معايير الارجونوميكس المهني للتصنيع الرقمي لمنتجات الأثاث المعدني

Occupational Ergonomics Standards for Digital Manufacturing of Metal Furniture Products

ا.د/ وائل محمد جليل محمد جليل

أستاذ هندسة العوامل البشرية بقسم تصميم الأثاث والإنشاءات المعدنية كلية الفنون التطبيقية جامعة حلوان

Dr. Wael Mohamed-Galil

Professor of Human Factors Engineering, faculty of applied arts, Helwan university

dr.wgalil@hotmail.com

م.د/ وليد عبد الفتاح عبد السلام

مدرس بقسم تصميم الأثاث والإنشاءات المعدنية كلية الفنون التطبيقية جامعة حلوان

Dr. Waleed Abd Elftah Afify

Lecture, faculty of applied arts, Helwan university

waleed.eissa@yahoo.com

الملخص

يعد الارجونوميكس المهني هو المسئول عن العلاقة بين العامل والالة في بيئة العمل لتحقيق أداء سلس ومريح وامن، ومن ثم فإن الارجونوميكس المهني للتصنيع الرقمي يهتم بتوضيح العلاقة بين ماكينات الإنتاج الرقمية والعامل في بيئة العمل لتحقيق أفضل جودة وأداء. ويمكن التعبير عن مشكلة البحث من خلال الاسئلة الاتية: - ما مدى التوافق الارجونومى بين ماكينات الانتاج الرقمى والعمال العاملين عليها في مجال انتاج الأثاث المعدني؟ - وهل يمكن تحسين هذا التوافق الارجونومى بالاستعانة بمعايير الارجونوميكس المهنى من اجل تحقيق أفضل جودة وأمان للعمال العاملين فى هذا المجال؟ ويهدف البحث إلى تحديد معايير الارجونوميكس المهنى التى تحكم العلاقة بين ماكينات نظم الانتاج الرقمي لأثاث المعدني وبين العمال العاملين عليها. من اجل تحسين التوافق بين ماكينات الانتاج الرقمي وبين العمال لتحقيق أفضل جودة وأمان فى بيئة العمل. ويستخدم البحث المنهج الوصفي التحليلى لرصد العلاقة بين ماكينات نظم الانتاج الرقمى والعمال العاملين عليها وتحليل هذه العلاقة للخروج بمعايير ارجونومية تحكم هذه العلاقة المتبادلة لتحقيق أفضل جودة وأمان فى بيئة العمل. من خلال عدة محاور وهى:- أولاً: نشأة ومفهوم التصنيع الرقمي - ثانياً: الارجونوميكس المهني وارتباطه بماكينات التصنيع الرقمي لمنتجات الاثاث المعدني - ثالثاً: استنتاج معايير الارجونوميكس المهني للتصنيع الرقمي - وتوصل البحث لعدد من النتائج والتوصيات منها: - يعد الأرجونوميكس المهني للتصنيع الرقمي من اهم المتطلبات الحديثة نظرا للتحول نحو العصر الرقمي في التصنيع مما استلزم وجود عوامل ارجونومية تحقق الضوابط والمعايير الارجونومية التي تناسب الأداء الجيد للوظائف وتناسبها مع العامل او المشغل والماكينات الرقمية. - إجراء المزيد من الدراسات حول تطبيقات الأرجونوميكس في العصر الرقمي وما تبعه من اختلاف في المتطلبات والمعايير الارجونومية التي تتناسب مع المهام الجديدة.

الكلمات المفتاحية:

الارجونوميكس المهني، التصنيع الرقمي، الأثاث المعدني

Abstract:

Occupational ergonomics is responsible for the relationship between the worker and the machine in the work environment to achieve smooth، comfortable and safe performance، and therefore professional ergonomics for digital manufacturing is concerned with clarifying the

relationship between digital production machines and the worker in the work environment to achieve the best quality and performance. The research problem can be expressed through the following questions: - What is the extent of ergonomic compatibility between digital production machines and technicians working on them in the field of metal furniture production? Is it possible to improve this ergonomic compatibility using professional ergonomics standards in order to achieve the best quality and safety for technicians working in this field? The research aims to determine the occupational ergonomics standards that govern the relationship between the machines of digital production systems for metal furniture and the technicians working on them. In order to improve the compatibility between digital production machines and technicians to achieve the best quality and safety in the work environment. The research uses the descriptive analytical method to monitor the relationship between the machines of digital production systems and the technicians working on them and analyze this relationship to come up with ergonomic criteria governing this mutual relationship to achieve the best quality and safety in the work environment. Through several axes:- First: The emergence and concept of digital manufacturing - Second: Professional ergonomics and its link to digital manufacturing machines - Third: Conclusion of professional ergonomics standards for digital manufacturing - The research reached a number of results and recommendations، including:- occupational ergonomics for digital manufacturing is one of the most important modern requirements due to the shift towards the digital age in manufacturing، which necessitated the presence of ergonomic factors that achieve ergonomic controls and standards that suit the good performance of jobs and their suitability with the worker or operator and digital machines.- Conducting more studies on the applications of ergonomics in the digital age and the consequent difference in ergonomic requirements and standards that suit new tasks.

Keywords:

Occupational Ergonomics، Digital Manufacturing، Metal Furniture

مقدمة:

يهتم الارجونوميكس المهني occupational-ergonomics بتطوير تصميم النظم التي يؤدي فيها الأفراد العمل، وكل نظم بيئات العمل ومنها البيئات الإنتاجية تتكون من مكون انساني ومكون آلي محاط ببيئة داخلية ، لذلك فإنه عند تصميم نظم البيئات الإنتاجية يعمل كلاً من المكون الانساني والمكون الآلي معاً لتحقيق افضل اداء ارجونومي فعال داخل بيئة مناسبة ومتوافقة مع خصائص كلا المكونين ، لذلك تهتم مدخلات الارجونوميكس المهني في البيئات الإنتاجية بكل ما يلزم الانسان من مهام في مجال الأمن والأمان والسلامة داخل هذه البيئات لتحقيق أقصى قدر من الكفاءة والجودة في نظام المواصفات الفنية والمعايير النموذجية ودراسة عوامل الأمن والأمان والسلامة لإخراج الاداء الفعال المتكامل لجميع المكونات والعناصر داخل البيئات الإنتاجية ،

فمع التغير الحادث في بنية المنظومة الإنتاجية وتحولها التدريجي نحو الرقمية في التصميم والإنتاج وبروز دور أنظمة CAD/CAM والمصممة لتحقيق تكامل التصميم والهندسة والإنتاج حيث أن التكامل يمثل ميزة كبيرة فى تحقيق الأستخدام الكفء للبيانات المتاحة للتوصل إلى التصميم الملائم لقدرة التصنيع، وما تلى الثورة الرقمية من استحداث ماكينات إنتاج رقمية ساعدت على تحقيق العديد من الميزات مثل سرعة الإنتاج والدقة في النتائج والجودة العالية مقارنة بالجودة الناتجة

عن طرق الإنتاج التقليدي للأثاث المعدني، برزت الحاجة إلى توظيف العلوم المختلفة في التوافق مع هذه المستحدثات التكنولوجية في عمليات الإنتاج والتصنيع الرقمي، ومنها علوم الارجونوميكس المهني.

