د. زكرياء جمعـة جامعة تلمسان

د. بزاوية محمد جامعة تلمسان

ملخص:

لقد أدى التطور التكنولوجي الكبير الذي تشهده البيئة الصناعية الحالية إلى بروز أنظمة إنتاج معقدة، مما زاد من أهمية الجدولة و السيطرة على العملية الإنتاجية و قيادتها بشكل فعّال يحقق الاستغلال الأمثل لموارد الإنتاج؛ و هو ما يستدعي استخدام أساليب كمية مساعدة في تحليل و دراسة نظام الإنتاج،كأسلوب المحاكاة.

من خلال هذه الدراسة نحاول استخدام تقنيات المحاكاة الحاسوبية كأداة مساعدة على اتخاذ القرار في إدارة و هندسة أنظمة التصنيع، عبر تصميم و اقتراح نماذج تطبيقية داخل المؤسسة الوطنية للصناعات الإلكترونية باستخدام حزمة المحاكاة الحاسوبية Arena التي هي إحدى أفضل برامج المحاكاة المطروحة على هذا الجانب.

الكلمات المفتاح: جدولة الإنتاج و العمليات، قيادة أنظمة الإنتاج، اتخاذ القرار، المحاكاة.

مقدمة:

لقد أصبحت الأنظمة الإنتاجية في الوقت الحالي تتصف بالتعقيد و المرونة في الإنتاج، ما نتج عنه صعوبة في ضمان السيطرة الفعلية على العملية الإنتاجية، و بالتالي أصبحت هذه الأنظمة تطرح إشكالات كبيرة من حيث تصميمها، نمذجتها، تسييرها و قيادتها على أحسن وجه.

يستدعي استخدام الأساليب الكمية، كأداة مساعدة على صنع و اتخاذ القرار في مجال قيادة وحدات الإنتاج و السيطرة على العملية الإنتاجية، اللجوء إلى بناء نموذج للنظام الإنتاجي يصف بدقة هذا النظام؛ و هنا تُبرز النماذج الرياضية قصورها نسبياً، إذ يتم اللجوء، في الغالب، إلى تبسيط معطيات النظام المعقد في النمذجة، و كأنه تتم مقايضة صعوبة و تعقيد النظام باستعمال هذه النماذج، مما يحد، شيئاً ما، من دراسة المسألة. و بالتالي فإن وضع تصور عام و شامل يعكس معطيات الأنظمة المعقدة و سلوكها بصفة أكثر واقعية يتم إذن عبر استعمال أساليب كمية أخرى، تُعد نماذج المحاكاة إحدى أهم حلقاتها.

تُعتبر المحاكاة أسلوباً هاماً جداً و قوياً في دراسة النظم الصناعية و هندستها كونها تعكس النظام الفعلي بالإضافة لاتصافها بالسرعة و المرونة في محاكاة سلوك النظام بما يُمكِّن من الوقوف على سريان مختلف العمليات داخل

النظام المدروس و إمكانية معرفة أدائه و أثر إدخال التغييرات و التحسينات عليه و بالتالي المساهمة الفعَّالة في إرساء قيادة متكاملة للنظام الإنتاجي و اتخاذا لقرارات الصائبة.

1- نماذج الماحكاة.

يرى [نصير:2004] أنه عندما تزداد صعوبة المشاكل الإدارية فإنها لا تناسب التصنيفات القياسية التي يُمكن حلها بالطرق الكمية المعهودة؛ كما أن تطوير نماذج خاصة لحلها يُعد مكلفاً من الناحية الزمنية و المالية، بل قد يكون ذلك من الأمور المستحيلة. و لقد أثبتت الوقائع، حسب نفس الكاتب، أن المحاكاة هي طريقة تحليل كمي مناسبة للتعامل مع هذه المشاكل المعقدة.

و يزخر واقعنا حسب [السيد و العبد: 2003] بالعديد من نماذج المحاكاة، فشركة بوينج للطائرات مثلاً تستخدم نماذج المحاكاة لإختبار خصائص الديناميكا الهوائية للطائرات النفاثة، كما تستخدم العديد من قوات الدفاع و الجيش في الدول محاكاة خطط الحروب عن طريق ألعاب الحاسوب، و تستخدم العديد من الجامعات و المعاهد أسلوب المحاكاة لتعليم الطلاب فنون إدارة منظمات الأعمال في أسواق تنافسية.

و يضيف [بقجه جي و آخرون] أن التحليل باستخدام المحاكاة يُعد إمتداداً طبيعياً و منطقياً للنماذج التحليلية و الرياضية المتأصلة في بحوث العمليات؛ حيث أن هناك العديد من الحالات التي لا يمكن تمثيلها رياضياً إما بسبب الطبيعة العشوائية للمسألة المدروسة، أو بسبب تعقيد صياغتها، أو نظراً للتفاعلات اللازمة لوصف المسألة قيد الدراسة وصفاً دقيقاً. و في جميع الحالات التي تستعصي على الصياغة الرياضية، تُعد المحاكاة الأداة الوحيدة التي يمكن استخدامها للحصول على إجابات مناسبة.

1-1- مفهوم و ماهية النمذجة باستخدام أسلوب المحاكاة:

إن للمحاكاة مفاهيم عديدة غير أنها تقود إلى نفس المعنى و المدلول، فكلمة محاكاة تعني محاولة تقليد صفات و مظهر و خصائص أمر حقيقي الذي هو نظام الإنتاج في دراستنا. تعرف المحاكاة بأنها "محاولة لتطبيق خصائص و مظاهر النظم الواقعية في شكل نماذج تقترب بشدة من و تُعطي تصوراً دقيقاً للواقع و مشاكله" [جلال العبد: 2002]. كما يمكن تعريفها بأنها "عبارة عن تقليد لظاهرة ما بهدف التفسير و التنبؤ بسلوكها، أو هي أسلوب

كمي لوصف النظام الحقيقي من خلال تطوير النموذج الذي، بمساعدة سلسلة من التجارب يمكن التنبؤ بسلوك النظام عبر الوقت".[81]

فالمحاكاة عبارة عن أسلوب كمي لوصف عملية أو نظام، فعندما تكون العلاقات التي تشكل النموذج قليلة التعقيد بحيث يُمكن للمعادلات الرياضية أن تعبر بشكل تام عن النظام، يُدعى النموذج عندها بالنموذج التحليلي. لكن عندما يكون النظام معقداً كما في الحياة العملية، فعندها يمكن دراسة النظام فقط باستخدام المحاكاة.

2- دراسة و تحليل نظام الإنتاج لدى المؤسسة.

2-1- سياسة الإنتاج لدى المؤسسة و مرحلة ما قبل الإنتاج:

تُنتج المؤسسة من أجل المخزون، حيث يتم إعداد الخطة الإجمالية للإنتاج بالتنسيق مع المصلحة التجارية التي تعتمد في تقديراتها للطلب على ثلاث محددات هي: معطيات السوق؛ ما تحقق من مبيعات سابقة؛ دراسة تطور الأجور و التضخم. فبناءًا على هذه المحددات، يتم إعداد خطة تفصيلية للإنتاج، في بداية شهر سبتمبر، تُغطي الاحتياجات السنوية (12 شهراً).

