



**महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ, मुंबई**

(स्वायत्त) (ISO 21001:2018) (ISO/IEC 27001:2013)

**अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञान पदविका**

**शिक्षण पुस्तिका**

**(Learning Material)**

**Emerging Trends in  
Mechanical Engineering**

**(315363)**

**K Scheme**

**इमर्जिंग ट्रेंड्स इन मेकॅनिकल इंजिनियरिंग**

**यंत्र अभियांत्रिकी गट  
(के स्कीम)**

**मराठी - इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम**

**(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञानातील पाचवे सत्र पदविका)**

# शिक्षण पुस्तिका (Learning Material)

इमर्जिंग ट्रेन्ड्स इन मेकॅनिकल इंजिनियरिंग  
Emerging Trends in Mechanical  
Engineering

(315363)

यंत्र अभियांत्रिकी गट  
(के स्कीम)  
K-Scheme

मराठी-इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम  
(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञानातील पाचवे सत्र पदविका)



महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई  
(स्वायत्त) (ISO 21001:2018) (ISO/IEC 27001:2013)

एम.एस. बी. टी. ई.  
मार्गदर्शक

श्री. एस. एस. हरीप

निवड श्रेणी अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

संकलक

श्री. ए. ए. मुल्ला

अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

डॉ. ए. एम. पांडे

अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

श्री. एस. एम. दातीर

अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

श्री. ए. के. मगदूम

अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

श्री. ए. पी. वडनेरे

विभागप्रमुख, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

श्री. एस.डी. गांधी

अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

श्री. एन. एस. पाटील

विभागप्रमुख, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

डॉ. डी. व्ही. लोहार

विभागप्रमुख, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

श्री. वाय. बी. गायधनी

अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

श्री. एन. एस. साळुंखे

अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

समीक्षक

श्रीमती सानिका महादेवकर

संचालक, सुमित इंजिनियर्स व कन्सलटंट्स प्रा. ली. मॅटेनन्स अभियंता, गॅरेरेट एडवांसिन्ग मोशन

श्री. संतोष तरल

श्री. वाय. एस. कातकडे

स्टेट हेड, फार्मगेट टेकनॉलॉजिस प्रा. ली.

श्री. व्ही. ई. कोठावडे

अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

श्री. एस. ए. मंडोरे

अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

मुख्य समन्वयक

डॉ. आर. एस. नारखेडे

प्राचार्य

संस्था समन्वयक

श्री. ए. पी. वडनेरे

विभागप्रमुख, यांत्रिकी अभियांत्रिकी



# महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ.

(स्वायत्त) (ISO: २१००१:२०१८) (ISO/IES: २७००१-२०१३)

शासकीय तंत्रनिकेतन इमारत, चौथा मजला, ४९, खेरवाडी, बांद्रा (पूर्व), मुंबई - ४०० ०५१.

दूरध्वनी क्र.: ०२२-६२५४२१०० / १५३ / १७०

email : director@msbte.com

web site : www.msbte.ac.in

## प्रास्ताविक

महाराष्ट्र राज्यातील पदविका स्तरावरील तंत्रशिक्षणामध्ये विद्यार्थ्यांचे रोजगार कौशल्य विकसित करून विद्यार्थ्यांचा सर्वांगीण विकास घडवून आणण्याकरिता महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ कटिबद्ध आहे. उद्योगधंद्यातील बदलत्या तंत्रज्ञानाशी संबंधित गरजा लक्षात घेऊन महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळाकडून पदविका अभ्यासक्रम वेळोवेळी अद्यावत करण्यात येतो. अभियांत्रिकी पदविका अभ्यासक्रम शिकत असताना संकल्पनात्मक ज्ञान, सुसंगत संदर्भ, प्रश्न विचारणे, विश्वसनीय पुरावे, कारणमीमांसा आणि सुस्पष्ट निकष यांचा वापर करून अर्थाची उकल करण्याची, विश्लेषण व मूल्यमापन करण्याची तसेच तर्काने अनुमान काढण्याची क्षमता म्हणजेच चिकित्सक विचार विद्यार्थ्यांमध्ये अधिक दृढ होतील असा मला विश्वास आहे. जेव्हा विद्यार्थी ज्ञान मिळवण्याच्या माध्यमाशी पूर्णपणे परिचित आणि सोयीस्कर असतात. तेव्हा त्यांच्यासाठी वर्गातील चर्चेत भाग घेणे सोपे होते. संकल्पनात्मक व सैद्धांतिक बाबींचे आकलन परिपूर्ण होते, संज्ञानात्मक क्षमता सुधारते आणि त्यांचा आत्मविश्वास देखील वाढतो. या सर्व गोष्टींचा विचार करून मंडळाकडून शैक्षणिक सामुग्रीची निर्मिती करण्यात आलेली आहे. भारत देश हा खेड्यापाडयातून विकसित झालेला देश असून ग्रामीण भागातील विद्यार्थ्यांना तांत्रिक शिक्षण घेताना भाषेचा अडसर न येता तांत्रिक बाबींचा आशय समजून घेणे शक्य होईल या दृष्टिकोनातून महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळाने पदविका स्तरावरील तांत्रिक शिक्षणाकरिता विद्यार्थ्यांना मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यमाचा पर्याय उपलब्ध करून दिलेला आहे.

राष्ट्रीय शैक्षणिक धोरण-२०२० प्रादेशिक भाषेतील शिक्षणास प्रोत्साहन देते, ज्यामुळे विद्यार्थ्यांना तांत्रिक अभ्यासक्रमांसाठी प्रादेशिक भाषेतून शिक्षणाचे माध्यम निवडता येते. त्या अनुषंगाने प्रादेशिक भाषांमध्ये तांत्रिक सामग्री आणि अभ्यास सामग्रीचा विकास आणि भाषांतर करण्याची आवश्यकता आहे. या धोरणास अनुसरून मंडळाने भागधारकांसाठी शैक्षणिक वर्ष २०२१-२२ पासून I-Scheme तसेच शैक्षणिक वर्ष २०२३-२४ पासून K-Scheme मध्ये द्विभाषिक माध्यमाचा पर्याय प्रथम ते तृतीय वर्षाकरिता उपलब्ध करून दिलेला आहे. या पर्यायास अनुसरून मंडळाने मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक शैक्षणिक सामग्रीही संबंधित विद्यार्थी व अधिव्याख्यातांकरिता उपलब्ध करून दिली आहे.

पदविका स्तरावरील तंत्रशिक्षण अधिक दर्जेदार करण्यासाठी महाराष्ट्रातील अनुभवी व तज्ञ अध्यापकांनी व्यावहारिक मराठी भाषा व इंग्रजी भाषेतील तांत्रिक शब्दावली यांचा वापर करून मराठी इंग्रजी भाषेचा सुवर्णमध्य साधण्याचा प्रयत्न केलेला आहे. मंडळाच्या स्तरावर गठीत सुकाणू समितीमार्फत सदर शैक्षणिक सामुग्रीचा दर्जा, तसेच इतर बाबींची तपासणी करण्यात आलेली आहे. त्यामुळे सदर शैक्षणिक सामुग्री अधिक संपन्न झालेली असून, विद्यार्थी त्यांच्या व्यक्तिमत्त्वाचा सुसंवादी आणि सर्वांगीण विकास साधतील. परिणामतः विश्वस्तरीय मनुष्यबळाच्या गरजा पूर्ण करण्यात महाराष्ट्र राज्य अग्रेसर राहिल व पर्यायाने राष्ट्रनिर्मिती करीता निश्चितच हातभार लागेल, असा मला विश्वास आहे.

अभियांत्रिकी पदविका अभ्यासक्रमातील विषयांची मराठी-इंग्रजी (द्विभाषिक) शैक्षणिक सामुग्री बनविण्यासाठी अध्यापक व सुकाणू समितीचे सदस्य यांनी दर्शविलेले समर्पण व वचनबद्धता कौतुकास पात्र आहे, या सर्वांचे मी मनःपूर्वक अभिनंदन करतो!

  
(डॉ. प्रमोद नाईक)

संचालक

म. रा. तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई

## अनुक्रमणिका

अ. क्र	युनिटचे नाव	पान क्र.
1	ग्रीन फ्युल्स (Green Fuels)	1
2	मॅन्युफॅक्चरिंग सिस्टीम्स मधील नवीन ट्रेंड्स (Recent Trends in Manufacturing Systems)	22
3	स्वायत्त वाहने (Autonomous Vehicles)	41
4	मेन्टेनन्स व्यवस्थापनातील ट्रेंड्स (Recent Trends in Maintenance)	61
5	कृषी अभियांत्रिकीतील ट्रेंड्स (Recent Trends in Agricultural Engineering)	77



## Unit 1 ग्रीन फ्युल्स

### Green Fuels

#### विषय निष्पत्ती (Course Outcomes) (CO):

CO 1-विविध अनुप्रयोगांसाठी पर्यावरणीय टिकाऊपणा (एनवायरमेंटल ससटेन्याबीलीटी) लक्षात घेऊन योग्य ग्रीन फ्युल्स निवड करणे. (Select appropriate green fuels for various applications that consider environmental sustainability.)

#### घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes):

**TLO 1.1:** ग्रीन फ्युल्स संकल्पना स्पष्ट करणे, त्याचे फायदे आणि लाभ समाविष्ट करणे.

**TLO 1.2:** ग्रीन फ्युल् स्त्रोत आणि उत्पादन पद्धतींच्या आधारावर ग्रीन फ्युल्सचे विविध वर्गीकरण करणे.












**TLO 1.3:** वनस्पतींपासून (plants) मिळणारे ग्रीन फ्युल्सचे विविध प्रकार स्पष्ट करणे.

#### 1.1 ग्रीन फ्युल्स (Green Fuels):

##### ग्रीन फ्युल्सचा परिचय (Introduction to Green Fuels):

ग्रीन फ्युल्स म्हणजे अपारंपारिक आणि पर्यावरणासाठी अनुकूल स्रोतांपासून मिळणारे ऊर्जा स्रोत. पारंपरिक इंधनांच्या तुलनेत, हे कमी ग्रीनहाऊस गॅस (Greenhouse gases-GHGs) उत्सर्जित करतात आणि अनेकदा कार्बन-न्यूट्रल (Carbon-neutral) किंवा कार्बन-निगेटिव (Carbon-negative) असतात. हे इंधन पुढीलप्रमाणे आहेत:

1. **बायोफ्युल्स (Biofuels)** – बायोडिझेल (Biodiesel), बायोएथेनॉल (Bioethanol)
2. **हायड्रोजन फ्युल (Hydrogen Fuel)** – ग्रीन हायड्रोजन (Green Hydrogen) आणि ब्लू हायड्रोजन (Blue Hydrogen)
3. **सिंथेटिक फ्युल्स (Synthetic Fuels)** – ई-फ्युल्स (E-Fuels)
4. **अल्गी-आधारित फ्युल्स (Algae-Based Fuels)**

What is it?	Derived Fuels	Main Use
 <p><b>Bioenergy</b></p> <p>Energy derived from organic matter available on a renewable basis (e.g., agricultural crops, wood, organic waste)</p>	<p><b>Sustainable Biomass</b></p> <p>Wood pellets, refused derived fuels (RDF)</p>	<p> Power &amp; Industrial Heat</p>
	<p><b>Biogas / Biomethane</b></p> <p>Biogas: Mix of gases (incl. ≈50% methane) Biomethane: Purified biogas</p>	<p> Local Heat &amp; Power</p> <p> Gas Grid Injection</p>
	<p><b>Sustainable (2G) Biofuels<sup>1</sup></b></p> <p>1G: Bioethanol, biodiesel 2G: Biomethanol, biokerosene<sup>2</sup>, bio-MGO<sup>3</sup></p>	<p> Light Mobility</p> <p> Heavy Mobility</p>
 <p><b>Hydrogen &amp; Derivatives</b></p> <p>Fuels derived from water electrolysis using renewable electricity ("green") or from natural gas with CO<sub>2</sub> captured and stored ("blue")</p>	<p><b>Hydrogen</b></p> <p>Pure hydrogen either compressed (CH<sub>2</sub>) or liquified (LH<sub>2</sub>)</p>	<p> Industrial Feedstock</p> <p> Industrial High Grade Heat</p>
	<p><b>Derivatives</b></p> <p>E-methane / ELNG, e-ammonia, e-methanol, e-kerosene<sup>2</sup>, e-MGO<sup>3</sup></p>	<p> Heavy Mobility</p> <p> Power Grid Management</p>

Source: ENGIE Impact

**Fig 1.1: Introduction to Green Fuel**

जलवायू बदल, हवेचे प्रदूषण, आणि ऊर्जा सुरक्षा याबद्दल वाढती चिंता ग्रीन फ्युल्सच्या विकासाकडे घेऊन गेली आहे. हे पारंपारिक इंधनांच्या तुलनेत, कार्बन उत्सर्जन कमी करून, हवेची गुणवत्ता सुधारून, आणि सस्टेनेबल एनर्जी सोल्युशन्स (sustainable energy solutions) चा प्रचार करून एक स्वच्छ पर्याय उपलब्ध करतात.

### ग्रीन फ्युल्सची वैशिष्ट्ये (Characteristics of Green Fuels):

ग्रीन फ्युल्समध्ये काही अनोखी वैशिष्ट्ये आहेत जी त्यांना पारंपारिक इंधनांच्या तुलनेत टिकाऊ पर्याय बनवतात. त्याची वैशिष्ट्ये पर्यावरण संरक्षण, ऊर्जा सुरक्षा, आणि आर्थिक फायद्यांमध्ये योगदान देतात. ग्रीन फ्युल्सची वैशिष्ट्ये खालील प्रमाणे आहेत:

1. **अपारंपारिक आणि शाश्वत (Renewable and Sustainable):** बायो-बेस्ड मटेरियल्स (**Bio-based materials**) निसर्ग आणि अपारंपारिक स्रोत, जसे की पिके, जैविक कचरा, आणि सिंथेटिक प्रक्रिया, या पासून मिळतात. पारंपारिक इंधनांप्रमाणे (जसे की पेट्रोलियम, कोळसा, आणि तेल), जे मर्यादित आहेत, जे सतत कमी होत आहेत, त्यामुळे ते टिकाऊ आणि पर्यावरणास अनुकूल पर्याय बनतात.
2. **कमी कार्बन उत्सर्जन (Low Carbon Emissions):** बायो-बेस्ड फ्युल्स (**Bio-based fuels**) पेट्रोलियम इंधनांच्या तुलनेत कमी CO<sub>2</sub> आणि NO<sub>x</sub> उत्सर्जित करतात, ज्यामुळे क्लायमेट बदलाशी लढा दिला जातो आणि स्वच्छ आणि टिकाऊ ऊर्जा मिळवण्यास मदत होते.
3. **पर्यावरणासाठी अनुकूल (Environmentally Friendly):** बायो-बेस्ड फ्युल्स (**Bio-based fuels**) SO<sub>x</sub> आणि NO<sub>x</sub> कमी उत्सर्जित करतात, हवेची गुणवत्ता सुधारतात, आणि हानिकारक खाणकाम किंवा ड्रिलिंगची आवश्यकता कमी करतात.
4. **जैविकरित्या विघटनशील आणि नॉन-टॉक्सिक (Biodegradable and Non-Toxic):** ग्रीन फ्युल्स (**Green fuels**) जसे की बायोडिझेल आणि बायोएथेनॉल जैविकरित्या विघटनशील आणि पारंपारिक इंधनांच्या तुलनेत कमी टॉक्सिक आहेत, त्यामुळे ते इकोसिस्टम्स, स्टोरेज आणि हाताळणीसाठी सुरक्षित आहेत.
5. **विविध स्रोत आणि उत्पादन पद्धती (Diverse Sources and Production Methods):** ग्रीन फ्युल्स विविध स्रोतांपासून येतात जसे की बायोमा (**biomass**), इलेक्ट्रोलायसिस (**electrolysis**), आणि कचरा रूपांतरण (CO<sub>2</sub> पासून सिंथेटिक इंधन), आणि यामुळे लवचिक (**flexible**), टिकाऊ उत्पादन सुनिश्चित होते.
6. **सध्याच्या इन्फ्रास्ट्रक्चरशी सुसंगतता (Compatibility with Existing Infrastructure):** अनेक ग्रीन फ्युल्स विद्यमान इंजिन आणि इंधन प्रणालींमध्ये कमी बदल करून वापरता येतात, आणि पारंपारिक इंधनांसोबत मिसळून वापरले जातात—उदाहरणार्थ, पेट्रोलसह एथेनॉल (**ethanol**) आणि डिझेलसह बायोडिझेल.
7. **उच्च ऊर्जा कार्यक्षमता (High Energy Efficiency):** ग्रीन फ्युल्स जसे की हायड्रोजन आणि सिंथेटिक (**synthetics**) फ्युल्स उच्च ऊर्जा घनतेसह कार्यक्षम कामगिरी देतात आणि परिवहन, ऊर्जा, आणि उद्योगांसाठी वैयक्तिकृत (**personalized**) केले जाऊ शकतात.
8. **सर्क्युलर इकॉनॉमीला प्रोत्साहन देते (Promotes Circular Economy):** ग्रीन फ्युल्स कचरा सामग्री जसे की पिकांचे अवशेष आणि औद्योगिक उपउत्पाद (**Industrial byproducts**) वापरतात, प्रदूषण कमी करतात आणि उत्सर्जनांना उपयुक्त ऊर्जेमध्ये रूपांतरित करतात.

### ग्रीन फ्युल्सचे फायदे आणि लाभ (Benefits and Advantages of Green Fuels):

1. **पर्यावरणीय फायदे (Environmental Benefits):** ग्रीन फ्युल्स अनेक पर्यावरणीय फायदे देतात, ज्यामध्ये कमी ग्रीनहाऊस गॅस उत्सर्जन (**greenhouse gas emissions**) आणि कमी हवेचे प्रदूषण यांचा समावेश होतो. हे जैविकरित्या विघटनशील (**biodegradable**) आणि विषमुक्त (**non-toxic**) असतात, त्यामुळे पर्यावरणासाठी सुरक्षित असतात. कार्बन उत्सर्जन (**Carbon emissions**) कमी करून आणि हवेची गुणवत्ता सुधारून, हे स्वच्छ ऊर्जा उपायांना पाठिंबा देतात. यासोबतच, हे निसर्गसंपत्तींचा शाश्वत वापर (**sustainable use**) वाढवतात.
2. **ऊर्जा सुरक्षा आणि शाश्वतता (Energy Security and Sustainability):** अपारंपारिक ऊर्जेमुळे (**Renewable energy**) पारंपारिक इंधनावरचे (**fossil fuels**) अवलंबत्व कमी होते आणि स्थानिक पातळीवर ऊर्जा उत्पादनास चालना मिळते. हा एक दीर्घकालीन शाश्वत उपाय (**sustainable solution**) असून कचऱ्याचा प्रभावी वापर करून, ऊर्जा सुरक्षा व पर्यावरणीय जबाबदारीसाठी उपयुक्त ठरते.

3. **आर्थिक आणि औद्योगिक फायदे (Economic and Industrial Benefits):** पर्यायी ऊर्जा स्रोतांमध्ये गुंतवणूक केल्याने आयात केलेल्या तेलावरचे अवलंबत्व कमी होते, इंधनाच्या किंमती स्थिर राहतात, आणि रोजगार निर्मितीद्वारे आर्थिक वाढ होते. हे तांत्रिक नवकल्पनांना (technological innovation) ला चालना देतात, नवीन संधी निर्माण करतात आणि शाश्वत विकास (sustainable development) पुढे नेतात.
4. **अष्टपैलुत्व व अनुकूलता, कार्यक्षमता आणि कामगिरी (Versatility & Adaptability, Efficiency and Performance):** हे ऊर्जा स्रोत उच्च ऊर्जा क्षमता (energy potential) आणि विविध ॲप्लिकेशन्ससाठी उपयुक्त असतात. हे विद्यमान इन्फ्रास्ट्रक्चर सोबत सुसंगत आहेत, ज्यामुळे त्यांचे एकत्रीकरण सोपे आणि कार्यक्षम होते.
5. **आरोग्य व सामाजिक फायदे, दीर्घकालीन शाश्वतता (Health and Social Benefits, Long-Term Sustainability):** हे स्रोत अपारंपारिक (renewable) आणि पुन्हा वापरण्यायोग्य (recyclable) असल्यामुळे, हे सर्क्युलर इकॉनॉमीला (circular economy) ला चालना देतात आणि स्वच्छ भविष्यासाठी मदत करतात. हे प्रदूषण कमी करून श्वसन रोग कमी करतात आणि शाश्वत पद्धतीच्या (sustainable practices) माध्यमातून ग्रामीण विकासात महत्वाची भूमिका बजावतात.

### 1.2 ग्रीन फ्युल्सचे वर्गीकरण (Classes of Green Fuels):

ग्रीन फ्युल्स हे सेंद्रिय साहित्यापासून (organic materials) तयार केले जातात, ज्यामध्ये पिके (crops), शैवाळ (algae) आणि वेस्ट बायोमास (waste biomass) यांचा समावेश होतो. कच्चा माल (Feedstock) आणि प्रक्रिया तंत्रज्ञान (processing technology) यावर आधारित त्यांचे चार पिढ्यांमध्ये वर्गीकरण केले जाते:

1. 1st generation of green fuels – पहिल्या पिढीचे (generation) ग्रीन फ्युल्स
2. 2nd generation of green fuels – दुसऱ्या पिढीचे (generation) ग्रीन फ्युल्स
3. 3rd generation of green fuels – तिसऱ्या पिढीचे (generation) ग्रीन फ्युल्स
4. 4th generation of green fuels – चौथ्या पिढीचे (generation) ग्रीन फ्युल्स

**Table 1.1: Comparison of Green Fuel Generations**

Generation	स्रोत (Source)	उदाहरण इंधने (Example Fuels)	लाभ (Merits)
<b>1st Generation</b>	आहार पिके (Food Crops) मका, ऊस, वनस्पतीजन्य तेल (Corn, Sugarcane, Vegetable Oils)	बायोएथेनॉल, बायोडिझेल	उत्पादन करणे सोपं आहे, blending मध्ये आधी पासूनच वापरले जातात (E10, E20) (Easy to produce, already used in blending (E10, E20))
<b>2nd Generation</b>	कृषी कचरा, जंगलाचा कचरा, नॉन-फूड पिके (Agricultural Waste, Forestry Waste, Non-Food Crops)	सेल्युलोसिक इथेनॉल, अॅडव्हान्स्ड बायोडिझेल (Cellulosic Ethanol, Advanced Biodiesel)	अन्न पुरवठ्याशी स्पर्धा नाही, आणि शाश्वत आहेत (There is no competition with food supply, Sustainable)
<b>3rd Generation</b>	शैवाळ, सूक्ष्मजीव (Algae, Microorganisms)	आल्गी बायोफ्यूल (Algae Biofuel)	उच्च उत्पादन, सांडपाण्याचा उपयोग (High Yield, Uses Wastewater)
<b>4th Generation</b>	सिंथेटिक इंधने, कार्बन कॅप्चर (Synthetic Fuels, Carbon Capture)	ई-इंधन बायो गॅसोलीन (E-Fuels, Bio gasoline)	हवेतून CO <sub>2</sub> वापरतो, उत्सर्जित होणाऱ्यापेक्षा जास्त CO <sub>2</sub> काढून घेते (Uses CO <sub>2</sub> from Air, Carbon Negative)

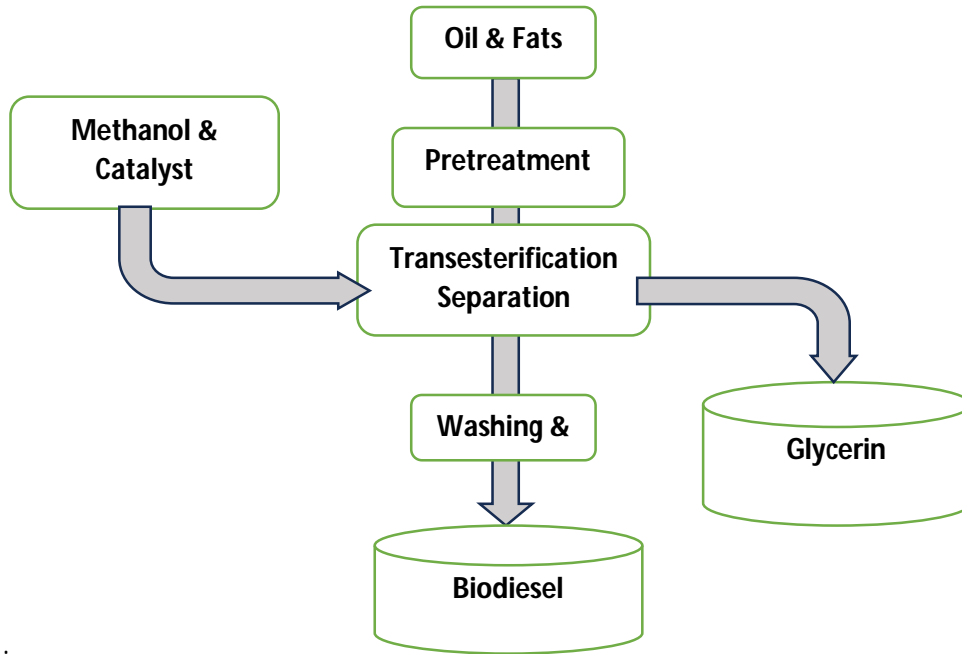


**Fig. 1.2: General Biofuel Preparation Process**

(Courtesy - Discover Energy, Courtesy - Discover Energy, <https://doi.org/10.1007/s43937-024-00032-w>)

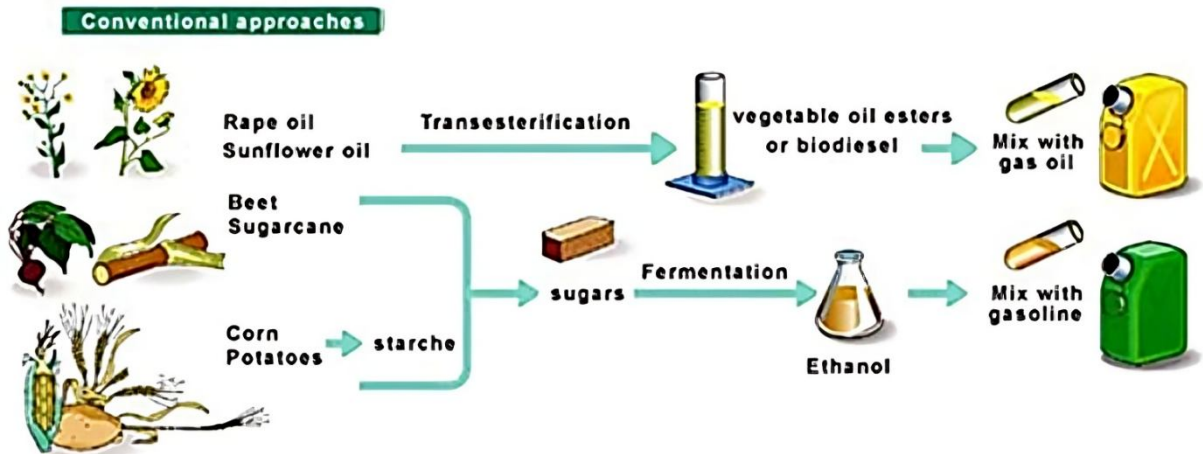
वर दर्शविलेल्या आकृतीत जैव इंधन तयार करण्याची सामान्य प्रक्रिया बायोमासपासून दर्शविली आहे. अद्यावत जैव इंधन उत्पादन पद्धत ट्रान्सेस्टरिफिकेशन (Transesterification) पद्धत आहे, जी खर्च आणि वेळेची बचत करणारी सिद्ध झाली आहे.

**पहिल्या पिढीचे ग्रीन इंधन (First-Generation Green Fuels):** पहिल्या पिढीचे (1G) ग्रीन इंधन हे खाद्य पिकांपासून तयार केलेली नवीनीकरणक्षम जैव इंधने आहेत, जसे की मका, ऊस, आणि वनस्पतीजन्य तेल. सामान्य प्रकारांमध्ये बायोएथेनॉल (Bioethanol), बायोडिझेल (Biodiesel), आणि बायोगॅस (Biogas) यांचा समावेश होतो. हे ग्रीनहाऊस गॅस उत्सर्जन कमी करतात आणि ऊर्जा सुरक्षा वाढवतात, पण अन्न स्पर्धा, जमीन आणि पाणी वापर, आणि शाश्वततेबद्दल चिंता निर्माण करतात. बायोएथेनॉल फर्मेंटेशन (Fermentation) पद्धतीने तयार केला जातो आणि गॅसोलिनसोबत मिसळला जातो, तर बायोडिझेल तेलातून ट्रान्सेस्टरिफिकेशन पद्धतीने तयार केला जातो आणि डिझेल इंजिन्समध्ये वापरला जातो. बायोगॅस जैविक कचऱ्यापासून अनैरोबिक विघटन पद्धतीने मिळवला जातो. हे फायदेशीर असले तरी 1G इंधनांना उच्च संसाधन वापर आणि मर्यादित कार्बन कमी करणे हे आव्हान आहे.



**Fig. 1.3: Biodiesel Preparation Through the Transesterification Reaction Method.**

(Courtesy - "SRS International Corporation specializes in feedstock pretreatment (High FFA pretreatment)".)



**Fig. 1.4: First-Generation Green Fuel Production Process**

(Courtesy- <https://edwarddebeer.wordpress.com/2013/11/11/first-generation-biofuels-fuels-of-the-future/>)

**दुसऱ्या पिढीचे ग्रीन इंधन (Second-Generation Green Fuels):** दुसऱ्या पिढीचे (2G) ग्रीन इंधन किंवा अॅडव्हान्स्ड बायोफ्युल्स (Advanced Biofuels) हे अन्न नसलेल्या बायोमासपासून तयार केले जातात, जसे की कृषी अवशेष, लाकूड, गवत, आल्गी (Algae), आणि कचरा साहित्य. पहिल्या पिढीच्या इंधनांपेक्षा, हे अन्न उत्पादनासोबत स्पर्धा करत नाहीत आणि शाश्वत फीडस्टॉक वापरतात, जसे की लिग्नोसेल्युलोजिक (Lignocellulosic) बायोमास आणि वापरलेले तेल. मुख्य प्रकारांमध्ये सेल्युलोजिक एथेनॉल (Cellulosic Ethanol), बायो-ब्युटॅनॉल (Bio-Butanol), सिंथेटिक फ्युल्स (Synthetic Fuels), आणि बायोगॅस यांचा समावेश होतो. हे इंधन ग्रीनहाऊस गॅस उत्सर्जन कमी करतात, शाश्वततेत सुधारणा करतात, आणि ऊर्जा सुरक्षा वाढवतात, तसेच कचरा आणि कमी उपयुक्त जमीन वापरून, ते जीवाश्म इंधनांसाठी स्वच्छ पर्याय बनवतात.

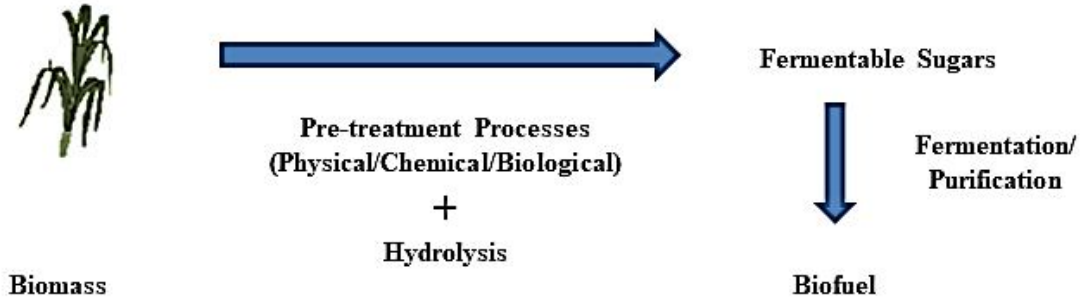


Fig. 1.5: Second Generation Green Fuel Production Process

**तिसऱ्या पिढीचे ग्रीन इंधन (Third-Generation Green Fuels):** तिसऱ्या पिढीचे (3G) ग्रीन इंधन हे अल्गीपासून (Algae) तयार केलेले जैव इंधन असते, जे उच्च ऊर्जा उत्पादन आणि कमी संसाधन गरजेसाठी प्रसिद्ध आहे. आधीच्या बायोफ्युल्सपेक्षा वेगळे, अल्गी नापिक जमिनीत सुद्धा वाढू शकते आणि त्यासाठी क्षारयुक्त पाणी (Saltwater) किंवा सांडपाणी (wastewater) वापरले जाऊ शकते, त्यामुळे अन्न उत्पादनाशी कोणतीही स्पर्धा होत नाही. अल्गीमध्ये जलद वाढ, उच्च तेलाचे प्रमाण आणि कार्बन शोषण्याची क्षमता असते. मुख्य इंधनांमध्ये अल्गल बायोडिझेल (Algal Biodiesel), बायोएथेनॉल (Bioethanol), जेट फ्युएल (Jet Fuel), बायोगॅस आणि हायड्रोजन यांचा समावेश होतो. ही इंधने कार्यक्षम, मोठ्या प्रमाणावर तयार करता येणारी, आणि पर्यावरणपूरक असतात, त्यामुळे अल्गी ही शाश्वत ऊर्जा आणि ग्रीनहाऊस गॅस कमी करण्यासाठी एक आशादायक उपाय आहे.

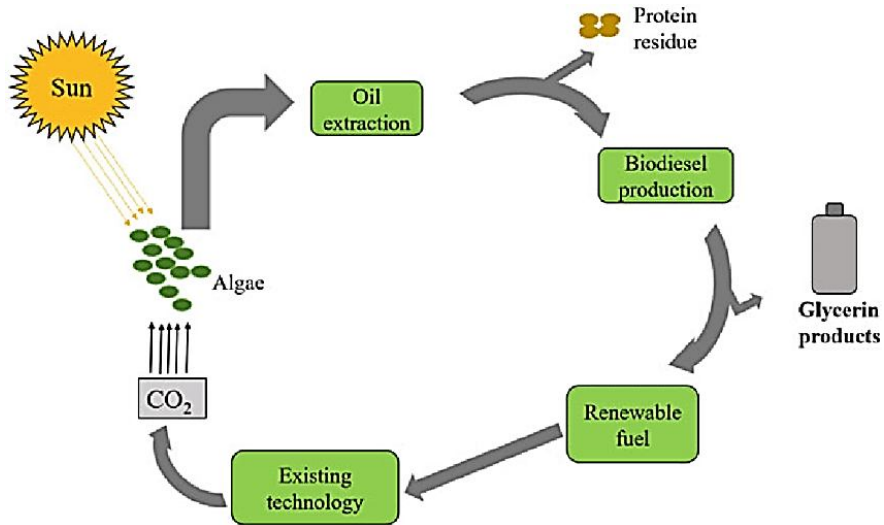
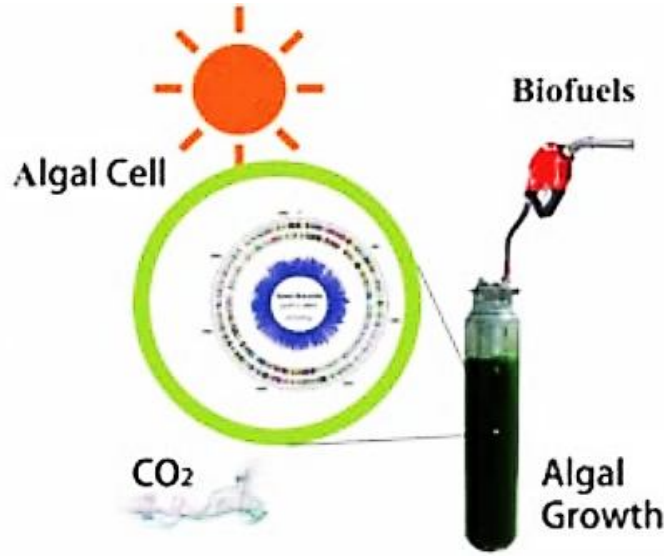


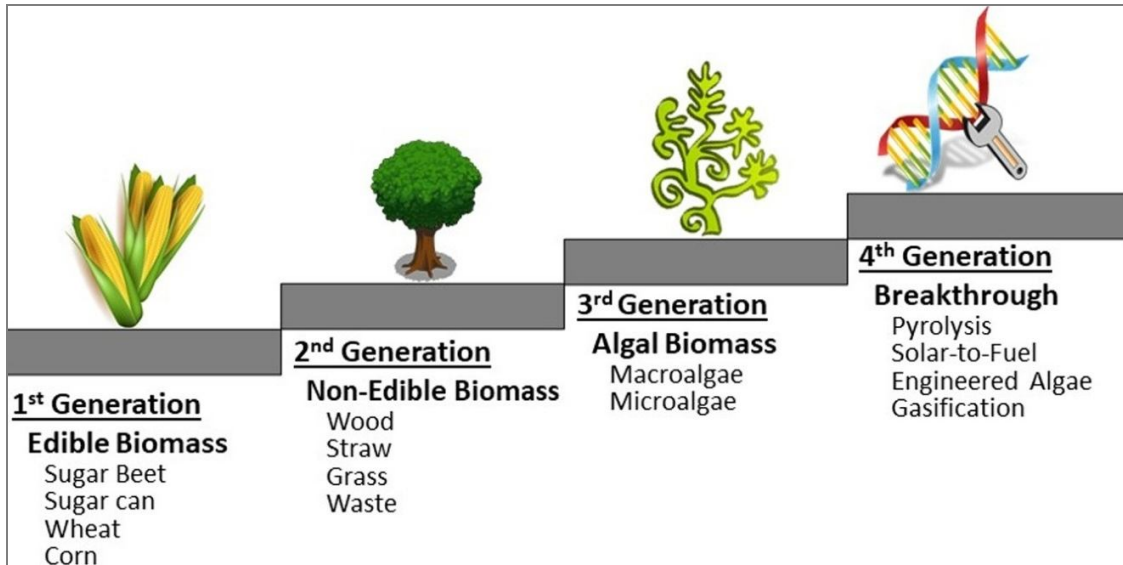
Fig. 1.1: Third-generation green fuel production process.  
(Courtesy - In Woodhead Publishing Series in Energy)

**चौथ्या पिढीचे ग्रीन इंधन (Fourth-Generation Green Fuels):** चौथ्या पिढीचे (4G) ग्रीन इंधन हे इंजिनिअर्ड किंवा सिंथेटिक बायोफ्युएल्स (Engineered/Synthetic Biofuels) म्हणून ओळखले जातात, जे अँडव्हान्स्ड जेनेटिक इंजिनिअरिंग आणि सिंथेटिक बायोलॉजी वापरून तयार केले जातात, जेणेकरून शाश्वत आणि ऊर्जा कार्यक्षम इंधने तयार करता येतील. ही इंधने विशेषतः मॉडिफाइड मायक्रोऑर्गेनिझम्स— जसे की अल्गी किंवा बॅक्टेरिया — वापरून तयार केली जातात, जी CO<sub>2</sub> किंवा वेस्टचे रूपांतर बायोफ्युएलमध्ये करतात. या इंधनांच्या मुख्य वैशिष्ट्यांमध्ये कार्बन सेक्वेस्ट्रेशन (Carbon Sequestration), उच्च ऊर्जा घनता (High Energy Density), आणि अपारंपारिक ऊर्जा स्रोतांशी एकीकरण होते. यामध्ये इंजिनिअर्ड अल्गी-आधारित इंधने (Engineered Algae-Based Fuels), जास्त कार्बन शोषण घेणारी इंधने (Carbon-Negative Fuels), बायो-हायड्रोजन (Bio-Hydrogen), आणि कचऱ्यापासून

तयार केलेली सिंथेटिक फ्युएल्स (Synthetic Fuels from Waste) यांचा समावेश होतो. ते कार्बन काढून टाकणे, कचऱ्याचे पुनर्वापर, आणि विद्यमान पायाभूत सुविधांशी सुसंगतता यांसारखी महत्त्वाची फायदे देखील प्रदान करतात, विशेषतः जिथे कार्बन कमी करणे कठीण आहे अशा इंडस्ट्रीजमध्ये वापर होतो.



**Fig. 1.7: Fourth Generation Green Fuel Production Process**  
(Courtesy - Energy & Environmental Science)



**Fig. 1.8: Classes of Green Fuels**  
(Courtesy - Renewable Energy Focus)

### 1.3 ग्रीन इंधनाचे प्रकार आणि उपयोग (Types and Applications of Green Fuels):

#### A) बायोफ्युएल्स (Biofuels)

##### बायोफ्युएल्सचे प्रकार (Types of Biofuels):

1. **बायोएथेनॉल (Bioethanol / Ethanol):** हे साखरयुक्त पिकांपासून (जसे की ऊस, बीट) किंवा स्टार्चयुक्त पिकांपासून (मका, गहू) तयार होते. हे सामान्यतः पेट्रोलसोबत मिसळले जाते (उदा. E10, E85) आणि internal combustion engines मध्ये वापरले जाते.

2. **बायोडिझेल (Biodiesel):** हे वनस्पती तेलांपासून (उदा. सोयाबीन तेल, पाम तेल), प्राणी चरबी किंवा वापरलेल्या खाद्यतेलांपासून तयार होते. हे डिझेल इंजिन्समध्ये स्वच्छ रूपात किंवा पेट्रोलियम डिझेलसोबत मिसळून वापरले जाते (उदा. B20, B100).
3. **सेल्युलॉसिक एथेनॉल (Cellulosic Ethanol):** हे lignocellulosic biomass पासून (जसे की लाकूड, पेंढा, कृषी अवशेष) तयार होते. हे देखील पेट्रोलऐवजी वापरले जाते.
4. **बायोब्युटॅनॉल (Biobutanol):** हे सेल्युलॉसिक एथेनॉलप्रमाणेच फीडस्टॉकपासून तयार केले जाते, पण यामध्ये Butanol तयार होते. हे पेट्रोलऐवजी थेट किंवा मिसळून वापरले जाते.
5. **अल्गीपासून बायोडिझेल (Biodiesel from Algae):** अल्गी तेलांचा वापर करून बायोडिझेल तयार केला जातो. हे पारंपरिक वनस्पती तेलांपेक्षा जास्त शाश्वत पर्याय आहे, हे डिझेल इंजिनमध्ये वापरले जाते.
6. **अलгал बायोडिझेल (Algal Biodiesel):** अल्गीपासून तेल काढून तयार केलेले डिझेल, जे पारंपरिक डिझेलऐवजी वापरले जाते.
7. **अलгал बायोएथेनॉल व बायोब्युटॅनॉल (Algal Bioethanol and Bio-Butanol):** अल्गीपासून फर्मेंटेशन करून इथेनॉल (ethanol) किंवा ब्युटेनॉल (butanol) तयार केला जातो, जो ट्रान्सपोर्टेशनमध्ये वापरला जातो.
8. **अलгал जेट फ्युएल (Algal Jet Fuel):** अल्गी तेलांपासून biojet fuel तयार केले जाते, जे एव्हिएशनमध्ये वापरले जाते.
9. **बायोगॅस (Biogas):** हे organic waste (उदा. अन्न कचरा, शेती अवशेष, सांडपाणी) पासून anaerobic digestion पद्धतीने तयार होते. हे नैसर्गिक वायूऐवजी उष्णता, वीज निर्मिती आणि वाहन इंधन म्हणून वापरले जाते.
10. **बायो-ऑईल (Bio-oil from Pyrolysis):** Pyrolysis प्रक्रियेमुळे (ऑक्सिजनशिवाय गरम केल्यावर) biomass पासून bio-oil, biochar (बायोचार) आणि गॅस तयार होतात. हे औद्योगिक प्रक्रियांसाठी किंवा डिझेलसारख्या इंधनांमध्ये परावर्तित करता येते.
11. **ग्रीन डिझेल (Green Diesel):** हे बायोडिझेलसारख्या फीडस्टॉकपासून तयार केले जाते, पण hydrocracking process वापरून, जे जास्त उच्च दर्जाचे आणि पेट्रोलियम डिझेलसारखे इंधन तयार करते. हे डिझेल इंजिनमध्ये थेट वापरले जाते.

### बायोफ्युएल्सचे उपयोग (Applications of Biofuels):

1. **परिवहन (Transportation):** Biofuels हे वाहनांमध्ये पारंपरिक इंधनांच्या पर्याय म्हणून वापरले जातात. कार, ट्रक, विमाने, जहाजे यामध्ये वापरले जाऊन स्वच्छ आणि शाश्वत वाहतूक शक्य होते.
2. **वीज निर्मिती (Electricity Generation):** Biomass power plants आणि biogas cogeneration systems वापरून स्वच्छ आणि टिकाऊ वीज निर्माण केली जाते.
3. **हीटिंग (Heating):** घरगुती आणि औद्योगिक गरम करण्यासाठी biofuels वापरून पारंपरिक इंधनांपासून बचाव केला जातो. Biomass heating systems आणि biogas heaters यासाठी वापरले जातात.
4. **औद्योगिक वापर (Industrial Applications):** केमिकल इंडस्ट्री, ल्युब्रिकंट्स, आणि औद्योगिक ऑईल तयार करण्यासाठी biofuels वापरले जातात, ज्यामुळे कार्बन उत्सर्जन कमी होते.
5. **शेती आणि ग्रामीण विकास (Agriculture and Rural Development):** Biofuels ग्रामीण भागात रोजगार निर्मिती, कचऱ्याचे पुनर्वापर आणि शाश्वत शेतीसाठी मदत करतात. शेती अवशेषांचा उपयोग करून आणि अल्गीवर आधारित इंधनाचा विकास केला जातो.
6. **कार्बन शोषण व पर्यावरण फायदे (Carbon Sequestration and Environmental Benefits):** Biofuels मुळे ग्रीनहाऊस गॅस उत्सर्जन कमी होते, काही carbon-negative fuels हे थेट कार्बन शोषतात. कचरा डेपो (Landfill) gas capture करतात त्यामुळे पर्यावरणिय फायदे वाढतात.

7. **मॅन्युफॅक्चरिंग व कन्स्ट्रक्शन क्षेत्रातील कार्बन फूटप्रिंट कमी करणे (Carbon Footprint Reduction in Manufacturing and Construction)**
8. **टिकाऊ साहित्य निर्मिती (Sustainable Materials):** Biofuels वापरून bio-based plastics व इतर उत्पादने तयार केली जातात, ज्यामुळे कार्बन उत्सर्जनात घट होते.

### B). हायड्रोजन इंधने:

#### हायड्रोजन इंधनाचे प्रकार:

**Green hydrogen** हा सर्वात पर्यावरणपूरक प्रकार आहे. तो electrolysis च्या प्रक्रियेमुळे तयार होतो, ज्यामध्ये solar power, wind power, किंवा hydro power सारख्या अपारंपारिक ऊर्जेचा वापर केला जातो. या प्रक्रियेत पाण्याचे विभाजन करून हायड्रोजन आणि ऑक्सिजन वेगळे केले जाते आणि कोणताही CO<sub>2</sub> तयार होत नाही, त्यामुळे हे इंधन carbon-neutral ठरते. Hydrogen-powered vehicles मध्ये इंधन म्हणून, Stationary fuel cells मध्ये, औद्योगिक प्रक्रियांमध्ये जसे की ammonia production आणि oil refining, आणि भविष्यात power generation, heating, व energy storage साठी वापरले जातात. Green hydrogen हे heavy industry, aviation, आणि shipping सारख्या क्षेत्रांना कार्बनउत्सर्जन (carbon emissions) कमी करण्यासाठी अत्यंत उपयुक्त आहे. Blue hydrogen, Grey hydrogen, Pink hydrogen, Brown hydrogen, आणि Yellow hydrogen हे इतर प्रकार आहेत, जे त्यांच्या उत्पादन पद्धती आणि पर्यावरणीय परिणामावर आधारित वर्गीकृत केले आहेत. प्रत्येक प्रकाराचा टिकाऊपणा व कार्बन उत्सर्जन वेगवेगळे आहेत.

#### हायड्रोजन इंधनाचे उपयोग:

हायड्रोजन हा एक बहुपर्यायी स्वच्छ ऊर्जा स्रोत म्हणून विविध क्षेत्रांमध्ये वाढत्या प्रमाणात वापरला जात आहे. Transportation मध्ये, Hydrogen Fuel Cell Vehicles (FCVs) वापरले जातात — कार्स, बसेस, ट्रक्स आणि ट्रेन्स मध्ये, विशेषतः जिथे battery electrification कमी उपयुक्त आहे. Power generation मध्ये, fuel cells वापरून स्थिर वीज पुरवठा व grid balancing साठी हायड्रोजन वापरला जातो. तसेच, गॅस टरबायन्स (gas turbines) मध्ये जाळूनही स्वच्छ वीज निर्माण केली जाते. इंडस्ट्रीज मध्ये, हायड्रोजन वापरला जातो: Ammonia production साठी, Oil refining मध्ये, पोलाद उत्पादन (Direct Reduced Iron - DRI) प्रक्रियेमध्ये, आणि petrochemical processes मध्ये. Heating साठी, hydrogen boilers आणि district heating systems द्वारे कमी उत्सर्जनाचे पर्याय उपलब्ध होतात. Energy storage मध्ये, renewable sources कडून मिळणारी जास्त वीज Power-to-Gas (P2G) तंत्रज्ञान वापरून संग्रहित केली जाते. Synthetic fuels (जसे की hydrogen-based methanol) तयार करण्यासाठी हायड्रोजन वापरला जातो, ज्याचा उपयोग हवाई वाहतुक (aviation), shipping, आणि heavy transport मध्ये होतो. Military आणि aerospace मध्ये सुद्धा हायड्रोजनचा वापर वाढत आहे, जिथे जास्त घनतेची आणि स्वच्छ ऊर्जा आवश्यक असते, उदा. military vehicles आणि space missions साठी fuel cells वापरणे. Agriculture मध्ये, green hydrogen चा वापर करून पर्यावरणपूरक ammonia तयार केला जातो, जो खतांसाठी वापरली जातो व त्यामुळे शाश्वत शेतीस मदत होते.

### C) कृत्रिम इंधने (Synthetic Fuels):

#### कृत्रिम इंधनाचे (Synthetic Fuels) प्रकार:

Synthetic fuels म्हणजे अशा इंधनांची निर्मिती होते जी प्रगत रासायनिक प्रक्रियांनी तयार केली जातात आणि पारंपारिक fossil fuels पेक्षा स्वच्छ पर्याय देतात. फिशर ट्रॉफ (Fischer-Tropsch - FT) प्रक्रिया ही सर्वात प्रसिद्ध आहे, ज्यामध्ये कोळसा (coal), बायोमास (biomass) किंवा नैसर्गिक वायू (natural gas) पासून synthetic diesel, gasoline आणि jet fuel तयार होतो. Methanol (CH<sub>3</sub>OH) हे एक बहुपयोगी synthetic fuel आहे, जे सुधारित इंजिन्स व fuel cells मध्ये थेट वापरले जाते, तसेच synthetic gasoline व फॉर्मलडीहाइड (formaldehyde), प्लास्टिक सारख्या

chemicals साठी कच्चा माल म्हणून वापरले जाते. Synthetic gasoline (SynGasoline) आणि synthetic diesel (SynDiesel) हे FT process किंवा Methanol पासून मिळवले जातात व पारंपरिक fuels च्या थेट पर्याय म्हणून combustion engines मध्ये वापरले जातात, जे उत्सर्जन कमी करतात व performance सुधारतात.