حيث تساهم علوم الارجونوميكس بشكل كبير في تطوير البيئات الإنتاجية لنظم التصنيع الرقمي، ومن ثم فأن مدخلات الارجونوميكس المهني تساهم في تحقيق فاعلية في مستوى الاداء الانساني والآلي عند مراعاتها في عمليات التصنيع الرقمي لمنتجات الاثاث المعدني والبيئات الإنتاجية التصنيعية ككل، والتي يجب مراعاتها عند تصميم البيئات الإنتاجية ونظم التصنيع. حيث يعد الارجونوميكس المهني هو المسئول عن العلاقة بين العامل والالة في بيئة العمل لتحقيق أداء سلس ومريح وامن، ومسئول عن توافق الوظائف مع العامل وطرق الانتاج لمنتجات الاثاث المعدني، ومن ثم فإن الارجونوميكس المهني للتصنيع الرقمي يهتم بتوضيح العلاقة بين ماكينات إنتاج رقمية والعامل في بيئة العمل لتحقيق أفضل جودة وأداء، وعلى ذلك يهتم هذا البحث بتسليط الضوء على مدخلات الارجونوميكس المهني لاستحداث ضوابط يمكن الاستفادة منها في تطوير بيئات التصنيع الرقمي.

مشكلة البحث :

ما مدى التوافق الارجونومى بين ماكينات الانتاج الرقمى والعمال العاملين عليها فى مجال انتاج الاثاث المعدني؟ - وهل يمكن تحسين هذا التوافق الارجونومى بالاستعانة بمعايير الارجونومكس المهنى من اجل تحقيق أفضل جودة وأمان للفنيين العاملين فى هذا المجال؟

هدف البحث :

يهدف البحث الى تحديد معايير الارجونومكس المهنى التى تحكم العلاقة بين ماكينات نظم الانتاج الرقمى لمنتجات الاثاث المعدني وبين العمال العاملين عليها. من اجل تحسين التوافق بين ماكينات الانتاج الرقمى وبين العمال لتحقيق أفضل جودة وأمان فى بيئة العمل.

منهج البحث:

يستخدم البحث المنهج الوصفي التحليلى لرصد العلاقة بين ماكينات نظم الانتاج الرقمى لمنتجات الاثاث المعدني والعمال العاملين عليها وتحليل هذه العلاقة للخروج بمعايير ارجونومية تحكم هذه العلاقة المتبادلة لتحقيق أفضل جودة وأمان فى بيئة العمل.

أولاً: نشأة ومفهوم التصنيع الرقمي

تعود نشأة التصنيع الرقمى إلى الفترة ما بين ١٩٤٧ و١٩٥٢ وذلك فى معهد ماساشوستس للتكنولوجيا Massachusetts Institute of Technology (MIT) فى مدينة متشجان بالولايات المتحدة الأمريكية حيث تمت اول شراكة صناعية بالتعاون مع شركة جون بارسونس للطائرات وترجع فكرة التصنيع الرقمى فى ذلك الوقت إلى ظهور حاجة ضرورية لإنتاج أجزاء دقيقة للغاية لأشكال ذات تصميم هندسي معقد (التي كانت تمثل جزء من محركات الطائرات الحربية -أجزاء للمراوح العمودية). وبما أن هذه الأشكال معقدة أدى ذلك إلى أستغراق وقت طويل للتأكد من صحة العلاقة التصميمية وجودة ودقة الانتاج، وذلك قبل الشروع فى عمليات التشغيل وقد أدى ذلك إلى أستغراق وقت طويل لإستكمال عمليات التصنيع المطلوبة وبالتالى زيادة التكلفة وبذلك أصبحت هناك حاجة ضرورية لإبتكار نظم ماكينات يُتحكم فيها الياً لتحقيق بعض الأهداف مثل

(زيادة الإنتاج - تحسين جودة ودقة القطع المصنعة - تحقيق إستقرار فى تكاليف الإنتاج - إمكانية تصنيع القطع المعقدة التى قد يستحيل تصنيعها بأستخدام ماكينات يُتحكم فيها يدوياً)، وبذلك تم تصنيع أول ماكينة للتصنيع الرقمى عام١٩٥٢م وكانت ذات ثلاث محاور وتعمل بواسطة شريط مثقب . وفى ١٩٥٤م تم الأعلان رسمياً عن تطبيق تقنية التصنيع الرقمي(احمد التهامي: ٢٠٠٧) .

وهناك مجموعة من المفاهيم المرتبطة بالتصنيع الرقمي يمكن توضيحها من خلال النقاط التالية:-

- يشير on-site في الموقع إلى العمليات التي تجري في موقع التشغيل والتي تشمل التجميع في الموقع وعمليات وضع المواد material placement operations ؛
- off-site خارج الموقع يشير إلى تصنيع أجزاء من الهيكل الدائم التي تحدث في المصنع.
- المصنع factory هو بيئة التصنيع التي يتم منها نقل المنتجات إلى موقعها النهائي (قد يكون المصنع موجودًا خارج الموقع ، أو في منشأة مؤقتة في الموقع).
- يتم استخدام التصنيع fabrication هنا لوصف إنتاج عنصر أحادي production of a unitary أو منخفض الحجم من خلال مجموعة مخصصة إلى حد كبير من العمليات ويستخدم التصنيع هنا لوصف الإنتاج المستمر من الأجزاء (التي قد تكون مخصصة أو متطابقة) مع عملية محددة ومتمركزة في مصنع لوضعها أو تجميعها في مكان آخر.
- تقنية Digital Fabrication هي مصطلح عام لعملية التصنيع باستخدام الحاسب الآلي أو إجراء عملية فرعية لعملية رقمية لا غنى عنها تحدث أثناء تنفيذ عملية التشكيل أو التجميع الرئيسية.(R.A. Buswell et al. : 2020)

نظام CNC ماكينات التحكم الرقمي بإستخدام الحاسب

يتم إستخدام هذا النظام من خلال أضافة البرمجة مباشرةً على وحدة التحكم أو أضافة الرسم للحاسب وتفعيل برنامج العمل أو إنشاء الرسم على جهاز الحاسب المنفصل الملحق بالماكينة والذي يعمل على نقل المعلومات إلى وحدة التحكم بالماكينة، ويمكن تقسيم مكونات نظام الCNC إلى:-

1. الماكينة أو الوحدة الميكانيكية، والذي يتم فيها عملية التشغيل.
2. وحدة التحكم، التى يتم من خلالها التحكم فى الوحدة الميكانيكية وإضافة البرامج.

