

## قابلیت اعتماد در سیستم نگهداری تعیین شده به روش Rmi

(مطالعه موردی: تونل راه آهن مرودشت)

پژمان نوری نسب<sup>۱</sup>، حسین توکلی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک سنگ، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهیدباهنر کرمان، ۰۹۱۳۳۴۴۱۰۲۸

۲- استادیار بخش مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۰۳۴۱۲۱۴۰۵۰

### چکیده

با افزایش جمعیت و به دنبال آن افزایش تقاضا در سیستم حمل و نقل عمومی، سرمایه گذاری در تأسیسات و امور مربوط به این سیستم از جمله تونل های راه آهن افزایش یافته و بنابراین در راستای طرح توسعه خطوط راه آهن ایران، احداث راه آهن اصفهان - شیراز مورد مطالعه قرار گرفته است. تعیین سیستم نگهداری تونل راه آهن مرودشت به روش Rmi (شاخص توده سنگ) با توجه به دو پارامتر اصلی شامل فاکتور کیفیت زمین (مشمول بر ۹ متغیر: فاکتورهای تعدیل سطح تنش و نیروی ثقل، مقاومت فشاری تک محوری، پارامتر درزه داری، حجم بلوک، فاکتور شرایط درزه، ضرایب تداوم درزه، زبری درزه و هوازدگی درزه) و فاکتور اندازه (مشمول بر ۴ متغیر: قطر تونل، ابعاد بلوک، فاکتورهای تعدیل تعداد و جهت دسته درزه ها) صورت گرفته است. در این تحقیق با استفاده از نرم افزار ( Minitab 14 ) و روش شبیه سازی داده ها و شبکه درختی رویداد (event tree)، قابلیت اعتماد سیستم نگهداری تونل محاسبه شده است. روش کار، ایجاد اعداد تصادفی در بازه (بیشترین مقدار، کمترین مقدار) برای آن پارامتر، رسم هیستوگرام و سپس برازش تابع توزیع هر متغیر بوده و در نهایت تعیین قابلیت اعتماد صورت گرفته است. نتایج نشان می دهد که نگهداری تونل راه آهن مرودشت از قابلیت اعتماد ۰/۴ یا ۴۰٪ برخوردار است.

کلمات کلیدی: قابلیت اعتماد، تونل راه آهن، سیستم نگهداری، شبیه سازی داده ها، نگهداری تونل.

## Reliability In Determined Support System With Rmi Method (Case Study Marvdasht Railway Tunnel)

P.N.Nasab; H.Tavakoli

### Abstract

Due to increasing in population and associated traffic the demand in installations and affairs related this system like railway tunnels has increased. In this regard, Shiraz-Isfahan railway is under construction concerning development plan of Iran railway. Determination of support system of Marvdasht railway tunnel by Rmi(Rock Mass index) method is performed considering two main parameters including: ground quality (condition) factor (including nine variable: gravity factor, stress level factor, uniaxial compressive strength, jointing parameter, block volume, joint condition factor, joint continuity factor, joint roughness factor and joint alteration factor) and size factor(including four variable: tunnel diameter, block dimension, number of joint sets factor and joint sets factor). In this research, reliability of support system this tunnel has been calculated by Minitab 14 software, applying simulation of data method and event tree. The work method includes creating random numbers in the range(maximum and minimum value) for that parameter, drawing histogram, processing distribution function of every variable, and finally, reliability is determined. Results show that support system of Marvdasht railway tunnel has the reliability of 0.4

