

लागत प्रभावी असममित घूर्णन योग्य अभिकल्पनाओं पर एक टिप्पणी

एल्दो वर्गीस, अर्पण भौमिक, सीमा जग्गी, सिनी वर्गीस एवं विजय बिन्दल

भारतीय कृषि सांख्यिकी अनुसंधान संस्थान, लाइब्रेरी एवेन्यू, पसा, नई दिल्ली – 110012, भारत

प्राप्त : जलाई, 2016

सारांश

स्वीकृत : सितम्बर, 2016

प्रक्रिया एवं उत्पाद इष्टमीकरण अध्ययनों में सामान्यतः अनुक्रिया सतह अभिकल्पनाओं का प्रयोग किया जाता है। इन का प्रयोग ऐसी स्थितियों में किया जाता है जबकि किसी प्रक्रिया के निष्पादन मापक या गुणात्मक अभिलक्षण (characteristics) कुछ निवेश चरों (input variables) से संभवतः प्रभावित होते हैं परन्तु अधिकतर ऐसे अध्ययन सममित घूर्णन योग्य अभिकल्पनाओं पर आधारित होते हैं। असममित घूर्णन योग्य अभिकल्पनाओं का प्रयोग ऐसी स्थितियों में किया जाता है जहां घूर्णनता बनाये रखना वांछनीय होता है लेकिन सभी कारकों के लिए स्तरों की संख्या समान रखना कठिन या अव्यवहार्य होता है। रन अनुक्रम में यादृच्छिकीकरण एक ऐसी तकनीक है जो सामान्यतः अनुक्रिया सतह अभिकल्पनाओं के प्रयोक्ताओं द्वारा उनकी रुचि के प्रभावों के आकलों में होने वाली अभिनति, जो कि समय प्रवृत्ति के कारण हो सकती है, से बचने के लिए नियोजित की जाती है लेकिन यादृच्छिकीकरण, कारक स्तरों में एक बड़ी संख्या में परिवर्तन ला सकता है जो परीक्षण को महंगा एवं कठिन बना सकता है। प्रस्तुत लेख में असममित अनुक्रिया सतह अभिकल्पनाओं के लिए वांछित लक्षणों के साथ परीक्षात्मक अनक्रम प्राप्त करने के लिए एक पद्धति पर विचार-विमर्श किया गया है।

Bhartiya Krishi Anushandhan Patrika, 31(3), 230-234, 2016

A NOTE ON COST-EFFECTIVE ASYMMETRICAL ROTATABLE DESIGNS

Eldho Varghese, Arpan Bhowmik, Seema Jaggi, Cini Varghese and Vijay Bindal

ICAR-Indian Agricultural Statistics Research Institute,
Library Avenue, PUSA, New Delhi -110 012. India.

ABSTRACT

Response surface designs are very commonly used in process and product optimization studies. It is used in situations where several input variables potentially influence some performance measure or quality characteristic of a process. But majority of such studies are based on symmetric rotatable designs. Rotatable designs that are asymmetric are useful in situations where it is desirable to maintain the rotatability but it is difficult or infeasible to have the same number of levels for all the factors. Randomization in run order is a technique commonly employed by the users of response surface designs to avoid biases in the estimates of the effects of interest which might result from a time trend. But, randomization can induce a large number of changes in factor levels and thus make experimentation expensive and difficult. Here, a method to obtain experimentation orders with the desired properties for asymmetric response surface designs has been discussed.

प्रस्तावना

अधिकांश व्याख्यात्मक अन्वेषण एक या एक से अधिक मापन योग्य अनुक्रिया चर (चरों) के मानों एवं अनुक्रिया (यों) को परिकल्पित करने वाले परीक्षात्मक कारकों के समूह की सेटिंग के बीच संबंध विकसित करने एवं परिमाणित करने के

लिए तथा अनुक्रिया (यों) के सर्वाधिक मानों या मानों के सबसे अच्छे समूह प्रस्तुत करने वाले परीक्षात्मक कारकों की सेटिंग ज्ञात करने के लिए किए जाते हैं।

अनुक्रिया सतह पद्धति (आर.एस.एम.) का प्रयोग एक या एक से अधिक अनुक्रिया चरों एवं परीक्षात्मक चरों या

