

تحديد ظروف القطع المثلى في عمليات الخراطة الطولية على عمر أداة القطع لتحقيق أفضل معدل إنتاج وأقل كلفة

معمر مصباح بن عيسى^{1*}، مصطفى عمر حكومه¹، و ميلاد محمد التونسي²
⁽¹⁾ قسم الهندسة الميكانيكية والصناعية، كلية الهندسة، الجامعة الأسمرية الإسلامية، زليتن، ليبيا.
⁽²⁾ الشركة الأهلية للإسمنت، زليتن، ليبيا.

البريد الإلكتروني: m.benisa@asmarya.edu.ly

Determine the Optimal Cutting Conditions in Longitudinal Turning Operations over the Life of the Cutting Tool to Achieve the Best Production Rate and Lowest Cost

Muamar M. Ben Isa^{1*}, Mustafa O. Hakoumah¹, and Meelad M. Altounsi²

¹⁾ Mechanical and Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Alasmarya Islamic University, Zliten, Libya.

²⁾ Ahlia Cement Company, Zliten, Libya.

Received: 01 December 2023; Revised: 28 December 2023; Accepted: 30 December 2023.

الملخص

في هذا البحث تمت دراسة تأثير ظروف القطع (سرعة القطع، معدل التغذية، عمق القطع) على عمر أداة القطع في عمليات الخراطة الطولية لعينة من حديد متوسط الكربون (C35) بطول (1200 مم) وقطر (100 مم) باستخدام آلة خراطة تقليدية وأداة قطع كربيدية (P10). صممت التجارب على أساس ثلاثة مستويات لكل من سرعة القطع والتغذية وعمق القطع باستخدام طريقة تاكوتشي لتقليل عدد التجارب، واستخدم برنامج (Minetab16) لتحقيق ذلك. وتم تحديد مستوى أهمية ظروف القطع على عمر أداة القطع عن طريق تحليل التباين (ANOVA). تم تحديد ظروف القطع المثلى وفقاً لمعايير اقتصادية وإنتاجية كالتكلفة الكلية الأدنى ومعدل الإنتاج الأقصى. وأظهرت النتائج أن الزيادة في سرعة القطع تؤدي إلى انخفاض في عمر الأداة، وكذلك الزيادة في معدل التغذية وعمق القطع. ومن جدول تحليل (ANOVA) يتضح أن عامل سرعة القطع هو الأكثر تأثيراً على عمر أداة القطع بنسبة (91.9%)، ويليه معدل التغذية بنسبة (6%)، بينما كان تأثير عمق القطع الأقل تأثيراً على عمر أداة القطع بنسبة (1.2%). وتم أيضاً تقدير التكلفة ومعدل الإنتاج المتمثل في عدد الأجزاء المصنعة لكل أداة قطع في التجارب العملية التي أجريت، وعلى ضوء هذا التقدير تم اختيار ظروف القطع المثلى للحصول على أفضل عمر أداة قطع إنتاجياً واقتصادياً، وأوضحت النتائج أن ظروف القطع المثلى التي تم الحصول عليها لتحسين عمر أداة القطع في عملية الخراطة كانت عند سرعة قطع (46 متر/دقيقة) ومعدل تغذية (0.1 مم/لفة) وعمق قطع (3مم).

الكلمات الدالة: أنوفا ANOVA، تاكوتشي (Taguchi)، أداة القطع، عملية الخراطة.

Abstract

In this manuscript, the effect of cutting conditions (cutting speed, feed rate, and depth of cut) on the life of the cutting tool was studied in longitudinal turning operations for a sample of medium carbon iron (C35) with a length of 1200 mm and a diameter of 100 mm using a traditional turning machine and a carbide cutting tool. (P10). The experiments were designed based on three levels of cutting speed, feed, and depth of cut using the Taguchi method to reduce the number of experiments, and the (minetab16) program was used to achieve this. The level of

importance of cutting conditions on the life of the cutting tool was determined by analysis of variance (ANOVA). In this study, the level of importance of cutting conditions on the life of the cutting tool was determined. Determine the optimal cutting conditions according to economic and production criteria such as the minimum total cost and the maximum production rate. The results showed that an increase in cutting speed leads to a decrease in tool life, as well as an increase in the feed rate and depth of cut. From the analysis table (ANOVA) it is clear that the cutting speed factor is the most It had an impact on the life of the cutting tool by 91.9%, followed by the feed rate by 6%, while the effect of depth of cut had the least impact on the life of the cutting tool by 1.2%. The cost and production rate, represented by the number of parts manufactured for each cutting tool, were also estimated in the practical experiments that were conducted. In light of this estimate, the optimal cutting conditions were chosen to obtain the best cutting tool life productively and economically. The results showed that the optimal cutting conditions were obtained to improve the cutting tool life in the turning process at a cutting speed of 46 m/min, feed rate of 0.1 mm/roll, and a cutting depth of 3 mm.

Keywords: ANOVA; Taguchi; Cutting tool; Turning process.

1. المقدمة

تعد عمليات القطع إحدى العمليات الإنتاجية وفيها يتم إنتاج المنتج بواسطة قطع المشغولة باستخدام أداة قطع مناسبة وذلك بإزالة جزء من المعدن تدريجياً على شكل راثش. عملية الخراطة من أهم عمليات التشغيل وأوسعها استخداماً في عمليات التصنيع المختلفة والتي تتطلب عمليات تشغيل للمعادن. خراطة المعادن يتحكم بها عدة عوامل قطع منها سرعة القطع ومعدل التغذية وعمق القطع (Lubis et al., 2020). تعتبر أداة القطع في عملية الخراطة من الأجزاء المهمة في عملية التشغيل ويجب أخذها في عين الاعتبار باختيار عوامل القطع المناسبة مثل (سرعة القطع ومعدل التغذية وعمق القطع) والتي تؤثر تأثيراً مباشراً على عمر الأداة التشغيلي.

