

بسمه تعالی



دانشکده مهندسی - گروه مهندسی صنایع

عنوان گزارش:

تحلیل آزمایشات قابلیت اطمینان با بلاک بندی تصادفی و زیر نمونه گیری

دانشجویان:

ساناز حقیقی

تکتم پورشیرازی

استاد مربوطه:

دکتر علیرضا شادمان

تابستان 97

فهرست

1.	مقدمه:.....	3
2.	مثال.....	3
3.	مدل مسأله:.....	3
4.	روش دو مرحله‌ای:.....	4
5.	مدل ترکیبی غیرخطی:.....	4
6.	روش‌های فاصله اطمینان:.....	4
7.	یک مثال:.....	5
8.	مطالعه شبیه‌سازی.....	7
9.	خلاصه‌ای از نتایج شبیه‌سازی:.....	10
10.	جمع‌بندی:.....	11

1. مقدمه:

مهندسان قابلیت اطمینان باید توزیع مدت عمر عناصر یک سیستم را به منظور طراحی و مدیریت منابع تعیین کنند. اطلاعات عدم اطمینان معمولاً از آزمایش‌های عمر به دست می‌آید. به منظور دریافت نتیجه‌گیری دقیق، تجزیه و تحلیل داده‌های عدم اطمینان باید دستورالعمل آزمایش را منعکس کنند. تجزیه و تحلیل‌های عدم اطمینان سنتی معمولاً مشاهدات را مستقل فرض می‌کند و توزیع وایبول را برای مدل‌سازی توزیع مدت زمان عمر در نظر می‌گیرد. اگرچه در آزمایش‌های زیادی در دنیای واقعی، مشاهدات همبسته هستند مثل مواردی که در آن اقلام برای آزمایش‌ها از بلاک‌های متفاوت می‌آید.

2. مثال:

یک مهندس اطمینان آزمایشی را برای بررسی تأثیر دما بر روی طول عمر باتری انجام داده است. آزمایش‌ها به صورت یک طرح بلاک‌بندی کاملاً تصادفی‌سازی شده انجام می‌شوند. سه سطح دما (15-70-125) و سه بلاک (سه دسته باتری) وجود دارد. هر بلاک شامل 8 باتری می‌باشد که هر کدام در 3 اتاق (تیمار) قرار گرفته‌اند. هم‌چنین نوع دومی از آزمایشات به منظور تضمین وجود 4 شکست در هر ترکیب تیمار-بلاک اجرا شده است. مدل ارائه شده دو اثر تصادفی را شامل می‌شود: تأثیر بلاک‌ها و تأثیر تیمارها. در این شرایط، واحدهای آزمایش اتاق‌ها هستند در حالی که واحدهای مشاهده، باتری‌ها هستند.

3. مدل مسأله:

$t_{k(ij)}$: زمان شکست برای k امین باتری در اتاق i ام برای بلاک j ام

زمان شکست برای باتری‌ها در یک اتاق از توزیع وایبول پیروی می‌کند:

$$f_1(t_{k(ij)} | \beta, \eta_{ij}, p_i, w_{ij}) = \frac{\beta}{\eta_{ij}} \left(\frac{t_{k(ij)}}{\eta_{ij}} \right)^{\beta-1}, i=1,2,\dots,l, j=1,2,\dots,m, k=1,2,\dots,n$$

نماد	پارامتر
β	پارامتر عمومی توزیع وایبول
η_{ij}	شاخص عمر برای اتاق ij
p_i	اثر بلاک i ام
w_{ij}	اثر اتاق

اگرچه در این مقاله فرض شده است که زمان‌های شکست از توزیع وایبول پیروی می‌کنند، متدولوژی توسعه داده شده می‌تواند برای دیگر توزیع‌های قابلیت اطمینان استفاده گردد. تابع توزیع تجمعی به صورت زیر می‌باشد:

$$F_1(t_{k(ij)} | \beta, \eta_{ij}, p_i, w_{ij}) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t_{k(ij)}}{\eta_{ij}} \right)^\beta \right]$$

چون توزیع وایبول از خانواده لگاریتم است می‌توان η_{ij} را به صورت زیر نمایش داد:

$$\text{Log}(\eta_{ij}) = \mu_{ij} = x_{ij}^T Y + p_i + w_{ij}$$

در این مثال داریم:

$$\text{Log}(\eta_{ij}) = \mu_{ij} = Y_0 + Y_1 x_{ij} + p_i + w_{ij}$$

نماد	پارامتر
Y	ضریب مدل
x_{ij}	دما در اتاق ij

اگر اثر بلاک تصادفی و اثر اتاق از توزیع نرمال پیروی کنند بنابراین:

$$f_2(p_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_p^2}} e^{\frac{-p_i^2}{2\sigma_p^2}}, \quad f_3(w_{ij}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_w^2}} e^{\frac{-w_{ij}^2}{2\sigma_w^2}}$$

4. روش دو مرحله‌ای:

این روش طی دو مرحله پارامترهای مدل را برآورد می‌کند. در این روش در مرحله اول، تخمین‌ها برای μ_{ij} هر اتاق و همچنین β به دست می‌آید. چون تخمین ماکزیمم بزرگ‌نمایی از توزیع نرمال پیروی می‌کند، تجزیه و تحلیل نتایج مرحله اول این امکان را فراهم می‌کند که مسأله مجدد به صورت توابع لگاریتم بازنویسی شود. مدل برای مرحله دوم به صورت زیر می‌باشد:

$$\hat{\mu} = X Y + Z p + w$$

پارامتر	نماد
بردار پارامترهای تخمین زده شده از مرحله اول	μ
ماتریس مدل برای اثرات تیمارها	X
بردار ضرایب مدل	Y
ماتریس incidence برای بلاک‌ها	Z
بردار اثر بلاک تصادفی	p
بردار اثر تصادفی آزمایش	w

تجزیه و تحلیل مرحله دوم فرض می‌کند که p ها مستقل هستند و دارای توزیع نرمال با میانگین 0 و واریانس σ_p^2 می‌باشند و w ها هم مستقل و دارای توزیع نرمال با میانگین 0 و واریانس σ_w^2 هستند پس p ها و w ها مستقل از یکدیگر می‌باشند. محدودیت روش دو مرحله‌ای این است که کوواریانس بین $\hat{\beta}$ و پارامترهای تخمین زده شده طی مرحله دوم در آن نامشخص است. در نتیجه ممکن است امکان برآورد برخی پارامترهای مهم وجود نداشته باشد.

5. مدل ترکیبی غیرخطی:

مدل ترکیبی غیرخطی، همه‌ی پارامترها را طی یک مرحله تخمین می‌زند زیرا کوواریانس بین همه پارامترها تخمین زده شود. در این روش با کمک تبدیل لگاریتمی، دقت تخمین‌ها افزایش می‌یابد. هدف دوم برای این تجزیه و تحلیل‌ها به دست آوردن فواصل اطمینان می‌باشد. برای به دست آوردن فواصل اطمینان دو روش داریم که در ادامه توضیح داده شده است:

6. روش‌های فاصله اطمینان:

الف) Wald inferences

این متدها می‌تواند در مواردی که آزمایش‌ها با بلاک‌های تصادفی و زیرنمونه‌سازی هستند، از طریق استفاده ماتریس واریانس-کوواریانس به دست آمده از روش NLMM مورد استفاده قرار گیرند. ابتدا، فواصل اطمینان بر روی پارامترهای مدل را در نظر می‌گیریم. تعریف می‌کنیم:

$$\theta^T = (Y_0, Y_1, \beta, \sigma_p, \sigma_w)$$

بنابراین آزمایش‌ها و فواصل اطمینان باید بر اساس توزیع تقریبی نرمال

$$Z_{\hat{\theta}} = [\hat{\theta} - \theta] / \widehat{se}_{\hat{\theta}}$$

یک فاصله اطمینان $1 - \alpha$ درصد برای θ :

$$\hat{\theta} \pm Z_{1-\alpha/2} \widehat{se}_{\hat{\theta}}, \quad \widehat{se}_{\hat{\theta}} = \sqrt{\widehat{var}(\hat{\theta})}$$

آماره آزمایش برای θ عبارتست از:

$$Z_{obs} = \frac{\hat{\theta} - \theta_0}{\widehat{se}_{\hat{\theta}}}$$

چون β و σ_p و σ_w از صفر بزرگتر هستند، تبدیل لگاریتمی را برای محاسبه فواصل انجام می‌دهیم که تضمین می‌کند که نقطه پایان این فواصل بزرگتر از یک است. این فواصل بر اساس توزیع $(\text{Log}(\hat{\theta}) - \log(\theta)) / \widehat{se}_{\text{Log}(\hat{\theta})}$ می‌باشد که تقریباً توزیع $N(0,1)$ دارد. در این مورد، فاصله اطمینان

$$\left(\frac{\hat{\theta}}{w}, \hat{\theta} * w\right)$$

یک فاصله اطمینان $1-\alpha$ درصدی برای θ می‌دهد که در آن

$$W = \exp [z_{1-\alpha/2} \widehat{se}_{\hat{\theta}} / \hat{\theta}], \widehat{se}_{\hat{\theta}} = \sqrt{\widehat{var}(\hat{\theta})}$$

پارامتر مقیاس لگاریتم توسط رابطه زیر تخمین زده می‌شود:

$$\hat{\mu} = \hat{Y}_0 + \hat{Y}_1 x$$

آماره آزمایش برای μ عبارتست از:

$$Z_{obs} = \frac{\hat{\mu} - \mu_0}{\widehat{se}_{\hat{\mu}}}$$

فاصله اطمینان برای p صدک از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\left(\frac{\hat{t}_p}{w}, \hat{t}_p * w\right)$$

ب) Inference Based on the Likelihood

در این روش برای یافتن فاصله اطمینان پارامتر، ابتدا ناحیه به بخش‌های زیادی تقسیم می‌شود سپس با انجام یک آزمون فرض مبنی بر این که آیا مقادیر پارامتر در ناحیه اول با مقدار آن در ناحیه دهم یکسان است یا خیر، فاصله اطمینان مربوطه به دست می‌آید (از ذکر جزئیات ریاضی صرف نظر شده است).