कारकों के समूह के बीच इस सम्बन्ध की जांच करने के लिए किया जाता है। ये तरीके अक्सर 'कुछ महत्वपूर्ण' नियन्त्रणीय कारकों की पहचान करके प्रयुक्त किये जाते हैं तथा अनुक्रिया को इष्टतम करने वाली कारक सेटिंग प्राप्त की जाती है। अनुक्रिया सतह में वक्रता का संदेह होने पर आमतौर पर इस प्रकार की अभिकल्पनाओं का प्रयोग किया जाता है। अतः आर.एस.एम. एक ऐसी तकनीक है जो निम्नलिखित को सम्मिलित करती है :

- एक परीक्षण (परीक्षण अभिकल्पित करना) का समन्वायोजन करना जो रुचि अनुसार अनुक्रिया के प्रयाप्त एवं विश्वसनीय आकलन प्रदान करता है।
- एक मॉडल का निर्धारण करना जो मॉडल के प्राचलों से सम्बन्धित उचित परिकल्पना परीक्षणों को आयोजित करके प्राप्त होने वाली अभिकल्पना के एकत्रित किए गए आंकड़ों में सर्वोत्तम फिट होता हो।
- परीक्षात्मक कारकों की इष्टतम सेटिंग का निर्धारण करना जो अनुक्रिया का अधिकतम (या न्यूनतम) मान प्रदान करती है।

उदाहरणार्थ, आर.एस.एम. का प्रयोग किसानों को फसल के लिए नाइट्रोजन (एन), फास्फोरस (पी) एवं पोटैश (के) की इष्टतम मात्रा का निर्धारण करने के लिए किया जा सकता है।

बहुत सी अनुक्रिया सतह समस्याओं में, परीक्षणकर्ता अनुक्रिया Y के पूर्वकथन में या चर अंतराल (variable space) में एक विशेष बिन्दु पर औसत अनुक्रिया को आंकलित करने में रुचि रखता है। पूर्वकथन के प्रसरण मान में भी रुचि हो सकती है क्योंकि यह मॉडल द्वारा उत्पादित बिन्दु आकलन के साथ जुड़ी त्रुटि का प्रत्यक्ष मापक होता है। किसी बिन्दु पर औसत अनुक्रिया के आकलन का प्रसरण उन सभी बिन्दुओं पर समान होता है जो अभिकल्पना के केन्द्र से समान दूरी पर स्थित हैं। अभिकल्पना के इस गण को घर्णन कहा जाता है।

केन्द्रीय संयुक्त (composite) अभिकल्पना (सी.सी.डी.), घूर्णन योग्य द्वितीय-क्रम अभिकल्पनाओं की सर्वाधिक लोकप्रिय श्रेणी है। इसे बॉक्स एवं विल्सन (1951) ने प्रस्तावित किया। अधिकतर अनुक्रमित (sequential) परीक्षणों में सी.सी.डी. का प्रयोग किया जाता है। इसमें 2^v स्तर बिन्दुओं एवं द्वि-स्तरीय बहु-उपादानी या अंशीय समाधान- v (resolution v) का संयुक्त प्रयोग शामिल होता है।

द्वितीय क्रम अनुक्रिया सतहों की फिटिंग के लिए बॉक्स एवं बेहनकेन (1960b) ने दक्ष त्रि-स्तरीय अभिकल्पनाओं का एक समूह (family) विकसित किया। अभिकल्पनाओं की श्रेणी, संतुलित अपूर्ण ब्लॉक (बी.आई.बी.) अभिकल्पनाओं के निर्माण पर आधारित हैं। विभिन्न आर.एस.एम. स्थितियों में समांगता शर्तों के अन्तर्गत सभी रनों का प्रयोग करने से अध्ययन अत्यधिक बृहत् बन जाता है। परिणामस्वरूप, द्वितीय-क्रम अभिकल्पनाओं, जो ब्लॉकिंग की सुविधा प्रदान करती हैं अर्थात् ब्लॉक प्रभावों को शामिल करती हैं, पर विचार करना महत्वपूर्ण एवं रुचिकर है। ज्ञात रहे कि ब्लॉक में अभिकल्पना बिन्दुओं का नियतन (assignment) इस प्रकार किया जाये कि मॉडल गुणों पर प्रभाव न्यूनतम हो। लांबिक ब्लॉकिंग गुण का प्रयोग प्रत्येक के लिए वांछनीय है तथा इस गुण का तात्पर्य है कि मॉडल में ब्लॉक का प्रभाव, मॉडल गुणों के लांबिक होता है।