2-2- سريان و ترتيب العمليات لمراحل الإنتاج:

بغرض فهم النظام الإنتاجي لدى المؤسسة و متابعة سير التدفقات داخل هذا النظام قمنا بوضع تصور عام لخط الإنتاج لدى المؤسسة، يعكس و يصف مختلف عمليات و مراحل العملية الإنتاجية و انسيابها من البداية و حتى الحصول على المنتج النهائي بدءاً بعملية التحضير، و تثبيت المكونات و القِطع على البطاقة، فتلحيم هذه البطاقة، إلى عملية القَطع و التهذيب، مروراً بإجراء التوصيلات الضرورية، ثم التركيب النهائي للمنتج، و إجراء عملية التعبئة و التغليف و ما يصاحبها من لواحق للحصول أخيراً على منتج نهائي جاهز.

2-3- إجمالي خط الإنتاج:

يتكون خط الإنتاج من ثلاثة مناطق رئيسية هي:

- منطقة تثبيت المكونات و القطع؛
- منطقة القَطع و التهذيب (ما قبل التركيب)؛

[81] - د. نجم عبود نجم، مدخل إلى الأساليب الكمية مع التطبيق باستخدام Microsoft Excel، الوراق للنشر و التوزيع، الطبعة الثانية 2008، ص 510.

- منطقة التركيب و التجميع النهائي للمنتج.

3- بناء نماذج محاكاة لعمليات الإنتاج في المؤسسة باستخدام حزمة المحاكاة ARENA.

سوف نُحاول تصميم نماذج محاكاة لعملية الإنتاج داخل المؤسسة الوطنية للصناعات الإلكترونية، حيث سوف نقوم بدراسة نظام الإنتاج و تحليله اعتمادا على ما تم جمعه من معطيات ميدانية للمنتَج قيد الدراسة، المتمثل في جهاز تلفاز LED 42 بوصة، ثم وضع نموذج تصوري لخطوط إنتاجه الثلاث العاكسة للمراحل الأساسية للإنتاج التي سبق شرحها، من: تثبيت، فقَطع و تهذيب، إلى الجمع النهائي للمنتَج. و أخيراً نقوم ببناء نماذج محاكاة لكل مرحلة من هذه المراحل لهذا المنتَج.

و لقد وقع الاختيار على بيئة المحاكاة ARENA التي تُنتجها شركة **Rockwell Software**، و التي تُعتبر من أهم ما هو متوفر حالياً في مجال أنظمة المحاكاة لما لها من خصائص فنية متميِّزة. وبيئة ARENA تستخدم أسلوب تفاعل العمليات **(Process Interaction)** لهيكلة برامج المحاكاة، و تعتمد على البرمجة المرئية باستخدام القوالب، التي تسمى في **ARENA** بالوحدات (Modules)، كما تقوم **(ARENA)** على لغة المحاكاة المعروفة باسم **(SIMAN)**[82].

3-1- دراسة، تحليل نظام الإنتاج، و تصميم نموذج المحاكاة للمنتوج قيد الدراسة:

بهدف تحليل مراحل و عمليات التصنيع و بناء نموذج المحاكاة للنظام الإنتاجي الخاص بالمنتوج قيد الدراسة، تم إتباع ثلاثة خطوات كما يلي:

- الخطوة الأولى: وضع تصميم يعكس توصيفاً مناسباً لحركة و تفاعل المكوِّنات الداخلة في عملية التصنيع، و تصوراً للتسلسل المنطقي لهذه العملية من أولها إلى آخرها؛ وذلك لكل خط إنتاجي فرعي، حيث لدينا ثلاثة خطوط إنتاج جزئية تُقابل المراحل الثلاث للتصنيع؛
- الخطوة الثانية: جمع البيانات و تحليلها؛ إذ تم جمع البيانات الضرورية من داخل وحدة الإنتاج و الوقوف على سيرورة عملية التصنيع للمنتوج عند كل خط و مرحلة موازاةً مع حساب الأزمنة اللاّزمة للتصنيع عند كل مركز إنتاج باستعمال جهاز قياس التوقيت على فترات و أيام مختلفة تحت ظروف التشغيل العادية. بعد جمع هذه البيانات الضرورية في بناء النماذج، تم تحليلها بواسطة مُحلل البيانات الملحق ببرنامج المحاكاة، وفق منهجية محددة، وذلك بغرض الحصول على أفضل توزيع إحصائي يُناسب البيانات المجمعة، و منه اشتقاق أفضل معادلةٍ لهذه البيانات (ذات

[82] Kelton, W. D., Sadowski, R. P. and Sadowski, D. A., Simulation with Arena, McGraw-Hill, USA, 2002.

أدنى مربع خطأ)، لكل مركز إنتاجي، البالغ عددها إجمالاً حوالي 57 مركز؛ مما جعل هذه الخطوة تأخذ قدراً بالغ الأهمية في التحليل، و حيزاً أكبر، حيث أنها تمثل مدخلات النماذج المصممة.

- ❖ الخطوة الثالثة: تصميم النموذج اعتمادا على الخُطوتين السابقتين، التحقق من صلاحيته، ثمَّ إجراءه على برنامج **Arena**؛ فالحصول على المخرجات المتمثلة في مختلف التقارير و تحليلها.

3-1-1- تصميم نموذج محاكاة لمرحلة تثبيت المكوِّنات و القِطع:

بإتباع منهجية الدراسة الموضحة سابقاً في الخطوات الثلاثة، نقوم فيما يلي بتصميم نموذج محاكاة لخط الإنتاج الأوَّل أين يتم إجراء تثبيت المكوِّنات و القِطع على بطاقة التغذية.

3-1-1-1: جمع البيانات و تحليلها:

بعد تصميم شكل خط الإنتاج تم تحليل البيانات المجمعة المتعلقة بالخط، بالتفصيل لكل مركز من مراكز التصنيع، حتى يتسنى الحصول على أنسب توزيع إحصائي، حسب كل مركز، و معادلته كما سبق ذِكره. لنقوم فيما بعد بتصميم النموذج و التعليق على مخرجاته.

يُبيِّن الجدول التالي مُلخصاً لمختلف التوزيعات الإحصائية المناسبة لكل مركز إنتاج في الخط، و معادلتها، إضافةً إلى كل من المتوسط الحسابي، الانحراف المعياري و مربع الخطأ.