### **Synthetic Fuels चे उपयोग:**

Synthetic fuels हे वाहतुक (transportation), वीज निर्मिती (power generation), व industry मध्ये fossil fuels साठी स्वच्छ पर्याय म्हणून वापरले जात आहेत. वाहतुकीसाठी synthetic diesel, gasoline व jet fuels कार, ट्रक, विमान व जहाजांसाठी थेट वापरता येतात, पायाभूत सुविधांमध्ये मोठे बदल न करता, आणि उत्सर्जन कमी करतात. वीज निर्मिती मध्ये, gas-to-liquid व biomass-to-liquid fuels वापरून टर्बाइन्स व इंजिन्स मध्ये renewable feedstocks सोबत वापरल्यास स्वच्छ वीज निर्मिती होते. Industrial applications मध्ये, synthetic hydrogen चा ammonia व पोलाद उत्पादन मध्ये व Methanol चा chemical manufacturing मध्ये वापर होतो. Heating साठी synthetic natural gas व heating oil हे residential व commercial sectors मध्ये स्वच्छ ऊर्जा पर्याय आहेत. Green hydrogen, जो electrolysis द्वारा तयार होतो, fuel cells साठी व synthetic fuels चा base म्हणून महत्त्वाचा आहे. Power-to-Liquid सारख्या तंत्रज्ञानाने CO<sub>2</sub> चं carbon capture व storage (Carbon Capture and Storage - CCS) करून त्याचं इंधनात रूपांतर केलं जातं, ज्याने carbon-neutral cycle शक्य होते. Military व aerospace मध्ये synthetic fuels energy security वाढवतात व पारंपरिक fuels वर अवलंबित्व कमी करतात. Circular economy मध्ये synthetic fuels CO<sub>2</sub> चा पुनर्वापर करून ऊर्जा तयार करतात आणि net-zero उत्सर्जन साध्य करतात.

### **A) शैवाल इंधने (Algae Fuels)**

#### **Algae Fuels चे प्रकार:**

Algae-based fuels हे उच्च उत्पादन क्षमता, टिकाऊपणा व carbon neutrality मुळे एक आशादायक biofuel पर्याय आहेत. Algal biodiesel हा algal oils च्या transesterification प्रक्रियेद्वारे तयार होतो व diesel engines, aviation व marine transport मध्ये वापरला जातो, ज्याने high energy density व कमी उत्सर्जन मिळतात. Algae पासून बनलेला bioethanol fermentation द्वारे तयार होतो व gasoline additive किंवा flex-fuel vehicles मध्ये वापरला जातो. Algal jet fuel हे hydroprocessing प्रक्रियेद्वारे तयार होते व sustainable aviation fuel म्हणून वापरले जाते. Biomethane हे algae च्या anaerobic digestion द्वारे तयार होते व वीज, heating व वाहन इंधनासाठी स्वच्छ पर्याय आहे. Algal oils चा वापर biodiesel व bioethanol तयार करण्यासाठी होतो. काही algae photosynthesis द्वारा hydrogen तयार करतात, जे fuel cells मध्ये वापरता येते. Biocrude oil हे hydrothermal लिक्विफॅक्शन (liquefaction) प्रक्रियेद्वारे तयार होते व पेट्रोन्नियम प्रमाणे वापरले जाते, ज्यापासून gasoline, diesel व jet fuel तयार होतात. Algae ची क्षमता non-arable land वर कमी resources वापरून वाढण्याची असल्याने large-scale व कमी प्रभावी इंधन उत्पादनासाठी आदर्श आहे, ज्याने transportation, power व उद्योग क्षेत्रातील ऊर्जा गरजा भागवल्या जातात.

#### **Algae Fuels चे उपयोग:**

अल्गी पासून तयार होणारी इंधने (Algae-derived fuels) हे अनेक क्षेत्रात स्वच्छ व नूतनीकरणक्षम पर्याय देतात. Transportation मध्ये algal biodiesel, bioethanol व jet fuel कार, ट्रक, विमान व जहाजांमध्ये वापरले जातात व उत्सर्जन कमी करतात. वीज निर्मिती मध्ये algal Biomethane व Biocrude fossil fuels च्या जागी turbines व boilers मध्ये वापरले जातात. Chemical production मध्ये algal oils व bioethanol हे bio-based chemicals साठी feedstock म्हणून वापरले जातात, ज्याने उद्योग क्षेत्रा मध्ये कार्बन उत्सर्जन कमी होते. Agriculture मध्ये algae अवशेषांचा (residues) वापर खतासाठी होतो. Wastewater treatment मध्ये algae पाणी स्वच्छ करतात व biogas

तयार करतात. Heating साठी algal biomethane व bio-oil रहिवासी व औद्योगिक ऊर्जा पर्याय आहेत. Photosynthetic algae द्वारे तयार hydrogen transport व power साठी zero-emission fuel देतो, Algae carbon शोषून सुद्धा करतात, वाढताना CO<sub>2</sub> शोषून उत्सर्जन कमी करतात. बंदिस्त वातावरणात Space व military applications मध्ये algae fuel, oxygen व CO<sub>2</sub> शोषणासाठी वापरले जातात. Algal fuels दुर्गम भागांमध्ये स्वच्छ ऊर्जा मिळवण्यासाठी मदत करतात आणि पाण्यातून पोल्यूटंट्स (pollutants) काढून टाकतात.

#### **A) वनस्पतीं पासूनमिळणारी बायोडिझेल्स (Biodiesels from different types of Plants-Feedstock):**

##### **वनस्पतीं पासूनमिळणाऱ्या Biodiesel चे प्रकार:**

Biodiesel विविध प्रकारच्या वनस्पती-आधारित तेलांपासून तयार केली जाते, प्रत्येक प्रकारचे स्वतःचे फायदे आहेत. सोयाबिन तेल (Soybean oil) हा अमेरिकेमध्ये सर्वात जास्त वापरला जाणारा स्रोत आहे, कारण याची उपलब्धता जास्त आहे आणि उत्सर्जन कमी करतात. कॅनोला (Canola) oil (rapeseed पासून) थंड हवामानात चांगला performance व स्थिरता देते. Palm oil, ज्याचे उत्पादन दक्षिण-आशियात मोठ्या प्रमाणात होते व उच्च उत्पादन देते, पण पर्यावरणीय चिंता वाढवते. सूर्यफुल तेल (Sunflower oil) चांगली ऑक्सिडेशन प्रतिरोधकता (oxidative stability) व इंजिन performance देते. Cottonseed oil चा (कापूस शेतीचा उपउत्पाद) lubricant म्हणून चांगला उपयोग होतो. Algae biodiesel अत्यंत कार्यक्षम, टिकाऊ आणि पर्यावरणपूरक आहे, जे बिगर जिरायती जमीन (non-arable land) व wastewater व CO<sub>2</sub> वापरून वाढवले जाते. सूर्यफुल तेल, जे ओलिक ऍसिड (oleic acid) मध्ये जास्त प्रमाणात आहे, थंड हवामानात चांगले काम करते आणि खाद्यपिकांशी स्पर्धा करत नाही. जत्रोफा तेल (Jatropha oil) हे एक दुष्काळी भागातील वाढणाऱ्या झाडांचे तेल आहे, जे योग्य जमिनीवर वाढते, पण सुरुवातीला मोठी गुंतवणूक लागते. रॅपसीड तेल (Rapeseed oil), जे युरोप व कॅनडामध्ये सामान्य आहे, थंड हवामानात चांगले काम करते. शेंगदाणा तेल (Peanut oil) मधून सहज उत्पादन होते आणि अन्न व इंधनासाठी वापरले जाते. भाग बियाणे तेल (Hemp oil), एक टिकाऊ व कमी इनपुट लागणारे पीक आहे, ज्याचे औद्योगिक उपयोगही विविध आहेत. करंजा तेल (Karanja oil), जे खाण्या योग्य नाही (non-edible) अशा झाडांपासून येते आणि कोरड्या भागात वाढते, तसेच ते टिकाऊ आहे व कमी greenhouse gases उत्सर्जित करते, त्यामुळे अन्न सुरक्षेला धोका न देता biodiesel साठी आदर्श आहे.

##### **वनस्पतीं पासूनमिळणाऱ्या Biodiesel चे उपयोग:**

वनस्पती-आधारित biodiesel हा विविध क्षेत्रात नूतनीकरणक्षम व स्वच्छ इंधन पर्याय आहे. Transportation मध्ये, biodiesel हे कार, ट्रक, बस, जहाजे, विमान व शेती यंत्रांमध्ये diesel इंजिन्स चालवण्यासाठी वापरले जाते आणि उत्सर्जन लक्षणीय प्रमाणात कमी करतो. वीज निर्मिती मध्ये, biodiesel backup generators व power plants मध्ये वापरले जाते, विशेषतः जिथे सौर (solar) किंवा पवन (wind) ऊर्जा शक्य नाही. औद्योगिक क्षेत्रात, biodiesel हे heavy machinery मध्ये diesel च्या जागी वापरले जाते, heating साठी वापरले जाते व स्वतः मध्ये विरघळवून घेणारा (solvent) म्हणूनही काम करते. Agriculture मध्ये, शेती यंत्रसामग्रीसाठी biodiesel वापरले जाते आणि उत्पादनाचे उपउत्पाद मातीची सुपीकता वाढवतात. घरगुती (Residential) वापरासाठी, biodiesel घर गरम करणे (home heating) व असार्वजनिक वीज वितरण प्रणाली (off-grid power) साठी वापरले जाते. पर्यावरणदृष्ट्या, biodiesel वापरामुळे कचऱ्याचा पुनर्वापर वाढतो (waste recycling) आणि greenhouse gas उत्सर्जन कमी होतात. सार्वजनिक वाहतुकीमध्ये मध्ये शहरी प्रदुषण (urban pollution) कमी करण्यासाठी सामान्यतः B20 किंवा B10 मिश्रण (blends) स्वरूपात biodiesel वापरले जाते. Biodiesel अधिक शाश्वत, कार्यक्षम व किफायतशिर (cost-effective) बनवण्यासाठी नवीन feedstocks व नवीन तंत्रज्ञान शोधत आहे, तसेच सतत संशोधन चालू आहे.

**ऑटोमोबाइल्स मध्ये ग्रीन फ्युएल्सचे उपयोग (Applications of Green Fuels in Automobiles):**

ग्रीन फ्युएल्स किंवा अक्षय ऊर्जेचा पर्याय, ऑटोमोबाइल्सच्या पर्यावरणीय प्रभावात मोठी घट करतात. Biofuels जसे biodiesel व ethanol हे diesel व gasoline इंजिन्स मध्ये कमी बदल करून वापरले जातात आणि कार्बन उत्सर्जन कमी करतात. Hydrogen fuel cells वापरणारी वाहने, जसे Toyota Mirai, फक्त पाण्याची वाफ (water vapor) उत्सर्जित करतात. Compressed natural gas (CNG) व Liquefied natural gas (LNG) वाहने, सार्वजनिक वाहनांमध्ये लोकप्रिय आहेत जे स्वच्छ ज्वलन करतात. Electric Vehicles (EVs), विशेषतः renewable energy ने चार्ज केल्यास, हायब्रीड वाहनांद्वारे होणारे उत्सर्जन आणखी कमी करतात. विशेषतः taxis मध्ये LPG dual-fuel systems वापरली जाते, तसेच खर्च व प्रदूषण कमी करतात. Synthetic e-fuels, जे CO<sub>2</sub> व green hydrogen पासून तयार होतात, विद्यमान इंजिन्स मध्ये वापरता येतात. ग्रीन फ्युएल्स CO<sub>2</sub> कमी करतात, हवेची शुध्दता सुधारतात, sustainability ला सपोर्ट करतात आणि स्थानिक पातळीवर इंधन निर्मिती करून ऊर्जा सुरक्षा वाढवतात.

**वीज व उष्णता निर्मितीत ग्रीन फ्युएल्सचा उपयोग (Applications of Green Fuels in Power and Heat Generation):**

ग्रीन फ्युएल्स अपारंपारिक किंवा पर्यायी इंधन (greenhouse gas) उत्सर्जन कमी करणे व टिकाऊ ऊर्जा उपाय देण्यात महत्त्वाची भूमिका बजावतात.

**1. वीज निर्मितीतील उपयोग:**

Biomass (wood pellets, crop waste, algae) व organic waste पासून बनलेला biogas हे turbines किंवा engines मध्ये जाळून वीज निर्मिती केली जाते, जसे Drax Power Station (UK) मध्ये. Hydrogen fuel cells, जे फक्त पाणी उत्सर्जित करतात, हे असार्वजनिक वीज वितरण प्रणाली व माहिती केंद्र (data centres) मध्ये वापरले जातात. विशेषतः आफ्रिका व आशिया मध्ये Biofuel generators (biodiesel किंवा ethanol वापरून) ग्रामीण भागात व आपत्ती काळामध्ये (disaster time) वीज पुरवतात. Synthetic fuels, जे CO<sub>2</sub> व green hydrogen पासून तयार होतात, gas turbines व hybrid systems मध्ये स्वच्छ व विकेंद्रित ऊर्जेसाठी (decentralised energy) वापरले जातात.

**2. उष्णता निर्मितीतील उपयोग:**

Biomass जसे wood pellets व crop waste boilers व stoves मध्ये जाळले जाते, ज्याचा वापर विशेषतः स्वीडन मध्ये घरगुती, औद्योगिक व डिस्ट्रिक्ट हीटिंग सिस्टिम (district heating systems) मध्ये होतो. विशेषतः जर्मनी मध्ये कचरा डेपो (Landfills) व निरुपयोगी पाणी (wastewater) मधून मिळणारा biogas heating व स्वयंपाकासाठी वापरला जातो, आणि UK मध्ये पोलाद निर्मितीसाठी (steelmaking industries) कोळश्याला पर्याय म्हणून वापरण्याचे प्रयत्न सुरू आहेत. तसेच आइसलंड च्या hybrid plants मध्ये जिओथर्मल (Geothermal) energy, biomass किंवा hydrogen सोबत सहउत्पादन (Combined Heat and Power - CHP) systems मध्ये वापरली जाते.

**एरोस्पेस क्षेत्रात ग्रीन फ्युएल्सचा उपयोग (Applications of Green Fuels in the Aerospace Sector):**

Aerospace क्षेत्र sustainable aviation fuel (SAF), hydrogen व biofuels वापरून उत्सर्जन कमी व शाश्वतता वाढवण्याकडे कल वाढला आहे. SAF, जे biomass, waste oils किंवा synthetic पदार्थांपासून बनते, विद्यमान jet engines मध्ये वापरले जाते आणि United व लुफ्तान्सा (Lufthansa) सारख्या airlines वापरत आहेत. Hydrogen fuel cells व modified engines मध्ये hydrogen वापरून Airbus' ZEROe व German H<sub>2</sub>Fly सारखे प्रकल्प चालू आहेत. Military aviation मध्ये सुद्धा algae व synthetic fuels पासून biofuels वापरले जात आहेत, जसे U.S. Air Force व Navy च्या यशस्वी jet tests मध्ये आहे.

Table 1.2: Green Fuels Comparison Table

इंधन प्रकार (Fuel Type)	उपप्रकार / उदाहरण (Sub- type / Example)	मूळस्रोत / उत्पादन पद्धत (Feedstock / Production Method)	उपयोग (Applications)
जैवइंधन (Biofuels)	बायोइथेनॉल (Bioethanol)	साखर/ स्टार्चची पिके (गहू, सोयाबीन, मका) (Sugar/starch crops, sugarcane, soyabean, corn, wheat)	परिवहन-कार्स, औद्योगिक इंधन (Transport (cars), industrial fuels)
	बायोडिझेल (Biodiesel)	भाजीपाला तेल (सोय, पाम), प्राण्यांची चरबी आणि वापरलेले तेल (Vegetable oils (soy, palm), animal fats, and used cooking oil)	परिवहन, औद्योगिक यंत्रसामग्री, जनरेटर (Transport, industrial machinery, generators)
	सेल्युलॉसिक इथेनॉल (Cellulosic Ethanol)	कृषी कचरा, लाकूड, तण, स्विच-ग्रास (Agricultural waste, wood, straw, switchgrass)	परिवहन (Transport)
	बायोब्युटेनॉल (Biobutanol)	लिग्नोसेल्युलोजिक बायोमास (Lignocellulosic biomass)	परिवहन (Transport)
	जैववायू (Biogas)	कार्बनयुक्त कचऱ्याचं अप्रूविश्लेषण (Anaerobic digestion of organic waste)	वीज, उष्णता, परिवहन (CNG वाहने) (Electricity, heating, transport (CNG vehicles))
	जैवतेल (पायरोलीसिस) (Bio-oil (Pyrolysis))	बायोमास पायरोलिसिसद्वारे (Biomass via pyrolysis)	औद्योगिक उष्णता, द्रव इंधनाची रिफाईनिंग प्रक्रिया (Industrial heating, refining of liquid fuel)
	ग्रीन डिझेल (Green Diesel)	तेलांचं हायड्रोक्रॅकिंग (बायोडिझेलसारखा फीडस्टॉक) (Hydrocracking of oils (same feedstock as biodiesel))	डिझेल इंजिन्स कोणतेही बदल न करता. (Diesel engines without modification)
हायड्रोजन इंधने (Hydrogen Fuels)	ग्रीन हायड्रोजन (Green Hydrogen)	पाणी इलेक्ट्रोलायसिस वापरून पुनर्नवीनीकरण ऊर्जा (Electrolysis of water using renewable energy)	परिवहन (FCVs), उद्योग, उष्णता, शक्ती संचयन (Transport (FCVs), industry, heating, power storage)
वनस्पती- आधारित बायोडिझेल (Plant-Based Biodiesel)	सोयाबीन, कॅनोलाआयल, पाम, सूर्यफूल, इत्यादी. (Soybean, Canola, Palm, Sunflower, etc.)	सोयाबीन, कॅनोलाआयल, जाट्रोफा, हेम्प, अल्गी यांसारख्या वनस्पतींच्या विविध तेलांचा वापर (Various oils from plants like soybean, canola, Jatropha, hemp, algae)	परिवहन, उद्योग, उष्णता, कृषी (Transport, industry, heating, agriculture)

**Table 1.3: Applications of Green Fuels**

क्षेत्र (Sector)	उपयुक्त (Applications)
<b>वाहतूक (Transportation)</b>	कार, ट्रक, बस (बायोडीझेल, बायोएथेनॉल), हवाई परिवहन (SAF, शैवाल जेट इंधन, हायड्रोजन), जहाजे (बायोफ्युएल्स, सिंथेटिक इंधन), ट्रेन्स (हायड्रोजन, बायोगॅस) (Cars, trucks, buses (biodiesel, bioethanol), aviation (SAF, algal jet fuel, hydrogen), shipping (biofuels, synthetic fuels), trains (hydrogen, biogas))
<b>शक्ती उत्पादन (Power Generation)</b>	जैवइंधन टर्बाईन्स, जैवइंधन चालित जनरेटर, हायड्रोजन इंधन कक्ष, आणि गॅस टर्बाईन्स मध्ये सिंथेटिक गॅस (Biomass turbines, biofuel-powered generators, hydrogen fuel cells, and synthetic gas in gas turbines)
<b>उष्णता निर्माण (Heating)</b>	जैवइंधन बॉयलर्स/चुली, बायोगॅस हीटर्स, हायड्रोजन बॉयलर्स, आणि सिंथेटिक हीटिंग तेल (Biomass boilers/stoves, biogas heaters, hydrogen boilers, and synthetic heating oils)
<b>कृषी (Agriculture)</b>	यंत्रसामग्रीसाठी इंधन, खते (हायड्रोजनपासून ग्रीन अमोनिया), शैवालाच्या अवशेषांचा कम्पोस्ट म्हणून वापर, बायोगॅसद्वारे ग्रामीण ऊर्जा (Fuel for machinery, fertilizers (green ammonia from hydrogen), algae residues as compost, rural energy via biogas)
<b>ऊर्जा संचयन (Energy Storage)</b>	हायड्रोजन दीर्घकालीन ऊर्जा संचयन म्हणून (पॉवर-टू-गॅस), आणि सिंथेटिक इंधने ऊर्जा वाहक म्हणून (Hydrogen as long-term energy storage (Power-to-Gas), and synthetic fuels as energy carriers)
<b>पर्यावरणीय फायदे (Environmental Benefits)</b>	कार्बन कॅप्चर आणि उपयोग (सिंथेटिक इंधने), कमी GHG उत्सर्जन, पर्यावरणीयदृष्ट्या अनुकूल उत्पादन, आणि वर्तुळाकार अर्थव्यवस्थेला समर्थन (Carbon capture & utilization (synthetic fuels), reduced GHG emissions, eco-friendly production, supports circular economy.)
<b>ग्रामीण विकास (Rural Development)</b>	बायोफ्युएल उत्पादन रोजगार निर्माण करते, कृषी कचरा वापरते, आणि ऊर्जा प्रवेशाला समर्थन देते (Biofuel production creates jobs, uses agricultural waste, and supports energy access.)

## References:

1. Deepayan, D., & Abhipsita, D. (2022). 32 - Third-generation biofuels and food security. In Woodhead Publishing Series in Energy.
2. Hayder A., A., Alaa H., A., & Haydar A.S., A. (2019). Promising evolution of biofuel generations. Subject review. Renewable Energy Focus, 28(1), 127-139.
3. Jing, L., Con, S., & Pengcheng, F. (2011). Metabolic engineering of algae for fourth-generation biofuels production. Energy & Environmental Science, 4(7).
4. Soumitra, N. (2024). Biotechnology and biofuels: paving the way towards a sustainable and equitable energy for the future. Discover Energy, 4(8), 1-28.
5. (n.d.). SRS International Corporation specializes in feedstock pretreatment (High FFA pretreatment). SRS' team of biodiesel engineers understands what it takes to run a profitable biodiesel plant, providing you with their proprietary FSP-Series pretreatment system.
6. U. S. Energy Information Administration. (March 2025). Monthly Energy Review.

**Exercise****TLO 1 -****Level 1: Remembering:** Recall of facts, basic concepts, and definitions.**[1] ..... is a type of green fuel.**

- A) Kerosene
- B) Bioethanol**
- C) Natural Gas
- D) Coal

**[2] GHG stands for.....**

- A) General Heat Generator
- B) Green Hazardous Gas
- C) Greenhouse Gas**
- D) Gas Heating Generator

**[3] Green fuels are mainly produced from:**

- A) Non-renewable sources
- B) Nuclear waste
- C) Renewable resources**
- D) Plastic-based materials

**[4] The following is NOT a characteristic of green fuels.**

- A) High carbon emissions**
- B) Renewable
- C) Biodegradable
- D) Environmentally friendly

**[5] Algae-based fuel is classified under the category of.....**

- A) Fossil fuel
- B) Natural gas
- C) Green fuel**
- D) Synthetic fuel

**Level 2: Understanding: Explain ideas or concepts; interpret information.****[1] Green fuels are considered environmentally friendly because.....**

- A) They have high sulfur content
- B) They emit fewer greenhouse gases**
- C) They are made from plastic
- D) They are more expensive

**[2] Green fuels support energy sustainability .....**

- A) By increasing oil imports
- B) By consuming more natural resources

**C) By reducing dependency on fossil fuels**

D) By replacing electricity with gas

**[3] ..... makes green fuels compatible with existing infrastructure?**

A) They require new fuel systems

B) They need advanced engines

**C) They can blend with conventional fuels**

D) They degrade old engines

**[4] Green fuels help improve public health.....**

A) By emitting toxic chemicals

B) By increasing NOx emissions

**C) By reducing air pollution**

D) By promoting mining

**[5] Green fuels are considered part of a circular economy because.....**

A) They require more processing

B) They create more waste

**C) They use waste materials as inputs**

D) They rely on finite resources

**Level 3: Applying: Use information in new situations or solve problems using knowledge.**

**[1] A transportation company wants to reduce emissions without replacing its current fleet.**

**Select the appropriate green fuel strategy from the options below;**

A) Shift to coal-based fuel

**B) Switch to ethanol-blended gasoline**

C) Use 100% hydrogen engines

D) Install solar panels on trucks

**[2] A city wants to improve air quality and reduce its carbon footprint. .... Should fuel promote public transport?**

A) Diesel

**B) Biofuel**

C) LPG

D) Kerosene

**[3] A farmer is looking for an eco-friendly way to dispose of crop residue. .... The green fuel process will be applied.**

A) Burn the residue

**B) Convert it to bioethanol**

C) Bury it

D) Use it for landfilling

**[4] An industry emits large amounts of CO<sub>2</sub>. Select the most relevant benefit of green fuel technology below;**

- A) Use CO<sub>2</sub> to produce synthetic fuels
- B) Increase fossil fuel use
- C) Vent CO<sub>2</sub> into the air
- D) Switch to diesel power

**[5] A school wants to create an awareness campaign on sustainable energy. Select the relevant aspect of green fuels that they should emphasize from the options below;**

- A) Their fossil origin
- B) Their contribution to respiratory illness
- C) **Their renewable and low-emission nature**
- D) Their high sulfur contents

**TLO 2 -**

**Level 1: Remembering: Recall basic facts about each class of green fuels.**

**[1] ..... is the primary feedstock for first-generation green fuels.**

- A) Algae
- B) Agricultural waste
- C) **Food crops**
- D) CO<sub>2</sub>

**[2] ..... generation of green fuel uses algae as its main feedstock.**

- A) First
- B) Second
- C) **Third**
- D) Fourth

**[3] ..... process is commonly used in biodiesel production in first-generation fuels.**

- A) Fermentation
- B) Gasification
- C) **Transesterification**
- D) Pyrolysis

**[4] The following is the major advantage of fourth-generation green fuels.**

- A) Made from corn and sugarcane
- B) Grown on fertile land
- C) **Carbon-negative properties**
- D) High sulfur content

**[5] Cellulosic ethanol is mainly associated with ..... generation of green fuels.**

- A) First
- B) **Second**

- C) Third
- D) Fourth

**Level 2: Understanding:**

[1] **Second-generation fuels differ from first-generation fuels in terms of feedstock as;**

- A) Use only genetically modified algae
- B) Rely on food crops
- C) Utilize non-food biomass**
- D) Require fossil-based inputs

[2] **Select the correct option for the feature that makes third-generation green fuels more sustainable than previous generations.**

- A) Use of land crops
- B) Dependence on freshwater
- C) Growth in non-arable land and wastewater**
- D) High food competition

[3] **Fourth-generation fuels are considered a breakthrough in carbon reduction because.....**

- A) They use diesel engines
- B) They release more carbon
- C) They involve direct CO<sub>2</sub> capture and conversion**
- D) They require large land areas

[4] **Following is a key environmental concern with first-generation green fuels.....**

- A) Uses waste biomass
- B) Grown on arid lands
- C) Competes with the food supply**
- D) Grows in saltwater

[5] **..... makes algae a favorable source for third-generation fuels.**

- A) Low energy output
- B) Requires fertile land
- C) High oil content and fast growth**
- D) Depends on fossil fuels

**Level 3: Applying**

[1] **A company wants to use waste CO<sub>2</sub> to create fuel. They consider..... generation of green fuel.**

- A) First
- B) Second
- C) Third
- D) Fourth**

[2] A country with surplus agricultural waste wants to create biofuel without affecting the food supply. .... generation is best suited for the situation.

- A) First
- B) Second**
- C) Third
- D) Fourth

[3] A coastal city aims to develop sustainable fuel using saltwater and non-arable land. .... generation of fuel technology fits best in the given situation.

- A) First
- B) Second
- C) Third**
- D) Fourth

[4] An industrial facility wants to invest in green fuels with carbon-capturing ability and high compatibility with existing systems. .... generation is most appropriate.

- A) First
- B) Second
- C) Third
- D) Fourth**

[5] A farmer grows corn and is interested in fuel production from crops he already cultivates. .... fuel generation is applicable in the given situation.

- A) First**
- B) Second
- C) Third
- D) Fourth

**TLO – 3:**

**Bloom's Level 1: Remembering**

[1] ..... A type of hydrogen fuel is produced using renewable electricity through water electrolysis.

- A) Grey hydrogen
- B) Blue hydrogen
- C) Green hydrogen**
- D) Brown hydrogen

[2] ..... Synthetic fuel is produced via the Fischer-Tropsch process.

- A) Algal ethanol
- B) SynDiesel**
- C) Green hydrogen
- D) Biodiesel

[3] ..... is the primary feedstock for algal biodiesel.

- A) Sugarcane
- B) Corn
- C) Algal oil**
- D) Soybean

[4] ..... Plant oil is commonly used for biodiesel in the United States.

- A) Palm oil
- B) Soybean oil**
- C) Rapeseed oil
- D) Karanja oil

[5] ..... sector uses green hydrogen for producing eco-friendly ammonia.

- A) Aerospace
- B) Agriculture**
- C) Automotive
- D) Textile

### **Bloom's Level 2: Understanding**

[1] Green hydrogen is considered carbon-neutral due to;

- A) It absorbs carbon dioxide during use
- B) It's produced from fossil fuels
- C) It is produced using water and renewable electricity, emitting no CO<sub>2</sub>**
- D) It is used only in the aerospace sector

[2] Synthetic methanol contributes to sustainability because .....

- A) It emits more NO<sub>x</sub> than gasoline
- B) It is derived only from crude oil
- C) It can be produced from CO<sub>2</sub> and used in fuel cells**
- D) It can't be used in modern engines

[3] Algal fuel is considered suitable for remote areas because .....

- A) It needs high-tech infrastructure
- B) It requires fossil fuel additives
- C) It can be produced locally with minimal resources**
- D) It has a very short shelf life

[4] Jatropha oil is a sustainable source for biodiesel due to .....

- A) It grows on arable land
- B) It competes directly with food crops
- C) It grows on marginal land and doesn't affect the food supply**
- D) It has low oil content

[5] **Green fuels improve power generation sustainability.....**

- A) By increasing fossil fuel dependency
- B) By using carbon-neutral sources like biomass and hydrogen**
- C) By requiring more fuel to generate the same power
- D) By only working with old infrastructure

**Bloom's Level 3: Applying**

[1] **Use information in new situations: A city wants to reduce emissions from public buses without replacing engines. .... green fuel is most applicable.**

- A) Algal jet fuel
- B) Synthetic diesel**
- C) Pure hydrogen gas
- D) LPG only

[2] **The industry needs to replace diesel in heating systems with local agricultural waste. .... Fuel should be adopted.**

- A) Algal ethanol
- B) Biomethane from anaerobic digestion**
- C) SynGasoline
- D) Hydrogen from electrolysis

[3] **If a country has abundant sunlight and aims to produce hydrogen fuel, ....production method is most suitable.**

- A) Steam methane reforming
- B) Water electrolysis using solar power**
- C) Gasification of coal
- D) Oil refining

[4] **..... green fuel application would be most appropriate for a remote military base requiring clean, portable energy.**

- A) Algal hydrogen for stationary fuel cells**
- B) Synthetic diesel in aircraft
- C) Soybean biodiesel for home heating
- D) Natural gas turbines

[5] **A chemical plant wants to reduce its carbon footprint while continuing methanol production. Choose the appropriate solution from the options below;**

- A) Use fossil fuels for synthesis
- B) Switch to algae-based bioethanol
- C) Produce methanol from captured CO<sub>2</sub> and green hydrogen**
- D) Replace methanol with gasoline

## Unit 2 मॅन्युफॅक्चरिंग सिस्टम्समधील नवीन ट्रेंड

### Recent Trends in Manufacturing Systems

#### विषय निष्पत्ती (Course Outcome) –

**CO2** - डेटा अॅनालिटिक्स तंत्रांचा उपयोग करून उत्पादन प्रक्रिया आणि प्रणाली सुधारण्यासाठी मदत करणे.

(Use data analytics techniques to improve manufacturing processes and systems.)

#### घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcome)–

**TLO 2.1**-डेटा विश्लेषणाच्या संकल्पना (concepts) चे प्रकार आणि तंत्रांसह (techniques) समजावून सांगणे.

**TLO 2.2** उत्पादन उद्योगातील डेटा विश्लेषका (data analyst) च्या भूमिकेचे (role) वर्णन करणे.

**TLO 2.3**-बिग डेटा ची वैशिष्ट्ये आणि उत्पादन प्रक्रियेतील त्याचे ऍप्लिकेशन्स स्पष्ट करणे

#### 2.1 उत्पादनातील बिग डेटा:

उत्पादनातील बिग डेटा, उत्पादना दरम्यान उत्पन्न केलेल्या मोठ्या प्रमाणात माहितीचा संदर्भ देतो. हा डेटा मशीन, सेन्सर्स, उत्पादन प्रक्रिया, कर्मचारी, सप्लाय चेन लॉजिस्टिक्स आणि ग्राहक फीडबॅक यासह विविध स्रोतांकडून येतो. कंपनी या डेटाचा वापर त्यांचे काम सुधारण्यासाठी, माहितीपूर्ण निर्णय घेण्यासाठी आणि कार्यक्षमता वाढवण्यासाठी करतात. मोठ्या डेटाचे विश्लेषण करून, उत्पादक देखभालीच्या गरजांचा अंदाज लावू शकतात, गुणवत्ता नियंत्रित करू शकतात, पुरवठा साखळी ऑप्टिमाइझ करू शकतात आणि चांगली उत्पादने विकसित करू शकतात. मोठा डेटा उत्पादकांना अधिक स्मार्ट काम करण्यास, खर्च कमी करण्यास आणि उच्च-गुणवत्तेची उत्पादने वितरित करण्यास मदत करतो. आजच्या उत्पादन जगात, स्मार्ट निर्णय घेण्यासाठी डेटा वापरणे महत्वाचे आहे. मोठा डेटा उत्पादकांना कार्यक्षमता, गुणवत्ता आणि उत्पादकता सुधारण्यास मदत करतो. इंडस्ट्री 4.0 सह, कंपन्यांकडे चांगल्या निवडी करण्यासाठी नेहमीपेक्षा जास्त साधने आणि डेटा आहे. डेटाचे विश्लेषण करून, उत्पादक जुन्या समस्या सोडवू शकतात आणि त्यांचा ग्राहक आधार वाढवू शकतात. जे मोठे डेटा विश्लेषण वापरतात ते नवीनतम नवकल्पना लागू करण्यास आणि उत्कृष्ट परिणाम प्राप्त करण्यास सक्षम असतील. शक्यता एन्डलेस आहेत, आणि उत्पादन व्यवसायांना पुढे राहण्यासाठी बिग डेटा असणे आवश्यक आहे.

#### बिग डेटा वैशिष्ट्ये (Big Data Characteristics)-

**1) मॅसिव्ह वॉल्युम (Massive Volume):** बिग डेटा, मोबाइल फोन, सोशल मीडिया, ईमेल आणि ऑनलाइन ऍक्टिव्हिटीज सारख्या विविध स्रोतांकडून दररोज उत्पन्न केलेल्या मोठ्या प्रमाणात माहितीचा संदर्भ देतो. हा डेटा वेगाने वाढतो आणि क्लाउड प्लॅटफॉर्ममध्ये संग्रहित केला जातो. इन्साईट्स मिळविण्यासाठी, वापरकर्त्यांचे वर्तन समजून घेण्यासाठी आणि माहितीपूर्ण निर्णय घेण्यासाठी कंपनी Hadoop आणि Google Cloud सारख्या प्लॅटफॉर्मचा वापर करून हा डेटा संकलित आणि विश्लेषण केला जातो.

**2) High व्हेलॉसिटी (High Velocity):** Velocity म्हणजे डेटा ज्या वेगाने तयार केला जात आहे तो वेग होय. सोशल मीडिया, मोबाइल ॲप्स आणि IoT (Internet of Things) डिव्हाइसेस सारख्या स्रोतांकडून वेगाने उत्पन्न केलेला डेटा प्रवाहित करण्यासाठी, मौल्यवान इन्साईट्स काढण्यासाठी त्वरित प्रक्रिया करणे आवश्यक आहे. वेगाने तयार होणारे डेटाचे खालील उदाहरणे समाविष्ट आहेत:

1. रिअल-टाइम मार्ग सूचनांसाठी ट्रॅफिक डेटाचे विश्लेषण करणारे Google नकाशे.

2. फसव्या व्यवहारांची शोध घेणाऱ्या बँका.

3. वेळेवर इन्साईटसाठी सोशल मीडिया डेटाचे विश्लेषण.

कंपन्यांना माहितीपूर्ण प्रक्रिया फास्ट करते. वेळेवर निर्णय घेण्यास सक्षम करते.

3) **वैविध्यता (Variety):** बिग डेटामध्ये विविध प्रकारच्या माहितीचा समावेश होतो, ज्याचे तीन मुख्य प्रकारांमध्ये वर्गीकरण केले जाऊ शकते.

1. Structured डेटा (ऑर्गनाइज्ड डेटा, जसे की ग्राहक माहिती किंवा व्यवहार)

2. Semi-structured डेटा

3. Unstructured डेटा (अन ऑर्गनाइज्ड डेटा, जसे की ईमेल, व्हिडिओ, प्रतिमा किंवा सोशल मीडिया पोस्ट)

बिग डेटा सर्व प्रकारच्या डेटाचा स्रोत किंवा स्वरूप विचारात न घेता कव्हर करतो.

4) **अनप्रेडिक्टबल व्हरसिटी (Unpredictable Veracity):** डेटा सत्यता ही डेटाची गुणवत्ता आणि विश्वासाहता दर्शवते. विश्वसनीय इन्साईट निर्माण करण्यासाठी आणि माहितीपूर्ण निर्णय घेण्यासाठी डेटा अचूकता आणि सुसंगतता सुनिश्चित करणे महत्वाचे आहे. विशेषतः AI आणि मशीन लर्निंग मॉडेल वापरताना, अचूक परिणाम साध्य करण्यासाठी क्लीन आणि विश्वासाह डेटा आवश्यक आहे, कारण चुकीचा किंवा विसंगत डेटा खराब इन्साईट आणि निर्णय घेऊ शकतो.

**फायदे (Benefits)-**

1. **मशीनचा डाउनटाइम कमी करणे (Reduced machine downtime)-** बिग डेटा अॅनालिटिक्स भविष्यसूचक आणि प्रतिबंधात्मक देखभाल सक्षम करतो. मशीन डाउनटाइम आणि ऑपरेशनल खर्च 50% पर्यंत कमी करतो. मोठ्या प्रमाणात डेटाचे विश्लेषण करून, ते संभाव्य मशीन अपयशांचा अंदाज लावण्यासाठी नमुने ओळखते, सक्रिय निराकरणे आणि व्यत्यय कमी करण्यास अनुमती देतो. हा दृष्टीकोन उत्पादन ऑप्टिमाइझ करतो आणि उपकरणे ब्रेकडाउन आणि अनुसूचित देखभालीसाठी लागणारा वेळ कमी करतो.

2. **एंटरप्राइझ वाढ करण्यासाठी (Enterprise growth) -** बिग डेटा टूल्स वेगवेगळ्या साइट्सच्या कार्यक्षमतेची तुलना करण्यात आणि फरकांची कारणे शोधण्यात मदत करतात. बिग डेटासह, उत्पादन प्रकल्पांचे विश्लेषण करू शकता, परिस्थिती विकसित करू शकता आणि भविष्यसूचक मॉडेल लागू करू शकता. बिग डेटा विश्लेषणाद्वारे प्राप्त झालेल्या तथ्यात्मक डेटाच्या आधारे, आपण नवीन कारखाना कोठे उघडायचा, कोणत्या कंपनीच्या साइटचे स्थलांतर/बंद केले जावे, नवीन उत्पादन सादर करायचे की नाही इत्यादीं बद्दल योग्य माहिती असलेला निर्णय घेऊ शकता.

3. **चांगले खर्च व्यवस्थापन (Better cost management)-** भविष्यसूचक विश्लेषणे समस्या सोडवण्याच्या खर्चाबद्दल इन्साईट उपलब्ध करून बजेट नियोजन सुलभ करते. बिग डेटा अॅनालिटिक्स ओव्हरहेड खर्चाची मूळ कारणे शोधण्यात आणि समजून घेण्यात मदत करते, ज्यामुळे उत्पादकांना सुधारणेसाठी क्षेत्रे ओळखता येतात. डेटाचे विश्लेषण करून, उत्पादक त्यांच्या सर्वात महत्त्वपूर्ण अप्रत्यक्ष खर्चासाठी आधाररेखा स्थापित करू शकतात, ज्यामुळे खर्चात कपात कोठे केली जाऊ शकते हे शोधणे शक्य होते, शेवटी अधिक माहितीपूर्ण निर्णय घेणे आणि खर्च ऑप्टिमायझेशन होते.

4. **एन्हांसड ग्राहक (Enhanced customer)-** उत्पादन व्यवसायाचे यश ग्राहकांच्या समाधानावर खूप अवलंबून असते, जे बिग डेटा विश्लेषणाद्वारे एन्हांसड केले जाऊ शकते. बिग डेटा आणि IoT चा लाभ घेऊन, उत्पादक ग्राहकांच्या अनुभवांबद्दल मौल्यवान इन्साईट मिळवू शकतात, उत्पादन सुधारणा आणि कस्टमाइझेशन सक्षम करू शकतात. आजच्या स्पर्धात्मक बाजारपेठेत, बिग डेटा अॅनालिटिक्स ही यापुढे निवड नसून एक गरज आहे, जे फॉरवर्ड-थिंकिंग उत्पादकांना कृती करण्यायोग्य इन्साईट अनलॉक करण्यात, ऑपरेशन्स ऑप्टिमाइझ करण्यात आणि उद्योग-अग्रणी कामगिरी साध्य करण्यात मदत करते.

5. **उत्पादन कार्यक्षमता वाढवणे (Increase manufacturing operational efficiency)-** उत्पादनातील बिग डेटा कार्यक्षमता वाढवतो, खर्च नियंत्रित करतो आणि उत्पादकता वाढवतो. स्वयंचलित चाचणी परिणामांच्या मशीन लर्निंग-चालित विश्लेषणाचा लाभ घेऊन, उत्पादक लाइन स्पीड आणि गुणवत्ता सुधारू शकतात. मानवी त्रुटी कमी करू शकतात आणि मुख्य गुणवत्ता-प्रभावित पॅरामीटर्स ओळखू शकतात. हे उत्पादन तपासणी आणि शिपिंग क्षमतेमध्ये एक्सपोजिशन वाढ सक्षम करते, शेवटी व्यवसाय वाढीस चालना देते.

6. **संपूर्ण पुरवठा साखळीमध्ये पारदर्शकता वाढवते (Increases transparency into the entire supply chain)-** उदाहरणार्थ, रिअल टाइममध्ये टूल्स, पार्ट्स आणि इन्व्हेंटरीचे स्थान ट्रॅक करण्यासाठी सेन्सर आणि RFID डेटा

वापरून, व्यत्यय आणि विलंब कमी करणे. मागणी अंदाज आणि इन्व्हेंटरी व्यवस्थापनापासून किंमत ऑप्टिमायझेशन पर्यंत सर्व काही ऑप्टिमाइझ करण्याच्या संधींसाठी वैयक्तिक प्रक्रिया आणि त्यांच्या परस्परावलंबनांचे विश्लेषण करून कंपन्या पुरवठा साखळी पारदर्शकता वाढवू शकतात.

## 2.2 उत्पादन डेटा विश्लेषण (Data Analytics in Manufacturing):

जागतिक बाजारपेठेत मौल्यवान इन्साईट मिळविण्यासाठी आणि नफा मिळविण्यासाठी बिग डेटा विश्लेषण आवश्यक बनले आहे. प्रगत सॉफ्टवेअर प्रोग्रामचा लाभ घेऊन, संस्था निर्णय घेण्याची माहिती देण्यासाठी बिग डेटा काढू शकतात, प्रमाणित करू शकतात आणि वापरू शकतात. उत्पादनामध्ये, मोठ्या डेटा विश्लेषणे चांगल्या पद्धती सुनिश्चित करण्यासाठी, उत्पादकता वाढवण्यासाठी आणि टिकाऊपणा वाढविण्यासाठी तयार आहेत. कृत्रिम बुद्धिमत्ता आणि मशीन लर्निंगच्या वापराद्वारे, उत्पादक मोठ्या प्रमाणात डेटावर नियंत्रण मिळवू शकतात. गुणवत्ता नियंत्रण सुधारू शकतात आणि वेगाने बदलणाऱ्या बाजारपेठेत स्पर्धात्मक राहण्यासाठी डेटा-चालित निर्णय घेऊ शकतात.

## बिग डेटा मॅन्युफॅक्चरिंगमध्ये विश्लेषणाची भूमिका (The Role of Analytics in Big Data anufacturing)-

बिग डेटा मॅन्युफॅक्चरिंगमध्ये अॅनालिटिक्सची भूमिका महत्त्वाची आहे, कारण प्रचंड प्रमाणात डेटा उत्पन्न केला जाऊ शकतो. या डेटा संचांमधील लपलेल्या इन्साईटचा फायदा घेण्याच्या ऑर्गनाइझेशन क्षमतेच्या केंद्रस्थानी विश्लेषण करावे लागते. क्लाउड प्लॅटफॉर्म, प्रगत विश्लेषणे आणि कृत्रिम बुद्धिमत्ता (AI) सारखी इमर्जिंग तंत्रज्ञान उत्पादन ऑप्टिमायझेशनमध्ये नवीन सीमा उघडत आहेत. क्लाउड प्लॅटफॉर्म स्केलेबल स्टोरेज उपलब्ध करतात, प्रगत विश्लेषणे अत्याधुनिक मूल्यांकन सक्षम करतात. ऐतिहासिक डेटा, आणि AI नमुने आणि विसंगती ओळखतात, स्वायत्त निर्णय घेतात आणि कालांतराने शिकतात. तथापि, मोठ्या डेटाचा प्रभावीपणे फायदा घेण्यासाठी डेटा शास्त्रज्ञांची कमतरता हे एक आव्हान आहे.

## डेटा विश्लेषणातील पायऱ्या (Steps in Data Analytics)-

- 1) समस्या किंवा संशोधन प्रश्न परिभाषित करणे. (Define the Problem or Research Question)
- 2) डेटा संकलन करणे. (Data Collection)
- 3) डेटा क्लिनिंग (Data Cleaning)
- 4) डेटाचे विश्लेषण करणे. (Analyzing the Data)
- 5) डेटा व्हिज्युअलायझेशन करणे. (Data Visualization)
- 6) डेटा सादर करणे. (Presenting Data)

## स्टेप 1. समस्या किंवा संशोधन प्रश्न परिभाषित करा (Define the Problem or Research Question)-

डेटा विश्लेषकाची पहिली पायरी म्हणजे शेअरहोल्डर्सच्या अपेक्षांसह समस्या किंवा व्यवसाय कार्य समजून घेणे. यामध्ये मूळ कारण ओळखण्यासाठी प्रश्न विचारणे, लक्ष विचलित कमी करणे आणि समस्येचे संपूर्ण आकलन सुनिश्चित करण्यासाठी शेअरहोल्डर आणि सहकाऱ्यांशी प्रभावीपणे संवाद साधणे समाविष्ट आहे. असे केल्याने, विश्लेषक शेअरहोल्डर्सच्या गरजा पूर्ण करणारा अचूक उपाय विकसित करू शकतो.

## स्टेप 2. डेटा संकलन (Data Collection)-

डेटा विश्लेषणाच्या दुसऱ्या टप्प्यात, अंतर्गत आणि बाह्य स्रोतांसह अनेक स्रोतांकडून डेटा गोळा करणे आणि संग्रहित करणे समाविष्ट आहे. यामध्ये थेट गोळा केलेला फस्टपार्टी डेटा, विक्रेत्यांकडून मिळवलेला सेकण्ड पार्टी डेटा आणि बाहेरील स्रोतांकडून थर्ड पार्टी डेटा समाविष्ट असू शकतो. सामान्य डेटा संकलन पद्धतींमध्ये मुलाखती, सर्वेक्षण, अभिप्राय आणि प्रश्नावली यांचा समावेश होतो. गोळा केलेला डेटा नंतर पुढील विश्लेषणासाठी स्प्रेडशीट किंवा SQL (Structured Query Language) डेटाबेस सारख्या योग्य स्वरूपात संग्रहित केला जातो.

**स्टेप 3. डेटा क्लीनता (Data Cleaning)-**

डेटा विश्लेषणाची तिसरी पायरी म्हणजे डेटा साफ करणे आणि त्यावर प्रक्रिया करणे. यामध्ये डेटा अखंडता सुनिश्चित करण्यासाठी चुकीचे शब्दलेखन, अनावश्यकता आणि इर्रॅलेवंट डेटा काढून टाकणे समाविष्ट आहे. डुप्लिकेट डेटा काढून टाकला जातो आणि डेटा विश्लेषणासाठी फॉर्मॅट केला जातो. SQL (Structured Query Language) आणि Excel सारखी साधने डेटा क्लीन करण्यासाठी कार्ये उपलब्ध करतात. ही पायरी महत्त्वपूर्ण आहे कारण क्लीन डेटा ट्रेंड आणि उपाय ओळखण्यास सक्षम करतो. याव्यतिरिक्त, अचूक आणि विश्वासाहर् विश्लेषण परिणामांची हमी देण्यासाठी डेटा विश्लेषकांनी पूर्वाग्रह तपासणे आवश्यक आहे. हे सुनिश्चित केले जाते की सर्व गटांचे प्रतिनिधित्व स्वीकारले जाते आणि कोणत्याही विशिष्ट गटाला अनुकूलता दिली जात नाही.

**स्टेप 4. डेटाचे विश्लेषण (Analyzing the Data)-**

डेटा विश्लेषणातील चौथी पायरी म्हणजे ट्रेंड ओळखण्यासाठी, गणना करण्यासाठी आणि चांगल्या इन्साईटसाठी डेटा एकत्र करण्यासाठी साफ केलेल्या डेटाचे विश्लेषण करणे. एक्सेल आणि एसक्यूएल (SQL) सारखी साधने बिल्ट-इन फंक्शन्स आणि कस्टम कोडसह गणनेसाठी वापरली जातात. Excel चे पिक्चोट टेबल्स आणि SQL (Structured Query Language) चे तात्पुरते टेबल्स डेटा विश्लेषण सुलभ करतात. याव्यतिरिक्त, R आणि Python सारख्या प्रोग्रामिंग भाषा, त्यांच्या विशेष पॅकेजेससह, डेटा विश्लेषणासाठी शक्तिशाली उपाय उपलब्ध करतात, ज्यामुळे जटिल समस्यांचे निराकरण करणे आणि मौल्यवान इन्साईट काढणे सोपे होते.