عمر أداة القطع يؤثر تأثيراً مباشراً على جودة سطح المنتج والإنتاجية. في عمليات القطع من المهم بمكان دراسة تأثير تآكل أداة القطع والعوامل التي تؤثر على عمرها ومن هذه العوامل المؤثرة (الضغوط الموضعية، ودرجات الحرارة العالية أثناء عملية القطع، وكذلك انزلاق الراثش على طول سطح أداة القطع) حيث لها تأثير مباشر على عمر أداة القطع وجودة سطح المشغولة ودقة الأبعاد واقتصاديات التشغيل في عملية القطع (Mouli et al., 2019).

فباستخدام ظروف قطع عالية نحصل على معدل إنتاج عالٍ؛ ولكن بالمقابل يكون عمر الأداة قصير وهذا غير اقتصادي؛ لزيادة التكاليف بسبب استبدال الأداة في كل مرة ومن ناحية أخرى، فإن استخدام ظروف قطع منخفضة لإعطاء عمر أداة أطول لن يكون جيداً بسبب انخفاض معدل الإنتاج. لذلك فإن العديد من مؤسسات التصنيع المشهورة علمياً ببحراتها الفنية في البحث والتطوير تسعى دائماً لإيجاد الطرق المختلفة لتحسين عمر أداة القطع لزيادة معدل الإنتاج وتقليل التكلفة.

حيث يمثل عمر الأداة المدة التي تظل فيها الأداة فعالة في إنتاج أجزاء عالية الجودة ويمكن قياسها من خلال عدد المنتجات التي يمكن إنتاجها بدقة قبل أن تفقد الأداة خصائصها. بمجرد أن تصل الأداة إلى النقطة التي لم تعد قادرة فيها على الحفاظ على المواصفات المطلوبة للأجزاء التي تصنعها، وينتهي عمرها التشغيلي، مما يستلزم الاستبدال أو إعادة شحذها، وفي ماكينات القطع يعد تآكل الأداة وفشلها من الأحداث التي لا مفر منها. حيث تتعرض جميع أدوات القطع للتآكل والفشل في النهاية إذا استمرت في العمل. ومع ذلك فإن تحسين عمر الأداة يعتبر تحدياً للباحثين والمصنعين في تحسين كفاءة أداة القطع لكي تقلل كلفة الإنتاج وتزيد الإنتاجية.

حيث قام (Shah & Gawande, 2012) بدراسة تقدير الكلفة الاقتصادية لعملية التفريز على عمر أداة القطع ضمن دراستهما باستخدام السبيكة (s.s. 304)، التي تحددت بقيمتين فقط من سرعات القطع (50–75 m/min) مع قيمتين للتغذية (0.15–0.20 mm/rev) حيث توصلت دراستهما إلى أن أعلى عمر لأداة القطع هو 105 دقيقة عند أقل سرعة وأقل تغذية، ويبدأ عمر أداة القطع بالانخفاض عند زيادة سرعة القطع ومعدل التغذية. ودرس (Ahsan et al., 2012) عمر أداة القطع الكاربديده لسرعات قطع مختلفة (70–280) عند تشغيلها على سبيكة (α - β Ti-alloy) في عملية الخراطة وكانت حصيلة الدراسة أن زيادة سرعة القطع سوف تقلل من عمر أداة القطع. ولم تختلف استنتاجات Ráczkövi (2010) عن الباحثين الآخرين في مجال تأثير سرعة القطع ومعدل التغذية على انخفاض عمر أداة القطع بيد أنه استخدم الخراطة المركبة مع إدخال عمق القطع في دراسته. وكذلك درس Talib (2010) تأثير سرعة القطع ومعدل التغذية على انخفاض عمر الأداة عند معدل قطع ثابت تم إجراؤها على سبائك الصلب المخمرة، وباستخدام أداة قطع كريد التنجستن، واستنتج أيضاً أن سرعة القطع ومعدل التغذية لهما تأثير مباشر على عمر أداة القطع. كما درس الباحثان Ojolo & Ogunkomaiya (2014) تأثير ظروف القطع على عمر الأداة باستخدام أداة كريد التنجستن مع ثلاث مواد للقطع أجريت التجارب تحت ثلاث سرعات دوران، وثلاثة معدلات تغذية، وثلاثة أعماق قطع تم تحديد عدد التجارب باستخدام أسلوب تاغوشي لتصميم التجارب تم الحصول على أفضل ظروف قطع بواسطة (ANOVA) وباستخدام تحليل التباين، وكانت لسرعة الدوران باعتبارها دالة في سرعة القطع التأثير الأكثر أهمية على عمر الأداة متبوعاً بمعدل التغذية وعمق القطع. وقام Amaitik وآخرون (2005) بدراسة لتطوير نماذج عمر الأداة للتشغيل الآلي عن طريق نهج إحصائي يسمى تحليل الانحدار المتعدد، وتم تطبيق الدراسة على عملية تفريز لتصنيع الحديد الزهر، وتم إجراء العديد من التجارب الآلية والرياضية، وتم افتراض نماذج عمر الأداة باستخدام تحليل الانحدار ذي المربعات الصغرى، واعتمد الباحثون التحليل على نموذج من الدرجة الأولى يتم فيه التعبير عن عمر الأداة كدالة لمتغيرين مستقلين سرعة القطع ومعدل التغذية، وتم تطبيق تحليل التباين على التحقق من كفاءة النموذج والمعلمات الخاصة بها لغرض توضيح فائدة النماذج المطورة. كما درس (Mouli et al., 2019) تأثير طلاء أداة القطع على خواص سطح أداة القطع، وكان الطلاب المستخدم في هذه الدراسة خليط من التيتانيوم النيتريد (TiN) والتيتانيوم الألومينيوم النيتريد (TiAlN) باستخدام تقنية الترسيب الفيزيائي (PVD)، قيس عمر الأداة باستخدام معادلة تايلور عند ظروف عمل متطابقة، وتم تقدير عمر الأداة باستخدام الاختبار السطحي وعلى هذا الأساس، تم اختيار أفضل توليفة للطلاء حيث أظهرت النتائج عند طلاء أداة القطع بالتيتانيوم الألومينيوم النيتريد (TiAlN) تعطي أعلى عمر للأداة القطع وتزيد مقدار 4.7 عن استخدام التيتانيوم النيتريد (TiN) كطلاء. كما قام الباحثان (Davoodi & Eskandari, 2015) بدراسة تأثير عوامل القطع على عمر أداة القطع لأداة كريدية مطلية بالتيتانيوم والألومينيوم والنيتريد، وذلك باستخدام طريقة الترسيب الفيزيائي (PVD)، وكذلك معدل إزالة المعدن عند تشغيل قطعة من سبيكة من الحديد النيكل (N-155)، حيث تم دراسة هذه العوامل على الخارطة من عملية الخراطة، وذلك باستخدام منهجية سطح الاستجابة والتي استخدمت في تحديد العلاقة بين المدخلات والمخرجات الموضوع مسبقاً ومقدار الاستجابة لهذه العوامل، وكذلك استخدم الباحثون اختبار الأنوفا (ANOVA) لاختبار ملائمة النموذج الرياضي الخاص بعوامل القطع، وأظهرت النتائج توفيقاً جيداً بين النتائج العملية لعمر أداة القطع ومعدل إزالة المعدن مع النتائج التنبؤية الحاصل عليها من النموذج الرياضي، وكما قام الباحثون باختبار أداة القطع تحت المجهر (SEM) لتحليل آلية اهتراء أداة القطع عند سرعات قطع مختلفة ووجد أن اهتراء اللصق هو العامل المسيطر على انهيار أداة القطع، وقد خلصت النتائج باعتمادها على العمليات المثلى لعوامل الاستجابة المتعدد