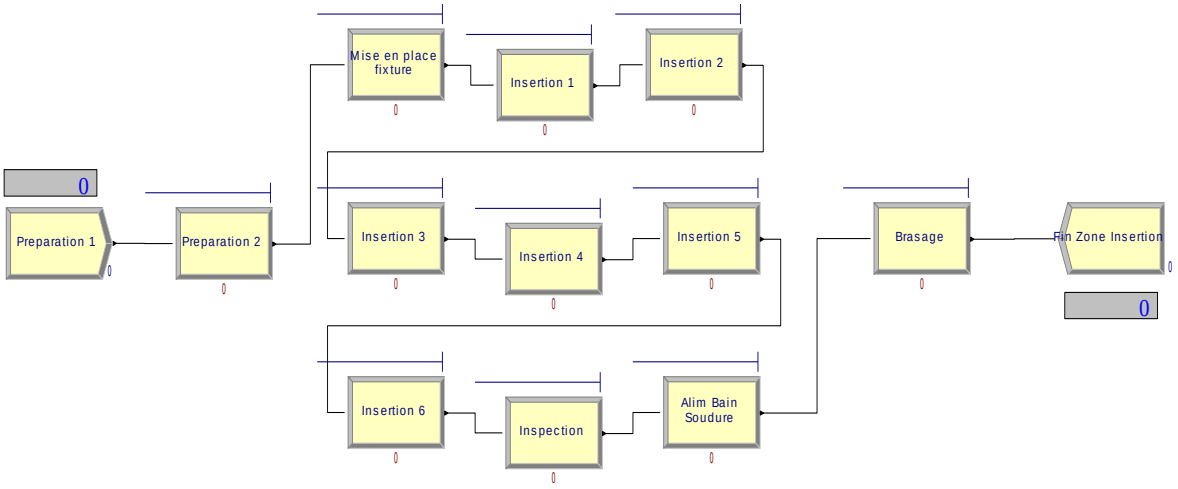
مرحلة التثبيت – Zone Insertion					
المركز الإنتاجي	التوزيع المناسب	معادلة التوزيع	المتوسط الحسابي	الإنحراف المعياري	مربع الخطأ
01	Beta	31.3 + 7.74 * BETA (1.24, 1.04)	35.5	2.13	0.006165
02	Beta	40 + 5.44 * BETA(1.48, 1.44)	42.8	1.37	0.009369
03	Beta	54 + 10 * BETA(0.994, 1.07)	58.8	2.85	0.004992
04	Triangular	TRIA(6.89, 6.96, 7.31)	7.08	0.106	0.014114
05	Gamma	57.4 + GAMM(1.09, 2.78)	60.4	1.71	0.013545

0.017176	2.33	38.5	35 + LOGN(3.49, 2.74)	Lognormal	06
0.008400	1.85	60.8	57.1 + 6.88 * BETA(1.3, 1.15)	Beta	07
0.027185	*1.11*	*39*	37.6 + LOGN(1.38, 1.1)	Lognormal	08
0.004848	*1.2*	*51.1*	48.5 + 4.99 * BETA(1.74, 1.6)	Beta	09
0.016325	*1.64*	*56.8*	TRIA(54.2, 54.9, 60.6)	Triangular	10
0.006437	*0.71*	*68.3*	67 + 2.81 * BETA(1.32, 1.57)	Beta	11
0.000071	8.83	*267*	UNIF(251, 282)	Uniform	12

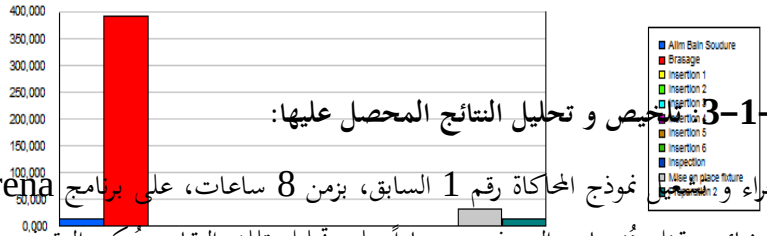
جدول 1: التوزيعات الإحصائية المناسبة لخط الإنتاج الأوَّل و معادلاتها.

3-1-1-2: تصميم و بناء النموذج:

في هذه الخطوة تم بناء النموذج الخاص بهذا الخط الإنتاجي بواسطة برنامج Arena بناءاً على الخطوتين السابقتين من وضع المخطط الانسيابي الملائم لعملية التصنيع، و استعمال نتائج تحليل البيانات السابقة كمدخلات لهذا النموذج ، ومن ثم تشغيله، بعد التأكد من سلامته و صحته من طرف البرنامج، بعدد 120 وحدة مُنتجة، و هي كمية الإنتاج اليومي المستهدفة في الغالب حسب مسئولي وحدة الإنتاج.



الشكل1: نموذج محاكاة لمرحلة تثبيت المكوِّنات و القِطع.



3-1-1-3: تلخيص و تحليل النتائج المحصل عليها:

بعد إجراء و تحليل نموذج المحاكاة رقم 1 السابق، بزمن 8 ساعات، على برنامج Arena، تم الحصول على عدة تقارير و نتائج، تمثل مُخرجات النموذج، و بناءاً على تحليل تلك التقارير يُمكن الوقوف على حالة النظام الإنتاجي و تلخيصها، فمن خلال الجدول 2 يُمكن استقراء مختلف المعطيات الخاصة بأزمنة الوحدة الواحدة المنتجة من قبل هذا الخط، حيث نلاحظ، مثلاً، أن أعظم زمن انتظار للوحدة سوف يكون أمام حمام التلحيم (Brasage) مما يُؤدي لبروز صفوف انتظار أمام هذا المركز الإنتاجي و التأثير سلباً نوعاً ما على فعالية خط الإنتاج؛ و لتلافي هذا يُمكن لمسؤول وحدة الإنتاج و قائدها أن يتخذ قرار، مثلاً، بتدعيم الخط بحمام تلحيم ثانٍ موازٍ.

مركز التصنيع	زمن الانتظار
Preparation 2	0,11
Mise en place	0,28
Insertion 1	0,00
Insertion 2	0,01
Insertion 3	0,00
Insertion 4	0,01
Insertion 5	0,00
Insertion 6	0,00
Inspection	0,00
Alim Bain	0,12
Brasage	3,27
Σ	3.8

جدول 2: أزمنة الوحدة المصنعة الواحدة.

مركز التصنيع	زمن الانتظار
Alim Bain	14,59
Brasage	391,87
Insertion 1	0,00
Insertion 2	1,79
Insertion 3	0,00
Insertion 4	0,86
Insertion 5	0,00
Insertion 6	0,00
Inspection	0,00
Mise en place	33,28
Preparation 2	13,73
Σ	456.12

جدول 3: مجموع أزمنة التصنيع حسب المراكز.

في حين يُوضح الجدول 3 مجموع أزمنة التصنيع المحاكاة لإجمالي الكمية المستهدفة بالإنتاج، أي 120 وحدة؛ و هي النتائج الممثلة بيانياً في الشكل التالي أين نلاحظ ارتفاعها دائماً عند مركز حمام التلحيم (Brasage).

الشكل 2: مجموع أزمنة الانتظار حسب المراكز.