**Key words:** Reliability, Railway tunnel, Support system, Simulation of data, support of tunnel

## ۱- مقدمه

تونل راه آهن مرودشت دارای مقطع نعل اسبی با عرض ۱۰/۷ متر و طول ۴۰۶ متر، تماماً در سنگ آهک حفاری شده و مربوط به سری تشکیلات سروک و با سن کرتاسه و عمق متوسط آن از سطح توپوگرافی حدود ۱۱۰ متر می باشد. سیستم نگهداری تعیین شده توسط روش RMI برای این تونل، شاکریت با ضخامت متوسط ۵۰ میلیمتر و راک بولتهایی با فاصله داری ۲/۲ متر است [۳]. پارامترهایی که در تعیین سیستم نگهداری تونل مورد استفاده قرار گرفته اند، اعدادی یکتا و ثابت نیستند (تعداد ۷ پارامتر از ۱۳ پارامتر مورد نیاز، ثابت نیستند) زیرا عوامل مختلفی در مقدار این پارامترها تأثیر می گذارند، از جمله تغییر عمق تونل بدلیل تغییر در توپوگرافی زمین، تغییر تنشهای وارده و ...، که این تغییرات همراه با عدم اطمینان است. بررسی آماری و تجزیه و تحلیل توابع توزیع پارامترها، مهندس طراح را قادر می سازد تا با توجه به شرایط متغیر، تصمیم لازم را اتخاذ کرده و سازه بارگذاری شده را مورد ارزیابی قرار دهد. در این تحقیق بدلیل کمبود تعداد داده های مربوط به متغیرهای مسأله اقدام به داده سازی به روش شبیه سازی توسط نرم افزار (Minitab 14) گردید. در شبیه سازی، دو سیستم مورد بحث است. سیستم اول، سیستم واقعی که شامل پدیده مورد بحث ماست و سیستم دوم، شامل مدلهای ریاضی، گرافیکی، کامپیوتری یا هر مدل فیزیکی دیگری می تواند باشد. در شبیه سازی دو هدف دنبال می شود

الف) فهم بهتر قوانین مورد استفاده در طراحی و نحوه عملکرد این قوانین

ب) تعیین عکس العمل سیستم واقعی نسبت به داده ها و شرایط طبیعی در مدت زمانی کوتاه و ارزان

این نکته حائز اهمیت است که گرچه شبیه سازی شامل خواص مکانیکی و تجزیه و تحلیل عملکرد مصالح مورد استفاده در تونل نیست ولی هر دو مورد فوق را شامل می شود [۷ و ۱]. شبیه سازی مورد استفاده در این تحقیق، روشی است که در آن اعداد تصادفی بین بیشترین و کمترین مقدار پارامتر، ایجاد می شود. شبیه سازی در مسائلی که زمان نقش مهمی را بازی نمی کند، کاربرد دارد و لذا شبیه سازی یک روش استاتیک است تا دینامیک. مراحل انجام شبیه سازی جهت استفاده داده ها در تعیین تابع احتمال عبارتند از:

الف) تعداد آزمایش مورد نیاز (N)

ب) پارامترهای تصادفی

پ) توزیع مناسب برای پارامترهای تصادفی

و در نهایت قابلیت اعتماد سیستم طی مراحل زیر محاسبه می گردد:

الف) محاسبه احتمال موفقیت یا شکست برای هر پارامتر

ب) رسم شبکه درختی رویداد (event tree)

پ) محاسبه قابلیت اعتماد سیستم

ت) کنترل عملکرد سیستم و موفقیت یا شکست سیستم در انجام وظیفه مورد نیاز

## ۲- محاسبات RMI و تعیین سیستم نگهداری تونل راه آهن مرودشت

دو پارامتر اصلی شامل فاکتور کیفیت زمین ( $G_c$ ) (مشمول بر ۹ پارامتر) و فاکتور اندازه ( $S_r$ ) (مشمول بر ۴ پارامتر)، در تعیین سیستم نگهداری تونل مورد استفاده قرار می گیرند. (فرمول های ۱ تا ۹) که این سیزده پارامتر عبارتند از: مقاومت فشاری تک محوری، پارامتر درزه داری، حجم بلوک، بعد بلوک، ضریب تداوم درزه، ضریب زبری درزه، ضریب هوازدگی درزه، فاکتور شرایط درزه، فاکتور تعدیل سطح تنش، فاکتور تعدیل نیروی ثقل، قطر یا عرض تونل، فاکتور تعدیل جهت دسته درزه های اصلی و فاکتور تعدیل برای تعداد دسته درزه ها [۶].