घूर्णन योग्य अभिकल्पनाओं के निर्माण के लिए आर.एस.एम. पर एक विशाल मात्रा में साहित्य उपलब्ध है। अनुक्रिया सतह अभिकल्पनाओं पर विस्तृत विवरण प्राप्त करने के लिए बॉक्स एवं ड्रैपर (1987), खुरी एवं कौरनेल (1996) तथा मायर्स इत्यादि (2009) को संदर्भित किया जा सकता है।

रन अनुक्रमों का यादृच्छिकीकरण एक तकनीक है जो सामान्यतः आर.एस.एम. में अज्ञात कारकों के प्रभाव, जिनका अनुक्रिया पर प्रभाव हो सकता है जिसके कारण परिणाम की व्याख्या अशुद्ध हो सकती है, से बचने के लिए नियोजित की जाती है। रन अनुक्रमों का यादृच्छिकीकरण अज्ञात कारकों के प्रभाव को निष्क्रिय करने के लिए वांछित प्रभाव को सदैव प्राप्त नहीं करता। इसके अलावा, यादृच्छिकीकरण कारक स्तर में एक बड़ी मात्रा में परिवर्तन कर सकता है तथा परीक्षण को महंगा, अधिक समय लेने वाला एवं कठिन बना देता है। स्तर परिवर्तन की मात्रा कई कृषि, फसलोत्तर एवं प्रसंस्करण, अभियांत्रिक एवं औद्योगिक परीक्षणों में परीक्षणकर्ताओं के लिए गंभीर चिंता का विषय है क्योंकि इन परीक्षणों में ऐसी परिस्थितियां उत्पन्न हो सकती हैं जहां कुछ कारकों के स्तर परिवर्तन करना प्राकृतिक रूप से (physically) अत्यधिक कठिन होता है। इन परिस्थितियों में जहां एक विशेष कारक का स्तर परिवर्तन करना कठिन या लगभग असंभव होता है, उस विशेष कारक के स्तर को नियत (fix) करने एवं तदनुसार अन्य कारकों के स्तरों (स्तरों के संयोजन) को यादृच्छिकीकृत करने की अनशंसा की जाती है।

ड्रैपर एवं स्टोनमैन (1968) ने लागत मापदंड प्रस्तावित किया। उन्होंने 2^3 बहु-उपादानी एवं विभिन्न आंशिक बहु-उपादानी अभिकल्पनाओं के रन अनुक्रमों को तालिकाबद्ध किया, जिनमें आठ रनों की आवश्यकता होती है जिनमें मुख्य प्रभावों के आकलन रैखिक समय प्रवृत्ति से मुक्त या लगभग मुक्त होते हैं तथा कारक स्तर परिवर्तनों की संख्या भी छोटी होती है। ये परिणाम 2^3 बहु-उपादानी अभिकल्पनाओं के सभी संभव $8! = 40,320$ रन अनुक्रमों के लिए संगणक प्रोग्राम द्वारा संपूर्ण जांच पड़ताल (exhaustive examination) के माध्यम से प्राप्त किये गये। डिकिनसन (1974) ने ड्रैपर एवं स्टोनमैन (1968) के कार्य को, सर्च को न्यूनतम रन अनुक्रमों तक प्रतिबंधित करते हुए 2^4 एवं 2^5 पूर्ण बहु-उपादानी योजनाओं तक विस्तृत किया। यहां 2^4 एवं 2^5 अभिकल्पनाओं में रन अनुक्रम दिये गये हैं जिनमें न्यूनतम संख्या में उपादान स्तर परिवर्तनों की आवश्यकता होती है और साथ ही किसी रैखिक समय प्रवृत्ति के परिणामस्वरूप मुख्य प्रभावों के आकलों में अभिनतियों के विरुद्ध उचित संरक्षण प्रदान करने की आवश्यकता होती है। जिन अनुक्रमों में न्यूनतम संख्या में उपादान स्तर परिवर्तनों की आवश्यकता होती है तथा मुख्य प्रभावों एवं किसी रैखिक समय प्रवृत्ति के बीच न्यून सहसंबंध वाले अनुक्रमों को चयनित किया जाता है, उन रन अनुक्रमों की जांच करने के लिए एक संगणक प्रोग्राम विकसित किया गया है। द्विस्तरीय उपादानी परीक्षणों के लिए साहित्य में कुछ उपयोगी परिणाम उपलब्ध हैं ख्चेंग एवं जेक्वाक्स (1988), डी लियोन इत्यादि (2005), कोरिया इत्यादि (2009) एवं कोरिया इत्यादि (2012)। परीक्षात्मक अभिकल्पनाओं के लिए उपयुक्त रन अनुक्रमों को जनरेट करने के लिए जबकि मापन कुछ समय अनुक्रम में किया जाना है, जॉइनर एवं कैम्पबैल (1976) ने एक पद्धति प्रस्तावित की थी कारक स्तरों में न्यूनतम परिवर्तनों सहित सममित एवं असममित बहुउपादानी परीक्षण प्राप्त करने के लिए भौमिक इत्यादि (2015) एवं भौमिक इत्यादि (2016) ने एक सामान्य: पद्धति विकसित की। सममित अनुक्रिया सतह अभिकल्पनाओं के लिए वांछित लक्षणों सहित परीक्षात्मक अनुक्रम प्राप्त करने के लिए वरगीस इत्यादि (2014) ने एक पद्धति प्रदान की।