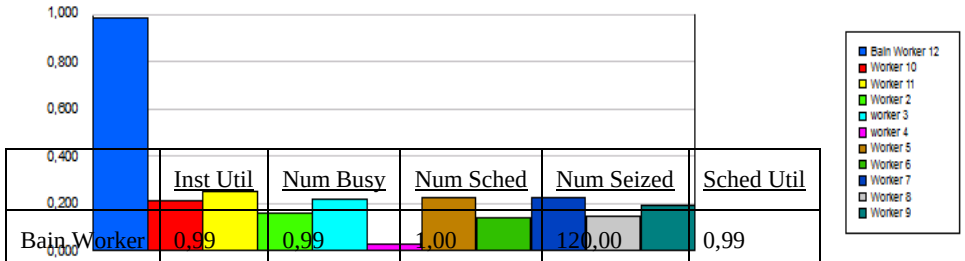
من خلال الجدول التالي (جدول رقم 4) يُمكن الوقوف على حال صفوف الانتظار داخل وحدة الإنتاج في جُزئها المتعلق بهذا الخط الإنتاجي، من أزمنة الانتظار التي سبق الإشارة لها، أو من خلال عدد الوحدات المتوقعة التي سوف تُشكِّل طابور انتظار أمام مُختلف مراكز التصنيع، حيث نلاحظ دائماً أن المركز الإنتاجي المتمثل في "حمام التلحيم" سوف يُشكل شبه نقطة اختناق بعدد وحدات قيد الانتظار يُقدر بحوالي 44 وحدة، مما يستدعي العمل على اتخاذ قرارات مساعدة على حل هذا الإشكال؛ في حين هناك مراكز تصنيع أخرى تسري عملية الإنتاج خلالها بانسيابية دون أي انتظار يُذكر.

مركز التصنيع	زمن الانتظار	عدد الوحدات قيد الانتظار
Alim Bain Soudure	0.12	1.63
Brasage	3.27	43.66
Insertion 1	0.00	0.00
Insertion 2	0.01	0.20
Insertion 3	0.00	0.00
Insertion 4	0.01	0.10
Insertion 5	0.00	0.00
Insertion 6	0.00	0.00
Inspection	0.00	0.00
Mise en place fixture	0.28	3.71
Preparation 2	0.11	1.53
$\sum$	3.8	50.83

جدول 4 حال الانتظار المتعلقة بالخط الإنتاجي.

فيما يلي نعمل على استخلاص مختلف المؤشرات المتعلقة بالموارد و درجة استغلالها، كما هي مُوضحة في الجدول 5، و الشكل اللاحق له؛ إذ يُبين الأوّل درجة استعمال الموارد حسب الجدولة الموضوعة، و التي نراها مُرتفعة، تكاد تكون تامة، بالنسبة للعامل المشرف على "حمام التلحيم"، في حين بقية الموارد (العمال) تبقى دون الاستغلال

الأمثل لها، و بخاصة عند المركز رقم 4، التي تعتبر جد ضعيفة. بناءاً على هذه النتائج و الفوارق الكبيرة الملاحظة بين درجة استعمال الموارد، خاصة بين رقم 12 و رقم 4، ينبغي على مُتخذ القرار العمل على إجراء "تسوية" للأعباء الموزعة على مختلف مراكز التصنيع، بما يضمن انسجام و انسيابية أكبر بين هذه المراكز على طول الخط الإنتاجي، وكذا الاستغلال الفعَّال لبقية الموارد.



	Inst Util	Num Busy	Num Sched	Num Seized	Sched Util
Bain Worker	0,99	0,99	1,00	120,00	0,99
Worker 10	0,21	0,21	1,00	120,00	0,21
Worker 11	0,25	0,25	1,00	120,00	0,25
Worker 2	0,16	0,16	1,00	120,00	0,16
worker 3	0,22	0,22	1,00	120,00	0,22
worker 4	0,03	0,03	1,00	120,00	0,03
Worker 5	0,22	0,22	1,00	120,00	0,22
Worker 6	0,14	0,14	1,00	120,00	0,14
Worker 7	0,23	0,23	1,00	120,00	0,23
Worker 8	0,14	0,14	1,00	120,00	0,14
Worker 9	0,19	0,19	1,00	120,00	0,19

جدول 5: مُلخص إستعمال الموارد.

الشكل 3: إستعمال الموارد حسب الجدولة الموضوعة.

3-1-2- تصميم نموذج محاكاة لمرحلة القَطع و التهذيب (Retouche):

3-1-2-1: جمع البيانات و تحليلها:

بعد تصميم شكل خط الإنتاج تم تحليل البيانات المجمعة المتعلقة بالخط، بالتفصيل لكل مركز من مراكز التصنيع، حتى يتسنى الحصول على أنسب توزيع إحصائي، حسب كل مركز، و معادلته، كما في حال الخط الإنتاجي الأوّل. لنقوم فيما بعد بتصميم النموذج الذي يُحاكي هذا الخط و التعليق على مخرجاته.

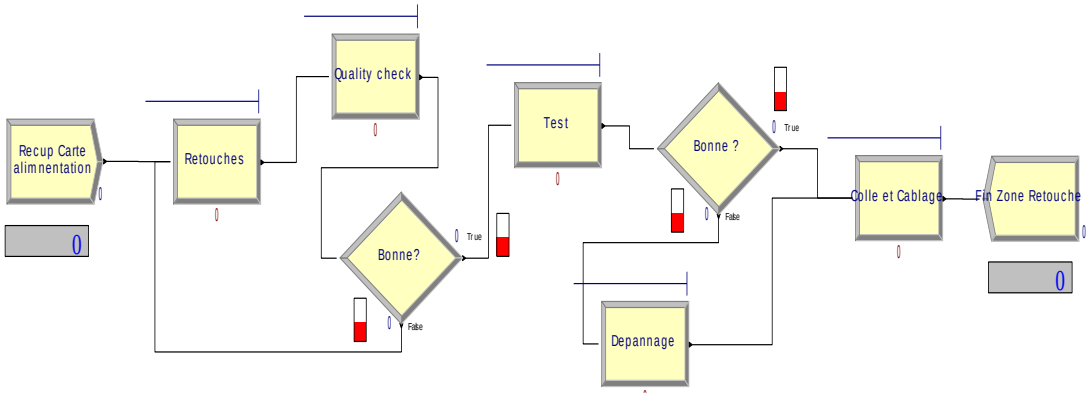
يُبيِّن الجدول التالي مُلخصاً لمختلف التوزيعات الإحصائية المناسبة لكل مركز إنتاج في الخط، و معادلتها، إضافةً إلى كل من المتوسط الحسابي، الانحراف المعياري و مربع الخطأ.

مرحلة القطع و التهذيب - Zone Retouche					
المركز الإنتاجي	التوزيع المناسب	معادلة التوزيع	المتوسط الحسابي	الإنحراف المعياري	مربع الخطأ
15	Gamma	29 + GAMM(4.29, 1.49)	35.4	5.27	0.002143
16-20	Normal	NORM(151, 10.3)	151	10.3	0.002985
21-22	Beta	60 + 34 * BETA(1.01, 0.979)	77.3	9.82	0.002631
23	Beta	35 + 35 * BETA(0.53, 0.793)	49	11.3	0.010396
24-25	Triangular	TRIA(39, 165, 328)	179	61.5	0.004999
26	Exponential	52 + EXPO(1.15)	53.1	1.17	0.000581

الجدول 6: التوزيعات الإحصائية المناسبة لخط الإنتاج الثاني و معادلاتها.

3-1-2-2: تصميم و بناء النموذج:

في هذه الخطوة تم بناء النموذج الخاص بهذا الخط الإنتاجي بواسطة برنامج Arena بناءاً على الخطوتين السابقتين من وضع المخطط الانسيابي الملائم لعملية التصنيع، و استعمال نتائج تحليل البيانات السابقة كمدخلات لهذا النموذج، ومن ثم تشغيله، بعد التأكد من سلامته و صحته من طرف البرنامج، بعدد 120 وحدة مُنتجة دائماً، و هي كمية الإنتاج اليومي المستهدفة في الغالب حسب مسئولي وحدة الإنتاج.