در زیر، روابط و فرمولهای مربوط به این پارامترها و متغیرها و نحوه محاسبه هر کدام آمده است:

$$G_c = RMI * S_L * C \quad (1)$$

$$S_r = \left(\frac{D_t}{Db}\right) * \left(\frac{C_o}{N_j}\right) \quad (2)$$

$$RMi = \sigma_c * J_p \quad (۳)$$

$$J_p = 0.2\sqrt{(J_c * V_b)} \quad (۴)$$

$$D = 0.37J_c^{-0.2} \quad (۵)$$

$$J_c = J_L * \left(\frac{J_R}{J_A}\right) \quad (۶)$$

$$D_b = \sqrt[3]{V_b} \quad (۷)$$

$$C = 5 - 4 \cos \delta \quad (۸)$$

$$N_j = \frac{3}{n_j} \quad (۹)$$

که در آن :

$G_c$ : فاکتور شرایط زمین  
 $RMi$ : شاخص توده سنگ (Mpa)  
 $S_r$ : فاکتور اندازه  
 $S_L$ : فاکتور تعدیل سطح تنش  
 $C$ : فاکتور تعدیل نیروی ثقل (وابسته به شیب  $\delta$ )  
 $\delta$ : شیب طولی تونل  
 $D_t$ : قطر یا عرض تونل (m)  
 $C_0$ : فاکتور تعدیلی برای دسته درزه های اصلی  
 $N_j$ : فاکتور تعدیلی برای دسته درزه ها  
 $n_j$ : تعداد دسته درزه ها  
 $\sigma_c$ : مقاومت فشاری تک محوری سنگ (Mpa)  
 $V_b$ : حجم بلوک ( $m^3$ )  
 $J_R$ : ضریب زبری درزه  
 $J_c$ : فاکتور شرایط درزه  
 $J_p$ : پارامتر درزه داری  
 $J_A$ : ضریب هوازدگی درزه  
 $D_b$ : ضخامت یا بعد بلوک (m)

متغیرهای  $S_L, C_0, J_R, J_A, J_L$ ، از جداول مربوطه بدست می آیند [۴و۶].

از میان پارامترهای ذکر شده، شش پارامتر  $S_L, C_0, N_j, C, \sigma_c, D_t$  دارای مقادیر ثابت اند و سایر پارامترها مقادیر تغییرپذیری را دارا می باشند. با توجه به فرمولهای (۱) تا (۹) و همچنین انجام آنالیز حساسیت بر روی پارامترهای غیر ثابت، مشخص گردید که:

الف) در رابطه (۱)، پارامتر  $S_L$  و  $C$  ثابت و پارامتر  $RMi$  نا ثابت است. برای محاسبه  $RMi$ ، متغیر  $J_p$  به صورت سری و پنج متغیر  $J_R, J_A$  و  $J_L$  و  $J_C$  و  $V_b$  به صورت موازی در سیستم قرار می گیرد.

ب) در رابطه (۲)، پارامتر متغیر  $(I/D_b)$  به صورت سری در سیستم قرار می گیرد. با توجه به توضیحات فوق و خواص سیستمها در حالت سری، موازی و سری - موازی [۹و۵]، شبکه درختی رویداد (event tree) مربوط به هر کدام از دو پارامتر  $G_c$  و  $S_r$  به صورت زیر خواهد بود:

۱- شبکه درختی رویداد مربوط به پارامتر  $G_c$

تعداد رویدادهای ممکن (تعداد کل مسیر):  $2^6 = 64$  مسیر

بعلت زیاد بودن تعداد مسیرها، از رسم آن خودداری می شود و فقط مسیرهای مطلوب رسم می شود.

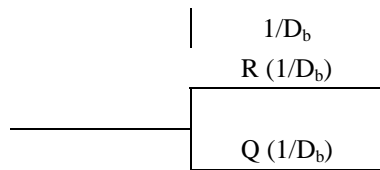
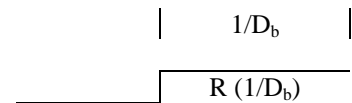
تعداد مسیرهای (رویدادهای) مطلوب: ۳۲ مسیر (شکل ۳)

در این نمودار،  $R$ ، موفقیت و  $Q$ ، شکست است، یعنی چنانچه متغیر مورد نظر مقدار مطلوب را اختیار کند،  $R$ ، و در غیر اینصورت،  $Q$ ، می باشد.