**स्टेप 5. डेटा व्हिज्युअलायझेशन (Data Visualization)-**

पाचवी पायरी म्हणजे डेटा व्हिज्युअलायझेशन, जे जटिल डेटाचे चार्ट आणि आलेख यांसारख्या आकर्षक व्हिज्युअलमध्ये रूपांतर करते. नॉन-टेक्निकल शेअरहोल्डर्सची इन्साईट समजून घेण्यासाठी हे आवश्यक आहे. Tableau आणि Looker सारखी लोकप्रिय साधने डेटा विश्लेषकांना आकर्षक व्हिज्युअलायझेशन तयार करण्यास सक्षम करतात. Tableau चा ड्रॅग-अँड-ड्रॉप इंटरफेस आणि Looker चे थेट डेटाबेस कनेक्शन व्हिज्युअलायझेशन सोपे करते. याव्यतिरिक्त, R आणि Python चे पॅकेज, जसे की ggplot, स्मार्ट डेटा व्हिज्युअलायझेशन ऑफर करतात. निष्कर्षांचे अंतिम सादरीकरण माहितीपूर्ण निर्णय घेण्यास सक्षम करते, ज्यामुळे कार्यसंघ सदस्य आणि शेअरहोल्डर्ससह सामायिक केल्यावर चांगले परिणाम मिळतात.

**स्टेप 6. डेटा सादर करणे (Presenting Data)-**

डेटा सादर करण्यामध्ये कच्च्या माहितीचे सहज समजण्यायोग्य व्हिज्युअलमध्ये रूपांतर करणे समाविष्ट आहे, जसे की नमुने, ट्रेंड आणि इन्साईट प्रभावीपणे संप्रेषण करण्यासाठी चार्ट, आलेख आणि सारण्या. कॉम्प्लेक्स डेटा टेक्निकल आणि नॉन टेक्निकल प्रेक्षकांसाठी प्रवेशयोग्य बनवणे हे ध्येय आहे. प्रभावी डेटा सादरीकरणासाठी विचारपूर्वक व्हिज्युअलायझेशन निवड, कथाकथन आणि कथनाद्वारे प्रेक्षकांना मार्गदर्शन करण्यासाठी निष्कर्षांचे स्पष्टीकरण आवश्यक आहे. सखोलतेसह साधेपणाचा समतोल साधून, सादरकर्ते माहितीपूर्ण निर्णय घेण्यास सक्षम करतात, डेटा सादरीकरण हे इन्साईट आणि ड्रायव्हिंग कृती व्यक्त करण्यासाठी एक आवश्यक कौशल्य बनवतात.

**डेटा विश्लेषणाचे प्रकार (Types of Data Analytics)-**

**1. डिस्क्रिप्टिव्ह विश्लेषण (Descriptive analytics):** डिस्क्रिप्टिव्ह विश्लेषणे प्रश्नाचे उत्तर देण्यावर लक्ष केंद्रित करतात, 'काय होत आहे?' किंवा 'काय झाले?' मागील डेटाचे विश्लेषण करून, सर्व प्रकारच्या डेटा अॅनालिटिक्स पैकी, हा सर्वात सोपा दृष्टीकोन आहे कारण तो परस्परसंवादी व्हिज्युअलायझेशनद्वारे जटिल डेटासेटची मुख्य वैशिष्ट्ये आणि वैशिष्ट्ये सारांशित करतो आणि सुलभ करतो. वर्णनात्मक विश्लेषण म्हणून कार्य करते.

**वर्णनात्मक विश्लेषणे डिप्लॉय करण्यासाठी, विश्लेषक आणि डेटा शास्त्रज्ञ सामान्यतः पाच स्टेप्समध्ये अनुसरण करतात:**

1. आपण डेटासेटमध्ये एक्सप्लोर करू इच्छित असलेले स्पष्ट उद्दिष्टे किंवा स्वारस्य क्षेत्रे परिभाषित करणे.
2. आपल्या डेटासेटशी संबंधित डेटा गोळा करणे.
3. अचूक परिणामांसाठी क्लीन डेटा करणे.

4. संक्षिप्त सारांशांमध्ये मोठ्या डेटासेटचे संक्षेपण करण्यासाठी प्रगत सांख्यिकीय तंत्रे लागू करणे.
5. रिअल-टाइम डेटा विश्लेषण चालविण्यासाठी, परस्परसंवादी व्हिज्युअलायझेशन तयार करण्यासाठी आणि माहितीपूर्ण निर्णय घेण्यासाठी AI-सहाय्यित इन्साईट मिळविण्यासाठी Thought Spot सारखी अत्याधुनिक BI साधने वापरणे.

#### उदाहरणे-

1. ग्राहक संबंध व्यवस्थापन (Customer relationship management): परस्परसंवाद आणि प्राधान्ये समजून घेण्यासाठी ग्राहक डेटाचे विश्लेषण करणे, उत्पादन समायोजन आणि ऑप्टिमाइझ टचपॉइंट सक्षम करणे.
2. आर्थिक अहवाल (Financial reporting): आर्थिक आरोग्याचे मूल्यांकन करण्यासाठी, कामगिरीची तुलना करण्यासाठी आणि संसाधनांचे प्रभावीपणे वाटप करण्यासाठी व्यवहार डेटाचा सारांश करणे.
3. सप्लाय चैन मानजमेंट (Supply chain management): विलंबाची मूळ कारणे ओळखण्यासाठी, व्यत्यय कमी करण्यासाठी आणि खर्च वाचवण्याच्या संधी उघड करण्यासाठी मेट्रिक्स आणि ऐतिहासिक लीड वेळा निरीक्षण करणे.

**1. गुणात्मक डेटा विश्लेषण (Qualitative Data Analysis) -** गुणात्मक विश्लेषणामध्ये अर्थपूर्ण इन्साईट आणि थीम ओळखण्यासाठी ग्राहक अभिप्राय, सोशल मीडिया पोस्ट आणि ट्रान्सक्रिप्ट्स यासारख्या गैर-संख्यात्मक डेटाचे व्यक्तिनिष्ठ अर्थ लावणे समाविष्ट आहे. हे तंत्र जटिल, सूक्ष्म समस्या समजून घेण्यासाठी उपयुक्त आहे. दुसरीकडे, परिमाणात्मक विश्लेषण निर्णय घेण्यास चालना देण्यासाठी, मोजता येण्याजोग्या, संख्यात्मक डेटावर लक्ष केंद्रित करते. जसे की विक्रीचे आकडे, वेबसाइट रहदारी आणि महसूल टक्केवारी. दोन्ही तंत्रांमध्ये वेगळे ॲप्लिकेशन्स आहेत आणि संस्थेच्या कार्यप्रदर्शनाची आणि ग्राहकांच्या वर्तनाची सर्वसमावेशक समज मिळविण्यासाठी वापरली जाऊ शकते.

#### उदाहरणे-

**मार्केट विश्लेषण (Market Analysis):** मार्केटिंग ॲक्टिव्हिटीज किंमतीतील बदल आणि बाजारातील ट्रेंड यांचे परीक्षण करून एखाद्या विशिष्ट तिमाहीत उत्पादनाची विक्री का वाढली याचे व्यवसाय विश्लेषण करू शकतात.

**वैद्यकीय निदान (Medical Diagnosis):** प्रयोगशाळेचे परिणाम आणि रुग्णांच्या डेटावर आधारित लक्षणांचे कारण समजून घेण्यासाठी चिकित्सक निदान विश्लेषण वापरतात.

**2. भविष्यसूचक डेटा विश्लेषण (Predictive Data Analysis)-** भविष्यसूचक डेटा विश्लेषण भविष्यातील ट्रेंड आणि संभाव्य समस्यांचा अंदाज घेण्यासाठी ऐतिहासिक डेटा, मशीन लर्निंग आणि AI वापरले जाते. वर्णनात्मक, एक्सप्लोरेटरी (exploratory) आणि निदान विश्लेषणातील इन्साईट तयार करून, भविष्यसूचक विश्लेषणे संस्थांना संधी ओळखण्यात, आव्हानांचा अंदाज घेण्यास आणि ॲप्लिकेशन्स सुधारण्यासाठी आणि स्पर्धात्मक धार मिळविण्यासाठी धोरणे विकसित करण्यात मदत करतात. हा दृष्टीकोन कृती करण्यायोग्य इन्साईट उपलब्ध करतो, माहितीपूर्ण निर्णय घेण्यास आणि सक्रिय नियोजन सक्षम करतो. व्यवसाय ट्रेंड, सामान्य नमुने किंवा विशिष्ट कार्यक्रमाची कारणे टॅप करू शकतात. पुढील धोरणांसाठी पुढाकार किंवा निर्णय घेणे सोपे करू शकतात. भविष्यसूचक विश्लेषणे प्रश्नाचे उत्तर देण्यासाठी ऐतिहासिक डेटा वापरतात. उदारणार्थ 'पुढे काय होऊ शकते?' व्यवसाय भविष्यातील परिणामांचा अंदाज लावण्यासाठी, नमुने शोधण्यासाठी आणि जोखीम किंवा वाढीच्या संधी ओळखण्यासाठी हे मॉडेल वापरतात. वर्णनात्मक विश्लेषणे प्रतिबिंबित करणारा आरसा म्हणून काम करतात. आम्हाला आमच्या भूतकाळातील क्रियाकलापांचे सर्वांगीण चित्र दर्शवितात. भविष्यसूचक विश्लेषणे क्रिस्टल बॉल म्हणून कार्य करतात, भविष्यात डोकावून पाहतात.

**भविष्यसूचक विश्लेषणे खालीलप्रमाणे कार्य करतात (Predictive analytics works as follows):**

प्रेडिक्टिव ॲनालिटिक्स मोठ्या डेटासेटचे विश्लेषण करण्यासाठी आणि घटना घडण्याच्या संभाव्यतेचा अंदाज लावण्यासाठी सांख्यिकीय मॉडेलिंग, डेटा मायनिंग तंत्र आणि मशीन लर्निंग वापरते. या प्रकारचे डेटा विश्लेषण लागू करण्यासाठी, तुम्हाला एक मॉडेल तयार करणे आणि योग्य विश्लेषणात्मक तंत्र निवडणे आवश्यक आहे, ज्याचे निराकरण करण्याच्या समस्येवर आणि डेटासेटच्या स्वरूपावर अवलंबून आहे. भविष्यसूचक विश्लेषणे तैनात करण्यासाठी, तुम्ही अनुसरण केले पाहिजे अशा सहा पायऱ्या येथे आहेत:

1. व्यवसाय समस्या डिफाइन करणे.
2. विश्लेषणासाठी संबंधित डेटा गोळा करणे.
3. गहाळ मूल्ये काढून टाकण्यासाठी डेटावर पूर्व-प्रक्रिया करणे.
4. योग्य मॉडेलिंग भविष्यसूचक तंत्र निवडणे. विश्लेषणाच्या काही सामान्य प्रकारांमध्ये रेखीय प्रतिगमन, डिसिजन ट्रीज, क्लस्टर मॉडेल आणि वेळ मालिका मॉडेल समाविष्ट आहेत.
5. मशीन लर्निंग, एआय आणि प्रगत स्टॅटिस्टिकल तंत्रांचा लाभ घेणारे मॉडेल विकसित आणि प्रशिक्षित करणे.
6. मॉडेल नवीन, न पाहिलेल्या डेटाचे किती अचूकपणे विश्लेषण करते याचे मूल्यांकन करण्यासाठी चाचणी डेटासेटवर तुमच्या मशीन लर्निंग मॉडेलची चाचणी घेणे.

### भविष्यसूचक विश्लेषण उदाहरणे (Predictive analytics examples)-

1. **इन्व्हेंटरी मॅनेजमेंट (Inventory management):** ग्राहकांच्या मागणीचा अंदाज घेणे आणि इन्व्हेंटरी पातळी ऑप्टिमाइझ करणे.
2. **क्रेडिट स्कोअरिंग (Credit scoring):** ग्राहकांच्या क्रेडिटयोग्यतेचे आणि कर्ज चुकण्याच्या संभाव्यतेचे मूल्यांकन करणे.
3. **विक्री अंदाज (Sales forecasting):** भविष्यातील विक्री महसूल आणि ग्राहकांच्या मागणीचा अंदाज लावणे.
4. **निदान विश्लेषण (Diagnostic analytics)-** निदान विश्लेषण हा विश्लेषणाचा एक प्रकार आहे जो विशिष्ट परिणाम किंवा घटनांची मूळ कारणे ओळखण्यासाठी मागील डेटाचे परीक्षण करतो. यामध्ये व्यावसायिक समस्यांचे सखोल आकलन करण्यासाठी ऐतिहासिक डेटा पॅटर्न, विसंगती आणि सहसंबंधांचे विश्लेषण करणे समाविष्ट आहे. व्हेरिएबल्समधील संबंधांचा शोध घेऊन आणि प्रगत सांख्यिकीय पद्धती वापरून, निदान विश्लेषणे संस्थांना समस्यांची मूळ कारणे शोधण्यात मदत करतात. त्यांना समस्यांचे निराकरण करण्यासाठी आणि कार्यप्रदर्शन सुधारण्यासाठी लक्षित क्रिया करण्यास सक्षम करतात.

**निदान विश्लेषण उदाहरण (Diagnostic analytics examples)-** निदान विश्लेषण संस्थांना सखोल स्टडी आणि सुधारणेसाठी क्षेत्रे शोधण्यात, बदलांची अंमलबजावणी करण्यात आणि व्यवसाय प्रक्रिया ऑप्टिमाइझ करण्यात मदत करते.

1. रुग्ण उपचार ऑप्टिमाइझ करणे (Optimizing patient treatments): विशिष्ट वैद्यकीय परिस्थिती किंवा उपचार परिणामांमध्ये योगदान देणारे नमुने आणि घटक ओळखण्यासाठी रुग्णांच्या नोंदींचे विश्लेषण करणे.
2. ग्राहक धारणा (Customer retention): ग्राहकांच्या उदासीनता मागील कारणे ओळखण्यासाठी ऐतिहासिक डेटाचे परीक्षण करणे आणि सुधारणेसाठी क्षेत्रे निश्चित करणे.
3. वेबसाइट ट्रॅफिक विश्लेषण (Website traffic analysis): वापरकर्त्यांच्या वर्तन डेटाचे विश्लेषण करून वेबसाइट रहदारीमध्ये अचानक घट होण्याचे मूळ कारण ओळखणे.

### डेटा विश्लेषण तंत्र (Data analytics techniques):

- 1) प्रतिगमन विश्लेषण (Regression analysis)
- 2) मॉन्टे कार्लो सिम्युलेशन (Monte Carlo simulation)
- 3) घटक विश्लेषण (Factor analysis)
- 4) कोहॉर्ट विश्लेषण (Cohort analysis)
- 5) क्लस्टर विश्लेषण (Cluster analysis)
- 6) वेळ मालिका विश्लेषण (Time series analysis)
- 7) भावना विश्लेषण (Sentiment analysis)

### 1) रिग्रेशन विश्लेषण (Regression analysis)-

प्रतिगमन विश्लेषण ही एक सांख्यिकीय पद्धत आहे. व्हेरिएबल्समधील संबंधांचा अंदाज लावण्यासाठी वापरली जाते. हे अवलंबून व्हेरिएबलमधील परस्परसंबंधांचे विश्लेषण करून ट्रेंड आणि नमुने ओळखण्यात मदत करते, आणि एक किंवा अधिक स्वतंत्र चल (घटक). हे तंत्राचा अंदाज बांधण्यासाठी आणि भविष्यातील ट्रेंडचा अंदाज लावण्यासाठी

उपयुक्त आहे. उदाहरणार्थ, एक ई-कॉमर्स कंपनी सोशल मीडिया खर्च आणि विक्री महसूल यांच्यातील संबंध तपासण्यासाठी रीग्रेशन विश्लेषण वापरू शकते. दोन व्हेरिबल्समध्ये परस्परसंबंध आहे की नाही हे निर्धारित करते. प्रतिगमन विश्लेषण संबंध ओळखू शकते, परंतु ते कारण-आणि-प्रभाव निष्कर्ष स्थापित करत नाही. हे संबंध समजून घेऊन, व्यवसाय माहितीपूर्ण निर्णय घेऊ शकतात आणि संभाव्य परिणामांचा अंदाज लावू शकतात.

**प्रतिगमन विश्लेषणाचे उदाहरण (Example of Regression Analysis):**

**बाजार ट्रेंड मूल्यांकन (Market Trend Assessment):** आर्थिक वातावरणातील बदल (उदा., व्याजदर) मालमत्तेच्या किमतींवर कसा परिणाम करतात याचे मूल्यांकन करणे.

**प्रेडिक्टिव्ह किंमत (Predictive Pricing):** सध्याच्या बाजारातील गतिशीलतेवर आधारित भविष्यातील किमतीच्या ट्रेंडचा अंदाज लावण्यासाठी ऐतिहासिक डेटा वापरणे.

**2) मॉन्टे कार्लो सिम्युलेशन (Monte Carlo simulation)-**

मॉन्टे कार्लो सिम्युलेशन हे एक संगणकीकृत तंत्र आहे जे संभाव्य परिणामांचे मॉडेल आणि त्यांच्या संभाव्यता वितरणासाठी वापरले जाते. जोखीम विश्लेषणासाठी हे एक शक्तिशाली साधन आहे, जे डेटा विश्लेषकांना संभाव्य परिणामांचा अंदाज लावते आणि माहितीपूर्ण निर्णय घेऊ देते. स्प्रेडशीट सारख्या गणितीय मॉडेलचा वापर करून, सिम्युलेशन नप्यासारख्या विशिष्ट आउटपुट व्हेरिबलवर अनिश्चित व्हेरिबल्सच्या प्रभावाची गणना करते. हे वितरणातून ऐच्छिक नमुने उत्पन्न करते आणि सर्व संभाव्य परिणाम आणि त्यांच्या संभाव्यतेचे मॉडेल तयार करण्यासाठी अनेक गणना चालवते. हे तंत्र, संस्थांना जोखमीचे मूल्यांकन करण्यास आणि भिन्न परिस्थिती आणि त्यांच्या घटनेच्या संभाव्यतेचे मूल्यांकन करून डेटा-चालित निर्णय घेण्यास मदत करते.

**3) फॅक्टर विश्लेषण (Factor Analysis) -** फॅक्टर विश्लेषण ही एक तंत्र आहे जी मोठ्या संख्येने व्हेरिबल्स कमी संख्येने अंतर्निहित फॅक्टर किंवा रचनांमध्ये कमी करण्यासाठी वापरली जाते. हे व्हेरिबल्समधील नमुने आणि सहसंबंध ओळखते, त्यांना अशा घटकांमध्ये गटबद्ध करते जे लपलेले संबंध उघड करण्यात मदत करू शकतात. ही पद्धत मोठ्या डेटासेटला कंडेन्सिंग करण्यासाठी, जटिल संकल्पनांचा शोध घेण्यासाठी आणि अंतर्निहित संरचना ओळखण्यासाठी उपयुक्त आहे. उदाहरणार्थ, ग्राहक सर्वेक्षणांमध्ये, घटक विश्लेषण "ग्राहक क्रयशक्ती" किंवा "ग्राहक समाधान" सारख्या घटकांमध्ये संबंधित प्रतिसादांचे गट करू शकते, ज्यामुळे ग्राहकांच्या वर्तनाचे विश्लेषण करणे आणि समजून घेणे सोपे होते. हे अंतर्निहित घटक काढून, व्यवसाय इन्साईट मिळवू शकतात आणि डेटा-चालित निर्णय घेऊ शकतात.

**घटक विश्लेषणाचे उदाहरण (Example of Factor Analysis):**

**सेवा सुधारणा (Service Improvement):** प्रतीक्षा वेळ, कर्मचाऱ्यांचे वर्तन आणि रुग्णांच्या समाधानावर परिणाम करणारे उपचार परिणाम यासारखे प्रमुख घटक ओळखणे.

**संसाधन वाटप (Resource Allocation):** रुग्णांच्या समाधानावर लक्षणीय परिणाम करणारी क्षेत्रे सुधारण्यासाठी या अंतर्दृष्टींचा वापर होतो.

**4) समूह विश्लेषण (Cohort Analysis)-** वापरकर्त्यांच्या वर्तनातील विशिष्ट विभागांचे विश्लेषण आणि तुलना करण्यासाठी ऐतिहासिक डेटाचा समावेश आहे आणि इतर समान घटकांसह काही पैलूंचे गट करतात. हे तंत्र तुमच्या ग्राहकांच्या कल्पना देऊ शकते आणि प्रेक्षकांच्या विकसित गरजा लक्षित करू शकते. याव्यतिरिक्त, काही प्रेक्षक गटांवर विपणन मोहिमेचा प्रभाव निर्धारित करण्यासाठी तुम्ही समूह विश्लेषणाचा वापर करू शकता. उदाहरणार्थ, तुम्ही दोन प्रकारच्या ईमेल मोहिमांचे मूल्यमापन करण्यासाठी समूह विश्लेषण तंत्राची वैशिष्ट्ये लागू करू शकता-सामान्यतः A/B चाचणी म्हणतात, कालांतराने-आणि कार्यक्षमतेच्या दृष्टीने कोणती भिन्नता प्रतिसादात्मक आणि प्रभावी ठरली हे समजून घेता येते.

**समूह विश्लेषणाचे उदाहरण (Example of Cohort Analysis):**

**ग्राहक धारणा (Customer Retention):** लॉयल्टी प्रोग्राममध्ये नोंदणी न केलेल्या ग्राहकांच्या तुलनेत नवीन अधिग्रहित ग्राहक किती काळ खरेदी करत आहेत याचे मोजमाप करणे.

**कार्यक्रमाचा प्रभाव (Program Impact):** लॉयल्टी प्रोग्राम खरेदी पद्धती आणि प्रति खरेदी सरासरी खर्चावर प्रभाव टाकतो का आणि कसा हे निर्धारित करणे.

### 5) क्लस्टर विश्लेषण (Cluster Analysis)-

क्लस्टर विश्लेषण हे डेटाचे वर्णन करते आणि सामान्य नमुने ओळखते. जेव्हा डेटाला अधिक स्पष्ट लेबल्स किंवा इन्साईट आवश्यकता असते किंवा अस्पष्ट श्रेणी असतात तेव्हा ते सहसा वापरले जाते. या प्रक्रियेमध्ये समान निरीक्षणे ओळखणे आणि क्लस्टर्स तयार करण्यासाठी त्या पैलूंचे गटबद्ध करणे समाविष्ट आहे. याचा अर्थ नावे नियुक्त करणे आणि गटांचे वर्गीकरण करणे. याव्यतिरिक्त, हे तंत्र डेटाबेसमधील समानता आणि असमानता ओळखण्यात आणि घटकांची अखंडपणे तुलना करण्यासाठी त्यांना व्हिज्युअली आयोजित पद्धतीने सादर करण्यात मदत करते. डेटा क्लस्टर्सचे प्रदर्शन करण्यासाठी बॉक्स प्लॉट व्हिज्युअलायझेशनला प्राधान्य दिले जाते.

**क्लस्टर विश्लेषणाचे उदाहरण (Example of Cluster Analysis):**

**मार्केट सेगमेंटेशन:** ग्राहकांना अधिक टारगेट मार्केटिंगसाठी समान वर्तन आणि प्राधान्ये प्रदर्शित करणाऱ्या गटांमध्ये विभागणे.

**कॅम्पेन कस्टमाइझेशन:** प्रतिबद्धता आणि रूपांतरण जास्तीत जास्त करण्यासाठी प्रत्येक क्लस्टरसाठी अद्वितीय विपणन धोरणे डिझाइन करणे.

### 6) वेळ मालिका विश्लेषण (Time Series Analysis)-

वेळ मालिका विश्लेषण तंत्र एका विशिष्ट कालावधीत डेटा पॉइंट तपासते. लूपवर ठराविक कालावधीत डेटाचे निरीक्षण करण्यासाठी तुम्ही या पद्धतीचा वापर करू शकता; तथापि, हे तंत्र केवळ विशिष्ट वेळेच्या अंतराने डेटा गोळा करण्यासाठी आदर्श नाही. गोंधळात टाकणारे वाटते? मूल्यमापन मध्यांतरामध्ये व्हेरिएबल बदलले की नाही, प्रत्येक व्हेरिएबल कसे अवलंबून आहे आणि विशिष्ट पैलूसाठी परिणाम कसा प्राप्त झाला हे निर्धारित करण्यासाठी हे तंत्र आदर्श आहे. याव्यतिरिक्त, तुम्ही कालांतराने बाजारातील ट्रेंड आणि नमुने निर्धारित करण्यासाठी वेळ मालिका विश्लेषणावर अवलंबून राहू शकता. काही डेटा इन्साईट आधारित भविष्यातील घटनांचा अंदाज घेण्यासाठी तुम्ही ही पद्धत वापरू शकता.

**वेळ मालिका विश्लेषणाचे उदाहरण (Example of Time Series Analysis):**

**डिमांड फोरकास्टिंग:** तत्सम कालावधीतील ऐतिहासिक विक्री डेटाच्या आधारे पुढील हंगामासाठी विक्रीच्या प्रमाणाचा अंदाज लावणे.

**रिसोर्स प्लॅनिंग:** अपेक्षित मागणी पूर्ण करण्यासाठी उत्पादन वेळापत्रक आणि इन्व्हेंटरी पातळी समायोजित करणे.

### 7) सेंटिमेंट अॅनॅलिसिस (Sentiment Analysis)-

जेव्हा तुम्ही डेटाचा विचार करता, तेव्हा तुमचे मन कदाचित आपोआप आकडे आणि स्प्रेडशीटवर जाते. बऱ्याच कंपन्या गुणात्मक डेटाच्या मूल्याकडे दुर्लक्ष करतात, परंतु प्रत्यक्षात, लोक (विशेषतः ग्राहक) तुमच्याबद्दल काय लिहितात आणि काय म्हणतात यावरून अगणित इन्साईट प्राप्त करणे आवश्यक आहे. तर, आपण मजकूर डेटाचे विश्लेषण कसे करता? एक अत्यंत उपयुक्त गुणात्मक तंत्र म्हणजे भावना विश्लेषण, एक तंत्र जे मजकूराच्या विस्तृत श्रेणीशी संबंधित आहे (सामान्यतः स्वयंचलित) मजकूर डेटाचे वर्गीकरण आणि समजून घेण्याची प्रक्रिया. सेंटिमेंट अॅनॅलिसिस, मजकूर डेटामध्ये व्यक्त केलेल्या सेंटिमेंटचा अर्थ लावणे आणि त्यांचे वर्गीकरण करणे हे ध्येय आहे. व्यवसायाच्या दृष्टीकोनातून, हे आपल्याला आपल्या ब्रँड, उत्पादन किंवा सेवेच्या विविध पैलूंबद्दल आपल्या ग्राहकांना कसे वाटते हे तपासण्यास अनुमती देते.

## मॅन्युफॅक्चरिंगमधील बिग डेटा विश्लेषणाचे अनुप्रयोग (Applications of Big Data analytics in Manufacturing):

### 1) प्रतिबंधात्मक देखभाल (Preventive maintenance)-

प्रेडिक्टिव मॅटेनन्स हा एक सक्रिय दृष्टीकोन आहे जो मॅन्युफॅक्चरिंगमधील अनियोजित डाउनटाइम कमी करण्यासाठी बिग डेटा अॅनालिटिक्स आणि IIoT सेन्सर्सचा लाभ घेतो. ऐतिहासिक कार्यप्रदर्शन, पर्यावरणीय परिस्थिती आणि देखभाल रेकॉर्ड्ससह विविध स्त्रोतांकडून डेटा एकत्रित करून, प्रगत विश्लेषणे आणि मशीन लर्निंग यावर लागू केले जाऊ शकते: संभाव्य उपकरणे अपयश ओळखा आणि आवश्यक देखभाल निर्धारित करते.

उपकरणांच्या उपयुक्त आयुर्मानाचा अंदाज लावा.

उपकरणांच्या स्थितीवर आधारित देखभालीसाठी सर्वोत्तम वेळ निश्चित करा.

समस्या सोडवण्यास गती देण्यासाठी उपकरणांच्या अपयशाची मूळ कारणे ओळखा.

हा दृष्टीकोन उत्पादकांना देखभाल वेळापत्रक ऑप्टिमाइझ करण्यास, उत्पादनातील व्यत्यय कमी करण्यास आणि उपकरणांचे आयुष्य वाढविण्यास सक्षम करतो. सेन्सर डेटा, ऐतिहासिक ट्रेंड आणि बाह्य घटकांचे विश्लेषण करून, भविष्यसूचक देखभाल उत्पादकांना मदत करते:

खर्चिक दुरुस्ती आणि डाउनटाइम टाळणे.

भाग बदलण्याचे वेळापत्रक ऑप्टिमाइझ करणे.

यंत्रसामग्रीची उपलब्धता सुनिश्चित करून ऑपरेशनल कार्यक्षमता सुधारणे.

भविष्यसूचक देखभालीचा अवलंब करून, उत्पादक पारंपारिक वेळापत्रक-आधारित देखभालीपासून स्थिती-आधारित देखभालीकडे वळू शकतात, डाउनटाइम कमी करू शकतात आणि एकूण कार्यक्षमता सुधारू शकतात.

### 2) उत्पादन डिझाइन (Product Design)-

बिग डेटा अॅनालिटिक्स उत्पादकांना सोशल मीडिया, ग्राहक फीडबॅक आणि मार्केट ट्रेंड यांसारख्या विविध स्त्रोतांकडून डेटाचे विश्लेषण करून ग्राहक-केंद्रित उत्पादने डिझाइन आणि तयार करण्यात मदत करते. हा इन्साईट-चालित दृष्टीकोन उत्पादकांना सक्षम करतो. ग्राहकांच्या गरजा आणि प्राधान्ये समजून घेता येतात. आकर्षक उत्पादने तयार घेता येतात, विक्री आणि महसूल वाढ करता येते. मजबूत ग्राहक संबंध तयार करता येते आणि ब्रँड निष्ठा सुधारता येते. नवीन उत्पादन डिझाइनची माहिती देण्यासाठी ट्रेंड आणि बाजारातील बदल ओळखता येते "ग्राहकाचा आवाज" अनलॉक करून उत्पादन अपयशाचा धोका कमी करा बिग डेटा विश्लेषणाचा लाभ घेऊन, उत्पादक उत्पादन विकास देखील याद्वारे सुव्यवस्थित करू शकतात. त्रुटी आणि संभाव्य समस्या द्रुतपणे ओळखणे विकास प्रक्रियेतील विविध संघामधील डेटाचे विश्लेषण करणे हा डेटा-चालित दृष्टीकोन यशस्वी उत्पादन लॉन्च होण्याची शक्यता वाढवू शकतो आणि व्यवसाय वाढीस चालना देऊ शकतो.

### 3) उत्पादन व्यवस्थापन ऑटोमेशन (Production Management Automation)-

प्रोडक्शन मॅनेजमेंट ऑटोमेशनमध्ये रोबोटिक आर्म्स, सेन्सर्स आणि सॉफ्टवेअर सारख्या तंत्रांद्वारे कार्यक्षमता वाढवणे, खर्च कमी करणे आणि उत्पादनाची गुणवत्ता सुधारणे हे उद्दिष्ट ठेवून उत्पादन प्रक्रिया सुव्यवस्थित आणि स्वयंचालित करण्यासाठी तंत्रज्ञानाचा वापर करणे समाविष्ट आहे.

#### उत्पादनातील ऑटोमेशनचे प्रकार (Types of Automation in Production)-

**1. फिक्स्ड ऑटोमेशन (Fixed Automation):** फिक्स्ड ऑटोमेशनमध्ये विशेष यंत्रसामग्री आणि उपकरणे वापरणे समाविष्ट आहे जे उत्पादन प्रक्रियेत विशिष्ट कार्ये करण्यासाठी डिझाइन केलेले आहे. याला "फिक्स्ड" म्हणतात कारण यंत्रसामग्री आणि उपकरणे जागी निश्चित केली जातात आणि भिन्न कार्ये करण्यासाठी सहजपणे अनुकूल केली जाऊ शकत नाहीत. फिक्स्ड ऑटोमेशनमध्ये वापरलेली उपकरणे समान उत्पादनांच्या उच्च-आवाज उत्पादनासाठी डिझाइन केलेली आहेत, जिथे उत्पादन प्रक्रिया अचूकपणे नियंत्रित आणि पुनरावृत्ती होते. सामान्यतः, ऑटोमोटिव्ह किंवा इलेक्ट्रॉनिक्स उद्योगांसारख्या मोठ्या प्रमाणात उत्पादन सेटिंग्जमध्ये निश्चित ऑटोमेशन वापरले जाते. निश्चित

ऑटोमेशनच्या उदाहरणांमध्ये कन्व्हेयर बेल्ट, स्वयंचलित स्टोरेज आणि पुनर्प्राप्ती प्रणाली आणि पॅलेटायझर्स यांचा समावेश होतो.

**2. प्रोग्राम करण्यायोग्य ऑटोमेशन (Programmable Automation):** प्रोग्राम करण्यायोग्य ऑटोमेशन म्हणजे यंत्रसामग्री आणि उपकरणे जी उत्पादन प्रक्रियेत विविध कार्ये करण्यासाठी प्रोग्राम केली जाऊ शकतात. निश्चित ऑटोमेशनच्या विपरीत, प्रोग्राम करण्यायोग्य ऑटोमेशन लवचिक आणि बदलत्या उत्पादनाशी जुळवून घेण्यासाठी डिझाइन केले आहे आवश्यकता. प्रोग्राम करण्यायोग्य ऑटोमेशनच्या उदाहरणांमध्ये रोबोटिक आर्म्स, सहयोगी रोबोट्स आणि मोबाइल रोबोट्स यांचा समावेश आहे.

**3. फ्लेक्सिबल ऑटोमेशन (Flexible Automation):** फ्लेक्सिबल ऑटोमेशनचा वापर अशा ऍप्लिकेशन्समध्ये केला जातो जेथे उत्पादन प्रक्रियेत अनेकदा जलद बदल होतात आणि ते अत्यंत परिवर्तनशील असते. या प्रकारचे ऑटोमेशन उत्पादकांना विकसित होत असलेल्या बाजारातील मागणी, उत्पादन डिझाइन बदल आणि उत्पादनावर परिणाम करणाऱ्या इतर घटकांशी त्वरीत जुळवून घेण्यास अनुमती देते. लवचिक ऑटोमेशनच्या उदाहरणांमध्ये बहुउद्देशीय रोबोटिक आणि मॉड्यूलर कन्व्हेयर सिस्टम समाविष्ट आहेत, जे विविध किंवा अद्वितीय उत्पादने हाताळण्यासाठी सहजपणे पुन्हा कॉन्फिगर केले जाऊ शकतात.



Fig. 2.2 Production Management Automation

**4) ग्राहक अनुभव (Customer Experience):** उत्कृष्ट ग्राहक अनुभव प्रत्येक व्यवसायाचा एक आवश्यक भाग बनला आहे. सर्वोत्कृष्ट बिग डेटा अॅनालिटिक्स सोल्यूशन्स विविध स्रोतांकडून ग्राहक डेटा काढतात. हे नंतर मध्यवर्ती डेटा स्टोअरमध्ये एकत्र काढले जाते जेथे सखोल डेटा विश्लेषण सक्षम करण्यासाठी डेटा सामान्यीकृत आणि संश्लेषित केला जाऊ शकतो. यावरून, तुमचे मोठे डेटा अॅनालिटिक्स टूल प्रत्येक ग्राहकासाठी 'दुध'चा 'सिंगल सोर्स उपलब्ध करण्यासाठी स्रोतांच्या विस्तृत श्रेणीतील डेटा संश्लेषित करू शकते. खाते किंवा सेवा माहिती यांसारख्या ग्राहकांच्या टचपॉइंट्सवर संप्रेषण वैयक्तिकृत करण्यास सुरुवात करताना तुम्ही ग्राहकांची प्राधान्ये, खरेदी ट्रेंड आणि प्रतिबद्धता पातळी ओळखू शकता.

**5) सप्लाय चैन इम्प्रोव्हमेन्ट (Supply Chain Improvement):** बिग डेटा अॅनालिटिक्स उत्पादकांसाठी पुरवठा साखळी व्यवस्थापन ऑप्टिमाइझ करण्यात महत्त्वाची भूमिका बजावते. पुरवठादार, इन्व्हेंटरी पातळी आणि वाहतुकीवरील मोठ्या प्रमाणात डेटाचे विश्लेषण करून, उत्पादक त्यांच्या पुरवठा साखळी ऑपरेशन्समध्ये मौल्यवान इन्साईट मिळवू शकतात. हे त्यांना सुधारणेसाठी क्षेत्रे ओळखण्यास, खर्च कमी करण्यास आणि कार्यक्षमता वाढविण्यास सक्षम करते. बिग डेटा अॅनालिटिक्ससह, उत्पादक त्यांच्या उत्पादनांच्या अचूक स्थानाचा मागोवा घेऊ शकतात, पुरवठादार वितरण कामगिरीचा अंदाज लावू शकतात आणि संपूर्ण पुरवठा साखळीमध्ये पारदर्शकता वाढवू शकतात. त्यांच्या पुरवठा साखळीत रिअल-टाइम दृश्यमानता असल्याने, उत्पादक अधिक चांगले-माहितीपूर्ण निर्णय घेऊ

शकतात, पुरवठादारांशी त्यांचे संबंध वाढवू शकतात आणि ग्राहकांचे समाधान सुधारू शकतात. शेवटी, बिग डेटा अॅनालिटिक्सचा फायदा घेतल्याने उत्पादकांना सतत बदलणाऱ्या बाजारपेठेत स्पर्धात्मक राहण्यास मदत होते.

**6. सप्लाय चैन ऑप्टिमायझेशन (Supply Chain Optimization)**- आधुनिक पुरवठा साखळी अधिकाधिक जटिल होत आहेत, परंतु बिग डेटा विश्लेषण उपाय या आव्हानांना नेव्हिगेट करण्यासाठी मौल्यवान इन्साईट उपलब्ध करतात. बिग डेटाचा लाभ घेऊन, पुरवठादार कार्यप्रदर्शन, उत्पादन गुणवत्ता आणि वितरण टाइमलाइनसह मुख्य पुरवठा साखळी माहितीमध्ये व्यवसाय रिअल-टाइम दृश्यमानता मिळवू शकतात. बिग डेटा अॅनालिटिक्स वाहतूक मार्ग ऑप्टिमाइझ करण्यासाठी मालवाहतूक, हवामान आणि रस्त्याच्या परिस्थितीचा रिअल-टाइम ट्रॅकिंग सक्षम करते, गोदामांमधील इन्व्हेंटरी पातळीचे निरीक्षण आणि ट्रॅकिंग आणि संपूर्ण लॉजिस्टिक सायकलमध्ये उत्पादन शोधण्यायोग्यता. हे उत्पादकांना माहितीपूर्ण निर्णय घेण्यास, पुरवठा साखळी कार्यक्षमता सुधारण्यास आणि एकूण लॉजिस्टिक व्यवस्थापन वाढविण्यास अनुमती देते, शेवटी चांगले व्यवसाय परिणाम घडवून आणते.

### फायदे (Benefits):

**1) स्पर्धात्मक फायदा (Competitive Advantage):** आजच्या स्पर्धात्मक लँडस्केपमध्ये, कंपनी नाविन्यपूर्ण, स्पर्धा आणि मूल्य कॅप्चर करण्यासाठी डेटा-चालित धोरणांचा लाभ घेत आहेत. मोठ्या डेटाचा प्रारंभिक अवलंबकर्ते वास्तविक-जगातील वापराबद्दल इन्साईट गोळा करण्यासाठी सेन्सर-एम्बेडेड उत्पादनांचा वापर करत आहेत, नवकल्पना आणि व्यावसायिक चपळता वाढवत आहेत. इंटरनेट ऑफ थिंग्ज (IoT) सेन्सरमधील डेटा एंटरप्राइझ सिस्टम आणि ग्राहक चॅनेलसह एकत्रित करून, उत्पादक नवीन संधी आणि दृष्टीकोन अनलॉक करू शकतात. हा एकात्मिक दृष्टीकोन कंपन्यांना डेटाच्या पारंपारिक ऑपरेशनल वापराच्या पलीकडे जाण्यास सक्षम करतो, अधिक नाविन्यपूर्ण आणि प्रतिसादात्मक व्यवसाय मॉडेलला प्रोत्साहन देतो जे बदलत्या बाजाराच्या मागणीशी जुळवून घेऊ शकते.

**2) नावीन्य (Innovation):** बिग डेटा अॅनालिटिक्स सॉफ्टवेअर कंपन्यांना ते कसे कार्य करतात, ते ग्राहक आणि पुरवठादारांसोबत कसे कार्य करतात आणि ते महसूल निर्मितीसाठी नवीन संधी कशा ओळखतात याबद्दल नवीन करण्यात मदत करू शकतात. MIT स्लोन मॅनेजमेंट रिव्ह्यू रिसर्च रिपोर्ट अॅनालिटिक्समध्ये बिझनेस इन्व्हेशनचा स्त्रोत म्हणून, 68% प्रतिसादकर्त्यांनी सहमती दर्शवली की विश्लेषणाने त्यांच्या कंपनीला नवनिर्मिती करण्यास मदत केली आहे. काही उत्पादकांनी पूर्णपणे नवीन डेटा-चालित व्यवसाय लाइन तयार करण्यासाठी मोठ्या डेटा विश्लेषण साधनांचा वापर करण्यास सुरुवात केली आहे. एक चांगले उदाहरण म्हणजे ऑटोमोटिव्ह उद्योग, कनेक्टेड कार आणि कनेक्टेड ग्राहकांच्या वाढीसह, कार उत्पादक कार उत्पादकांइतकीच सॉफ्टवेअर कंपनी आहेत. मॅकिन्सेच्या अहवालात असे दिसून आले आहे की चांगल्या कनेक्टिव्हिटीसाठी कार ब्रँड बदलण्यास इच्छुक ग्राहकांची संख्या एका वर्षात दुप्पट झाली आहे.

**3) कमी खर्च (Lower Costs):** बिग डेटा एक्झिक्युटिव्ह सर्व्हे 2017 मध्ये, सर्वेक्षण केलेल्या 49% कंपन्यांनी सांगितले की, त्यांनी मोठ्या डेटा प्रकल्पाच्या परिणामी खर्च यशस्वीरित्या कमी केला आहे. एंटरप्राइझ-व्यापी बिग डेटा विश्लेषण प्लॅटफॉर्म समर्थन ओझे कमी करण्यासाठी प्रतिबंधात्मक देखभाल यासारख्या क्षेत्रातील खर्च कमी करू शकतो. इन्व्हेंटरी पातळी कमी करण्यासाठी सुधारित अंदाज आणि कोणत्याही प्रमुख व्यवसाय प्रक्रियेत अंगमेहनतीचे प्रमाण कमी करण्यासाठी स्वयंचलित किंवा रोबोटिक प्रक्रिया ऑटोमेशन करण्यासाठी करू शकतो.

**4) सुधारित ग्राहक सेवा (Improved Customer Service):** बिग डेटा अॅनालिटिक्स कंपन्यांना ग्राहक डेटा, सोशल मीडिया आणि इतर स्त्रोतांकडून मौल्यवान इन्साईट प्राप्त करण्यास सक्षम करून उत्पादन उद्योगात क्रांती घडवत आहे. हे उत्पादकांना ग्राहकांच्या भावना चांगल्या प्रकारे समजून घेण्यास, रिअल-टाइममध्ये प्रतिसाद देण्यास आणि वैयक्तिक ग्राहकांना किंवा बाजार विभागांना उत्पादने तयार करण्यास अनुमती देते. मोठ्या डेटा विश्लेषणाचा लाभ घेऊन, उत्पादक उत्पादन डिझाइन, गुणवत्ता हमी, पुरवठा साखळी व्यवस्थापन आणि जोखीम मूल्यांकन सुधारू शकतात. बिग डेटा अॅनालिटिक्स व्यवसायांना माहितीपूर्ण आणि वेळेवर निर्णय घेण्यास सक्षम करते, ज्यामुळे व्यवसाय वाढ आणि सुधारणा होते. आजच्या स्पर्धात्मक वातावरणात, उत्पादक मोठ्या डेटाच्या सामर्थ्याचा उपयोग भविष्यसूचक ते

प्रिस्क्रिप्टिव्ह निर्णय घेण्याकडे, त्यांचे कार्य ऑप्टिमाइझ करण्यासाठी आणि स्पर्धेच्या पुढे राहण्यासाठी करू शकतात. इंडस्ट्री 4.0 आणि इंटरनेट ऑफ थिंग्ज (IoT) मधील डेटाच्या घातांकीय वाढीसह, उत्पादक त्यांच्या डेटावर नियंत्रण मिळविण्यासाठी आणि उत्पादकता वाढवण्यासाठी आणि निर्णयक्षमता वाढविण्यासाठी योग्य माहितीमध्ये प्रवेश करण्यासाठी मोठे डेटा विश्लेषण तैनात करत आहेत.

**2.3 गुणवत्ता नियंत्रण डेटा विश्लेषण: (Data Analytics in Quality Control)-** मुळामध्ये डेटा गुणवत्ता नियंत्रणामध्ये डेटाची अचूकता, पूर्णता, सातत्य आणि विश्वासार्हता राखण्याच्या उद्देशाने प्रक्रिया आणि उपाय समाविष्ट आहेत. यामध्ये डेटा सेटमधील त्रुटी किंवा विसंगती ओळखणे, दुरुस्त करणे आणि प्रतिबंधित करण्यासाठी एक पद्धतशीर दृष्टीकोन समाविष्ट आहे, ते हेतूसाठी योग्य आहेत याची खात्री करणे. मजबूत डेटा क्वालिटी मॅनेजमेंट फ्रेमवर्क किंवा यंत्रणा नसताना, संस्था दोषपूर्ण किंवा दिशाभूल करणाऱ्या माहितीवर गंभीर निर्णय घेण्याचा धोका पत्करतात, ज्यामुळे कामगिरी आणि स्पर्धात्मकतेसाठी संभाव्य भयंकर परिणाम होतात. गुणवत्ता नियंत्रणातील डेटा विश्लेषणामध्ये उत्पादन प्रक्रिया ऑप्टिमाइझ करण्यासाठी, उत्पादनाची गुणवत्ता वाढविण्यासाठी आणि समस्या होण्यापूर्वी संभाव्य समस्या ओळखण्यासाठी डेटा विश्लेषण तंत्रांचा समावेश होतो. हे निर्णय घेण्यास, नमुने समजून घेण्यास आणि कार्यक्षमतेचे मूल्यांकन करण्यात मदत करते, ज्यामुळे गुणवत्ता व्यवस्थापन आणि प्रक्रिया कार्यक्षमता सुधारते.

**गुणवत्ता व्यवस्थापन सुधारण्यात विश्लेषणाची भूमिका (The Role of Analytics in Improving Quality Management)-**

**1. डेटा-चालित निर्णय घेणे (Data-Driven Decision-Making)** – गुणवत्ता व्यवस्थापनामध्ये विश्लेषणे वापरण्याचा एक महत्त्वाचा फायदा म्हणजे ते माहितीपूर्ण, डेटा-चालित निर्णय घेण्याची क्षमता देते. विश्लेषण (Analytics) संस्थांना त्यांचे निर्णय रीअल-टाइम डेटामधून काढलेल्या मौल्यवान अंतर्दृष्टीवर आधारित घेण्यास सक्षम करते. गुणवत्ता समस्या, डिफेक्ट रेट, ग्राहक फीडबॅक आणि उत्पादन प्रक्रियांशी संबंधित (Quality Management System) मॉनिटरिंग आणि मापन डेटाचे विश्लेषण करून, संस्था मूळ कारणे ओळखू शकतात आणि सक्रियपणे त्यांचे निराकरण करू शकतात. उदाहरणार्थ, भविष्यसूचक विश्लेषणे संभाव्य गुणवत्तेच्या समस्या उद्भवण्यापूर्वीच अंदाज लावू शकतात, ज्यामुळे संस्थांना त्यांच्या प्रक्रियेत सुधारणा आणि सुव्यवस्थितता येते आणि महाग दोष टाळता येतात.

**2. एनेबल कन्टीनुअस इम्प्रुव्हमेंट (Enable Continuous Improvement)-** मॅन्युअल गुणवत्ता तपासणी आणि नियंत्रण प्रक्रिया वेळखाऊ आणि श्रम-केंद्रित असू शकतात. तथापि, डिजिटल साधनांचा वापर करून गुणवत्ता-संबंधित मेट्रिक्सचे सतत निरीक्षण आणि विश्लेषणाद्वारे, संस्था गुणवत्ता तपासणी स्वयंचालित आणि वेगवान करू शकतात, सुधारणेसाठी क्षेत्रे ओळखू शकतात आणि सतत सुधारणा सुलभ करू शकतात. दोष कमी करण्यासाठी उत्पादन प्रक्रिया ऑप्टिमाइझ करणे, ग्राहकांच्या अभिप्रायावर आधारित उत्पादन डिझाइन परिष्कृत करणे किंवा कार्यक्षमता वाढविण्यासाठी पुरवठा साखळी ऑपरेशन्स सुव्यवस्थित करणे असो, विश्लेषणे तुम्हाला सतत सुधारणा उपक्रम चालविण्यासाठी आवश्यक अंतर्दृष्टी देतात. शिवाय, रीअल-टाइम विश्लेषणे वापरून, संस्था गुणवत्तेच्या समस्यांना त्वरीत प्रतिसाद देऊ शकतात आणि ग्राहकांचे समाधान वाढविण्यासाठी कार्य करू शकतात.

**3. रूट कॉज अनेलिसिस (Root Cause Analysis)-** गुणवत्तेच्या समस्यांची मूळ कारणे ओळखणे ही प्रभावी सुधारात्मक कृती करणे आणि पुनरावृत्ती रोखणे हा एक महत्त्वाचा पैलू आहे. QMS (Quality Management System) सॉफ्टवेअरच्या डॅशबोर्ड रिपोर्टिंग क्षमतेसह, व्यवसाय डेटा व्हिज्युअलायझेशनसह नमुने आणि संबंध ओळखू शकतात आणि मूळ कारण विश्लेषणास प्रोत्साहन देऊ शकतात. उत्पादन, पुरवठादार कामगिरी, पर्यावरणीय परिस्थिती आणि बरेच काही यासारख्या घटकांचे विश्लेषण करून, संस्था गुणवत्तेच्या समस्यांमागील कारण ओळखू शकतात. शिवाय, प्रगत विश्लेषण तंत्रे, जसे की मशीन लर्निंग आणि कृत्रिम बुद्धिमत्ता, आपोआप नमुने आणि सहसंबंध शोधू शकतात ज्याकडे मॅन्युअली दुर्लक्ष केले जाऊ शकते, ज्यामुळे मूळ कारण विश्लेषणाची अचूकता आणि परिणामकारकता वाढते.

