/٢١ & ٠/٠٠٢ & ٠ \\ ٠/٤٩٩ & \vdots & \vdots & ٠/٠٠٢ & ٠/٠٠٢ \\ \vdots & ٠/٢٩١ & ٠/٦١٧ & ٠/٠٢ & ٠/٠٢٢ \\ ٠ & ٠/٤٩٩ & ٠/٥ & ٠/٣٥٧ & ٠/٠٠٢ \end{bmatrix}$$

براي نمونه دياگرام سه بعدي ماتريس همبستگي توده سنگ گرابن با درنظر گرفتن صفحات لايه‌بندي در شكل (٣) نشان داده شده است. در اين دياگرام درجه عضويت هر يک از عوامل

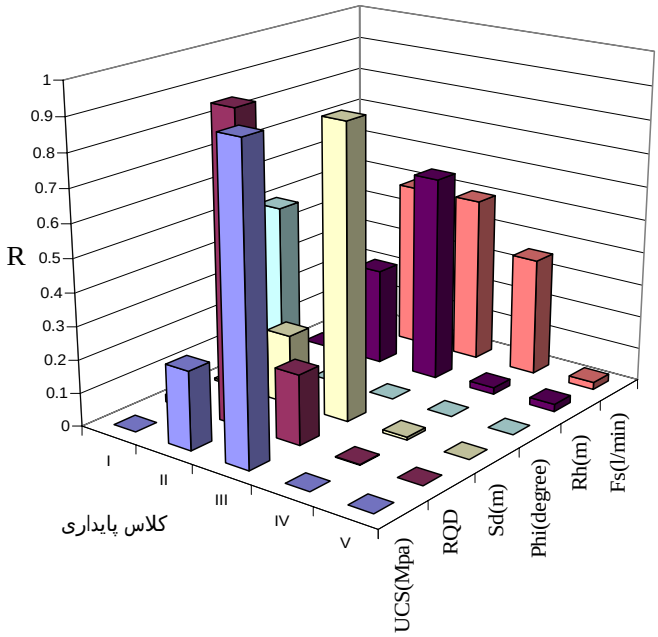
موثر در ارزيابي پايداري در پنج كلاس پايداري نشان داده شده است. با توجه به درجه عضويت عوامل در كلاس‌هاي پايداري ديده مي‌شود توده خردشده گرابن در رده پايدار تا به نسبت پايدار قرار گرفته است.

سپس ماتريس هدف براي پنج كلاس پايداري، با استفاده از رابطه (۲) به صورت زير به‌دست مي‌آيد:

B_J =[۰/۰۱۸ ۰/۴۹۴ ۰/۳۶ ۰/۰۵۷ ۰/۰۷۲]

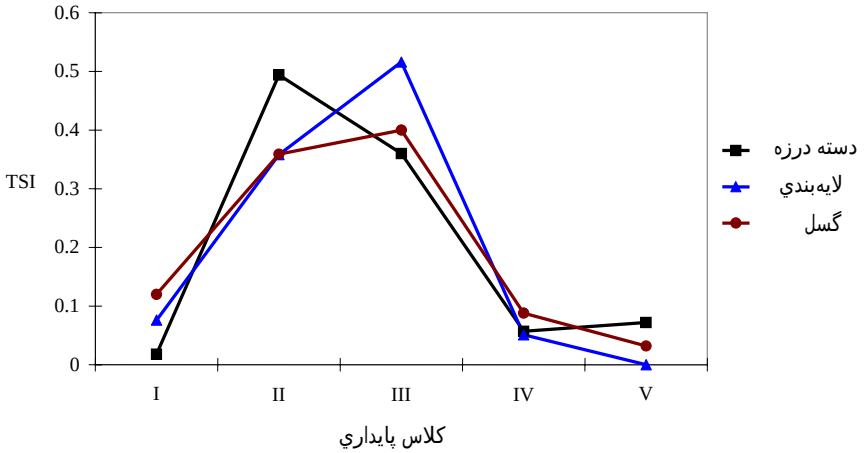
B_B =[۰/۰۷۶ ۰/۳۵۸ ۰/۵۱۶ ۰/۰۵۱ ۰/۰۰]

B_F =[۰/۱۲ ۰/۳۵۹ ۰/۴ ۰/۰۸۸ ۰/۰۳۲]



شكل (۳): دياگرام سه بعدي ماتريس همبستگي ناحيه خردشده گرابن با درنظر گرفتن صفحات لايه بندي

شاخص پايداري تونل TSI به صورت يك عدد فازي از كلاس‌هاي طبقه‌بندي به‌ازاي مشخصات هر دسته ناپيوستگي در شكل (۴) نشان داده شده است.



