

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP P-GIÁ TRỊ CHO BÀI TOÁN KIỂM ĐỊNH SỰ PHÙ HỢP CỦA MÔ HÌNH HỒI QUY THÔNG QUA HỆ SỐ XÁC ĐỊNH HIỆU CHỈNH R^2_a TRONG XỬ LÝ SỐ LIỆU THỰC NGHIỆM

STUDY APPLICATION THE P-VALUE APPROACH FOR HYPOTHESIS TESTS ABOUT REGRESSION MODEL BY THE ADJUSTED MULTIPLE COEFFICIENT OF DETERMINATION IN THE PROCESSING OF EMPIRICAL DATA

Trần Chí Lê

Khoa Khoa học Cơ bản, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật công nghiệp

Đến Tòa soạn ngày 04/02/2020, chấp nhận đăng ngày 24/02/2020

Tóm tắt: Bài toán kiểm định sự phù hợp của mô hình hồi quy trong xử lý số liệu thực nghiệm, thường sử dụng phương pháp giá trị tới hạn để so sánh phương sai. Bài báo này giới thiệu một phương pháp khác, là phương pháp kiểm định P-giá trị thông qua hệ số xác định hiệu chỉnh, phương pháp này cho kết quả tương đương, ngoài ra thông qua hệ số xác định hiệu chỉnh sẽ khai thác được nhiều ý nghĩa hơn so với phương pháp so sánh phương sai.

Từ khóa: P-giá trị, hệ số xác định.

Abstract: Hypothesis tests about regression model in the processing of empirical data, often using the critical value approach to compare variance. In the paper, we introduce a different approach is the P-value approach by the adjusted multiple coefficient of determination, this method produces equivalent results, in addition, the adjusted multiple coefficient of determination will exploit more meaning than comparing variance.

Keywords: P-value, coefficient of determination.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Giả sử cần nghiên cứu một đại lượng y trong một hệ thống nào đó. Trong hệ thống ấy, y phụ thuộc vào hai nhóm yếu tố: nhóm yếu tố thứ nhất là các yếu tố độc lập x_1, x_2, \dots, x_k có thể điều khiển được; nhóm yếu tố thứ hai là nhóm yếu tố ngẫu nhiên không điều khiển được, đại diện bởi biến ngẫu nhiên ξ . Các biến x_1, x_2, \dots, x_k gọi là các biến vào hay các nhân tố; biến ngẫu nhiên ξ gọi là nhiễu; y gọi là biến ra. Vấn đề là phải tìm ra quan hệ giữa y và (x_1, x_2, \dots, x_k) . Thông thường chúng ta đã có một số thông tin tiên nghiệm về hệ thống đang xét, vì thế ta thường giả thuyết mối quan hệ giữa y và (x_1, x_2, \dots, x_k) có dạng:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m) + \xi, \quad (1)$$

trong đó dạng hàm f đã biết, nhưng m tham số θ_i chưa biết. Nếu giả thiết thêm rằng $\xi \in N(0; \sigma^2)$ khi đó kì vọng $E(y) = f(x_1, x_2, \dots, x_k; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$ và phương sai $D(y) = \sigma^2$. Để xác định các tham số chưa biết $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m$, ta tiến hành N thí nghiệm với kết quả cho như bảng sau:

Bảng 1. Bảng lấy mẫu số liệu

Ni	x1	x2	...	xk	y
1	X11	X12	...	X1k	y1
2	X21	X22	...	X2k	y2
...
N	xN1	xN2	...	xNk	yN

Bằng phương pháp bình phương cực tiểu, ta sẽ tìm được hàm số:

$$\hat{y} = \hat{f}(x_1, x_2, \dots, x_k, b_1, b_2, \dots, b_m) \quad (2)$$

biểu diễn gần đúng tốt nhất cho kỳ vọng $E(y)$ và tìm được một ước lượng tốt nhất cho σ^2 . Phương trình (2) được gọi là phương trình hồi quy thực nghiệm (xem trong [2]).