7. یک مثال:

مثال قبل که مهندس علاقه‌مند به مطالعه اثر دما بر روی عمر محصول بود، به یاد بیاورید. جدول 2 تخمین‌ها، انحراف استاندارد‌ها، و فاصله اطمینان 95 درصدی برای پارامترهایی که از متد ارائه شده استفاده می‌کنند را نشان می‌دهد. هم‌چنین مقادیر p -value برای اثرات ثابت داده شده است.

TABLE 2. NLMM Analysis Results

Parameter	Estimate	Standard error	P-value	95% CI
γ_0	5.4776	0.1350	< 0.0001	(5.2130, 5.7422)
γ_1	-0.00684	0.001451	< 0.0001	(-0.0097, -0.0040)
β	3.1456	0.5676	< 0.0001	(2.2086, 4.4802)*
σ_p	0.08085	0.1070		(0.0060, 1.0819)*
σ_w	0.09989	0.1362		(0.0069, 1.4459)*

* Indicates confidence interval based on log transformation.

ماتریس تقریبی واریانس-کوواریانس تخمین پارامتر به صورت زیر می‌باشد:

$$\hat{\Sigma} = \begin{bmatrix} 0.01821 & -0.00014 & -0.0230 & 0.001542 & -0.00396 \\ -0.00014 & 2.107E-6 & -0.00001 & -0.00001 & -3.77E-6 \\ -0.0230 & -0.00001 & 0.3222 & -0.00526 & 0.03328 \\ 0.001542 & -0.00001 & -0.00526 & 0.01146 & -0.00666 \\ -0.00396 & -3.77E-6 & 0.03328 & -0.00666 & 0.01856 \end{bmatrix}$$

جدول 3 نتایج NLMM را با دیگر روش‌ها مقایسه می‌کند. روش‌های تجزیه و تحلیل سنتی مشاهدات را مستقل فرض می‌کنند و روش‌های تجزیه و تحلیل سنتی با بلاک، اثرات ثابت بلاک را در نظر می‌گیرد. روش دومرحله‌ای، پارامترها را در دو مرحله تخمین می‌زند (β در مرحله اول تخمین زده می‌شود و سایر پارامترها در مرحله دوم تخمین زده می‌شوند).

Parameter	Traditional analysis		Traditional analysis with blocks		Two-stage analysis		NLMM analysis	
	Estimate	SE	Estimate	SE	Estimate	SE	Estimate	SE
γ_0	5.4981	0.1164	5.6644	0.1355	5.3999	0.1399	5.4776	0.1350
γ_1	-0.0066	0.0014	-0.0071	0.0012	-0.0069	0.0017	-0.0068	0.0015
β	2.8616	0.4095	3.2148	0.4756	4.0254	0.6293	3.1456	0.5676
σ_p	—	—	—	—	0.1042	0.1439	0.0809	0.1070
σ_w	—	—	—	—	0.2265	0.0717	0.0999	0.1362

جدول 3 نشان می‌دهد درحالی‌که متدهای مختلف، تخمین‌های متفاوتی برای β ایجاد می‌کند، اما تخمین‌های یکسانی برای Y_0 و Y_1 را نتیجه می‌دهند، و نکته‌ی بعدی این است که این روش‌های تجزیه و تحلیل تخمین‌های σ_p و σ_w را تولید نمی‌کنند.

هم‌چنین مهندس فرآیند علاقه‌مند است بداند که چه زمانی 10 درصد اجناس اول شکست می‌خورند. جدول 4 تخمین‌ها و فواصل اطمینان 95٪ برای دهمین صدک را نشان می‌دهد.

