

खाद्य प्रक्रिया स्वचालन और मशीनीकरण: खाद्य उद्योग में दक्षता और गुणवत्ता बढ़ाना



धृतिमान साहा

भाकृअनुप-सिफेट, लुधियाना, पंजाब - 141 004

अनुरूपी ईमेल: dhriti.iitkgp@gmail.com

परिचय

खाद्य उद्योग वैश्विक पटल परजीविका के लिए मूलभूत मानवीय आवश्यकता को पूर्ण करने के क्षेत्र में एक समाक्रीय स्तंभ के रूप में स्थापित है। पिछले कुछ दशकों में, तकनीकी प्रगति की निरंतर प्रगति ने बढ़ती आबादी की लगातार बढ़ती भूख को संतुष्ट करने के लिए भोजन की अवधारणा, खेती, प्रसंस्करण और अंततः प्रसार पर एक परिवर्तनकारी प्रभाव डाला है। इस गहन कायापलट के बीच, दो क्षेत्रों में आगे उभर कर आये हैं—खाद्य प्रक्रिया स्वचालन और मशीनीकरण। नवाचार और रणनीतिक कार्यान्वयन से प्रेरित इन दोनों शक्तियों ने खाद्य उत्पादन और वितरण की रूपरेखा को अपरिवर्तनीय रूप से पुनः परिभाषित किया है। ये न केवल सुविधा के उपकरण के रूप में अपितु ऐसे सर्वोपरि चालकों के रूप में स्पष्ट होते हैं, जो दक्षता, सुरक्षा और गुणवत्ता तीनों को बढ़ाते हैं जो खाद्य उद्योग की आधारशिला है।

स्वचालन और मशीनीकरण केवल प्रचलित शब्द नहीं हैं, वे परिवर्तनकारी बदलाव के अग्रदूत हैं (कैल्डवेल, 2023)। वे क्षेत्रों और डोमेन की सीमाओं का अतिक्रमण करते हैं, उनकी उपस्थिति खाद्य उद्योग के भीतर पैठ कर गयी है। संक्षेप में, इनके उपयोग ने खाद्य उद्योग में पारंपरिक पद्धतियों की तुलना में अधिकसे सटीक, शीघ्र और एकरूपउत्पत्सओं का विकास और निर्माण किया है और निरंतर इसकी प्रगति का पोषण कर रहा है।

महत्वा

खाद्य प्रक्रिया स्वचालन और मशीनीकरण का महत्व खाद्य उत्पादन के परिदृश्य को नया आकार देने की उनकी परिवर्तनकारी क्षमता में निहित है। खाद्य प्रक्रिया स्वचालन में पारंपरिक रूप से मानव हाथों द्वारा किये जाने वाले कार्यों के लिए प्रौद्योगिकी का रणनीतिक समावेश में निहित है। इसी के समानांतर में कार्यों को मशीनीकरण ने एक नए युग के अग्रदूत के

रूप में प्रवेश है, जो मशीनरी और उपकरणों की शक्ति के साथ शारीरिक श्रम प्रतिस्थापित करता है। स्वचालन और मशीनीकरण उत्पादन प्रक्रियाओं को सुव्यवस्थित करते हैं, जिससे विभिन्न आवश्यक कार्य कम समयमें सम्पन्न हो जातेहैं। इससे उत्पादन क्षमता में वृद्धि होती है और उत्पादों को बाजार में भीघ्रता उपलब्धता कराया जा सकता है। स्वचालन मानवीय त्रुटियों को कम करके निरंतरगुणवत्ता युक्त उत्पाद सुनिश्चित करता है। तापमान, आर्द्रता और मिश्रण अनुपात जैसे मापदंडों पर सटीक नियंत्रण के परिणामस्वरूप समान उत्पाद बनते हैं जो नियामक और उपभोक्ता मानकों को पूरा करते हैं। यद्यपि कि स्वचालन और मशीनीकरण के प्रारम्भ में पर्याप्त निवेश की आवश्यकता होती है, किन्तु इसके द्वारा दीर्घकालिक लागत में होने वाली बचत महत्वपूर्ण है। कम श्रम लागत, कम हानि और श्रेष्ठ संसाधन उपयोगए समग्र वित्तीय लाभ में योगदान करते हैं। स्वचालन