أن عوامل القطع المثلى لأقصى معدل إزالة المعدن في أقل زمن قطع حيث كانت سرعة القطع 85.55m/min ومعدل التغذية 0.2mm/rev . كما قام الباحثان (Qehaja & Kyçyku, 2017) باعتماد منهجية لتطوير التنبؤ بعمر أداة القطع خلال عملية الخراطة لعينة من الصلب المصلد (42CrMo4) عند مستويات مختلفة من التصليد، وتم التحقق من اهتراء أداة القطع الكريبيدية المطلية بالتيتانيوم النيتريد (TiN) تحت القطع الجاف، استخدمت ثلاث عوامل قطع (سرعة القطع، معدل التغذية، عمق القطع) لثلاثة مستويات قطع في تصميم التجارب، وتم استخدام الترابط الخطي المتعدد لتحديد تأثير عوامل القطع على عمر أداة القطع في معادلة تايلور، وكانت النتائج العملية في هذه الورقة يتناقض مع سرعة القطع ومعدل التغذية وعمق القطع وصلادة المعدن، وكما أظهرت التحقيقات أن سرعة القطع التأثير الأكبر وعمق القطع التأثير الأقل عند جميع مستويات الصلادة، ومع تحليل التباين لتعيين العامل الأكثر تأثيراً وجد أن جميع العوامل لها تأثير على عمر الأداة ومن المهم بمكان أن يتم اختيار أداة القطع المناسبة مع أفضل عوامل قطع وتقليل الاهتراء والكسر في الأداة لزيادة عمر الأداة ودقة التشغيل الإنتاجية. كما درس (Rao et al., 2014) عوامل القطع (سرعة القطع، معدل التغذية، عمق القطع) للحصول على أفضل عمر أداة القطع وأفضل إنهاء سطحي خلال عملية خراطة لعينة من الألومنيوم باستخدام لقمة كريبيديه، حيث أظهرت النتائج من هذه الدراسة أن عمر أداة القطع يقل مع زيادة سرعة القطع وقوة القطع ومعدل إزالة المعدن، أظهرت نتائج برنامج الماتلاب (MATLAB) المستخدم في هذه الدراسة أن أفضل إنهاء سطحي تقريباً مساوياً لمتوسط ثلاث مراحل الناتجة (تثبيت عاملين من عوامل القطع وتغيير الثالث)، وكانت العمليات المثلى الناتجة من برنامج الماتلاب تعطي إنهاء سطحي مقبول مع أفضل عمر أداة. وقام الباحثان (Feldshtein & Wojciechowski, 2017) بتقدير تأثير المواد التزليقية على كثافة الاهتراء في أداة القطع الكريبيدية P25 في خراطة الصلب C45 باستخدام الخراطة الجافة واستخدام المواد التزليقية (5% EMULGOL) عند سرعات قطع من 450m/min إلى 250m/min ، وأظهرت النتائج في هذه البحث عند استخدام الخراطة الجافة ما هو حجم الاهتراء كبير، وعند استخدام المواد التزليقية كانت مساحة الاهتراء في سطح أداة القطع صغيرة بالمقارنة بالخراطة الجافة، وهذا الفرق يزداد كلما زادت سرعة القطع وبينت النتائج معدل الاهتراء يقل بمقدار 40% عند استخدام أقصى سرعة قطع ويصل إلى 30% عند استخدام أدنى سرعة قطع، وتحليل EDS بين أن سبب ذلك هو أن المواد التزليقية تكون مضاداً للاهتراء وطبقة ضغط عند منطقة القطع (سطح التلامس بين أداة القطع ومعدن الشغلة) واعتماداً على النتائج في هذه البحث أقصى كفاءة لمواد المستحلب التزليق يكون عند سرعات القطع العالية، وكذلك أن المواد المضافة الفعالة من شأنها أن تحسن ظروف العملية في هذه الطريقة. وقام (Cetin et al., 2011) بدراسة تأثير زاوية القلم على الاهتراء (البلي) لأداة القطع نوع PCBN وبينت هذه الدراسة أن لزاوية القلم التأثير الكبير على قوة القطع وعمر أداة القطع، وأن مركبات القوة الثلاثة تزداد مع زيادة زاوية القلم، وكانت زاوية القلم المثلى التي تعطي أقصى عمر لأداة القطع والمقترحة في هذه الدراسة كانت 15°. وكذلك درس (Khan et al., 2009) تأثير زاوية الجرف (Rake angle) وسرعة القطع، وعمق القطع على الإجهادات الداخلية في خراطة المواد الصلدة، وبينت النتائج أن كبر زاوية الجرف السالبة تعطي إجهادات ضغط عالية، وهذه الإجهادات تزداد مع زيادة معدل التغذية. من المعروف أن عمر الأداة الأطول يمكن الحصول عليه من خلال ظروف القطع منخفضة المستوى، لكن من الناحية العملية لا يمكننا أداء العمليات عند ظروف منخفضة؛ لأنها تسبب في زيادة زمن التشغيل وتزيد من تكلفة إنتاج القطعة.