TABLE 4. Estimates and Confidence Intervals for $t_{0.10}$

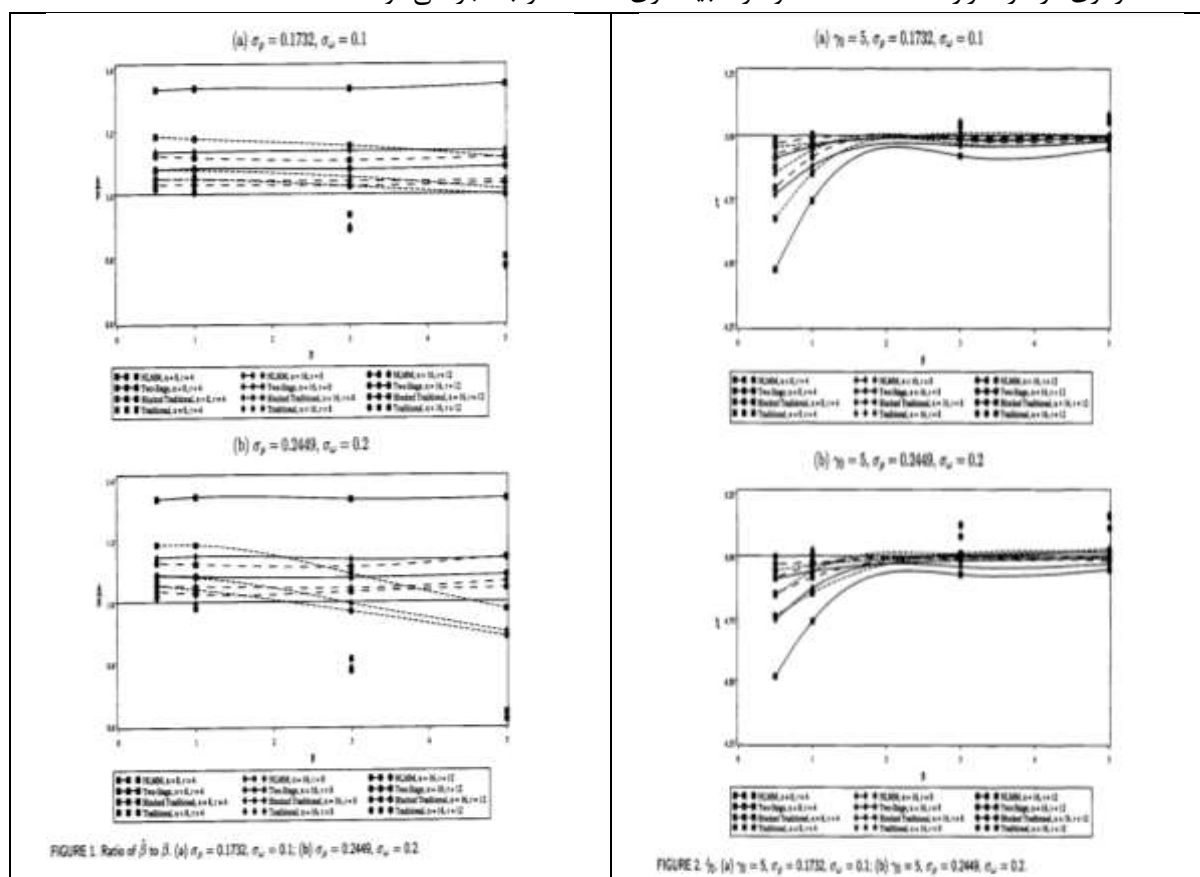
Method			Temperature (°F)		
			15	70	125
Traditional analysis		Estimate 95% CI	100.7730 (78.2717, 129.7430)	70.1489 (56.8582, 86.5462)	48.8312 (37.5408, 63.5170)
Traditional analysis with blocks	Block 1	Estimate	92.4307	62.6269	42.4331
		95% CI	(70.2533, 121.6092)	(49.1402, 79.8150)	(32.1805, 55.9522)
	Block 2	Estimate	105.2253	71.2959	48.3069
		95% CI	(81.4162, 135.9971)	(56.3568, 90.1950)	(36.4770, 63.9733)
	Block 3	Estimate	128.7998	87.2689	59.1294
		95% CI	(96.9428, 171.1256)	(68.7971, 110.7004)	(45.6865, 76.5278)
Two-stage analysis		Estimate 95% CI	114.09511 —	77.95693 —	53.26506 —
NLMM analysis		Estimate 95% CI	105.5859 (79.7714, 139.7540)	72.4613 (57.4333, 91.4215)	49.7286 (37.5836, 65.7982)

تجزیه و تحلیل سنتی همراه بلاک از اثرات ثابت بلاک استفاده می‌کند بنابراین فواصل اطمینان برای هر بلاک جداگانه محاسبه می‌شود. اگرچه مهندس فرآیند علاقه‌مند است تا عمر باتری را نه تنها برای یک بلاک جداگانه، بلکه برای همه بلاک‌ها تخمین بزند. بنابراین، فواصل اطمینان برای یک بلاک ممکن است مناسب نباشد. اگرچه برای تخمین t_p ممکن است از روش دومرحله‌ای استفاده شود، اما با این روش فواصل اطمینان به راحتی در دسترس نیستند. همچنین نکته‌ی قابل تأمل این است که تجزیه و تحلیل NLMM نسبت به روش‌های سنتی فواصل اطمینان با طول بیشتری را تولید می‌کند، این موضوع نشان می‌دهد که مدل‌سازی واحدهای آزمایش در روش تجزیه و تحلیل سنتی نادرست است.

8. مطالعه شبیه‌سازی

در این بخش سه روش ارائه شده (تحلیل NLMM، تحلیل دو مرحله‌ای و تحلیل‌های سنتی که خود در دو نوع طرح تصادفی کامل و طرح دارای بلاک می‌باشد)، با یکدیگر مقایسه می‌شوند. تولیدکنندگان تمایل به تعیین میزان تاثیر دو شرایط عملیاتی متفاوت را بر روی طول عمر قلم کالا دارند. متغیر X معرف شرایط عملیاتی می‌باشد (در دو سطح مثبت و منفی یک). اقلام در بلاک‌های مختلف تولید می‌شوند و در این آزمایش 4 بلاک موجود می‌باشد. تولیدکنندگان از یک طرح بلاک کامل تصادفی به‌منظور پیاده کردن دو نوع آزمایش استفاده می‌کنند.

