

نمذجة معدل إزالة المعدن في عمليات الخراطة باستخدام نموذج تاجوشي

سالم أحمد الشريف¹ و محمد المهدي سويب¹ و إبراهيم أحمد بادي^{2*}

¹كلية الهندسة، جامعة مصراتة، مصراتة، ليبيا

²الأكاديمية الليبية- مصراتة، ليبيا

*e-mail: i.badi@eng.misuratau.edu.ly

الملخص

تهدف هذه الورقة إلى إجراء دراسة تجريبية لمتغيرات العملية المثلى (سرعة القطع ومعدل التغذية وعمق القطع) التي تؤدي إلى تحسين معدل إزالة المعدن (Material Removal Rate MRR) لسببكية ذات الصلادة HRC15، حيث لاقى معدل إزالة المعدن اهتماماً كبيراً من الباحثين وذلك لدوره المهم في المحافظة على عمر أداة القطع وتقليل الوقت والتكلفة والحصول على جودة عالية للمنتج، وكذلك إمكانية إعادة تشغيل الرانش والاستفادة منه. وتقدم هذه الورقة نموذجاً تفصيلياً لمتغيرات عملية الخراطة عن طريق إعداد نموذج للتنبؤ بكمية الرانش المتولد من عملية الخراطة، ويعرف النموذج بطريقة تاجوشي وهو عبارة عن مجموعة متعامدة لدراسة مساحة المعلمة بأكملها مع عدد أقل من التجارب التي يتعين إجراؤها، وتسمح هذه الطريقة بدراسة تأثير كل عامل على متغير الاستجابة، وكذلك على تأثيرات التفاعلات بين العوامل الأخرى.

لقد تم محاكاة النموذج الرياضي بواسطة برنامج Minitab16 وكانت بيانات تجربة محاكاة النتائج مناسبة بشكل جيد للغاية، وأجريت التجارب من خلال تغيير سرعة القطع، والتغذية، وعمق القطع باستخدام مجموعة متعامدة L9 بطريقة تاجوشي Taguchi، وتغيير النتائج المتحصل عليها من التجارب إلى نسبة الإشارة إلى الضوضاء (S / N) واستخدامها لتحسين قيمة MRR ثم استخدام النتائج التجريبية من المجموعة المتعامدة مثل بيانات التدريب لنموذج MVLN لرسم العلاقة بين متغيرات العملية و MRR، وتتلخص النتائج إلى أن التغذية هي الأكثر تأثيراً على المعدل إزالة المعدن يليها سرعة القطع وعمق قطع.

الكلمات المفتاحية: تاجوشي، نمذجة، خراطة المعدن، معدل إزالة المعدن

1. المقدمة INTRODUCTION

تعرف عمليات قطع المعادن بأنها إزالة جزء من المعدن الخام لإنتاج القطع المطلوبة حسب التصميم والموصفات والجودة اللازمة، وتُشغل المعادن في الحالة الصلبة بخلاف تشكيل المعادن، والغاية الرئيسية من تشغيل المعادن هو الحصول على المنتجات بالأبعاد والأشكال الهندسية المطلوبة، ويتم هذا أساساً بإزالة طبقات من المعدن باستعمال أداة تسمى بأداة القطع وتشمل عمليات القطع الخراطة، والتفريز، والثقب، والكشط، وغيرها. وتعتمد المتغيرات التي تستخدم في عملية الإزالة على البنية المجهرية أو البلورية للمعدن المشغل، وكذلك على عملية التشغيل المستخدمة، ويضم العامل الثاني جوانب عديدة مثل تصميم العدة المستعملة وطريقة ونوع زيوت التبريد المستخدمة، فعملية توليد الرانش من العمليات الفيزيائية والميكانيكية المعقدة لأنها تشمل على كل من التشوه المرن والتشوه اللدن للمعدن المراد تشغيله، حيث يحدث انفصال الرانش نتيجة لانضغاط طبقة من سطح معدن المشغولة تحت تأثير القوة المسلطة من الأداء، وهكذا يمكن دراسة عملية القطع كعملية قص لجزيئات المعدن على شكل أجزاء.