الشكل 4: نموذج المحاكاة رقم 2 (خط القَطع و التهذيب).

3-2-1-3: تلخيص و تحليل النتائج المحصل عليها:

بعد إجراء و تشغيل نموذج المحاكاة رقم 2 السابق، بزمن 8 ساعات، على برنامج Arena، تم الحصول على عدة تقارير و نتائج، تمثل مُخرجات النموذج، و بناءاً على تحليل تلك التقارير يُمكن الوقوف على حالة النظام الإنتاجي و تلخيصها على النحو التالي:

فمن خلال الجدول 7 يُمكن استقراء مختلف المعطيات الخاصة بأزمنة الوحدة الواحدة المنتجة من قبل هذا الخط، حيث نُلاحظ، مثلاً، أن أعظم زمن انتظار للوحدة سوف يكون أمام مراكز التهذيب (Retouches) مما يُؤدي لبروز صفوف انتظار خلال هذه المرحلة التصنيعية و التأثير سلباً نوعاً ما على فعالية خط الإنتاج بأكمله؛ و لتلافي هذا يُمكن لمسؤول وحدة الإنتاج و قائدها أن يتخذ قرار، مثلاً، بتدعيم هذه المراكز بعدد إضافي من العمال للتسريع في وتيرة التصنيع و تخفيض المواد قيد الإنجاز و القضاء على "نقطة الاختناق" في الخط.

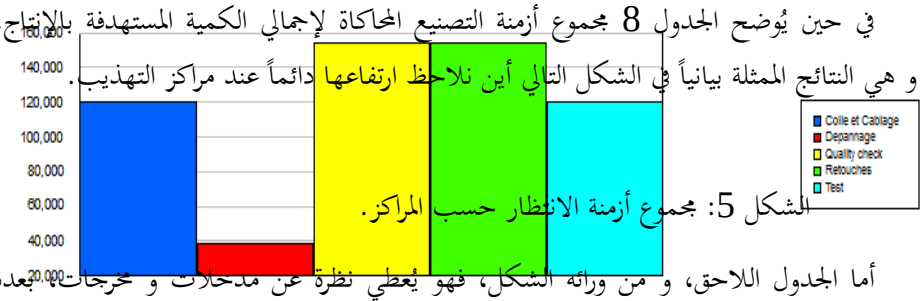
مركز التصنيع	زمن الانتظار
Colle et cablage	0,00
Depannage	0,01
Quality check	0,00
Retouches	2,05
Test	0,00
∑	**2.06**

جدول 7: أزمنة الوحدة المصنعة الواحدة.

مركز التصنيع	زمن الانتظار
Colle et cablage	0,11
Depannage	0,39
Quality check	0,00
Retouches	316,19
Test	0,00
∑	**316.69**

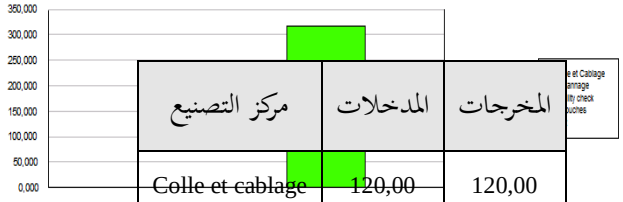
جدول 8: مجموع الأزمنة حسب المراكز.

في حين يُوضح الجدول 8 مجموع أزمنة التصنيع المحاكاة لإجمالي الكمية المستهدفة بالإنتاج، أي 120 وحدة؛ و هي النتائج الممثلة بيانياً في الشكل التالي أين نلاحظ ارتفاعها دائماً عند مراكز التهذيب.



الشكل 5: مجموع أزمنة الانتظار حسب المراكز.

أما الجدول اللاحق، و من ورائه الشكل، فهو يُعطي نظرة عن مدخلات و مخرجات بعدد الوحدات، لكل مركز إنتاجي، و التي نلاحظ أنها سوف تُعادل، في الأخير، الكمية المراد إنتاجها، أي 120 وحدة، غير أننا نتوقع أن يكون لدينا، في مقام أوَّل، 34 وحدة تبين بعد فحصها عند مراقبة جودتها أنها تحتاج إلى إعادة تهذيب، مما يرفع من مدخلات و منه مخرجات مراكز التهذيب و مراقبة الجودة كذلك إلى 154 وحدة؛ ثم بعدها نلاحظ أنه عند اختبار الوحدات المصنعة سوف تحتاج 39 وحدة إلى عملية تصليح قبل مواصلة مسارها و خروجها من الخط.



مركز التصنيع	المدخلات	المخرجات
~~Colle et cablage~~	~~120,00~~	120,00
Depannage	39,00	39,00
Quality check	154,00	154,00
Retouches	154,00	154,00
Test	120,00	120,00

جدول 9: مدخلات و مخرجات كل مركز.

الشكل 6: المدخلات و المخرجات حسب المراكز.

من خلال الجدول رقم 10 يُمكن الوقوف على حال صفوف الانتظار داخل وحدة الإنتاج في جُزئها المتعلق بهذا الخط الإنتاجي، من أزمنة الانتظار التي سبق الإشارة لها، أو من خلال عدد الوحدات المتوقعة التي سوف تُشكِّل طابور انتظار أمام مُختلف مراكز التصنيع، حيث نلاحظ دائماً أن المركز الإنتاجي المتمثل في "التهذيب" سوف يُشكل نقطة اختناق بعدد وحدات قيد الانتظار يُقدر بحوالي 49 وحدة، مما يستدعي العمل على اتخاذ قرارات مساعدة على حل هذا الإشكال بعدد إضافي من العمال؛ في حين هناك مراكز تصنيع أخرى تسري عملية الإنتاج خلالها بانسيابية دون أي انتظار يُذكر.

مركز التصنيع	زمن الإنتظار	عدد الوحدات قيد الإنتظار
Colle et Câblage	0.00	0.02

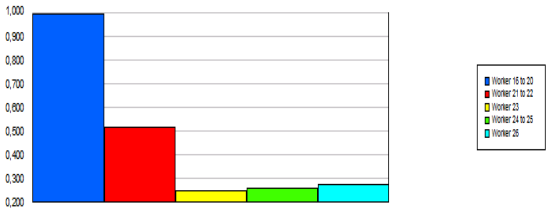
Contrôle qualité	0.00	0.00
Dépannage	0.01	0.06
Retouches	2.05	49.10
Test	0.00	0.00
∑	2.06	49.18

جدول 10: حال الانتظار المتعلقة بالخط الإنتاجي.