فرضیات شبیه‌سازی: سه ترکیب زیر مورد آزمایش قرار می‌گیرند: $n=16, r=12$ و $n=16, r=8$ و $n=8, r=4$. به‌علاوه، انحراف معیار بلاک و اتاق بر اساس مثال باتری یکی از دو حالت زیر را اتخاذ خواهند کرد: $\sigma_p = 0.1732$ یا $\sigma_p = 0.2449$ و $\sigma_w = 0.2$. پارامتر γ_0 مقدار ثابت 5 را اتخاذ می‌کند. درحالی‌که، γ_1 توسط قدرت اسمی آزمون تعیین می‌شود. 5 نقطه مرکزی در هر تکرار لحاظ شده است و هر شبیه‌سازی 1000 مرتبه اجرا می‌شود.

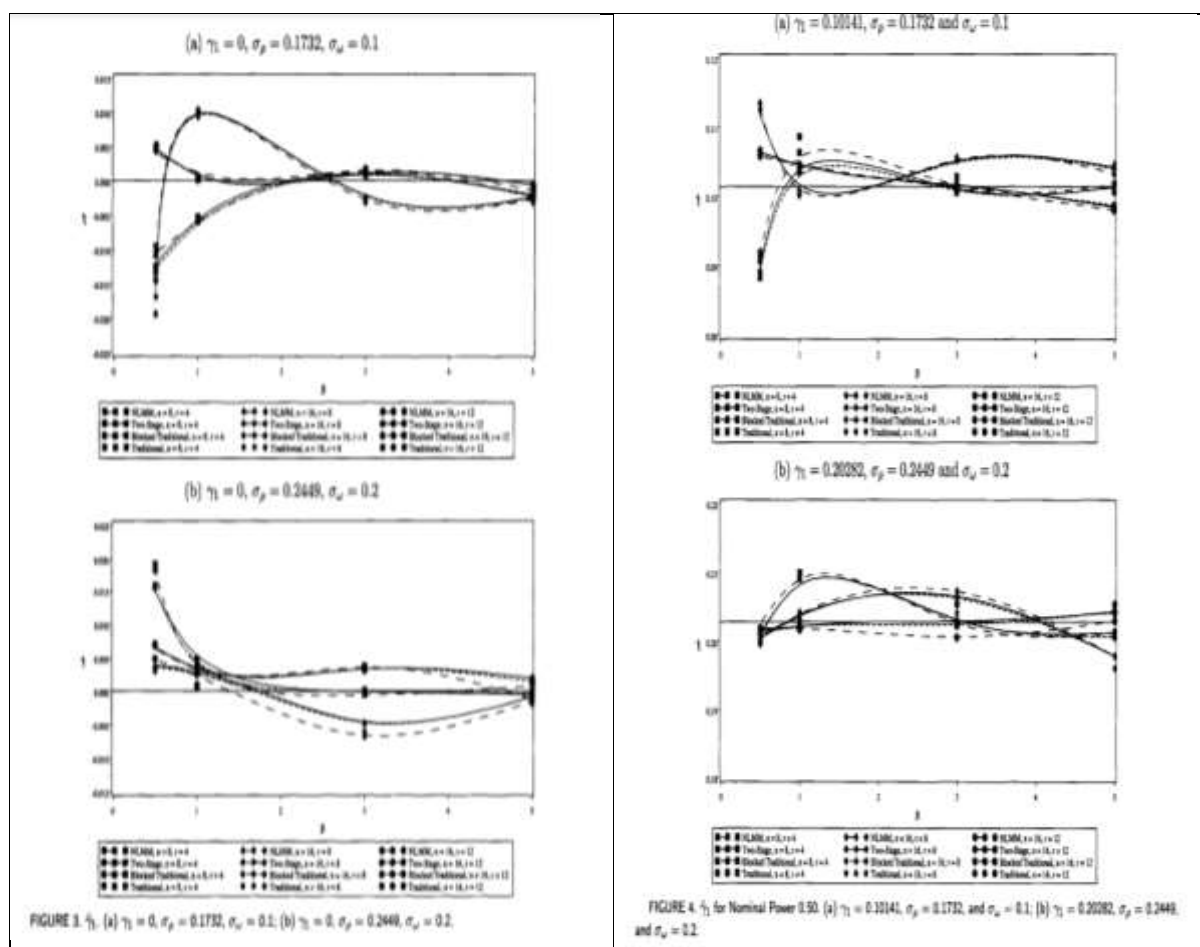


در شکل شماره یک، نرخ β برای مدل‌های مختلف مقایسه شده است. روش NLMM دارای کم‌ترین انحراف در تخمین β در میان تمام روش‌ها و شرایط آزمایشی گوناگون می‌باشد. از طرفی هرچه تعداد شکست‌ها افزایش یابد این روش بهتر عمل می‌کند.

در روش سنتی، میزان انحراف به مقدار پارامتر β وابسته است و هرچه این مقدار افزایش یابد، عملکرد مدل کاهش خواهد یافت. همچنین اگر σ_w افزایش یابد عملکرد این روش به کل منحل می‌شود. روش سنتی با بلاک، انحراف کمتری به نسبت حالت بدون بلاک دارد.