संकटमय सामग्रियों और बास्बार दोहराए जाने वाले कार्यों के कारण भरी पर पड़ने वाले भाषीरिक दुष्प्रभावों तथा कार्यस्थल पर चोट लगने के आशंका को कम करकेकर्मचारी सुरक्षा सुनिश्चित करता है (बादरऔर रहीमीफर्ड, 2020)। आधुनिक स्वचालन प्रणालियों को विभिन्न उत्पादों के उपयोग और उत्पादन आवश्यकताओं में परिवर्तनों को शीघ्रता से अनुकूलित करने के लिए प्रोग्राम किया जाता है। गतिशील खाद्य बाजार में यह सुनम्यता महत्वपूर्ण है। स्वचालन, उत्पादन और वितरण प्रक्रिया में उत्पादों की सटीक ट्रैकिंग और ट्रेसिंग को सक्षम बनाता है, जिससे गुणवत्ता के सम्बन्धी विषय में तेजी से रिर्कोल की सुविधा मिलती है (चक्रवर्तुला एवं अन्य, 2023)।

मुख्य चरण

खाद्य प्रक्रिया स्वचालन एक बहुआयामी प्रक्रिया है जो कई अलग-अलग चरणों से होकर गुजरती है, जिनमें से प्रत्येक विशिष्ट उद्देश्यों, चुनौतियों और तकनीकी प्रगति से चिह्नित है। ये चरण क्रमिक तरीके से सामने आते हैं, जिसका समापन एक समग्र और अत्यधिक स्वचालित खाद्य उत्पादन प्रक्रिया में होता है। खाद्य प्रक्रिया स्वचालन के प्रमुख चरणों (चित्र 1) को निम्न रूप से वर्णित किया जा सकता है: द प्रारंभिक स्वचालन अभिग्रहण: आरम्भ में संगठन अपनी उत्पादन लाइन के भीतर उन प्रक्रियाओं की चिन्हित करना प्रारम्भ करते हैं जो स्वचालन के लिए संवेदनशील हैं। ये दोहराए जाने वाले कार्य या प्रक्रियाएँ हो सकती हैं, जिनके लिए सटीक नियंत्रण की आवश्यकता होती है। प्रारंभिक स्वचालन अपनाने में मुख्यतः विशेष मशीनों या उपकरणों का एकीकरण सम्मिलित होता है जो विशिष्ट कार्य करते हैं, जैसे कटेनर भरना, लेबलिंग या पैकेजिंगकरना। यह चरण एक मूलभूत कदम के रूप में कार्य करता है, जो अधिक व्यापक स्वचालन प्रयासों के लिए पृष्ठभूमि का निर्माण करता है।

■ नियंत्रण प्रणालियों का एकीकरण जैसे-जैसे संगठन स्वचालन से परिचित होतेजाते हैं,



fp= 1% [lk] m]lx on Lopyu ck of; pj k

नियंत्रण प्रणालियों को एकीकृत करने की ओर ध्यान केंद्रित किया जाता है। इसका उद्देश्य एक सामंजस्यपूर्ण नेटवर्क बनाना है। जिसमें विभिन्न मशीनें और उपकरण एक-दूसरे के साथ निर्बाध रूप से संचार करते हैं। केंद्रीकृत नियंत्रण प्रणालियाँ वास्तविक समय निरीक्षण और समायोजन को सक्षम बनाती हैं, जिससे उत्पादन लाइन के विभिन्न घटकों के बीच समन्वय को बढ़ावा मिलता है। यह

एकीकरण दक्षता बढ़ाता है, त्रुटियों को कम करता है, और बदलती उत्पादन आवश्यकताओं के लिए त्वरित प्रतिक्रिया की अनुमति देता है। ■ डेटा अधिग्रहण और विश्लेषण: एकीकृत नियंत्रण प्रणालियों की स्थापना के साथ, डेटा सुलभ रूप से उपलब्ध हो जाता है। इस डेटा में उत्पादन दर, गुणवत्ता पैरामीटर, संसाधन उपयोग और बहुत कुछ व।य में सूचना सम्मिलित है। संस्थायें उत्पादन प्रक्रिया के

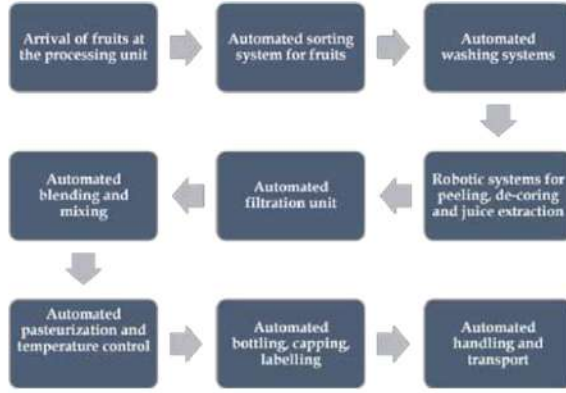


विभिन्न चरणों में अंतर्दृष्टि प्राप्त करने के लिए सेंसर और निरीक्षण उपकरणों के माध्यम से इस डेटा का उपयोग करते हैं। डेटा विश्लेषण टूल्स की सहायता से प्रक्रियाओं की प्रवृत्तियों, अवरोधों और सुधार के क्षेत्रों को चिह्नित करने में सक्षम बनाते हैं, जिससे डेटा-संचालित निर्णय लेने का मार्ग प्रशस्त होता है।

