

ПРИМЕРИ УРАЂЕНИХ ЗАДАТАКА ИЗ ПРЕДМЕТА АНАЛИЗА ЉУДСКЕ ПОУЗДАНОСТИ

Пример 1.

Три експерта процењивала су фреквенције појаве шест ризичних догађаја и њихове последице. Резултати процене дати су у наредним табелама:

Експерти	Фреквенције ризичних догађаја (по години)					
	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
e_1	1	3	4	7	8	10
e_2	2	2	2	5	6	7
e_3	3	3	3	3	4	7

Експерти	Последице ризичних догађаја (у новчаним јединицама по догађају)					
	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	G_6
e_1	100	120	250	80	50	20
e_2	110	115	280	80	55	20
e_3	120	125	220	80	57	23

Одредити:

- а) рангове фреквенција и последица ризичних догађаја;
- б) сагласност мишљења експерата у процени фреквенција ризичних догађаја;
- в) сагласност мишљења експерата у процени последица;
- г) највероватније вредности фреквенција и последица за сваки ризични догађај;
- д) очекивану вредност ризика (ризик).

Решење:

а) Рангирање фреквенција и последица ризичних догађаја врши се на следећи начин: посматрањем процена сваког експерта прво се утврђује да ли у њиховим проценама постоје исте фреквенције, односно губици; уколико су све фреквенције и губици различити, примењује се поступак за строго рангирање, тј. фреквенцијама и губицима се додељују рангови од 1 (најмања фреквенција, односно најмањи губитак) до 6 (највећа фреквенција, односно највећи губитак);

уколико постоје исте фреквенције, односно исти губици, за њих се одређују стандардизовани рангови.

У датом примеру, у процени првог експерта нема истих фреквенција, а фреквенције расту од f_1 до f_6 . Оне ће бити рангиране тако што ће фреквенција f_1 добити ранг 1, фреквенција f_2 добиће ранг 2, ..., а фреквенција f_6 добиће ранг 6. У процени другог експерта постоје једнаке фреквенције f_1 , f_2 и f_3 , које су мање од осталих. Како оне треба да заузму прва три места у рангираном низу фреквенција, имаће исти стандардизовани ранг који износи $(1+2+3)/3=2$. Следећи ранг, ранг 4, имаће фреквенција f_4 , ранг 5 – фреквенција f_5 , а ранг 6 – фреквенција f_6 . У процени трећег експерта постоје једнаке фреквенције f_1 , f_2 , f_3 и f_4 , које су мање од осталих. Оне заузимају прва четири места у рангираном низу фреквенција и имају стандардизовани ранг $(1+2+3+4)/4=2,5$. Ранг 5 додељује се фреквенцији f_5 , а ранг 6 фреквенцији f_6 . Рангови фреквенција дати су у следећој табели:

а) Експерти	Рангови фреквенција ризичних догађаја					
	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
e_1	1	2	3	4	5	6
e_2	2	2	2	4	5	6
e_3	2,5	2,5	2,5	2,5	5	6

Посматрањем експертских процена последица ризичних догађаја може се закључити да у њима нема истих вредности последица. Стога се ранг 1 додељује најмањој последици G_6 , ранг 2 последици G_5 , ..., а ранг 6 последици G_3 . Резултат рангирања последица приказан је у следећој табели:

Експерти	Рангови последице ризичних догађаја					
	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	G_6
e_1	4	5	6	3	2	1
e_2	4	5	6	3	2	1
e_3	4	5	6	3	2	1

б) Сагласност мишљења експерата у процени фреквенција ризичних догађаја одређује се на основу табеле рангова фреквенција и коефицијента конкордације за слободно рангирање.