در روش دو مرحله‌ای، هرچه مقدار اندازه نمونه افزایش یابد میزان انحراف کاهش می‌یابد. در این حالت میزان انحراف ارتباطی با مقدار پارامتر β ندارد، بنابراین ممکن است بتوان مقدار بهینه انحراف را کشف نمود.

از آنجایی که γ_0 کلیدی‌ترین پارامتر μ می‌باشد، انحراف در برآورد آن منجر به انحراف در برآورد μ و هر پارامتر وابسته‌ای که ممکن است حائز اهمیت نیز باشد، می‌شود. در شکل دو، تخمین $\gamma_0 = 5$ آورده شده است. روش $NLMM$ به ازای تمام شرایط آزمایش دارای کمترین انحراف در تخمین γ_0 می‌باشد. روش سنتی با بلاک نیز از انحراف کمی برخوردار است اما نه به خوبی روش $NLMM$. روش دو مرحله‌ای به ازای β کمتر مساوی یک، بسیار ضعیف می‌باشد. اما به ازای سایر مقادیر β عملکردی به خوبی روش $NLMM$ دارد. همچنین تمام روش‌ها به جز روش سنتی عملکرد مشابهی در تخمین دو پارامتر σ_p و σ_w دارند. در حالی که روش سنتی دارای بالاترین میزان انحراف می‌باشد. همچنین در تمام روش‌ها هرچه تعداد نقص افزایش یابد، تخمین بهتری صورت می‌گیرد.

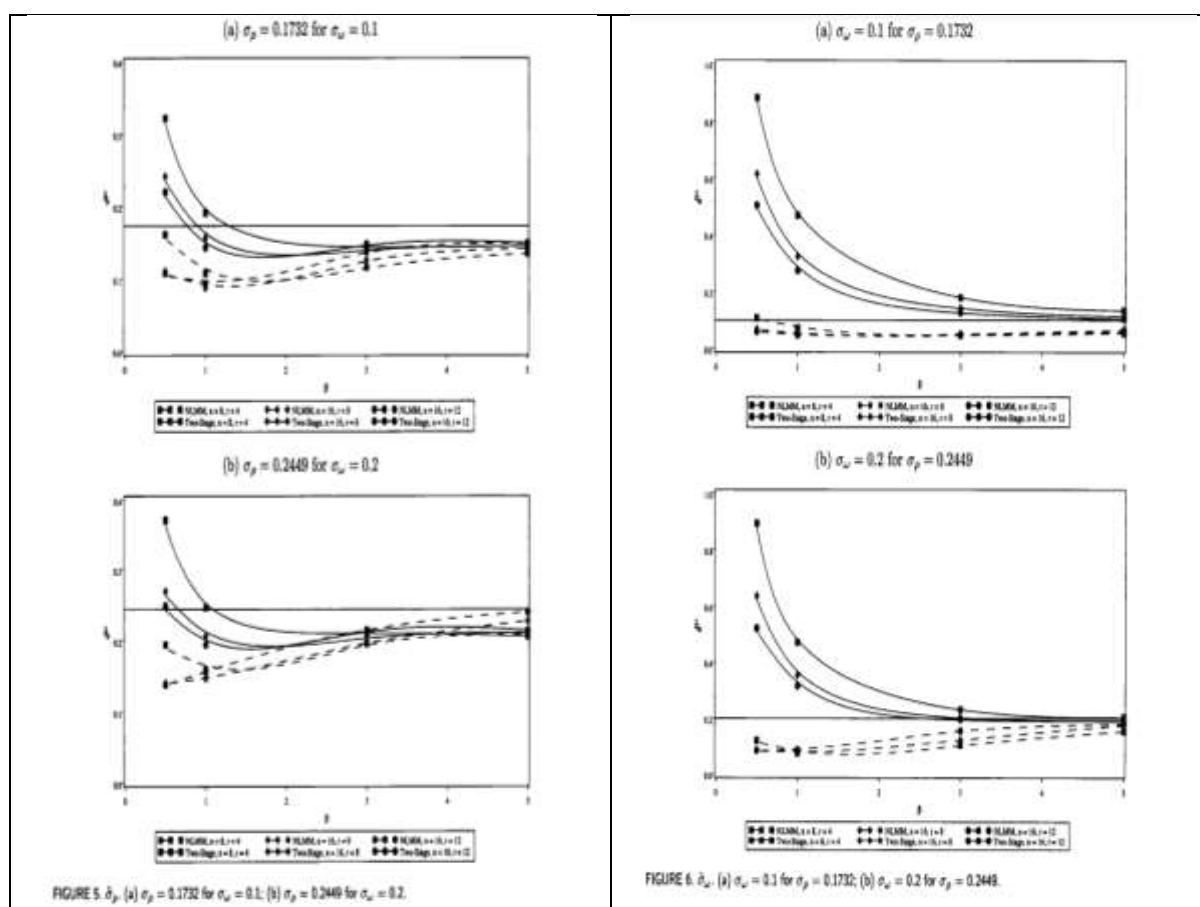


در شکل 3 تخمینی برای $\gamma_1 = 0$ (یعنی تخمین γ_1 هنگامی که شرایط عملیات روی عمر محصول بی تأثیر می‌باشد) بررسی می‌شود. هر سه روش تخمین پارامتر را در محدوده خطای یک‌دیگر انجام می‌دهند. همچنین هرچه مقدار β افزایش می‌یابد، تخمین دقیق‌تر خواهد بود.