۲- شبکه درختی رویداد مربوط به پارامتر  $S_r$

تعداد رویدادهای ممکن (تعداد کل مسیر):  $2^1 = 2$  مسیر (شکل ۱)

تعداد مسیرهای (رویدادهای) مطلوب: یک مسیر (شکل ۲)

شکل ۱- شبکه درختی رویداد (event tree) مربوط به پارامتر  $S_r$ شکل ۲- مسیر مطلوب در شبکه درختی رویداد (event tree) مربوط به پارامتر  $S_r$ 

از : حدود تغییرات مقادیر مورد استفاده در تعیین نگهداری، در جدول (۱) آمده است. مقادیر مورد استفاده در تعیین نگهداری عبارتند

$$\sigma_c = 71 \text{ (Mpa)} , J_p = 0.22 , V_b = 1/31 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$J_L = 1 , J_A = 3 , D_t = 10/7 \text{ (m)} , N_j = 1$$

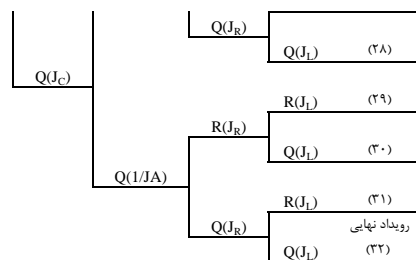
$$C_o = 1/5 , S_L = 1 , J_R = 3 , \delta = 0^\circ$$

با توجه به مقادیر فوق و انجام محاسبات مربوط به تعیین سیستم نگهداری تونل به روش RMI، دو مقدار  $G_c = 15/62$  و  $S_r = 14/59$  بدست می آید که با استفاده از این دو مقدار و استفاده از نمودار مربوط به زمین های ناپیوسته (بلوکی) در سیستم RMI، نگهداری تونل: "شاتکریت با ضخامت ۵۰ میلیمتر و راک بولت با فاصله داری ۲/۲ متر" تعیین شده است [۳و۶]. دامنه تغییرات با توجه به حداکثر و حداقل هر پارامتر، در ستون مربوطه درج شده است. (جدول ۱)

جدول ۱- داده های اولیه مورد استفاده در شبیه سازی [۳]

متغیر	دامنه تغییرات	میانگین	انحراف معیار
$J_p$	۰/۲-۰/۶۳	۰/۳۸۴۳	۰/۰۷۱۵۳
$V_b \text{ (m}^3\text{)}$	۰/۷۲-۱/۷۹	۱/۳۱۳	۰/۴۴۷۰
$J_c$	۱/۱۲۵-۹	۳/۵۹	۱/۳۸۳
$J_R$	۳-۷/۵	۳/۰۵۸	۰/۶۹۵۶
$1/J_A$	۰/۲۵-۰/۵	۰/۳۲۹۲	۰/۰۶۲۱۸
$J_L$	۲-۶	۳/۴۳۳	۰/۷۸۹
$1/D_b \text{ (1/m)}$	۰/۸۲-۱/۱۱	۰/۹۴۲۳	۰/۱۲۶۱





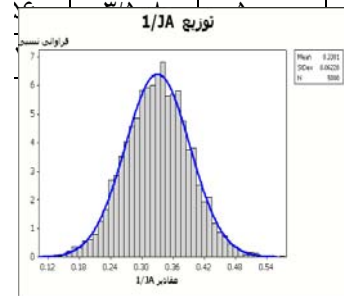
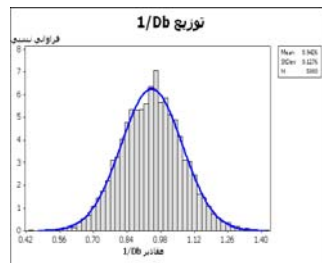
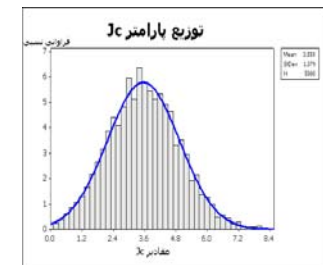
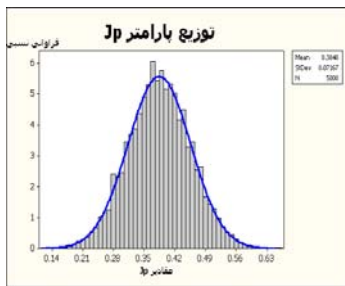
شکل ۳- مسیرهای مطلوب در شبکه درختی رویداد (event tree) مربوط به پارامتر  $G_c$  (R: موفقیت , Q: شکست)