شكل (١) ماكينات CNC

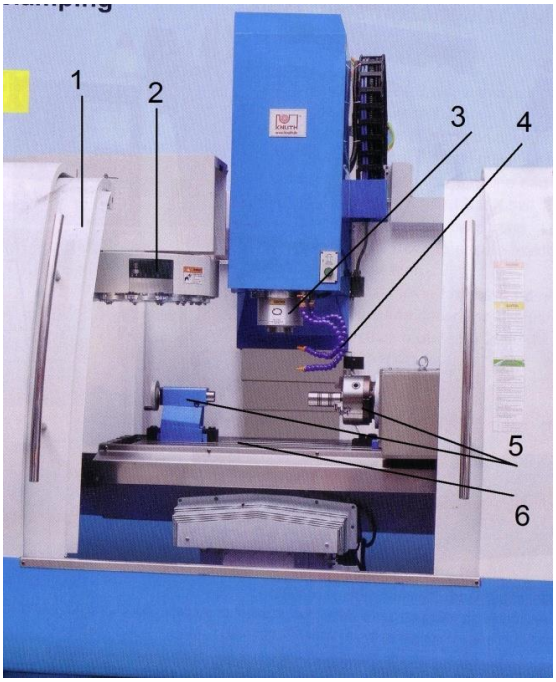
ويمكن توضيح مكونات النظام وأجزائه من خلال شكل (٢):

شكل (٢) مكونات نظام CNC

أولا: الوحدة الميكانيكية:

تختلف الوحدة الميكانيكية تبعا لنوع العمل التي تؤديه (تفريز _ قص _ تخريم _ خراطة _تشكيل_....) ولكن تتحد معظم تلك الوحدات في أجزاء أساسية كما يلي:-

1. باب الماكينة
2. حامل العدد (لتخزين العدد المستخدمة فى الماكينة)
3. مشغل العدد
4. خراطيم التبريد
5. مثبت المشغولة
6. فرش الماكينة



شكل (٣) مكونات الوحدة الميكانيكية

ثانياً : وحدة التحكم الرقمي

أما وحدة التحكم فتختلف من حيث اللغة المستخدمة للبرمجة ونظام وحدة التحكم، وتشترك في المكونات التالية:-

شكل (٤) مكونات الوحدة التحكم الرقمي

١ . الشاشة التى يعرض من خلالها البيانات والبرنامج وخط سير الماكينة.

٢ . حروف تستخدم لكتابة البرنامج أو إجراء إضافات عليه.

٣ . أرقام تستخدم فى كتابة البرنامج وإجراء التعديلات عليه.

٤ . هذا الجزء مخصص لفتح الصفحات الخاصة بكتابة البرنامج ويتضمن :

- Pos وهو position وهو يقوم بفتح الصفحة الخاصة بإحداثيات الماكينة.
- Prog وتقوم بفتح الصفحة الخاصة بكتابة البرنامج program و صفحة التعديلات.
- Offset setting تقوم بفتح الصفحة التى يوجد بها جميع المعلومات عن العدد (الأطوال والأقطار وأنواع السنون)
- Massage ترسل الماكينة فى هذه الصفحة رسائل التغذية العكسية مثل أخطاء التشغيل أو أخطاء الأمن الصناعي.
- Graph الصفحة التى تعرض تمثيل العمل على الشغلة ال simulation.

٥ . الجزء الرأسى فى التحكم فى الماكينة فمن وظائفه :

- تشغيل وإيقاف الماكينة
- التحكم فى سرعة تغذية الماكينة
- التحكم فى سرعة حركة المحاور
- تحويل الماكينة (أوتوماتيكياً أو يدوياً)
- تحديد أوضاع الماكينة

وتساعد أنظمة CAD/CAM والمصممة لتحقيق تكامل التصميم والهندسة والإنتاج حيث أن التكامل يمثل ميزة كبيرة فى تحقيق الأستخدام الكفء للبيانات المتاحة للتوصل إلى التصميم الملائم لقدرة التصنيع ، ولا شك فى أن هذا التكامل يؤدى إلى معالجة مشكلة أساسية تتمثل فى تباين منظور التصميم فى تحديد الأشكال والأبعاد وكذلك الخصائص ومنظور الأنتاج

أو التصنيع من حيث قدرات الآلات وتعاقب العمليات وجودة المواد والمهارات لهذا فإن الأنظمة المتكاملة (CAD/CAM) تحقق هذه الميزة التى تؤدى إلى أفضل إستغلال لخبرات ومهارات التصميم والهندسة والتصنيع.

ثانياً: الارجونوميكس المهني وارتباطه بماكينات التصنيع الرقمي لمنتجات الاثاث المعدني

الارجونوميكس المهني occupational ergonomics هو نظام يحاول تكييف الوظيفة مع العامل بهدف تعزيز صحة العمال وسلامتهم وراحتهم بالإضافة إلى الإنتاجية. (**Waldemar Karwowski & William S. Marras،2003**)

ويكون دور خبير الارجونوميكس المهني occupational ergonomist في تحديد وتقييم مواقف العمل من خلال تحليل المعلومات المتاحة ، ويوصي بنظام تقييم العمل الذي يساعد على تحديد شدة عوامل الخطر ذات الصلة من خلال استخدام نماذج تقييم الارجونوميكس المهني ، ومراجعة طرق تطوير التوصيات لتقليل عوامل الخطر الموجود في مهمة أو عملية ، ويقترح طرقًا للتحقق من فعالية التوصيات المنفذة. (Jeffrey E. Fernandez & Robert J. Marley،2009)