إن المادة التي تصنع منها أداة القطع تكون أصلاً، وأكثر متانة من المادة المراد تشغيلها لكي تتحمل الجهود المتولدة أثناء عملية التشغيل، وتعتمد طبيعة العمل الذي تقوم بها الآلة على خواص العدة الميكانيكية إضافة إلى نوع المادة المصنعة منها، وأهم هذه الخواص هي الصلادة والمتانة ومقاومتها للبلبي والتي تتطلب أن تكون عالية.

القطع المصنعة يجب أن يكون لها معدل إزالة عالٍ، واحتكاك للجناح أقل وذلك تفادياً لخسارة الوقت والمال. وتستخدم النماذج الرياضية للتنبؤ بمعدل إزالة المعدن حسب ظروف القطع دون تشغيلها، ومن

استلمت الورقة بتاريخ 02 سبتمبر 2019، وروجعت بتاريخ 07 نوفمبر 2019، وقبِلت للنشر بتاريخ 08 نوفمبر 2019 ونشرت

www.lam.edu.ly

ومتاحة على الانترنت بتاريخ 11 نوفمبر 2019

بين هذه النماذج الانحدار الخطي المتعدد، وطريقة تاجوشي والشبكات العصبية الاصطناعية لأنها النهج الهندسي الحديث الذي يؤكد على دور البحث والتطوير، وتصميم المنتجات واختيار الحل الأمثل لمجموعة معينة من المدخلات مع انخفاض التكلفة وزيادة الجودة. طريقة تاجوشي لها نطاق واسع من الاستخدام في مختلف مجالات العلوم الهندسية لذلك استخدمت بدلا من الطرق التقليدية الأخرى.

الهدف من هذه دراسة التحقق تجريبيا من متغيرات عملية القطع الأمثل من خلال ضبط الجودة وتحديد السماحية في قطعة العمل والتخلص من الفروق في الإنتاج وحوادث الفشل في المنتجات، ويؤدي هذا إلى تحسين معدل إزالة المعدن، وإلى تحسين العملية الإنتاجية. وتكمن أهمية الدراسة في التنبؤ بالقيم المستقبلية ومعرفة أفضل الظروف لتفادي العيوب التصنيعية، وضمان جودة المنتج وتوفير الوقت والمال لتحسين فاعلية الإنتاج، والقدرة على حل مشاكل الجودة في المراحل الأولى للتصميم وذلك باستخدام طريقة تاجوشي.

توجد العديد من الدراسات والأبحاث باستخدام طريقة تاجوشي أو الانحدار الخطي المتعدد وغيرها من النماذج لغرض التنبؤ وذلك في تطبيقات متنوعة مثل المجالات الهندسية والاقتصادية والزراعية والطبية. ففي مجال عوامل التشغيل قام (Vijaykumar) وآخرون (2014م) بالتحقق التجريبي لمعدل إزالة المعدن واحتكاك الجناح، باستخدام طريقة تاجوشي للمعدن AISI52100 في ثلاثة مستويات لكل متغير، ووجد أن العامل الأكثر تأثيرا هو سرعة القطع، يليها عمق القطع، ومن ثم معدل التغذية أما بالنسبة لاحتكاك الجناح فالعامل الأكثر تأثيرا هو عمق القطع، ومن ثم سرعة القطع، يليها معدل التغذية [1]. كما قام كل من (Athreya and Venkatesh) (2012م) باستخدام طريقة تاجوشي في حساب خشونة السطح لمعدن، في ثلاثة مستويات لكل متغير وكانت النتائج أن سرعة القطع هي أكثر عامل له تأثير على خشونة السطح تليها عمق القطع ومعدل التغذية أقل تأثيراً على خشونة السطح [2].

وكذلك قام كل من (Swamy) وآخرون (2012م) بدراسة ثلاثة متغيرات في ثلاثة مستويات لتحسين معدل خشونة السطح، والحصول على أفضل الظروف باستخدام نموذج تاجوشي وأنوفا حيث قام هذا البحث على دراسة المعدن (T6-6351) وتوصلوا إلى أن السرعة لها أكبر تأثير على خشونة السطح يليها معدل التغذية وأقل تأثير يكون عند عمق القطع [3]. وقام كل من (Syed and Amberkar) (2015م) للمعدن 41Cr4 بتحديد متغيرات القطع باستخدام طريقة التصميم التجريبي تاجوشي. وتوصلوا إلى أن سرعة القطع هي العامل الأكثر تأثيرا على معدل إزالة المعدن يليها عمق القطع ومن ثم يأتي معدل التغذية وهو الأقل تأثيرا بين الثلاثة المتغيرات [4].