■ उन्नत प्रक्रिया स्वचालन: इस चरण में स्वचालन अधिक परिष्कृत हो जाता है, जिसमें प्रक्रियाओं की एक विस्तृत श्रृंखला सम्मिलित होती है। सटीकता और अनुकूलनशीलता की माँग करने वाले जटिल कार्यों के लिए सेबोटिक और प्रोग्रामेबल लॉजिक कंट्रोलर (पीएलसी) का उपयोग किया जाता है। ये प्रौद्योगिकियाँ न्यूनतम मानवीय हस्तक्षेप के साथ छँटाई, निरीक्षण जैसे कार्यों को सक्षम बनाती हैं (पांडा एवं अन्य, 2023)। विभिन्न उत्पादन गतिविधियों में उच्च स्तर की दक्षता, स्थिरता और गति प्राप्त करने पर ध्यान केंद्रित किया गया है।

■ आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस (एआई) और मशीन लर्निंग (एमएल) का एकीकरण: जैसे-जैसे स्वचालन परिपक्व होता जा रहा है, संस्थाएँ प्रक्रियाओं को और अधिक अनुकूलित करने के लिए एआई और एमएल एल्गोरिदम का उपयोग कर रही हैं। ये प्रौद्योगिकियाँ संभावित विफलताओं को घटित होने से पहले पहचानने के लिए डेटा पैटर्न का विश्लेषण करके पूर्वानुमानित रखरखाव को सक्षम बनाती हैं। एआई-संचालित गुणवत्ता नियंत्रण प्रणाली तेजी से विसंगतियों का पता लगा सकती है तथा यह सुनिश्चित करती हैं उच्चतम मानकों का पालन करने वाले उत्पाद ही निर्गत किए जाएँ (हंसी एवं अन्य, 2023)।

■ एंड-टू-एंड ऑटोमेशन: खाद्य प्रक्रिया स्वचालन के शिखर को एंड-टू-एंड एकीकरण द्वारा चिह्नित किया गया है। यहाँ, कच्चे माल से लेकर सेवन के लिए पैकेज्ड अंतिम उत्पाद तक की पूरी उत्पादन प्रक्रिया, परस्पर सम्बंधित और स्वचालित प्रणालियों द्वारा व्यवस्थित की जाती है। यह चरण न केवल दक्षता और गुणवत्ता को बढ़ाता है बल्कि प्रत्येक उत्पाद की सम्पूर्ण



फ़्रूट प्रोसेसिंग में स्वचालित प्रणालियों का प्रयोग



यात्रा का एक व्यापक डिजिटल रिकॉर्ड बनाता है जिससे किसी चरण में होने वाली कमी को पता लगाने की सुविधा भी मिलती है।

■ निरंतर सुधार और अनुकूलन: स्वचालन एक सतत विकसित होने वाली प्रक्रिया है। एंड-टू-एंड ऑटोमेशन के चरण पर भी, संस्थाएँ निरंतर सुधार के लिए प्रतिबद्ध हैं। वे सक्रिय रूप से मौजूदा प्रक्रियाओं को अनुकूलित करने, उभरती प्रौद्योगिकियों को अपनाने और बदलती बाजार माँगों के अनुरूप ढलने का प्रयास करते

हैं। इसमें परिवर्तन उत्कृष्टता को और बढ़ाने के लिए नए सेंसर का समावेश, एल्गोरिदम का परिशोधन, या नवीन मशीनरी का एकीकरण सम्मिलित हो सकता है।

केस स्टडी: फलों के रस प्रसंस्करण उद्योग में स्वचालन

फलों का रस प्रसंस्करण उद्योग ताजा और पौष्टिक पेय पदार्थों की वैश्विक माँग को पूरा करता है। स्वचालन इस क्षेत्र में एक

गेम-चेंजर के रूप में उभरा है, जिसने उत्पादन प्रक्रिया में दक्षता, गुणवत्ता और सुस्वास्ती को अनुकूलित करते हुए फलों को जूस में संसाधित करने की विधि में क्रांतिकारी परिवर्तन किया है (चित्र 2)। ऐतिहासिक रूप से, फलों के रस प्रसंस्करण एक श्रम-गहन प्रक्रिया है जिनमें असंगतता और संदूषण का संकट रहता है। स्वचालन प्रौद्योगिकियों ने परिशुद्धता, नियंत्रण और मानकीकरण से एक नए युग का आरम्भ हुआ है, जिससे फलों के रस की गुणवत्ता में वृद्धि तथा उत्पादन सुव्यवस्थित हुआ है।