۳- کاربرد شبیه سازی در محاسبات قابلیت اعتماد سیستم نگهداری تونل راه آهن مرودشت

با انجام تست توزیع نرمال بر روی داده های موجود، می توان گفت که همه داده ها دارای توزیع نرمال هستند. با توجه به توضیحات فوق همه پارامترهای مذکور دارای توزیع نرمال می باشند. حال با استفاده از نرم افزار (Minitab 14) و دانستن اینکه پارامترهای مورد نظر دارای توزیع نرمال هستند، عمل شبیه سازی برای هر متغیر و به تعداد ۵۰۰۰ داده صورت می گیرد. توزیع داده های شبیه سازی شده همراه با تغییرات هر متغیر در شکلهای (۴-a) تا (۴-j) نشان داده شده است. اطلاعات مربوط به این شبیه سازی نیز در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲- اطلاعات مربوط به شبیه سازی داده ها توسط نرم افزار Minitab 14

متغیر	تعداد تولید شده	میانگین	انحراف
$J_p$	۵۰۰۰	۰/۳۸۳۵	۳۸
$V_b$ (m <sup>3</sup> )	۵۰۰۰	۱/۳۱۴	۰۸
$J_c$	۵۰۰۰	۳/۶۲	۸
$1/D_b$ (1/m)	۵۰۰۰	۰/۹۴۲۳	۰۲
$J_R$	۵۰۰۰	۳/۰۵۸	۰۳

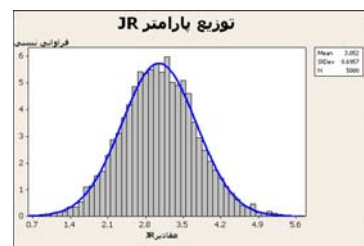
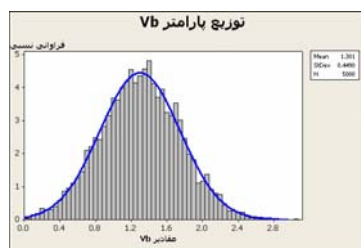
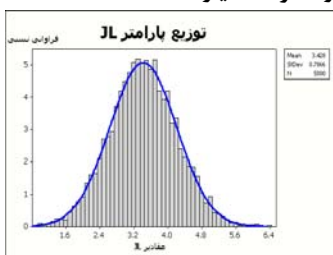


شکل ۴-a: شبیه سازی ۵۰۰۰ عدد

شکل ۴-c: شبیه سازی تعداد ۵۰۰۰ عدد برای عکس پارامتر قطر بلوک (میانگین ۰/۹۴۲۳ و انحراف معیار ۰/۱۲۶۲)

عدد برای عکس فاکتور هوازدگی (میانگین ۰/۳۲۹۳ و انحراف معیار ۰/۰۶۱۴۹)

شکل ۴-d: شبیه سازی تعداد ۵۰۰۰ عدد برای پارامتر فاکتور شرایط درزه (میانگین ۳/۶۲ و انحراف معیار ۱/۳۵۸)



عدد برای پارامتر ضریب زبری درزه

درزه (میانگین ۳/۵۰۸ و  
انحراف معیار ۰/۷۹۵۶)

شکل ج-۴: شبیه سازی تعداد ۵۰۰۰  
عدد برای پارامتر ضریب اندازه و تداوم

#### ۴ - محاسبه قابلیت اعتماد سیستم نگهداری تونل راه آهن مرودشت

حال بایستی احتمال مورد نظر را محاسبه کنیم. احتمال هر پارامتر، بر اساس مقداری محاسبه می شود که در محاسبات تعیین نگهداری بکار رفته است. ذکر این نکته نیز ضروری است که با افزایش  $G_c$  و کاهش  $S_r$ ، قابلیت اعتماد افزایش می یابد و لذا در محاسبه احتمال مورد نظر، برای  $G_c$ ، مقادیر بیشتر و برای  $S_r$ ، مقادیر کمتر از مقدار به کار رفته در تعیین سیستم نگهداری، موفقیت (پایداری نگهداری) محسوب می شوند.