परीक्षात्मक प्रक्रिया में कारकों के स्तर परिवर्तन की संख्या के लिए मापदण्ड संभवतः एक अति महत्वपूर्ण विचारणीय तत्व है क्योंकि परीक्षण करने के लिए आवश्यक प्रयास एवं

लागत पर इसका एक सार्थक प्रभाव पड़ सकता है। यह कारकों के अस्तित्व, जो परिवर्तन करने में कठिन हैं, के कारण होता है।

अतः उन परीक्षणों में, जहां कारक स्तर में परिवर्तन करना कठिन है, रन अनुक्रमों के मानक प्रारूप का प्रयोग करने की बजाय रन अनुक्रमों में न्यून कारक स्तर परिवर्तन के साथ अनुक्रिया सतह अभिकल्पना का प्रयोग किया जाना चाहिए। प्रस्तुत शोधपत्र में, असममित अनुक्रिया सतह अभिकल्पनाओं के लिए वांछित लक्षणों सहित परीक्षात्मक अनुक्रम प्राप्त करने के लिए एक पद्धति पर विचार-विमर्श किया गया है।

असममित घूर्णन योग्य अभिकल्पित न्यूनतम परिवर्तित रन अनुक्रमों के निर्माण की विधि

कृषि परीक्षणों के संचालन के लिए आमतौर पर प्रयुक्त किए जाने वाली अनुक्रिया सतह अभिकल्पनाएं प्राकृतिक रूप में सममित होती हैं अर्थात् सभी कारकों के स्तर समान होते हैं। असममित घूर्णन योग्य अभिकल्पनाएं ऐसी स्थितियों में उपयोगी होती हैं जहां घूर्णनता बनाये रखना वांछनीय होता है परन्तु सभी कारकों के लिए स्तरों की संख्या समान रखना कठिन या अव्यवहार्य होता है। मेहता एवं दास (1968) के अनुसार लांबिक (orthogonal) रूपांतरण (transformation) द्वारा सममित घूर्णन योग्य अभिकल्पनाओं से द्वितीय अनुक्रम असममित घूर्णन योग्य अभिकल्पनाएं प्राप्त की जा सकती हैं। प्रत्येक कारक के लिए हमेशा ही स्तरों की निर्धारित संख्या प्राप्त करना ही संभव नहीं है (खरी एवं कौर्नल, 1996)।

v (निवेश कारकों) की संख्या $\equiv 4$ के लिए एक उदाहरण
चार कारकों $(\pm a, \pm a, \pm a, \pm a)$, $(\pm b, 0, 0, 0)$, $(0, \pm b, 0, 0)$, $(0, 0, \pm b, 0)$ एवं $(0, 0, 0, \pm b)$ में एक घूर्णन योग्य केन्द्रीय संयुक्त अभिकल्पना पर विचार करें। 16 बिन्दुओं को निरूपित करने के लिए $(\pm a, \pm a, \pm a, \pm a)$ का तथा 2 बिन्दुओं के लिए $(\pm b, 0, 0, 0)$ का प्रयोग किया गया है। $b=2a$ होने पर यह एक घूर्णन योग्य अभिकल्पना बन जायेगी। यहां अभिकल्पना, घूर्णन योग्य होने के साथ-साथ सममित भी है। अब एक आव्यूह B का चयन करें जिसके तत्व रुपान्तरित अभिकल्पना में वांछित सममिति

$$\text{को प्रेरित करते हैं। माना } B = \begin{bmatrix} e & -f & 0 & 0 \\ f & e & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & d \\ 0 & 0 & -d & c \end{bmatrix}$$