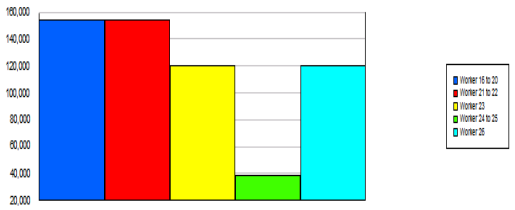
فيما يلي قمنا باستنتاج مختلف المؤشرات المتعلقة بالموارد و درجة استغلالها، كما هي مُوضحة في الجدول 11، و الشكلين اللاحقين له؛ إذ يُبين الأوّل درجة استعمال الموارد حسب الجدولة الموضوعة، و التي نراها مُرتفعة، تكاد تكون تامة، بالنسبة للعمال القائمين على عملية "التهذيب" (16-20)، تليها مراكز مراقبة الجودة (21-22) (0.52) في حين تتفاوت درجة استعمال بقية الموارد (العمال) التي تبقى دون الاستغلال الأمثل لها، حيث نجدها ضعيفة عند المركز 23 مثلاً، و هذا طبيعي طالما هذا المركز يُعنى بالتصليح فقط لما يحتاج ذلك. بناءاً على هذه النتائج و الفوارق الملاحظة بين درجة استعمال الموارد، يُمكن لمتخذ القرار التدخل بما يراه مناسباً من أجل السهر على ضمان قدر أعلى من الفعالية و قيادة كفأة لعملية الإنتاج.

	Inst Util	Num Busy	Num Sched	Num Seized	Sched Util
Worker 16 to 20	0,99	0,99	1,00	154,00	0,99
Worker 21 to 22	0,52	0,52	1,00	154,00	0,52
Worker 23	0,25	0,25	1,00	120,00	0,25
Worker 24 to 25	0,26	0,26	1,00	39,00	0,26
Worker 26	0,28	0,28	1,00	120,00	0,28

جدول 11: مُلخص عن درجة إستعمال الموارد.



الشكل 7: إستعمال الموارد حسب الجدولة الموضوعة.



الشكل 8: إجمالي عدد الوحدات المعالجة من قبل كل مركز إنتاجي.

3-1-3- تصميم نموذج محاكاة لخط التجميع و التركيب النهائي للمنتَج:

تُعد هذه المرحلة آخر مرحلة في عملية الإنتاج نحصل بعدها على المنتَج النهائي جاهزاً للاستعمال.

3-1-3-1: جمع البيانات و تحليلها:

بعد تصميم شكل خط الإنتاج تم تحليل البيانات المجمعة المتعلقة بالخط، بالتفصيل لكل مركز من مراكز التصنيع، حتى يتسنى الحصول على أنسب توزيع إحصائي، حسب كل مركز، هنا كذلك، و معادلته. لنقوم فيما بعد بتصميم نموذج المحاكاة و تشغيله و استخراج النتائج و تلخيصها.

يُبيِّن الجدول التالي مُلخصاً لمختلف التوزيعات الإحصائية المناسبة لكل مركز إنتاج في الخط، و معادلتها، إضافةً إلى كل من المتوسط الحسابي، الانحراف المعياري و مربع الخطأ.

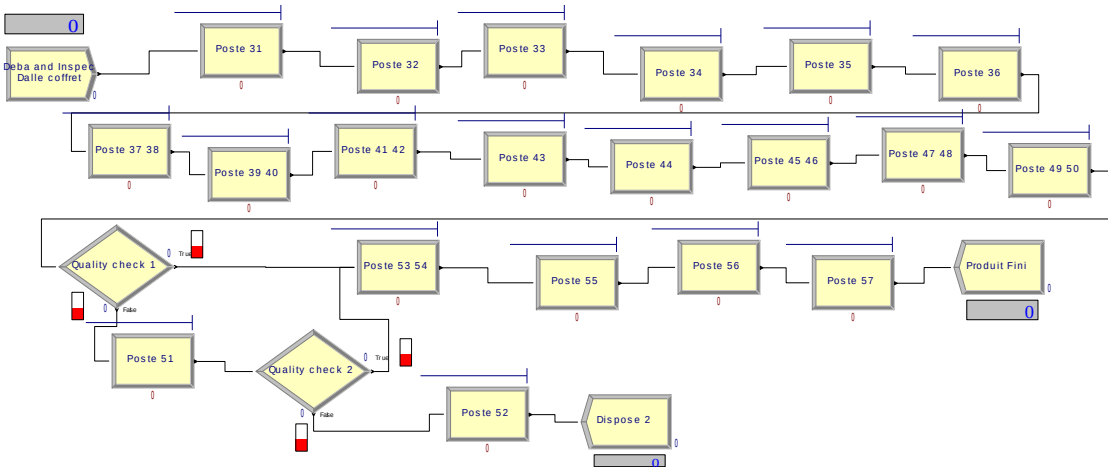
مرحلة التجميع النهائي -Zone Assemblage final					
المركز الإنتاجي	التوزيع المناسب	معادلة التوزيع	المتوسط الحسابي	الإنحراف المعياري	مربع الخطأ
29-30	Beta	30 + 10 * BETA(1.03, 0.944)	35.2	2.89	0.006564
31	Beta	28 + 4.44 * BETA(1.53, 1.32)	30.4	1.13	0.028341
32	Weibull	21 + WEIB(15.7, 3.02)	35.1	4.99	0.003708
33	Normal	NORM(32.7, 1.87)	32.7	1.87	0.003827
34	Normal	NORM(33.2, 1.9)	33.2	1.9	0.004435

0.041864	1.85	30.2	28 + LOGN(2.36, 3.42)	Lognormal	35
0.008152	0.508	31	30 + 2 * BETA(1.38, 1.5)	Beta	36
0.009180	1.84	40.5	37 + GAMM(0.977, 3.61)	Gamma	37-38
0.004186	7.66	93.3	80 + 28 * BETA(1.11, 1.22)	Beta	39-40
0.002384	2.43	46.2	42 + 9 * BETA(1.12, 1.29)	Beta	41-42
0.004529	2.62	20.1	NORM(20.1, 2.62)	Normal	43
0.003836	0.835	19	18 + GAMM(0.71, 1.47)	Gamma	44
0.006027	1.17	42.1	40 + 4.87 * BETA(1.44, 1.82)	Beta	45-46
0.007601	1.7	57	54 + 6 * BETA(1.04, 1.06)	Beta	47-48
0.004781	1.8	82.8	NORM(82.8, 1.79)	Normal	49-50
0.005248	78.5	421	301 + 274 * BETA(0.741, 0.907)	Beta	51
0.036823	93.6	1.08e+003	TRIA(906, 1.14e+003, 1.2e+003)	Triangular	52
0.002438	3.69	147	NORM(147, 3.69)	Normal	53-54
0.004253	1.9	65	61 + 8 * BETA(1.71, 1.73)	Beta	55
0.006890	0.673	19	17.7 + 2.7 * BETA(1.54, 1.49)	Beta	56
0.005955	1.65	138	136 + GAMM(1.21, 1.97)	Gamma	57

جدول 12: التوزيعات الإحصائية المناسبة لخط الإنتاج الثالث و معادلاتها.

3-1-3-2: تصميم و بناء النموذج:

في هذه الخطوة تم بناء النموذج الخاص بهذا الخط الإنتاجي بواسطة برنامج Arena ومن ثم تشغيله، بعد التأكد من سلامته و صحته من طرف البرنامج، بعدد 120 وحدة مُنتجة، و هي كمية الإنتاج اليومي المستهدفة داخل وحدة الإنتاج.