لذا كان الهدف من هذه الدراسة هو تحديد ظروف القطع المثلى لكي نحصل على التوليفة المناسبة التي تعطي أفضل

معدل إنتاج بأقل كلفة.

2. الإجراءات العملية

تم دراسة تأثير ثلاثة قيم من سرعة القطع ومعدل التغذية وعمق القطع على عمر أداة القطع في عملية الخراطة باستعمال معدن الفولاذ متوسط الكربون لتنبؤ بعمر أداة القطع وذلك بتقدير قيم الثوابت في معادلة تايلور، وتم تقدير التكلفة الإجمالية للجزء المصنوع المفترض وتقدير زمن الإنتاجية، وبالتالي يتم تحديد ظروف القطع المثلى للأداة. تم اختيار معدن الفولاذ متوسط الكربون (C35) باعتباره من المعادن الأكثر استخداماً داخل الورشة والجدول (1) يبين التركيب الكيميائي الوزني للصلب (C35).

جدول 1. التركيب الكيميائي الوزني للصلب C35

العنصر	C	Si	Mn	P	Cr	Ni	Fe
النسبة wt. %	0.39-0.32	<0.40	0.80-0.50	<0.045	<0.4	<0.4	ما تبقى

حيث كانت العينة التي أجريت عليها التجارب بطول 1200 مم وبقطر 100 مم، تم اختيار قلم خراطة مناسب (P10) بحيث تجرى كل تجربة بقلم (لقمة من جهة واحدة) والذي سيتم تسجيل العمر الزمني له تحت تأثير ظروف التشغيل المختلفة، والشكل (1) يوضح القلم الذي ستجرى به عملية الخراطة، والجدول (2) يبين عوامل القطع المستخدمة ومستوى كل عامل منها.



شكل 1. قلم الخراطة المستعمل

جدول 2. عوامل القطع المستخدمة ومستوى كل عامل

عوامل القطع	الوحدة	المستوى الأول	المستوى الثاني	المستوى الثالث
سرعة القطع	m/min	46	56	76
معدل التغذية f	mm/rev	0.058	0.085	0.1
عمق القطع a	mm	1	2	3

1.2. تصميم التجربة

يعتبر تصميم التجارب أحد الطرق الأكثر شمولاً في تطوير المنتجات، وهو نهج إحصائي يحاول توفير المعرفة التنبؤية لعملية معقدة ومتعددة المتغيرات مع عدد قليل من التجارب، وفيما يلي النهج الرئيس لتصميم التجارب.

1.1.2. طريقته تافوشي (Taguchi method):

في التجارب العملية عند استخدام ثلاثة عوامل قطع وثلاث مستويات لهذه العوامل يكون للتصميم الكامل (full factorial combination) الذي ينتج عنه عدد كبير من التجارب (33) من التجارب، وتعتبر هذه العملية شاقة

ومعقدة وذات كلفة، وللتغلب على هذه المشكلة سيتم استخدام طريقة تاكوتشي لتصميم التجارب لهذه الدراسة وفقاً لعدد عوامل القطع ومستوياتها لتقليل عدد التجارب.

هذه الطريقة تتطلب إجراء جزء فقط من تركيبات العوامل الكاملة (full factorial combination)، كما أنها تعتبر طريقة هندسية لتقليل التباين أو حساسية العوامل الجانبية (الضوضاء)، ويمكن لطريقة تاكوتشي تحليل العديد من العوامل مع عدد أقل من التكرار، وهي تصميم متوازي، أي لا يوجد عامل مرجح أكثر، أو أقل والتي تعطي لتحليل العوامل بشكل مستقل عن بعضها البعض.

وبناء على ظروف الحالة التي تنطبق على النوع الثاني لذلك تم اختيار المصفوفة المتعامدة L9. والجدول (3) يوضح التصميم التجريبي لمصفوفة متعامدة L9 المصممة بطريقة تاكوتشي.

جدول 2. التصميم التجريبي للمصفوفة المتعامدة L9.

رقم التجربة	عوامل التحكم		
	سرعة الدوران	معدل التغذية	عمق القطع
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

2.1.2. قياس عمر أداة القطع:

اعتمدت الدراسة بشكل أساسي على قياس عمر أداة القطع باستخدام ساعة إيقاف عند ظهور صوت مميز أثناء عملية التشغيل (صير)، والذي يوحي بانتهاء العمر التشغيلي والفعلي لأداة القطع أو تولد حرارة عالية وتساعد دخان نتيجة للاحتكاك العالي، والذي يظهر أولاً يعتبر المؤشر لانتهاء عمر أداة القطع. واعتماد هذه الطريقتان في تحديد عمر أداة القطع بناءً على عدة مراجع ودراسات سابقة تعتمد على هذه الطريقة المباشرة في تحديد عمر الأداة، وتم استخدام مقياس متري لقياس المسافة التي قطعتها الأداة قبل انتهاء عمرها.

3.1.2. تقدير زمن الإنتاج:

يعرف زمن الإنتاج على أنه الزمن اللازم لتشغيل قطعة عمل واحدة بعملية قطع محددة.

زمن الإنتاج = زمن التشغيل + زمن التجهيز + زمن المناولة + زمن الراحة (1)

ويعرف زمن التشغيل بأنه الزمن الفعلي الذي يتم فيه إزالة الرايش من قطعة العمل.

وفي هذا البحث سوف يهمل زمن المناولة والتجهيز والراحة؛ لأنه يمثل قيمة صغيرة في التجارب العملية.

زمن الإنتاج = زمن التشغيل (2)

في هذه الدراسة سيتم افتراض الشغلة التي سيتم حساب زمن التشغيل لها، على أنها المواد التي يجب إزالتها بطول 110 مم وعمق 3 مم، وتحسب المسافات التي تم قياسها لكل التجارب مع الأخذ في الاعتبار عمق كل تجربة، أي التجربة التي عمق قطعها 1 مم تقسم على 3، والتي عمق قطعها 2 تضرب في $\frac{2}{3}$ ، وتبقى مسافة ذات عمق 3 مم كما هي، وهذه المسافة تمثل طول الشغلة عند كل تجربة، حيث زمن تشغيل تلك الشغلة هو عمر تلك الاداة. وبما ان طول الشغلة المفترضة 110 مم ومن هنا يمكن حساب زمن تشغيل الشغلة المفترضة لكل تجربة بطريقة (Interpolation).