**4. सप्लायर चैन मॅनेजमेंट (Supplier Quality Management)-** जेव्हा तुमच्या उत्पादनांच्या आणि सेवांच्या गुणवत्तेचा प्रश्न येतो तेव्हा संस्था पुरवठादार आणि भागीदारांच्या भूमिकेकडे दुर्लक्ष करू शकत नाहीत. गुणवत्ता हमी विश्लेषण संस्थांना पुरवठादारांच्या कामगिरीचे मूल्यांकन करण्यात, उच्च-जोखीम विक्रेते ओळखण्यात आणि सोर्सिंगचे निर्णय ऑप्टिमाइझ करण्यात मदत करून पुरवठादार गुणवत्ता व्यवस्थापनामध्ये महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावते. पुरवठादाराची गुणवत्ता, वितरण वेळ, किंमतींचे ट्रेंड आणि अनुपालन मेट्रिक्सशी संबंधित डेटामध्ये प्रवेश करून, संस्था पुरवठादार निवड, करार वाटाघाटी आणि नातेसंबंध व्यवस्थापन याबद्दल माहितीपूर्ण निर्णय घेऊ शकतात. उल्लेख नाही, विश्लेषणे संस्थांना संभाव्य पुरवठा साखळी व्यत्ययांचा आगाऊ अंदाज लावण्यास मदत करू शकतात. हे त्यांना सक्रियपणे जोखीम कमी करण्यास, प्रक्रियेची कार्यक्षमता आणि व्यवसाय वाढ सुनिश्चित करण्यास अनुमती देते.

**5. उत्तम जोखीम व्यवस्थापन (Better Risk Management)-** मजबूत सिस्टम सॉफ्टवेअरमध्ये प्रगत विश्लेषण प्रणाली वैशिष्ट्यीकृत आहे जी गुणवत्ता व्यवस्थापनाच्या अग्रस्थानी राहण्यासाठी विविध प्रक्रियांमधून रीअल-टाइम डेटाचे मापन आणि अहवाल देतात, जसे की प्लांट मशिनरी किंवा उत्पादन दस्तऐवजीकरण. या प्रणाली उत्पादनाच्या गुणवत्तेवर परिणाम करू शकणाऱ्या विविध उत्पादन किंवा ऑपरेशनल प्रक्रियांमधील जोखीम आणि अनियमितता सक्रियपणे शोधू शकतात. उदाहरणार्थ, सिस्टम उत्पादन प्रक्रियेतील कोणत्याही संभाव्य सुरक्षिततेच्या धोक्यांबद्दल संस्थेला सतर्क करू शकते ज्यामुळे गुणवत्तेत अडथळा येऊ शकतो. परिणामी, व्यवसाय गुणवत्ता समस्या टाळू शकतात आणि अन्यथा उद्भवलेल्या जोखीम कमी करण्यासाठी आवश्यक पावले उचलू शकतात.

**6. एन्हांसड ग्राहक समाधान (Enhanced Customer Satisfaction)-** ग्राहकांच्या धारणांची सखोल माहिती मिळविण्यासाठी आणि सुधारणेसाठी क्षेत्रे ओळखण्यासाठी व्यवसाय विविध चॅनेलवरून ग्राहकांच्या अभिप्राय, रिव्हिएव आणि सेंटीमेंट डेटाचे विश्लेषण देखील करू शकतात. गुणवत्ता व्यवस्थापन विश्लेषणे तुम्हाला त्यांच्या प्रक्रियेत आवश्यक समायोजन करण्यास अनुमती देतात. ग्राहकांच्या समाधानाच्या मेट्रिक्सचे सतत निरीक्षण करून आणि वेळेवर अभिप्रायावर कार्य करून, तुम्ही अधिक मजबूत ग्राहक संबंध निर्माण करू शकता आणि गुणवत्तेबद्दल वचनबद्धता प्रदर्शित करू शकता.

**7. नियामक अनुपालन (Regulatory Compliance)-** आरोग्यसेवा, फार्मास्युटिकल्स आणि अन्न उत्पादन यासारख्या विविध उद्योगांमध्ये, गुणवत्ता मानके आणि नियमांचे पालन करणे गैर-वाटाघाटी आहे. विश्लेषण-चालित गुणवत्ता व्यवस्थापन प्रणाली प्रदान करून नियामक अनुपालन सुनिश्चित करण्यात मदत करतात. अशा प्रकारे, संस्था ISO Standardization विश्लेषणानुसार त्यांच्या प्रक्रिया उद्योग मानकांशी सदर साधने सक्षम आहे कि नाही ह्याचे विश्लेषण करून गुणवत्ता अहवाल तयार करू शकता.

**एँप्लिकेशन ऑफ अँलिटिक्स इन क्वालिटी कंट्रोल: (Application of Analytics in Quality Control)-**

माहितीपूर्ण निर्णय घेण्याच्या आणि ऑपरेशनल उत्कृष्टतेसाठी विविध एँप्लिकेशन आणि संपूर्ण उद्योगांमध्ये डेटा गुणवत्ता नियंत्रणाचे महत्त्वपूर्ण महत्त्व ठळक करणारी काही उदाहरणे.

**मार्केटिंग विश्लेषण (Marketing Analytics)-** ग्राहक लोकसंख्याशास्त्रीय डेटामध्ये अचूकता आणि सुसंगतता सुनिश्चित करण्यासाठी डेटा गुणवत्ता तपासणीची अंमलबजावणी करणे, लक्षित विपणन मोहिमा आणि वैयक्तिकृत संदेश सक्षम करणे.

**आरोग्य सेवा अनुपालन (Healthcare Compliance)-** डेटा गोपनीयता नियमांचे पालन सुनिश्चित करण्यासाठी आणि रुग्णाची सुरक्षितता वाढविण्यासाठी नियामक मानके आणि क्लिनिकल मार्गदर्शक तत्त्वांविरुद्ध रुग्ण डेटाचे प्रमाणीकरण करणे.

**फायनान्शियल रिपोर्टिंग (Financial Reporting)-**नियामक अनुपालन आणि गुंतवणूकदारांचा विश्वास राखून वित्तीय विवरणांमधील त्रुटी आणि विसंगती कमी करण्यासाठी आर्थिक व्यवहार आणि अहवाल प्रणालीवर डेटा गुणवत्ता तपासणी आयोजित करणे. आजच्या मॅन्युफॅक्चरिंग मार्केटमध्ये उत्पादनाची विश्वासाहता, ग्राहकांचे समाधान आणि

मागणी असलेल्या नियामक मानकांचे पालन करणे महत्त्वाचे आहे. गुणवत्तेच्या नियंत्रणामध्ये विश्लेषणाचा वापर उत्पादकांना डेटा-चालित अंतर्दृष्टी वापरण्यासाठी सक्षम करून या क्षेत्रांमध्ये परिवर्तन करत आहे. ही पोस्ट विश्लेषणे गुणवत्ता व्यवस्थापन प्रक्रियेत कशी क्रांती घडवून आणतात, त्याचे महत्त्वपूर्ण फायदे आणि वास्तविक-जगातील एप्लिकेशन, विशेषतः हार्डवेअर उत्पादन विकासामध्ये कसे प्रदर्शित करतात याचा शोध घेते.

**1. भविष्यसूचक गुणवत्ता विश्लेषण (Predictive Quality Analytics)**- स्टॅटिस्टिकल अल्गोरिदम आणि मशीन लर्निंगचा वापर करून, भविष्यसूचक गुणवत्ता विश्लेषणे संभाव्य गुणवत्तेच्या समस्या वाढण्यापूर्वी अंदाज लावण्यासाठी विविध स्त्रोतांकडून चाचणी डेटाचे विश्लेषण करतात. हा सक्रिय दृष्टीकोन उत्पादकांना अडथळे आणि त्रुटी लवकर दूर करण्यास अनुमती देतो, डाउनटाइम लक्षणीयरीत्या कमी करतो आणि उत्पादनाची गुणवत्ता वाढवतो.

उदाहरण: ऑटोमोटिव्ह मॅन्युफॅक्चरिंगमधील भविष्यसूचक मॉडेल्स घटक बिघाडांचा अंदाज लावतात, वेळेवर देखभाल करण्यास आणि रिकॉल दर कमी करण्यास अनुमती देतात.

**2. गुणवत्ता तपासणीचा वेग वाढवणे (Accelerating Quality Checks)**-विश्लेषण गुणवत्ता तपासणी प्रक्रिया स्वयंचालित करते, तपासणीला लक्षणीय गती देते आणि मानवी त्रुटी कमी करते. मॅन्युफॅक्चरिंग ऑपरेशन्समधील डेटाचे विश्लेषण करून, ही साधने त्वरेने विचलन शोधू शकतात आणि सुधारात्मक कृती सुरू करू शकतात, अशा प्रकारे उच्च-गुणवत्तेची मानके सातत्याने राखतात.

**3. धोकादायक घटक ओळखणे (Identifying Risky Elements)**-विश्लेषण साधनांसह सतत देखरेख केल्याने असामान्य तापमान किंवा दाब वाचन यांसारखे असामान्य नमुने शोधून संभाव्य धोके ओळखता येतात, जसे की उपकरणे बिघाड. हा वेळेवर केलेला हस्तक्षेप महागडा डाउनटाइम टाळतो आणि ऑपरेशनल सातत्य राखतो.

**4. कायदाप्रणित गुणवत्ता सुधारणा (Prescriptive Quality Improvement)**-समस्या ओळखण्यापलीकडे, विश्लेषणे ऐतिहासिक डेटावर आधारित सुधारात्मक कृतींची शिफारस करू शकतात विश्लेषण. विश्लेषणाचा हा पैलू उत्पादकांना गुणवत्ता नियंत्रण प्रक्रिया आणि एकूण उत्पादन कार्यक्षमता ऑप्टिमाइझ करून सर्वात प्रभावी हस्तक्षेपांची माहिती देतो.

**5. मूळ कारण विश्लेषण (Root Cause Analysis)**-प्रगत विश्लेषणे गुणवत्तेच्या दोषांची सखोल तपासणी करतात, अचूक कारणे शोधण्यासाठी विविध परिस्थितींचे मॉडेलिंग करतात. ही क्षमता जटिल उत्पादन सेटिंग्जमध्ये अमूल्य आहे जिथे अनेक घटक उत्पादनाच्या गुणवत्तेवर प्रभाव टाकतात.

**6. वर्धित उत्पादकता (Enhanced Productivity)**- विश्लेषणे कच्च्या मालाचा वापर, मशीन कार्यप्रदर्शन आणि ऑपरेशनल परिस्थिती, उत्पादकता वाढविण्यास अनुकूल करतात. उदाहरणार्थ, डेटा-चालित अंतर्दृष्टी उत्तम श्रम शेड्यूलिंग आणि मशीन वापर सुलभ करतात, गुणवत्तेचा त्याग न करता जास्तीत जास्त आउटपुट देतात.

**7) ऑटोमोटिव्ह उद्योग (Automotive Industry)**- भविष्यसूचक विश्लेषणचे (प्रेडिक्टिव्ह अॅनालिटिक्स) अपयश टाळण्यासाठी ऑटोमोटिव्ह घटकांचे निरीक्षण करते, ज्यामुळे कमी रिकॉल आणि उच्च वाहन विश्वासाहता होते.

**8) इलेक्ट्रॉनिक्स मॅन्युफॅक्चरिंग (Electronics Manufacturing)**- विश्लेषणाद्वारे अर्धसंवाहक (सेमीकंडक्टर) उत्पादनामध्ये लवकर दोष शोधणे वेस्ट कमी करते आणि उत्पादन वाढवते.

**9) फार्मास्युटिकल्स (Pharmaceuticals)**- फार्मास्युटिकल मॅन्युफॅक्चरिंगमध्ये, विश्लेषणे गंभीर पॅरामीटर्सचे निरीक्षण करून आणि रिअल टाइममध्ये प्रक्रिया समायोजित करून सातत्यपूर्ण उत्पादन गुणवत्ता सुनिश्चित करतात. गुणवत्ता नियंत्रणामध्ये विश्लेषणे एकत्रित केल्याने केवळ उत्पादन प्रक्रिया सुव्यवस्थित होत नाहीत तर खर्चात भरीव बचत आणि उद्योग मानकांचे पालन देखील होते. प्रतिक्रियाशील ते सक्रिय गुणवत्ता व्यवस्थापनाकडे होणारे संक्रमण उच्च मानके आणि ग्राहकांचे अधिक समाधान सुनिश्चित करते.

## उत्पादनातील गुणवत्ता विश्लेषणाचे फायदे (Benefits of Quality Analytics in Manufacturing)-

### 1) कार्यक्षमता वाढवा (Increased Efficiency)-

गुणवत्ता विश्लेषणे उत्पादन कंपन्यांना त्यांच्या उत्पादन प्रक्रियेतील अकार्यक्षमता ओळखण्यात मदत करू शकतात,

ज्यामुळे त्यांना त्यांचे कार्य ऑप्टिमाइझ आणि सुव्यवस्थित करता येते. उत्पादन वेळ, मशीनचा वापर आणि इतर प्रमुख मेट्रिक्सवरील डेटाचे विश्लेषण करून, कंपनी अडथळे आणि सुधारणेसाठी क्षेत्र ओळखू शकतात. ही अंतर्दृष्टी उत्पादकांना त्यांच्या प्रक्रिया अनुकूल करण्यासाठी माहितीपूर्ण निर्णय घेण्यास मदत करू शकते, जसे की उत्पादन वेळापत्रकात बदल करणे, उपकरणे पुन्हा कॉन्फिगर करणे किंवा वर्कफ्लो ऍडजस्टमेंट करणे. परिणामी, दर्जेदार विश्लेषणामुळे कार्यक्षमता वाढू शकते, लीड टाइम्स कमी होतात आणि सुधारित संपूर्ण, हे सर्व अधिक उत्पादक आणि फायदेशीर ऑपरेशनमध्ये योगदान देतात.

**2) रिड्युस्ड वेस्ट (Reduced Waste)** – बहुतेक उत्पादक कंपन्यांसाठी वेस्ट कमी करणे हे एक महत्त्वपूर्ण उद्दिष्ट आहे, कारण यामुळे खर्चात लक्षणीय बचत होऊ शकते. गुणवत्ता विश्लेषणे कंपन्यांना कचरा निर्माण होणारी क्षेत्रे ओळखण्यात आणि तो कमी करण्यासाठी सुधारात्मक कृती अंमलात आणण्यास मदत करू शकतात. स्कॅप दर, डिफेक्ट्स आणि इतर गुणवत्ता मेट्रिक्सवरील डेटाचे विश्लेषण करून, कंपनी कचऱ्याची मूळ कारणे ओळखू शकतात आणि ते टाळण्यासाठी बदल लागू करू शकतात. उदाहरणार्थ, विशिष्ट उत्पादन लाइनमधील दोष ओळखण्यासाठी आणि समस्या दूर करण्यासाठी बदल अंमलात आणण्यासाठी निर्माता गुणवत्ता विश्लेषण वापरू शकतो. परिणामी कचरा कमी होतो, ज्यामुळे खर्चात बचत होते आणि नफा वाढतो.

**3) सुधारित उत्पादन गुणवत्ता (Improved Product Quality)**-उत्पादन बहुतेक उत्पादन कंपन्यांसाठी गुणवत्ता ही सर्वोच्च प्राथमिकता आहे, कारण त्याचा थेट परिणाम ग्राहकांच्या समाधानावर आणि ब्रँडच्या प्रतिष्ठेवर होतो. गुणवत्ता विश्लेषणे कंपन्यांना त्यांच्या उत्पादनांमधील समस्या आणि दोष रिअल-टाइममध्ये ओळखण्यात मदत करू शकतात, ज्यामुळे उत्पादने ग्राहकांपर्यंत पोहोचण्यापूर्वी त्यांना सुधारात्मक कारवाई करण्यास सक्षम करतात. दोष दर, ग्राहकांच्या तक्रारी आणि परतावा यासारख्या गुणवत्ता मेट्रिक्सवरील डेटाचे विश्लेषण करून, कंपनी गुणवत्तेच्या समस्यांची मूळ कारणे ओळखू शकतात आणि उत्पादनाची गुणवत्ता सुधारण्यासाठी बदल लागू करू शकतात. यामध्ये उत्पादन प्रक्रियेत बदल करणे, उपकरणे अपग्रेड करणे किंवा कर्मचारी प्रशिक्षण आणि शिक्षण सुधारणे यांचा समावेश असू शकतो. परिणाम म्हणजे सुधारित उत्पादन गुणवत्ता, ज्यामुळे ग्राहकांचे समाधान आणि निष्ठा वाढू शकते. याव्यतिरिक्त, उच्च-गुणवत्तेची उत्पादने कंपनीला त्यांच्या प्रतिस्पर्धांपासून वेगळे करू शकतात आणि एक मजबूत ब्रँड प्रतिष्ठा निर्माण करण्यात मदत करू शकतात.

**4) अधिक ग्राहक समाधान (Greater Customer Satisfaction)**- गुणवत्ता विश्लेषणे उत्पादक कंपन्यांना त्यांची उत्पादने ग्राहकांच्या अपेक्षा पूर्ण करतात किंवा त्यापेक्षा जास्त आहेत याची खात्री करून ग्राहकांचे समाधान सुधारण्यास मदत करू शकतात. ग्राहक अभिप्राय, वॉरंटी दावे आणि परतावा डेटाचे विश्लेषण करून, कंपनी सुधारणा क्षेत्र ओळखू शकतात आणि सुधारात्मक कारवाई करू शकतात. उदाहरणार्थ, समजा एखाद्या निर्मात्याला विशिष्ट उत्पादन वैशिष्ट्याबद्दल ग्राहकांच्या तक्रारी प्राप्त होतात. अशा वेळी, ते समस्येचे मूळ कारण ओळखण्यासाठी गुणवत्ता विश्लेषणे वापरू शकतात आणि त्याचे निराकरण करण्यासाठी बदल लागू करू शकतात. यामुळे ग्राहकांचे समाधान, वाढलेली निष्ठा आणि ब्रँडची मजबूत प्रतिष्ठा सुधारू शकते. शिवाय, ग्राहकांच्या समाधानाला प्राधान्य देणाऱ्या कंपन्यांची विक्री वाढलेली दिसते, कारण समाधानी ग्राहक खरेदीची पुनरावृत्ती करतात आणि इतरांना उत्पादनांची शिफारस करतात.

**5) स्पर्धात्मक फायदा (Competitive Advantage)**- गुणवत्तेचे विश्लेषण उत्पादन कंपन्यांना बाजारातील ट्रेंड ओळखण्यास आणि त्यांना त्वरित प्रतिसाद देण्यास सक्षम करून स्पर्धात्मक फायदा देऊ शकते. विक्रीचा ट्रेंड, ग्राहकांची प्राधान्ये आणि बाजारातील मागणी यांचे विश्लेषण करून, कंपनी स्पर्धेच्या पुढे राहण्यासाठी त्यांच्या उत्पादन प्रक्रिया समायोजित करू शकतात. उदाहरणार्थ, बाजारातील उदयोन्मुख ट्रेंड ओळखण्यासाठी निर्माता दर्जेदार विश्लेषणे वापरू शकतो आणि त्याचा फायदा घेण्यासाठी त्यांच्या उत्पादन प्रक्रियेत बदल करू शकतो. असे केल्याने, ते इतर कंपन्यांपेक्षा स्पर्धात्मक फायदा मिळवू शकतात जे कदाचित चपळ किंवा प्रतिसाद देणारे नसतील. गुणवत्ता आणि ग्राहकांच्या समाधानाला प्राधान्य देणाऱ्या कंपन्यांची ब्रँड प्रतिष्ठा अधिक मजबूत असते, जी गर्दीच्या बाजारपेठेत एक महत्त्वपूर्ण फरक असू शकते. स्पर्धात्मक फायद्यामुळे बाजारातील हिस्सा, महसूल वाढ आणि नफा वाढू शकतो.

**6) सुधारित उत्पादन गुणवत्ता (Improved product quality)**-समजा, एखादी कंपनी इलेक्ट्रॉनिक उपकरणे बनवते आणि बॅटरीच्या समस्यांमुळे परताव्याच्या संख्येत वाढ झाल्याचे लक्षात आले आहे. या समस्येचे निराकरण करण्यासाठी, कंपनी त्यांच्या उपकरणांमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या बॅटरीवरील डेटा गोळा करू शकते, जसे की उत्पादन तारीख, पुरवठादार आणि बॅच क्रमांक.

**7) रिड्युस्ड डिफेक्ट रेट (Reduced defect rates)** - ऑटोमोटिव्ह पार्ट्सचे उत्पादन करणाऱ्या एका उत्पादक कंपनीने दोषांमध्ये वाढ झाल्याचे लक्षात आले आणि मूळ कारणे ओळखण्यासाठी डेटा विश्लेषणाचा वापर केला. साहित्य, मशीन आणि ऑपरेटर्सवरील डेटा गोळा करून आणि सांख्यिकीय प्रक्रिया नियंत्रण (स्टॅटिस्टिकल प्रोसेस कंट्रोल) (SPC) लागू करून, त्यांनी विशिष्ट समस्या शोधून काढल्या, जसे की विशिष्ट भाग तयार करणारी मशीन किंवा कमी कामगिरी करणारे ऑपरेटर. या निष्कर्षांच्या आधारे, कंपनीने मशीन ऍडजस्टमेंट, ऑपरेटर प्रशिक्षण आणि गुणवत्ता नियंत्रण तपासणी यासह सुधारात्मक कृती केल्या. या डेटा-चालित दृष्टिकोनामुळे कंपनीला दोष दर कमी करणे, उत्पादनाची गुणवत्ता सुधारणे, कमी खर्च करणे, ग्राहकांचे समाधान वाढवणे आणि बाजारातील प्रतिष्ठा वाढवणे शक्य झाले. डेटा विश्लेषणाचा लाभ घेऊन, कंपनीने माहितीपूर्ण निर्णय घेतले आणि गुणवत्ता सुधारणा घडवून आणली, शेवटी स्पर्धात्मकता कायम राखली.

**8) उत्पादन कार्यक्षमता वाढवा (Increased production efficiency)**- ग्राहक पॅकेज केलेल्या वस्तूच्या उत्पादकाने उत्पादनातील अडथळे ओळखले ज्यामुळे विलंब होतो आणि थ्रूपुट कमी होतो. याचे निराकरण करण्यासाठी, त्यांनी मशीन, ऑपरेटर आणि सामग्रीवरील डेटा गोळा केला आणि डेटा विश्लेषण तंत्र जसे की प्रक्रिया मॉनिंग, वेळ आणि गती अभ्यास लागू केला. या विश्लेषणाने मूळ कारणे उघड केली, जसे की मशीन बिघडणे किंवा साहित्य वितरण विलंब. या निष्कर्षांच्या आधारे, कंपनीने उपकरणे अपग्रेड, उत्पादन मजल्यावरील लेआउट बदल किंवा शेड्युलिंग समायोजन यासह सुधारात्मक कृती केल्या. डेटा विश्लेषणाचा लाभ घेऊन, कंपनीने संपूर्ण सुधारले, खर्च कमी केला आणि आपली स्पर्धात्मक स्थिती सुधारली, ज्यामुळे उच्च नफा आणि ग्राहकांचे समाधान वाढले. या डेटा-चालित पध्दतीने कंपनीला अकार्यक्षमता ओळखणे आणि दूर करणे, व्यवसाय वाढ आणि सुधारणा करण्यास सक्षम केले.

**9) वाढीव नफा (Increased Profitability)**- तीव्र स्पर्धेचा सामना करत असलेली औद्योगिक उपकरणे कंपनी आणि नफ्याचे प्रमाण कमी होत असून, व्यवसाय वाढीसाठी डेटा विश्लेषणाचा लाभ घेतला. विक्री, उत्पादन खर्च आणि किंमतीवरील डेटा संकलित करून, त्यांनी सुधारणेसाठी क्षेत्रे ओळखण्यासाठी प्रतिगमन विश्लेषण आणि खर्च-खंड-नफा विश्लेषण यांसारखी तंत्रे लागू केली. या विश्लेषणाने किंमती ऑप्टिमाइझ करण्यासाठी, खर्च कमी करण्यासाठी आणि फायदेशीर उत्पादनांमध्ये गुंतवणूक करण्याच्या संधी उघड केल्या. या अंतर्दृष्टींच्या आधारे, कंपनीने आपली धोरणे समायोजित केली, उत्पादन, किंमत आणि उत्पादन विकास ऑप्टिमाइझ करून, त्यांना खर्च कमी करण्यास, महसूल वाढविण्यास आणि त्यांची स्पर्धात्मक स्थिती मजबूत करण्यास सक्षम केले. शेवटी, या डेटा-चालित पध्दतीने उच्च नफा आणि बाजारातील हिस्सा वाढवला, ज्यामुळे कंपनीला स्पर्धात्मक बाजारपेठेत पुढे राहण्यास मदत झाली.

#### References:

- [1] "Real-time applications of big data that drive various industries," <https://elysiumpro.in/applications-big-data-drive-industries/>
- [2] "The 42 V's of big data and data science," <https://www.kdnuggets.com/2017/04/42-vs-big-data-data-science.html>
- [3] M. N.O. Sadiku, M. Tembely, and S.M. Musa, "Big data: An introduction for engineers," Journal of Scientific and Engineering Research, vol. 3, no. 2, 2016, pp. 106-108.
- [4] P. K. D. Pramanik, S. Pal, and M. Mukhopadhyay, "Healthcare big data: A comprehensive overview," in N. Bouchemal (ed.), Intelligent Systems for Healthcare Management and Delivery. IGI Global, chapter 4, 2019, pp. 72-100.
- [5] J. Moorthy et al., "Big data: Prospects and challenges," The Journal for Decision Makers, vol. 40, no. 1, 2015, pp. 74-96. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/industrial-wireless-sensor-networks-iwsn-market>
- [6] M. N. O. Sadiku, J. Foreman, and S. M. Musa, "Big data analytics: A primer," International Journal of Technologies and Management Research, vol. 5, no. 9, September 2018, pp. 44-49.
- [7] C. M. M. Kotteti, M. N. O. Sadiku, and S. M. Musa, "Big data analytics," Invention Journal of Research

Technology in Engineering & Management, vol. 2, no. 10, Oct. 2018, pp. 2455-3689.

[8] M. Ryan, "Agricultural big data analytics and the ethics of power," Journal of Agricultural and Environmental Ethics, vol. 33, 2020, pp. 49–69.

[9] Y. Cui, S. Kara, and K. C. Chan, "Manufacturing big data ecosystem: A systematic literature review," Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, vol. 62, Ap

[10] NITTR Courses on BIG Data –<https://www.piet.co.in/department/bca/seminar-workshop-faculty-development-program-short-term-courses/>

## Exercise

### TLO 2.1:

[1] Big data is a term used for the -----of data generated in production environments

**Massive volumes**

- B) Quality
- C) Both of the above
- D) None of them

[2] ----- is not the characteristic of big data generated in manufacturing.

- A) IOT
- B) High velocity
- C) Widely varied type
- D) Unpredictable veracity

[3] The various types of data being generated, which can largely be grouped into three categories-----

- A) Structured data
- B) Semi-structured data,
- C) Unstructured data
- D) All of the above

[4] Big Data is used for -----maintenance to reduce hardware downtime, one of the most common issues in manufacturing.

- A) Predictive
- B) Data
- C) Both of the above
- D) None of the above

[5] Variety refers to the -----types of data generated by today's systems and applications.

- A) Different
- B) Same
- C) Common
- D) None of the above

### TLO 2.2:

[1] Big data in manufacturing is often measured by the -----

- A) Terabytes
- B) Petabytes
- C) Even zettabytes**
- D) None of the above

**[2] The -----provides scalable, secure storage that allows companies to store, access, and analyze big data without capital-intensive on-premise servers.**

- A) Cloud**
- B) Computer
- C) Both
- D) None of the above

**[3] ----- is the first step in Data Analytics.**

- A) Define the Problem**
- B) Data Collection
- C) Data Cleaning
- D) Analyzing the Data

**[4] ----- is the last step in Data Analytics.**

- A) Define the Problem**
- B) Data Collection
- C) Data Cleaning
- D) None of the above

**[5] -----analysis is used to estimate the relationship between a set of variables.**

- A) Regression**
- B) Time Series Analysis
- C) Cohort Analysis
- D) None of the above

**TLO 2.3:**

**[1] Production Management Automation involves using technology to streamline and automate manufacturing processes, aiming to -----**

- A) Increase efficiency
- B) Reduce costs and improve product quality**
- C) Improve product quality
- D) None of the above

**[2] -----quality inspection and control processes can be time-consuming and labor-intensive.**

- A) Manual**
- B) Computer
- C) Both (A) & (B)
- D) None of the above

**[3] By analyzing customer-----, companies can identify improvement areas and take corrective action.**

- A) Feedback
- B) Warranty claims
- C) Returns data
- D) All of the above**

**[4] Early defect detection in semiconductor manufacturing through --- reduces waste and increases yield.**

- A) Analytics**
- B) Politics
- C) Both (A) & (B)
- D) None of the above

**[5] The following are the benefits of data analytics in quality control**

- A) Improved product quality
- B) Reduced defect rates
- C) Both (A) & (B)**
- D) None of the above.

## Unit 3 स्वायत्त वाहने Autonomous Vehicles

### विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

**CO 3-**विविध गतिशीलता प्रणालींमधील(Mobility System) स्वायत्ततेच्या लेव्हल्स (Levels) ओळखणे.

Identify the levels of autonomy in various mobility systems.

### घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes):

**TLO 3.1:** गतिशीलता प्रणालीतील (Mobility System) स्वायत्ततेचे लेव्हल (Levels) स्पष्ट करणे.

**TLO 3.2:** प्रगत ड्रायव्हर असिस्टन्स सिस्टीम (ADAS) आणि फुल सेल्फ-ड्रायव्हिंग (FSD) तंत्रज्ञान यासारख्या स्वायत्त वाहनांमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या प्रणालीं चे वर्णन करणे.

**TLO 3.3:** दिलेल्या गतिशीलता प्रणालीसाठी (Mobility System) स्वायत्त वाहनांचे उपयोग सांगणे.

### 3.1 स्वयंचलित वाहन सिस्टीम (Autonomy in Mobility Systems):

#### 3.1.1 वाहन चालवण्याच्या स्वयंचलनाची लेव्हल (Levels of Driving Automation):

सोसायटी ऑफ ऑटोमोटिव्ह इंजिनियर्स (Society of Automotive Engineers-SAE) ने ड्रायव्हिंग ऑटोमेशन साठी 6 लेव्हल परिभाषित (define) केल्या आहेत. ह्या पातळ्या SAE J 3016 Levels of Driving Automation म्हणून ओळखल्या जातात.

#### लेव्हल 0 - स्वयंचलन नाही (Level 0: No Automation):

या पातळीवर मानवी चालक पूर्णपणे वाहन चालवण्याच्या नियंत्रणात असतो. सगळ्या ड्रायव्हिंग टास्कस (Driving tasks) मानवी चालकच करतो. उदाहरण: स्टॅंडर्ड (Standard) वाहन ज्यात कोणतीही स्वयंचलित वैशिष्ट्ये नसतात. या स्तरावर खालील फीचर्स येतात: रिव्हर्स कॅमेराज, पार्किंग सेन्सर्स, ब्लाइंड स्पॉट वॉर्निंगज्. याशिवाय, खालील सेप्टी फंक्शन देखील लेव्हल 0 मध्ये गणले जातात, कारण या सिस्टीम थेट वाहन चालवण्याचे नियंत्रण घेत नाहीत: ऑटोमॅटिक इमरजेन्सी ब्रेकींग (Automatic Emergency Braking), इलेक्ट्रॉनिक स्टॅबिलिटी कंट्रोल (Electronic Stability Control-ESC), अँटीलॉक ब्रेकींग सिस्टीम (Antilock Braking System-ABS).

#### ऑटोमेशन मधील लेव्हल -1: चालक सहाय्य (Level 1 in automation: Driver Assistance):

ऑटोमेशन मधील लेव्हल -1 मध्ये असे फीचर्स असतात जे मानवी चालकाला काही परिस्थितीत मदत करतात, उदा. ऍडाप्टिव्ह क्रूझ कंट्रोल (Adaptive cruise control) आणि लेन किपींग असिस्ट (Lane-keeping assist). या पातळीवर, वाहन कधी स्टिअरिंग तर कधी ऍक्सलरेशन आणि डिसीलरेशन यापैकी एक गोष्ट स्वतः नियंत्रित करू शकते. पण एकाच वेळी दोन्ही गोष्टींवर नियंत्रण ठेवत नाही. या सिस्टीमचा उद्देश म्हणजे मानवी चालकाला मदत करणे आहे, पण वाहन चालवण्याची पूर्ण जबाबदारी मानवी चालकावरच राहते.

#### ऍडवान्स्ड ड्रायव्हर असिस्टन्स सिस्टीममध्ये लेव्हल -1 (Level 1 in Advanced Driver Assistance Systems - ADAS):

ADAS लेव्हल -1 मध्ये मुख्य वैशिष्ट्य म्हणजे ऍडाप्टिव्ह क्रूझ कंट्रोल (Adaptive cruise control). ही सिस्टीम रडार सेन्सर्स (radar sensors) चा वापर करून पुढील वाहनापासूनचे अंतर मोजते आणि गरजेनुसार ब्रेकिंग किंवा ऍक्सलरेशन करून वाहनाचा वेग आपोआप बदलते. या सिस्टीममुळे काही परिस्थितींमध्ये मानवी चालकाला पेडल्स वरून पाय काढता येतात, जे ड्रायव्हिंगचा थकवा कमी करते आणि सुविधा वाढवते. ADAS ची मुख्य उद्दिष्ट्ये वाहनाचे अपघात कमी करणे तसेच मृत्यू आणि दुखापती टाळणे ही आहेत. ADAS मध्ये पॅसिव्ह आणि ऍक्टिव्ह सेप्टी सिस्टिम्स असे दोन्ही प्रकार असतात.

लेव्हल -1 ला अनेक वेळा "हॅन्ड्स ऑन /शेअर्ड कंट्रोल असिस्टंस (hands-on /shared control assistance)" असेही ओळखले जाते. हे तंत्रज्ञान आता भारतात बऱ्याच गाड्यांमध्ये उपलब्ध आहे. काही लेव्हल -1 ADAS असलेली भारतीय वाहने पुढील प्रमाणे आहेत: Mahindra XUV700, MG Hector, Hyundai Venue आणि Honda City e: HEV. हे तंत्रज्ञान ड्रायव्हिंग सुरक्षा आणि आराम वाढवते, पण तरीही मानवी चालकाने पूर्ण वेळ ड्रायव्हिंगवर लक्ष ठेवणे तसेच वाहनावर नियंत्रण ठेवणे आवश्यक आहे.

### लेव्हल -2 ऑटोमेशन- अर्धस्वयंचलन (Level 2 Automation: Partial Automation):

लेव्हल -2 मध्ये वाहन स्वतःहून स्टिअरिंग तसेच ऍक्सलरेशन आणि डिसीलरेशन एकाच वेळी नियंत्रित करू शकते. या पातळीवर वाहन लेन किर्पींग ऍडाप्टिव्ह क्रूझ कंट्रोल, आणि कधी कधी ऑटो पार्किंग सारख्या कामांवर नियंत्रण ठेवू शकते. पण तरीही मानवी चालकाने ड्रायव्हिंगवर पूर्ण वेळ लक्ष ठेवणे आणि आवश्यकतेनुसार हस्तक्षेप करण्यासाठी तयार राहणे आवश्यक असते. वाहनाच्या दोन्ही सिस्टम - 'स्टिअरिंग तसेच ऍक्सलरेशन आणि डिसीलरेशन' नियंत्रित करू शकते, पण मानवी चालकाची जबाबदारी संपलेली नसते. कोणतीही आपत्कालीन परिस्थिती आल्यास मानवी चालकाने लगेच वाहन नियंत्रणात घेतले पाहिजे.

### लेव्हल 2 ADAS ची वैशिष्ट्ये:

- ऍडाप्टिव्ह क्रूझ कंट्रोल:** वाहन आपोआप वेग कमी-जास्त करून सुरक्षित अंतर राखते.
- लेन किर्पींग असिस्ट:** वाहनाला आपल्या लेनमध्ये केंद्रित ठेवण्यासाठी मदत करते.
- ऑटोमॅटिक इमरजेन्सी ब्रेकींग ग** संभाव्य धडक ओळखते आणि गरज असल्यास आपोआप ब्रेक लावते.
- ट्रॅफिक जाम असिस्ट (Traffic Jam Assist):** ट्रॅफिकमध्ये वारंवार थांबणे आणि पुढे जाणे यामध्ये वाहनाचे ऍक्सलरेशन, ब्रेकिंग आणि स्टिअरिंग सांभाळते.
- ऑटो पार्किंग असिस्ट:** कमी ड्राइव्हर इनपुट (स्टिअरिंग, ऍक्सलरेशन आणि ब्रेकिंग) मध्ये वाहन पार्किंगसाठी मदत करते, म्हणजे वाहन स्वतःहून पार्क होते.

लेव्हल 2 ADAS म्हणजे वाहन अनेक ड्रायव्हिंग फंक्शन्स स्वतः हाताळू शकते, पण तरीही मानवी चालकाने लक्ष देणे गरजेचे असते. सुरक्षितता आणि सोयीसाठी असलेल्या प्रगत तंत्रज्ञानामुळे लेव्हल 2 ऑटोमेशन भारतात झपाट्याने वाढत आहे. काही लेव्हल 2 ADAS असलेली भारतीय वाहने पुढील प्रमाणे आहेत: एमजी ग्लोस्टर, एमजी अँस्टर, ह्युंडाई टक्सन, होंडा सिटी ई: एचईव्ही (हायब्रिड), महिंद्रा एक्सयूव्ही 700, टोयोटा हायलक्स.

### लेव्हल -3 ऑटोमेशन- अटी सहस्वयंचलन (Level 3 Automation: Conditional Automation):

लेव्हल -3 ऑटोमेशन मध्ये वाहन काही ठराविक परिस्थितींमध्ये सर्व ड्रायव्हिंग कार्ये स्वतः करू शकते. उदाहरणार्थ, महामार्ग किंवा ट्रॅफिक जाम मध्ये मानवी चालकाच्या कोणत्याही सहभागाशिवाय वाहन चालवू शकते. या पातळीवर वाहनामध्ये अत्याधुनिक सेन्सर्स, कृत्रिम बुद्धिमत्ता (Artificial Intelligence) आणि अनेक ड्रायव्हर सहाय्य कार्य सिस्टीम (Driver Assistance Functions) वापरल्या जातात, जे वाहनाला स्वतः निर्णय घेण्यासाठी सक्षम करतात, आणि त्यामुळे मानवी चालक इतर कामांमध्ये व्यस्त राहू शकतो. पण तरीही, जेव्हा सिस्टीम नियंत्रण परत घेण्यासाठी सांगते, तेव्हा मानवी चालकाने तत्काळ नियंत्रण घेण्यास तयार राहणे आवश्यक असते.

### लेव्हल -3 ADAS ची वैशिष्ट्ये:

- ऑटोमेटेड लेन-कीपिंग सिस्टीम (Automated Lane-Keeping System):** सभोवतालच्या परिस्थिती नुसार हँड्स फ्री ड्रायव्हिंग शक्य करते.
- ट्रॅफिक जाम पायलट (Traffic Jam Pilot):** संध गतीने चालणारी वाहतूक- त्वरण (acceleration), ब्रेकिंग, आणि स्टीयरिंग नियंत्रित करते.
- परिसर निरीक्षण (Driving Environmental Monitoring):** कृत्रिम बुद्धिमत्ता आणि विविध सेन्सर्स (जसे लायडार- LiDAR, रडार-radar, कॅमेराज् -cameras) वापरून आजूबाजूच्या वाहनांची स्थिती ओळखते.

**D. ड्रायव्हर उपलब्धता निरीक्षण (Driver Availability Monitoring):** हे सुनिश्चित करते की मानवी चालक आवश्यक तेव्हा वाहनाचे नियंत्रण घेण्यासाठी तयार आहे.

लेव्हल -3 ADAS म्हणजे वाहन विशिष्ट परिस्थितीत स्वतः स्वचलित होते, पण तरीही मानवी चालकाने सतर्क राहून गरजेप्रमाणे हस्तक्षेप करण्यास तयार राहणे आवश्यक आहे.

लेव्हल -3 ADAS असलेली काही वाहने पुढील प्रमाणे आहेत: मर्सिडीज-बेंझ ड्राइव्ह पायलट, ऑडी ए8एल (ट्रॅफिक जॅम पायलट), होंडा लेजेड (सेन्सिंग एलिट)

**लेव्हल -4 उच्च स्तरावरील स्वयंचलन (High Automation):**

लेव्हल - 4 मध्ये वाहन सर्व ड्रायव्हिंग कार्ये पूर्णपणे स्वतः करू शकते, पण केवळ ठराविक ऑपरेशनल डिझाईन डोमेन (Operational Design Domains) मध्ये - म्हणजे, हे वाहन विशिष्ट क्षेत्रांमध्ये किंवा अटींमध्ये स्वायत्तपणे चालते, उदा. निवडलेले शहरी क्षेत्र किंवा महामार्ग. लेव्हल 3 पेक्षा वेगळे म्हणजे, लेव्हल 4 वाहने प्रणालीतील बिघाड देखील हाताळू शकतात, आणि जरी मानवी चालकाने हस्तक्षेप केला नाही, तरी वाहन सुरक्षितपणे थांबते. मानवी चालकाकडे नियंत्रण घेण्याचा पर्याय असतो, पण त्याची आवश्यकता सहसा भासत नाही.

**लेव्हल - 4 ADAS ची वैशिष्ट्ये:**

- जिओफेन्सड एरिया मध्ये पूर्णपणे स्वायत्त ड्रायव्हिंग (Fully Autonomous Driving in Geofenced Areas):** फक्त पूर्व-निश्चित केलेल्या झोनमध्ये - मानवी इनपुट शिवाय वाहन पूर्णपणे स्वतः चालते.
- निर्णय घेणारी कृत्रिम बुद्धिमत्ता (Decision-Making AI):** प्रगत कृत्रिम बुद्धिमत्ता वाहनाला जटिल ड्रायव्हिंग परिस्थितींमध्ये योग्य निर्णय घेण्यास मदत करते.
- अतिरिक्त सुरक्षा सिस्टीम (Redundant Safety Systems):** हार्डवेअर किंवा सॉफ्टवेअरमध्ये बिघाड झाल्यास सुरक्षितपणे वाहन चालवले जाईल, यासाठी अतिरिक्त सुरक्षा सिस्टीम असतात.
- रिमोट मॉनिटरिंग आणि इंटरव्हेंशन (Remote Monitoring & Intervention):** काही सिस्टीममध्ये गरज भासल्यास मानवी नियंत्रक दूरवरून वाहनाचे नियंत्रण घेऊ शकतो.

लेव्हल 4 ADAS म्हणजे वाहन बहुतांश परिस्थितींमध्ये पूर्णपणे स्वयंचलित पद्धतीने चालू शकते. पण ही क्षमता जिओफेन्सड

(geofenced) असते - म्हणजे वाहनाची स्व-ड्रायव्हिंग (self-driving) क्षमता ठराविक क्षेत्रापुरती मर्यादित असते.

लेव्हल 4 ADAS असलेली काही वाहने /सेवा पुढील प्रमाणे आहेत: वेमो वन (Waymo One) (स्वायत्त राइड-हेलिंग सेवा), क्लूझ (जीएमची स्वायत्त टॅक्सी सेवा)

**लेव्हल 5 पूर्णतः स्वयंचलन (Full Automation):**

लेव्हल 5 मध्ये वाहन कोणत्याही परिस्थितीत, कोणत्याही रस्त्यावर, सर्व ड्रायव्हिंग कार्ये स्वतः करू शकते - मानवी हस्तक्षेपाची गरज पडत नाही. उदाहरणार्थ: संपूर्णपणे स्वायत्त वाहन (फक्त कल्पित किंवा प्रोटोटाइप स्वरूपात सध्या अस्तित्वात आहे). या पातळीवर वाहनामध्ये स्टीअरिंग व्हील्स, पेडल्स किंवा इतर कोणतीही मॅन्युअल नियंत्रणे नसतात - कारण वाहन चालवण्यासाठी मानवी इनपुट आवश्यकच नसतो. प्रवाशी व्यक्तीकडून फक्त एकच काम अपेक्षित असते - गंतव्य स्थान (destination) प्रविष्ट करणे.

**लेव्हल 5 ADAS ची वैशिष्ट्ये:**

- पूर्णपणे स्वचलित वाहने (Fully self-driving vehicles): स्टीअरिंग व्हील्स किंवा पेडल्स नसलेली वाहने - म्हणजे पूर्णपणे मानवीय नियंत्रणा शिवाय चालणारी वाहने.
- ही वाहने अशा प्रकारे डिझाइन केलेली असतात की- जिथे जिथे एक मानवी चालक वाहन चालवू शकतो अशा सर्व ठिकाणी ती चालू शकतात
- ही वाहने अत्याधुनिक कृत्रिम बुद्धिमत्ता, लायडार, रडार, कॅमेराज्, आणि डीप लर्निंग (deep learning) वापरून कोणत्याही परिस्थितीत हुशारीने निर्णय घेतात.

D. यांचे डिझाइन- ज्यांना वाहन चालवता येत नाही किंवा अपंग व्यक्तीं अशा सर्वांसाठी उपयुक्त आहे  
लेव्हल 5 ADAS म्हणजे वाहन कधीही मानवीय नियंत्रणाची गरज न ठेवता पूर्णपणे स्वतःहून कार्य करते. लेव्हल 5 स्वयंचलित वाहने (संकल्पना आणि नमुने): मर्सिडीज-बेंझ एफ 015 लक्झरी इन मोशन, वेमोची (Waymo's) भविष्यातील पूर्णपणे स्वायत्त वाहने, झूक्स (अमेझॉनची स्वायत्त शटल)

### 3.1.2 स्वयंचलित वाहनाचे घटक (Autonomous Vehicle Components):

स्वयंचलित वाहने (Autonomous Vehicles) म्हणजे स्वचलित (self-driving) वाहन, जे ऍडव्हान्सड सेन्सर्स कॉम्प्युटिंग आणि AI अल्गोरिथम वापरून स्वतः वाहन चालवू शकतात. स्वयंचलन शक्य करण्यासाठी आवश्यक असलेल्या घटकांमध्ये खालील गोष्टींचा समावेश आहे:

#### 1. परिसर निरीक्षण सिस्टीम (Perception Systems):

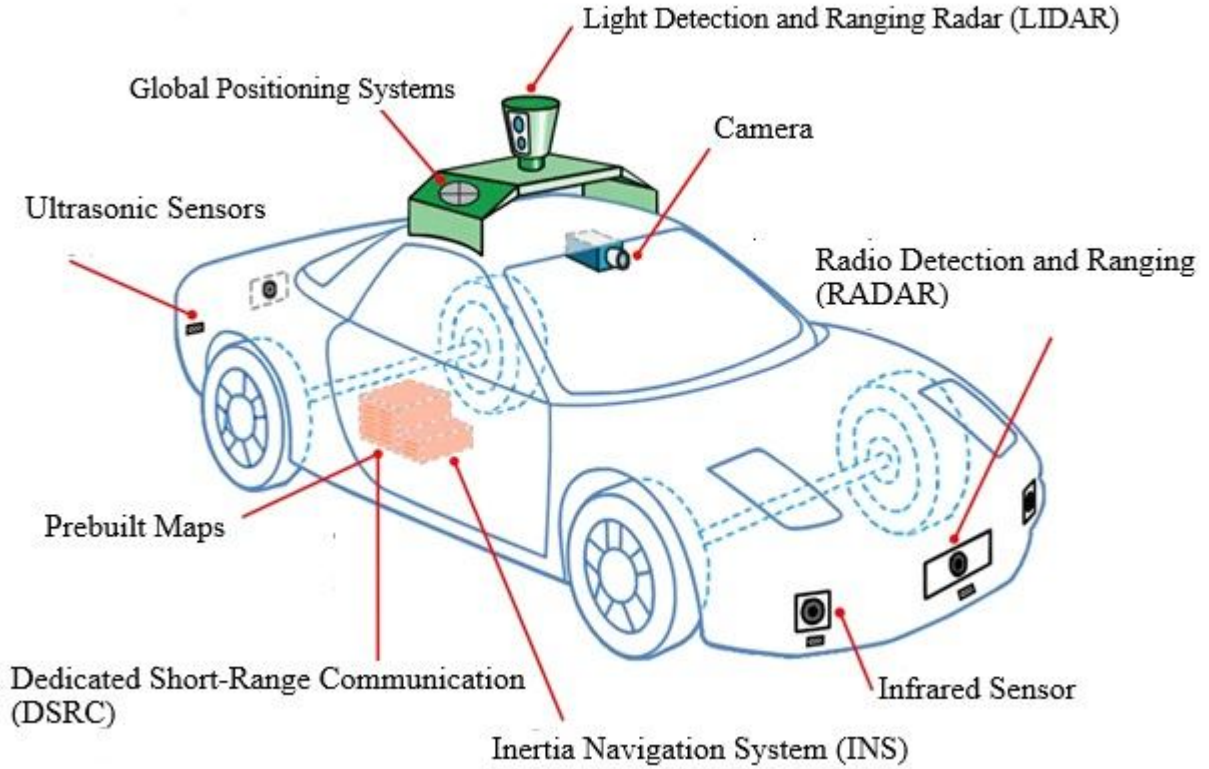
- लायडार (LiDAR): हे अंतर मोजण्यासाठी स्पंदित लेसर प्रकाश (pulsed laser light) वापरते आणि परावर्तित झालेल्या स्पंदनांनुसार त्रिमितीय नकाशा (3-D map) तयार करते आणि वस्तूंची अचूक ओळख करते.
- रडार (RADAR): हे वस्तूंची आणि वेगाची ओळख करते. सर्व हवामान परिस्थितीत कार्य करते. रेडिओ लहरी (Radio waves) लांबच्या आणि जवळच्या वस्तूं मधील अंतर ओळखतात.
- कॅमेराज (Cameras): हे लेन, रस्त्यांचे फलक, पादचारी, आणि रहदारी दिवे (traffic lights) ओळखते. रिअल-टाईममध्ये अडथळा शोध (obstacle detection) प्रदान करते, ज्यामुळे लेन डिपार्चर (Lane departure) आणि रस्त्याची माहिती (Roadway information) ट्रॅक करण्यास मदत होते.
- अल्ट्रासॉनिक सेन्सर्स (Ultrasonic Sensors): हे जवळच्या अंतरावरील अडथळे शोधण्यासाठी (short-range detection) साठी वापरले जातात, जसे की पार्किंग आणि अडथळे टाळण्यासाठी. उच्च-वारंवारता ध्वनी लहरी (High-frequency sound waves) वापरून आणि परावर्तित सिग्नलवरून अंतर माजले जाते.