Експерти	Рангови фреквенција ризичних догађаја					
	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
e_1	1	2	3	4	5	6
e_2	2	2	2	4	5	6
e_3	2,5	2,5	2,5	2,5	5	6
$\sum_{i=1}^3 r_{ij}$	5,5	6,5	7,5	10,5	15	18

$$W_{sl} = \frac{S}{S'_m} = \frac{115,5}{136,5} = 0,85$$

$$S = \sum_{j=1}^6 \left(\sum_{i=1}^3 r_{ij} - \frac{m(n+1)}{2} \right)^2 = (5,5 - 10,5)^2 + (6,5 - 10,5)^2 + \dots + (18 - 10,5)^2 = 115,5$$

$$S_m = \frac{n(n-1)}{12} - \frac{1}{12} \sum_{i=1}^m S_i, \dots, m=3, n=6$$

$$S_i = \sum_{k=1}^{L_i} (l_k^3 - l_k), \dots, S_1 = 0, \dots, S_2 = 3 - \frac{1}{3} = 2, \dots, S_3 = 4^3 - 4 = 60$$

$$S'_m = 136,5$$

Вредност коефицијента конкордације ($0,85 > 0,5$) указује на сагласност мишљења експерата.

в) Сагласност мишљења експерата у процени последица ризичних догађаја одређује се на основу табеле рангова последица и коефицијента конкордације за строго рангирање.

Експерти	Рангови последице ризичних догађаја					
	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	G_6
e_1	4	5	6	3	2	1
e_2	4	5	6	3	2	1
e_3	4	5	6	3	2	1
$\sum_{i=1}^3 r_{ij}$	12	15	18	9	6	3

$$W = \frac{S}{S_m} = \frac{157,5}{157,5} = 1$$

$$S = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^m r_{ij} - \frac{m(n+1)}{2} \right)^2 = (12 - 10,5)^2 + \dots + (3 - 10,5)^2 = 157,5$$

$$S_m = \frac{m^2 n (n^2 - 1)}{12} = \frac{3^2 \cdot 6 \cdot (6^2 - 1)}{12} = 157,5$$

Вредност коефицијента конкордације указује на потпуну сагласност мишљења експерата по питању процене последица.

г) Највероватније вредности фреквенција и последица за сваки ризични догађај одређују се као средње вредности процена појединих експерата:

$\overline{f_1}$	$\overline{f_2}$	$\overline{f_3}$	$\overline{f_4}$	$\overline{f_5}$	$\overline{f_6}$
2	2,6	3	5	6	8

$\overline{G_1}$	$\overline{G_2}$	$\overline{G_3}$	$\overline{G_4}$	$\overline{G_5}$	$\overline{G_6}$
110	120	250	80	54	21

д) Очекивана вредност ризика одређује се на основу следећег израза:

$$R = \sum_{j=1}^n \overline{f_j G_j} = 2 \cdot 110 + 2,6 \cdot 120 + \dots + 8 \cdot 21 = 7620 \text{ нј / год}$$

Пример 2.

Квантификацију људских грешака применом *APJ* методе, у хемијској индустрији, вршила су четири експерта. Добијени резултати приказани су у табели. Испитати сагласност мишљења експерата и одредити границе у којима ће се кретати вредности добијених резултата.

m	n			
	1	2	3	4
1	0.004	0.001	0.11	0.0011
2	0.015	0.0011	0.06	0.0006
3	0.01	0.0008	0.12	0.0009
4	0.016	0.0009	0.08	0.0004

Решење:

Индивидуалне процене експерата

m	n			
	1	2	3	4
1	0.004	0.001	0.11	0.0011
2	0.015	0.0011	0.06	0.0006
3	0.01	0.0008	0.12	0.0009
4	0.016	0.0009	0.08	0.0004
Σ	0.045	0.004	0.37	0.003
$\bar{f}$	0.01	0.001	0.09	0.0008

Log HEP

m	n				Σ
	1	2	3	4	
1	-2.39	-3	-0.96	-2.96	-9.31
2	-1.82	-2.96	-1.22	-3.22	-9.22
3	-2	-3.09	-0.92	-3.05	-9.06
4	-1.79	-3.05	-1.09	-3.39	-9.32
Σ	-8	-12.1	-4.19	-12.62	-36.91
$\bar{f}$	-2	-3.03	-1.05	-3.16	