عمر أداة القطع (min) \propto المسافة التي قطعها مع الأخذ بالاعتبار أعماق القطع.

زمن التشغيل (min) للشغلة المفترضة \propto الشغلة المفترضة (عمق 3 مم وطول 110 مم).

$$(3) \dots\dots \frac{\text{الشغلة المفترضة} * \text{عمر أداة القطع}}{\text{المسافة المقطوعة}} = \text{زمن التشغيل للشغلة المفترضة لكل تجربة}$$

4.1.2. حساب عدد القطع المصنعة بأداة واحدة:

بعد حساب زمن التشغيل يتم حساب عدد القطع المصنعة بأداة واحدة بقسمة عمر أداة القطع في التجارب العملية على زمن تشغيل الشغلة المفترضة.

$$(4) \dots\dots \frac{\text{عمر أداة القطع}}{\text{زمن تشغيل الشغلة المفترضة}} = \text{عدد القطع المصنعة بأداة واحدة}$$

5.1.2. تقدير الكلفة الإجمالية للتشغيل:

أ) كلفة الماكينة والعمال:

تقدر كلفة الساعة للماكينة وكلفة العامل، حيث قدرت ساعة الماكينة بـ 3 دينار للساعة وساعة العامل 20 دينار والمعادلة التالية تبين حساب تكلفة الماكينة والعامل لتجربة الواحدة.

$$(5) \dots\dots \frac{\text{زمن التشغيل} * 23}{60} = \text{تكلفة الدقيقة للماكينة و العامل}$$

ب) كلفة الأداة للشغلة الواحد:

قدرت كلفة الأداة في السوق الليبي بواقع 15 دينار للأداة الواحدة والمعادلة التالية تبين كيفية حساب كلفة الأداة في الجزء المصنع والكلفة الإجمالية.

$$(6) \dots\dots \frac{\text{كلفة الأداة}}{\text{الأجزاء المصنعة بالأداة الواحدة}} = \text{كلفة الأداة للشغلة الواحدة}$$

$$(7) \dots\dots \text{الكلفة الإجمالية للعملية} = \text{تكلفة الماكينة والعامل} + \text{تكلفة الأداة للجزء الواحد}$$

2.2. إجراء التجارب

أجريت التجارب وفقاً لتصميم التجارب الموضح في الجدول (3)، وتم قياس عمر أداة القطع والمسافة التي تم قطعها على طول القطعة لكل تجربة باستخدام ساعة إيقاف ومقياس متري، ويبين الجدول (4) قيم عمر أداة القطع المتحصل عليها من التجارب المختلفة بجانب المسافة المقطوعة لعمر الأداة وفقاً لمصنوفة L9.

جدول 4. النتائج التجريبية لعمر أداة القطع والمسافة التي قطعها الأداة

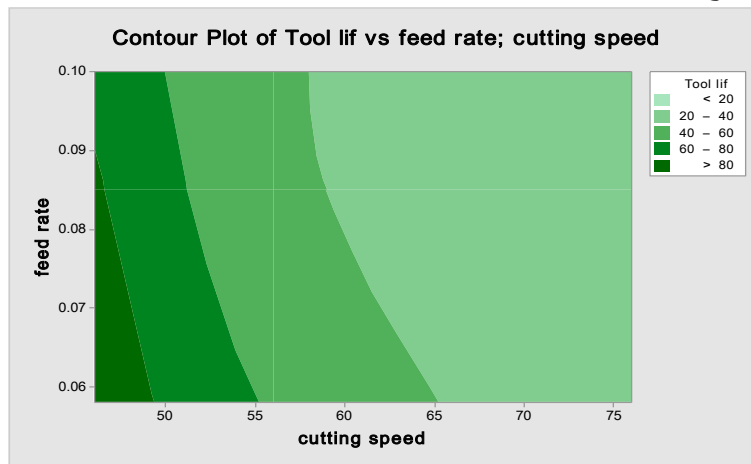
الترتيب	رقم التجربة	سرعة القطع (m/min)	معدل التغذية (mm/rev)	عمق القطع (mm)	المسافة التي قطعها الأداة (CM)	عمر الأداة (min)
9	1	46	0.058	1	307	95
8	2	46	0.085	2	288	83
1	3	46	0.1	3	232	74
7	4	56	0.058	2	174	58
2	5	56	0.085	3	140	46
6	6	56	0.1	1	166	44
3	7	76	0.058	3	96	32
5	8	76	0.085	1	188	31
4	9	76	0.1	2	132	20

3. النتائج والمناقشة

1.3 نتائج تحليل تأثير عوامل القطع على عمر الأداة

1.1.3 تأثير سرعة القطع ومعدل التغذية على عمر أداة القطع:

يبين الشكل (2) تأثير سرعة القطع على عمر الأداة عند قيم تغذية مختلفة في كل منطقة من المناطق حسب ما هو موضح وتبين هذه المناطق أنه كلما زادت سرعة القطع قل عمر الأداة وذلك بسبب الحرارة المتولدة من السرعات العالية وتؤدي هذه الحرارة إلى بلي الحد القاطع لقمم المخرطة. ويوضح أن عمر أداة القطع يزداد كلما قلت سرعة القطع ومعدل التغذية. أي أن علاقة عمر أداة القطع مع كل من سرعة القطع ومعدل التغذية علاقة عكسية.