كما قام كل من (Narayan and Puneeth) (2014م) بدراسة متغيرين في عملية القطع (سرعة القطع ومعدل التغذية) وثلاثة مستويات لتحسين معدل خشونة السطح ومعدل إزالة المعدن ووقت التشغيل والحصول على أفضل الظروف باستخدام تقنية تاجوشي ونسبة الإشارة إلى الضوضاء (S/N) لخراطة سبيكة من الألومنيوم (AL7050) حيث تم الحصول على أقل تأثير لسرعة القطع وأعلى تأثير لمعدل التغذية عند خشونة السطح والحصول على أعلى تأثير لسرعة القطع وأقل تأثير لمعدل التغذية عند معدل إزالة المعدن والحصول على أقل تأثير لسرعة القطع وأعلى تأثير لمعدل التغذية عند وقت التشغيل [5].

2. منهجية الدراسة: طريقة تاجوشي (Taguchi's method)

يمكن النظر إلى طريقة تاجوشي على أنها نظام جودة هندسي مرتبط بالتكلفة ويركز على التطبيق الفعال لاستراتيجيات هندسية بدلاً من استخدام أساليب احصائية، وهذا يشمل التطبيق في المراحل الأولى من التصميم للمنتج وكذلك أثناء مراحل الإنتاج المختلفة، ولذلك يوصي تاجوشي باستخدام

وظيفة الخسارة لقياس خصائص الأداء التي تنحرف عن القيمة المستهدفة عن طريق حساب النسبة (S/N) المرغوبة والتي تُحول إلى نسبة الإشارة إلى الضوضاء.

- الأصغر هو الأفضل.

ويعبر عن ذلك بالمعادلة (1)

$$n = -10 \log_{10}(MSS) \quad (1)$$

حيث MSS: متوسط مجموع المربعات للبيانات المقاسة.

وعادة ما تكون النسبة (S / N) المختارة لكل الخصائص غير المرغوب فيها مثل "العيوب" والقيمة المثالية فيها مساوية لصفر.

- الأكبر هو الأفضل.

ويعبر عن ذلك بالمعادلة (2).

$$n = -10 \log_{10}(MSS) \quad (2)$$

حيث MSS: متوسط مجموع المربعات (المقاسة – المثالية)

وغالبا ما يتم تحويل هذا العامل إلى الأصغر هو الأفضل كلما أمكن هذا من خلال أخذ البيانات المتبادلة المقاسة ومن ثم أخذ نسبة (S / N) كما هو الحال في حالة الأصغر حجما.

- الاسمي هو الأفضل.

ويعبر عن ذلك بالمعادلة (3).

$$n = -10 \log_{10} \left(\frac{\text{Square of mean}}{\text{Variance}} \right) \quad (3)$$

تنشأ هذه الحالة عندما تكون القيمة المحددة هي الأكثر طلبا، مما يعني أنه لا توجد قيمة أصغر أو أكبر.

توجد العديد من المتطلبات الواجب توفرها في طريقة تاجوشي أهمها:

- تحديد عوامل التحكم.
- تحديد المستويات لكل عامل وتحديد المجموعة المتعامدة المناسبة.
- تعيين عوامل التحكم وإجراء التجارب.
- تحليل البيانات وتحديد المستويات المثلى لعوامل التحكم.
- إجراء تجارب التأكيد والحصول على فترة الثقة.

عادة ما يتم اختيار صفائف الاختبار التجريبي بناء على حل وسط بين التكلفة الكلية للتجارب (تتضمن تكلفة الوقت اللازم لتشغيل التجارب والدقة المطلوبة للنتائج). وفيما يلي تسلسل لكيفية اختيار مصفوفة الاختبار:

أ-تاجوشي صفيف الحقائق الكاملة:

تستخدم عندما تكون التكلفة ليست قضية كبيرة أو بعبارة أخرى لديك ما يكفي من الوقت، دقة النتائج أمر بالغ الأهمية.

ب-تاجوشي صفيح متعامد:

تستخدم عندما تكون التكلفة عالية بما في ذلك الوقت والنتائج ليست حرجة جدا.

ج-تاجوشي صفيح غير متعامد:

إذا كانت التكلفة باهظة وتستغرق وقتا طويلا ويمكننا قبول دقة محدودة.