Израчунавање збирова колона (n)

$$n_1 = -8$$

$$n_2 = -12.1$$

$$n_3 = -4.19$$

$$n_4 = -12.62$$

Израчунавање укупног збира редова (m)

$$m_1 = -9.31$$

$$m_2 = -9.22$$

$$m_3 = -9.06$$

$$m_4 = -9.32$$

Израчунавање укупног збира (T)

$$T = -8 + (-12.1) + \dots = -36.91$$

Израчунавање трајне исправке (C)

$$C = \frac{T^2}{n \cdot m} = \frac{(-36.91)^2}{4 \cdot 4}$$

$$C = 85.15$$

Израчунавање збира квадрата (x^2) резултата рада

$$x_1^2 = (-2.39)^2 + (-3)^2 + \dots = 24.39$$

$$x_2^2 = 23.93$$

$$x_3^2 = 23.69$$

$$x_4^2 = 25.18$$

$$\sum_{i=1}^n x_i^2 = 24.39 + \dots + 25.18 = 97.19$$

Израчунавање коначног збира квадрата (TSS)

$$TSS = \sum_{i=1}^n x_i^2 - C = 97.19 - 85.15$$

$$TSS = 12.04$$

Израчунавање збира квадрата колона (t^2)

$$\sum_{i=1}^n t^2 = (-8)^2 + \dots + (-12.62)^2 = 387.23$$

$$t^2 = \frac{\sum_{i=1}^n t^2}{n} - C = \frac{387.23}{4} - 85.15$$

$$t^2 = 11.66$$

Израчунавање збира квадрата редова (r^2)

$$\sum_{i=1}^m r^2 = (-9.31)^2 + \dots + (-9.32)^2 = 340.63$$

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^m r^2}{m} - C = \frac{340.63}{4} - 85.15$$

$$r^2 = 0.008$$

Израчунавање „збира квадрата остатака“ (OS)

$$OS = TSS - t^2 - r^2$$

$$OS = 12.04 - 11.66 - 0.008$$

$$OS = 0.37$$

Одређивање степена слободе (df)

$$df_k = n - 1 = 3$$

$$df_r = m - 1 = 3$$

$$df_u = n \cdot m - 1 = 4 \cdot 4 - 1 = 15$$

$$df_{OS} = df_u - df_k - df_r = 15 - 3 - 3 = 9$$

Израчунавање процене варијација

$$V_{dk} = \frac{t^2}{df_k} = \frac{11.66}{3} = 3.89$$

$$V_{er} = \frac{r^2}{df_r} = \frac{0.008}{3} = 0.003$$

$$V_{OS} = \frac{OS}{df_{OS}} = \frac{0.37}{9} = 0.041$$

Израчунавање F количника

$$F_k = \frac{V_{dk}}{V_{OS}} = \frac{3.89}{0.041} = 94.87$$

$$F_r = \frac{V_{er}}{V_{OS}} = \frac{0.003}{0.041} = 0.073$$

Одређивање коефицијента корелације (K)

$$K = \frac{F - 1}{F + (n - 1)}$$

$$K = \frac{94.87 - 1}{94.87 + (4 - 1)}$$

$$K = 0.96$$

Вредност коефицијента корелације потврђује сагласност мишљења експерата.

Статистичка обрада индивидуалних процена

n	Σ	$\bar{f} = \log HEP$	HEP
1	-8	-2	$10^{-2} = 0.01 = 1 \cdot 10^{-2}$
2	-12.1	-3.03	$9.3 \cdot 10^{-4}$
3	-4.19	-1.05	$8.9 \cdot 10^{-2}$
4	-12.62	-3.16	$6.9 \cdot 10^{-4}$

Поступак за одређивање граница неизвесности врши се применом следећих израза

$$\log HEP \pm 2s.e$$

где је s.e - стандардна грешка

$$s.e = \left(\sqrt{\frac{V(\log HEP_i)}{m}} \right)$$

$$V(\log HEP)_i = \frac{\left[\sum_{j=1}^m (\log HEP)_{ij}^2 \right] - \left[\sum_{j=1}^m (\log HEP)_{ij} \right]^2}{m(n-1)}$$

m - број експерата

n - број грешке/догађаја/задатака.