जहां $e=1/\sqrt{2}$, $c=1/\sqrt{5}$, $d=2/\sqrt{5}$, $a=1$ तथा $b=2$ मानते

हुए घूर्णन योग्य अभिकल्पना को B आव्यूह से गुणा करें जिससे निम्नलिखित $3^2 \times 7^2$ असममित घर्णन योग्य अभिकल्पना प्राप्त होगी :

A	B	C	D
0	0.44721	-1.34164	-4
0	-1.34164	-0.44721	-2
0	1.34164	0.44721	-2
0	-0.44721	1.34164	0
1.41421	0.44721	-1.34164	-2
1.41421	-1.34164	-0.44721	0
1.41421	1.34164	0.44721	0
1.41421	-0.44721	1.34164	2
-1.41421	0.44721	-1.34164	-2
-1.41421	-1.34164	-0.44721	0
-1.41421	1.34164	0.44721	0
-1.41421	-0.44721	1.34164	2
0	0.44721	-1.34164	0
0	-1.34164	-0.44721	2
0	1.34164	0.44721	2
0	-0.44721	1.34164	4
1.41421	0	0	-2
-1.41421	0	0	2
-1.41421	0	0	-2
1.41421	0	0	2
0	-0.89443	-1.78885	-2
0	0.89443	1.78885	2
0	1.78885	-0.89443	-2
0	-1.78885	0.89443	2
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0

कारक के अनुसार स्तर परिवर्तनों की संख्या A = 8, B = 21, C = 22 तथा D = 21 होगी । कुल परिवर्तन $8+21+22+21=74$ होंगे ।

यहां कारकों के स्तर में परिवर्तनों की कुल संख्या महत्वपूर्ण है । निवेश कारकों के स्तरों में परिवर्तनों की कुल संख्या को कम करने के लिए एक विधि विकसित करने की आवश्यकता है ।

आव्यूह B को सामान्य घूर्णन योग्य अभिकल्पनाओं से गुणा करने की बजाय लांबिक रूपान्तरण करते समय न्यूनतम परिवर्तित सममित घूर्णन योग्य अभिकल्पनाओं का प्रयोग करके रन अनुक्रमों में न्यूनतम स्तर परिवर्तनों सहित असममित घर्णन योग्य अभिकल्पनाओं को प्राप्त किया जा सकता है ।

y (निवेश कारकों) की संख्या = 4 के लिए एक उदाहरण

A	B	C	D
0	0.44721	-1.34164	-4
0	-1.34164	-0.44721	-2
0	-0.44721	1.34164	0
0	1.34164	0.44721	-2
1.41421	1.34164	0.44721	0
1.41421	-0.44721	1.34164	2
1.41421	-1.34164	-0.44721	0
1.41421	0.44721	-1.34164	-2
0	0.44721	-1.34164	0
0	-1.34164	-0.44721	2
0	-0.44721	1.34164	4
0	1.34164	0.44721	2
-1.41421	1.34164	0.44721	0
-1.41421	-0.44721	1.34164	2
-1.41421	-1.34164	-0.44721	0
-1.41421	0.44721	-1.34164	-2
-1.41421	0	0	2
1.41421	0	0	-2
1.41421	0	0	2
-1.41421	0	0	-2
0	0.89443	1.78885	2
0	-0.89443	-1.78885	-2
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	-1.78885	0.89443	2
0	1.78885	-0.89443	-2

कारक अनुसार स्तर परिवर्तनों की संख्या A = 6, B = 18, C = 19 तथा D = 25 होगी । कुल परिवर्तन $6+18+19+25 = 68$ होंगे ।