في الوقت الحاضر، تقدمت صناعة منتجات الاثاث المعدني إلى الأمام من خلال إدخال تكنولوجيا التصنيع الرقمية المتقدمة، بما في ذلك آلات CNC التحكم الرقمي بالكمبيوتر نظرًا لأن ماكينات CNC تم تطويرها من قبل الدول الأوروبية لذلك تعتمد أبعاد الماكينة على القياسات الارجونومية والانثروبومترية للسكان الأوروبيين، ومن ثم فهناك صعوبة بالنسبة للعمال الأفارقة والآسيويين وغيرهم ممن لديهم اختلاف في القياسات الارجونومية والانثروبومترية عن الأوربيين في أن يتناسبوا مع تصميم الماكينة. هناك حاجة لتطبيق القياسات البشرية للعمال الذين يستخدمون الماكينات في بلدانهم في تصميم آلات CNC حتى يمكنهم العمل مع الآلة في وضع عمل آمن . يمكن النظر إلى تحسين تصميم الارجونوميكس الرقمي من وجهات نظر مختلفة مثل وضعية العمل ونشاط العضلات واستهلاك الأوكسجين للعمال. من خلال مراعاة مبادئ الارجونوميكس المهني في تصميم آلات CNC، يمكن للمشغلين العمل في ظروف آمنة ومنتجة. (.Mohd Hafiz Zani et al ،2013)

تعتبر بيئة عمل آلات CNC غير المنظمة والتي لا تلبي القدرات البشرية مصدرًا رئيسيًا للتوتر والأخطاء عند انتاج الاثاث المعدني ويعد وضع لوحة التحكم والشاشة مهمين للغاية في آلات CNC لتقليل الصعوبة بسبب الموقف الثابت ولمنع الاضطرابات العضلية الهيكلية المرتبطة بالعمل أثناء التشغيل (.K. Muthukumar et al،2012)

إن إشراك المشغلين لفترات قصيرة من الوقت في أدوات التحكم والوقت المستمر في مراقبة شاشات العرض، وتعريضهم للمهمة التي تسبب وضعًا محرجًا مثل تثبيت قطعة العمل وإعدادها. أثبت أن الانحناء والدوران ورفع الأثقال الكبيرة والحركات المتكررة والعمل الساكن والقيام بحركات قوية مرتبطة باضطرابات أسفل الظهر المرتبطة بالعمل. (Mohd Hafiz Zani et al.،2013)

يعتبر التفريز باستخدام الحاسب الآلي CNC milling شكلاً محددًا من أشكال التصنيع باستخدام الحاسب الآلي (CNC). يعتبر التفريز نفسه عملية تصنيع شبيهة بكل من الحفر والقطع drilling and cutting ، وهي قادرة على تحقيق العديد من العمليات التي يتم إجراؤها بواسطة آلات القطع والحفر. مثل الحفر ، يستخدم التفريز أداة قطع أسطوانية دوارة.

ومما لا شك فيه أن تصميم بيئة العمل يلعب دورًا في الوقاية من حوادث الاضطرابات العضلية الهيكلية ، والتي يمكن أن تؤثر في النهاية على كفاءة العمل. نظرًا لوجود دراسات محدودة حول التصميمات المريحة ، يجب على الباحثين الدراسة والعمل من أجل تصميم وتطوير وتقييم بيئة عمل مريحة من المحتمل أن تقلل من مخاطر الإصابات المرتبطة باليد والاضطرابات العضلية الهيكلية. تعد آلات التفريز من المعدات الشائعة التي تُستخدم غالبًا في تصنيع المعادن والاخشاب والمواد الصلبة الأخرى. أثناء عملية التفريز، يعد التحكم في سرعة أداة التفريز أمرًا حيويًا من أجل إنتاج تشطيب جيد لسطح

منتجات الاثاث المعدني. يتم التحكم في السرعة بواسطة مقبض التحكم في سرعة آلة التفريز. ومع ذلك في معظم الحالات، وجد أن مقبض التحكم في آلة التفريز قد يكون من الصعب تدويره. قد تؤدي القوة المفرطة المستخدمة في تدوير مقبض التحكم بشكل متكرر إلى الإصابة باضطرابات الجهاز العضلي الهيكلي المرتبطة باليد على المدى الطويل. (Ayush Balagopal et al.،2017)

في العصر الجديد لتكنولوجيا التصنيع المتقدمة، يلعب تصميم الأدوات الآلية دورًا مهمًا في زيادة الإنتاجية والصحة المهنية للعمال الصناعيين. ومع ذلك يواجه مصنعو الأدوات الآلية صعوبة في تصميم أداة آلية مريحة يمكن أن تكون مناسبة للعمال الصناعيين الآسيويين لأن جميع أدوات الماكينة تقريبًا تم تصميمها وفقًا للأبعاد المادية والقدرات والقيود الخاصة بمعايير السكان الأوروبية أو الأمريكية. حيث قد يؤدي عدم التوافق بين تصميم الماكينة وقدرات العمال في النهاية إلى إصابات مهنية.

في بيئة التفاعل بين الإنسان والآلة ، تُستخدم الآلات لمساعدة البشر في تنفيذ المهام المختلفة. لذلك ، يجب تصميم نظام التفاعل بين الإنسان والآلة بحيث يتناسب مع قدرات وحدود وخصائص البشر. وبما لا يؤثر على زاوية التشغيل وزاوية الرؤية ومن ثم التأثير الملحوظ على أداء المشغل. (Ayush Balagopal et al.، 2017)

كمتطلب أساسي لتقييم وضع العمل الارجونومي، قامت إحدى الدراسات بتحديد القياسات البشرية للميكانيكيين باستخدام مقياس الأنثروبومتري. تم قياس الأبعاد التالية:

الإبط axilla ، ارتفاع الصدر chest height (الوقوف) ، ارتفاع الخصر waist height (الوقوف) ، ارتفاع الفخذ crotch height (الوقوف) ، طول الأخرم الكعبري acromion-radiale length ، الطول الشعاعي radiale-stylion length ، عرض الصدر chest breadth ، عرض الخصر waist breadth ، عرض الورك hip breadth ، وارتفاع الكوع elbow height (الوقوف).