Sau khi tìm được phương trình (2) thì một vấn đề đặt ra là: mô hình (2) thu được có phù hợp để mô tả đối tượng ta đang nghiên cứu hay không, và nếu phù hợp thì nó có thể giải thích được bao nhiêu % cho đối tượng đang nghiên cứu. Về vấn đề có phù hợp hay không, thì trong lý thuyết xử lý số liệu thực nghiệm thường sử dụng phương pháp kiểm định so sánh phương sai (phần dư) thông qua giá trị tới hạn α , cụ thể sử dụng tiêu chuẩn Fisher dạng:

$$F = \frac{s_{du}^2}{s_y^2}, \text{ hoặc } \left(F = \frac{s_{du}^2}{s_o^2} \right) \quad (3)$$

$$\text{trong đó } s_y^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{N-1}; \quad s_{du}^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{N-k-1}$$

và

$$s_o^2 = \frac{\sum (y_i^o - \bar{y}_i^o)^2}{n_o - 1} \quad (s_o^2 \text{ được sử dụng đối với}$$

thí nghiệm trực giao tính tại tâm n_o). Sau đó so sánh F với $F_{\alpha}(N-k-1; N-1)$ hoặc so sánh F với $F_{\alpha}(N-k-1; n_o-1)$, để đưa ra kết luận về tính phù hợp của mô hình (xem trong [2]).

Trong trường hợp có nhiều mô hình phù hợp thì nên chọn mô hình nào, vẫn là câu hỏi chưa được đề cập. Do đó, bài báo này giới thiệu đến một phương pháp kiểm định khác, đó là kiểm định P-giá trị, phương pháp này cho kết quả kiểm định tương đương với phương pháp so sánh phương sai, ngoài ra thông qua hệ số xác định hiệu chỉnh, sẽ đưa ra một sự so sánh để có lựa chọn tốt hơn trong các mô hình phù hợp.

Cấu trúc bài báo được trình bày ở các phần tiếp theo như sau: Phần 2 giới thiệu về phương pháp P-giá trị; hệ số xác định hiệu chỉnh. Phần 3 xây dựng sơ đồ kiểm định của phương pháp

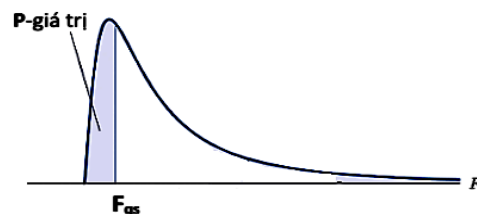
P-giá trị qua hệ số xác định hiệu chỉnh và lấy ví dụ minh họa cũng như so sánh kết quả với phương pháp kiểm định phương sai. Kết luận và các vấn đề ứng dụng sẽ được đưa ra trong Phần 4.

2. PHƯƠNG PHÁP P-GIÁ TRỊ VÀ HỆ SỐ XÁC ĐỊNH HIỆU CHỈNH TRONG MÔ HÌNH HỒI QUY

2.1. Phương pháp P-giá trị

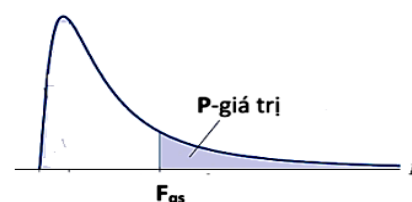
Trong bài toán kiểm định, thay vì kiểm định giả thiết với một mức ý nghĩa định trước, thì người ta cho rằng: sau khi định rõ các giả thiết kiểm định H_0 và đối thiết H_1 , sẽ tiến hành lấy mẫu và xác định mức độ khẳng định việc bác bỏ giả thiết H_0 . Mức độ khẳng định định này được gọi là P-giá trị. Nói cách khác, P-giá trị là giá trị xác suất dùng làm thước đo cho bằng chứng thu được từ mẫu chống lại giả thuyết H_0 . Giá trị P càng nhỏ càng cung cấp bằng chứng chống lại H_0 .

Cụ thể, xét bài toán kiểm định giả thuyết (trái) $H_0: \theta = \theta_0 / H_1: \theta < \theta_0$, khi đó P-giá trị bằng xác suất $P(F < F_{qs})$ trên điều kiện H_0 đúng, trong đó F là biến ngẫu nhiên tuân theo luật phân phối Fisher và F_{qs} được xây dựng dựa vào số liệu mẫu. Xem minh họa hình 1.



Hình 1. Miền P-giá trị với kiểm định trái

Với bài toán kiểm định (phải): $H_0: \theta = \theta_0 / H_1: \theta > \theta_0$, khi đó P-giá trị bằng xác suất $P(F > F_{qs})$ trên điều kiện H_0 đúng. Xem minh họa hình 2.