व्यापक अर्थ में, जब परीक्षण में निवेश कारक शामिल होते हैं जिनके लिए रन अनुक्रमों के यादृच्छिकीकरण की बजाय स्तरों में परिवर्तन अत्यन्त कठिन होता है तो रन अनुक्रमों में परिवर्तनों की न्यूनतम संख्या सहित एक अनुक्रिया सतह अभिकल्पना का प्रयोग एक प्रभावी समाधान होगा ।

निष्कर्ष

असममित घूर्णन योग्य अभिकल्पनाएं ऐसी स्थितियों में उपयोगी होती हैं जहां घूर्णनता बनाये रखना वांछनीय होता है परन्तु सभी कारकों के लिए स्तरों की संख्या समान रखना कठिन या अव्यवहार्य होता है। आर.एस.एम. में रन अनुक्रमों का यादृच्छिकीकरण सदैव उपयुक्त नहीं होता है क्योंकि यह निवेश कारक स्तरों में परिवर्तनों की एक बड़ी संख्या को प्रेरित करता है। अतः परीक्षण करने को महंगा, अधिक समय लेने वाला एवं कठिन बना सकता है। अनुक्रिया सतह अभिकल्पना में निवेश कारकों के स्तर परिवर्तनों की संख्या के लिए मापदण्ड संभवतः एक अति महत्वपूर्ण विचारणीय तत्व है क्योंकि परीक्षण करने के लिए आवश्यक प्रयास एवं लागत पर इसका एक सार्थक प्रभाव पड़ सकता है। यहां दी गई पद्धति, मानक क्रम में इसके निष्पादन की तुलना में असममित घूर्णन योग्य अभिकल्पना में रन अनुक्रमों के परिवर्तनों की कुल संख्या को कम कर देगी ।

संदर्भ

- Box, G. E. P., and Behnken, D. W. (1960) Some new three level designs for the study of quantitative variables. *Technometrics*, 2, 455-475.
- Box, G. E. P. and Draper, N. R. (1987). *Empirical Model-Building and Response surfaces*. Wiley, New York.
- Bhowmik, Arpan, Varghese, Eldho, Jaggi, Seema and Varghese, Cini (2015). Factorial Experiments with Minimum Changes in Run Sequences. *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics*. 53 (1 & 2), 63-78.
- Bhowmik, Arpan, Varghese, Eldho, Jaggi, Seema and Varghese, Cini (2016). Minimally Changed Run Sequences in Factorial Experiments. *Communication in Statistics: Theory and Methods*. Under Print.
- Cheng, C. and Jacroux, M. (1988) The construction of trend-free run orders of two-level factorial designs. *American Statistical Association*, 83, 1152-1158.
- Correa, A. A., Grima, P. and Tort-Martorell, X. (2009). Experimentation order with good properties for 2^k factorial designs. *Journal of Applied Statistics*, 36(7), 743-754.
- Correa, A. A., Grima, P. and Tort-Martorell, X. (2012). Experimentation order in factorial designs: new findings. *Journal of Applied Statistics*, 39(7), 1577-1591.
- De León, G., Grima, P. and Tort-Martorell, X. (2005). Experimentation order in factorial designs with 8 or 16 runs. *Journal of Applied Statistics*, 32(3), 297-313.
- Dickinson, A. W. (1974). Some orders requiring a minimum number of factor level changes for 2^4 and 2^5 main effects plans. *Technometrics*, 16(1), 31-37.
- Draper, N. R. and Guttman, I. (1980). Incorporating overlap effects from neighbouring units into response surface models. *Appl. Statist.* 29(2), 128-134.
- Joiner, B. L. and Campbell, C. (1976). Designing experiments when run order is important. *Technometrics*, 18(3), 249-259.
- Khuri, A.I., Cornell, J. A. (1996). *Response Surfaces*. 2nd ed. New York: Dekker.
- Mehta, J.S. and Das, M.N. (1968). Asymmetrical rotatable designs and orthogonal transformations, *Technometrics*, 10(2), 313-322.
- Myers, R. H, Montgomery, D. C. and Andersson-Cook, C. M. (2009). *Response Surface Methodology-Process and Product Optimization using Designed Experiments*. New York, John Wiley Publication.
- Varghese, Eldho, Bhowmik, Arpan, Jaggi, Seema, Varghese, Cini and Bindal, Vijay (2014). Response surface designs with minimum changes in the run sequence. *Bhartiya Krishi Anushandhan Patrika*, 29(3) 149-153.