في برنامج CATIA ، تم إنشاء مانيكان manikin بناءً على قياس الأنثروبومترية للآلات. وبالتالي ، تم نقل رسم آلة التفريز CNC إلى وحدة تحليل النشاط البشري human activity analysis module في برنامج CATIA ، وتم وضع المانيكان الذي تم إنشاؤه في الماكينة. بالإضافة إلى ذلك ، تم قياس الوضع الارجونومي للمانيكان على غرار الحالة الفعلية باستخدام وحدة محرر الوضع الارجونومي بالبرنامج posture editor module . (Isa Halim et al.،2014)

وضع ارجونومي سليم وضع ارجونومي غير سليم

شكل (٥) الأوضاع الأرجونومية لوحدة التحكم الرقمي افتراضياً

قياسات التحليل الوظيفي الارجونومي لماكينات التصنيع الرقمي Measurements for Ergonomic Job Analysis of Digital Fabrication Machines

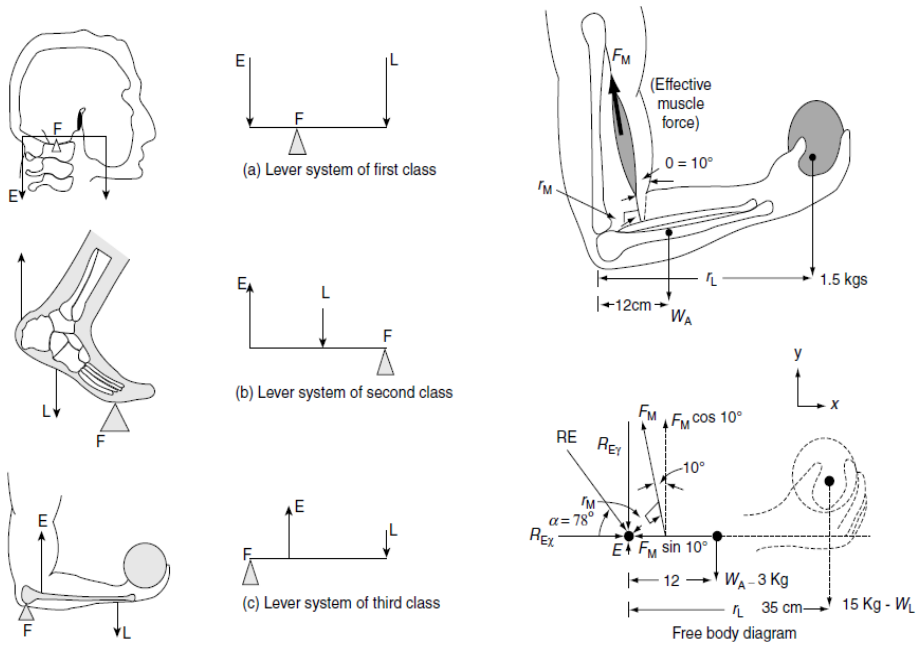
يستخدم التحليل الوظيفي الأرجونومي Ergonomic job analysis لتحديد وقياس المخاطر المحتملة لماكينات التصنيع الرقمي. من هذا التحليل، يمكن تطوير حلول لتقليل عوامل الخطر الأرجونومية أو القضاء عليها. تشمل المخاطر الأرجونومية المحتملة ظروف العمل التي تسبب التعب والإجهاد والإصابات والاضطرابات العضلية الهيكلية المزمنة، يمكن قياس المتطلبات البدنية والعقلية والإدراكية بسبب هذه المخاطر أثناء تحليل الوظيفة، يمكن أن يختلف نوع تحليل الوظيفة وفقًا للغرض من التحقيق ونطاقه، ولكنه يتضمن بشكل عام العناصر التالية: (١) تحديد المخاطر المحتملة، (٢) التحضير لإجراء تحليل الوظيفة، (٣) إجراء تحليل الوظيفة، (٤) تفسير النتائج و (٥) تطوير الحلول و (٦) التوثيق. (Amit Bhattacharya et al.,:2012)

ويمكن قياس التحليل الوظيفي من خلال الجدول التالي:

جدول رقم (١) قياسات تحليل الوظيفة لماكينات التصنيع الرقمي

نوع القياس	نماذج القياس	
Biomechanical الميكانيكية الحيوية	Reach height and distance	الوصول إلى الارتفاع والمسافة
	Weight and dimension of material handled	وزن وأبعاد المواد التي يتم التعامل معها
	Forces and torques	القوى وعزم الدوران
Motions الحركة	Frequency	التردد
	Degree of rotation	درجة الدوران
	Duration	المدة
	Dexterity/coordination requirements	متطلبات المهارة / التنسيق
Timed activity analysis تحليل النشاط المحدد بوقت	Pattern of activities during shift	نمط الأنشطة أثناء المناوبة
	Time to perform a task	وقت أداء مهمة
	Frequency of more demanding tasks	تكرار المهام الأكثر تطلبًا
Environmental البيئية	air ، humidity،Temperature movement	درجة الحرارة والرطوبة وحركة الهواء
	Noise	ضوضاء
	Illumination	إضاءة
	Shift schedule	جدول المناوبة
	Other physical or chemical factors work surface)،(odors	عوامل فيزيائية أو كيميائية أخرى (روائح ، سطح العمل

	Use of protective clothing or equipment	استخدام الملابس أو المعدات الواقية
Mental and perceptual العقلية والإدراكية	Visual and auditory requirements	المتطلبات البصرية والسمعية
	Complexity	تعقيد
	Information handling/decision making	معالجة المعلومات / اتخاذ القرار
	requirements	المتطلبات
	External pacing	سرعة خارجية
	Productivity during shift etc.)، interruptions،(units/hour	الإنتاجية أثناء المناوبة (وحدات / ساعة الانقطاعات ، وما إلى ذلك)
	،Quality of output (defects etc.)،incomplete work	جودة المخرجات (عيوب ، عمل غير مكتمل ، إلخ(
Physiological فسيولوجية	Body temperature	درجة حرارة الجسم
	Heart rate	معدل ضربات القلب
	Blood pressure	ضغط الدم
	Oxygen consumption	استهلاك الأوكسجين
	Surface electromyography	تخطيط كهربية السطح
	Psychophysical scaling (perceived and stress)، comfort،exertion	التحجيم النفسي الجسدي (المجهود الملموس والراحة والتوتر(
	Minute ventilation	دقيقة ترويح



شكل (٦) تحليل البيوميكانيكس Biomechanical analysis لبعض حالات التحميل والاجهاد

ثالثاً: استنتاج معايير الارجونوميكس المهني للتصنيع الرقمي لمنتجات الاثاث المعدني

يعد الارجونوميكس المهني للتصنيع الرقمي واحدا من المجالات الحديثة التي نالت الكثير من الاهتمام البحثي والصناعي، حيث أدى التطور المتسارع في تقنيات التصنيع الرقمي وتسارع الشركات إلى استخدام الماكينات التي تعمل بهذه التقنيات إلى نشوء الكثير من المشاكل العضلية الهيكلية للعمال والمشغلين لهذه الماكينات حيث أن المثير من هذه الماكينات هو دمج لطرق التصنيع الآلي مع التحكم الرقمي، والتي تتطلب كل طريقة منهما أسلوب ارجونومي جديد يتوافق وخصائص العمال والمشغلين وقد توصلت الدراسة الى استخلاص معايير الارجونوميكس المهني للتصنيع الرقمي من خلال النقاط التالية:_

1- معايير متعلقة بالاوضاع الارجونومية الانثروبومترية بين ماكينة التصنيع الرقمي والعامل او المشغل.