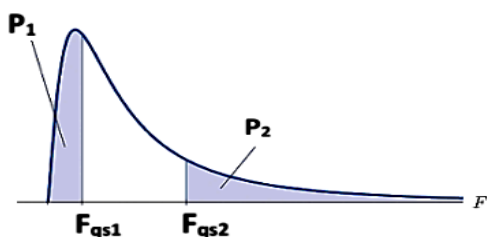


Hình 2. Miền P-giá trị với kiểm định phải

Và đối với bài toán kiểm định giả thiết (hai phía): $H_0: \theta = \theta_0 / H_1: \theta \neq \theta_0$, bằng cách đặt:

$$\begin{cases} F_{qs1} = \frac{1}{F_{qs}}; F_{qs2} = F_{qs}, & \text{ khi } F_{qs} > 1 \\ F_{qs1} = F_{qs}; F_{qs2} = \frac{1}{F_{qs}}, & \text{ khi } F_{qs} < 1 \end{cases} \quad (4)$$

khi đó P-giá trị bằng tổng $P_1 + P_2$ trên điều kiện H_0 đúng, với $P_1 = P(F < F_{qs1})$; $P_2 = P(F > F_{qs2})$. Xem minh họa hình 3.



Hình 3. Miền P-giá trị với kiểm định hai phía

Việc tính các xác suất P hoặc P_1 và P_2 để xác định P-giá trị được thực hiện trên các phần mềm tính toán thống kê. Còn việc bác bỏ H_0 , sẽ được đưa ra khi P-giá trị nhỏ, vấn đề bao nhiêu là nhỏ thì dựa vào kinh nghiệm và đặc thù đối tượng mà ta đang nghiên cứu để có kết luận chặt chẽ. Nhưng nhìn chung, các nhà thống kê thường đưa ra khuyến nghị như sau (xem [1]):

- Nếu $P > 0,05$ ta không có đủ cơ sở để bác bỏ H_0 .
- Nếu $0,01 < P < 0,05$ ta có đủ cơ sở để bác bỏ H_0 .
- Nếu $P < 0,01$ ta có một cơ sở rất mạnh để bác bỏ H_0 .

2.2. Hệ số xác định hiệu chỉnh

Để xây dựng hệ số xác định hiệu chỉnh trong mô hình hồi quy, chúng ta đưa ra một số công thức sai số như sau:

Từ bảng 1 và phương trình (2) ta đặt:

$$SSE = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2$$

giá trị SSE còn được gọi là tổng bình phương do sai số, nó là một thước đo sai số trong việc

sử dụng phương trình hồi quy để ước lượng giá trị của biến phụ thuộc theo mẫu thí nghiệm.

Tiếp theo chúng ta đề cập đến sai số giữa y_i và trung bình mẫu của chúng $\bar{y} = \frac{\sum y_i}{N}$, ta đặt:

$$SST = \sum (y_i - \bar{y})^2.$$

Để đo lường các giá trị \hat{y} trên hàm hồi quy khác biệt giá trị \bar{y} như thế nào, một tổng bình phương khác được đề cập, tổng bình phương này được gọi là tổng bình phương do hồi quy, ký hiệu là SSR :

$$SSR = \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2,$$

người ta đã chứng minh được rằng giữa SST , SSR , và SSE có mối liên hệ với nhau, và kết quả quan trọng nhất là (xem trong [3]):

$$SST = SSR + SSE \quad (5)$$

Phương trình (5) cho thấy tổng bình phương toàn bộ có thể được phân chia thành hai thành phần, tổng bình phương do hồi quy và tổng bình phương do sai số.

Tiếp theo, chúng ta sẽ phân tích mối liên hệ từ ba tổng bình phương: SST ; SSR và SSE để đưa ra một thước đo về sự phù hợp của mô hình hồi quy. Thật vậy, mô hình hồi quy sẽ hoàn toàn phù hợp nếu tất cả các giá trị của biến phụ thuộc đều nằm trên đường hồi quy, trong trường hợp này $y_i - \hat{y}_i$ sẽ bằng không trên mỗi thí nghiệm quan sát, dẫn đến $SSE = 0$. Bởi vì $SST = SSE + SSR$, chúng ta thấy rằng để có sự phù hợp hoàn hảo thì SSR phải bằng SST , dẫn tới tỷ lệ (SSR/SST) phải bằng 1. Sự phù hợp sẽ giảm đi nếu như $SSE > 0$. Từ phương trình (5) chúng ta rút ra được $SSE = SST - SSR$, suy ra giá trị lớn nhất của SSE (tương ứng với mô hình không phù hợp) xảy ra khi $SSR = 0$ và $SSE = SST$.