شكل (۴): شاخص پايداري تونل آب‌بر در ناحيه خردشده گرابن به ازاي خواص متفاوت ناپيوستگي‌ها

طبق نتايج به‌دست آمده، پايداري تونل به‌ازاي مشخصات دسته درزه در كلاس II (پايدار) جاي مي‌گيرد؛ هرچند درجه عضويت توده‌سنگ در كلاس III نزديك‌ترين مقدار به كلاس پايداري II و برابر با ۰/۳۶ به‌دست آمده است. پايداري تونل به‌ازاي مشخصات لايه‌بندي و گسل‌ها به ترتيب با درجه عضويت ۰/۵۱٦ و ۰/٤ در كلاس پايداري III (به نسبت پايدار) جاي مي‌گيرند. با توجه به حداكثر مقدار عضويت توده‌سنگ در كلاس‌هاي پايداري، مشخص مي‌شود كه به ترتيب صفحات لايه‌بندي و گسل‌ها، مهم‌ترين عوامل كاهش پايداري تونل آب‌بر سد سيمره به‌شمار مي‌آيند.

همان‌طور كه ديده مي‌شود، TSI معياري دقيق در ارزيابي پايداري فراهم كرده است كه اطلاعات بيشتري درباره وضعيت پايداري تونل نسبت به طبقه‌بندي‌هاي انجام شده ارائه مي‌دهد. بنابراين با توجه به ارزيابي انجام شده، توده‌سنگ ناحيه خردشده گرابن در كلاس پايداري III (به نسبت پايدار) قرار مي‌گيرد.

۵- نتيجه‌گيري

عوامل زيادي در ارزيابي پايداري فضاهاي زيرزميني اثرگذار هستند. اين عوامل به‌صورت يك سيستم چند متغيره عمل مي‌نمايند كه با افزايش تعداد عوامل، تجزيه و تحليل ارزيابي پايداري را با مشكل مواجه مي‌كنند. در اين مقاله، كاربرد و اهميت سيستم‌هاي مهندسي سنگ به‌عنوان ابزاري كارآمد در تجزيه و تحليل عوامل مختلفي كه بر روي يك فعاليت مهندسي سنگ اثرگذار هستند، بيان شد. نتايج نشان مي‌دهند توده خردشده گرابن در رده سنگ‌هاي به نسبت پايدار جاي مي‌گيرد. هم‌چنين لايه‌بندي و گسل‌ها به ترتيب مهم‌ترين عوامل كاهش پايداري تونل به شمار مي‌آيند.

هم‌چنين سيستم‌هاي مهندسي سنگ در ارزيابي پايداري فضاهاي زيرزميني برخلاف روش‌هاي طبقه‌بندي معمول، محدود به تعدادي عوامل خاص نمي‌شود و مي‌توان بسته به اهداف فعاليت و شرايط آن، تعداد عوامل موثر را افزايش داد و شدت اثرگذاري هر يك را بررسي نمود.

۶- مراجع

[۱] كمالي بندپي، عباس؛ رفيعا، فرزان؛ بينشيان، حسين؛ "پايدارسازي تونل آب‌بر طرح سد و نيروگاه سيمره در زون خردشده گرابن"، مجموعه مقالات دومين كنفرانس مكانيک سنگ ايران، ۱۳۸۳.

[۲] Ping, L.U., Hudson, J.A. ; *A fuzzy evaluation approach to the stability of underground excavations*, Eurock 93, Balkema, 1993.

[۳] Alvarez, G.M. Neuro-fuzzy modeling in engineering geology: applications to mechanical rock excavation, rock strength estimation and geological mapping. A.A.Balkema, 2000.

[۴] Hudson, J. A.; Rock engineering systems: theory and practice, ,1nd Edition, Ellis Horwood, Chichester, 1992.

[۵] Hudson, J.A. and Harrison, J. P. Engineering Rock Mechanics- An introduction to the principles. Elsevier Science,1998.