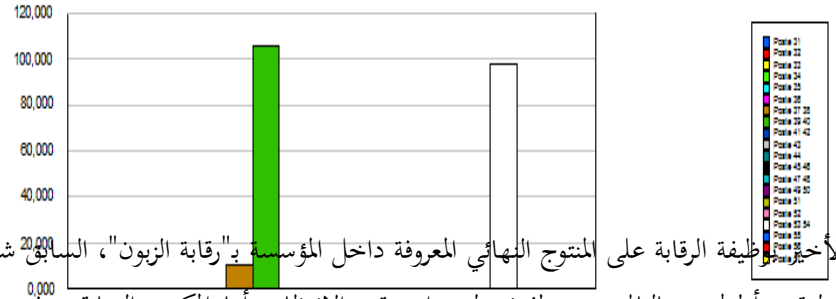


الشكل 9: نموذج المحاكاة رقم 3 (خط التجميع النهائي).

3-3-1-3: تلخيص و تحليل النتائج المحصل عليها:

بعد إجراء و تشغيل نموذج المحاكاة رقم 3 السابق، بزمن 8 ساعات، على برنامج Arena، تم الحصول على عدة تقارير و نتائج، تمثل مُخرجات النموذج، و بناءاً على تحليل تلك التقارير يُمكن الوقوف على حالة الخط الإنتاجي و تلخيصها على النحو التالي:

فعبر الجدولين 13و 14، و الشكل 10 ، يُمكن استقراء مختلف المعطيات الخاصة بأزمنة الوحدة الواحدة المنتجة من قبل هذا الخط، حيث نلاحظ، مثلاً، أن أعظم زمن انتظار للوحدة سوف يكون أمام المراكز (39-40) متبوعةً بالمراكز (53-54)، و هذا ينسجم مع معطيات العملية الإنتاجية، حيث تهتم هذه المراكز



الأخير بوظيفة الرقابة على المنتوج النهائي المعروفة داخل المؤسسة بـ"رقابة الزبون"، السابق شرحها، و هو ما يُفسِّر أخذها لوقت أطول و بالتالي بروز طفيف لوحدات قيد الانتظار. أما المركزين السابقين فمن المهم الالتفات إليهما طالما أننا نلاحظ أن المراكز السابقة و اللاحقة لها ليس أمامها وحدات قيد الانتظار، مما يجعلهما "نقطة اختناق" بالخط الإنتاجي" و هو الإشكال الذي يمكن تلافيه بطريقة أو بأخرى، كالرفع من عدد العمال، و بالتالي تسوية الخط و ضمان استغلال أحسن للموارد من قبل و من بعد.

الشكل 10: إجمالي أزمنة الإنتظار حسب المراكز

مركز التصنيع	زمن الانتظار
Poste 31	0,00
Poste 32	0,00
Poste 33	0,00
Poste 34	0,00
Poste 35	0,00
Poste 36	0,00
Poste 37 38	0,08
Poste 39 40	0,88
Poste 41 42	0,00
Poste 43	0,00
Poste 44	0,00
Poste 45 46	0,00
Poste 47 48	0,00
Poste 49 50	0,00
Poste 51	0,02
Poste 52	0,00
Poste 53 54	0,83
Poste 55	0,00
Poste 56	0,00
Poste 57	0,00
∑	**1.81**

جدول 13: أزمنة الوحدة المصنعة الواحدة.

مركز التصنيع	زمن الانتظار
Poste 31	0,00
Poste 32	0,41
Poste 33	0,08
Poste 34	0,10
Poste 35	0,01
Poste 36	0,01
Poste 37 38	10,04
Poste 39 40	105,92
Poste 41 42	0,00
Poste 43	0,00
Poste 44	0,00
Poste 45 46	0,00
Poste 47 48	0,00
Poste 49 50	0,03
Poste 51	0,09
Poste 52	0,00
Poste 53 54	97,73
Poste 55	0,00
Poste 56	0,00
Poste 57	0,00
∑	**214.42**

جدول 14: إجمالي الأزمنة حسب المراكز.

من خلال الجدول 15 نلاحظ أن الكمية كانت تسري وفق ما هو مُخطط له إلى غاية المركز 49-50، أي 120 وحدة، بعد ذلك تذهب 6 وحدات منها إلى التصليح، يُمكن إصلاح 4 منها لتعود إلى الخط و تأخذ

مسراها النهائي؛ في حين سوف تحتاج وحدتين اثنتين تصليحاً مُعمقاً من طرف المختصين في ذلك، مما يستدعي خروجها من خط الإنتاج، و عليه تكون كمية المنتجات النهائية داخل وحدة الإنتاج (أجهزة LED) في حدود 118 وحدة مُنتجة، تذهب للتخزين و منه إلى التسويق.

أما نتائج الجدول 16 فتمكن من معرفة صفوف الانتظار التي قد تتشكل داخل وحدة الإنتاج في جُزئها المتعلق بالتجميع النهائي للمنتوج قيد الدراسة، من أزمنة الانتظار و عدد الوحدات المتوقعة التي سوف تُشكِّل طابور

مركز التصنيع	المدخلات	المخرجات
Poste 31	120,00	120,00
Poste 32	120,00	120,00
Poste 33	120,00	120,00
Poste 34	120,00	120,00
Poste 35	120,00	120,00
Poste 36	120,00	120,00
Poste 37 38	120,00	120,00
Poste 39 40	120,00	120,00
Poste 41 42	120,00	120,00
Poste 43	120,00	120,00
Poste 44	120,00	120,00
Poste 45 46	120,00	120,00
Poste 47 48	120,00	120,00
Poste 49 50	120,00	120,00
Poste 51	6,00	6,00
Poste 52	2,00	2,00
Poste 53 54	118,00	118,00
Poste 55	118,00	118,00
Poste 56	118,00	118,00
Poste 57	118,00	118,00

جدول 15: عدد الوحدات المصنعة حسب كل مركز.

ن النتائج

د من الو

خط الإنت

مركز التصنيع	زمن الانتظار	عدد الوحدات قيد الانتظار
Poste 31	0,00	0.00
Poste 32	0,00	0.08
Poste 33	0,00	0.02
Poste 34	0,00	0.02
Poste 35	0,00	0.00
Poste 36	0,00	0.00
Poste 37 and 38	0,08	1.99
Poste 39 and 40	0,88	20.95
Poste 41 and 42	0,00	0.00
Poste 43	0,00	0.00
Poste 44	0,00	0.00
Poste 45 and 46	0,00	0.00
Poste 47 and 48	0,00	0.00
Poste 49 and 50	0,00	0.01
Poste 51	0,02	0.02
Poste 52	0,00	0.00
Poste 53 and 54	0,83	19.33
Poste 55	0,00	0.00
Poste 56	0,00	0.00
Poste 57	0,00	0.00
∑	1.81	42.42

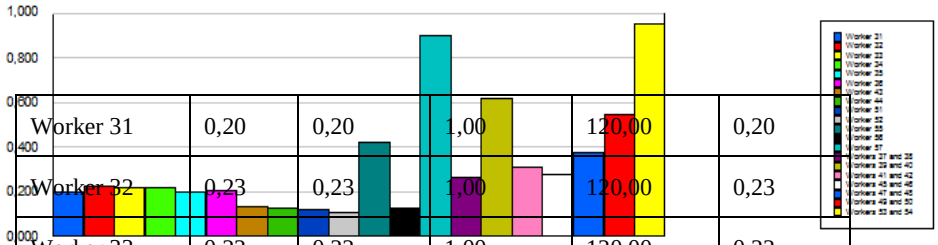
جدول 16: حال الانتظار داخل الخط الإنتاجي.