Tỷ lệ SSR/SST , có giá trị giữa 0 và 1, được sử dụng để đánh giá sự phù hợp của mô hình hồi quy, và tỷ lệ này gọi là hệ số xác định bội ký hiệu là R^2 :

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (6)$$

R^2 có thể hiểu là tỷ lệ phần trăm trong tổng bình phương toàn bộ có thể được giải thích bằng cách sử dụng mô hình hồi quy thông qua số liệu mẫu.

Nhận xét: Trong trường hợp tổng quát, xét mô hình hồi quy thực nghiệm ở (2), ta có R^2 luôn tăng khi có thêm biến độc lập được đưa vào mô hình. Thực vậy, việc tăng thêm biến độc lập làm cho sai số của việc dự báo trở lên giảm đi, suy ra SSE giảm. Vì thế $SSR = SST - SSE$ sẽ tăng lên, dẫn tới R^2 tăng theo trong mô hình hồi quy. Để khắc phục nhược điểm này người ta đưa ra một khái niệm mới hệ số xác định hiệu chỉnh, kí hiệu là R_a^2 :

$$R_a^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{N-1}{N-k-1} \quad (7)$$

với N là số thí nghiệm, và k là số biến độc lập có trong mô hình, tương ứng như trong bảng 1. Hệ số xác định hiệu chỉnh này giúp bù lại cho việc tăng số biến độc lập trong mô hình, ảnh hưởng đến việc tăng giá trị R^2 ngay cả khi biến đưa vào không có ý nghĩa thống kê (xem [3]).

3. KIỂM ĐỊNH SỰ PHÙ HỢP CỦA MÔ HÌNH HỒI QUY

3.1. Xây dựng sơ đồ kiểm định

Giả thuyết kiểm định:

Ta xét lại mô hình hồi quy dạng (1): $y = f(x_1, x_2, \dots, x_k; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m) + \xi$, mỗi quan hệ giữa biến phụ thuộc y và các biến độc lập x_1, x_2, \dots, x_k sẽ không có ý nghĩa thống kê nếu như các tham số $\theta_1 = \theta_2 = \dots = \theta_m = 0$, và sẽ là có ý nghĩa nếu tồn tại ít nhất một hệ số $\theta_i \neq 0$. Vì thế giả thuyết và đối thuyết của bài toán kiểm định sự phù hợp của mô hình được phát biểu như sau:

$$\begin{aligned} H_0: \theta_1 = \theta_2 = \dots = \theta_m = 0; \\ H_1: \exists \theta_i \neq 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Nếu H_0 bị bác bỏ, kiểm định sẽ cho chúng ta bằng chứng thống kê để kết luận rằng một hoặc nhiều tham số là khác 0 và mỗi liên hệ chung giữa y và tập biến độc x_1, x_2, \dots, x_k là có ý nghĩa. Nói cách khác, mô hình hồi quy là có ý nghĩa và có thể giải thích được cho y , điều này tương đương với hệ số xác định bội R^2 nhận giá trị khác 0. Vì thế, chúng ta đưa ra một cặp giả thuyết khác tương đương với (8) như sau (xem [4]):

$$\begin{aligned} H_0: R^2 = 0; \\ H_1: R^2 \neq 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Giá trị quan sát (F_{qs}): Tiếp theo, chúng ta sẽ xây dựng một công thức tính giá trị quan sát dựa trên hệ số xác định hiệu chỉnh R_a^2 , sau đó sẽ chứng minh giá trị quan sát này có quy luật phân phối Fisher. Cụ thể, xét giá trị quan sát như sau:

$$F_{qs} = \frac{(N-k-1)R_a^2 + k}{(1-R_a^2)k} \quad (10)$$

Định lý: Nếu nhiều ξ trong mô hình (1) có phân bố chuẩn $\xi \in N(0; \sigma^2)$, và nếu giả thuyết H_0 là đúng thì F_{qs} cho bởi (10) sẽ có phân bố Fisher với k và $N-k-1$ bậc tự do.