يمكن اختيار مصفوفة تاجوشي حسب المتغيرات (p) والمستويات (L) والشكل (1) يبين بعض مصفوفات تاجوشي.

Taguchi, $P = 3, L = 3$					Taguchi, $P = 4, L = 3$					
Run #	a	b	c	X	Run #	a	b	c	d	X
1	1	1	1	X_1	1	1	1	1	1	X_1
2	1	2	2	X_2	2	1	2	2	2	X_2
3	1	3	3	X_3	3	1	3	3	3	X_3
4	2	1	2	X_4	4	2	1	2	3	X_4
5	2	2	3	X_5	5	2	2	3	1	X_5
6	2	3	1	X_6	6	2	3	1	2	X_6
7	3	1	3	X_7	7	3	1	3	2	X_7
8	3	2	1	X_8	8	3	2	1	3	X_8
9	3	3	2	X_9	9	3	3	2	1	X_9

الشكل (1) بعض مصفوفات تاجوشي.

3. الحالة الدراسية

تم تشغيل عملية الخراطة على ماكينة التحكم الرقمي الآلي (CNC)، و تحديد ظروف القطع المطلوبة ومن ثم إعداد العينات وقياس معدل إزالة المعدن باستخدام ميزان حساس وساعة إيقاف وذلك لغرض إدخالها في النموذج.

• ظروف التشغيل.

تم تشغيل العينات وفقا للظروف الموضحة بالجدول (1):

جدول (1) ظروف التشغيل

المستوى الثالث	المستوى الثاني	المستوى الأول	عوامل التشغيل
450	310	200	سرعة القطع [mm/min]
0.35	0.22	0.12	معدل التغذية [mm/rev]
1	0.7	0.3	عمق القطع [mm]

• خواص القطعة المشغلة.

تم تجهيز قطع الاختبار من سبيكة الحديد والتي لها رقم صلادة (HRC15)، وشغلت القطع بشكل اسطواني بقطر 39.14 mm وارتفاع 90 mm وخواص هذه السبيكة موضحة في الجدول (2).

جدول (2) خواص القطعة المشغلة.

السبيكة	C	Si	Mg	S	مواد أخرى
HRC15	0.45	0.25	0.65	أقل من 0.03	-

• طرق القياس

المعدات المستخدمة في عملية قياس معدل إزالة المعدن عبارة عن ميزان حسّاس و ساعة إيقاف، حيث توضع المشغولة على الميزان قبل التشغيل ويعرف بالوزن الابتدائي، وبعد ذلك تتم عملية الخراطة مع ملاحظة وضبط الوقت المستغرق لعملية القطع بواسطة ساعة إيقاف، وعملية قياس الوزن بعد التشغيل يعرف بالوزن النهائي.

ويحسب معدل إزالة المعدن بالمعادلة (4):

$$MRR = \frac{(W_i - W_f)}{\text{Machining Time}} \left[\frac{g}{min} \right] \quad (4)$$

حيث أن:-

MRR : معدل إزالة المعدن.

W_i : الوزن الابتدائي.

W_f : الوزن النهائي.

MT : زمن التشغيل.

بعد إجراء الاختبارات والحصول على قيمة معدل إزالة المعدن لكل قطعة، تم استخدام طريقة تصميم التجارب **Design Of Experiment (DOE)** لبناء نموذج لتتحقق التجريبي من معدل إزالة المعدن لنفس الظروف عند 9 اختبارات فقط، وهذه الطريقة تُعرف بمصفوفة تاجوشي L9 وهي كما موضحة بالجدول (3).

جدول (3) مصفوفة متعامدة L9.

A	B	C
1	1	1
1	2	2
1	3	3
2	1	2
2	2	3
2	3	1
3	1	3
3	2	1
3	3	2

وبعد تشغيل العينات والحصول على قيم معدل إزالة المعدن الحقيقية للقطع التسع وفقا لظروف المصفوفة المتعامدة L9 لدراسة تأثير كل عامل من العوامل الثلاثة ومعرفة دقة هذا النموذج في حساب معدل إزالة المعدن والتنبيه بأمثل الظروف لعملية التشغيل، ويوضح الجدول (4) معدل إزالة المعدن النظرية نسبة إلى معدل الاستجابة للضوضاء (S/N).