स्वचालित छँटाई प्रणालियाँ आकर, फलों और गुणवत्ता के आधार पर फलों को वर्गीकृत करने के लिए सेंसर और कैमरों का उपयोग करती हैं। यह सुनिश्चित करता है कि प्रसंस्करण के लिए केवल सर्वोत्तम गुणवत्ता वाले फलों का ही चयन किया जाए। स्वचालित धुलाई प्रणाली फलों को अच्छी तरह से साफ करती है, जिससे माइक्रोबियल संदूषण की सम्भावना कम हो जाती है। फलों को छीलने, तोड़ने और रस निकालने के लिए रोबोटिक हथियारों और मशीनों का उपयोग किया जाता है। ये प्रणालियाँ इष्टतम उपज सुनिश्चित करते हुए उच्च स्तर की सटीकता और दक्षता बनाए रखती हैं। स्वचालित निस्पंदन प्रक्रियाएँ लुगदी और मलबे को हटा देती हैं, जिसके परिणामस्वरूप स्पष्ट और सुसंगत रस प्राप्त होता है। सुसंगतरस के स्वाद और पोषक तत्व वितरण हेतु स्वचालन सम्मिश्रण और मिश्रण प्रक्रियाओं को नियंत्रित करता है। यह मानवीय त्रुटि कारकों को समाप्त करके बैचों में एक समान स्वाद और गुणवत्ता सुनिश्चित करता है। स्वचालित पाश्चुरीकरण उपकरण वांछित तापमान प्रोफाइल को बनाए रखते हुए

स्वाद और पोषण मूल्य को संरक्षित करते हुए हानिकारक सूक्ष्मजीवों को समाप्त करने के लिए रस को गर्म करता है। स्वचालित बॉटलिंग, कैंपिंग और लेबलिंग सिस्टम स्वच्छ और कुशल पैकेजिंग सुनिश्चित करते हैं। रोबोटिक बोटलों संचालन की सुविधा प्रदान कर संदूषण की सम्भावना को कम करता है।

चुनौतियाँ और विचार

यद्यपि खाद्य प्रक्रिया स्वचालन अनेक लाभ प्रदान करता है, किन्तु कई चुनौतियों पर ध्यान देने की भी आवश्यकता है। स्वचालन को लागू करने के लिए मशीनरी, प्रौद्योगिकी और प्रशिक्षण में महत्वपूर्ण अग्रिम निवेश की आवश्यकता होती है। छोटे और मध्यम आकार के उद्योगों (एसएमई) को ऐसे उन्मथन के लिए संसाधन आवंटित करना चुनौतीपूर्ण लग सकता है। स्वचालित प्रणालियों के संचालन और रखरखाव के लिए विशेष ज्ञान और कौशल की आवश्यकता होती है। इन प्रौद्योगिकियों के संचालन के लिए कार्यबल को प्रशिक्षित करना आवश्यक है। उत्पादन माँग और उत्पाद विविधताओं में परिवर्तन को समायोजित करने के लिए स्वचालन प्रणाली पर्याप्त लचीली होनी चाहिए। सिस्टम को अपग्रेड करना या रीप्रोग्रामिंग करना जटिल हो सकता है। स्वचालन प्रणालियों को कठोर खाद्य सुरक्षा और स्वच्छता नियमों का पालन करना चाहिए। अनुपालन सुनिश्चित करना सम्पूर्ण प्रक्रिया में जटिलता का एक और आयाम जोड़ता है। चूंकि स्वचालन में डिजिटल सिस्टम सम्मिलित हैं, इसलिए व्यवधानों को रोकने और संवेदनशील सूचनाओं की सुरक्षा के लिए साइबर संकटों और डेटा उल्लंघनों के विरुद्ध भी सुरक्षा सुनिश्चित करना महत्वपूर्ण होगा।



संदर्भ

Bader F, Rahimifard S. 2020. A methodology for the selection of industrial robots in food handling. *Inn Food Sc Emer Technol*, 64, 102379.

Chakravartula SSN, Bandiera A, Nardella M, Bedini G, Ibba P, Massantini R, Moscetti R. 2023. Computer vision-based smart monitoring and control system for food drying: A study on carrot slices. *Comp Electr in Agri*, 206, 107654.

Hassoun A, Jagtap S, Garcia-Garcia G, Trollman H, Pateiro M, Lorenzo JM, Camara JS. 2023. Food quality 4.0: From traditional approaches to digitalized automated analysis. *J Food Eng*, 337, 112126.

Panda BK, Panigrahi SS, Mishra G, Kumar V. 2023. Robotics for general material handling machines in food plants. *In Transporting Operations of Food Materials Within Food Factories* (pp. 341-372). Woodhead Publishing.