Chứng minh:

Từ (7) với $R_a^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{N-1}{N-k-1}$, thay vào (10) suy ra

$$\begin{aligned} F_{qs} &= \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{N-k-1}{k} = \frac{\frac{SSR}{SST}}{1 - \frac{SSR}{SST}} \cdot \frac{N-k-1}{k} \\ &= \frac{SSR}{SST - SSR} \cdot \frac{N-k-1}{k} = \frac{SSR}{SSE} \cdot \frac{N-k-1}{k} \\ &= \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2} \cdot \frac{N-k-1}{k} \end{aligned}$$

Ta thấy biểu thức cuối cùng có dạng thương của 2 tổng bình 1 kết quả θ_2 không có ý

nghĩa thống kê, dẫn tới mô hình hồi quy cuối cùng có dạng:

$$\hat{y} = 12,375 + 2,375x_1 + 4,625x_3.$$

Sử dụng kết quả thí nghiệm tại tâm và tính toán theo công thức (3), ta được $F=16,58$. Với mức ý nghĩa 0,05 tra bảng phân phối Fisher suy ra $F_{\alpha}=19,3$; khi đó $F_{qs} < F_{\alpha}=19,3$. Vậy mô hình thực nghiệm là phù hợp để giải thích mối liên hệ của y với các nhân tố.

Phương pháp kiểm định P-giá trị: Cũng bằng cách đổi sang các biến trực giao như (11), ta xét 2 mô hình cho bài toán này, một là mô hình tuyến tính, hai là mô hình trực giao cấp 2 dạng không đầy đủ. Ngoài ra, việc tính toán xác suất P-giá trị và hệ số xác định hiệu chỉnh được tác giả thực hiện trên phần mềm STATGRAPHICS:

- Mô hình tuyến tính: xét mô hình quy hoạch thực nghiệm $\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3$, qua phần mềm tính toán chúng ta thu được:

Bảng 3. Ước lượng các hệ số hồi quy c1

Tham số	Ước lượng b_j	P-giá trị
Hằng số	12,375	0,0010
x_1	2,375	0,1748
x_2	0,625	0,6870
x_3	4,625	0,0326

(Nguồn: kết quả xử lý bằng STATGRAPHICS)

Từ bảng 3, ta có P-giá trị = 0,6870 > 0,05 ứng với biến x_2 , suy ra θ_2 không có ý nghĩa thống kê, rút gọn lại mô hình hồi quy ta được kết quả:

$$\hat{y} = 12,375 + 2,375x_1 + 4,625x_3$$

Tiếp theo, ta dùng phương pháp P-giá trị để kiểm tra sự phù hợp của mô hình vừa thu được:

Bảng 4. Ước lượng P-giá trị và hệ số xác định

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square
Model	216,25	2	108,125
Residual	69,625	5	13,925
Total (Corr.)	285,875	7	
P-Giá trị	0,0293		
R^2	75,6449(%)		
R_a^2 (hệ số hiệu chỉnh)	65,9029(%)		

(Nguồn: kết quả xử lý bằng STATGRAPHICS)

Qua bảng 4 ta có kết quả P-giá trị = 0,0293 < 0,05 suy ra mô hình phù hợp. Mặt khác, hệ số xác định bội $R^2 = 75,6449(\%)$ và hệ số xác định hiệu chỉnh $R_a^2 = 65,9029(\%)$; vậy mô hình thu được giải thích được khoảng 65,9% số liệu thực nghiệm.

- Mô hình trực giao cấp 2 (không đầy đủ): xét mô hình quy hoạch thực nghiệm có dạng: $\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3$, qua phần mềm tính toán chúng ta thu được:

Bảng 5. Ước lượng các hệ số hồi quy c2

Tham số	Ước lượng b_j	P-giá trị
Hằng số	12,375	0,0064
x_1	2,375	0,0335
$x_1 x_2$	-0,375	0,2048
$x_1 x_3$	1,125	0,0704
x_2	0,625	0,1257
$x_2 x_3$	-2,625	0,0303
x_3	4,625	0,0172

(Nguồn: kết quả xử lý bằng STATGRAPHICS)