ـ 11 ـ

حسب الجدولة الموضوعة، التي تبلغ أقصاها لدى مركز العاملين 53-54، متبوعة بالمركز 57؛ في حين تبقى بعض المراكز و الموارد دون مستوى التشغيل المطلوب.

جدول 17: مُلخص استعمال الموارد.

	Inst Util	Num Busy	Num Sched	Num Seized	Sched Util



Worker 31	0,20	0,20	1,00	120,00	0,20
Worker 32	0,23	0,23	1,00	120,00	0,23
Worker 33	0,22	0,22	1,00	120,00	0,22
Worker 34	0,22	0,22	1,00	120,00	0,22
Worker 35	0,20	0,20	1,00	120,00	0,20
Worker 36	0,20	0,20	1,00	120,00	0,20
Worker 43	0,13	0,13	1,00	120,00	0,13
Worker 44	0,12	0,12	1,00	120,00	0,12
Worker 51	0,12	0,12	1,00	6,00	0,12
Worker 52	0,11	0,11	1,00	2,00	0,11
Worker 55	0,42	0,42	1,00	118,00	0,42
Worker 56	0,12	0,12	1,00	118,00	0,12
Worker 57	0,90	0,90	1,00	118,00	0,90
Workers 37-38	0,27	0,27	1,00	120,00	0,27
Workers 39-40	0,62	0,62	1,00	120,00	0,62
Workers 41-42	0,31	0,31	1,00	120,00	0,31
Workers 45-46	0,28	0,28	1,00	120,00	0,28
Workers 47-48	0,38	0,38	1,00	120,00	0,38
Workers 49-50	0,54	0,54	1,00	120,00	0,54
Workers 53-54	0,95	0,95	1,00	118,00	0,95

الشكل 11: إستعمال الموارد حسب الجدولة الموضوعة.

– خاتمة:

خلال هذه الدراسة، قمنا بدراسة و تحليل وحدة الإنتاج لدى المؤسسة الوطنية للصناعات الإلكترونية مع وضع نماذج محاكاة للنظام الإنتاجي الخاص بها، مساعدة على قيادة هذا النظام و الإلمام بمجريات العملية التصنيعية بداخله عبر الصورة المصغرة التي تعكسها تلك النماذج. حيث قمنا في مقام أول بوضع تصور عام لخط الإنتاج للمؤسسة الذي ينقسم بدوره إلى ثلاثة خطوط إنتاجية فرعية حسب مراحل التصنيع لدى المؤسسة من: عملية تثبيت المكوّنات الإلكترونية على اللوحة الأم، إلى مرحلة القَطع و التهذيب، فأخيراً مرحلة التجميع النهائي. بعد ذلك تم وضع تصميم خاص بكل خط إنتاج على حدى مركزين اهتمامنا في الدراسة و التحليل على المنتوج "LED 42، حيث قمنا بتفصيل مختلف مراحل إنتاجه على الخطوط الإنتاجية الثلاثة و جمع و حساب مختلف الأزمنة الضرورية عند كل مركز إنتاجي اعتمادا على 200 قيمة ليتم تحليلها بهدف معرفة أفضل توزيع إحصائي خاص بكل مركز نستخدمه كمدخلات للنموذج المراد تصميمه.

بعد معرفة التوزيعات الإحصائية المناسبة، و بناءاً على ما سبق من تصور لخطوط الإنتاج الثلاث تم بناء نموذج محاكاة خاص بكل خط باستخدام برمجية Arena، بمراعاة التسلسل المنطقي لعمليات الإنتاج و انسيابها داخل الوحدة و مختلف المراحل ذات الصلة بها؛ ليتم بعدها التأكد من صحة و سلامة النماذج المقترحة ذاتياً و آلياً باستعمال البرمجية المذكورة.

كخطوة أخيرة تم تشغيل النماذج المقترحة لفترة ثمانية ساعات، و هي مدة العمل اليومي لدى الشركة، و بعدد 120 وحدة يُراد إنتاجها بناءاً على توصيات القائمين على الإنتاج؛ و منه تم الحصول على مخرجات و نتائج كل نموذج و التي هي مفصلة في الملاحق على الترتيب، ليتم تجميعها و تحليلها بعد ذلك للوقوف عبر هذه النماذج المقترحة، التي تُمثل صورة مُصغرة للنظام، على سيرورة العملية الإنتاجية داخل المؤسسة و بالتالي المساهمة في ضبط هذه العملية و اتخاذا لإجراءات الضرورية و القرارات اللازمة المتعلقة بها بُغية ضمان قيادة فعالة لوحدة الإنتاج و ترشيدها؛ إذ تم الوقوف مثلاً على بعض الجوانب السلبية الحاصلة في عملية التصنيع كبروز بعض "نقاط اختناق" عند بعض المراكز مما يُعيق سيرورة التصنيع بشكل أفضل، و يُعبر عن قصور في استغلال بعض موارد الإنتاج المتاحة، و هي

الجوانب التي يُمكن لمدير الإنتاج و مُتخذ القرار تلافيها باتخاذ ما يراه مناسباً من إجراءات وفق ما يُحيطه من معطيات محصل عليها، كتعزيز مراكز الاختناق بموارد إضافية و إجراء تسوية لخط الإنتاج، و بالتالي الرفع من كفاءة وحدة الإنتاج و أدائها. كما يُمكن لمتخذ القرار اختبار بعض التعديلات و آثارها بإجرائها على النماذج المقترحة أولاً قبل تطبيقها الفعلي داخل الوحدة. و بالتالي فإن هذه النماذج سوف تُساعد على ضمان قيادة فعلية لوحدة الإنتاج داخل المؤسسة.

المراجع:

- نعيم نصير، الأساليب الكمية و بحوث العمليات في الإدارة، عالم الكتب الحديث، الأردن، الطبعة الأولى 2004.
- بقجه جي معلا، نايفة مراد العوا، بحوث العمليات، مترجم، المركز العربي للتعريب و الترجمة و التأليف و النشر بدمشق 1998.
- نجم عبود نجم، مدخل إلى الأساليب الكمية مع التطبيق باستخدام Microsoft Excel، الوراق للنشر و التوزيع، الطبعة الثانية 2008.
- صالح مهدي محسن العامري، د. عواطف إبراهيم الحداد، تطبيقات بحوث العمليات في الإدارة، مكتبة الجامعة، الشارقة، إثراء للنشر و التوزيع، الأردن، الطبعة الأولى 2009.
- د. لحسن عبد الله باشيوة، بحوث العمليات، دار اليازوري العلمية للنشر و التوزيع–عمان، الطبعة العربية 2011.
- Kelton, W. D., Sadowski, R. P. and Sadowski, D. A., Simulation with Arena, McGraw-Hill, USA, 2002.