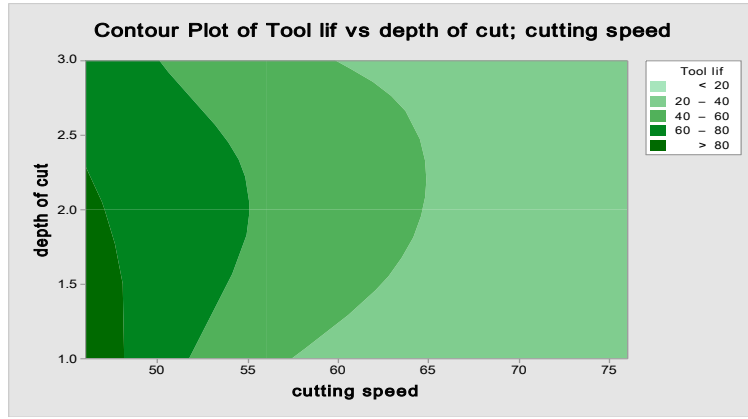


شكل 2. العلاقة بين سرعة القطع وعمر أداة القطع عند معدلات تغذية مختلفة

2.1.3 تأثير سرعة القطع وعمق القطع على عمر أداة القطع:

يمكن أن نلاحظ في الشكل (3) أن الزيادة في سرعة القطع عند أي عمق قطع تؤدي إلى انخفاض معدل عمر أداة القطع، وأوضح الشكل أيضاً سرعة القطع العالية تزيد من انحراف الحد القاطع، الأمر الذي يقلل من عمر أداة القطع، وأن عمق القطع له أثر في عمر أداة القطع، إذ أن زيادة عمق القطع مع سرعات عالية تؤدي إلى الانتهاء السريع لعمر أداة القطع نتيجة قطع المزيد من المواد.

مما يعني الحاجة إلى مزيد من الطاقة وسيؤدي ذلك إلى زيادة قوة القطع وبالتالي الانتهاء السريع لأداة القطع، ويوضح الشكل أدناه تأثير أعماق القطع على عمر الأداة لجميع قيم السرعات، وكما نرى أن مع زيادة عمق القطع انخفض عمر أداة القطع عند جميع السرعات، حيث أن مع زيادة عمق القطع يزداد طول التلامس لحافة القطع ويحدث التآكل بشكل أعمق على طول حافة القطع. وفي الخلاصة يمكن أن نقول إنه تبين لنا أن الزيادة أو النقصان في ظروف القطع يؤثر على عمر أداة القطع أيضاً بالزيادة أو النقصان أي أن علاقة ظروف القطع مع عمر أداة القطع علاقة عكسية. كما تبين أن لكل عامل من عوامل القطع له تأثير على عمر الأداة يختلف عن تأثير العاملين الآخرين من العوامل المختارة في هذه الدراسة.



شكل 3. العلاقة بين عمر أداة القطع وسرعة القطع تحت أعماق قطع مختلفة

2.3. تحليل تاقوشي (نسبة الإشارة إلى الضوضاء)

بعد تشغيل العينات بالظروف المبينة بالجدول (4) والحصول على قيم عمر أداة القطع وفقاً للمصفوفة المتعامدة L9 لدراسة تأثير كل عامل من العوامل الثلاثة، ويوضح الجدول (5) نسبة الاستجابة للتجارب العملية.

جدول 5. نسبة الاستجابة للتجارب العملية

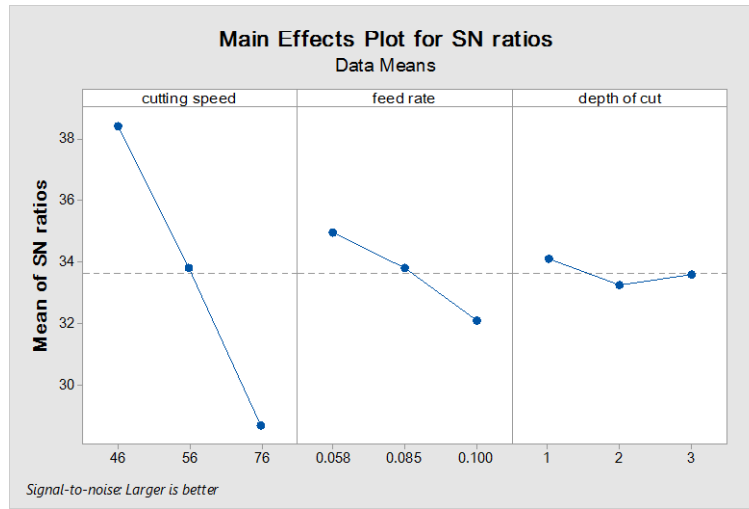
رقم التجربة	سرعة القطع (m/min)	معدل التغذية (mm/rev)	عمق القطع (mm)	عمر أداة القطع (min)	معدل الاستجابة
1	46	0.058	1	95	39.55
2	46	0.085	2	83	38.38
3	46	0.1	3	74	37.38
4	56	0.058	2	58	735.2
5	56	0.085	3	46	33.25
6	56	0.1	1	44	732.8
7	76	0.058	3	32	30.1
8	76	0.085	1	31	329.8
9	76	0.1	2	20	26.02

والجدول (6) يبين أن لسرعة القطع التأثير الأكبر على متغير الاستجابة رتبة (1) ويليه في التأثير معدل التغذية رتبة (2) ثم يأتي عمق القطع بأقل تأثير رتبة (3).

جدول 6. نسبة الاستجابة لنسب الإشارة إلى الضوضاء لعمر أداة القطع (الأفضل هو الأفضل)

المستوى	سرعة القطع	معدل التغذية	عمق القطع
1	84	61.67	56.67
2	49.33	53.33	53.67
3	23	46	27.67
الفرق	56.33	15.67	6
الرتبة	1	2	3

بين استخدام نسبة الإشارة إلى الضوضاء المستوى الأمثل لكل عامل كما هو موضح بالشكل حيث كانت القيمة الأمثل لسرعة القطع (46)، ولمعدل التغذية (0.058)، أما عمق القطع فكان (1مم)، والشكل (4) يوضح لنا تأثير المعلمات على الاستجابة.



شكل 4. تأثير متغيرات العملية على نسبة الإشارة إلى الضوضاء

3.3. تحليل التباين ANOVA

هو أسلوب إحصائي لتفسير النتائج التجريبية، ويستخدم على نطاق واسع للتحقق من الاختلافات في متوسط أداء مجموعات العناصر، وبالتالي معرفة المتغيرات المساهمة في الاختلاف الكلي، والغرض من استخدام تحليل التباين دراسة التأثيرات النسبية لمتغيرات متعددة.