الف) قابلیت اعتماد  $G_c$  در ۳۲ مسیر شبکه درختی رویداد عبارت است از [۹ و ۵]:

$$Re(G_c) = \sum_{i=1}^{32} P_i \quad (10)$$

$i$ : رویداد نهایی ( $i$ ) (شماره مسیر)  $P_i$ : احتمال رویداد نهایی ( $i$ )

$R$ : موفقیت (یعنی اینکه متغیر مورد نظر مقدار مطلوب را اختیار نماید برای مثال مقدار  $J_R$  از ۳ بیشتر شود)

$Re$ : قابلیت اعتماد کل سیستم (در اینجا  $G_c$ )  $Q$ : شکست (یعنی اینکه متغیر مورد نظر مقدار مطلوب را کسب ننماید)

به عنوان مثال احتمال رویداد نهایی (مسیر) ۱ به صورت زیر خواهد بود:

$$P_1 = P[R(J_p)] * P[R(V_b)] * P[R(J_c)] * P[R(1/J_A)] * P[R(J_R)] * P[R(J_L)]$$

$$P[R(J_p)] = 0.9891889$$

$$P[Q(J_p)] = 1 - P[R(J_p)] = 0.0108111$$

مقادیر احتمال سایر پارامترها در جدول (۳) و مقادیر احتمال سایر رویدادهای نهایی در جدول (۴) آمده است.

$$Re(G_c) = \sum_{i=1}^{32} P_i = 0.989189563 \quad \text{و لذا داریم،}$$

ب) قابلیت اعتماد  $S_r$  [۹ و ۵]

$$Re(S_r) = P[R(1/D_b)] = 0.398997$$

حال با توجه به نمودار تعیین نگهداری برای زمین های ناپیوسته (بلوکی) در سیستم RMI و با توجه به اینکه دو پارامتر  $S_r$ ,  $G_c$  مستقل هستند، قابلیت اعتماد سیستم نگهداری عبارت است از [۲]:

$$Re(\text{نگهداری}) = Re(G_c \cap S_r) = Re(G_c) * Re(S_r) = 0.394683668 \approx 0.4$$

$$1 - Re(\text{system}) = 1 - 0.4 = 0.6 = 60\% \quad \text{عدم اطمینان (احتمال شکست) سیستم نگهداری}$$

جدول ۳- مقادیر احتمال موفقیت (R) و شکست (Q) پارامترهای مورد نظر

متغیر	R	Q
$J_p$	۰/۹۸۹۱۸۸۹	۰/۰۱۰۸۱۱۱
$V_b$	۰/۵۰۲۶۷۷	۰/۴۹۷۳۲۳
$J_c$	۰/۹۶۸۹۷۸۹	۰/۰۳۱۰۲۱۱
$J_R$	۰/۵۳۳۲۲۶	۰/۴۶۶۷۷۴
$1/J_A$	۰/۴۷۳۰۷۴	۰/۵۲۶۹۲۶
$J_L$	۰/۹۹۹۲۶۱۷	۰/۰۰۰۷۳۸۳
$1/D_b$	۰/۳۹۸۹۹۷	۰/۶۰۱۰۰۳

جدول ۴- مقادیر احتمال رویدادهای (مسیرهای) مطلوب در محاسبه قابلیت اعتماد پارامتر

$G_c$  با استفاده از شبکه درختی رویداد

رویداد نهایی	احتمال ( $P_i$ )	رویداد نهایی	احتمال ( $P_i$ )
--------------	------------------	--------------	------------------



۰/۰۰۰۰۹۹۹۴۸	۴	۰/۱۲۱۴۵۱۳۱۱	۱
۰/۱۰۶۳۱۵۷۳۵	۵	۰/۱۳۵۲۷۶۶۲۳	۲
۰/۱۱۸۴۱۸۱۰۱	۶	۰/۰۰۰۰۸۹۷۳۳	۳

ادامه جدول ۴- مقادیر احتمال رویدادهای مطلوب ....

