Choco Matic

ملخص مشروع التخرج: خط إنتاج آلي للشوكولاتة مع جهاز تحمير (Tempering) ونظام إضافة المكسرات

جامعة النجاح الوطنية – كلية الهندسة وتكنولوجيا المعلومات – قسم هندسة الحاسوب – الفصل الثاني 2025/2026

إعداد: أحمد دردوك وسيد قطب | بإشراف: د. محمود أسعد

1. فكرة المشروع

يقدّم المشروع تصميمًا وتنفيذًا لخط إنتاج صغير لألواح الشوكولاتة المخصّصة، يعتمد على جهاز تحمير حقيقي مصنوع من الفولاذ المقاوم للصدأ الصالح للغذاء، وعلى نظام لتعبئة القوالب وإضافة المكسرات والزبيب، مع إمكانية التحكم المباشر عبر لوحات المفاتيح أو عن بُعد عبر تطبيق هاتف متصل بشبكة Wi-Fi.

2. المشكلة والأهداف

تتطلب صناعة الشوكولاتة على نطاق صغير ضبطًا دقيقًا للحرارة أثناء التحمير لتفادي ظهور البقع البيضاء (Bloom) أو القوام الخشن، كما أن إضافة المكسرات تتم غالبًا يدويًا، مما يحدّ من السرعة وقابلية التوسع. والحلول التجارية إما مرتفعة التكلفة أو مبسّطة أكثر من اللازم. وأهم أهداف المشروع:

- أتمتة التحمير بمراقبة الحرارة لحظيًا (حساس PT100 مع وحدة MAX31865) وسخان قدرته 1950 واط يُتحكم به عبر مرحل الحالة الصلبة (SSR) و ESP32.
- دعم ثلاثة أنواع: الحليب والداكنة والبيضاء، ولكل منها ملف حراري خاص.
- اختيار الإضافة: زبيب أو مكسرات أو بدون إضافات عبر لوحة مفاتيح مخصّصة.
- التحكم بتعبئة القالب بأنبوب فولاذي وحساسات IR لكشف موضع القالب، مع محرك اهتزاز لتسوية الشوكولاتة.
- تحريك السير الناقل بمحرك مساحة زجاج أمامي (Wiper) عبر مشغّل BTS7960.
- مراقبة مستوى الشوكولاتة والإضافات بحساسات فوق صوتية وعرضها على شاشات LCD.
- تطبيق حسابات انتقال الحرارة لتقدير زمن التسخين وكفاءة الطاقة.

3. بنية النظام

يتكوّن النظام من قسمين رئيسيين:

- **جهاز التحمير:** وعاءان من الفولاذ المقاوم للصدأ؛ السفلي يحوي 8 لترات من الماء والعلوي يتّسع حتى 10 كغ من الشوكولاتة. يُسخَّن حمّام الماء بالعنصر الحراري، وتُقاس حرارة الشوكولاتة بحساس PT100 وحرارة الماء بحساس NTC.
- **نموذج خط الإنتاج:** سير ناقل يستقبل الشوكولاتة المحمّرة ويملأ القوالب (بولي كربونات/سيليكون) ثم يضيف المكسرات والزبيب ويهزّ القالب للتسوية.

وتتوزع المهام على ثلاثة متحكمات دقيقة لتحقيق النمطية وتقليل التعارض الزمني:

المتحكم	الدور
ESP32	منطق التسخين وقراءة الحرارة واتصال Wi-Fi مع التطبيق
Arduino Mega 2560	منطق خط الإنتاج: السير، حساس IR، لوحات المفاتيح، المحركات، شاشة 4×20
Arduino Uno	الحساسات فوق الصوتية الثلاثة وثلاث شاشات 2×16 لعرض نسب التعبئة

4. أبرز المكوّنات

- عنصر تسخين 1950 واط / 230 فولت (من غسالة) مع مرحل SSR-40DA لعزل الجهد العالي عن المنطق.
- حساس PT100 + MAX31865 لقياس دقيق للحرارة.
- ثلاثة محركات خطوية NEMA23 مع مشغّلات YS-DIV268N-5A للتحكم بتدفق الشوكولاتة والمكسرات والزبيب.
- محرك اهتزاز 2430 لإزالة فقاعات الهواء وتسوية الشوكولاتة.
- مزود طاقة 300 واط (5 فولت و12 فولت) وحساس IR ولوحتا مفاتيح 1×4 وشاشات I2C.