يمكن لتحليل التباين (ANOVA) تحديد النسبة المئوية لمساهمة المتغيرات المستقلة (سرعة القطع-معدل التغذية-عمق القطع) بشكل فردي على المتغير التابع (عمر أداة القطع)، كما هو واضح في الجدول (7)؛ حيث كان عامل سرعة القطع هو الأكثر تأثيراً على عمر أداة القطع بنسبة 91.9%، ويليه معدل التغذية بنسبة 6% بينما كان تأثير عمق القطع الأقل تأثيراً على عمر أداة القطع بنسبة 1.2%.

جدول 7. نتيجة تحليل أنوفا (ANOVA) وتحديد نسبة المساهمة لكل عامل على عمر أداة القطع

مصدر التباين	درجة الحرية	مجموع مربعات الانحراف Seq-ss	مجموع الانحرافات Adj-ss	متوسط التباين adj-ms	قيمة F المحسوبة	الاحتمال P	نسبة المساهمة %
سرعة القطع	2	4844.67	4844.67	2422.33	1816	0.001	91.9%
معدل التغذية	2	368.67	368.67	184.33	138	0.007	6.9%
عمق القطع	2	54	54	27	20	0.047	1.2%
الخطأ	2	2.67	2.67	1.33			0.05%
المجموع	8	5270					

4.3. تقدير التكلفة واختيار ظروف القطع المثلى

الجدول (8) يبين التكلفة التقديرية ومعدل الإنتاج للتجارب العملية التي أجريت واستخدمت المعادلات المبينة التي سبق ذكرها في هذه الدراسة.

جدول 8. تقدير التكلفة ومعدل الإنتاج للتجارب العملية

رقم التجربة	سرعة القطع	معدل التغذية	عمق القطع	المسافة التي قطعها الأداة (cm)	عمر أداة القطع (min)	طول المشغولة	زمن التشغيل المفترضة	عدد القطع المصنعة بأداة	تكلفة الماكينة في القطعة (د.ل)	تكلفة الأداة في القطعة (د.ل)	التكلفة الكلية (د.ل)
1	46	0.058	1	307	95	102	102	0.93	39	16	55
2	46	0.085	2	288	83	192	48	1.7	18	8	26
3	46	0.1	3	232	74	232	35	2.1	13	7	20
4	56	0.058	2	174	58	116	55	1.	21	14	35
5	56	0.085	3	140	46	140	36	1.3	14	11	25
6	56	0.1	1	166	44	55	87	0.5	33	30	63
7	76	0.058	3	96	32	96	36	0.87	14	17	31
8	76	0.085	1	188	31	62	54	0.57	21	26	47
9	76	0.1	2	132	20	88	25	0.8	10	18	28

من الجدول (8) يمكننا القول أن أطول عمر أداة القطع يتم الحصول عليه عند سرعة منخفضة وتغذية وعمق منخفض؛ لكن من الناحية العملية لا يمكننا تشغيل الماكينة عند هذه الظروف المنخفضة دون الأخذ في الاعتبار زمن التشغيل باعتباره دالة في عدد القطع المصنعة في أداة واحدة، والتي تمثل معدل الإنتاج فعند اختيار ظروف منخفضة تسبب في زيادة زمن التشغيل، فاختيار عمر الأداة الأمثل يتمثل في أخذ التوليفة المناسبة بين معدل الإنتاج والتكلفة الكلية للماكينة والجدول أعلاه يوضح الفرق بين عمر أداة القطع لجميع الظروف المختارة، فإن عمر الأداة الأمثل الذي يتم من خلاله تحديد ظروف القطع المثلى يكون عند سرعة 46 متر/دقيقة وبمعدل تغذية 0.1 مم/لفة وبعمق قطع 3 مم، فعمر الأداة في هذه الظروف 74 دقيقة وبمعدل إنتاج 2 جزء/أداة واحدة وبتكلفة كلية 20 دينار لبي للجزء الواحد، وهناك عمر أداة آخر بنفس التكلفة تقريباً، ولكن بأقل في معدل الإنتاج، والجدول يوضح جميع قيم التكلفة لجميع ظروف التشغيل للتجربة، وعلى ضوء هذا الجدول يتم اختيار الظروف المثلى للحصول

على عمر أداة إنتاجي واقتصادي، والجدول (9) يوضح ترتيب ظروف القطع من ناحية التكلفة الكلية ومعدل الإنتاج المتمثل في عدد الأجزاء المصنعة بأداة واحدة .

جدول 9. ترتيب ظروف القطع حسب أقل كلفة وأعلى معدل إنتاج.

رقم التجربة	سرعة القطع	معدل التغذية	عمق القطع	المسافة التي قطعها الأداة	عمر أداة القطع	طول المشغولة	زمن التشغيل المشغولة المفترضة	عدد القطع المصنعة بالأداة	تكلفة الماكينة في القطعة (د.ل)	تكلفة الأداة في القطعة (د.ل)	التكلفة الكلية (د.ل)
3	46	0.1	3	232	74	232	35	2.1	13	7	20
5	56	0.085	3	140	46	140	36	1.3	14	11	25
2	46	0.085	2	288	83	192	48	1.7	18	8	26
9	76	0.1	2	132	20	88	25	0.8	10	18	28
7	76	0.058	3	96	32	96	36	0.87	14	17	31
4	56	0.058	2	174	58	116	55	1.	21	14	35
8	76	0.085	1	188	31	62	54	0.57	21	26	47
1	46	0.058	1	307	95	102	102	0.93	39	16	55
6	56	0.1	1	166	44	55	87	0.5	33	30	63

تظهر نتائج تقدير التكلفة ومعدل الإنتاج، أن استخدام عمق قطع عالٍ وسرعة منخفضة ومعدل تغذية عالٍ من شأنه الحصول على عمر أمثل للأداة، بحيث يعطي معدل إنتاج عالٍ وتكلفة أقل ما يمكن. والجدول (10) يوضح نتائج التكلفة ومعدل الإنتاج المتمثل في عدد القطع المصنعة لظروف القطع المعمول بها لدى الفني في الورشة وظروف القطع المختارة بعد إجراء الدراسة والمقارنة بينهما وإجراء التحسينات عليها.