Từ bảng 5, ta có P-giá trị > 0,05 ứng với biến x_1x_2 ; x_1x_3 và x_2 suy ra θ_j tương ứng không có ý nghĩa thống kê, rút gọn lại mô hình hồi quy ta được kết quả:

$$\hat{y} = 12,375 + 2,375x_1 + 4,625x_3 - 2,625x_2x_3$$

Tiếp theo, ta dùng phương pháp P-giá trị để

kiểm tra sự phù hợp của mô hình vừa thu được:

Bảng 6. Ước lượng P-giá trị và hệ số xác định

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square
Model	271,375	3	90,4583
Residual	14,5	4	3,625
Total (Corr.)	285,875	7	
P-Giá trị	0,0047		
R ²	94,9279(%)		
R ² _a (hệ số hiệu chỉnh)	91,1237(%)		

(Nguồn: kết quả xử lý bằng
STATGRAPHICS)

Qua bảng 6 ta có kết quả P-giá trị = 0,0047 < 0,01 ta có một cơ sở rất mạnh để kết luận mô hình phù hợp. Mặt khác, hệ số xác định bởi $R^2 = 94,9279(\%)$ và hệ số xác định hiệu chỉnh $R_a^2 = 91,1237(\%)$, vậy mô hình này giải thích được khoảng 91,1% bởi liệu thực nghiệm.

Nhận xét: Từ ví dụ trên ta thấy, khi xét mô hình tuyến tính thì phương pháp so sánh phương sai và phương pháp P-giá trị đều cho kết quả tương đương. Ngoài ra, khi xét thêm mô hình trực giao cấp 2 không đầy đủ, kết quả nhận được từ kiểm định P-giá trị vẫn là một mô hình phù hợp, nhưng thông qua hệ số xác định hiệu chỉnh ta thấy nó là mô hình tốt hơn, vì giải thích được nhiều hơn bằng số liệu thực nghiệm. Một điều đặc biệt khác là, khi kiểm

định bằng phương pháp P-giá trị chúng ta không cần thêm các thí nghiệm tại tâm, dẫn tới giảm chi phí làm thí nghiệm ở trong thực tế.

4. KẾT LUẬN

Trong bài toán kiểm định sự phù hợp của mô hình hồi quy trong xử lý số liệu thực nghiệm, bài báo đã giới thiệu đến một phương pháp kiểm định khác so với phương pháp truyền thống (phương pháp so sánh phương sai), đó là phương pháp P-giá trị thông qua hệ số xác định hiệu chỉnh. Phương pháp này cho cùng kết quả với phương pháp so sánh phương sai trong việc kết luận sự phù hợp của mô hình hồi quy, ngoài ra phương pháp P-giá trị tỏ ra ưu điểm hơn trong tình huống có nhiều mô hình cùng phù hợp, vì qua hệ số xác định ta sẽ lựa chọn mô hình có thể giải thích được nhiều hơn % bằng số liệu thực nghiệm.

Với phương pháp P-giá trị này, bài báo sẽ bổ sung thêm một phương pháp mới trong bài toán kiểm định sự phù hợp của mô hình hồi quy ở các tài liệu giảng dạy xử lý số liệu thực nghiệm, đặc biệt là tài liệu xử lý số liệu thực nghiệm ở Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp, giảng dạy cho học viên cao học ngành công nghệ thực phẩm. Qua đó, giúp học viên có thêm công cụ xử lý các tình huống gặp phải trong quá trình học tập chuyên ngành, cũng như khi làm luận văn và đề tài nghiên cứu khoa học liên quan tới tính toán số liệu thực nghiệm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Văn Hữu, Nguyễn Hữu Dur, "Phân tích thống kê và dự báo", Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội, 2003.
- [2] PGS. TS. Bùi Minh Trí, "Xác suất thống kê và quy hoạch thực nghiệm", Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2005.
- [3] David R.Anderson, Denis J.Swenney, Thomas A.Williams, Hoàng Trọng (biên dịch), "Thống kê trong kinh tế và kinh doanh", Nhà xuất bản Kinh tế TP. Hồ Chí Minh, 2019.
- [4] J. Fox, "Applied Regression Analysis and generalized linear models", 2015.

Thông tin liên hệ:

Trần Chí Lê

Điện thoại: 0912954359 - Email: tcle@uneti.edu.vn

Đơn vị công tác: Khoa Khoa học cơ bản, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp.