2. बुद्धिमत्ता सिस्टीम (Cognitive Systems): कृत्रिम बुद्धिमत्ता (Artificial Intelligence-AI), मशीन लर्निंग (Machine learning), आणि प्रबल रिअल-टाईम संगणकीय सॉफ्टवेअर (real-time computing software) वापरून वाहनातील सिस्टीम सेन्सर कडून प्राप्त झालेला डेटा प्रोसेस करतात, वस्तू ओळखतात, मार्ग आखणी (paths plan) करतात, आणि ड्रायव्हिंग व नेव्हिगेशनचे निर्णय घेतात.

3. नियंत्रण आणि क्रियान्वयन सिस्टीम (Control and Actuation Systems): जेव्हा यांत्रिक भागांची (mechanical parts) ची आवश्यकता नसते तेव्हा इलेक्ट्रॉनिक कंट्रोल युनिट्स (ECUs), ड्राईव्ह बाय वायर टेक्नॉलॉजी (drive-by-wire technology) आणि ऍक्चुएटर्स वापरून ब्रेकिंग, त्वरण (acceleration), आणि स्टीयरिंग इलेक्ट्रॉनिक पद्धतीने नियंत्रित केले जाते.

4. संपर्क आणि संवाद सिस्टीम (Connectivity and Communication Systems): व्ही टू एक्स (V2X-Vehicle to Everything)-रिअल-टाईम डेटा शेअरिंगसाठी, जिपीएस-अचूक नेव्हिगेशनसाठी, आणि वायरलेस तंत्रज्ञान-अपडेट्स आणि रिमोट मॉनिटरिंगसाठी वापरले जाते.

5. ऊर्जा आणि पॉवर सिस्टीम (Energy and Power Systems): स्वयंचलित इलेक्ट्रिक वाहनांमध्ये (EVs) इलेक्ट्रिक पॉवरट्रेन कार्यक्षमता सुधारण्यासाठी, बॅटरीची कामगिरी (battery performance) ऑप्टिमाइज करण्यासाठी, आणि बॅकअप पॉवर द्वारे महत्वाची कार्ये (critical functions) सुनिश्चित करण्यासाठी ऊर्जा आणि पॉवर सिस्टीम कार्य करते. स्वायत्त वाहनांमध्ये, सेन्सर्स, कृत्रिम बुद्धिमत्ता, संगणन (computing), आणि संपर्क यांचा समावेश असतो, जे वेगवेगळ्या स्वायत्तता पातळी साध्य करण्यासाठी काम करतात, ज्यामुळे सुरक्षितता, कार्यक्षमता, आणि अखंड गतिशीलता सुनिश्चित केली जाते.



**Fig. 3.1: Components of Autonomous Vehicles**

(Courtesy: <https://css.umich.edu/publications/factsheets/mobility/autonomous-vehicles-factsheet>)

### 3.1.3 स्वयंचलन प्रणालींचे फायदे (Benefits of Autonomy in Mobility Systems):

स्वचलित (सेल्फ ड्रायव्हिंग) किंवा "स्वायत्त" वाहनांनी वाहतूक सुरक्षित, जलद, अधिक कार्यक्षम, सोपी आणि पर्यावरणासाठी चांगली बनवली आहे. अधिक स्मार्ट आणि विश्वासाहर्ष प्रवासाच्या मार्गाकडे टाकलेले हे एक मोठे पाऊल आहे.

**1. सुरक्षा (Safety):** स्वचलित (Self-driving) कार्स रस्ते अधिक सुरक्षित बनवतात, कारण ते सेन्सर्स आणि कृत्रिम बुद्धिमत्ता वापरून मानवी चुका कमी करतात, अपघात टाळतात, आणि कठीण रहदारी परिस्थिती मध्ये लवकर प्रतिसाद देतात.

**2. सुरळीत वाहतूक (Smoother Traffic):** स्वायत्त वाहनांच्या स्थिर-वेगाने वाहन चालवणे आणि स्मार्ट मार्ग नियोजनामुळे ट्रॅफिक सुरळीत असते, गर्दी कमी होते, वेळ वाचतो, आणि इंधन कमी वापरले जाते.

**3. सर्वांसाठी प्रवास सोपा करणे (Easier Travel for Everyone):** स्वचलित वाहने सर्वांसाठी प्रवास अधिक सोपा बनवतात. ते वृद्ध आणि अपंग लोकांना प्रवास स्वातंत्र्य देतात, सार्वजनिक वाहतूक सुधारतात, तसेच ग्रामीण भागात वाहतुकीचे अधिक पर्याय देतात.

**4. पर्यावरण पूरकता (Environment):** स्वचलित कार्स पर्यावरणास मदत करतात. ते कमी इंधन वापरतात, इलेक्ट्रिक वाहन वापरास प्रोत्साहन देतात, आणि सुरळीत वाहन चालवल्यामुळे प्रदूषण कमी करतात.

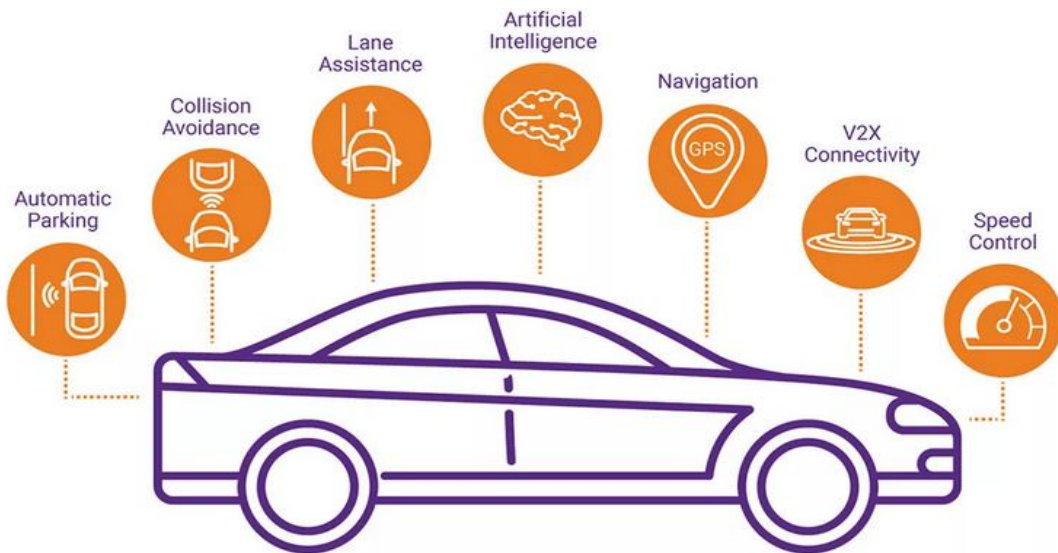
**5. खर्च आणि वेळ वाचवणे (Cost and Time Savings):** स्वचलित वाहने पैसे आणि वेळ वाचवतात. ते चालकांसाठी होणारे खर्च कमी करतात, देखभाल कमी करतात, आणि प्रवासादरम्यान प्रवाश्याला आराम करण्याची किंवा काम करण्याची संधी देतात.

### 3.2 स्वयंचलित वाहनांमध्ये वापरली जाणारी सिस्टीम (Systems Used in Autonomous Vehicles):

अॅडव्हान्स्ड ड्रायव्हर असिस्टन्स सिस्टिम्स (Advanced Driver Assistance Systems-ADAS) आणि फुल सेल्फ-ड्रायव्हिंग (Full Self-driving-FSD)

#### 3.2.1 ऍक्टिव्ह (Active) सिस्टीम विरुद्ध पॅसिव्ह (Passive) सिस्टीम:

अॅडव्हान्स्ड ड्रायव्हर असिस्टन्स सिस्टिम्स (ADAS) मध्ये दोन मुख्य प्रकार असतात: ऍक्टिव्ह अॅडव्हान्स्ड ड्रायव्हर असिस्टन्स सिस्टीम (Active ADAS) आणि पॅसिव्ह अॅडव्हान्स्ड ड्रायव्हर असिस्टन्स सिस्टीम (Passive ADAS). त्यांच्यामधील मुख्य फरक त्यांची भूमिका आणि कार्यपद्धती यावर आधारित आहे. ऍक्टिव्ह अॅडव्हान्स्ड ड्रायव्हर असिस्टन्स (Active ADAS) सिस्टीम ह्या सक्रिय हस्तक्षेप करतात आणि गंभीर ड्रायव्हिंग परिस्थितींमध्ये मदत करतात. ह्या सिस्टीम मध्ये सेन्सर्स (sensors), कॅमेरे (cameras) आणि इंटीलिजन्ट अल्गोरिथम (intelligent algorithms) चा वापर करून संभाव्य धोके ओळखले जातात. हे धोके ओळखून, ही सिस्टीम इशारे देते, आणि काहीवेळा आपोआप सुधारात्मक कृती देखील करते. उदाहरणे: अपघात टाळणारी सिस्टीम (Collision Avoidance System-CAS)– अपघात टाळण्यासाठी हस्तक्षेप करणारी सिस्टीम, लेन किपींग सहाय्यक सिस्टीम (Lane Keep Assist-LKA)– वाहन योग्य लेनमध्ये राहावे यासाठी मदत करणारी सिस्टीम, आपत्कालीन ब्रेकिंग सिस्टीम (Automatic Emergency Braking-AEB)– आपत्कालीन परिस्थितीत आपोआप ब्रेक लावणारी सिस्टीम.



**Fig. 3.2: ADAS Applications at a glance**

(Courtesy: <https://www.synopsys.com/glossary/what-is-adas.html>)

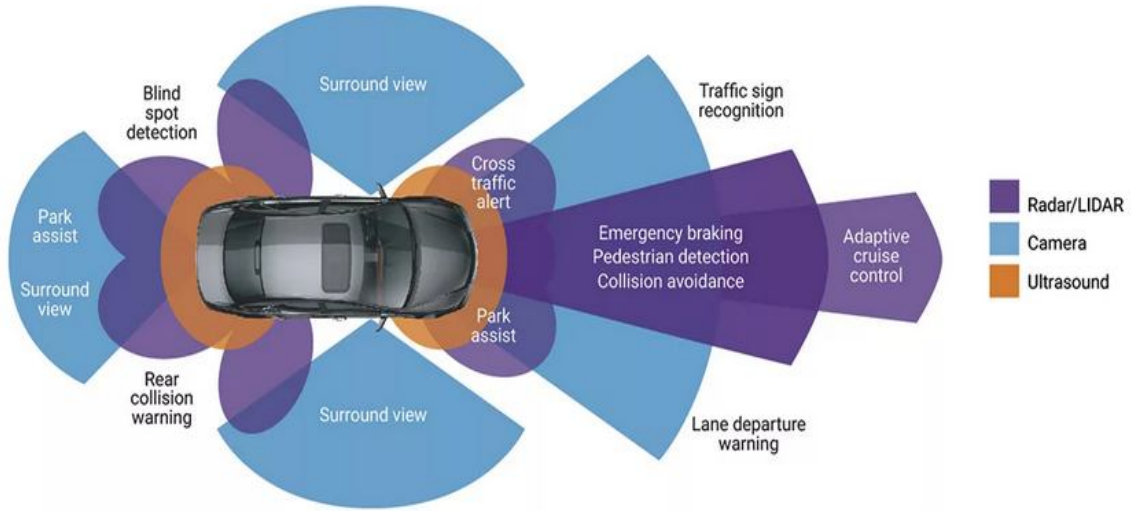
तसेच, पॅसिव्ह (Passive ADAS) सिस्टीम चा उद्देश, ड्रायव्हिंगमध्ये थेट हस्तक्षेप न करता फक्त माहिती व इशारे देणे हा असतो. या सिस्टीममध्ये सेन्सर्स (sensors) आणि कॅमेरे (cameras) चा वापर करून वाहनाच्या आजूबाजूचं निरीक्षण केलं जातं, आणि ड्रायव्हरला व्हिजुअल (visual) किंवा ध्वनी (auditory) सूचना (alerts) इत्यादी द्वारे माहिती दिली जाते. उदाहरणे: ब्लाइंड स्पॉट मॉनिटरिंग (Blind Spot Monitoring-BSM)– चालकाच्या दृष्टीक्षेपात नसणाऱ्या वाहनांसंबंधित इशारा देणारी सिस्टीम, रिअर व्ह्यू कॅमेरे (Rear-view Cameras)– वाहन मागे घेताना रिअर व्ह्यू दाखवणाऱ्या कॅमेऱ्याचा वापर, लेन डिपार्चर वॉर्निंग सिस्टीम (Lane Departure Warning-LDW)– वाहन जर लेनमधून बाहेर जात असेल तर मानवी चालकाला इशारा देणारी सिस्टीम, ट्रॅफिक साईन ओळख सिस्टीम (Traffic Sign Recognition-TSR) – रस्त्यावरील पथदर्शक चिन्हे (Traffic signs) आणि नियमानुसार ड्रायव्हरला माहिती देणारी सिस्टीम. ऍक्टिव्ह अॅडव्हान्स्ड ड्रायव्हर असिस्टन्स सिस्टीम (Active ADAS) या ड्रायव्हिंग मध्ये सक्रियतेने (proactive) सहभागी होतात आणि अपघात टाळण्यासाठी स्वतः क्रिया करतात. पॅसिव्ह अॅडव्हान्स्ड ड्रायव्हर असिस्टन्स (Passive ADAS) ह्यात, ड्रायव्हरला सहाय्य म्हणून, माहिती उपलब्ध करून दिली जाते, परंतु, निर्णय आणि कृती ड्रायव्हरलाच कराव्या लागतात. ह्या दोन्ही सिस्टीम

एकत्रितपणे वाहन चालवणे अधिक सुरक्षित व प्रभावी बनवतात. अॅडव्हान्स्ड ड्रायव्हर असिस्टन्स सिस्टीम (ADAS) म्हणजे वाहनांची सुरक्षा आणि चालकाचा आराम वाढवणाऱ्या तंत्रज्ञानांचा एक समूह आहे. या सिस्टीम पूर्णस्वयंचलित वाहनांच्या (Autonomous Vehicles) उदकांतीचा एक महत्त्वाचा टप्पा आहेत. स्वायत्त वाहनांमध्ये सामान्यतः वापरल्या जाणाऱ्या ऍक्टिव्ह अॅडव्हान्स्ड ड्रायव्हर असिस्टन्स सिस्टीम (ADAS) वैशिष्ट्यांचा तपशील खालीलप्रमाणे आहे.

Table 3.1: ADAS Features in Autonomous Vehicles

क्र.	वापर (Application)	वर्णन (Description)
1	ऍडॅप्टिव्ह क्रूझ कंट्रोल (Adaptive Cruise Control)	हे विशेषतः हायवेवर उपयुक्त आहे, जिथे चालकांना सतत गती व इतर वाहनांचे निरीक्षण करणे कठीण जाते. हे सिस्टीम पुढील वाहनाचे अंतर व गती ओळखून, आपोआप वेग वाढवते / कमी करते किंवा थांबते. यामुळे लांब पल्ल्याच्या प्रवासात मानवी चालकाचा थकवा कमी होतो.
2	लेन डिपार्चर वॉर्निंग सिस्टीम (Lane Departure Warning- LDW) आणि लेन किपींग सहाय्यक सिस्टीम (Lane Keeping Assist-LKA)	कॅमेरे व सेन्सर्स वापरून लेनच्या मर्यादा ओळखल्या जातात. जर वाहन इशारा न देता लेनबाहेर जात असेल तर ड्रायव्हरला सूचना दिली जाते. LKA ही सुविधा वाहनाला स्वतःहून लेनमध्ये ठेवण्यास मदत करते.
3	ग्लेयर फ्री हाय बीम सिस्टीम (Glare-Free High Beam) आणि पिक्सेल लाईट (Pixel Light)	ही सिस्टीम समोरील वाहनांच्या हेडलाईट्स चा प्रकाश आणि सभोवतालच्या प्रकाशाच्या आधारावर आपल्या वाहनाच्या हेडलाईट्सच्या प्रकाशाचे आउटपुट गतिमानपणे बदलून आपला प्रकाश नियंत्रित करते (dynamically changes light intensity), जेणेकरून समोरच्या वाहन चालकाचे डोळे दिपवत नाहीत. (No Glaring)
4	ऍडॅप्टिव्ह लाईट कंट्रोल (Adaptive Light Control)	वाहनाच्या सभोवतालच्या प्रकाशानुसार हेडलाईट्सच्या प्रकाशाची तीव्रता, दिशा आणि फिरण्याचा कोन बदलते.
5	स्वयंचलित पार्किंग (Automatic Parking)	वाहनातील कॅमेरे व सेन्सर्स वापरून चालकाला सुरक्षितपणे पार्किंगसाठी मदत केली जाते. काही सिस्टीम वाहन स्वतः पार्क करू शकतात.
6	नॅव्हिगेशन सिस्टीम (Navigation System)	वाहनाला योग्य मार्ग दाखवणारी प्रणाली: स्क्रीन व आवाजाद्वारे सूचना दिल्या जातात. कमी गर्दीचा मार्ग सुचवतो.
7	नाईट व्हिजन सिस्टीम (Night Vision System)	रात्रीच्या अंधारातही वस्तू स्पष्ट पाहता याव्यात यासाठी नाईट व्हिजन सिस्टीम वापरली जाते. ऍक्टिव्ह (Active) सिस्टीम प्रक्षेपित आणि परावर्तित इन्फ्रारेड प्रकाश वापरते, तर पॅसिव्ह (Passive) सिस्टीम वस्तूंमधून नैसर्गिकरित्या उत्सर्जित होणारे इन्फ्रारेड रेडिएशन (उष्णता) वापरते.
8	ब्लाइंड स्पॉट मॉनिटरिंग (Blind Spot Monitoring-BSM)	साइड सेन्सर्स वापरून चालकाच्या दृष्टीक्षेपात नसलेल्या (ब्लाइंड स्पॉट) वाहनांची नोंद घेऊन संबंधित इशारा दिला जातो.
9	स्वयंचलित आपत्कालीन ब्रेकिंग (Automatic Emergency Braking)	रस्त्याचे निरीक्षण करण्यासाठी आणि वाहने, पादचारी किंवा वस्तूशी संभाव्य टक्कर ओळखण्यासाठी ही सिस्टीम रडार, कॅमेरे आणि LiDAR सेन्सर वापरते. ती दृश्य, ध्वनी किंवा कंपनाच्या इशान्यांसह चालकाला सतर्क करते. जर चालक वेळेवर प्रतिक्रिया देत नसेल, तर धडक टाळण्यासाठी किंवा कमी करण्यासाठी सिस्टीम आपोआप ब्रेक लावते. अपघात टाळण्यासाठी सीट बेल्ट घट्ट करणे आणि स्टीअरिंग समायोजित करणे यासारखी सुरक्षितता पावले देखील उचलते.
10	क्रॉसविंड स्टॅबिलायझेशन (Crosswind Stabilization)	या प्रणालीतील सेन्सर वाहन चालवताना वाहनावर येणारा वाऱ्याचा दाब ओळखू शकतात आणि क्रॉसविंडमुळे प्रभावित झालेली वाहनांची दिशा चालकानुसार बदलण्यासाठी संबंधित चाकांवर ब्रेक लावतात.

11	<b>ड्राइवर मॉनिटरिंग सिस्टिम (Driver Monitoring System-DMS)</b>	ड्राइवर मॉनिटरिंग सिस्टिम (DMS) कॅमेरे आणि सेन्सर वापरून चालक लक्ष देत आहे की नाही हे तपासते. ते चालकाचे डोळे, डोके आणि ते कसे चालवतात यावर लक्ष ठेवते. जर चालक झोपलेला किंवा विचलित वाटत असेल, तर ते दिवे, आवाज किंवा सीट कंपनांसह इशारा देते. गंभीर प्रकरणांमध्ये, अपघात टाळण्यासाठी कार थांबवू शकते.
12	<b>ट्रॅफिक साईन रेकग्निशन (Traffic Sign Recognition-TSR)</b>	कॅमेरे आणि सॉफ्टवेअर वापरून रस्त्यावरील साईनबोर्ड्स (उदा. स्पीड लिमिट, नो एंट्री) ओळखून ते ड्राइवरला स्क्रीनवर दाखवले जातात.



**Fig. 3.3: Block Diagram of ADAS**

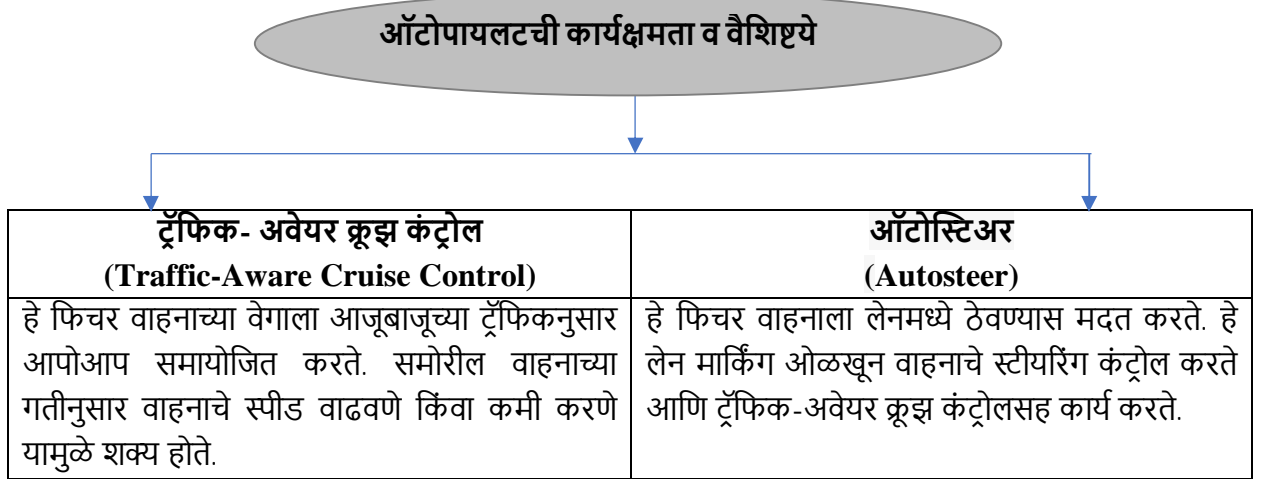
(Courtesy: <https://www.synopsys.com/glossary/what-is-adas.html>)

### फुल सेल्फ ड्रायव्हिंग (Full Self-Driving-FSD):

ही सिस्टिम पारंपरिक चालक सहाय्य (Driver Assistance) सिस्टिम पेक्षा अधिक प्रगत कार्ये प्रदान करण्यासाठी डिझाइन केली असून, शहरातील रस्त्यांवरून नेव्हिगेट करणे, ट्रॅफिक लाइट्स आणि स्टॉप चिन्हे ओळखणे आणि त्यावर प्रतिक्रिया देणे, आपोआप लेन बदलणे, मदतीशिवाय वाहन पार्क करणे (स्वयंचलित पार्किंग) आणि विशिष्ट परिस्थितीत कार वापरकर्त्यापर्यंत आणण्यासाठी "समन्स" फीचर्स वापरणे अशा वैशिष्ट्यांचा समावेश आहे. फुल सेल्फ-ड्रायव्हिंग (FSD) मध्ये कॅमेरे (cameras), रडार (Radar), लायडर (Lidar) यांसारख्या अत्याधुनिक सेन्सर्सचा वापर केला जातो. या प्रणालीत कृत्रिमबुद्धिमत्ता (AI-Artificial Intelligence) आणि शक्तिशाली संगणकाचा वापर करून आजूबाजूच्या परिस्थितीचे निरीक्षण, निर्णय प्रक्रिया, आणि वाहनाचे नियंत्रण केले जाते. ही तंत्रज्ञान सिस्टिम अद्याप पूर्णपणे विकसित झालेली नाही. विविध कंपन्या तिच्या कार्यक्षमतेत सातत्याने सुधारणा करत आहेत.

ऑटोपायलट ही एक प्रगत ड्रायव्हर असिस्टन्स सिस्टिम आहे जी वाहन चालवताना सुरक्षितता आणि सोय वाढवते. योग्यरित्या वापरल्यास, ऑटोपायलट ड्रायव्हर बनून वापरकर्त्याच्या एकूण कामाचा ताण कमी करते. नवीन टेस्ला (Tesla) वाहनांमध्ये अनेक कॅमेरे आणि शक्तिशाली दृष्टीप्रक्रिया (Vision Processing) यंत्रणा बसवलेली असते. टेस्ला-व्हिजन (Tesla Vision) नावाच्या सिस्टिमचा वापर करून ऑटोपायलट सिस्टिम कार्य करते, जी आता रडार ऐवजी (Radar) फक्त कॅमेऱ्यांवर आधारित आहे. ऑटोपायलट आणि फुल-सेल्फ ड्रायव्हिंग (Supervised) हे दोन्ही फिचर्स पूर्णपणे सतर्क व सज्ज चालकासाठीच डिझाइन करण्यात आले आहेत. सध्या ही सिस्टिम वाहनाला पूर्णतः स्वयंचलित (Autonomous) बनवत नाही.

### 3.2.6 ऑटोपायलट आणि फुल सेल्फ-ड्रायव्हिंग (सुपरव्हाइज्ड) प्रणालीची वैशिष्ट्ये:



### 3.3 इतर गतिशीलता प्रणालीं मधील (Mobility Systems) ऑटोनॉमीचे उपयोग:

#### 3.3.1 स्वयंचलित (Autonomous) ट्रेन:

स्वयंचलित ट्रेन एक अशी रेल्वे आहे जी माणसाच्या थेट नियंत्रणाशिवाय चालते. ह्या ट्रेनमध्ये कृत्रिम बुद्धिमत्ता (AI-Artificial Intelligence), सेन्सर्स (sensors), ग्लोबल पोजिशनिंग सिस्टीम (GPS), स्वयंचलित नियंत्रण सिस्टीम (Automatic Control Systems) यासारखे प्रगत तंत्रज्ञान वापरले जाते. अशा ट्रेनमध्ये कमी कर्मचारी लागतात, आणि कार्यक्षमता, सुरक्षितता, व खर्च वाचवण्यात मदत होते. स्वयंचलित ट्रेनचे ऑटोमेशन पातळी (Automation Level) हे ऑटोमेशन ग्रेड (Grade of Automation-GoA) नुसार ठरवले जाते. हे GoA 0 ते GoA 4 पर्यंत असते:

#### स्वयंचलित ट्रेन (Autonomous Train) मध्ये वापरली जाणारी तंत्रज्ञानं:

- स्वयंचलित ट्रेन नियंत्रण (Automatic Train Control-ATC)** – ट्रेनचा वेग, ब्रेक, आणि एक्सलरेशन कंट्रोल करतो.
- स्वचालित ट्रेन ऑपरेशन (Automatic Train Operation-ATO)** – दरवाजे उघडणे-बंद करणे, रूट सिलेक्शन करतो.
- स्वयंचलित ट्रेन संरक्षण (Automatic Train Protection-ATP)** – सिग्नल्स आणि धडक (Collision) टाळण्यासाठी सुरक्षा पाहतो.
- ग्लोबल पोजिशनिंग सिस्टीम (GPS) आणि सेन्सर (Sensors)** – अचूक नेव्हिगेशन, अडथळे ओळखणे आणि सुरक्षित अंतर राखते.
- दळणवळण-आधारित ट्रेन नियंत्रण (Communication-Based Train Control-CBTC)** – वायरलेसने ट्रेन आणि कंट्रोल सेंटर मध्ये रिअल-टाइम माहिती शेअर केली जाते.

#### ऑटोमेशनग्रेड (GoA) लेव्हल्स:

- GoA 0 – पूर्णपणे मॅन्युअल ऑपरेशन: (Fully Manual Operation)** ड्रायव्हर पूर्णपणे ट्रेन चालवतो. ह्या ट्रेनमध्ये कोणतही स्वयंचलन (automation) नाही. उदाहरण: पारंपरिक रेल्वे सिस्टिम्स.
- GoA 1 – अर्धस्वयंचलित (Semi-Automated) (स्वयंचलित ट्रेन संरक्षण (ATP) वापरून):** ड्रायव्हर ट्रेन चालवतो, पण ATP हे सेफ्टी सिस्टिम वेग आणि टक्कर (collision) टाळण्यास मदत करते. उदाहरण: अनेक सामान्य रेल्वे सिस्टिम्स.

**3. GoA 2 – अंशतःस्वयंचलित (Partially Automated) (स्वचालितट्रेनऑपरेशन-ATO, पण ड्रायव्हर देखरेख करतो):** वेग, ब्रेक, दरवाजे हे स्वचालितट्रेनऑपरेशन (ATO) ने नियंत्रित होतात. उदाहरण: दिल्ली मेट्रो (भारत) मधील काही लाईन्स GoA 2 आहेत. लंडन अंडरग्राउंड (यूके) मधील काही लाईन्स GoA 2 वापरतात.

**4. GoA 3 – ड्रायव्हर नसलेली, पण स्टाफ असलेली ट्रेन-पर्यवेक्षित स्वायत्तता (Supervised Autonomy):** सगळी ऑपरेशन्स स्वयंचलित (automated) असतात. दरवाजे आपोआप उघडतात-बंद होतात. एक कर्मचारी प्रवाशांसाठी असतो. उदाहरण: सिंगापूर एमआरटी नॉर्थ ईस्ट लाइन, पॅरिस मेट्रो लाइन 1.

**5. GoA 4 – पूर्णपणे स्वयंचलित (अन-अट्टेंडण्ट ट्रेन ऑपरेशन-Unattended Train Operation):** ड्रायव्हर किंवा ऑनबोर्ड कर्मचारी नाहीत. दरवाजे, वेग आणि आपत्कालीन हाताळणीसह सर्व ऑपरेशन्स सिस्टीमद्वारे नियंत्रित केल्या जातात. ह्यात नियंत्रण केंद्र (Control Centre) च्या माध्यमातून संपूर्ण ट्रेन वर लक्ष दिले जाते व नियंत्रण केले जाते. उदाहरण: दुबई मेट्रो, कोपनहेगन मेट्रो, सिडनी मेट्रो.

**स्वयंचलित ट्रेन (Autonomous Train) चे फायदे:**

- 1. सुरक्षा सुधारणा (Improved Safety):** मानवी त्रुटी कमी होतात, अपघातांना आळा बसतो.
- 2. ऑपरेशनल कार्यक्षमता (Operational Efficiency):** सातत्यपूर्ण आणि वक्तशीर सेवा सुनिश्चित करते.
- 3. ऊर्जा कार्यक्षमता (Energy Efficiency):** वेग आणि ब्रेकिंग ऑप्टिमाइझ करते, उर्जेचा वापर कमी करते.
- 4. कमी ऑपरेटिंग कॉस्ट (Lower Operating Costs):** ड्रायव्हर्सची आवश्यकता नसते, श्रम व खर्च कमी करते.
- 5. उच्च क्षमतेचा वापर (Higher Capacity Utilization):** वेळापत्रक आणि वारंवारता (Frequency) सुधारते, गर्दी कमी करते.

**3.3.2 स्वायत्त/स्वयंचलित जहाज (Autonomous ships):**

स्वायत्त/स्वयंचलित जहाज म्हणजे असं जहाज जे कमी किंवा पूर्णपणे माणसाविना चालतं, आणि त्यासाठी आर्टिफिशियल इंटेलिजन्स (एआय), सेन्सर (sensors), जीपीएस (GPS), रिमोट कंट्रोल सिस्टीम, यासारखे प्रगत तंत्रज्ञान वापरले जाते. ह्यामुळे समुद्रातील ऑपरेशन्स जास्त सुरक्षित, कार्यक्षम आणि कमी खर्चात होतात. स्वयंचलित जहाजे वेगवेगळ्या ऑटोमेशन पातळी (automation level) नुसार वर्गीकृत केली जातात.

**स्वायत्त जहाजांचे वर्गीकरण (Classification of Autonomous Ships):**

आंतरराष्ट्रीय सागरी संघटना (International Maritime Organization-IMO) आणि सागरी स्वायत्त पृष्ठभागावरील जहाजे (Maritime Autonomous Surface Ships-MASS) फ्रेमवर्क प्रमाणे ह्या लेव्हल्स खालीलप्रमाणे आहेत.

**स्वायत्त जहाजांचे लेव्हल (Levels of Autonomous Ships):**

**लेव्हल 1-निर्णय समर्थन प्रणाली- ह्यूमन इन द लूप (Level 1 – Decision Support System-Human-in-the-Loop):** अशा जहाजांवर कर्मचारी प्रगत निर्णय समर्थन सिस्टीम (Advanced Decision Support Systems) वापरतात, ज्यात नेव्हिगेशन, टक्कर टाळणे (अपघात), तसेच डेटा ऍनालिसिस साठी मदत होते. उदाहरण: आधुनिक कार्गो जहाजे जिथे ऑटोपायलट (autopilot) वापरला जातो.

**लेव्हल 2 - क्रू ऑनबोर्डसह रिमोट-कंट्रोल केलेले जहाज (Level 2 – Remote-Controlled with Crew Onboard)**

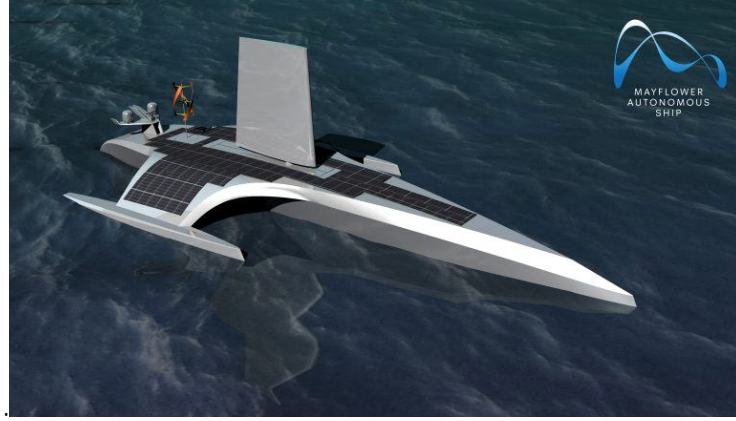
जहाजावर रिमोटद्वारे नियंत्रण केले जाते, परंतु देखरेखीसाठी क्रू मॅम्बर्स जहाजावर असतात. एआय (AI) नेव्हिगेशनमध्ये मदत करते, परंतु गरज पडल्यास मानवी हस्तक्षेप उपलब्ध असतो. उदाहरण: काही अर्ध-स्वायत्त मालवाहू (semi-autonomous cargo) आणि संशोधन जहाजे.

### लेव्हल 3 - कू ऑनबोर्डशिवाय रिमोट-कंट्रोल केलेले जहाज (Level 3 – Remote-Controlled without Crew Onboard):

हे जहाज जहाजावरील-कूशिवाय चालते आणि किनाऱ्यावरील स्टेशनवरून (shore station) दूरस्थपणे नियंत्रित केले जाते. एआय (AI) आणि सेन्सर्स (sensors) नेव्हिगेशन, अडथळे शोधणे आणि मार्ग ऑप्टिमायझेशन हाताळतात. उदाहरण: यारा बर्कलॅंड (नॉर्वे)- एक पूर्णपणे इलेक्ट्रिक, दूरस्थपणे नियंत्रित (Remote-Controlled) मालवाहू जहाज.

### लेव्हल 4 - पूर्णपणे स्वायत्त मानवरहित जहाज (Level 4 – Fully Autonomous (Unmanned Ship):

हे जहाज मानवी नियंत्रणाशिवाय स्वतंत्रपणे चालते. एआय (AI), इंटरनेट ऑफ थिंग्स (IOT) आणि प्रगत नेव्हिगेशन सिस्टम सर्व ऑपरेशन्स व्यवस्थापित करतात. उदाहरण: मेफ्लॉवर ऑटोनॉमस शिप (MAS) (युनायटेड किंगडम)- एक संशोधनासाठी वापरलं जाणारं एआय-चालित जहाज.



**Image 3.1: Mayflower Autonomous Ship**

(Courtesy: <https://www.offshore-energy.biz/mayflower-autonomous-ship-set-to-be-launched-next-week/>)

सुरक्षितता, कार्यक्षमता आणि शाश्वतता सुधारून स्वायत्त जहाजे (Autonomous Ships) सागरी उद्योगात परिवर्तन घडवून आणत आहेत. जरी ते उपयुक्त असले तरी, सायबर सुरक्षा, नियामक समस्या (regulatory issues) आणि उच्च खर्च अशी आव्हाने आहेत. ह्या आव्हानांना व्यापकपणे स्वीकारून त्यातून मार्ग काढणे आवश्यक आहे. तंत्रज्ञानाच्या प्रगतीसह, पूर्णपणे स्वायत्त शिपिंग भविष्यातील समुद्री वाहतुकीचा एक महत्त्वाचा भाग बनण्याची अपेक्षा आहे.

### 3.3.3 स्वयंचालित/मानविरहितविमाने (Autonomous Aircraft / Unmanned Aircraft Systems – UAS)

ह्या विमानांना अनमॅनेड एअरक्राफ्ट सिस्टीम्स (UAS) किंवा अनमॅनेड एरियल व्हेइकल्स (UAVs) असेही म्हणतात. ही अशी विमाने आहेत जी मानवी पायलटशिवाय चालतात. ही विमाने नेव्हिगेशन, पाळत ठेवणे आणि मोहीम अंमलबजावणीसाठी कृत्रिम बुद्धिमत्ता (AI), ग्लोबल पोजिशनिंग सिस्टिम (GPS), सेन्सर्स आणि ऑटोपायलट अशा सिस्टिम्स वापरतात. त्यांचा वापर लष्करी, व्यावसायिक आणि वैज्ञानिक उपयोगासाठी केला जातो.

### स्वायत्त विमानांचे वर्गीकरण आणि कार्य (Classification and Working of Autonomous Aircraft (UAS):

स्वायत्त विमाने, ज्यांना मानवरहित हवाई सिस्टीम (UAS) म्हणूनही ओळखले जाते, त्यांचे आकार, श्रेणी आणि स्वायत्ततेच्या पातळीनुसार वर्गीकरण केले जाते.

#### आकार आणि श्रेणीनुसार वर्गीकरण (By size and range):

सूक्ष्म (Micro) मानविरहित आणि लघु (Mini) हवाई वाहने (UAVs): लहान ड्रॉन्स (drones) वैयक्तिक, संशोधन आणि व्यावसायिक कामांसाठी वापरले जातात. टॅक्टिकल यूएव्ही मध्यम आकाराचे असतात आणि बहुतेकदा सैन्यात पाळत ठेवण्यासाठी वापरले जातात. मध्यम-उंची व दीर्घ-पल्ल्याचे यूएव्ही (Medium-Altitude Long-Endurance-MALE

UAVs) सीमा गस्त सारख्या दीर्घ मोहिमांसाठी वापरला जातो, तर उच्च-उंची व दीर्घ-पल्ल्याचे यूएव्ही (High-Altitude Long-Endurance-HALE UAVs) उंच उडू शकतात आणि हवेत जास्त काळ राहू शकतात. कार्गो आणि प्रवासी यूएव्ही वाहतुकीसाठी डिझाइन केलेले आहेत आणि भविष्यातील हवाई गतिशीलतेमध्ये ते मोठी भूमिका बजावतील अशी अपेक्षा आहे

**स्वायत्तते नुसार (By Autonomy) वर्गीकरण:** दूरस्थपणे नियंत्रित (Remotely Piloted): माणूस कंट्रोलर वापरून विमान चालवतो. अर्ध-स्वायत्त ड्रोन स्वतःहून उड्डाण करू शकतात परंतु तरीही महत्त्वाच्या कामांसाठी मानवी मदतीची आवश्यकता असते. पूर्णपणे स्वायत्त UAS कोणत्याही मानवी इनपुटशिवाय उड्डाण करण्यासाठी आणि निर्णय घेण्यासाठी कृत्रिम बुद्धिमत्तेचा वापर करते. स्वायत्त विमाने AI, GPS, सेन्सर्स, ऑटोपायलट आणि सॅटेलाईट कम्युनिकेशन यासारख्या तंत्रज्ञानाच्या मिश्रणाचा वापर करून काम करतात. AI ड्रोनला जलद निर्णय घेण्यास, अडथळे टाळण्यास आणि सर्वोत्तम मार्ग निवडण्यास मदत करते. जीपीएस आणि नेव्हिगेशन सिस्टीम ड्रोनला योग्य मार्गावर ठेवतात. ऑटोपायलट सुरळीत उड्डाणासाठी वेग, उंची आणि दिशा व्यवस्थापित करतात. सेन्सर्स, कॅमेरे आणि LiDAR विमानाला अडथळे शोधण्यास, सुरक्षितपणे उतरण्यास आणि हवामानातील बदलांना तोंड देण्यास मदत करतात. लांब पल्ल्याच्या मोहिमांमध्ये ड्रोनचे निरीक्षण आणि नियंत्रण करण्यासाठी सॅटेलाईट कम्युनिकेशन वापरले जाते. या सिस्टीम एकत्रितपणे काम करतात जेणेकरून स्वायत्त विमानांना लष्करी, वितरण, प्रवास आणि अगदी अवकाश यासारख्या क्षेत्रात सुरक्षितपणे कामे करता येतील.

**स्वायत्त विमानांची उदाहरणे:** नॉर्थ्रॉप ग्रुमन एक्स-४७बी (यूएसए), एमक्यू-२५ स्टिंग्रे (यूएसए) आणि बोईंग लॉयल विंगमन (ऑस्ट्रेलिया).

### स्वयंचलित विमाने (Autonomous Aircraft) चे फायदे:

धोकादायक परिस्थितीत वैमानिकांची गरज कमी करून ड्रोन मानवी धोका कमी करतात. त्यांचे कार्य किफायतशीर आहे, कारण ते कामगार खर्च कमी करतात आणि कार्यक्षम उड्डाण मार्गाद्वारे इंधन वाचवतात. धोकादायक परिस्थितीत वैमानिकांची गरज कमी करून ड्रोन मानवी धोका कमी करतात. त्यांचे कामकाज किफायतशीर आहे, कारण ते कामगार खर्च कमी करतात आणि कार्यक्षम उड्डाण मार्गाद्वारे इंधन वाचवतात. एआयच्या मदतीने, ड्रोन अचूक नेव्हिगेशन, देखरेख आणि लक्ष्य शोधण्याचे काम करू शकतात. ते सतत व न थकता काम करू शकतात, त्यामुळे ते अत्यंत विश्वासार्ह बनतात. ड्रोन बहु उपयोगी आहेत आणि ते लष्कर, व्यवसाय, आरोग्यसेवा आणि वितरण सेवा अशा विविध क्षेत्रात वापरले जातात.

Table 3.2: Comparison of Autonomous Mobility Systems

घटक (Aspect)	स्वयंचलित मोटार (Autonomous Automobile)	स्वयंचलित ट्रेन (Autonomous Train)	स्वयंचलित जहाज (Autonomous Ship)
स्वायत्ततेच्या लेव्हल (Level of Autonomy)	SAE J3016 (Level 0 ते लेव्हल 5): लेव्हल 0 - पूर्ण मॅन्युअल लेव्हल 5 - पूर्ण स्वयंचलित, ड्रायव्हरशिवाय	GoA (Grade of Automation 0 ते 4): GoA 0 - पूर्ण मॅन्युअल GoA 4 - पूर्ण स्वयंचलित, ट्रेन मध्ये कोणतेही कर्मचारी नसतात	IMO - Maritime Autonomous Surface Ships (MASS): लेव्हल 1 - मानव देखरेखीखाली लेव्हल 4 - पूर्ण स्वयंचलित, मानवांशिवाय
उदाहरणे (Examples)	लेव्हल 2: महिंद्रा XUV700, MG Astor लेव्हल 3: ऑडी A8L, होंडा लेजेंड लेव्हल 5 (संकल्पना): झूक्स, वेमो फ्युचर	GoA 2: दिल्ली मेट्रो GoA 4: दुबई मेट्रो, सिडनी मेट्रो	लेव्हल 2: आधुनिक मालवाहू जहाजे लेव्हल 3: यारा बर्कलॅंड (नॉर्वे) लेव्हल 4: मेफ्लॉवर ऑटोनॉमस शिप (यूके)

<p><b>वैशिष्ट्ये</b> (Characteristics)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- एआय, एमएल, सेन्सर्स (लायडर, रडार, कॅमेरे) वापरतात.</li> <li>- अर्ध-स्वयंचलित ते पूर्ण स्वयंचलित ड्रायव्हिंग</li> <li>- विविध प्रकारच्या वाहतुकीसाठी तसेच उपयोगासाठी वापरतात.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- निश्चित ट्रॅकवर चालते</li> <li>- ATC, ATO, ATP यंत्रणा वापरते</li> <li>- नियंत्रित प्रणालीमुळे अधिक विश्वासासार्ह</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GPS, RADAR, SONAR वापरून समुद्रात नेव्हिगेट करते</li> <li>- मानव चलित रिमोट-नियंत्रित किंवा मानवरहित असू शकते.</li> <li>- AI वापरून मार्ग नियोजन करते आणि अडथळे टाळते</li> </ul>
<p><b>प्रगती</b> (Advancements)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ADAS (Level 1-2) चा मोठ्या प्रमाणात वापर</li> <li>- Level 3 लवझरी वाहनांमध्ये उपलब्ध</li> <li>- पूर्ण स्वयंचलित इलेक्ट्रिक वाहन विकसित होत आहेत</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- शहरी मेट्रोमध्ये यशस्वी अंमलबजावणी</li> <li>- रिअल-टाइम सीबीटीसी सिस्टम्स वापरले जात आहेत</li> <li>- GoA 4 ट्रेन्स दुबई, कोपनहेगनमध्ये कार्यरत</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- दूरवरून नियंत्रित मालवाहतूक जहाजं</li> <li>- एआय-आधारित सागरी मार्ग ऑप्टिमायझेशन</li> <li>- मानवरहित संशोधन आणि मालवाहू जहाजांच्या चाचण्या सुरू आहेत</li> </ul>
<p><b>स्वायत्ततेचे फायदे</b> (Autonomy Benefits)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- अपघातांची संख्या कमी होते</li> <li>- अपंग/वृद्धांसाठी गतिशीलता वाढवते</li> <li>- ट्रॅफिक आणि इंधन कार्यक्षमतेत सुधारणा</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- सुरक्षितता आणि वेळापत्रक विश्वसनीयता वाढवते</li> <li>- कामगार खर्चात कपात</li> <li>- शहरी भागात वाहतूक क्षमता वाढते</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ऑपरेशनल खर्च आणि मानवी चुका कमी करते.</li> <li>- सागरी सुरक्षा आणि कार्यक्षमता वाढवते.</li> <li>- पर्यावरणीय दुष्परिणाम कमी करते.</li> </ul>

## References:

1. Automotive Handbook by Bosch, 11th Edition
2. <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/driverless-car>
3. [https://www.researchgate.net/figure/Levels-of-Automation\\_fig2\\_342315212](https://www.researchgate.net/figure/Levels-of-Automation_fig2_342315212)
4. <https://spectrum.ieee.org/driverless-cars-optional-by-2024-mandatory-by-2044>
5. <https://www.openpr.com/news/2855399/automotive-advanced-driver-assistance-systems-ad-as-market>
6. <https://www.ieee802.org/1/files/public/docs2012/new-avb-jochim-redundancy-requirements-GM-perspective-AVB2-0312.pdf>

## Exercise

### TLO 3.1: Remember Level:

[1] SAE defined ..... number of levels of driving automation.

- A) 4
- B) 5
- C) 6
- D) 3

[2] Level 1 Automation in autonomous vehicles is characterized by;

- A) Full driver control with no automation features.
- B) The ability to control both steering and acceleration/deceleration simultaneously.
- C) Control over either steering or acceleration/deceleration, but not both at the same time.
- D) Complete autonomous driving under specific conditions without driver input.

[3]..... **Grade of Automation (GoA) represents fully autonomous trains with no onboard staff.**

**(R)**

- A) GoA 2
- B) GoA 3
- C) GoA 4**
- D) GoA 1

[4] ..... **sensor creates a 3D map by using laser pulses.**

- A) Radar
- B) Camera
- C) LiDAR**
- D) Ultrasonic

[5] ..... **is the feature of Level 0 automation.**

- A) Auto lane-keeping
- B) No automation; all tasks are done by a driver**
- C) Automatic braking
- D) Steering assist

### **TLO 3.1 Understand Level**

[1] **The following is the main difference between Level 2 and Level 3 automation.**

- A) Level 3 allows full self-driving without driver control.
- B) Level 2 controls both steering and speed; Level 3 takes full control under certain conditions.**
- C) Level 2 uses AI, Level 3 doesn't.
- D) Level 3 allows driving only in city areas.

[2] ..... **sensor works effectively in all weather conditions and detects speed and object distance.**

- A) LiDAR
- B) Radar**
- C) Camera
- D) Ultrasonic

[3] **The role does cognitive systems play in AVs is;**

- A) Power steering control
- B) Creating road maps
- C) Processing sensor data for decision-making**
- D) Parking assistance only

[4] ..... **is the function of V2X in autonomous vehicles.**

- A) Battery optimization
- B) Remote braking

**C) Real-time data sharing**

D) Sensor fusion

**[5] Level 5 automation is considered fully autonomous because .....**

A) It can only drive on highways.

B) It needs a human to monitor the system.

C) It requires a steering wheel and pedals for manual control.

**D) It performs all driving tasks in all conditions without human intervention.****TLO 3.1: Apply Level****[1] If a vehicle can drive on its own in a geofenced area, but allows remote human intervention.****This is an example of ..... level of automation.**

A) Level 2

B) Level 3

**C) Level 4**

D) Level 5

**[2] A driver is stuck in traffic and allows the car to control speed and steering, but must be ready to take over if needed. This is an example of ..... level of ADAS.**

A) Level 1

**B) Level 2**

C) Level 4

D) Level 5

**[3] You are developing a vehicle system that detects obstacles using ultrasonic waves for parking. Which component are you applying?**

A) LiDAR system

B) Radar system

**C) Ultrasonic sensor system**

D) Cognitive AI system

**[4] A car helps a disabled person navigate through rural areas using GPS and autonomous controls. This reflects which benefit of AVs?**

A) Environmental benefit

B) Traffic congestion control

**C) Travel inclusivity**

D) Redundant power system

**[5] If you are designing a system that controls steering, braking, and acceleration in traffic jams, which ADAS feature are you most likely implementing?**

A) Lane Departure Warning

B) Adaptive Headlights

**C) Traffic Jam Assist (TJA)**

D) Reverse Camera System

**TLO 3.2: Remember Level****[1] Following is an example of an active ADAS system.....**

A) Blind Spot Monitoring (BSM)

B) Rearview Camera

**C) Lane Keep Assist (LKA)**

D) Traffic Sign Recognition (TSR)

**[2] ..... is an example of an active ADAS system.**

A) Blind Spot Monitoring (BSM)

B) Traffic Sign Recognition (TSR)

**C) Collision Avoidance System (CAS)**

D) Rearview Camera

**[3] Following Indian cars has Level 1 ADAS.....**

A) MG Gloster

**B) Honda City e: HEV**

C) Mercedes-Benz A8L

D) Zoox

**[4] ..... sensor type is commonly used in Adaptive Cruise Control.**

A) Sonar

**B) Radar or LiDAR**

C) Ultrasonic

D) Thermal

**[5] The abbreviation ADAS stands for.....**

A) Automatic Driving Assistance System

B) Advanced Driving Automation Software

C) Autonomous Driver Assist Setup

**D) Advanced Driver Assistance System****TLO 3.2: Understand Level****[1] The following is the key difference between active and passive ADAS systems.**

A) Active systems rely solely on GPS, while passive systems use LiDAR.