جدول 10. نتائج ظروف القطع المعمول بها لدى الفني في الورشة وظروف القطع المختارة بعد إجراء الدراسة والمقارنة بينهما وإجراء التحسينات عليها.

التكلفة الكلية للجزء (دينار)	عدد الأجزاء المصنعة بالأداة (جزء)	ظروف القطع			البيان
		عمر أداة القطع	عمق القطع	معدل التغذية	
35 د.ل	1	58	2	0.058	الفني
20 د.ل	2	74	3	0.1	الباحث
%42.9	%100	%27.5			التحسينات

أظهرت الدراسة زيادة في معدل الإنتاج بمقدار جزء بالأداة تقريباً، وتقليل في التكلفة بمقدار 15 دينار للجزء الواحد، وهذه التحسينات لا ينظر إليها في عمليات التشغيل القليلة كالتجارب العملية؛ بل ينظر إليها وتعود فائدتها في عمليات التشغيل الكبيرة التي لديها عشرات ومئات الأشواط.

4. الاستنتاجات

في هذه الدراسة تمت دراسة تأثير عوامل القطع (سرعة القطع، عمق القطع، معدل التغذية) مع ثلاثة مستويات لكل عامل في عملية الخراطة الطولية على عمر أداة القطع، وكان المعدن المستخدم في عملية الخراطة هو الفولاذ متوسط الكربون (C35)، وكانت الأداة المستخدمة في الدراسة أداة قطع كربيدية (P10). وكما تمت دراسة تأثير ظروف القطع على معدل الإنتاج والتكلفة. وقدمت هذه الورقة طريقة لتحسين عمر أداة القطع بتحديد القيم المثلى لظروف القطع (سرعة القطع، عمق القطع، ومعدل التغذية)، التي تعطي أفضل معدل إنتاج وأقل كلفة. ويمكن سرد النتائج في النقاط التالية:

- أن الزيادة في سرعة القطع تؤدي إلى انخفاض في عمر الأداة، وكذلك الزيادة في معدل التغذية وعمق القطع.
- وجد أن ظروف القطع المحددة من قبل الفني أقل تحفظاً من تلك المحددة من قبل الباحث؛ لأنها لا تأخذ في الاعتبار تكلفة التشغيل ومعدل الإنتاج، وهذا ما أخذه الباحثون في الاعتبار واعتبره مؤشراً رئيساً في اختيار ظروف القطع المثلى.
- ظروف القطع المثلى التي تم الحصول عليها لتحسين عمر أداة القطع في عملية الخراطة عند سرعة قطع 46 متر/دقيقة ومعدل تغذية 0.1 مم/لفة وعمق قطع 3 مم.
- من جدول تحليل (ANOVA) يتضح أن عامل سرعة القطع هو الأكثر تأثيراً على عمر أداة القطع بنسبة 91.9%، ويليه معدل التغذية بنسبة 6.9%، بينما كان تأثير عمق القطع الأقل تأثيراً على عمر أداة القطع بنسبة 1.2%.

المراجع

- Ahsan, K. B., Mazid, A. M., Clegg, R. E., & Pang, G. K. H. (2012). Study on carbide cutting tool life using various cutting speeds for α - β Ti-alloy machining. *Journal of achievements in materials and manufacturing engineering*, 55(2), 601-606.
- Amaitik, S. M., Taşgin, T. T., & Kilic, S. E. (2006). Tool-life modelling of carbide and ceramic cutting tools using multi-linear regression analysis. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 220(2), 129-136.
- Cetin, M. H., Ozcelik, B., Kuram, E., & Demirbas, E. (2011). Evaluation of vegetable based cutting fluids with extreme pressure and cutting parameters in turning of AISI 304L by Taguchi method. *Journal of Cleaner Production*, 19(17-18), 2049-2056.
- Davoodi, B., & Eskandari, B. (2015). Tool wear mechanisms and multi-response optimization of tool life and volume of material removed in turning of N-155 iron-nickel-base superalloy using RSM. *Measurement*, 68, 286-294.
- Feldshtein, E. E., & Wojciechowski, S. (2017). Wear of carbide inserts during turning of C45 steel in dry cutting conditions and in presence of emulsion mist. In: *E3S Web of Conferences* (Vol. 19, p. 03009). EDP Sciences.
- Khan, M. M. A., Mithu, M. A. H., & Dhar, N. R. (2009). Effects of minimum quantity lubrication on turning AISI 9310 alloy steel using vegetable oil-based cutting fluid. *Journal of materials processing Technology*, 209(15-16), 5573-5583.

- Lubis, S. Y., Djamil, S., & Zebua, Y. K. (2020). Effect of cutting speed in the turning process of AISI 1045 steel on cutting force and built-up edge (BUE) characteristics of carbide cutting tool. *Sinergi*, 24(3), 171-176.
- Mouli, A.C., Datta, T.K., Sinha, V., & Srinadh, A. (2019). Prediction of tool life of a single point cutting tool under different metallic coatings, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(7), 2628-2631
- Ojolo, S. J., & Ogunkomaiya, O. (2014). A study of effects of machining parameters on tool life. *International Journal of Materials Science and Applications*, 3(5), 183-199.
- Qehaja, N., & Kyçyku, A. (2017). Tool life modeling based on cutting parameters and work material hardness in turning process. *Machines. Technologies. Materials.*, 11(7), 356-359.
- Ráczkóvi, L. (2010). Tool life of cutting tool in case of hard turning. *Hungarian Journal of Industry and Chemistry*, 38(2), 133-136.
- Rao, C. J., Sreemulu, D., & Mathew, A. T. (2014). Analysis of tool life during turning operation by determining optimal process parameters. *Procedia Engineering*, 97, 241-250.
- Shah, I. B., & Gawande, K. R. (2012). Optimization of Cutting Tool Life on CNC Milling Machine Through Design of Experiments-A Suitable Approach—An overview. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 1(4), 208-216.
- Talib, N. A. (2010). Studying the effect of cutting speed and feed rate on tool life in the turning processes. *Diyala Journal of Engineering Sciences*, Special issue, 181-194.