در شکل شماره 4 محاسبه γ_1 در از قدرت اسمی 0.5 در گام دوم روش دو مرحله‌ای نمایش داده شده است. با توجه به این شکل مشخص است که تمام روش‌ها تخمین مشابهی در محدوده خطای یک‌دیگر ارائه می‌دهند و این موضوع حاکی از آن است که تخمین γ_1 نسبت به نوع روش، β ، γ_0 و σ_w مقاوم می‌باشد.

در شکل شماره 5 عملکرد مدل‌ها در برآورد σ_p مقایسه شده است. به طور کلی روش‌های سنتی انحراف معیار را برآورد نمی‌کند. روش NLMM بدون هیچ پیش فرضی σ_p را تخمین می‌زند. اما روش دو مرحله‌ای به ازای مقدار 0.5 برای β ، σ_p را با دقت بالایی تخمین می‌زند (هرچند به ازای مقادیر 3 و 5 برای β نیز تخمین می‌زند).

در شکل شماره 6 عملکرد مدل‌ها در برآورد σ_w مقایسه شده است. از این نمودارها مشخص می‌شود که روش NLMM به ازای مقادیر β کمتر، تخمین بهتری برای σ_w ارائه می‌دهد. در کل روش پیشنهادی NLMM انحراف معیارها را بهتر برآورد می‌کند.

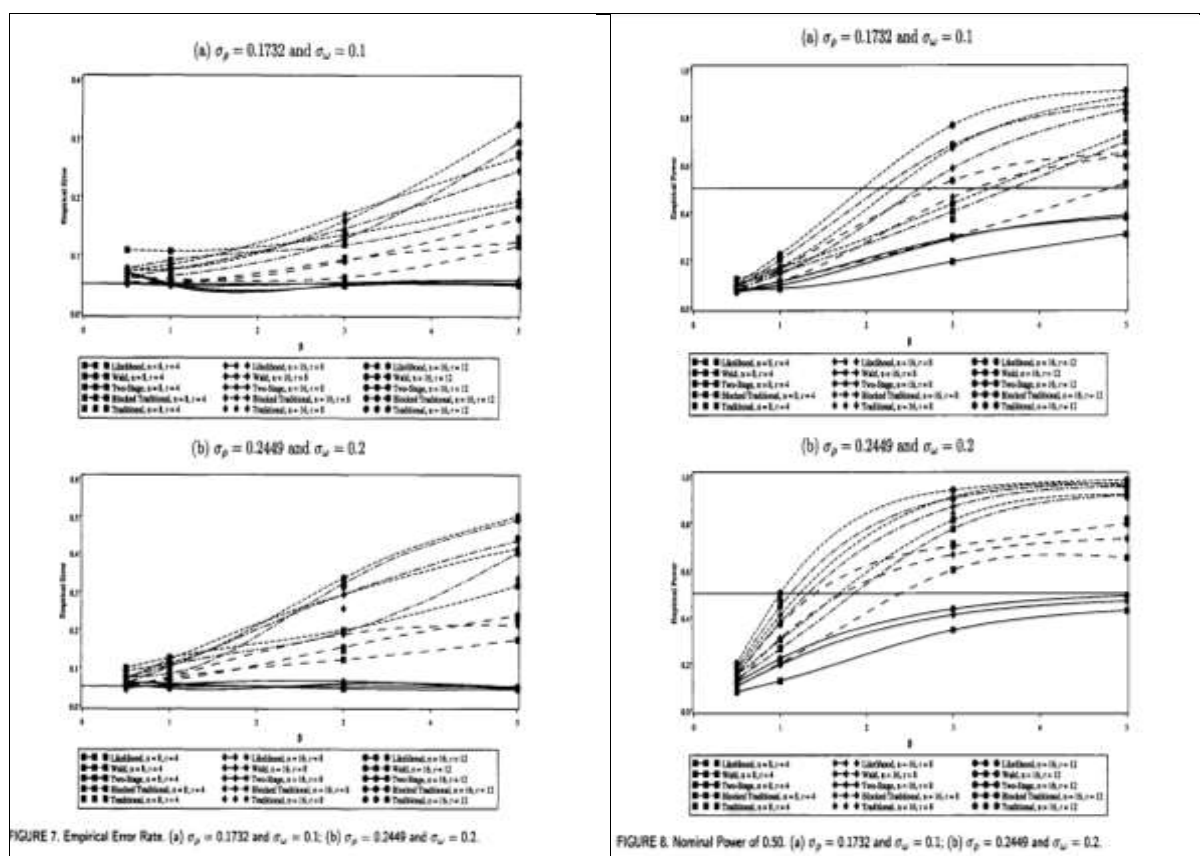


شکل شماره 7 میزان خطای تجربی آزمون فرض $H_0: \gamma_1 = 0$ و $H_1: \gamma_1 \neq 0$ با نرخ خطای نوع اول 0.05 را بین انواع روش‌ها مقایسه کرده است. در روش NLMM خطا با هر دو روش آزمون Wald و روش احتمالی برآورد می‌شود. در روش دو مرحله‌ای، نرخ خطای نوع اول ثابت نگه داشته می‌شود و به همین خاطر بهترین روش می‌باشد. پس از آن روش NLMM با نتیجه‌گیری احتمالی بهترین روش می‌باشد. اما نرخ خطای آن بسته به مقادیر بالای β ممکن است تا 0.2 افزایش یابد. سایر روش‌ها نرخ خطای بسیار بالایی دارند، به خصوص در از مقادیر 3 و 5 برای پارامتر β .