جدول (4) معدل إزالة المعدن النظرية

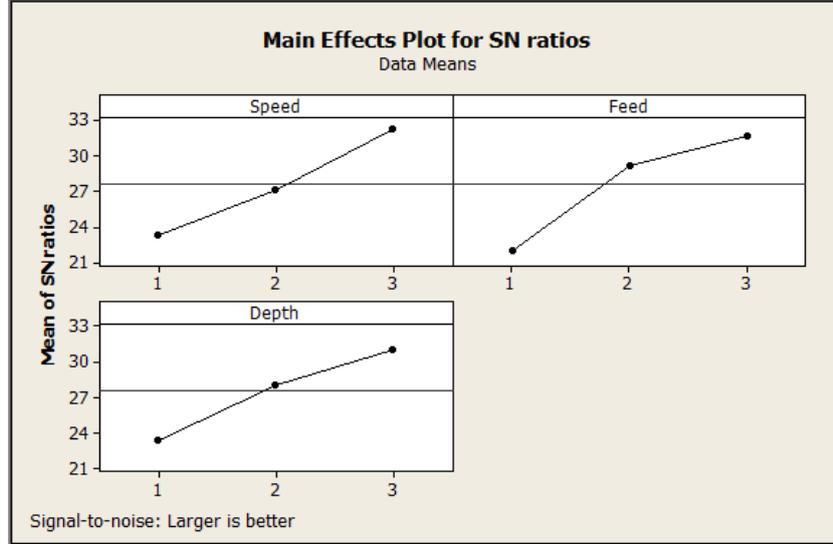
م	السرعة	التغذية	عمق القطع	معدل إزالة المعدن	معدل الاستجابة
1	200	0.12	0.3	4.51	13.08
2	200	0.22	0.7	17.74	24.98
3	200	0.35	1	38.95	31.81
4	310	0.12	0.7	14.13	23.00
5	310	0.22	1	38.95	31.81
6	310	0.35	0.3	21.64	26.71
7	450	0.12	1	30.83	29.78
8	450	0.35	0.3	34.03	30.64
9	450	0.35	0.7	66.34	36.44

يبين الجدول (5) نسبة الاستجابة لمعدل الضوضاء، وتم اختيار قيم معدل إزالة المعدن على أن الأكبر هو الأفضل، وبهذا فإن الظروف المثلى لهذا المعدن هي عند السرعة 450 mm/min وكان معدل التغذية هو 0.35 mm/rev وعمق القطع 1 mm.

الجدول (5) نسبة الاستجابة لمعدل الضوضاء.

المستوى	سرعة القطع	معدل التغذية	عمق القطع
1	.3023	21.96	23.48
2	27.17	29.14	28.14
3	32.28	31.65	31.13
الفرق	8.99	9.69	7.65
الرتبة	2	1	3

من الجدول (5) والشكل (2) تتضح المستويات المثلى لمعدل إزالة المعدن.



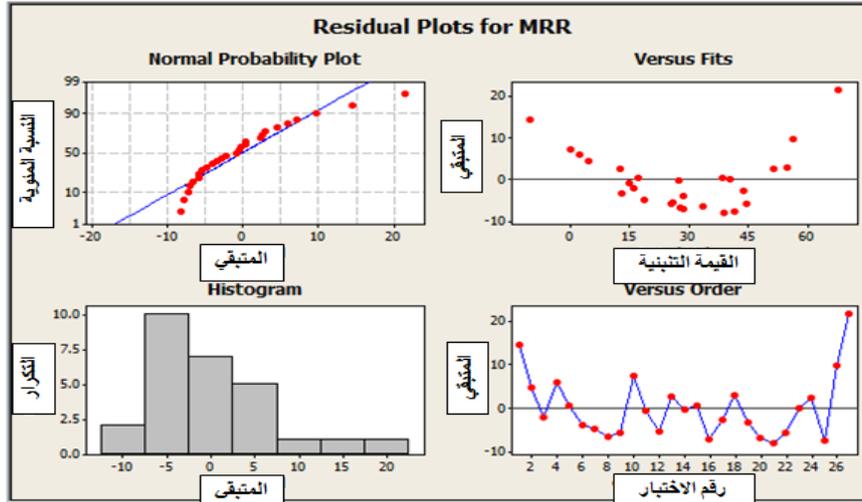
الشكل (2) تأثير متغيرات العملية على نسبة (S/N)