- يجب أن يتناسب ارتفاع الشاشة الرقمية مع الوضع الارجونومي للعامل أو المشغل ليتيح له رؤية في وضع ارتفاع مناسب.
- يجب ضبط زاوية ميل الشاشة الرقمية بحيث تتيح القرائية افضل وضع ممكن للعامل أو المشغل.
- يجب الاهتمام بالإضاءة الخاصة بالشاشة الرقمية ووضوح الألوان وواجهة التفاعل للبرنامج الرقمي بما يتناسب مع الكثافة الضوئية للمكان وبما يتيح استخدام سلس وامن للعامل أو المشغل.
- يجب أن يتناسب ارتفاع وحدة التحكم الرقمية "الكيبورد ، الماوس، وحدة التحكم الرئيسية"مع الوضع الارجونومي للعامل أو المشغل ليتيح له استخدام وتحكم في وضع ارتفاع مناسب.
- تناسب أوضاع الرؤوس المتحركة سواء في عمليات القطع بالليزر أو التناية الرقمية أو اللحام بالليزر وغيرها من العمليات الرقمية مع المدى الحركي للعامل أو المشغل بما يتيح له استبدال أو استعدال، أو تعديل أو حذف أي جزء من المشغولة بسلاسة ويسر ودون أحداث اجهادات عضلية هيكلية على العامل أو المشغل.
- تناسب وضع السيور الناقلة والاجزاء التي تحتاج إلى عمليات صيانة ومتابعة دورية مع المدى الحركي للعامل أو المشغل.
- تناسب وضع المناضد الثابتة والمتحركة التي يتم وضع المشغولات عليها مع المدى الحركي للعامل أو المشغل بشكل يسهل عمليات الرفع والانزال والتحميل دون أحداث اجهاد عضلي هيكلي على العامل أو المشغل.
- التحكم في المجال الحركي حول ماكينات التصنيع الرقمي بما يتيح حركة سلسة وامنة للعامل أو المشغل.

2- معايير متعلقة بطبيعة الاتصال المعلوماتي المتبادل بين ماكينة التصنيع الرقمي والعامل او المشغل .

- أهمية أن تكون المعلومات الرقمية المرسلة عبر ماكينة التصنيع الرقمي في نطاق الحدود المقبولة لقدرات إستقبال المعلومات من العامل او المشغل من ناحية القرائية والوضوح والكثافة الضوئية.
- تحسين عملية الإتصال التشغيلي بين ماكينة التصنيع الرقمي والعامل او المشغل من خلال الربط المتوالي في إستخدام أكثر من حاسة في أداء مهمة واحدة او اكثر .
- مراعاة أهمية الإعتماد على خبرات العامل او المشغل الماضية (الخبرة المرجعية) في تفاعلاته بماكينة التصنيع الرقمي والذي يتطلب تصميم التواجه بين العامل او المشغل وماكينة التصنيع الرقمي وإختيار القناة الحسية الملائمة لنوع المعلومات أو البيانات.
- مراعاة الفروق بين العاملين او المشغلين فيما يتعلق بإدراك وتفسير المعلومات المستقبلة من ماكينات التصنيع الرقمي.

- العمل من خلال استراتيجية تكامل نقل المعلومات الخاصة بماكينة التصنيع الرقمي، حيث أن نقص المعلومات والحقائق عن ماكينة التصنيع الرقمي يؤدي إلى إتجاهات سلبية نحوها.

٣- معايير متعلقة بقدرات حواس وادراك العامل او المشغل :

- مراعاة قدرات حواس العامل او المشغل (السمع والبصر واللمس ...إلخ) وحدودها في إستقبال وتفسير المعلومات.
- مراعاة مداعبة حواس العامل او المشغل من حيث التنوع بين العناصر الجاذبة للإنتباه مثل الحركة والحجم والتباين والتكرار.
- تحقيق التوافق بين قدرات الحواس لدى العامل او المشغل وبين المهارات والأنشطة التي تتضمنها عملية الإستخدام يزيد من سهولة الفهم والتعامل مع ماكينة التصنيع الرقمي.
- إن الاستعداد الانفعالي والإدراكي والمعرفي للعامل او المشغل تؤثر تأثيراً ديناميكياً على إستجابته للمنتجات والبيئات والمواقف المرتبطة بها.
- للحصول على أفضل تعامل وإيجابية مع ماكينة التصنيع الرقمي يجب مراعاة أثر الإنفعالات المختلفة التي تطرأ على العامل او المشغل مثل الحب والكره واللامبالاة.
- أن يتمتع العامل او المشغل في علاقته بماكينة التصنيع الرقمي بالثبات الانفعالي كذلك تجنبه للإضطراب الإنفعالي (ملل، ضيق، خوف وغضب ... إلخ) أو مواقف الإستخدام المحبطة التي تؤدي إلى تعطيل سرعة الإدراك والتفكير وسهولة وسرعة إتخاذ القرارات الصحيحة.
- يميل العامل او المشغل إلى ربط المدركات الحسية في علاقته مع ماكينات التصنيع الرقمي بطريقة منتظمة بحيث يُكون منها نظام متكامل يتيح أداء المهام بسهولة.
- يميل العامل او المشغل إلى إدراك الأشياء التي من حوله كأنها ثابتة في حجمها ولونها بالرغم من أنها دائمة التغير تبعاً لتغير البعد الشبكي للعين (ثبات الإدراك).
- مراعاة علاقة العامل او المشغل مع ماكينات التصنيع الرقمي للحفاظ على الثبات الإنفعالي أثناء مواقف الإستخدام المختلفة.

٤- معايير متعلقة بتفاعلية العلاقة بين العامل او المشغل وماكينة التصنيع الرقمي

- ماكينة التصنيع الرقمي التفاعلي تمكن العامل او المشغل من إتخاذ قرار أو حكم أو إختيار الحل الصحيح لأي مشكلة إستخدامية تواجهه أثناء الإستخدام.
- تأكيد الجوانب المحببة في ماكينة التصنيع الرقمي وتجنب الجوانب الغير محببة يؤدي إلى تحسين العلاقة التفاعلية بين ماكينة التصنيع الرقمي والعامل او المشغل من حيث زيادة الرضا والراحة والسعادة ونقص الإحساس بالملل أو الإجهاد.
- تحقيق تغيير أو تطوير أو تحسين في جانب أو مجموعة جوانب من تصميم ماكينة التصنيع الرقمي يؤدي إلى إتجاهات إيجابية في الإستخدام.
- تجنب المهام المتكررة وفترات العمل الطويلة والأوضاع الثابتة في الإستخدام قدر الإمكان مع توفير عنصر التحفيز أو الرغبة (الترغيب في ماكينة التصنيع الرقمي).