در شکل شماره 8 قدرت تجربی آزمون γ_1 به ازای خطای نوع اول 0.05 و قدرت اسمی 0.5 بررسی شده است. قدرت تجربی بر اساس مرحله دوم روش دو مرحله‌ای به دست می‌آید. مقدار β در گام نخست تخمین زده شده است. هرچند مقدار β روی

واریانس توزیع وایبول و مقدار σ_p تاثیر دارد. این پارامترها هم‌چنین روی تغییر پذیری زمان خرابی نیز تاثیر دارد پس قطعاً بر روی قدرت آزمون نیز تاثیر دارد.

نکته: به دلیل این‌که به ازای قدرت اسمی 0.8 و 0.9 نتایج یکسان بوده است تنها یک مورد آورده شده است. به‌طور کل شکل 7 و 8 نشان می‌دهد که روش‌ها با بالاترین قدرت اسمی عموماً دارای بالاترین نرخ خطای نوع اول نیز می‌باشند. بنابراین، انجام آزمون را دچار مشکل می‌کند. از طرفی، در حالی‌که روش دو مرحله‌ای قدرت کمتری دارد اما مقدار خطای نوع اول را ثابت نگه می‌دارد.



9. خلاصه‌ای از نتایج شبیه‌سازی:

مطالعه شبیه‌سازی تضاد بین روش‌ها را در موارد مختلف آشکار کرد. به‌علاوه، روش‌های کمتر مقاوم را مشخص می‌کند. روش دو مرحله‌ای و روش سنتی با بلاک دارای کم‌ترین قدرت می‌باشد در حالی‌که از نظر اجرا آسان‌تر هستند. در حقیقت بهترین روش بسته به هدف آزمون دارد. در زیر بهترین روش برای شرایط متفاوت آورده شده است:

- روش NLMM کمترین انحراف را در برآورد بیشتر پارامترهای مدل دارد. $(\sigma_w, \sigma_p, \gamma_0, \beta)$
- روش سنتی با بلاک دومین روش با کمترین میزان انحراف در تخمین پارامترهای γ_0 و β می‌باشد. اما، این روش قادر به برآورد انحراف معیار نمی‌باشد. (لازم به ذکر است که میزان انحراف در تخمین پارامتر β در این روش به میزان کمی وابسته به مقدار پارامتر می‌باشد).
- تمام روش‌های ذکر شده تخمین مشابهی برای پارامتر γ_1 ارائه می‌دهند.
- هر دو روش NLMM و دو مرحله‌ای قادر به برآورد واریانس می‌باشند. میزان انحراف روش NLMM در مقایسه با روش دو مرحله‌ای کمتر به مقدار پارامتر β وابسته است.

- روش دومرحله‌ای تنها روشی است که میزان خطای نوع اول را ثابت نگه می‌دارد.
- روش تحلیل NLMM بهترین روش در زمانیست که تخمین دقیق پارامترها و توزیع عمر دقیق محصول مورد نیاز است. از طرفی، اگر هدف آزمایش تعیین فاکتورهای معنادار باشد روش دو مرحله‌ای مناسب‌تر می‌باشد.
- روش سنتی بدون بلاک هرگز مناسب آزمایشات دارای بلاک و زیر نمونه نمی‌باشد.

10. جمع‌بندی:

در هر طرح آزمایش در نظر گرفتن دستورالعمل و چارچوب آزمایش از اهمیت بالایی برخوردار است، در غیر این صورت منجر به نتایج اشتباه خواهد شد. در این مقاله، مدل NLMM به منظور تحلیل قابلیت اطمینان داده‌ها با بلاک تصادفی و زیر نمونه ارائه شد. با توجه به نتایج شبیه‌سازی مشخص شد که این مدل دارای کم‌ترین میزان انحراف می‌باشد. به علاوه، میزان انحراف عموماً در این روش مستقل از مقدار پارامتر β می‌باشد. روش سنتی با بلاک‌بندی روشی ساده برای محاسبه بلاک ارائه می‌دهد اما در تعیین زیر نمونه‌ها ضعف دارد. اگر هدف بررسی تاثیر فاکتورها باشد، روش دومرحله‌ای مناسب می‌باشد، زیرا مقدار خطای نوع اول را بر روی 0.05 ثابت نگه می‌دارد.

مزیت اصلی روش NLMM بر روش دو مرحله‌ای توانایی دستیابی به نتایج دقیق‌تر می‌باشد. به طور کلی، اعمال کردن پروتکل آزمایش منجر به نتایج بسیار قابل اطمینان‌تر خواهد شد.