**B) Active systems intervene in driving, while passive systems only provide alerts.**

C) Passive systems control the vehicle, while active systems do not.

D) Passive systems use more advanced technology than active systems.

**[2] Full Self-Driving (FSD) systems are not considered fully autonomous yet, because;**

A) They use radar instead of cameras.

- B) They require a constant internet connection.
- C) They still need a fully attentive driver ready to take control.**
- D) They cannot detect road signs.

**[3] Night Vision System helps the driver as;**

- A) It enhances tire grip in dark conditions.
- B) It adjusts headlight strength during night drives.
- C) It allows the driver to detect objects not visible in low light.**
- D) It replaces rearview mirrors with thermal sensors.

**[4] The main role of the Driver Monitoring System (DMS) is;**

- A) To track the driver's speed and fuel consumption
- B) To alert the driver of maintenance issues
- C) To ensure the driver is alert and paying attention**
- D) To control the car's acceleration based on traffic

**[5] Adaptive Cruise Control is especially useful on highways due to;**

- A) It detects road signs and reroutes the vehicle.
- B) It automatically parks the vehicle at high speed.
- C) It maintains a safe distance and reduces fatigue during long drives.**
- D) It adjusts headlights based on crosswind conditions.

**TLO 3.2: Apply Level**

**[1] A car system detects strong lateral pressure during high wind and automatically applies brakes to stabilize the vehicle. The following ADAS feature is in action in this situation.**

- A) Automatic Parking
- B) Traffic Sign Recognition
- C) Crosswind Stabilization**
- D) Lane Departure Warning

**[2] A driver wants to maintain a set speed and safe following distance on the highway without continuously adjusting the throttle. The following ADAS feature should be used in that situation;**

- A) Lane Keep Assist
- B) Adaptive Cruise Control**
- C) Traffic Sign Recognition
- D) Night Vision System

**[3] Select ADAS features responsible for vehicle safety in the given situation. A driver is feeling drowsy while driving at night.**

- A) Adaptive Light Control and TSR
- B) Driver Monitoring System and Night Vision System**
- C) Automatic Parking and Rear-view Camera
- D) Lane Departure Warning and Glare-Free High Beam

**[4] A driver enters a narrow parking space, and the car parks itself using inputs from multiple sensors. The highlighted ADAS feature is;**

- A) Night Vision System
- B) Adaptive Cruise Control
- C) Automatic Parking**
- D) Crosswind Stabilization

**[5] A vehicle detects strong side winds and automatically adjusts braking on certain wheels to maintain stability. The ADAS feature functioning here is;**

- A) Lane Keep Assist
- B) Glare-Free High Beam
- C) Crosswind Stabilization**
- D) Adaptive Light Control

**TLO 3.3: Remember Level**

**[1] GoA stands for in the context of autonomous trains.**

- A) Grade of Automation**
- B) General Operating Area
- C) Ground of Authority
- D) Global Operations Algorithm

**[2] ..... level in the MASS framework represents a fully autonomous ship.**

- A) Level 1
- B) Level 2
- C) Level 3
- D) Level 4**

**[3] The following component ensures safety by monitoring signals in autonomous trains.**

- A) ATC
- B) ATP**
- C) CBTC
- D) ATO

**[4] ..... metro system is cited as an example of GoA 4 operation.**

- A) Delhi Metro
- B) London Underground
- C) Dubai Metro**
- D) Paris Metro Line 1

**[5] .....technology do autonomous ships use for obstacle detection.**

- A) Bluetooth
- B) Radio Antennas
- C) GPS and Sensors**

## D) Manual Control Systems

**TLO 3.3: Understand Level**

[1] **Identify the role of AI in fully autonomous ships and aircraft because (U)**

- A) It helps reduce the number of passengers
- B) It allows remote piloting from space
- C) It enables independent navigation and decision-making**
- D) It is used only for landing procedures

[2] **Which of the following best describes the role of the Automatic Train Protection (ATP) system? (U)**

- A) Supervises crew activities
- B) Prevents signal override and collisions**
- C) Opens and closes doors automatically
- D) Monitors fuel efficiency

[3] **GoA 3 differs from GoA 2 in train automation as;**

- A) GoA 3 requires more manual input
- B) GoA 3 has no staff onboard
- C) GoA 3 is driverless but has staff onboard for emergencies**
- D) GoA 3 is fully autonomous with no human presence

[4] **The primary function of Communication-Based Train Control (CBTC) is;**

- A) To detect and avoid obstacles
- B) To operate train doors
- C) To provide real-time communication between trains and control centers**
- D) To manage the onboard air conditioning

[5] **In which scenario would a Level 2 autonomous ship be most useful?**

- A) Unmanned long-distance missions
- B) Passenger ferries without crew
- C) Ships with a remote control and crew onboard**
- D) Fully automated port cranes

**TLO 3.3 Apply Level**

[1] **A metro system is being designed to run with full automation, including automatic doors, speed regulation, and no onboard staff. .... GoA level should be implemented. (A)**

- A) GoA 1
- B) GoA 2
- C) GoA 3
- D) GoA 4**

**[2] A city wants to implement a metro system that doesn't require onboard drivers but still has attendants for emergencies. Choose the GoA level for the same.**

- A) GoA 1
- B) GoA 2
- C) GoA 3**
- D) GoA 4

**[3] A logistics company wants to reduce crew costs and increase shipping efficiency. Which MASS level ship should it ideally aim for?**

- A) Level 1
- B) Level 2
- C) Level 3
- D) Level 4**

**[4] An engineer is designing a new UAV for delivery that must operate independently. Which autonomy level is suitable?**

- A) Remote-controlled with a pilot
- B) Semi-autonomous with human intervention
- C) Fully autonomous UAV**
- D) Remotely piloted by humans only

**[5] A transport planner is comparing vehicle types for minimal human involvement and complete autonomy. Which example best fits their goal?**

- A) Delhi Metro
- B) Mahindra XUV700
- C) Sydney Metro**
- D) Audi A8L

## Unit 4 मेन्टेनन्स व्यवस्थापनातील ट्रेंड्स

### Recent Trends in Maintenance

#### विषय निष्पत्ती (Course Outcome) –

**CO 4-** डेटा अॅनालिटिक्स तंत्रांचा उपयोग करून उत्पादन प्रक्रिया आणि प्रणाली सुधारण्यासाठी मदत करणे.

Use data analytics techniques to improve manufacturing processes and systems.

#### घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes)

**TLO 4.1** अॅटोनाॅमस अँड सस्टेनेबल (शास्वत) मेन्टेनन्सची संकल्पना समजावून सांगणे, तसेच टोटल प्रॉडक्टिव्ह मेन्टेनन्स या प्रणालीचे मुख्य स्तंभ समजावणे.

**TLO 4.2** अॅटोनाॅमस अँड सस्टेनेबल (शास्वत) मेन्टेनन्स यांची प्रक्रिया सांगणे आणि फायदे समजावून सांगणे.

**TLO 4.3** डेटा अॅनालिटिक्सचा वापर प्रेडिक्टिव्ह मेन्टेनन्स यामध्ये कसा होतो हे विस्तृत करणे.

**TLO 4.4** संगणकीकृत मेन्टेनन्स व्यवस्थापन प्रणाली याची संकल्पना स्पष्ट करणे.

**4.0 मेन्टेनन्सची ओळख (Introduction to maintenance)** - मेन्टेनन्स, ज्याला तांत्रिक मेन्टेनन्स असेही म्हणतात, म्हणजे यंत्रसामग्री, उपकरणे आणि व्यवसायातील इतर साधने सुरळीत आणि कार्यक्षम ठेवण्यासाठी वेळोवेळी केली जाणारी कामे व पद्धती. चांगली मेन्टेनन्स प्रणाली असणे महत्त्वाचे असते कारण त्यामुळे ही साधने जास्त काळ टिकतात, चांगले काम करतात आणि संपूर्ण व्यवसायाच्या यशात मदत करतात.

मेन्टेनन्स करण्याच्या पद्धती मुख्यतः चार प्रकारांत विभागल्या जातात:

- 1. बिघाडानंतरची (Breakdown) किंवा बिघाड होईपर्यंत चालणारे मेन्टेनन्स**  
या पद्धतीत यंत्र पूर्णपणे बिघडल्यावरच त्याची दुरुस्ती किंवा भाग बदलले जातात. तोपर्यंत ते तसेच वापरले जाते.
- 2. प्रतिबंधात्मक (Preventive) किंवा वेळापत्रकानुसार मेन्टेनन्स**  
या प्रकारात वेळेच्या किंवा यंत्र वापराच्या आधारे ठराविक वेळापत्रकानुसार मेन्टेनन्स केले जाते, जेणेकरून कोणतीही अडचण येण्याआधीच दुरुस्ती केली जाते.
- 3. प्रेडिक्टिव्ह (Predictive) किंवा स्थितीवर आधारित मेन्टेनन्स**  
या पद्धतीत यंत्राची स्थिती लक्षात घेतली जाते आणि फक्त गरज असल्यासच मेन्टेनन्स केली जाते, त्यामुळे अनावश्यक काम टाळता येते.
- 4. सक्रिय (Proactive) आणि प्रतिबंधात्मक मेन्टेनन्स**  
या प्रकारात यंत्र बिघडतेच का, याचे मूळ कारण शोधून ते कायमचे दूर करण्यावर भर दिला जातो. यामध्ये प्रतिबंधात्मक आणि प्रेडिक्टिव्ह मेन्टेनन्स दोन्ही तंत्रांचा उपयोग केला जातो आणि मूळ बिघाड विश्लेषण (RCFA) करून योग्य दुरुस्ती व पार्ट्स बदलासाठी वापरल्या जातात.

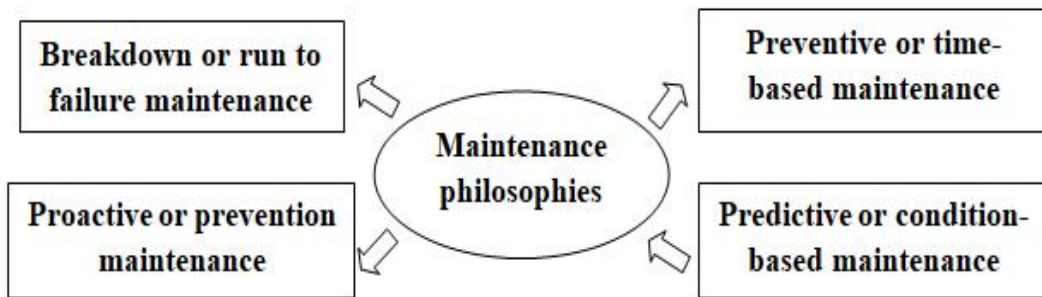


Fig. 4.1 Maintenance Philosophies

#### 4.1 ऑटोनॉमस मेन्टेनन्स (Autonomous Maintenance)

स्वयंचलित मेन्टेनन्स ही एक संपूर्ण मेन्टेनन्स स्ट्रॅटेजी आहे, ज्याचा उद्देश म्हणजे यंत्रसामग्रीची कार्यक्षमता जास्तीत जास्त वाढवणे. या पद्धतीमुळे यंत्र अधिक विश्वासार्ह बनते, मेन्टेनन्स खर्च कमी होतो आणि कामाच्या ठिकाणी सुरक्षिततेतही वाढ होते. या पद्धतीत ऑपरेटर (मशीन चालवणारे कामगार) स्वतः काही नियमित मेन्टेनन्स कामे करतात. स्वयंचलित मेन्टेनन्स ही टोटल प्रॉडक्टिव्ह मेन्टेनन्स (TPM) या प्रणालीचा महत्त्वाचा भाग आहे. यात मशीन ऑपरेटर त्यांच्या यंत्राची प्राथमिक मेन्टेनन्स स्वतः करतात. त्यामुळे मेन्टेनन्स विभागावरची अवलंबनता कमी होते आणि समस्या लवकर ओळखता येतात. ही पद्धत अशा मेन्टेनन्स करण्याची नियमित सवय करतात जिथे ऑपरेटर आणि मेन्टेनन्स कर्मचारी एकत्र काम करून यंत्र बिघाड पूर्णपणे टाळू शकतात आणि कार्यक्षमतेत वाढ करू शकतात.

##### 4.1.1 ऑटोनॉमस मेन्टेनन्स संकल्पना (Concept of Autonomous Maintenance)

या पद्धतीत मशीन ऑपरेटर मशीनची नियमित मेन्टेनन्स – जसे की स्वच्छता, ग्रीस/तेल लावणे आणि तपासणी – स्वतः करतात. याचा मुख्य उद्देश म्हणजे यंत्र खराब होऊ नये, त्याचा कार्यक्षम वापर व्हावा आणि एकूणच उत्पादकतेत वाढ होणे हा आहे.

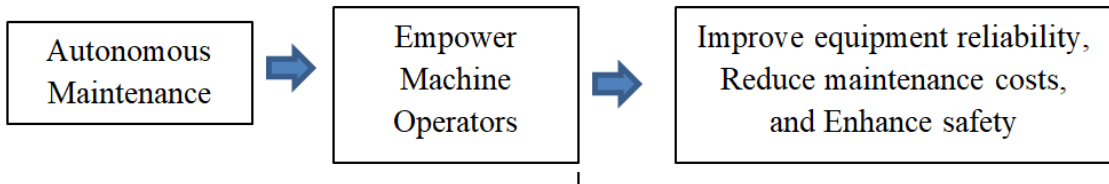


Fig.4.2 Concept of Autonomous Maintenance

##### ऑटोनॉमस मेन्टेनन्स व्याख्या

स्वयंचलित मेन्टेनन्स ही अशी एक पद्धत आहे ज्यामध्ये ऑपरेटरना (मशीन चालवणाऱ्यांना) यंत्राची नियमित मेन्टेनन्स स्वतः करण्याचा अधिकार दिला जातो. हे काम ते स्वतंत्रपणे करतात.

##### ऑटोनॉमस मेन्टेनन्सची उद्दिष्टे (Objectives of Autonomous Maintenance)

ऑटोनॉमस मेन्टेनन्सची प्रमुख उद्दिष्टे आहेत:

- 1. मशीन/उपकरणाची विश्वासार्हता वाढवणे (Reliability improvement of Machine/equipment):** ऑपरेटर जेव्हा देखभालीत सहभागी होतात, तेव्हा मशीन जास्त वेळ सुरळीत चालते व बिघाड कमी होतो.
- 2. मेन्टेनन्स खर्च कमी करणे (Reduce costs of maintenance):** बाहेरून तांत्रिक मदत घेण्याची गरज कमी होते, त्यामुळे खर्च व श्रम कमी होतात.
- 3. ऑपरेटरचा सहभाग वाढवणे (Increase operator involvement):** ऑपरेटर जेव्हा मेन्टेनन्सची जबाबदारी घेतात, तेव्हा त्यांचा सहभाग, आत्मविश्वास व कौशल्य दाखवण्याची प्रेरणा वाढते.
- 4. सुरक्षितता वाढवणे (Enhance safety):** ऑपरेटर यंत्राच्या स्थितीबद्दल जागरूक राहतात, त्यामुळे अपघात होण्याचा धोका कमी होतो.

##### 4.1.2 टोटल प्रॉडक्टिव्ह मेन्टेनन्सचे स्तंभ (Pillars of Total Productive Maintenance (TPM))

टीपीएम (टोटल प्रॉडक्टिव्ह मेन्टेनन्स) म्हणजे उत्पादनासाठी एकत्रितपणे केलेला मेन्टेनन्स. ही पद्धत उपकरणे आणि लोक यावर लक्ष केंद्रित करते आणि उत्पादनाची गुणवत्ता सुधारण्यासाठी आणि शून्य तोट्याचे लक्ष्य साध्य करण्यासाठी उत्पादकता वाढवते. 1971 मध्ये जपान इन्स्टिट्यूट ऑफ प्लांट मेन्टेनन्स (JIPM) ने सखोल संशोधन करून ही पद्धत प्रस्तावित केली. सुरुवातीला, ही पद्धत निकॉन इलेक्ट्रिकल इक्विपमेंट्स कंपनी लिमिटेड (सध्या DENSO CORPORATION) मध्ये लागू करण्यात आली.

**वैशिष्ट्ये:**

1. ही पद्धत उपकरणांच्या कार्यक्षमतेला अडचण करणारे आणि लोकांच्या कार्यक्षमता अडवणारे तोटे कमी करण्यावर काम करते.
2. ही एक अशी मेन्टेनन्स तंत्र आहे जी फॅक्टरी किंवा कंपनीच्या सर्व कार्यामध्ये समाविष्ट केली जाते.
3. उपकरणे आणि लोकांसंबंधीचे तोटे कमी केल्याने उत्पादन कार्यक्षमता आणि वेळ यासाठी अधिक मूल्य निर्माण होईल, तसेच त्याचा थेट परिणाम गुणवत्ता सुधारणा, अपघात टाळणे आणि ऊर्जा बचतीवर होईल.

टीपीएम (टोटल प्रॉडक्टिव्ह मेन्टेनन्स) चे आठ मुख्य स्तंभ आहेत, आणि ॲटोनॉमस मेन्टेनन्स (Autonomous Maintenance) हा दुसरा स्तंभ आहे:

1. **लक्ष केंद्रित सुधारणा (Focused Improvement - Kobetsu Kaizen)** – उपकरणे आणि प्रक्रियांमध्ये सातत्याने सुधारणा.
2. **ॲटोनॉमस मेन्टेनन्स (Autonomous Maintenance - Jishu Hozen)** – ऑपरेटर नियमित देखभालीची जबाबदारी घेतात.
3. **योजनाबद्ध मेन्टेनन्स (Planned Maintenance)** – फेल्युअर(दोष) टाळण्यासाठी ठरवलेली मेन्टेनन्स.
4. **गुणवत्ता मेन्टेनन्स (Quality Maintenance)** – मशीनमध्ये दोष निर्माण होऊ नयेत याची काळजी घेणे.
5. **प्रारंभिक उपकरणे व्यवस्थापन (Early Equipment Management)** – उपकरणे असे डिझाइन करणे की ती सोपी मेन्टेनन्स करू शकता.
6. **प्रशिक्षण आणि शिक्षण (Training & Education)** – कामगारांची आणि मेन्टेनन्स टीमची कौशल्ये सुधारविणे.
7. **ऑफिस टीपीएम (Office TPM)** – प्रशासनिक कार्यामध्ये टीपीएम तत्वांचा वापर करणे.
8. **सुरक्षा, आरोग्य आणि पर्यावरण (SHE - Safety, Health & Environment)** – सुरक्षित आणि टिकाऊ कार्यस्थळ निर्माण करणे.

### 1. ध्येयकेंद्रित सुधारणा (Focused Improvement)

ध्येय केंद्रित सुधारणा स्तंभ हे मूलतः कायझन (Kaizen) सोबत संबंधित आहे, जे जपानी संघटनात्मक तत्त्वज्ञान आहे ज्याचे लक्ष घटक-दर-घटक सुधारणा करण्यावर असते. कायझनच्या वैशिष्ट्याप्रमाणे, उत्पादनाशी संबंधित सर्व कर्मचाऱ्यांना सुधारणा सूचवण्यासाठी, त्यावर लक्ष देण्यासाठी आणि त्यासाठी कल्पना सुचवण्यासाठी प्रोत्साहन दिले जाते. या सुधारण्याचे अंतिम उद्दीष्ट म्हणजे उत्पादनाशी संबंधित समस्या कमी करणे आणि उत्पादन प्रक्रिया सुरळीत ठेवणे. प्रॅक्टिकली, टीपीएम (TPM) मध्ये कायझनचा वापर करण्यासाठी विविध विभागांतील टीम तयार केली जाते, जी मशीन आणि उपकरणांशी संबंधित समस्या कशा सोडवता येतील यावर चर्चाही करते. या टीमसना कायझन इव्हेंट्स किंवा कायझन ब्लिट्झेस असे म्हटले जाते.

### 2. ॲटोनॉमस मेन्टेनन्स (Autonomous Maintenance)

ॲटोनॉमस मेन्टेनन्स ऑपरेटरांना ती कामे करण्याची क्षमता देते जी सामान्यतः मेन्टेनन्स कर्मचारी करत असतात. यामुळे फ्रंटलाइन कामगारांना त्यांच्या मशीनसाठी जबाबदारी घेण्यास प्रोत्साहित केले जाते आणि ते नियमित देखभालीचे कार्य जसे की साफसफाई, तपासणी आणि ग्रीसिंग (CIL - Cleaning, Inspection, Lubrication) करू शकतात.

हा स्तंभ ऑपरेटरांना त्यांच्या मशीनशी जोडतो आणि अभियंते आणि मेन्टेनन्स टीमला त्या कार्यावर लक्ष केंद्रित करण्याची मुभा देतो जे अधिक तज्ञतेची आवश्यकता असतात. ॲटोनॉमस मेन्टेनन्स ऑपरेटरांना दोष लवकर ओळखण्यास मदत करते आणि लहान समस्यांना मोठ्या समस्यांमध्ये रूपांतर होण्यापूर्वीच त्यावर काम करण्यास प्रोत्साहित करते. दीर्घकालीनपणे, ॲटोनॉमस मेन्टेनन्स लागू केल्याने उत्पादन प्रक्रियेवर मोठा प्रभाव पडतो.

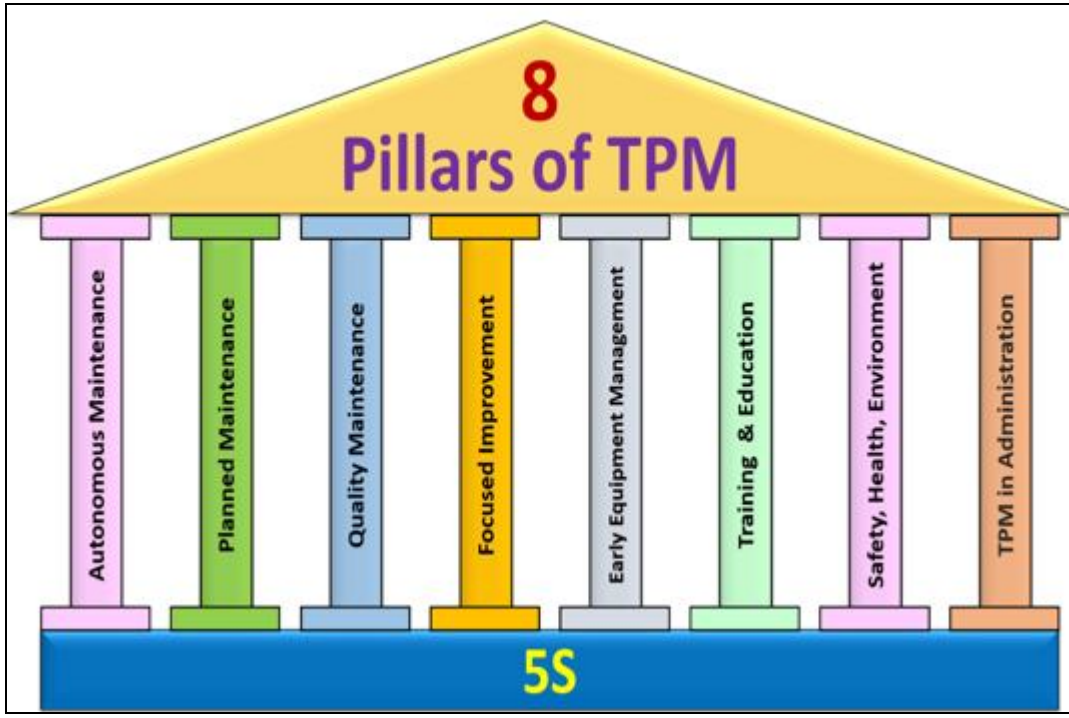


Fig.4.3 Pillars of TPM

(Source: <https://www.linkedin.com/pulse/tpm-total-productive-maintenance-8-pillars-total-digital-elearning>)

**3. गुणवत्ता मेन्टेनन्स (Quality Maintenance):** हा टीपीएम स्तंभ गुणवत्ता दोष कमी करण्याचा आणि त्यानंतर दोषपूर्ण उत्पादनांच्या पुन्हा कामाचे (rework) प्रमाण कमी करण्याचा उद्दीष्ट ठेवतो. याचे अंतिम लक्ष्य उत्पादन कार्यक्षमता वाढवणे, पुन्हा कामाच्या खर्च कमी करणे आणि ग्राहकांच्या समाधानात सुधारणा करणे आहे. दोषांचे व्यवस्थापन मूळ कारण विश्लेषण (RCAs) आणि प्रतिबंधात्मक उपाय, जसे की डिजिटल उत्पादन प्रारंभ चेकलिस्ट, लागू करून केले जाऊ शकते.

**4. नियोजित मेन्टेनन्स (Planned Maintenance):** मशीनच्या उत्पादन वेळापत्रकापूर्वी मेन्टेनन्स कार्ये निश्चित करून यांत्रिक बिघाड रोखता येऊ शकतात. यामुळे उत्पादन प्रक्रियेवर देखभालीचा परिणाम होत नाही. स्वयंचलित देखभालीशी संबंधित असलेला हा स्तंभ ऑपरेटरांना मेन्टेनन्स कार्ये करण्यास अनुमती देतो, ज्यामुळे मेन्टेनन्स आणि अभियंता टीमसाठी अधिक वेळ मिळतो.

**5. वेळेपूर्वी व्यवस्थापन (Early Management):** हा स्तंभ नवीन उपकरणे आणि यंत्रसामग्रीची दोषरहित आणि सुरळीत अंमलबजावणी सुनिश्चित करतो. इतर स्तंभांद्वारे मिळालेल्या ज्ञानाचा उपयोग करून (उदाहरणार्थ, ॲटोनाॅमस मेन्टेनन्स), प्रतिष्ठापन आणि प्रारंभाची वेळ कमी केली जाऊ शकते, आणि सुरुवातीपासूनच योग्य प्रकारे मेन्टेनन्स केली जाऊ शकते.

**6. प्रशिक्षण आणि शिक्षण (Training and Education):** निसर्गाने, ऑपरेटर आणि व्यवस्थापनाच्या सतत शिक्षणात गुंतवणूक केल्यामुळे आधुनिक यंत्रसामग्रीच्या वाढत्या जटिलतेचे व्यवस्थापन करता येते. हा सहावा स्तंभ व्यवस्थापकाशी संबंधित आहे, जो आपल्या कारखान्याच्या कौशल्यांचा आढावा घेण्यास प्रोत्साहित करतो. यामुळे त्यांना वर्तमान कौशल्यांची माहिती मिळते आणि त्यांना प्रशिक्षण आणि शिक्षणामध्ये योग्य गुंतवणूक करण्यास मदत होते.

**7. सुरक्षा, पर्यावरण आणि आरोग्य (SHE - Safety, Health, Environment):** हा स्तंभ कोणत्याही धोक्यांपासून आणि सुरक्षा समस्यांपासून मुक्त कार्यस्थळ निर्माण करण्याचे उद्दीष्ट ठेवतो. हे दुरुस्ती करणारे आणि प्रतिबंधात्मक दोन्ही असू शकते: दुरुस्तीची क्रिया घडलेल्या समस्यांचे निराकरण करते, तर प्रतिबंधात्मक क्रिया संभाव्य असुरक्षित परिस्थिती पाहून त्यांना अपघात होण्यापूर्वीच कमी करण्याचा प्रयत्न करते. कार्यस्थळी अपघात टाळण्याबरोबरच, हा स्तंभ शारीरिक

आणि मानसिकदृष्ट्या कामगारांसाठी आरोग्यदायी कार्यपरिस्थिती निर्माण करण्याचा प्रयत्न करतो. हवेची गुणवत्ता, योग्य कामाचा भार, उपलब्ध सुविधा इत्यादी मुद्द्यांवर लक्ष दिले पाहिजे.

**8. प्रशासनिक टीपीएम (Administrative TPM):** शेवटचा, पण निश्चितपणे महत्वाचा, प्रशासनिक TPM स्तंभामध्ये कार्यस्थळाबाहेरील संघटनेच्या बाबी समाविष्ट आहेत, जसे की लॉजिस्टिक्स आणि नियोजन. याचा उद्दीष्ट म्हणजे TPM तत्त्वज्ञानाचा वापर इतर प्रक्रियांमध्ये देखील करणे, ज्यामुळे उपकरणांसारखेच, अपव्यय कमी करून खर्चात कपात केली जाऊ शकते.

### ऑटोनॉमस मेन्टेनन्सची अंमलबजावणी प्रक्रिया (Implementation Steps of Autonomous Maintenance)

1. **प्राथमिक स्वच्छता (Primary Cleaning)** – धूळ, ग्रीस आणि माती काढा ज्यामुळे लपलेल्या दोषांचा शोध घेता येईल.
2. **उपकरणे यात कचरा/कण जाण्यापासून रोखणे आणि मेंटेनन्स साठी सोपे करणे (Eliminate Causes of Contamination and Improve Accessibility)** – भविष्यात धूळ आणि माती जमा होण्यापासून बचाव करा आणि सोपी मेंटेनन्स करण्यासाठी डिझाईनमध्ये बदल करा.
3. **स्वच्छता आणि लुब्रिकेशनचे स्टॅंडर्ड तयार करणे (Create Cleaning and Lubrication Standards)** दररोजच्या तपासणी, लुब्रिकेशन आणि लहान समायोजनांसाठी स्पष्ट नियम आणि मार्गदर्शक तत्त्वे सेट करा आणि त्यांना स्टॅंडर्ड पद्धती म्हणून अनुसरण करा.
4. **ऑपरेटरचे प्रशिक्षण (Conduct Training of Operators)** – ऑपरेटरांना मशीनच्या कार्यपद्धती, मेंटेनन्स प्रक्रिया, समस्या ओळखणे आणि दररोजच्या मेंटेनन्स कार्यांमध्ये प्रशिक्षण द्या.
5. **तपासणी आणि निरीक्षण (Inspection and Monitoring)** – नियमित मशीन तपासणी तयार करा आणि समस्या लवकर ओळखण्यासाठी उपाययोजना करा.
6. **ऑटोनॉमस मेंटेनन्स कार्यांचे मानकीकरण (Standardize Autonomous Maintenance Tasks)** ऑपरेटरसाठी नियमित आणि रनटाइम मेंटेनन्स कार्यांसाठी चेकलिस्ट आणि वेळापत्रके तयार करा.
7. **शास्वत आणि सतत सुधारणा (Sustaining and Continuous Improvement)** – अभिप्राय प्रोत्साहित करा, प्रक्रिया ऑप्टिमाइझ करा आणि सतत शिकण्याची खात्री करा.

### ऑटोनॉमस मेंटेनन्सचे फायदे (Benefits of Autonomous Maintenance)

1. **उपकरणाच्या डाऊनटाईममध्ये घट (Reduces Equipment Downtime)** – ऑपरेटर नियमितपणे उपकरणांची तपासणी करतात आणि कोणत्याही समस्या किंवा चिंतेची माहिती देतात. लवकर समस्यांचा शोध घेतल्यामुळे मोठ्या दोषांपासून टाळता येते.
2. **उपकरणाचा आयुष्य वाढवतो (Increases Equipment Life)** – ऑपरेटर नियमित स्वच्छता आणि लुब्रिकेशन कार्ये करतात. नियमित मेंटेनन्स उपकरणांवर होणारे घर्षण आणि ताण कमी करते.
3. **कार्यस्थळाच्या सुरक्षित सुधारणा (Improves Workplace Safety)** – स्वच्छ आणि चांगली मेंटेनन्स केलेली मशीन अपघातांच्या जोखमींना कमी करते. नियमित मेंटेनन्स कार्यांसाठी स्पष्ट आणि मानकीकृत प्रक्रियांचे पालन केले जाते.
4. **ऑपरेटरच्या कौशल्यात वाढ (Enhances Operator Skills)** – ऑपरेटर अधिक सक्रिय आणि माहितीपूर्ण होतात आणि देखभालीच्या कार्यांमध्ये स्वामित्वामुळे त्यांचे काम सुधारते.
5. **मेंटेनन्स खर्च कमी करतो (Reduces Maintenance Costs)** – ऑपरेटर लहान मेंटेनन्स कार्ये करतात, जसे की घासलेले भाग बदलणे. यामुळे महागड्या बिघाड आणि दुरुस्त्या टाळता येतात.
6. **उत्पादनक्षमतेत वाढ (Boosts Productivity)** – मशीन अत्यंत कार्यक्षमतेने काम करतात, ज्यामुळे व्यत्यय कमी होते आणि उत्पादन क्षमता वाढते.

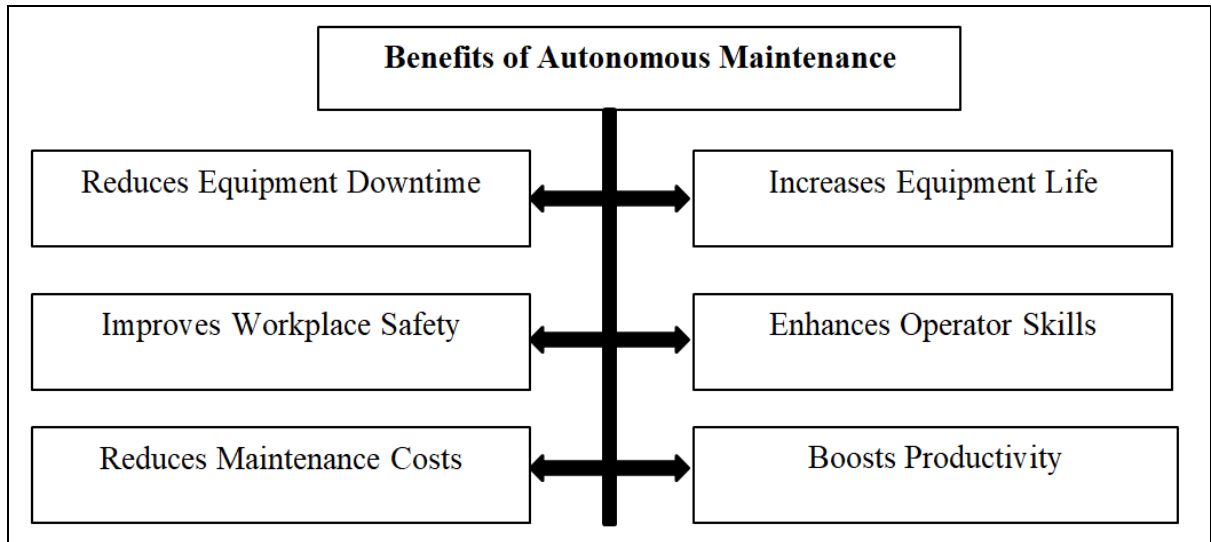


Fig.4.4 Benefits of Autonomous maintenance

#### 4.2.1 सस्टेनेबल मेन्टेनन्स (Sustainable Maintenance) – संकल्पना:

सस्टेनेबल मेन्टेनन्स मुख्यतः यंत्रसामग्री आणि उपकरणांचे कार्यक्षमतेने चालू ठेवण्यावर आणि पर्यावरणाचे संरक्षण करण्यावर लक्ष केंद्रित करते. टिकाऊ मेन्टेनन्स पर्यावरणपूरक आणि संसाधन-कार्यक्षम पद्धतींना प्राथमिकता देते, जे अपव्यय कमी करण्यासाठी, पर्यावरणीय प्रभाव कमी करण्यासाठी, आणि संसाधनांच्या आयुष्यकालाचा विस्तार करण्यासाठी महत्त्वाचे आहे, तसेच सामाजिक आणि आर्थिक लाभ सुधारणेही हेतू आहे. पर्यावरणाच्या दृष्टीने, सस्टेनेबल मेन्टेनन्स अपव्यय कमी करू शकते, हवेची गुणवत्ता सुधारू शकते आणि उत्सर्जन कमी करू शकते. याशिवाय, ऊर्जा खर्च कमी करते आणि उपकरणांचे आयुष्य वाढवते. उदाहरणार्थ, प्रतिबंधक मेन्टेनन्स कच्च्या मालाच्या वापरात २०% कपात करू शकते आणि वाहनांचे उत्सर्जन ३०% कमी करू शकते. सस्टेनेबल मेन्टेनन्सचे सामाजिक फायदे देखील महत्त्वाचे आहेत. हे संस्थेच्या आवाज आणि प्रदूषणाच्या आसपासच्या क्षेत्रांवर होणाऱ्या नकारात्मक परिणामांना कमी करू शकते, तसेच कर्मचाऱ्यांची आणि कामगारांची आरोग्य आणि सुरक्षा सुधारणे शक्य करते. याव्यतिरिक्त, सस्टेनेबल मेन्टेनन्सशी संबंधित आर्थिक फायदे आहेत, कारण हे अनुपालन सुधारण्यास, उपयोग दर वाढविण्यास, अत्यधिक मेन्टेनन्स टाळण्यास, आणि दंड, डाऊनटाईम आणि बिघाडाशी संबंधित खर्च कमी करण्यास मदत करू शकते.

**सस्टेनेबल मेन्टेनन्स व्याख्या:** सस्टेनेबल मेन्टेनन्स ही एक अशी मेन्टेनन्स पद्धत आहे जी आर्थिक, सामाजिक आणि पर्यावरणीय बाबींचे संतुलन साधते, जे टिकाऊ विकास साधण्यासाठी आणि पर्यावरणावर विपरीत परिणाम कमी करण्यासाठी काम करते.

#### 4.2.2 सस्टेनेबल मेन्टेनन्सचे महत्त्व (Importance of Sustainable Maintenance):

1. **पर्यावरणीय प्रभाव कमी करणे:** सस्टेनेबल मेन्टेनन्स करतांना ऊर्जा वापर, पाणी वापर आणि अपव्यय निर्मिती कमी करण्याचे उद्दीष्ट ठेवते.
2. **संसाधनांचा उपयोग ऑप्टिमाइझ करणे:** सस्टेनेबल मेन्टेनन्स संसाधनांचा अधिक चांगला उपयोग करण्यावर लक्ष केंद्रित करते, ज्यात उपकरणांचा आयुष्यमान वाढवणे, अनावश्यक मेन्टेनन्स कमी करणे, आणि सामग्रींच्या पुनर्वापर आणि पुनर्नवीनीकरणास प्रोत्साहन देणे यांचा समावेश आहे.
3. **सामाजिक प्रभाव विचारात घेणे:** सस्टेनेबल मेन्टेनन्स कामगारांची सुरक्षा, समुदाय यांचा फायदा, आणि प्रदूषण आणि आवाज कमी करण्यास देखील महत्त्व देते.
4. **खर्चात बचत करणे:** सस्टेनेबल मेन्टेनन्स डाऊनटाईम कमी करून, ऊर्जा वापर कमी करून, आणि उपकरणांचा वापर वाढवून खर्च वाचवू शकते.



Fig.4.5 Importance of Sustainable maintenance

#### सस्टेनेबल मेन्टेनन्सचे तत्त्वे (Principles of Sustainable Maintenance):

1. **प्रिव्हेंटिव्ह मेन्टेनन्स (Preventive Maintenance):** उपकरणांच्या बिघाडांना टाळण्यासाठी आणि अपव्यय कमी करण्यासाठी नियमित मेन्टेनन्स.
2. **प्रेडिक्टिव्ह मेन्टेनन्स (Predictive Maintenance):** डेटा आणि विश्लेषणाचा वापर करून उपकरणांच्या बिघाडाचा अंदाज लावणे आणि त्या आधारावर मेन्टेनन्स शेड्यूल करणे.
3. **विश्वसनीयता-आधारित मेन्टेनन्स (Reliability-Centered Maintenance):** विश्वसनीयता आणि कार्यक्षमता यावर लक्ष केंद्रित करणे, जेणेकरून देखभालीची आवश्यकता कमी होईल.
4. **ऊर्जा कार्यक्षमता (Energy Efficiency):** ऊर्जा वापर ऑप्टिमाइझ करणे आणि ऊर्जा वाया घालवणे कमी करणे.
5. **अपव्यय कमी करणे (Waste Reduction):** अपव्यय निर्माण कमी करणे आणि पुनर्वापरासाठी प्रोत्साहन देणे.
6. **टिकाऊ सामग्रीचा वापर (Use of Sustainable Materials):** पर्यावरणपूरक सामग्री आणि पुरवठा वापरणे.
7. **ऑपरेटर प्रशिक्षण (Operator Training):** ऑपरेटरांना टिकाऊ देखभालीच्या पद्धतीं बदल शिक्षित करणे.

#### 4.2.3 सस्टेनेबल मेन्टेनन्स अंमलबजावणीचे टप्पे (Sustainable Maintenance Implementation Steps):

1. **मूल्यांकन आणि नियोजन (Assessment and Planning):**
  - पर्यावरणीय आणि कार्यक्षमता ऑडिट करा.
  - अत्यधिक अपव्यय, ऊर्जा वापर, आणि संसाधनांची अकार्यक्षमता ओळखा.
  - टिकाऊता ध्येय सेट करा (उदाहरणार्थ, उत्सर्जन कमी करणे, संसाधनांचा वापर कमी करणे).
2. **प्रिव्हेंटिव्ह आणि प्रेडिक्टिव्ह मेन्टेनन्स स्वीकारा (Adopt Preventive and Predictive Maintenance):**
  - स्थिती आधारित मॉनिटरिंग (CBM) आणि प्रेडिक्टिव्ह विश्लेषणाचा वापर करा.
  - IoT आणि AI-आधारित मेन्टेनन्स कार्यक्षमता वाढवण्यासाठी लागू करा.
  - अनपेक्षित बिघाड कमी करा, संसाधनांची वाया घालवणे कमी करा.
3. **टिकाऊ सामग्री आणि संसाधनांचा वापर करा (Use Sustainable Materials and Resources):**
  - जैविकदृष्ट्या विघटनशील किंवा पुनर्वापरायोग्य लुब्रिकंट्स आणि कूलंट्स निवडा.
  - धोकादायक सामग्रीवर अवलंबित्व कमी करा.
  - ऊर्जा कार्यक्षम स्पेअर पार्ट्स आणि यंत्रसामग्री लागू करा.
4. **ऊर्जा कार्यक्षमता उपाय (Energy Efficiency Measures):**
  - LED लाइटिंग आणि ऊर्जा कार्यक्षम मोटर्स वापरा.
  - HVAC आणि पाणी प्रणाली ऑप्टिमाइझ करा.
  - शक्य असल्यास नूतन ऊर्जा स्रोतांचा वापर करा.

5. **अपव्यय व्यवस्थापन आणि पुनर्वापर (Waste Management and Recycling):**
  - वापरलेल्या सामग्रीसाठी पुनर्वापर कार्यक्रम तयार करा.
  - धोकादायक कचऱ्याचा जिम्मेदारपणे निपटारा करा.
  - भागांचे पुनर्निर्माण आणि पुनर्वापर करण्यास प्रोत्साहन द्या.
6. **कर्मचारी प्रशिक्षण आणि सहभाग (Employee Training & Engagement):**
  - कर्मचाऱ्यांना टिकाऊ पद्धती आणि त्यांचे महत्त्व शिकवा.
  - टिकाऊतेच्या संस्कृतीला प्रोत्साहन द्या आणि जबाबदारी वाढवा.
  - टिकाऊ उपक्रमांसाठी पुरस्कार कार्यक्रम राबवा.
7. **तंत्रज्ञान एकीकरण (Technology Integration):**
  - CMMS (कंप्युटराइज्ड मेन्टेनन्स व्यवस्थापन प्रणाली) चा वापर ट्रॅकिंगसाठी करा.
  - मानवी चुका कमी करण्यासाठी ऑटोमेशन लागू करा आणि कार्यप्रवाह ऑप्टिमाइझ करा.
  - टिकाऊ निर्णय घेण्यासाठी डेटा विश्लेषणाचा वापर करा.
8. **नियम अनुपालन आणि प्रमाणपत्र (Regulatory Compliance and Certification):**
  - ISO 14001 सारख्या पर्यावरणीय मानकांचे पालन करा.
  - सरकारी टिकाऊता नियमांचे पालन सुनिश्चित करा.
  - सुविधा आणि उपकरणांसाठी ग्रीन प्रमाणपत्र मिळवा.
9. **सतत सुधारणा आणि देखरेख (Continuous Improvement and Monitoring):**
  - टिकाऊतेसाठी की परफॉर्मन्स इंडिकेटर्स (KPIs) सेट करा.
  - नियमितपणे मेन्टेनन्स धोरणांचा पुनरावलोकन करा आणि अपडेट करा.
  - सतत सुधारणा करण्यासाठी स्टेकहोल्डर्सचे अभिप्राय समाविष्ट करा.

#### 4.2.4 सस्टेनेबल मेन्टेनन्सचे फायदे (Benefits of Sustainable Maintenance):

1. **पर्यावरणीय प्रभाव कमी करणे (Reduced Environmental Impact):** अपव्यय, ऊर्जा वापर, आणि प्रदूषण कमी करणे.
2. **खर्चात बचत (Cost Savings):** मेन्टेनन्स खर्च, ऊर्जा वापर, आणि अपव्यय निपटारा खर्च कमी करणे.
3. **उपकरणांची विश्वसनीयता सुधारणा (Improved Equipment Reliability):** उपकरणांचे अपटायम वाढवणे आणि डाऊनटाईम कमी करणे.
4. **प्रतिष्ठित सुधारणा (Enhanced Reputation):** टिकाऊतेसाठी आणि सामाजिक जबाबदारीसाठी वचनबद्धतेचे प्रदर्शन करणे.
5. **नियमांसोबत अनुपालन (Compliance with Regulations):** पर्यावरणीय नियम आणि मानकांचे पालन सुनिश्चित करणे.

#### 4.3 प्रेडिक्टिव्ह मेन्टेनन्स यात डेटा अॅनालिटिक्सचा वापर (Data Analytics in Predictive Maintenance):

**4.3.1 परिचय (Introduction):** डेटा अॅनालिटिक्स प्रेडिक्टिव्ह देखभालीत अत्यंत महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावते, कारण ते उपकरणांच्या डेटामध्ये पॅटर्न्स आणि असमानतांचा शोध घेण्यास मदत करते, ज्यामुळे प्रोएक्टिव्ह मेन्टेनन्स करता येते आणि बिघाड टाळू शकतो. प्रेडिक्टिव्ह मेन्टेनन्स अॅनालिटिक्स विविध उद्योगांमध्ये वापरली जात आहे, जसे की उत्पादन, ऊर्जा, वाहतूक, आणि आरोग्य मेन्टेनन्स.

#### डेटा अॅनालिटिक्सची प्रेडिक्टिव्ह मेन्टेनन्स यात भूमिका (Role of Data Analytics in Predictive Maintenance):

1. **डेटा संकलन (Data Collection):** प्रेडिक्टिव्ह मेन्टेनन्स हे डेटा संकलनावर अवलंबून असते, जो सेन्सर्स, गेजेस, आणि मीटरद्वारे गोळा केला जातो. हे उपकरणांच्या स्थितीचा मागोवा घेतात, जसे की आवाज, तापमान, किंवा कंप यामधील सूक्ष्म बदल.

2. **डेटा विश्लेषण (Data Analysis):** नंतर, या डेटाचा विश्लेषण मशीन लर्निंग आणि सांख्यिकी अल्गोरिदमच्या मदतीने केला जातो, जेणेकरून पॅटर्न्स ओळखता येतात आणि भविष्यातील कार्यप्रदर्शनाची भविष्यवाणी केली जाते. यामुळे संस्थांना संभाव्य समस्यांबद्दल चांगले सूचनात्मक बदल (insights) मिळवता येतात.
3. **बिघाडांची पूर्वसूचना (Predicting Failures):** पूर्वीची माहिती आणि रिल-टाइम डेटाचा विश्लेषण करून, प्रेडिक्टिव्ह मेन्टेनन्स अॅनालिटिक्स उपकरणाच्या बिघाडाची शक्यता भाकीत करू शकते. यामुळे प्रोएक्टिव्ह मेन्टेनन्स शक्य होते आणि डाऊनटाईम कमी होते.

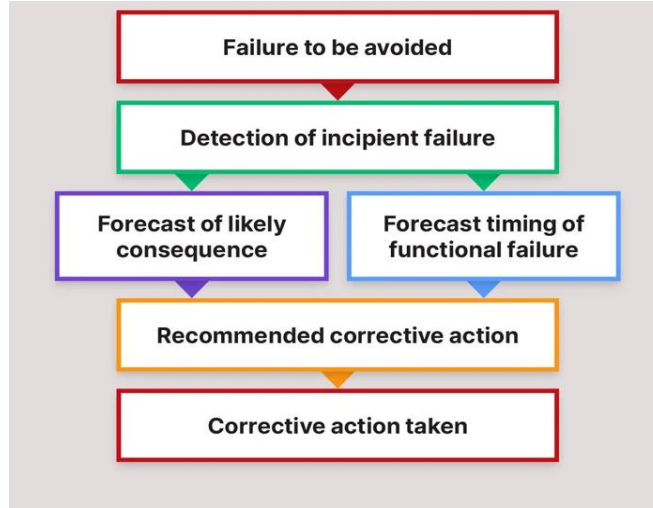


Fig. 4.6 Predictive maintenance

(<https://www.assetivity.com.au/articles/maintenance-management/big-data-predictive-analytics-and-maintenance/>)

### यशस्वी प्रेडिक्टिव्ह देखभालीसाठी आवश्यक घटक (Elements for Successful Predictive Maintenance):

यशस्वी प्रेडिक्टिव्ह मेन्टेनन्स धोरणांचा अंमलबजावणी करण्यासाठी खालील मुख्य घटकांमध्ये मजबूत आधार असणे आवश्यक आहे:

#### 1. डेटा संकलन (Data Collection):

- **सेंसर डेटा (Sensor Data):** उपकरणांवर स्थापित सेंसरद्वारे डेटा गोळा करा, ज्यामुळे कार्यप्रदर्शनावर लक्ष ठेवता येईल आणि संभाव्य समस्यांचा शोध घेता येईल.
- **लॉग फायली (Log Files):** उपकरणांच्या वापर आणि कार्यप्रदर्शनावर नोंदी ठेवण्यासाठी लॉग फायलींचा वापर करा.
- **ऐतिहासिक मेन्टेनन्स डेटा (Historical Maintenance Data):** उपकरणांच्या बिघाडांच्या नमुन्यांना ओळखण्यासाठी भूतकाळातील मेन्टेनन्स नोंदींचा विश्लेषण करा.