- مراعاة ميل العامل او المشغل في أنه قد يتبع طرق مختصرة للتقليل من خطوات أداء العمل مما قد يؤثر على عوامل الأمان أو الصيانة.
- أن يكون تصميم ماكينة التصنيع الرقمي ملائماً للعامل او المشغل ومتفقاً مع قدراته وإستعداداته وإمكانياته، مع مراعاة توفير ظروف بيئية مناسبة تمكنه من الأداء بقدرة وفاعلية وكفاءة.
- تحقيق جوانب الاداء التشغيلي لما يتوقعه العامل او المشغل من ماكينة التصنيع الرقمي بحيث يكون تصميم الماكينات الرقمية يهيئ العامل او المشغل سيكولوجياً لمواجهة مواقف وأنشطة الإستخدام المختلفة ومن ثم إتخاذ القرارات المناسبة تجاه ماكينة التصنيع الرقمي.
- إن تكامل العوامل الإنسانية في تصميم ماكينة التصنيع الرقمي (الإعتبارات المرتبطة بالإستخدام الإنساني وتحقيق الرضا - سهولة الإدراك – الراحة –... إلخ) مع الجوانب الوظيفية تعمل على أن تحقق ماكينة التصنيع الرقمي الارتفاع بمستوى الأداء المهني وتحسين السلوك الوظيفي للعمال والمشغلين.
- **مراعاة المعايير الإرجونومية لأداء العامل او المشغل أثناء الإستخدام مثل:**
  - العمل في أوضاع عمل متعادلة.
  - تقليل القوة الزائدة.
  - الحفاظ على كل عنصر في عمليات تناول سهلة.
  - تقليل الحركات الزائدة من وإلى ماكينات التصنيع الرقمي.
  - العمل عند إرتفاعات مناسبة.
  - تقليل الحد الأدنى للتعب والحمل الإستاتيكي.
  - تقليل الحد الأدنى لنقاط الضغط.
  - زيادة الفراغات الخاصة بحركة أعضاء الجسم.
  - مراعاة الحركة والتمدد الجزئي في ماكينة التصنيع الرقمي.
  - الحفاظ على بيئة الإستخدام والتشغيل مريحة.

٥- المعايير الخاصة بماكينة التصنيع الرقمي:

أ- معايير خاصة بشكل ماكينة التصنيع الرقمي :

- يحقق تصميم شكل ماكينة التصنيع الرقمي سهولة وسرعة وصحة الإدراك والفهم والتفسير لجوانب عملية الإستخدام وذلك كي يضمن كفاءة عملية الإتصال ومساعدة العامل او المشغل في أداء وإنجاز مهامه.
- ملائمة شكل ماكينة التصنيع الرقمي للقيم السيكولوجية التي يتوقعها العامل او المشغل وبما تتلائم وشخصيته وسماته الثقافية.
- مراعاة العلاقة القائمة بين الشكل العام لماكينة التصنيع الرقمي والبيئة المحيطة والشكل المعماري المحيط بها، له أهمية كبيرة على كفاءة الإستخدام الوظيفي للماكينات.
- يجب أن يحقق تصميم الشكل إعتبارات الأمان للعامل او المشغل وسلامة الإستخدام وتجنب الإصابات.
- يجب أن يكون شكل ماكينة التصنيع الرقمي جيد الإتصال وقادر على نقل الرسائل التشغيلية للعامل او المشغل بما يساعده في إتخاذ القرارات المناسبة الصحيحة.

- معدل إستخدام ماكينة التصنيع الرقمي يؤثر بشكل كبير على فاعلية الاداء كما يؤكد الشكل وظيفة ماكينة التصنيع الرقمي ويعكس جودتها وكفاءتها.
- ضرورة العمل على تكامل العوامل الإنسانية المهنية في تصميم شكل ماكينة التصنيع الرقمي مع الجوانب الوظيفية المصمم من أجلها.

ب- معايير خاصة بلون ماكينة التصنيع الرقمي :

- مراعاة الفروق الفردية بين العاملين او المشغلين في إدراك الألوان المختلفة.
- ملائمة الألوان لماكينات التصنيع الرقمي مع مظهر البيئة المحيطة كلما أمكن وكذلك مع الترميز اللوني الخاص بالتحذيرات وعوامل التشغيل.
- إختيار ألوان ماكينات التصنيع الرقمي المناسبة لمقاومة الطقس والأتربة (العوامل المناخية) بدون التقليل من جمال المظهر المرئي لماكينات التصنيع الرقمي.
- يجب تجنب الألوان التي تسبب صعوبة التمييز لدى العاملين او المشغلين بين مكونات أو أجزاء ماكينة التصنيع الرقمي (عمى الألوان الكلي والجزئي).
- يتم إختيار الألوان تبعاً للوظيفة ونوع ماكينة التصنيع الرقمي وبيئة الإستخدام مع اتباع قواعد الترميز اللوني color coding وكذلك نوع العامل او المشغل المتوقع تعامله مع ماكينة التصنيع الرقمي.

ج- معايير خاصة بجوانب تصنيع ماكينة التصنيع الرقمي :

- توفير العلاقات المرئية بما يحقق الوحدة والبساطة والتناسب في تصميم وتصنيع ماكينة التصنيع الرقمي يحقق الرؤية الصحيحة والأداء الفعال.
- مراعاة قوانين التنظيم الإدراكي في تصميم الشكل يضفي على ماكينة التصنيع الرقمي الجذب ويجنب الملل.
- مراعاة الجوانب الخاصة بقدرة العامل الفيزيائية وتوزيع المكونات داخل الفراغ الفيزيائي.
- معرفة أو حساب مدى إستجابة العامل او المشغل من حيث زمن الإستجابة ودقة التفاعل وتذكر المنبه مما يؤدي إلى إستجابة عاطفية وألفة تجاه ماكينة التصنيع الرقمي.

٦- المعايير البيئية لبيئة عمل الماكينة والعامل:

- درجات الحرارة المناسبة لبيئة الإستخدام يجب أن تختلف بإختلاف فصول السنة، أيضاً بإختلاف نوعية مهام وأنشطة عملية الإستخدام وبإختلاف نوعية العامل او المشغل ومن قطاع جغرافي لآخر.
- يؤدي سوء التهوية إلى نقص كفاءة الأداء وإلى شعور العامل او المشغل بالخمول والإرهاق والضيق وإلى إختلال توزانه.
- معالجة أسطح ماكينة التصنيع الرقمي لتقليل الإنعكاسات الناتجة من إختلاف القيم الضوئية والذي يؤثر على معدل الأداء.
- للإضاءة السيئة أو التوزيع غير المتجانس للضوء تأثير سيكولوجي غير مرغوب على العامل او المشغل يتمثل في شعوره بالإنقباض والتوتر وزيادة وسرعة التعب والملل مع إرهاق البصر ونقص كفاءة الأداء وإلى زيادة الأخطاء بوجه عام.