5. آلية العمل

- **التشغيل:** يهيّئ ESP32 الـ Wi-Fi والتسخين، ويهيّئ Mega المحركات واللوحات.
- **الإدخال:** يختار المستخدم نوع الشوكولاتة والإضافة من اللوحتين أو من التطبيق.
- **التحمير:** يقرأ ESP32 الحرارة ويتحكم بالـ SSR للحفاظ على الحرارة المستهدفة.
- **التعبئة:** عند كشف القالب بحساس IR تُفتح الشوكولاتة، ثم تُضاف الإضافات، ثم يهتز القالب لفترة قصيرة.

- **المراقبة:** يحدّث Uno شاشات مستوى التعبئة باستمرار.

نوع الشوكولاتة	الحرارة الابتدائية	حرارة التبريد	حرارة العمل
حليب	42°C	27°C	32°C
داكنة	45°C	28°C	30°C
بيضاء	40°C	26°C	29°C

6. الحسابات الحرارية

باعتبار 8 كغ ماء و5 كغ شوكولاتة ورفع الحرارة من 25 إلى 42 مئوية، تبلغ الطاقة المطلوبة نحو 712,980 جول، أي زمن تسخين مثالي يقارب 6 دقائق بقدرة 1950 واط. أما في الواقع فتؤدي الفواقد الحرارية وبطء انتقال الحرارة من الخارج إلى الداخل وغياب التحريك إلى زمن أطول بكثير، وقد استُخدمت الحسابات لضبط معاملات التحكم وتخطيط حلقات التأخير.

7. التحديات والحلول

- **تشغيل السخان بأمان:** استخدام مرحل SSR معزول مع مشتّت حراري.
- **ضجيج قراءات الحرارة:** وحدة MAX31865 وتأريض وتغليف الأسلاك وفصلها عن مسار الجهد العالي.
- **ازدحام المعالج:** توزيع المهام على عدة متحكمات.
- **انسداد الإضافات:** توسيع صمام الموزّع وضبط سرعة المحرك.
- **التوصيل الكهربائي للفولاذ:** وضع طبقة عازلة سميكة خلف كل قطعة إلكترونية.

8. الاختبارات والنتائج

- تطابقت قراءات PT100 مع مقاييس حرارة حقيقية، وبلغ النظام 42°C خلال نحو 4.5 دقيقة عند دورة تشغيل تقارب 50%.
- دقة الصرف ضمن ±5 مل لكل دورة، ودقة قياس المستوى ضمن ±10%.
- حساس IR يكشف القالب بثبات ضمن مدى 2 سم، وصمام الأنبوب يعمل دون تسرّب.
- تحسّن تدفق الإضافات بوضوح بعد إضافة الاهتزاز، ويعمل النظام محليًا (لوحات المفاتيح) وعن بُعد (التطبيق).

9. الخلاصة والأعمال المستقبلية

نجح المشروع في تقديم نموذج متكامل وقليل التكلفة لإنتاج الشوكولاتة شبه الصناعي، يجمع عتادًا حقيقيًا وتحكمًا مدمجًا وحسابات حرارية. ومن التطويرات المقترحة: تحكم PID كامل، وتطبيق هاتف أوسع (سجل حرارة وتنبيهات)، وأتمتة حركة القوالب، ودعم أنواع شوكولاتة متعددة، وتحسين استهلاك الطاقة، والحصول على اعتماد سلامة غذائية، ومراقبة الجودة بالرؤية الحاسوبية.