#### 2. डेटा इंटीग्रेशन (Data Integration):

- **डेटा वेअरहाऊस (Data Warehouse):** सर्व डेटा एका ठिकाणी संचयित करा, ज्यामुळे विश्लेषण करणे सोपे होईल.
- **डेटा क्लिनिंग आणि तयारी (Data Cleaning and Preparation):** डेटाला स्वच्छ करा, यामुळे ते अचूक आणि विश्वसनीय होईल.
- **डेटा गुणवत्ता वाढविणे (Data Enrichment):** डेटा मध्ये संदर्भ जोडून त्याची गुणवत्ता वाढवा.

#### 3. अॅडव्हान्स् अॅनालिटिक्स (Advanced Analytics):

- **मशीन लर्निंग (Machine Learning):** डेटा मधील पॅटर्न्स आणि ट्रेंड्स शोधण्यासाठी मशीन लर्निंग वापरा आणि प्रेडिक्टिव्ह मॉडेल तयार करा.
- **सांख्यिकी विश्लेषण (Statistical Analysis):** विविध घटकांमधील संबंध शोधण्यासाठी सांख्यिकी पद्धती लागू करा.

- **डेटा व्हिज्युअलायझेशन (Data Visualization):** निष्कर्षांना दृश्य स्वरूपात सादर करा, ज्यामुळे आतील माहिती समजायला सोपे होईल.

#### 4. प्रेडिक्टिव्ह मॉडेलिंग (Predictive Modeling):

- **मॉडेल विकास (Model Development):** ऐतिहासिक आणि रिअल-टाइम डेटा वापरून उपकरणांच्या बिघाडाची पूर्वसूचना देणारे मॉडेल तयार करा.
- **मॉडेल प्रमाणीकरण (Model Validation):** मॉडेल अचूक आणि विश्वसनीय असल्याची खात्री करण्यासाठी ते वापरण्यापूर्वी प्रमाणीकरण करा.
- **मॉडेल डिप्लॉयमेंट (Model Deployment):** उत्पादनात रिअल-टाइम पूर्वसूचना देण्यासाठी मॉडेल कार्यान्वित करा.

#### 5. मेन्टेनन्स ऑप्टिमायझेशन (Maintenance Optimization):

- **मेन्टेनन्स वेळापत्रक (Maintenance Scheduling):** प्रेडिक्टिव्ह मॉडेलचा वापर करून मेन्टेनन्स योग्य वेळेस करा, यामुळे डाऊनटाईम कमी होईल आणि संसाधनांचा योग्य वापर होईल.
- **स्पेअर पार्ट्स व्यवस्थापन (Spare Parts Management):** स्पेअर पार्ट्सचा साठा ऑप्टिमाइझ करा, ज्यामुळे खर्च कमी होईल आणि उपलब्धता सुनिश्चित होईल.
- **सतत सुधारणा (Continuous Improvement):** प्रेडिक्टिव्ह मेन्टेनन्स प्रक्रियांमध्ये सुधारणा करत राहा, जे निरंतर अभिप्राय आणि कार्यक्षमता निरीक्षणाद्वारे शक्य आहे.

#### 6. सहकार्य आणि संवाद (Collaboration and Communication):

- **क्रॉस-फंक्शनल टीम्स (Cross-Functional Teams):** मेन्टेनन्स टीम्स, डेटा वैज्ञानिक, आणि इतर संबंधित घटक यांच्यात प्रभावी सहकार्य सुनिश्चित करा.
- **प्रभावी संवाद (Effective Communication):** डेटा आधारित निष्कर्ष आणि शिफारशी सर्व संबंधित व्यक्तींना स्पष्टपणे संवादित करा, जेणेकरून ते त्या डेटा वर कार्य करू शकतील.

### 4.3.2 संगणकीकृत मेन्टेनन्स व्यवस्थापन प्रणाली (CMMS) ची संकल्पना (Concept of Computerized Maintenance Management System - CMMS):

संगणकीकृत मेन्टेनन्स व्यवस्थापन प्रणाली (CMMS) हे एक सॉफ्टवेअर आहे जे मेन्टेनन्स कार्ये केंद्रीकरण करते आणि कार्यक्षमतेने व्यवस्थापित करण्यासाठी मदत करते. यामुळे व्यवसायांना मेन्टेनन्स कार्याची योजना, वेळापत्रक तयार करणे, संपत्ती ट्रॅक करणे आणि इन्व्हेंटरी व्यवस्थापित करणे शक्य होते. CMMS प्रणाली मेन्टेनन्स माहिती केंद्रीत करते आणि मेन्टेनन्स ऑपरेशन्सची प्रक्रिया सुलभ करते.

**संगणकीकृत मेन्टेनन्स व्यवस्थापन प्रणाली (CMMS) ची भूमिका:** CMMS चा उद्देश असतो की शारीरिक उपकरणांचा वापर आणि उपलब्धता ऑप्टिमाइझ करणे, जसे की वाहनं, यंत्रसामग्री, कम्प्युनिकेशन्स, प्लांट इन्फ्रास्ट्रक्चर आणि इतर संसाधने. हे एक साधन आहे जे देखभालीच्या कार्याची अचूकता आणि कार्यक्षमतेत सुधारणा करण्यास मदत करते.

**संगणकीकृत मेन्टेनन्स व्यवस्थापन प्रणाली (CMMS) चा वापर:** संगणकीकृत मेन्टेनन्स व्यवस्थापन प्रणाली (CMMS) प्रणाली विविध उद्योगांमध्ये महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावते. यामध्ये उत्पादन, तेल आणि गॅस उत्पादन, ऊर्जा उत्पादन, बांधकाम, वाहतूक आणि इतर उद्योग समाविष्ट आहेत, जिथे भौतिक इन्फ्रास्ट्रक्चर महत्त्वाचे आहे.

**संगणकीकृत मेन्टेनन्स व्यवस्थापन प्रणाली (CMMS) ची मुख्य घटक:** संगणकीकृत मेन्टेनन्स व्यवस्थापन प्रणाली (CMMS) ची मुख्य संरचना त्याच्या डेटाबेसमध्ये आहे. त्यात असे एक डेटा मॉडेल असते जे त्या संसाधनांची माहिती संकलित करते, ज्या मेन्टेनन्स संस्थेला ठेवायच्या असतात. यात उपकरणे, सामग्री आणि इतर संसाधनांचा समावेश होतो.

**संगणकीकृत मेन्टेनन्स व्यवस्थापन प्रणाली (CMMS) ची व्याख्या:** CMMS म्हणजे एक संगणकीकृत मेन्टेनन्स व्यवस्थापन प्रणाली जी मेन्टेनन्स कार्याची योजना, मॉनिटरिंग, रिपोर्टिंग आणि ऑप्टिमायझेशन करण्यास मदत करते, त्यामुळे कामाच्या आदेशांचा मागोवा घेऊ शकता, संपत्ती व्यवस्थापित करणे आणि मेन्टेनन्स वेळापत्रक तयार करणे सोपे

होते. CMMS सॉफ्टवेअर एका केंद्रीत, रिअल-टाइम प्रणालीद्वारे मेन्टेनन्स ऑपरेशन्ससाठी सर्व सुविधा आणि माहितीचे एकच स्रोत प्रदान करते.

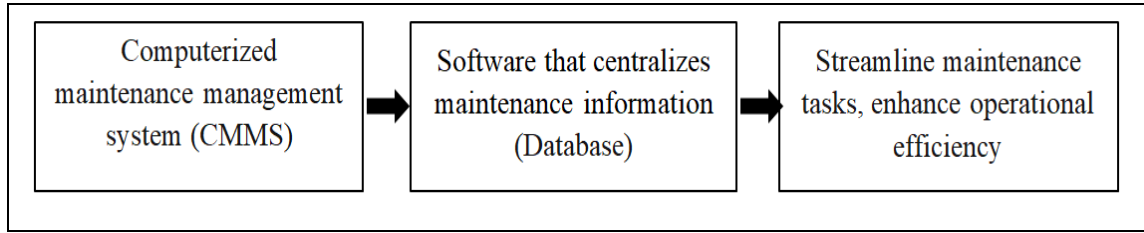


Fig.4.7 Concept of CMMS

**संगणकीकृत मेन्टेनन्स व्यवस्थापन प्रणाली (CMMS) चे घटक आणि कार्ये:**

**1. वर्क ऑर्डर व्यवस्थापन (Work Order Management):**

हे मेन्टेनन्स कार्याचे निर्माण, नियुक्ती, ट्रॅकिंग आणि पूर्णता यासाठी वापरले जाते.

**2. संपत्ती व्यवस्थापन (Asset Management):**

संपत्तीच्या माहितीचे केंद्रीकरण, जसे की स्थान, मेन्टेनन्स इतिहास, आणि संबंधित खर्च.

**3. प्रिव्हेंटिव्ह मेन्टेनन्स (Preventive Maintenance):**

मेन्टेनन्स कार्याची वेळापत्रक आणि ट्रॅकिंग, जेणेकरून उपकरणांचे अपघात होण्यापूर्वी रोखता येतील आणि त्यांचा आयुष्य वाढवता येईल.

**4. इन्व्हेंटरी व्यवस्थापन (Inventory Management):**

स्पेअर पार्ट्स, सामग्री आणि पुरवठ्यांची ट्रॅकिंग, जेणेकरून आवश्यकतेनुसार ती उपलब्ध असतील.

**5. रिपोर्टिंग आणि विश्लेषण (Reporting and Analytics):**

मेन्टेनन्स कार्यकलाप, खर्च आणि उपकरणांच्या कार्यक्षमतेविषयी डेटा आणि अंतर्दृष्टी प्रदान करते.

**6. मोबाइल ॲप समर्थन (Mobile App Support):**

काही संगणकीकृत मेन्टेनन्स व्यवस्थापन प्रणाली मोबाइल ॲप्ससह उपलब्ध आहेत, ज्यामुळे मेन्टेनन्स कर्मचारी माहिती पाहू शकतात आणि कार्ये पूर्ण करू शकतात.

**7. दस्तऐवज व्यवस्थापन (Document Management):**

महत्त्वाचे दस्तऐवज जसे की मॅन्युअल्स, स्केमॅटिक्स आणि सुरक्षा प्रक्रियांची स्टोरेज आणि व्यवस्थापन.

**8. संसाधन आणि कामगार व्यवस्थापन (Resource and Labor Management):**

उपलब्ध कर्मचारी आणि उपकरण प्रमाणपत्र ट्रॅक करणे, कार्ये नियुक्त करणे, आणि वेतन दर व्यवस्थापित करणे.

**9. प्रेडिक्टिव्ह मेन्टेनन्स (Predictive Maintenance):**

डेटा आणि विश्लेषणांचा वापर करून उपकरणांच्या अपघातांची भविष्यवाणी करणे आणि मेन्टेनन्स कार्ये योग्य वेळेस राखून ठेवणे.

**10. स्थिती निरीक्षण (Condition Monitoring):**

सेंसर आणि इतर तंत्रज्ञानाद्वारे संपत्तीची स्थिती ट्रॅक करणे.

**11. तपासणी व्यवस्थापन (Inspection Management):**

तपासणी चेकलिस्ट तयार करणे आणि ट्रॅक करणे.

**12. विक्रेता आणि पुरवठादार व्यवस्थापन (Vendor and Supplier Management):**

स्पेअर पार्ट्स आणि सेवांसाठी विक्रेत्यांशी आणि पुरवठादारांशी संबंध व्यवस्थापित करणे.

**संगणकीकृत मेन्टेनन्स व्यवस्थापन प्रणाली (CMMS)चा कार्यप्रवाह (Work Flow of CMMS):**

संगणकीकृत मेन्टेनन्स व्यवस्थापन प्रणाली (CMMS) डेटाबेसमधील माहिती विविध कार्ये आणि कार्यक्षमतेस समर्थन करते:

**1. संसाधन आणि कामगार व्यवस्थापन (Resource and Labor Management):**

उपलब्ध कर्मचारी आणि उपकरणांच्या प्रमाणपत्रांचा मागोवा घेणे. विशिष्ट कामे नियुक्त करणे आणि पथके तयार करणे. शिफ्टचे आयोजन करणे आणि वेतन दर व्यवस्थापित करणे.

**2. संपत्ती नोंदणी (Asset Registry):**

संपत्तीच्या माहितीचे संचयन आणि प्रवेश, जसे निर्माता, मॉडेल, सिरियल नंबर, स्थान आणि इतर संबंधित माहिती.

**3. कार्य आदेश व्यवस्थापन (Work Order Management):**

कार्य आदेशांची माहिती, जसे कार्य आदेश क्रमांक, वर्णन, आणि प्राधान्य, कामाच्या प्रकाराचे वर्गीकरण (दुरुस्ती, बदल, निर्धारित), कामगार नियुक्ती आणि वापरलेली सामग्री.

**4. पूर्वनिर्धारित मेन्टेनन्स (Preventive Maintenance):**

पूर्वनिर्धारित मेन्टेनन्स कार्याची स्वयंचलित सुरुवात, वेळ, वापर किंवा घटकांकडून ट्रिगर केलेल्या घटना.

**5. सामग्री आणि इन्व्हेंटरी व्यवस्थापन (Materials and Inventory Management):**

वाढवलेली वापरलेली सामग्री आणि इन्व्हेंटरीचे व्यवस्थापन, पुनःपूर्तता आणि पुरवठ्यांच्या व्यवस्थापनासह.

**6. रिपोर्टिंग, विश्लेषण आणि ऑडिट (Reporting, Analysis and Auditing):**

मेन्टेनन्स कार्यावर आधारित अहवाल तयार करणे, रेकॉर्ड करणे आणि तपासणीसाठी माहिती संकलित करणे.

**प्रेडिक्टिव्ह (भविष्यसूचक) आधारित मेन्टेनन्स मध्ये डेटा विश्लेषणाचा वापर (Steps to Implement Data Analytics for Predictive Maintenance):**

**स्टेप 1: संगणकीकृत मेन्टेनन्स व्यवस्थापन प्रणाली (CMMS) वापरून संपत्तीचे महत्त्व विश्लेषण करा (Conduct an Asset Criticality Analysis):** संपत्तीची प्राथमिकता ठरवण्यासाठी त्या वापरावर आधारित त्यांना क्रमवारी द्या.

**स्टेप 2: पायलट प्रोग्रामसाठी संपत्त्या ओळखा (Identify Assets for a Pilot Program):** आधुनिक डेटा विश्लेषणासाठी एक मॅनेज करण्यायोग्य संपत्ती सेट निवडा.

**स्टेप 3: प्रोग्राम सुरू करा आणि सतत सुधारणा करा (Launch and Continuously Improve the Program):** प्रोग्राम सुरू करा आणि त्यात सुधारणा करा, तसेच त्याच्या कार्यक्षमतेवर लक्ष ठेवा.

**स्टेप 4: पायलट प्रोग्रामचा पुनरावलोकन करा (Review the Pilot Program's Results):**

पायलट प्रोग्रामनंतर डेटा मिळवून, तो प्रोग्राम सिद्ध करा आणि त्याची विस्तारित करण्याची स्वीकृती मिळवा.

**स्टेप 5: डेटा विश्लेषण प्रोग्रामचा विस्तार करा (Scale Data Analytics Program):**

संपत्तीच्या महत्त्वाच्या विश्लेषणावर आधारित, डेटा विश्लेषण प्रोग्राम विस्तारा करा.

**संगणकीकृत मेन्टेनन्स व्यवस्थापन प्रणाली (CMMS) अंमलबजावणीचे फायदे (Benefits of CMMS Implementation):****1. कमी डाउनटाइम (Reduced Downtime):**

सुधारित मेन्टेनन्स नियोजनामुळे उपकरणांच्या अयशस्वितांची कमी होईल आणि डाउनटाइम कमी होईल.

**2. कमी मेन्टेनन्स खर्च (Lower Maintenance Costs):**

प्रक्रिया सुलभ केल्यामुळे आणि संसाधनांचे योग्य वितरण केल्यामुळे मेन्टेनन्स खर्च कमी होतो.

**3. सुधारित संपत्ती विश्वसनीयता (Improved Asset Reliability):**

पूर्वनिर्धारित मेन्टेनन्स आणि अचूक ट्रॅकिंगमुळे उपकरणे कार्यक्षमतेने चालू राहतात.

**4. उत्तम अनुपालन (Better Compliance):**

संगणकीकृत मेन्टेनन्स व्यवस्थापन प्रणाली (CMMS) संस्थांना पर्यावरणीय आणि उद्योग मानकांचे पालन करण्यात मदत करते.

**संगणकीकृत मेन्टेनन्स व्यवस्थापन प्रणाली (CMMS) च्या मुख्य फायद्यांमध्ये समावेश आहे:**

- सुलभ कार्यप्रवाह

- कमी डाउनटाइम आणि खर्च
- सुधारित संपत्ती व्यवस्थापन
- सुधारित संवाद आणि निर्णय घेण्याची क्षमता
- कार्यक्षमता आणि पारदर्शकता
- संसाधनांचे अनुकूलन
- कायदेशीर अनुपालन सुलभ करणे
- सुधारित इन्व्हेंटरी अचूकता
- उपकरणांचा आयुष्य वाढवणे
- डेटा-आधारित निर्णय सहाय्य
- उत्पादनक्षमता वाढवणे

### References:

1. <https://www.linkedin.com/pulse/tpm-total-productive-maintenance-8-pillars-total-digital-elearning>
2. <https://www.assetivity.com.au/articles/maintenance-management/big-data-predictive-analytics-and-maintenance/>
3. <https://www.ibm.com/think/topics/what-is-a-cmms>
4. <https://www.acruent.com/resources/knowledge-hub/what-is-a-cmms>
5. <https://www.emaint.com/what-is-a-cmms/>

### Exercise

**TLO 4.1** Describe the concept of Autonomous and Sustainable Maintenance, including the pillars of Total Productive Maintenance (TPM).

**[1] The main goal of Autonomous Maintenance (AM) is \_\_\_\_\_ (R)**

- A) To increase the level of maintenance personnel
- B) To reduce equipment downtime by empowering operators to perform maintenance tasks**
- C) To replace operators with automated systems
- D) To eliminate the need for preventive maintenance

**[2] \_\_\_\_\_ maintenance approach that empowers operators to take ownership of routine maintenance tasks, allowing them to perform tasks freely (R)**

- A) Preventive
- B) Predictive
- C) Autonomous**
- D) Automated

**[3] Continuous improvement in equipment and processes is covered under \_\_\_\_\_ pillar of TPM. (U)**

- A) Autonomous Maintenance (Jishu Hozen)
- B) Focused Improvement (Kobetsu Kaizen)**
- C) Quality Maintenance
- D) Preventive Maintenance

**[4] The principles typically associated with Autonomous Maintenance include (U)**

- A) Task delegation to specialized technicians
- B) Equipment breakdown as a key focus
- C) Operator involvement in daily maintenance activities**

D) Minimizing the need for training and skill development

**[5] The supervisor in gear section wishes to apply autonomous maintenance. He should focus on ----- step (A)**

- A) Monitoring the equipment continuously
- B) Defining roles and responsibilities
- C) Training operators on equipment maintenance**
- D) Standardizing maintenance procedures

**TLO 4.2** Explain the procedures of Autonomous and Sustainable Maintenance along with their benefits.

**[1] \_\_\_\_\_ is maintenance approach that equilibrium economic, social, and environmental considerations to achieve sustainable development and minimize undesirable impacts on the environment. (R)**

- A) Preventive Maintenance
- B) Sustainable Maintenance**
- C) Autonomous Maintenance
- D) Automated Maintenance

**[2] \_\_\_\_\_ of the following benefits does Autonomous Maintenance provide. (U)**

- A) Increased equipment failures
- B) Reduced involvement of operators in machine-related issues
- C) Improved equipment reliability and longer machine life**
- D) Greater dependency on external contractors

**[3] Sustainable maintenance can lead to \_\_\_\_\_. (U)**

- A) Cost savings through reduced downtime,
- B) Lower energy consumption, and
- C) Increased asset utilization
- D) All of the above**

**[4] Select maintenance in which plant-based biodegradable or recyclable oils and coolants are recommended (A)**

- A) Preventive Maintenance
- B) Sustainable Maintenance**
- C) Autonomous Maintenance
- D) Automated Maintenance

**[5] Select the maintenance type having focuses on reliability and performance to minimize maintenance needs (A)**

- A) Preventive Maintenance
- B) Sustainable Maintenance
- C) Autonomous Maintenance
- D) Reliability-centered maintenance**

**TLO 4.3** Describe the role of data analytics in Predictive Maintenance.

**[1] Data analytics plays a crucial role in \_\_\_\_\_ maintenance by enabling the identification of patterns and anomalies in equipment data (R)**

- A) Preventive
- B) Predictive**
- C) Autonomous
- D) Automated

**[2] This step involves data gathered from sensors, gauges, and meters that monitor equipment conditions. (U)**

- A) Data Optimization
- B) Data collection**
- C) Data Analysis
- D) Prediction of failures

**[3] The historical and real-time data for six months of the lathe machine are available, suggesting maintenance actions that can forecast the likelihood of equipment failure (A)**

- A) Predictive maintenance analytics**
- B) Preventive maintenance analytics
- C) Scheduled maintenance analytics
- D) Periodic maintenance analytics

**[4] In \_\_\_\_step of data analytics in the maintenance of a gear shop, data scientists, maintenance experts of gear machines, and other stakeholders work together effectively. (A)**

- A) Maintenance experts
- B) Maintenance team
- C) Cross-Functional Teams**
- D) Multi-function teams

**TLO 4.4** Explain the concept of Computerized Maintenance Management Systems (CMMS)

**[1] \_\_\_\_\_Store, access, and share asset information such as: Manufacturer, model, serial number, and equipment class and type (U)**

- A) Resource and labor management
- B) Inventory Management
- C) Asset registry**
- D) Performance and downtime statistics

**[2] \_\_\_\_\_ helps to manage relationships with ancillary units and suppliers for spare parts and services. (A)**

- A) Resource and labor management
- B) Inventory Management
- C) Asset registry
- D) Vendors and suppliers' management**

**[3] The supervisor prepares the database of turners, welders, and equipment certifications. (A) it is related to \_\_\_\_\_ (A)**

- A) Resource and labor management**
- B) Inventory Management
- C) Asset registry
- D) Performance and downtime statistics

## Unit 5 कृषी अभियांत्रिकीमधील ट्रेंड्स

### Recent Trends in Agricultural Engineering

#### विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

**CO-5:** विविध कृषी अनुप्रयोगांसाठी स्वयंचलित उपकरणे आणि तंत्रज्ञानाचा वापर करणे

Utilize Automated Equipment and Technologies for Various Agricultural Applications.

#### घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes):

**TLO 5.1:** कृषी क्षेत्रातील ऑटोमेशनची भूमिका स्पष्ट करणे.

**TLO 5.2:** स्वयंचलित शेती उपकरणांच्या फायद्यांचे वर्णन करणे.

**TLO 5.3:** स्वायत्त ट्रॅक्टरची वैशिष्ट्ये आणि फायदे आणि कृषी पद्धती वाढविण्यावर त्यांचा प्रभाव यांचे वर्णन करणे.

**TLO 5.4:** कृषी क्षेत्रात ड्रोनच्या (Drones) वापराचे अनुप्रयोग आणि फायदे यांचे वर्णन करणे.

**TLO 5.5:** कृषी क्षेत्रात ड्रोन वापरास समर्थन देणाऱ्या सरकारी योजनांची महत्त्वपूर्ण वैशिष्ट्ये स्पष्ट करणे.

### 5.1 कृषी क्षेत्रातील स्वयंचलन (ऑटोमेशन)

शेती हा मानवी जीवनाचा कणा राहिला आहे, जो लोकसंख्येच्या मोठ्या भागाला अन्न, कच्चा माल आणि रोजगार उपलब्ध करून देतो. तथापि, अन्नाची वाढती जागतिक मागणी, शेतमजुरांची मर्यादित उपलब्धता आणि शाश्वत शेती (Sustainable Farming) पद्धतीची गरज यामुळे पारंपारिक पद्धती यापुढे पुरेशा नाहीत. या आव्हानांवर मात करण्यासाठी, कृषी क्षेत्रातील ऑटोमेशन तंत्रज्ञान एक गेम-चेंजर म्हणून उदयास आले आहे, जे कार्यक्षमतेत सुधारणा करणारे, खर्च कमी करणारे आणि संसाधनांचा वापर ऑप्टिमाइझ करणारे उपाय प्रदान करते.

#### 5.1.1 कृषी क्षेत्रात ऑटोमेशनची गरज

a) **कामगारांची कमतरता:** कमी लोक शेती हा व्यवसाय म्हणून निवडत आहेत, ज्यामुळे यांत्रिक उपायांची मागणी निर्माण होत आहे.

b) **वाढती अन्न मागणी:** वाढत्या जागतिक लोकसंख्येला मागणी पूर्ण करण्यासाठी कार्यक्षम अन्न उत्पादन पद्धती आवश्यक आहेत.

c) **हवामान बदल आणि शाश्वतता:** स्वयंचलित प्रणाली (Automated systems) पाण्याचा वापर ऑप्टिमाइझ करण्यात, मातीच्या परिस्थितीचे निरीक्षण करण्यात आणि शेतीचा पर्यावरणीय प्रभाव कमी करण्यात मदत करतात.

d) **अचूक शेती (Precision Farming):** आधुनिक ऑटोमेशन शेतकऱ्यांना खते, कीटकनाशके आणि पाणी अचूक प्रमाणात लागू करण्यास, कचरा कमी करण्यास आणि पीक आरोग्य सुधारण्यास मदत करते.

e) **खर्च आणि वेळ कार्यक्षमता:** हाताने काम कमी करून, ऑटोमेशन (Automation) एकूण कार्यकारी खर्च कमी करण्यात मदत करते आणि उत्पादनक्षमता वाढवते. कृषी ऑटोमेशन म्हणजे प्रगत यंत्रसामग्री, रोबोटिक्स, सेन्सर्स, आर्टिफिशियल इंटेलिजन्स (AI) आणि इंटरनेट ऑफ थिंग्ज (IoT) चा वापर कमीत कमी मानवी हस्तक्षेपाने शेतीची कामे करण्यासाठी करणे. उदा. जमीन तयार करणे, पेरणी करणे, सिंचन, पीक निरीक्षण, कीटक नियंत्रण, कापणी आणि काढणीनंतरची प्रक्रिया यासारख्या कामांमध्ये ते महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावते. स्मार्ट तंत्रज्ञानाला शेतीमध्ये समाविष्ट करून, ऑटोमेशन शाश्वत कृषी पद्धती सुनिश्चित करताना उत्पादकता वाढविण्यात मदत करते.

#### 5.1.1.1 भारतातील कृषी रोबोटिक्स आणि ऑटोमेशन

भारत ही एक कृषीप्रधान अर्थव्यवस्था आहे, ज्यामध्ये देशाच्या जीडीपीमध्ये शेतीचा मोठा वाटा आहे आणि लोकसंख्येचा मोठा भाग रोजगार देतो. तथापि, भारतीय शेतीला कमी उत्पादकता, खंडित (तुकड्यांमध्ये) जमीन आणि मान्सूनवरील अवलंबित्व यासह अनेक आव्हानांचा सामना करावा लागतो.

### 5.1.1.2 भारतीय शेतीमध्ये रोबोटिक्स आणि ऑटोमेशनची सद्यस्थिती

भारतीय शेतीमध्ये रोबोटिक्स आणि ऑटोमेशनचा अवलंब अजूनही त्याच्या सुरुवातीच्या टप्प्यात आहे. तथापि, सरकारी आणि खाजगी क्षेत्राने या तंत्रज्ञानाची क्षमता ओळखली आहे आणि त्यांचा अवलंब करण्यास प्रोत्साहन देण्यासाठी विविध प्रकल्प आणि उपक्रम सुरू केले आहेत, त्यापैकी काही खालील टेबल मध्ये दिलेली आहेत

**Table 1: Examples of Agricultural Robotics and Automation Projects in India**

प्रकल्प	वर्णन	संस्था
किसान ड्रोन	ड्रोन-आधारित पीक निरीक्षण आणि फवारणी	गरुड एरोस्पेस
फसल	AI-आधारित क्रॉप इंटेलिजन्स प्लॅटफॉर्म	फसल
टार्टन सेन्स	रोबोटिक तण व्यवस्थापन प्रणाली	टार्टन सेन्स
मित्रा	स्वायत्त कृषी रोबोट	मित्रा कृषी उपकरणे
फार्म इ आर पी	फार्म व्यवस्थापन सॉफ्टवेअर	फार्म इ आर पी
आग्नेक्स्ट	कृषी उत्पादनांचे AI-आधारित गुणवत्ता मूल्यांकन	आग्नेक्स्ट तंत्रज्ञान
क्रॉप इन	AI-चालित फार्म व्यवस्थापन प्लॅटफॉर्म	क्रॉप इन तंत्रज्ञान
ऐबोनो	AI-शक्तीवर चालणारी अचूक शेती प्रणाली	ऐबोनो
भारत रोहन	ड्रोन-आधारित पीक निरीक्षण आणि उत्पन्नाचा अंदाज	भारत रोहन एअरबोर्न इनोव्हेशन्स
इंटेलो लॅब	कृषी वस्तूंचे AI-आधारित गुणवत्ता मूल्यांकन	इंटेलो लॅब

### 5.1.2 स्वयंचलित शेती उपकरणे (Automated Farm Equipments)

ऑटोमेशनने शेतीत क्रांती घडवली आहे, कार्यक्षमता सुधारली आहे, श्रमावर अवलंबित्व कमी केले आहे आणि संसाधनांचा उपयोग अधिक प्रभावीपणे केला आहे. सर्वात प्रगत घडामोडींमध्ये कृषी-रोबोट्स, कापणी रोबोट्स आणि तपासणी आणि देखरेख रोबोट्स आहेत, जे कृत्रिम बुद्धिमत्ता (AI), मशीन लर्निंग (ML), इंटरनेट ऑफ थिंग्ज (IoT) आणि रोबोटिक्सचा फायदा घेऊन अचूक शेती करण्यास मदत करतात. या नवकल्पनांमुळे शेतकऱ्यांना मजुरांची कमतरता, वाढत्या अन्न मागण्या आणि हवामानातील बदल यासारख्या आव्हानांना सामोरे जाण्यास मदत होते.

### 5.1.3 कृषी-रोबोट्स (Agri-Robots)

ऑटो-रोबोट्स ही स्वायत्त यंत्रे (autonomous machines) आहेत जी उच्च अचूकता आणि कार्यक्षमतेसह विविध कृषी कार्ये करण्यासाठी डिझाइन केलेली आहेत. हे यंत्रमानव कृत्रिम बुद्धिमत्ता (AI), मशीन लर्निंग (ML), इंटरनेट ऑफ थिंग्ज (IoT) आणि प्रगत सेन्सर एकत्रित करतात जेणेकरून शेतकऱ्यांना बीजन, लागवड, तण काढणे, कीटक नियंत्रण, सिंचन आणि पीक निरीक्षणात मदत होते. श्रम-केंद्रित प्रक्रिया स्वयंचलित करून, कृषी-रोबोट कामगार टंचाई, वाढती अन्न मागणी आणि हवामान-संबंधित शेती आव्हाने यासारख्या समस्यांचे निराकरण करण्यात मदत करतात.

### 5.1.4 कृषी-रोबोट्सचे प्रकार

#### 5.1.4.1 कापणी रोबोट (Harvesting Robots)

कापणी (Harvesting) हे कृषी क्षेत्रातील अत्यंत मेहनती प्रक्रियांपैकी एक आहे, ज्यासाठी अचूकता, गती आणि काळजी आवश्यक आहे जेणेकरून पिकांना हानी न होईल. ज्यामध्ये पिकांचे नुकसान टाळण्यासाठी अचूकता, वेग आणि काळजी आवश्यक आहे. पारंपारिक कापणीच्या पद्धती अंगमेहनतीवर जास्त अवलंबून असतात, ज्या महाग आणि वेळखाऊ असू शकतात. फळे, भाज्या आणि धान्ये कार्यक्षमतेने उचलणे यासारखी कामे स्वयंचलित करण्यासाठी, कृत्रिम बुद्धिमत्ता (AI), संगणक दृष्टी (Computer Vision) आणि रोबोटिक आर्म्स वापरून कापणी यंत्रमानव एक नाविन्यपूर्ण उपाय प्रदान करतात.

## कापणी रोबोटचे प्रकार

### 1. फळं तोडणारे रोबोट (Fruit-Picking Robots)

हे रोबोट्स AI-सक्षम कॅमेरे आणि रोबोटिक हातांनी (Robotic Arms) सुसज्ज आहेत जे पिकलेल्या फळांची ओळख करून त्यांना हलक्या हाताने उचलतात जेणेकरून ते फुटणार नाहीत.

उदाहरणे: सफरचंद, स्ट्रॉबेरी, संत्री, द्राक्षे

फायदे: मजुरीचा खर्च कमी होतो आणि नाजूक कापणी सुनिश्चित होते.

### 2. धान्य कापणी रोबोट

स्वायत्त यंत्रे जी गहू आणि तांदूळ यांसारख्या पिकांमधून धान्य काढतात, भुसा काढतात आणि गोळा करतात. उदाहरणे: गहू, तांदूळ, ज्वारी

फायदे: पारंपारिक संयोजनांपेक्षा (Traditional Combines) वेगवान आणि अधिक कार्यक्षम

### 3. भाजीपाला कापणी रोबोट

पालेभाज्या किंवा भूमिगत पिके अचूकपणे निवडण्यासाठी डिझाइन केलेले विशेष रोबोट.

उदाहरणे: लेट्यूस, पालक, गाजर, बटाटे

फायदे: पूर्णपणे वाढलेले पिकेच निवडून पिकांचा कचरा कमी करणे

### 4. द्राक्ष कापणी रोबोट

द्राक्षे काळजीपूर्वक कापण्यासाठी आणि गोळा करण्यासाठी द्राक्षबागांमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या रोबोटिक प्रणाली.

उदाहरणे: वाइन द्राक्षे

फायदे: उच्च दर्जाची द्राक्षे निवड सुनिश्चित करते

## कापणी रोबोटचे कार्य (Working of Harvesting Robots)

हार्वेस्टिंग रोबोट्सच्या कार्यामध्ये खालील स्टेप्सचा समावेश होतो

- शोध घेणे (Detection)** – AI-शक्तीवर चालणारे कॅमेरे पिकांची परिपक्वता निश्चित करण्यासाठी स्कॅन करतात.
- निर्णय घेणे** – ही प्रणाली फळे किंवा भाज्यांचा रंग, आकार आणि परिपक्वता यांचे मूल्यांकन करते
- अचूक कापणी (प्रिसिजन हार्वेस्टिंग)** – रोबोटिक हात (Arms) हळूवारपणे सक्शन किंवा ग्रिपर्स वापरून पीक सौम्यपणे उचलतात.
- संकलन आणि वर्गीकरण** – कापणी केलेली पिके पुढील प्रक्रियेसाठी कंटेनरमध्ये ठेवली जातात.

## कापणी रोबोटचे फायदे

- क्रॉप डॅमेज कमी करते
- पिकांचे नुकसान टाळण्यासाठी सौम्य हाताळणी तंत्र वापरते.
- कामगार अवलंबित्व कमी करते
- हंगामी कामगारांची गरज कमी करते.
- उत्पादकता वाढवते
- हे 24/7 कार्य करते.
- वेळेवर कापणी सुनिश्चित करते.
- फक्त परिपक्व उत्पादन निवडून अन्नाचा अपव्यय कमी करते.



Figure 5.1 Harvesting Robot

#### 5.1.4.2 निरीक्षण आणि देखरेखीसाठी कृषी रोबोट (Inspection and Monitoring Agriculture Robots)

आधुनिक शेतीसाठी पिकांचे आरोग्य सुनिश्चित करण्यासाठी, रोग लवकर शोधण्यासाठी आणि संसाधनांचे कार्यक्षमतेने व्यवस्थापन करण्यासाठी सतत निरीक्षण करणे आवश्यक आहे. ड्रोन आणि AI-शक्तीवर चालणारे सेन्सर यासारख्या गोष्टींचा समाविष्ट असलेले असे हे रोबोट, शेतकऱ्यांना माहितीपूर्ण निर्णय घेण्यास मदत करण्यासाठी रिअल-टाइम डेटा प्रदान करतात. हे रोबोट पिके, मातीची परिस्थिती आणि सिंचन पातळीचे विश्लेषण करण्यासाठी प्रगत इमेजिंग, मल्टीस्पेक्ट्रल कॅमेरे आणि मशीन लर्निंग तंत्रज्ञान वापरतात.

#### तपासणी आणि देखरेख रोबोटचे प्रकार

##### 1. पीक आरोग्य निरीक्षणासाठी हवाई ड्रोन

उच्च-रिझोल्यूशन कॅमेरे आणि AI-आधारित सेन्सर्ससह सुसज्ज ड्रोन वनस्पतींचा ताण, पोषक तत्वांची कमतरता आणि कीटकांचा प्रादुर्भाव शोधण्यासाठी फील्डच्या हवाई प्रतिमा कॅप्चर करतात.

उदाहरणे: मोठ्या प्रमाणात शेतात, द्राक्षमळे, फळबागा

फायदे: जलद आणि तपशीलवार पीक आरोग्य विश्लेषण

##### 2. ग्राउंड-बेस्ड मॉनिटरिंग रोबोट्स

स्वायत्त रोबोट (Autonomous robots) कॅमेरे आणि मातीचे संवेदक (Soil sensors) वापरून शेतांमध्ये फिरतात, वनस्पतींची जवळून तपासणी करतात आणि रिअल-टाइम डेटा गोळा करतात.

उदाहरणे: पंक्तीतील पिके, हरितगृहे

फायदे: तपशीलवार माती आणि वनस्पती आरोग्य डेटा प्रदान करते

##### 3. रोग आणि कीटक शोध रोबोट

AI-शक्तीवर चालणारे हे रोबोट रोग, बुरशी किंवा कीटकांच्या प्रादुर्भावाच्या सुरुवातीच्या लक्षणांसाठी पिके पसरण्यापूर्वी स्कॅन करतात.

उदाहरणे: भाज्या, धान्ये, फळ फार्म

फायदे: रासायनिक कीटकनाशकांचा वापर आणि पिकाचे नुकसान कमी करणे

##### 4. माती आणि सिंचन देखरेख रोबोट

हे रोबोट सिंचन आणि खतांचा वापर अनुकूल करण्यासाठी आर्द्रता पातळी, पोषक घटक आणि मातीची रचना मोजतात.

उदाहरणे: अचूक शेती, शाश्वत शेती

फायदे: जास्त पाणी पिण्यास आणि पोषक तत्वांचा अपव्यय टाळण्यास प्रतिबंध करते

### तपासणी आणि देखरेख रोबोटचे कार्य

या रोबोट्समध्ये खालील स्टेप्सचा समावेश आहे

- डेटा कलेक्शन – AI-शक्तीवर चालणारे कॅमेरे आणि सेन्सर प्रतिमा आणि पर्यावरणीय डेटा कॅप्चर करतात.
- विश्लेषण – मशीन लर्निंग अल्गोरिदम रोग, कीटक किंवा पोषक तत्वांची कमतरता यासारख्या विकृती शोधतात.
- कृती शिफारसी – ही प्रणाली शेतकऱ्यांना लक्षित कृतीसाठी अचूक दृष्टी प्रदान करते.
- स्मार्ट फार्मिंग – या डेटाचा वापर सिंचन, कीटकनाशक फवारणी आणि खतीकरण स्वयंचलित करण्यासाठी केला जातो.

### तपासणी आणि देखरेख रोबोटचे फायदे

- रिअल-टाइम क्रॉप मॉनिटरिंग – शेतीची अद्ययावत माहिती देते
- लवकर रोग शोधणे – पिकांचे व्यापक नुकसान टाळते.
- कार्यक्षम संसाधन व्यवस्थापन – पाणी आणि खतांचा वापर अनुकूल करते
- उत्पादकता वाढते – मॅन्युअल स्काउटिंग वेळ कमी करते.



Figure 5.2 Inspection and Monitoring Agriculture Robots

### 5.1.5 स्वयंचलित बीजन आणि लागवड मशीन (Automatic Seeding and Planting Machine)

बीजवपन आणि लागवड कृषीतील मूलभूत कार्ये आहेत ज्यासाठी चांगल्या पीक उत्पादनासाठी अचूकतेची आवश्यकता असते. ऑटोमॅटिक सीडिंग आणि प्लांटिंग मशीन हे एक प्रगत शेतीचे उपकरण आहे जे बीजांची पेरणी आणि रोपांची लागवड करण्याची प्रक्रिया उच्च अचूकतेसह स्वयंचलित करते. या मशीनमध्ये एआय-सक्षम संवेदक, जीपीएस तंत्रज्ञान आणि रोबोटिक हातांचा वापर केला जातो, ज्यामुळे समान बीज स्थाननिर्धारण सुनिश्चित होते, जागा आणि संसाधनांचे ऑप्टिमायझेशन केले जाते.

#### स्वयंचलित बीजन आणि लागवड मशीन कार्य

स्वयंचलित बीजन आणि लागवड मशीन सेन्सर-आधारित तंत्रज्ञान, AI आणि ऑटोमेशन वापरून बियाणे शेतात चांगल्या प्रकारे वितरित करण्यासाठी कार्य करतात. यामध्ये खालील मुख्य टप्पे समाविष्ट आहेत:

- बियाणे लोडिंग: बियांनी मशीन भरलेले आहे, जे नियुक्त डब्यात साठवले जाते. पिकाच्या प्रकारानुसार, मशीन त्यानुसार बियांचे प्रमाण आणि अंतर समायोजित करते.
- GPS आणि AI-आधारित नेव्हिगेशन: मशीन GPS मॅपिंग वापरून स्वायत्तपणे मार्गावरून हलते. AI अल्गोरिदम

सर्वोत्तम लागवड स्पॉट्स निर्धारित करण्यासाठी मातीची स्थिती, आर्द्रता पातळी आणि फील्ड टोपोग्राफीचे विश्लेषण करतात

- c) स्वयंचलित खोली नियंत्रण: मशीन मातीची रचना शोधते आणि बियाणे योग्य खोलीवर ठेवते, इष्टतम उगवण सुनिश्चित करते.
- d) एकसमान बियाणे अंतर: अचूक शेती तंत्राचा वापर करून, बियाणे समान अंतरावर लावले जातात, ज्यामुळे गर्दी आणि संसाधनांच्या स्पर्धेपासून संरक्षण होते.
- e) रिअल-टाइम मॉनिटरिंग: शेतकरी स्मार्टफोन ॲप्लिकेशन्स किंवा डिजिटल डॅशबोर्डद्वारे सीडिंग ऑपरेशन्सचे निरीक्षण आणि समायोजन करू शकतात.

#### 5.1.5.1 स्वयंचलित बीजन आणि लागवड यंत्रांचे प्रकार

##### 1. प्रिसिजन बिया भरणारे यंत्र (Precision Seed Drills)

- i. सरळ ओळींमध्ये बिया लावण्यासाठी जीपीएस आणि ऑटोमेशन वापरते.
- ii. एकसमान खोली आणि अंतर सुनिश्चित करते, बियाणे अपव्यय कमी करते.
- iii. मोठ्या प्रमाणात अन्नधान्य आणि धान्य उत्पादनासाठी आदर्श.

##### 2. न्यूमॅटिक पेरणी यंत्रे (Pneumatic Planters)

- i. बियाणे समान रीतीने वितरीत करण्यासाठी हवेचा दाब तंत्रज्ञान वापरते.
- ii. बियाणे कमी करते आणि उगवण यश सुधारते.
- iii. गहू, मका आणि सोयाबीन यांसारख्या लहान धान्यांसाठी योग्य.

##### 3. रोबोटिक बियाणे पेरणारे यंत्र

- a) AI-शक्तीवर चालणारे रोबोट जे माती स्कॅन करतात आणि रिअल टाइममध्ये लागवडीची खोली समायोजित करतात.
- b) मानवी हस्तक्षेपाशिवाय 24/7 कार्य करू शकता.
- c) भाज्या आणि फळे यांसारख्या उच्च-सुस्पष्ट पिकांसाठी सर्वात योग्य.

##### 4. ड्रोन सीडर्स

- i. स्वायत्त ड्रोन एआय-आधारित मॅपिंग वापरून विशिष्ट ठिकाणी बियाणे टाकतात.
- ii. डोंगराळ किंवा पोहोचू शकत नसलेल्या भूप्रदेशांसाठी आदर्श.
- iii. पुनर्वनीकरण (Reforestation) आणि झाकण पिकांच्या (Cover Cropping) लागवडीसाठी
- iv. वेळ आणि श्रम खर्च वाचवतो.

##### स्वयंचलित बियाणे आणि लागवड यंत्रांचे फायदे

- i. शारीरिक श्रमापेक्षा उच्च कार्यक्षमता – जलद लागवड
- ii. सुधारित अचूकता – यामुळे बियाण्यांचा अपव्यय कमी होतो.
- iii. उत्तम पीक उत्पादन – एकसमान वाढ सुनिश्चित करते
- iv. संसाधन ऑप्टिमायझेशन – पाणी आणि खत कार्यक्षमतेने वापरते
- v. कमी कामगार खर्च – हे माणसाच्या मेहनतीचे प्रमाण कमी करते.



Figure 5.3 Automatic Planting

### 5.1.6 एआय-ऑपरेटेड सिंचन प्रणाली (AI-Operated Irrigation Systems)

पाणी व्यवस्थापन हा आधुनिक शेतीचा एक महत्त्वाचा पैलू आहे. AI-संचालित सिंचन प्रणाली पाण्याचा वापर ऑप्टिमाइझ करण्यासाठी स्मार्ट सेन्सर, रिअल-टाइम डेटा आणि AI अल्गोरिदम वापरतात, पिकांना योग्य वेळी योग्य प्रमाणात पाणी मिळेल याची खात्री करून. या प्रणाली पाण्याचा अपव्यय कमी करतात, कमी खर्च करतात आणि पीक आरोग्य सुधारतात, ज्यामुळे ते शाश्वत शेतीसाठी एक आवश्यक साधन बनतात.

#### एआय-ऑपरेटेड सिंचन प्रणाली कार्य

AI-संचालित सिंचन प्रणाली अचूक पाणी देण्याचे निर्णय घेण्यासाठी रिअल-टाइम डेटा संकलन आणि विश्लेषण वापरतात. (Real-Time Data Collection and Analysis) ही प्रक्रिया या खालील टप्प्यांचे अनुसरण करते:

सेन्सरद्वारे डेटा संकलन

- मातीचा ओलावा सेन्सर: मातीतील पाण्याचे प्रमाण मोजतो.
- हवामान सेन्सर: तापमान, आर्द्रता आणि पावसाच्या अंदाजांचा मागोवा घेण्याचे काम करतो.
- क्रॉप हेल्थ सेन्सर: इन्फ्रारेड कॅमेरे वापरून वनस्पतींच्या पाण्याच्या ताणाची पातळी शोधा.
- AI-आधारित निर्णय घेणे: प्रणाली गोळा केलेल्या डेटाचे विश्लेषण करते आणि पिकांसाठी आवश्यक असलेल्या पाण्याचे अचूक प्रमाण निर्धारित करते. AI अल्गोरिदम अनावश्यक पाणी पिणे टाळण्यासाठी हवामानाच्या अंदाजांवर आधारित सिंचन वेळापत्रक समायोजित करतात.
- स्वयंचलित पाणी वितरण: जेव्हा आवश्यक असेल तेव्हाच ही प्रणाली ठिबक सिंचन, स्प्रिंकलर किंवा भूमिगत सिंचन पाईप्स सक्रिय करते. AI हे सुनिश्चित करते की पाणी समान रीतीने वितरित केले जाते, पाण्याचा प्रवाह आणि मातीची धूप रोखते
- रिमोट मॉनिटरिंग आणि नियंत्रण: शेतकरी मोबाईल ॲप्स किंवा वेब डॅशबोर्डद्वारे सिंचन प्रणालीचे निरीक्षण आणि नियंत्रण करू शकतात. AI पाण्याच्या वापराच्या कार्यक्षमतेबद्दल सूचना आणि अहवाल पाठवू शकते.

#### 5.1.6.1 एआय-ऑपरेटेड इरिगेशन सिस्टमचे प्रकार

##### 1. स्मार्ट ठिबक सिंचन (Smart Drip Irrigation)

- वनस्पतींच्या मुळांना थेट पाणी पुरवठा करण्यासाठी AI-नियंत्रित ड्रिपर्स वापरतात.
- बाष्पीभवन आणि पाण्याचा अपव्यय कमी करते.
- फळे, भाज्या आणि हरितगृह शेतीसाठी आदर्श.

## 2. AI-मार्गदर्शित स्प्रींकलर सिस्टम्स

- हवामान-अनुकूल स्प्रींकलर हवामानाच्या परिस्थितीवर आधारित पाण्याचा प्रवाह समायोजित करतात.
- जास्त सिंचन टाळण्यासाठी सेन्सर पाऊस आणि आर्द्रता शोधतात.
- मोठ्या शेतीच्या क्षेत्रांमध्ये, गोल्फ कोर्समध्ये आणि बागायतीं मध्ये वापरले जाते.

## 3. प्रिसिजन पिव्होट इर्रिगेशन

- AI अगदी पाणी वितरणासाठी वर्तुळाकार स्प्रींकलर हालचाली अनुकूल करते.
- गहू, कॉर्न आणि सोयाबीन शेतीसाठी सर्वात योग्य.

## 4. स्वयंचलित भूमिगत सिंचन

- मातीच्या पृष्ठभागाच्या खाली पाणी वितरीत करते, बाष्पीभवन नुकसान कमी करते.
- AI पाण्याचा दाब आणि माती शोषण दर व्यवस्थापित करते.
- द्राक्षबागा आणि फळबागा यांसारख्या उच्च-मूल्य पिकांसाठी वापरला जातो.

## एआय-ऑपरेटेड इर्रिगेशन सिस्टमचे फायदे

### 1. जलसंधारण (Water Conservation)

- AI हे सुनिश्चित करते की गरज असेल तेव्हाच पाण्याचा वापर केला जातो, ज्यामुळे अपव्यय 50% पर्यंत कमी होतो.
- अति-सिंचन प्रतिबंधित करते, ज्यामुळे भूजल पातळी कमी होऊ शकते.

### 2. पीक उत्पादनात वाढ

- AI अचूक पाण्याचे प्रमाण वितरीत करते, ज्यामुळे निरोगी झाडे आणि चांगली कापणी होते.
- पिकांना सातत्यपूर्ण हायड्रेशन मिळते, तणाव आणि रोग कमी होतात याची खात्री करते.

### 3. कमी कामगार आणि ऑपरेशनल खर्च

- सिंचन स्वयंचलित करते, अंगमेहनतीचे प्रयत्न काढून टाकते आणि मजुरीचा खर्च कमी करते.
- पारंपारिक सिंचन पंपांसाठी वीज आणि इंधन खर्च कमी करते.