احتمال ( $P_i$ )	رویداد نهایی	احتمال ( $P_i$ )	رویداد نهایی
۰/۰۰۰۰۹۸۸۸۳	۲۰	۰/۰۰۰۰۷۸۵۵	۷
۰/۱۰۵۱۸۳۳۶۹	۲۱	۰/۰۰۰۰۸۷۴۹۲	۸
۰/۱۱۷۱۵۶۸۳۳	۲۲	۰/۰۰۳۸۸۸۱۶۸	۹
۰/۰۰۰۰۷۷۷۱۴	۲۳	۰/۰۰۴۳۳۰۷۷۵	۱۰
۰/۰۰۰۰۸۶۵۶	۲۴	۰/۰۰۰۰۰۲۸۷۲	۱۱
۰/۰۰۳۸۴۶۷۵۵	۲۵	۰/۰۰۰۰۰۳۱۹۹	۱۲
۰/۰۰۴۲۸۴۶۴۸	۲۶	۰/۰۰۳۴۰۳۶۱۴	۱۳
۰/۰۰۰۰۰۳۱۶۵	۲۷	۰/۰۰۳۷۹۱۰۶۲	۱۴
۰/۰۰۰۰۰۳۵۲۶	۲۸	۰/۰۰۰۰۰۲۵۱۴	۱۵
۰/۰۰۳۳۶۷۳۶۲	۲۹	۰/۰۰۰۰۰۲۸۰۱	۱۶
۰/۰۰۳۷۵۰۶۸۳	۳۰	۰/۱۲۰۱۵۷۷۳۶	۱۷
۰/۰۰۰۰۰۲۴۸۷	۳۱	۰/۱۳۳۸۳۵۷۹۵	۱۸
۰/۰۰۰۰۰۲۷۷۱	۳۲	۰/۰۰۰۰۸۸۷۷۸	۱۹

### ۵- نتایج

الف) قابلیت اعتماد سیستم نگهداری تعیین شده به روش  $RM_i$  برای تونل راه آهن مرودشت (شاتکریت و بولت) برابر  $(0.4)$  یا  $(40\%)$  است.

ب) با توجه به قابلیت اعتماد بدست آمده، احتمال شکست نگهداری ذکر شده تحت بارهای وارده و مصالح مورد بررسی تقریباً زیاد  $(60\%)$  می باشد.

پ) افزایش قابلیت اعتماد با افزایش  $G_c$  (فاکتور شرایط زمین) و کاهش  $S_r$  (فاکتور اندازه) میسر است، برای مثال مقاومت فشاری تک محوره و در نتیجه  $G_s$  با تزریق یا استفاده از راک بولت، افزایش می یابد. همچنین برای کاهش  $S_r$  میتوان قطر یا عرض تونل را کمتر انتخاب کرد.

ت) با توجه به مقدار تقریباً کم قابلیت اعتماد سیستم نگهداری تونل مورد بحث، به روش  $RM_i$  ( $Re = 0.4$ )، تعیین سیستم نگهداری تونل مذکور به کمک سایر روشها (سیستم  $Q$  و ...) و سپس محاسبه قابلیت اعتماد آن روشها و مقایسه نتایج حاصل با نتایج روش  $RM_i$ ، ضروری به نظر می رسد.

- ۱- آذرنوش، حسنعلی و نیرومند، حسینعلی، "شبییه سازی"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۷۴).
- ۲- نعمت الهی، نادر، "آمار و احتمالات مهندسی"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، (۱۳۸۰).
- ۳- سوری، احسان، شهریار، کورش، منصوری، حمید، "مطالعه سیستم نگهداری تونل راه آهن مرودشت"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، (۱۳۸۲).
- 4- Palmstrom A. 1995. "RMi – a rock mass characterization system for rock engineering purposes". PhD. Thesis. Oslo university, Norway.
- 5- OCONNOR, P.D.T. and Newton, D. and Bromley, R.2002. "Practical Reliability Engineering", great Britain by Antony Rowe Ltd, Chippenham, Wiltshire.
- 6- Palmstrom A. 2000. "The Rock Mass index (RMi) support method" Norconsult AS, Norway.
- 7-Lu, Z.X . and Reddish, D.J. and State, R, (2004), "Addressing uncertainty for a coal mine tunnel design based on numerical modeling" 5<sup>th</sup> international symposium on mining science and technology , pp.387,balkema.
- 8-Billinton, R. and Allan,R.N.1985. "Reliability Evaluation of Engineering Systems", U.S.A , Plenum Press.
- 9-Baecher, G.B.and Christian.J.T.2003. "Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering", great Britain by TJ international , Padstow , Cornwall.