- ألا تتطلب عملية الإستخدام أن ينتقل العامل او المشغل ببصره سريعاً من أجزاء ناصعة إلى أخرى معتمة أو العكس، فهذا يُصعب على العين التكيف السريع لدرجات الضوء المختلفة.
- تجنب الملوثات السمعية والمتمثلة في الضوضاء والتي تشتت من الإنتباه وتسبب الضيق والملل فيؤدي ذلك لخفض كفاءة الأداء الإستخدامي ويزيد من الجهد الذهني المبذول لأداء العمل.
- إمكانية إستخدام خامات بديلة قابلة لإعادة التدوير أو إعادة الإستخدام في صناعة اجزاء ماكينة التصنيع الرقمي.
- مراعاة تفادي القطع النادرة والغير قابلة للصيانة أو الاستبدال في صناعة اجزاء ماكينة التصنيع الرقمي.
- تجنب حدوث أي أضرار أو آثار بيئية سلبية تنتج عن عملية الإنتاج.
- ضرورة إستخدام مواد نظيفة ملائمة للبيئة في عمليات التشغيل والإنتاج.
- ضرورة إستخدام موارد طاقة متجددة ونظيفة.

نتائج البحث:

1. تحتوي ماكينات التصنيع الرقمي على جزئين يحتاج احدهما لتشغيل رقمي والأخر يحتاج لتشغيل ميكانيكي مما يستلزم معه وضع الاعتبارات الارجونومية المهنية بما يتناسب وأداء العامل او المشغل للمهام المطلوبة منه.
2. يجب حساب التحليل الحركي لحركة العمال والمشغلين بحيث تضمن عدم وجود اي معوقات تحد من عمليات التداول والمناولة للخامات او المشغولات من المكان وإلى الماكينة والعكس.
3. يعد الأرجونوميكس المهني للتصنيع الرقمي من اهم المتطلبات الحديثة نظرا للتحول نحو العصر الرقمي في التصنيع مما استلزم وجود عوامل ارجونومية تحقق الضوابط والمعايير الارجونومية التي تناسب الأداء الجيد للوظائف وتناسبها مع العامل او المشغل والماكينات الرقمية.
4. هناك علاقة اتصالية دائمة تحدث بين العامل والماكينة والتي تبدأ من الشكل واللون والملمس والكثافة الضوئية.
5. تعد عوامل الارجونوميكس المهني البيئي مرتبطة بضبط درجة حرارة المكان والرطوبة والتهوية الجيدة والتي تؤثر على كفاءة العلاقة الارجونومية بين العامل والمشغل وبين الماكينة بما يؤكد الاستخدام الأمن والسلس للوظائف والمهام.
6. يستخدم التحليل الوظيفي الأرجونومي Ergonomic job analysis لتحديد وقياس المخاطر المحتملة لماكينات التصنيع الرقمي. من هذا التحليل، يمكن تطوير حلول لتقليل عوامل الخطر الأرجونومية أو القضاء عليها.
7. تشمل المخاطر الأرجونومية المحتملة ظروف العمل التي تسبب التعب والإجهاد والإصابات والاضطرابات العضلية الهيكلية المزمنة.

توصيات البحث:

1. إجراء المزيد من الدراسات حول تطبيقات الأرجونوميكس في العصر الرقمي وما تبعه من اختلاف في المتطلبات والمعايير الارجونومية التي تتناسب مع المهام الجديدة.
2. تضمين الأرجونوميكس المهني للتصنيع الرقمي في المقررات المتخصصة مثل هندسة العوامل البشرية والارجونوميكس والانثروبومتري بما يتيح مواكبة التطور التقني في عمليات التصنيع.

المراجع:

1. عمر أحمد التهامى(٢٠٠٧) ميكانيكا الإنتاج (ورشة التحكم الرقمي بالحاسب)،المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني ،السعودية.

- Omar Ahmad Altihamaa(2007) Mikanika Al'iintaj (warshat altahakum alraqamii bialhasibu)،Almuasasat Aleamat Liltaelim Alfaniyi Waltadrib Almihnii ،Alsaeudih.

2. Amit Bhattacharya، Nancy Talbott، Laurel Kincl(2012)Occupational Ergonomics: Principles and Applications، Patty's Toxicology، Sixth Edition. Volume 6، Edited by Eula Bingham and Barbara Cohrssen. John Wiley & Sons، Inc

3. Ayush Balagopal، Abhishek Yadav، Dheeraj Kumar Raja، Deepanshu Shrivastava(2017) ERGONOMIC CONSIDERATIONS IN CNC MACHINE، International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) v 4.n 12

4. Isa Halim، Ab. Rahman Mahmood، Hazmilah Hasan، Haeryip Sihombing، Adi Saptari ، Baharudin Abu Bakar، Syaheera Ahmad (2014) Ergonomic Design of CNC Milling Machine for Safe Working Posture، Applied Mechanics and Materials Vols. 465-466 (2014) pp 60-64

5. Jeffrey E. Fernandez & Robert J. Marley (2009) Occupational Ergonomics: Emphasis on Identification or Solutions، XV CONGRESO INTERNACIONAL DE ERGONOMIA SEMAC.

6. K. Muthukumar، K. Sankaranarayanasamy، A.K. Ganguli، (2012) Discomfort analysis in computerized numeric control machine operations. Safety and Health، 3 146-153.

7. Mohd Hafiz Zani1، Isa Halim2 and Muhammad Syafiq Syed Mohamed (2013) AN OVERVIEW OF ERGONOMICS PROBLEMS RELATED TO CNC MACHINING OPERATIONS Advanced Engineering Forum: 2013-Vol. 10، pp 137-142

8. R.A. Buswell، W.R. Leal da Silva، F.P. Bos، H.R. Schipper، D. Lowke، N. Hack، H. Kloft، V. Mechtcherine، T. Wangler، N. Roussel (2020) A process classification framework for defining and describing Digital Fabrication with Concrete، Cement and Concrete Research 134.

9. Waldemar Karwowski & William S. Marras (2003) Occupational ergonomics: design and management of work systems، CRC Press، Boca Raton.