### 4. हवामान अनुकूलन (Climate Adaptation)

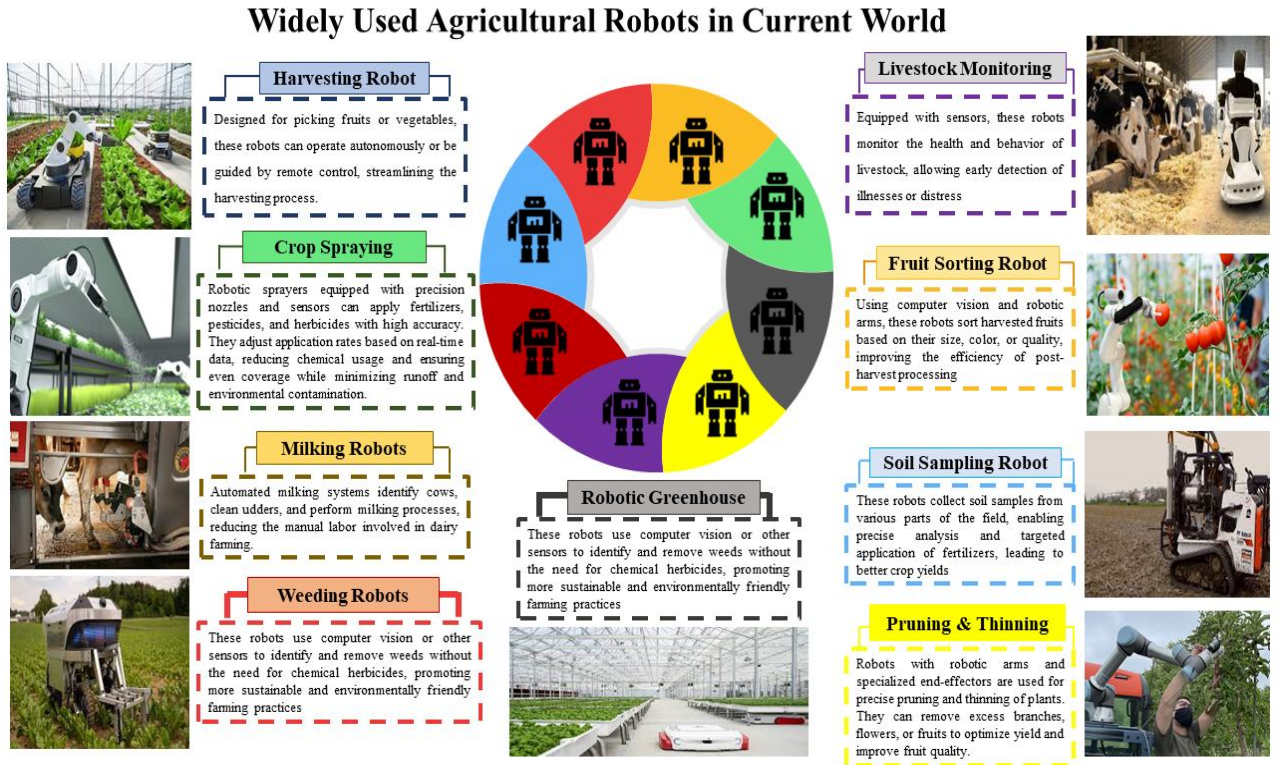
- AI हवामानातील बदलांवर आधारित सिंचन वेळापत्रक समायोजित करते.
- सिंचनाची वेळ अनुकूल करून दुष्काळ किंवा पाणी साचण्यापासून पिकांचे संरक्षण करते.

### 5. स्मार्ट फार्म एकर्रीकरण

- एआय-चालित ट्रॅक्टर, ड्रोन आणि माती आरोग्य निरीक्षण प्रणालीशी कनेक्ट केले जाऊ शकते.
- चांगल्या शेती व्यवस्थापनासाठी शेतकरी पाणी वापराच्या डेटाचा मागोवा घेऊ शकतात



Fig. 5.4 AI-Operated Irrigation Systems



**Fig. 5.5 Agricultural Revolution: Cutting-Edge Robot Design**

## 5.2 स्वायत्त ट्रॅक्टर: (Autonomous Tractors) सेल्फ-ड्रायव्हिंग ट्रॅक्टर, वैशिष्ट्ये आणि फायदे

स्वायत्त ट्रॅक्टरच्या परिचयाने कृषी उद्योगात लक्षणीय परिवर्तन होत आहे. ही सेल्फ-ड्रायव्हिंग मशीन आर्टिफिशियल इंटेलिजन्स (AI), GPS नेव्हिगेशन, सेन्सर्स आणि ऑटोमेशनचा वापर कमीत कमी मानवी हस्तक्षेपाने शेतीची कामे करण्यासाठी करतात. स्वायत्त ट्रॅक्टर कार्यक्षमता वाढवण्यासाठी, कामगार अवलंबित्व कमी करण्यासाठी आणि शेतीच्या कामांना अनुकूल करण्यासाठी डिझाइन केलेले, अचूक शेतीचा एक आवश्यक भाग बनत आहेत.

### 5.2.1 स्वायत्त ट्रॅक्टरची कार्य यंत्रणा

स्वायत्त ट्रॅक्टर प्रगत तंत्रज्ञानाच्या संयोजनावर आधारित कार्य करतात जे स्वयं-ड्रायव्हिंग क्षमता सक्षम करतात. त्यांच्या कार्य यंत्रणेमध्ये हे समाविष्ट आहे.

- GPS-आधारित नेव्हिगेशन:** ट्रॅक्टर GPS सिग्नल वापरून प्री-मॅप केलेल्या मार्गाचे अनुसरण करतो. AI अल्गोरिदम डेटाचे विश्लेषण करतात आणि ऑपरेशन्स ऑप्टिमाइझ करण्यासाठी मार्ग समायोजित करतात.
- AI आणि मशीन लर्निंग इंटिग्रेशन:** AI रिअल-टाइम फील्ड डेटावर प्रक्रिया करते आणि ट्रॅक्टरचा वेग समायोजित करते आणि दिशा. मशीन लर्निंग मागील ऑपरेशन्समधून शिकून कालांतराने कार्यप्रदर्शन सुधारते.
- सेन्सर आणि कॅमेरा प्रणाली:** LIDAR, RADAR आणि कॅमेरे अडथळे शोधण्यात, सुरक्षित हालचाल सुनिश्चित करण्यात मदत करतात. मातीतील ओलावा सेन्सर ऑप्टिमाइझ सिंचन आणि लागवडीसाठी डेटा प्रदान करतात.
- रिमोट मॉनिटरिंग आणि क्लाउड कनेक्टिव्हिटी:** शेतकरी मोबाइल ॲप्स किंवा क्लाउड-आधारित प्लॅटफॉर्मद्वारे ट्रॅक्टर फंक्शन्स नियंत्रित आणि निरीक्षण करू शकतात. उत्पादकता आणि निर्णयक्षमता सुधारण्यासाठी डेटाचे विश्लेषण केले जाते.
- स्वयंचलित उपकरणे आणि संलग्नक (Automated Implements and Attachments)**
- स्वायत्त ट्रॅक्टर नांगरणी, पेरणी, खतनिर्मिती आणि कापणीसाठी वेगवेगळ्या संलग्नकांसह सुसज्ज केले जाऊ

शकतात, अचूक ऑपरेशन्ससाठी उपकरणे डिजिटल पद्धतीने नियंत्रित केली जातात.

## 5.2.2 स्वायत्त ट्रॅक्टरची प्रमुख वैशिष्ट्ये

### 1. GPS आणि AI-आधारित नेव्हिगेशन

- किमान त्रुटी सहसंपूर्ण क्षेत्रामध्ये अचूक हालचाल सुनिश्चित करते.
- सेंटीमीटर-स्तरीय अचूकतेसाठी रिअल-टाइम किनेमॅटिक (Real-Time Kinematic (RTK) पोझिशनिंग वापरते.

### 2. रिमोट मॉनिटरिंग आणि नियंत्रण

- शेतकरी स्मार्टफोन किंवा संगणक वापरून रिमोटली ट्रॅक्टरचा मागोवा घेऊ शकतात आणि नियंत्रित करू शकतात.
- ऑपरेशनल स्थिती, इंधन पातळी आणि मशीन आरोग्यावर रिअल-टाइम अद्यतने (updates).

### 3. अडथळा शोध आणि सुरक्षा प्रणाली (Obstacle Detection and Safety Systems)

- झाडे, खडक आणि प्राणी यांसारखे अडथळे शोधण्यासाठी प्रगत सेन्सरसह सुसज्ज.
- आपत्कालीन थांबा यंत्रणा अपघातांना प्रतिबंध करते आणि सुरक्षितता सुनिश्चित करते.

### 4. परिवर्तनीय गती आणि कार्यक्षमता ऑप्टिमायझेशन (Variable Speed and Efficiency Optimization)

- मातीची परिस्थिती आणि शेतीच्या कामांवर आधारित वेग समायोजित करते.
- इंधन वाचवते आणि संसाधनांचा वापर ऑप्टिमाइझ करते.

### 5. स्वयंचलित देखभाल आणि निदान

- AI-आधारित भविष्यसूचक देखभाल शेतकऱ्यांना संभाव्य यांत्रिक अपयशांबद्दल सतर्क करते.
- ब्रेकडाउन होण्यापूर्वी देखभाल शेड्यूल करून डाउनटाइम कमी करते

## 5.2.3 स्वायत्त ट्रॅक्टरचे प्रकार

### पूर्णपणे स्वायत्त ट्रॅक्टर (Fully Autonomous Tractors):

- कोणत्याही मानवी ड्रायव्हरशिवाय कार्य करा.
- सॉफ्टवेअर ऍप्लिकेशन्स आणि GPS सिस्टमद्वारे नियंत्रित.

### अर्ध-स्वायत्त ट्रॅक्टर:(Semi-Autonomous Tractors)

- मानवी पर्यवेक्षण आवश्यक आहे परंतु विशिष्ट कार्यांसाठी स्वयंचलितपणे कार्य करू शकते.
- आव्हानात्मक परिस्थितीत शेतकरी नियंत्रण मिळवू शकतात.

### इलेक्ट्रिक आणि हायब्रिड स्वायत्त ट्रॅक्टर:(Electric and Hybrid Autonomous Tractors)

- इंधनाचा वापर कमी करण्यासाठी बॅटरी किंवा हायब्रीड उर्जा स्रोत वापरा.
- कमी कार्बन उत्सर्जनासह पर्यावरणास अनुकूल पर्याय.

## 5.2.4 स्वायत्त ट्रॅक्टरचे फायदे

### 1. उत्पादकता वाढते

- थकवा न येता 24/7 चालते, ज्यामुळे कमी वेळेत अधिक काम पूर्ण करता येते.
- नांगरणी, लागवड आणि कापणी यासारख्या कामांमध्ये कार्यक्षमता वाढवते.

### 2. कामगार खर्च कमी करते

- मानवी श्रमावरील अवलंबित्व कमी करते, विशेषतः पीक शेती हंगामात.
- मजुरांच्या कमतरतेचा सामना करणाऱ्या मोठ्या प्रमाणात शेतांसाठी उपयुक्त.

### 3. खर्च-प्रभावी आणि इंधन कार्यक्षम

- ऑप्टिमाइझ केलेले मार्ग इंधनाचा वापर कमी करतात.
- खते, बिया आणि कीटकनाशकांचा अपव्यय कमी होतो.

### 4. पर्यावरणीय स्थिरता

- ऑप्टिमाइझ केलेल्या मार्गांचे अनुसरण करून मातीचे मिश्रण कमी करते.
- पर्यावरणपूरक शेतीला चालना देऊन कीटकनाशक आणि खतांचा जास्त वापर कमी करते.

### 5. स्वयंचलित देखभाल आणि निदान

- एकसमान बियाणे प्लेसमेंट सुनिश्चित करते, परिणामी पीक उत्पादन जास्त होते.
- शेतीच्या कामातील मानवी चुका दूर करते.



Fig. 5.6 AI AI-Operated Irrigation Systems

### 5.3 कृषी ड्रोन

कृषी ड्रोन हे मानवरहित हवाई वाहने (Unmanned Aerial Vehicle) (UAVs) आहेत. ड्रोन तंत्रज्ञानाने कृषी क्षेत्रात क्रांतिकारी बदल घडवले आहेत. यांद्वारे शेतकऱ्यांना त्यांच्या पिकांचे व्यवस्थापन अधिक प्रभावी आणि कार्यक्षमतेने करण्याची संधी मिळाली आहे. ड्रोनचा वापर पिकांच्या आरोग्याचे निरीक्षण करण्यासाठी केला जातो. हे उच्च-रिझोल्यूशन कॅमेरे आणि इन्फ्रारेड सेन्सर्ससह सुसज्ज असतात, जे शेतकऱ्यांना पिकांच्या वाढीच्या स्थितीवर सुस्पष्ट माहिती प्रदान करतात. यामुळे पिकांचे आरोग्य, खतांची गरज, आणि जलस्रोतांचे व्यवस्थापन याबाबत योग्य निर्णय घेणे सुलभ होते. याशिवाय, ड्रोनचा वापर कीड आणि रोग नियंत्रणासाठी देखील केला जातो. ड्रोनद्वारे शेतात कीड किंवा रोगांच्या उपस्थितीची लवकर माहिती मिळवली जाऊ शकते, ज्यामुळे शेतकऱ्यांना त्वरित उपाययोजना करण्याची संधी मिळते. यामुळे उत्पादनाची गुणवत्ता आणि प्रमाण वाढते.

ड्रोनच्या वापरामुळे वेळ आणि श्रमाची बचत होते. पारंपरिक पद्धतींमध्ये शेतांची पाहणी करण्यासाठी अनेक तास लागतात, परंतु ड्रोनच्या साहाय्याने हे काम काही मिनिटांत पूर्ण केले जाऊ शकते. यामुळे शेतकऱ्यांना त्यांच्या इतर कामांवर लक्ष केंद्रित करण्याची संधी मिळते. ड्रोन तंत्रज्ञानामुळे शेतकऱ्यांना अधिक सुसंगत आणि टिकाऊ कृषी पद्धती अवलंबण्यास मदत होते. यामुळे पर्यावरणीय प्रभाव कमी होतो आणि संसाधनांचा अधिक प्रभावी वापर केला जातो. एकूणच, ड्रोनच्या वापरामुळे कृषी क्षेत्रात उत्पादनक्षमता वाढवणे, खर्च कमी करणे आणि पर्यावरणाचे संरक्षण करणे यासारखे अनेक फायदे मिळतात.

#### कृषी ड्रोनचा वापर:

माती आणि फील्ड विश्लेषण: ड्रोन शेतांवरून उडू शकतात आणि उच्च-रिझोल्यूशन प्रतिमा कॅप्चर करू शकतात, जे माती आणि जमिनीच्या परिस्थितीचे तपशीलवार नकाशे तयार करण्यात मदत करतात. हा डेटा शेतकऱ्यांना मातीचे आरोग्य, आर्द्रता पातळी आणि पोषक घटकांचे विश्लेषण करण्यास अनुमती देतो, ज्यामुळे त्यांना चांगल्या पीक व्यवस्थापनासाठी माहितीपूर्ण निर्णय घेण्यात मदत होते.

- क्रॉप मॉनिटरिंग:** इन्फ्रारेड किंवा थर्मल सारख्या वेगवेगळ्या स्पेक्ट्रममधील प्रतिमा कॅप्चर करून पिकांच्या आरोग्यावर लक्ष ठेवण्यासाठी ड्रोनचा वापर केला जातो. हे शेतकऱ्यांना रोग, कीटकांचा प्रादुर्भाव किंवा वनस्पतींमधील तणावाची प्रारंभिक चिन्हे शोधण्यास अनुमती देते, कोणत्याही समस्यांचे त्वरित निराकरण

केले जाईल याची खात्री करून.

- ii. **प्लान्टेशन:** ड्रोन मोठ्या भागात बिया पसरवून लागवडीच्या प्रक्रियेत देखील मदत करू शकतात. ही पद्धत विशेषतः पुनर्वनीकरणात किंवा ज्या ठिकाणी पारंपारिक लागवड करणे कठीण होईल अशा ठिकाणी, प्रक्रियेला गती देण्यासाठी आणि वितरण सुनिश्चित करण्यासाठी उपयुक्त आहे.
- iii. **पीक फवारणी:** फवारणी करणाऱ्यांनी सुसज्ज ड्रोन आवश्यकतेनुसार खते, कीटकनाशके आणि तणनाशके अचूकपणे लागू करू शकतात, वापरलेल्या रसायनांचे प्रमाण कमी करतात आणि अपव्यय रोखतात. हे अधिक पर्यावरणास अनुकूल असताना चांगले पीक संरक्षण आणि निरोगी उत्पादन सुनिश्चित करते.

### 5.3.1 माती आणि फील्ड विश्लेषण (Soil and Field Analysis)

शेतकऱ्यांना उच्च-गुणवत्तेचा, रिअल-टाइम डेटा प्रदान करून माती आणि क्षेत्र विश्लेषणामध्ये कृषी ड्रोन महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावतात. मातीच्या विश्लेषणाच्या पारंपारिक पद्धती वेळखाऊ आणि महाग असू शकतात, परंतु ड्रोन जलद आणि अधिक किफायतशीर उपाय देतात. ते कसे कार्य करतात ते खालील प्रमाणे आहे

- i. **उच्च-रिझोल्यूशन इमेजिंग:** ड्रोन उच्च-रिझोल्यूशन कॅमेरे आणि सेन्सर्स (जसे की मल्टीस्पेक्ट्रल आणि थर्मल कॅमेरे) ने सुसज्ज आहेत जे वरून माती आणि पिकांच्या तपशीलवार प्रतिमा कॅप्चर करतात. या प्रतिमा मातीच्या पोत, आर्द्रतेची पातळी आणि पिकाच्या वाढीवर परिणाम करणारे इतर महत्त्वाचे घटक दर्शवू शकतात.
- ii. **फील्ड नकाशे तयार करणे:** ड्रोनद्वारे कॅप्चर केलेल्या प्रतिमांवर फील्डचे अचूक, तपशीलवार नकाशे तयार करण्यासाठी सॉफ्टवेअर वापरून प्रक्रिया केली जाऊ शकते. हे नकाशे विशेष लक्ष देण्याची गरज असलेली क्षेत्रे ओळखण्यात मदत करतात. उदाहरणार्थ, काही भागात जमिनीची सुपीकता चांगली असू शकते, तर इतरांना अधिक सिंचन किंवा विशिष्ट पोषक तत्वांची आवश्यकता असू शकते.
- iii. **मृदा(माती)आरोग्य निरीक्षण:** मल्टीस्पेक्ट्रल सेन्सर असलेले ड्रोन मातीच्या रंगात फरक शोधू शकतात आणि वनस्पती, जी मातीच्या आरोग्याशी जोडली जाऊ शकते. खराब माती असलेल्या भागात पिकांमध्ये तणावाची चिन्हे दिसू शकतात. या नमुन्यांचे विश्लेषण करून, शेतकरी मातीची गुणवत्ता कोठे सुधारायची हे ठरवू शकतात, जसे की सेंद्रिय पदार्थ जोडणे किंवा pH पातळी समायोजित करणे.
- iv. **आर्द्रता आणि पोषकद्रव्यांचे निरीक्षण:** ड्रोनवरील थर्मल कॅमेरे शेतातील तापमानातील फरक शोधू शकतात, जे जमिनीतील आर्द्रतेच्या पातळीतील फरक दर्शवू शकतात. हे शेतकऱ्यांना शेताचे कोणते भाग संपले आहेत किंवा कमी पाणी आहे याचे मूल्यांकन करण्यास अनुमती देते. याव्यतिरिक्त, इतर सेन्सर्ससह सुसज्ज ड्रोन जमिनीतील पोषक तत्वांची उपस्थिती ओळखू शकतात, ज्यामुळे खतांचा वापर ऑप्टिमाइझ करण्यात मदत होते.
- v. **कार्यक्षम संसाधन वाटप (Efficient Resource Allocation):** तपशीलवार माती आणि फील्ड डेटासह, शेतकरी क्षेत्रासाठी "प्रिस्क्रिप्शन नकाशा" तयार करू शकतात. हा नकाशा पाणी, खते किंवा कीटकनाशके यासारख्या विशिष्ट संसाधनांची आवश्यकता कुठे आहे हे सूचित करतो. हा लक्षित दृष्टिकोन शेतकऱ्यांना फक्त आवश्यक ठिकाणी संसाधने वापरण्याची खात्री करतो, ज्यामुळे वाया जाणे कमी होते आणि कार्यक्षमता वाढते.

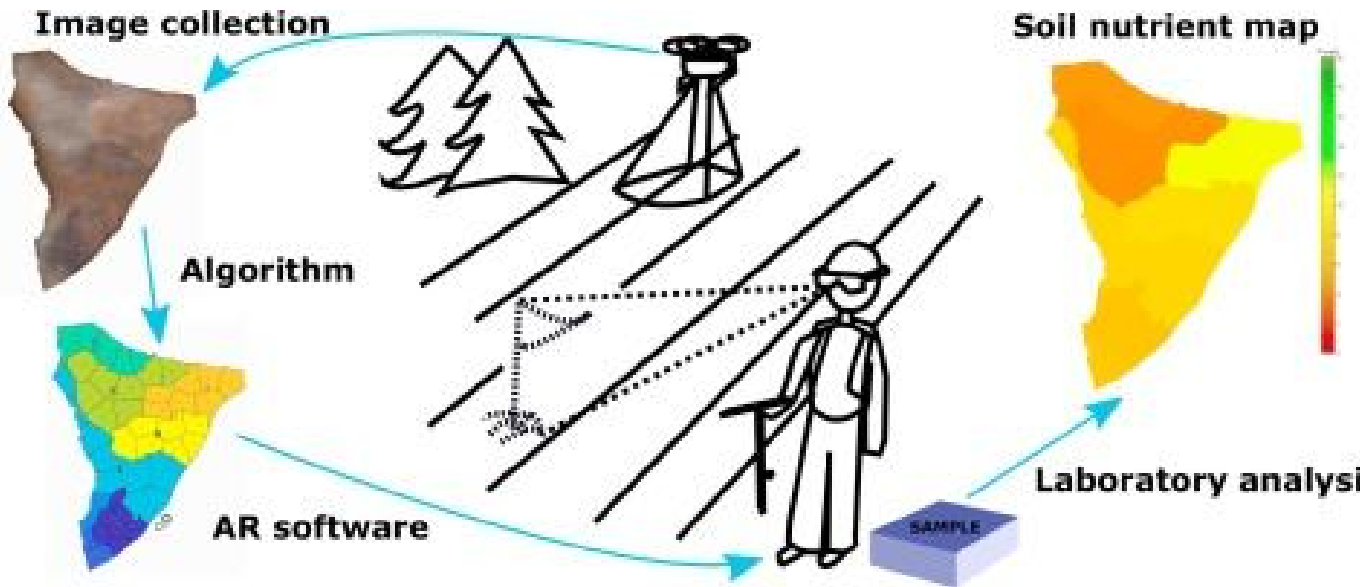


Fig. 5.7 Soil Analysis

**5.3.2 पिक निरीक्षण:** पिक निरीक्षण हे कृषी ड्रोनचे एक महत्वाचे कार्य आहे. ड्रोन शेतकऱ्यांना त्यांच्या पिकांवर लक्ष ठेवण्यास मदत करतात, पारंपरिक पद्धतींमुळे गोळा करणे कठीण असलेल्या सखोल माहिती प्रदान करतात. ड्रोन पिक निरीक्षणात खालील प्रकारे मदत करतात:

- उच्च-रिजोल्यूशन इमेजिंग:** उच्च-रिजोल्यूशन कॅमेऱ्यांनी सुसज्ज असलेले ड्रोन हवेतील पिकांचे तपशीलवार चित्रण करतात. हे चित्र अनेक स्पेक्ट्रममध्ये घेतले जातात, जसे की दृश्यमान प्रकाश, इन्फ्रारेड आणि थर्मल, ज्यामुळे शेतकऱ्यांना पिकांना विविध कोनातून निरीक्षण करण्यास आणि त्यांच्या आरोग्यावर अधिक अचूक डेटा गोळा करण्यास मदत होते.
- वनस्पती निर्देशांक नकाशा तयार करणे:** ड्रोन वनस्पती निर्देशांक जसे की सामान्यीकृत फरक वनस्पती निर्देशांक (NDVI) (Normalized Difference Vegetation Index) मोजण्यासाठी संवेदकांचा वापर करतात. NDVI नकाशे दर्शवतात की पिके किती आरोग्यदायी आहेत, यावर आधारित की ती प्रकाश कशी परावर्तित करतात. आरोग्यदायी वनस्पती अधिक इन्फ्रारेड प्रकाश परावर्तित करतात, तर ताणलेल्या वनस्पती (रोग, कीड हल्ला किंवा पोषणाच्या अभावामुळे) कमी इन्फ्रारेड प्रकाश परावर्तित करतात. NDVI कडून त्या क्षेत्रांची ओळख पटवली जाते जिथे पिके संघर्ष करत आहेत, ज्यामुळे शेतकऱ्यांना तात्काळ उपाययोजना घेण्यास मदत होते.
- ताण घटकांचे लवकर निदान (Early Detection of Stress Factors):** ड्रोन-आधारित पिक निरीक्षणाचा सर्वात मोठा फायदा म्हणजे समस्या लवकर ओळखण्याची क्षमता. ड्रोन पिकांमध्ये ताणाची लवकरची चिन्हे ओळखू शकतात, ज्या उघड्या डोळ्यांना दिसत नाहीत, जसे की पानांच्या रंगात थोडे बदल, झुकणे किंवा आर्द्रता ताण. समस्यांचे लवकर निदान करून, शेतकऱ्यांना व्यापक होण्यापूर्वी हस्तक्षेप करण्याची संधी मिळते, ज्यामुळे वेळ वाचतो आणि पिकांच्या नुकसानीत कमी येते.
- रोग आणि कीटक शोधणे:** इन्फ्रारेड आणि मल्टीस्पेक्ट्रल सेन्सर वापरून, ड्रोन वनस्पती रोग आणि कीटकांचा प्रादुर्भाव पृष्ठभागावर दिसण्यापूर्वी ओळखू शकतात. हे सेन्सर वनस्पतींमध्ये तापमान आणि आर्द्रता बदल शोधू शकतात, जे बहुतेक वेळा कीटक किंवा रोगजनकांमुळे होणाऱ्या ताणाचे सूचक असतात. या लवकर शोधामुळे शेतकऱ्यांना कीटकनाशके किंवा इतर उपचारांसह समस्या असलेल्या क्षेत्रांना लक्ष्य करता येते, ज्यामुळे व्यापक फवारणीची गरज कमी होते आणि पर्यावरणावरील प्रभाव कमी होतो.
- ग्रोथ मॉनिटरिंग:** ड्रोन कालांतराने पिकांच्या वाढीच्या प्रगतीचा मागोवा घेऊ शकतात. पीक चक्राच्या वेगवेगळ्या टप्प्यांवर प्रतिमा कॅप्चर करून, ड्रोन शेतकऱ्यांना पिके किती चांगली वाढत आहेत आणि काही विलंब किंवा विसंगती आहेत हे समजण्यास मदत करू शकतात. हा डेटा शेतकऱ्यांना सिंचन वेळापत्रक, पोषक तत्वांचा वापर

आणि इतर व्यवस्थापन पद्धती समायोजित करण्यास मदत करतो जेणेकरून पिके एकसमान आणि त्यांच्या प्रमाणात वाढतात

- vi. **उत्पन्नाचा अंदाज:** ड्रोन संपूर्ण हंगामात वनस्पतींची घनता, आरोग्य आणि वाढीच्या पद्धतींचे निरीक्षण करून पीक उत्पादनाचा अंदाज लावण्यास मदत करू शकतात. वेगवेगळ्या वेळी घेतलेल्या प्रतिमांची तुलना करून, शेतकरी पिकाच्या एकूण कामगिरीचे मूल्यांकन करू शकतात आणि संभाव्य उत्पन्नाचा अंदाज लावू शकतात. कापणी लॉजिस्टिक्सचे नियोजन, विपणन आणि पुरवठा साखळी कार्यक्षमता सुनिश्चित करण्यासाठी ही मौल्यवान माहिती आहे.

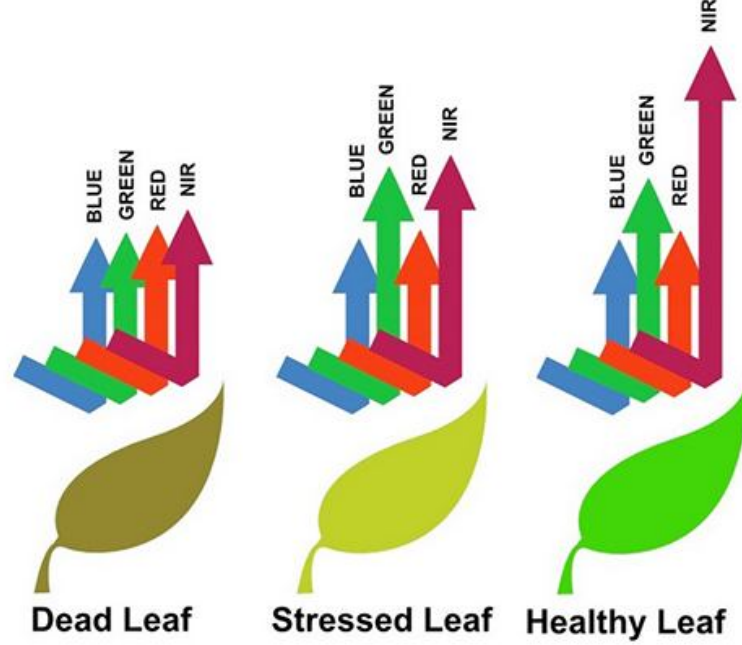


Fig.5.8 Crop Monitoring

### 5.3.3 प्लांटेशन:

कृषी ड्रोन (Agricultural drones) ने लागवडीची प्रक्रिया अधिक कार्यक्षम आणि सुलभ बनवली आहे, विशेषतः मोठ्या प्रमाणावर लागवड करण्यासाठी किंवा दुर्गम ठिकाणी (पोहोचू शकत नाही अशा भागात). लागवडीसाठी ड्रोनचा वापर कसा केला जातो याचा सविस्तर आढावा येथे आहे.

- सीड ड्रॉपिंग मेकॅनिझम:** ड्रोन विशेष बियाणे सोडण्याच्या तंत्रज्ञानाने सुसज्ज आहेत जे त्यांना मोठ्या भागात बियाणे पेरण्याची परवानगी देतात. ड्रोन शेतावर उडतो आणि ठराविक अंतराने बिया सोडतो, समान वितरण सुनिश्चित करतो. बिया एकतर जमिनीत टाकल्या जातात किंवा जमिनीवर विखुरल्या जातात जेथे ते माती किंवा पावसाने उचलले जाऊ शकतात.
- पुनर्वनीकरण आणि मोठ्या प्रमाणावर वन लागवड:** ड्रोनचा मोठ्या प्रमाणावर वनीकरण प्रकल्पांमध्ये वापर केला जातो, जेथे मोठ्या प्रमाणात जमिनीची झाडे लावणे आवश्यक आहे. झाडे लावण्याच्या पारंपारिक पद्धती संध, श्रम-केंद्रित आणि महाग असू शकतात. ड्रोनसह, अल्पावधीत मोठ्या प्रमाणात झाडांच्या बिया पेरल्या जाऊ शकतात, ज्यामुळे पुनर्वनीकरणाचे प्रयत्न जलद आणि अधिक किफायतशीर होतात.
- सुधारित बियाणे अंकुरण (Improved Seed Germination):** ड्रोन केवळ बिया यादृच्छिकपणे (Randomly) विखुरत नाहीत; बियाणे इष्टतम खोली, अंतर आणि स्थानावर लावले जातील याची खात्री करण्यासाठी ते प्रोग्राम केले जाऊ शकतात. यामुळे यशस्वी उगवण आणि झाडांची चांगली वाढ होण्याची शक्यता वाढते.

### 5.3.4 पीक फवारणी:

आधुनिक शेतीमध्ये ड्रोन करत असलेल्या सर्वात सामान्य आणि महत्वाच्या कामांपैकी एक पीक फवारणी आहे. ड्रोन पिकांवर कीटकनाशके, खते, तणनाशके आणि इतर रसायने अचूकपणे लागू करू शकतात, ज्यामुळे पीक आरोग्य सुधारण्यास, कीटकांपासून वनस्पतींचे संरक्षण करण्यात आणि संसाधनांचा वापर अनुकूल करण्यात मदत होते. खालीलप्रमाणे पीक फवारणीसाठी ड्रोनचा वापर केला जातो

- i. **अचूक फवारणी:** स्प्रे टाक्या आणि नोझल्सने सुसज्ज ड्रोन, खते आणि कीटकनाशके जिथे आवश्यक आहेत तिथे द्रव वापरण्यास सक्षम आहेत. ड्रोनचे ऑनबोर्ड GPS आणि सेन्सर त्याला नियंत्रित आणि अचूक पद्धतीने शेतावर उड्डाण करण्यास अनुमती देतात, हे सुनिश्चित करतात की स्प्रे पिकांवर समान रीतीने वितरीत केले जाते. या अचूकतेच्या पातळीमुळे वाया जाणारी सामग्री कमी होते आणि अधिक किंवा कमी स्प्रे करण्याचा धोका कमी होतो.
- ii. **कमी रासायनिक वापर:** पारंपारिक पीक फवारणी पद्धती, जसे की ग्राउंड स्प्रेअर किंवा एरियल ट्रॅक्टर वापरणे, रसायनांचा अतिवापर होऊ शकतो, जे पर्यावरणासाठी हानिकारक असू शकते आणि शेतीचा खर्च वाढू शकते. ड्रोन त्यांना आवश्यक असलेल्या विशिष्ट भागात योग्य प्रमाणात रसायने लागू करून मदत करतात. या लक्षित फवारणीमुळे वापरल्या जाणाऱ्या रसायनांचे एकूण प्रमाण कमी होते, ज्यामुळे शेती अधिक टिकाऊ आणि किफायतशीर बनते.
- iii. **फील्ड्सचे उत्तम कवरेज:** ड्रोन मोठ्या शेतांवरून वेगाने उडू शकतात आणि झाडे, इमारती किंवा असमान भूभाग यासारख्या अडथळ्यांभोवती सहजपणे नेव्हिगेट करू शकतात. जमिनीवर आधारित उपकरणांच्या विपरीत, ड्रोनला अडकण्याची किंवा कठीण भूभागाशी संघर्ष करण्याची काळजी करण्याची गरज नाही. हे ड्रोन विशेषतः डोंगराळ भाग किंवा पूरग्रस्त शेतांसारख्या शेतात प्रवेश करणे कठीण असलेल्या फील्डसाठी उपयुक्त बनवते.
- iv. **कठीण परिस्थितीत फवारणी करण्याची क्षमता:** इतर यंत्रसामग्री कुचकामी असू शकते अशा परिस्थितीत ड्रोन देखील वापरले जाऊ शकतात. उदाहरणार्थ, पीक वाढीच्या सुरुवातीच्या काळात, पारंपारिक स्प्रेअर ऑपरेट करण्यासाठी फील्ड खूप ओले किंवा चिखलमय असू शकतात. ड्रोन, हलके आणि अष्टपैलू असल्याने, पिकांना वेळेवर आवश्यक उपचार मिळतील याची खात्री करून. अशा परिस्थितीत कार्य करू शकतात.
- v. **रिअल-टाइम मॉनिटरिंग आणि ऍडजस्टमेंट:** ड्रोन कॅमेरे आणि सेन्सर्सने सुसज्ज आहेत जे शेतकऱ्यांना फवारणी करताना रिअल-टाइममध्ये शेताचे निरीक्षण करण्यास अनुमती देतात. हे फवारणी प्रभावी आहे की नाही किंवा कोणत्याही भागात अधिक लक्ष देण्याची गरज आहे का हे शेतकऱ्यांना पाहण्यास मदत करते. ड्रोनला काही भाग चुकले आहेत किंवा पुरेशी फवारणी केली गेली नाही हे आढळल्यास, संपूर्ण कवरेज सुनिश्चित करण्यासाठी ड्रोन समायोजित केले जाऊ शकते.



Fig. 5.9 Crop Spraying

### 5.3.5 ड्रोनचे फायदे:

- किफायतशीर: ड्रोन महाग उपकरणे आणि हाताने काम करणाऱ्या कामगारांची जागा घेऊन कार्यशील खर्च कमी करतात.
- कार्यक्षमता आणि गती: ड्रोन कार्ये त्वरीत पूर्ण करतात, वेळेची बचत करतात आणि उत्पादकता वाढवतात.
- अचूकता आणि अचूकता: ड्रोन उच्च अचूकतेसह, कचरा आणि त्रुटी कमी करून कार्ये करतात.
- पोहोचण्यास कठीण भागात प्रवेश: ड्रोन सहजपणे कठीण किंवा धोकादायक ठिकाणी पोहोचू शकतात.
- सुरक्षितता आणि जोखीम कमी करणे: ड्रोन मानवी कामगारांना धोक्यात न ठेवता धोकादायक कार्ये करतात.
- रिअल-टाइम डेटा संकलन: ड्रोन द्रुत विश्लेषण आणि कृतीसाठी त्वरित डेटा कॅप्चर करतात.
- ऍप्लिकेशन्समधील लवचिकता: ड्रोनचा वापर विविध कामांसाठी अनेक उद्योगांमध्ये केला जाऊ शकतो.
- पर्यावरणीय प्रभाव कमी करणे: ड्रोन शेतीतील रासायनिक वापर आणि प्रदूषण कमी करण्यास मदत करतात.
- सुधारित डेटा आणि विश्लेषण: ड्रोन चांगल्या निर्णय घेण्यासाठी आणि देखरेखीसाठी तपशीलवार डेटा गोळा करतात.

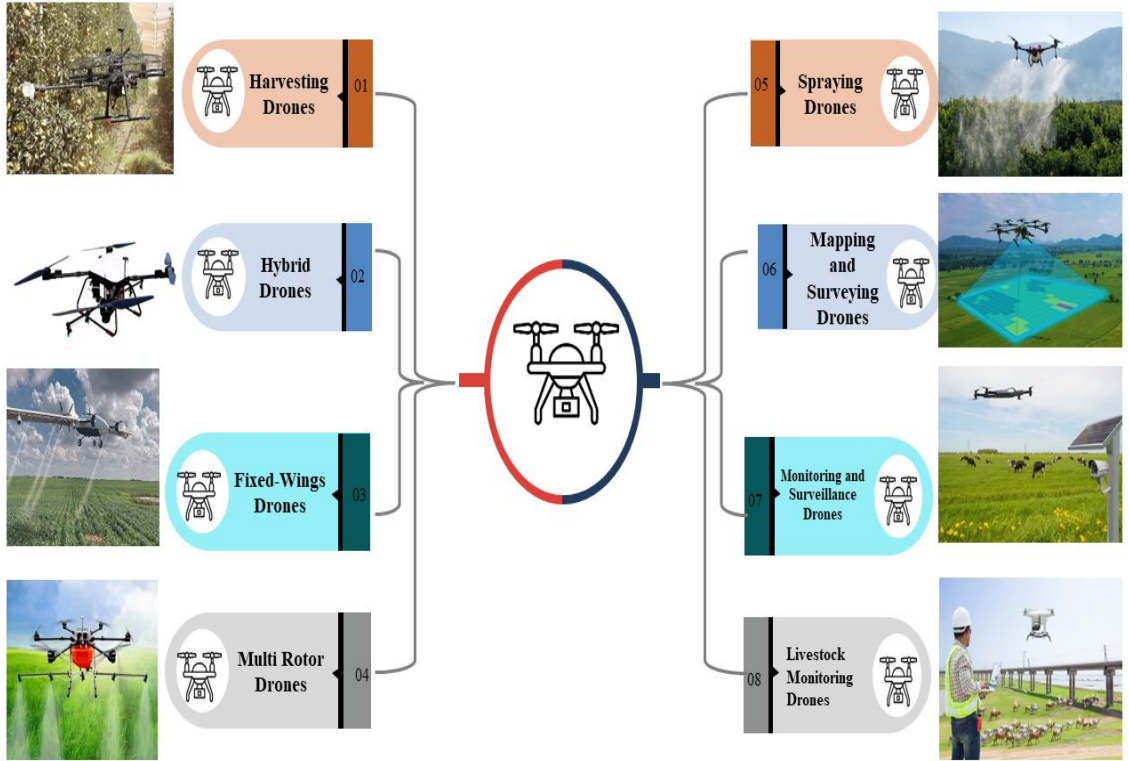


Fig. 5.10 Diverse Drone Solutions: Transforming Agriculture

### ड्रोन वापरासाठी सरकारी योजना:

किसान ड्रोन सबसिडी प्रोग्राम, ज्याला सब-मिशन ऑन अॅग्रिकल्चरल मेकॅनायझेशन Sub-Mission on Agricultural Mechanization (SMAM) म्हणूनही ओळखले जाते, ड्रोन खरेदीसाठी शेतकऱ्यांना आर्थिक सहाय्य प्रदान करते. हा कार्यक्रम शेतकऱ्यांचा प्रकार आणि ड्रोनच्या मालकीच्या आधारावर वेगवेगळ्या प्रमाणात मदत देतो:

- शेतकरी, एफपीओ (Farmer Producer Organization) आणि ग्रामीण उद्योजकांची सहकारी संस्था: ड्रोन खरेदीसाठी सीएचसीला 4 लाख रुपये मिळू शकतात
- कृषी पदवीधरांना ड्रोन खरेदीसाठी 5 लाख रुपये मिळू शकतात, जे खर्चाच्या 50% आहे
- लहान आणि सीमांत, अनुसूचित जाती/अनुसूचित जमाती, महिला आणि ईशान्य राज्यातील शेतकरी: ड्रोन

- खरेदीसाठी 5 लाख रुपये मिळू शकतात, जे खर्चाच्या 50% आहे
- iv. इतर शेतकऱ्यांना ड्रोन खरेदीसाठी 4 लाख रुपये मिळू शकतात, जे खर्चाच्या 40% आहे
  - v. हा कार्यक्रम फार्म मशिनरी ट्रेनिंग अँड टेस्टिंग इन्स्टिट्यूट (FMTT), ICAR (Indian Council of Agricultural Research) संस्था, कृषी विज्ञान केंद्रे आणि राज्य कृषी विद्यापीठांना 10 लाख रुपयांपर्यंत किंवा कृषी ड्रोनच्या किमतीच्या 100% अनुदान देखील प्रदान करतो.
  - vi. भारत सरकारने शेतकऱ्यांसाठी ड्रोन तंत्रज्ञानाला पाठिंबा देण्यासाठी धोरणे लागू केली आहेत, ज्यात NaMo ड्रोन दीदी योजनेचा समावेश आहे, जी 2024–2026 पासून महिला स्वयं-मदत गटांना (SHGs) 15,000 ड्रोन प्रदान करेल.

### 5.3.6 ड्रोन वापरासाठी सरकारी योजना

#### 1. प्रधानमंत्री कृषी सिंचन योजना (PMKSY):

उद्देश: सिंचन प्रणाली आणि कृषी उत्पादकता सुधारण्याचे उद्दिष्ट.

ड्रोनचा वापर: ड्रोनचा वापर माती आणि क्षेत्र विश्लेषण, पीक निरीक्षण आणि सिंचन प्रणाली व्यवस्थापनासाठी शेतकऱ्यांना पाण्याचा वापर अनुकूल करण्यात आणि पीक उत्पादन सुधारण्यास मदत करण्यासाठी केला जातो.

#### 2. राष्ट्रीय कृषी बाजार (e-NAM):

उद्देश: शेतकऱ्यांसाठी उत्तम बाजारपेठ जोडणे सुलभ करते.

ड्रोनचा वापर: पीक उत्पादन अनुकूल करण्यासाठी आणि बाजारपेठेतील प्रवेश सुधारण्यासाठी शेतकरी आणि व्यापाऱ्यांना अचूक डेटा प्रदान करण्यासाठी पीक आरोग्य निरीक्षण आणि पाळत ठेवण्यासाठी ड्रोनचा वापर केला जातो.

#### 3. किसान ड्रोन योजना:

उद्देश: शेतीमध्ये ड्रोनच्या वापरास प्रोत्साहन देण्यासाठी सरकारी उपक्रम.

ड्रोनचा वापर: ही योजना शेतकऱ्यांना कीटकनाशके, खते आणि तणनाशकांची फवारणी करण्यासाठी ड्रोन वापरण्यास प्रोत्साहित करते. यामध्ये ड्रोन खरेदीसाठी सबसिडी, शेतकऱ्यांची किंमत कमी करणे यांचाही समावेश आहे.

#### 4. आत्मनिर्भर भारत योजना:

उद्देश: तंत्रज्ञान आणि नवकल्पना यासह विविध क्षेत्रांमध्ये आत्मनिर्भरता वाढवते.

ड्रोनचा वापर: कृषी, संरक्षण आणि व्यावसायिक हेतूसाठी ड्रोनच्या वापरासह भारतात ड्रोनच्या विकासास आणि उत्पादनास समर्थन देते. देशांतर्गत ड्रोन इकोसिस्टम तयार करण्याचेही या योजनेचे उद्दिष्ट आहे.

#### 5. डिजिटल स्काय प्लॅटफॉर्म:

उद्देश: भारतात ड्रोन ऑपरेशन्सचे नियमन करते.

ड्रोन वापर: हे प्लॅटफॉर्म कृषी, वितरण सेवा आणि पाळत ठेवणे यासारख्या विविध क्षेत्रांमध्ये ड्रोनच्या ऑपरेशनला समर्थन देण्यासाठी डिझाइन केलेले आहे. भारतीय हवाई क्षेत्रात ड्रोनच्या सुरक्षित ऑपरेशनसाठी नियामक फ्रेमवर्क स्थापित करणे हे त्याचे उद्दिष्ट आहे.

#### 6. ड्रोन उत्पादनासाठी एफडीआय धोरण:

उद्देश: देशांतर्गत उद्योगाला चालना देण्यासाठी ड्रोन उत्पादनात थेट विदेशी गुंतवणुकीला (Foreign Direct Investment) (FDI) परवानगी देते.

ड्रोन वापर: ही योजना ड्रोन तंत्रज्ञान आणि उत्पादनामध्ये परदेशी गुंतवणुकीला प्रोत्साहन देते, ज्यामुळे कृषी, संरक्षण आणि लॉजिस्टिक्समध्ये नावीन्य आणि सुधारित ड्रोन क्षमता निर्माण होते.

#### 7. ड्रोन शक्ती योजना:

उद्देश: कृषी आणि ग्रामीण भागात ड्रोनच्या वापरास प्रोत्साहन देणे हे उद्दिष्ट आहे.

ड्रोनचा वापर: हे पीक निरीक्षण, माती चाचणी आणि फवारणी यासारख्या कामांमध्ये ड्रोन वापरण्यासाठी शेतकरी आणि कृषी स्टार्ट-अपना आर्थिक सहाय्य आणि प्रोत्साहन प्रदान करते.

**8. नागरी विमान वाहतूक मंत्रालयाचे ड्रोन धोरण:**

उद्देश: विविध व्यावसायिक आणि गैर-व्यावसायिक अनुप्रयोगांसाठी ड्रोनच्या वापराचे नियमन करते.

ड्रोन वापर: सुरक्षितता आणि गोपनीयता सुनिश्चित करताना कृषी, वितरण, पाळत ठेवणे आणि मॅपिंगसह सर्व क्षेत्रांमध्ये ड्रोन ऑपरेशनसाठी मार्गदर्शक तत्त्वे प्रदान करते.

**9. पंतप्रधान गती शक्ती राष्ट्रीय मास्टर प्लॅन (PM Gati Shakti National Master Plan)**

उद्देश: भारतातील पायाभूत सुविधा आणि रसद सुधारण्याचे उद्दीष्ट.

ड्रोन वापर: लॉजिस्टिक आणि वाहतुकीसाठी ड्रोनच्या वापरास प्रोत्साहन देते, विशेषतः दुर्गम किंवा पोहोचण्यास कठीण भागात, जलद वितरण आणि कार्यक्षम पुरवठा साखळी सुनिश्चित करणे.

**References:**

- 1) <https://www.istockphoto.com/search/2/film?family=creative&phrase=smart%20farming>
- 2) <https://www.youtube.com/watch?v=IoWPkpe4jw>
- 3) <https://howtorobot.com/expert-insight/harvesting-robots>
- 4) <https://www.agritech.com/blog/exploring-the-future-of-agriculture-a-deep-dive-into-robots>

**Exercise****TLO5.1 Explain the role of automation in an agricultural field.**

[1] The role of AI and machine learning tools in agriculture is -----

- A) Predicting optimal planting times and detecting potential risks from pests.
- B) Monitoring livestock health and managing crop logistics.
- C) Analysing soil composition and irrigation requirements.
- D) Enhancing weather forecasting for farming.

**TLO 5.2 Describe the benefits of automated farm equipment.**

[2] One of the following type of robots monitor crop conditions and independently applies fertilizers in agriculture

- A) Flying Robots
- B) Fruit Picking Robots
- C) Cattle Grazing Robots
- D) Robot Drones

[3] These robots measure moisture levels, nutrient content, and soil composition to optimize irrigation and fertilizer use.

- A) Aerial Drones for Crop Health Monitoring
- B) Ground-Based Monitoring Robots
- C) Disease and Pest Detection Robots
- D) Soil and Irrigation Monitoring Robots

[4] In remote monitoring and control, farmers can track and control tractors remotely using

- A) Smartphones
- B) Keyboard
- C) Joystick
- D) Radio

**TLO 5.4 Describe the applications and advantages of using drones in the agriculture sector.**

[1] One of the following technologies is used to analyze plant needs and administer the exact amount of fertilizer or herbicides required

- A) GPS Technology
- B) IoT-based Sensors**
- C) Artificial Intelligence
- D) Flying Robots

**TLO 5.5 ----- is a significant features of government schemes supporting drone usage in the agricultural field.**

**[1] Regarding the NAMO Drone Didi Scheme (Drone Shakti Scheme) consider the following statements:**

1. The scheme aims to establish India as a global leader in drone technology.
2. The scheme is primarily focused on providing financial assistance to women entrepreneurs.

Select the correct answer using the codes given below:

- A) 1 only
- B) 2 only
- C) Both 1 & 2
- D) Neither 1 nor 2**

**[2] In SMAM scheme The Government of India will provide grants of ----- rupees or 100% cost of agricultural drones, whichever is less.**

- A) 10 lakh**
- B) 20 lakh
- C) 30 lakh
- D) 50 lakh

**[3] ----- of the following is not a function of a drone in agriculture**

- A) Harvesting**
- B) Pest control
- C) Irrigation
- D) Soil monitoring