يوضح الجدول (6) نتيجة تحليل أنوفا مع معدل إزالة المعدن، فالعمود الأخير من الجدول يشير إلى عوامل التحكم الفردية P ، حيث أن أصغر قيمة لـ P المقابلة لعوامل القطع يكون أكثر أهمية في هذه العملية، ومن خلال الجدول يتضح أن السرعة 450 ملم/دقيقة ومعدل تغذية 0.35 ملم/دورة وعند عمق القطع 1 ملم هي الظروف المثلى لعملية القطع، ومن خلال التحليل وُجد أن معدل التغذية هو الأكثر تأثيراً ويليهما سرعة القطع ويكون عمق القطع أقل تأثيراً على معدل إزالة المعدن.

الجدول (6) تحليل التباين لمعدل S/N

مصدر التباين	درجة الحرية DF	مجموع مربعات الانحراف Seq SS	مجموع الانحرافات Adj SS	متوسط التباين Adj MS	القيمة المحسوبة F	الاحتمال p	نسبة المساهمة %
السرعة	2	121.976	121.976	60.988	33.42	0290.	33.25
التغذية	2	151.892	151.892	75.946	41.62	0230.	41.41
العمق	2	89.284	89.284	44.642	24.47	0039	24.34
الخطأ	2	3.649	3.649	1.825			
المحصلة	8	366.800					

يوضح الشكل (3) العلاقة بين القيم المتبقية وقيمة الانحراف عن القيمة الحقيقية وكانت القيم المتحصل عليها مقبولة، حيث تراوحت قيمة المتبقي ما بين (-10 إلى 20) وكلما اقتربت النقاط من الصفر كانت موثوقة النموذج أفضل، ونلاحظ أن معظم النقاط منطبقة أو قريبة من الصفر، ومن خلال رسم التكرارات لقيمة المتبقي عن القيمة الحقيقية كانت القيمة (-5) الأكثر تكراراً ثم يليها (0) وهذا يؤكد مدى دقة النموذج في التنبؤ بمعدل إزالة المعدن، مع ملاحظة وجود ثلاثة نقاط متباعدة نتج عن هذه النقاط ارتفاع في النسبة المئوية للانحراف عن القيمة الحقيقية.



الشكل (3) تأثيرات المتغيرات لقيم الانحراف الخطي

الخلاصة

تعمل طريقة تاجوشي على دراسة تأثير جميع المتغيرات في عدد أقل من التجارب. لقد كانت الظروف المثلى التي تم الحصول عليها من طريقة تاجوشي لتحسين معدل إزالة المعدن في عملية الخراطة عند سرعة القطع 450 mm/min ومعدل التغذية 0.35 rev/min وعمق القطع 1 mm . ومن خلال جدول الاستجابة لنسبة الضوضاء S/N كانت النتيجة أن معدل التغذية هو العامل الأكثر تأثيراً على معدل إزالة المعدن متبوعاً بسرعة القطع وكان عمق القطع الأقل تأثيراً. ويُشير تحليل التباين (أنوفا) أن معدل التغذية يساهم بشكل رئيسي بنحو 41.41% في الحصول على معدل إزالة المعدن أمثل يليها سرعة القطع بنسبة 33.25% وعمق القطع 24.34% .

References

- [1] Vijaykumar H.K, Ahamed Kabir and Ganesh Raj " Experimental investigation of Material Removal Rate and Tool wear in turning of hardened AISI52100 steel using Taguchi Technique", IOSJEN, Vol. 4 (5), 2014.
- [2] Srinivas Athreya, Y.D.Venkatesh "Application Of Taguchi Method For Optimization Of Process Parameters In Improving The Surface Roughness Of Lathe Facing Operation", International Refereed Journal of Engineering and Science, Vol. 1 (3), 2012.
- [3] N. Lakshmana Swamy "Optimizing surface roughness in turning operation using Taguchi technique and ANOVA", International Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 4 (5), 2012.
- [4] Siraj Syed, S.D.Ambekar. " Experimental Analysis of Material Removal Rate in Drilling of 41Cr4 by A Taguchi's", Journal of Engineering Research and Applications, Vol. 5 (5), 2015.
- [5] Narayan B Doddapattar, S. Puneeth "Optimization of Cutting Parameters Using Signal –to- Noise Ratio for Turning Aluminum Alloy Al7050" International Journal of Engineering Research, Vol. 1 (9), Sep-2014.