Детаљно урађен пример за прву грешку тј. n₁.

$$m(n-1) = 4(4-1) = 12$$

$$\left[\sum_{j=1}^m (\log HEP)_1^2 \right] = (-2.39)^2 + (-1.82)^2 + (-2)^2 + (-1.79)^2 = 16.23$$

$$\left[\sum_{j=1}^m (\log HEP)_1 \right]^2 = (-8)^2 = 64$$

$$V(\log HEP)_i = \frac{4 \cdot 16.23 - 64}{12} = 0.077$$

$$s.e = \left(\sqrt{\frac{0.077}{4}} \right) = 0.14$$

$$\log HEP \pm 2s.e = -2 \pm 2 \cdot 0.14 = -2 \pm 0.28$$

$$-2 + 0.28 = -1.72 = 10^{-1.72} = 0.019 = 1.9 \cdot 10^{-2}$$

$$-2 - 0.28 = -2.28 = 10^{-2.28} = 0.0052 = 5.2 \cdot 10^{-3}$$

n	<i>s.e</i>	Границе неизвесности
1	0.14	$5.2 \cdot 10^{-3} \langle 1 \cdot 10^{-2} \rangle 1.9 \cdot 10^{-2}$
2	0.03	$8.1 \cdot 10^{-4} \langle 9.3 \cdot 10^{-4} \rangle 1.1 \cdot 10^{-3}$
3	0.07	$6.5 \cdot 10^{-2} \langle 8.9 \cdot 10^{-2} \rangle 1.2 \cdot 10^{-1}$
4	0.1	$4.4 \cdot 10^{-4} \langle 6.9 \cdot 10^{-4} \rangle 1.1 \cdot 10^{-3}$

Пример 3.

Процена PSF , као и њихов утицај на настанак људских грешака у Електропривреди Србије, приказана је табели. Одредити вредности вероватноће људских грешака за анализирани случај, под условима да је:

$$\log(HEP) = -0.93(SLI) + 2.56$$

	PSF			
	Процедуре	Тимски рад	Комуникација	Искуство
1	5	6	4	9
2	8	8	9	5
3	8	2	2	3
4	9	4	2	7

Решење:

R_{ij}	PSF				Σ
	Процедуре	Тимски рад	Комуникација	Искуство	
1	5	6	4	9	24
2	8	8	9	5	30
3	8	2	2	3	15
4	9	4	2	7	22
Σ	30	20	17	24	

Нормализоване вредности PSF

ΣPSF	PSF	W_i
30	Процедуре	0.35
24	Искуство	0.27
20	Тимски рад	0.21
17	Комуникација	0.17
Σ		1.00

Израчунавање *SLI*

PSF	W_i	R_{ij}	$SLI_j = SUM(R_{ij} \cdot W_i)$			
			1	2	3	4
Процедуре	0.35	5, 8, 8, 9	1.8	2.8	2.8	3.2
Искуство	0.27	9, 5, 3, 7	2.4	1.4	0.8	1.9
Тимски рад	0.21	6, 8, 2, 4	1.3	1.7	0.4	0.8
Комуникација	0.17	4, 9, 2, 2	0.7	1.5	0.3	0.3
$\sum SLI$			6.2	7.4	4.3	6.2

Претварање *SLI* у *HEP*

<i>SLI</i>		$\log(HEP)$	<i>HEP</i>
1	6.2	- 3.21	$6.2 \cdot 10^{-4}$
2	7.4	- 4.32	$4.8 \cdot 10^{-5}$
3	4.4	- 1.53	$2.9 \cdot 10^{-2}$
4	6.2	- 3.21	$6.2 \cdot 10^{-4}$