

हरित कृत्रिम बुद्धिमत्ता (Green AI): शाश्वत संगणनाची गरज आणि भविष्यातील दिशा

डॉ. तेजश्री राहुल हुंबे

सहा. प्राध्यापक, भूगोलशास्त्र विभाग

विश्वासराव रणसिंग महाविद्यालय, कळंब-वालचंदनगर

ता. इंदापूर, जि. पुणे

Mobile No. - 9421893283

EmailId. -humbetejashri@gmail.com

गोषवारा :

कृत्रिम बुद्धिमत्ता (Artificial Intelligence – AI) ही आधुनिक युगातील परिवर्तनकारी तंत्रज्ञानांपैकी एक सर्वाधिक प्रभावी तंत्रज्ञान प्रणाली ठरली आहे. आरोग्य, कृषी, उद्योग, वित्त, शिक्षण, हवामान विज्ञान आणि स्मार्ट पायाभूत सुविधा अशा विविध क्षेत्रांमध्ये AI ने कार्यक्षमता, अचूकता आणि निर्णयप्रक्रियेची गुणवत्ता लक्षणीयरीत्या सुधारली आहे. औद्योगिक स्वयंचलन, भविष्यवेधी विश्लेषण, बुद्धिमान निर्णयप्रक्रिया आणि मानव- यंत्र संवाद या क्षेत्रांमध्ये तिचा व्यापक वापर होत आहे. विशेषतः डीप लर्निंग, मोठ्या भाषा मॉडेल्स (Large Language Models) आणि बिग डेटा विश्लेषण यांमुळे AI प्रणालींनी अभूतपूर्व कार्यप्रदर्शन साध्य केले आहे. तथापि, या प्रगतीसाठी आवश्यक असलेली प्रचंड संगणकीय क्षमता आणि डेटा प्रक्रिया मोठ्या प्रमाणावर ऊर्जा वापर आणि कार्बन उत्सर्जन वाढवित आहे.

AI प्रणालींच्या प्रशिक्षण आणि अंमलबजावणी प्रक्रियेत वापरली जाणारी वीज प्रामुख्याने जीवाश्म इंधनांवर आधारित असल्यास त्याचा पर्यावरणावर प्रतिकूल परिणाम होतो. हवामान बदलाची तीव्रता वाढत असताना आणि शाश्वत विकास उद्दिष्टे (SDGs) जागतिक स्तरावर प्राधान्यक्रमात असताना, AI च्या पर्यावरणीय परिणामांचे चिकित्सक परीक्षण करणे अत्यावश्यक ठरते.

प्रस्तुत संशोधन लेखात हरित कृत्रिम बुद्धिमत्ता (Green AI) या शाश्वत संगणकीय संकल्पनेचा सखोल अभ्यास करण्यात आला आहे. या अभ्यासात तीन प्रमुख पैलूंवर लक्ष केंद्रित करण्यात आले आहे. पारंपरिक

AI प्रणालींचा पर्यावरणीय परिणाम, ऊर्जा-कार्यक्षम तांत्रिक उपाय, शाश्वत पायाभूत सुविधा, धोरणात्मक हस्तक्षेप आणि भविष्यातील संशोधन दिशा यांचे विश्लेषण करण्यात आले आहे. दुय्यम स्रोत तसेच गुणात्मक साहित्य विश्लेषणाच्या आधारे हा लेख असा युक्तिवाद मांडतो की शाश्वतता ही AI संशोधनाची पूरक बाब नसून मूलभूत डिझाइन तत्त्व असले पाहिजे. हरित AI ही केवळ तांत्रिक पर्याय नसून पर्यावरणीय, सामाजिक आणि नैतिक जबाबदारीची अनिवार्य दिशा आहे.

बीजसंज्ञा: हरित AI, शाश्वत संगणन, ऊर्जा कार्यक्षमता, कार्बन उत्सर्जन, जबाबदार कृत्रिम बुद्धिमत्ता, डेटा सेंटर शाश्वतता, GPU इत्यादी.

प्रस्तावना:

२१व्या शतकातील आधुनिक तांत्रिक क्रांतीची कृत्रिम बुद्धिमत्ता प्रणाली ही केंद्रस्थान बनले आहे. मशीन लर्निंग, डीप न्यूरल नेटवर्क्स, नैसर्गिक भाषा प्रक्रिया आणि संगणकीय दृष्टी यांसारख्या तंत्रज्ञानांनी मानवी निर्णयप्रक्रियेची पूरक आणि काही वेळा पर्यायी प्रणाली निर्माण केल्या आहेत. आरोग्य क्षेत्रात AI-आधारित निदान प्रणाली अनेक गंभीर रोगांचे प्रारंभिक निदान करतात; कृषी क्षेत्रात पिकांचे उत्पादन आणि हवामानाचा अंदाज सुधारतात; उद्योगात उत्पादन व्यवस्थापन आणि गुणवत्ता नियंत्रण अधिक प्रभावी बनवतात.

तथापि, AI प्रणालींच्या झपाट्याने झालेल्या वाढीमुळे संगणकीय संसाधनांची मागणी अभूतपूर्व प्रमाणात वाढली आहे. मोठ्या भाषा मॉडेल्स किंवा इमेज-आधारित डीप लर्निंग मॉडेल्सच्या प्रशिक्षणासाठी हजारो GPU(Graphics Processing Unit)आणि प्रचंड ऊर्जा आवश्यक असते. संशोधनानुसार, काही मोठ्या मॉडेल्सच्या प्रशिक्षणामुळे हजारो किलोग्रॅम कार्बन डायऑक्साइड उत्सर्जित होऊ शकतो.

इतिहासात AI संशोधनात अचूकता आणि कार्यक्षमता यांवर भर देण्यात आला. परंतु ऊर्जा वापर आणि कार्बन ठसा यांसारखे पर्यावरणीय घटक मूल्यांकन निकष म्हणून विचारात घेतले गेले नाहीत. परिणामी, AI च्या वाढत्या वापराचा पर्यावरणीय परिणाम गंभीर स्वरूप धारण करू लागला आहे.या पार्श्वभूमीवर पर्यावरणीय समस्यांचा विचार करता हरित AI या संकल्पनेवर प्रस्तुत शोधनिबंध लिहिण्याचा विचार पुढे आलेला आहे. AI प्रणालींच्या विकास, प्रशिक्षण आणि अंमलबजावणी करतानासमाजीक,राजकीय तसेच आर्थिकस्तरावर ऊर्जा-कार्यक्षमता, पारदर्शकता आणि पर्यावरणीय जबाबदारीवर भर देण्यास हा संशोधन लेख निश्चितच मदत करेल.

संशोधनाची उद्दिष्टे:

- 1) पारंपरिक AI प्रणालींच्या पर्यावरणीय परिणामांचे विश्लेषण करणे
- 2) ऊर्जा-कार्यक्षम AI तंत्रज्ञानाचे चिकित्सक मूल्यमापन करणे.
- 3) शाश्वत AI साठी आवश्यक धोरणात्मक व संस्थात्मक चौकट स्पष्ट करणे हा आहे.

संशोधन पद्धत:

या लेखात दुय्यम स्रोतांचा वापर करून गुणात्मक संशोधन पद्धतीचा अवलंब करण्यात आला आहे. शाश्वत संगणन, ऊर्जा वापर, कार्बन उत्सर्जन आणि AI तंत्रज्ञानाशी संबंधित आंतरराष्ट्रीय संशोधन लेख, तांत्रिक अहवाल आणि धोरणात्मक दस्तऐवज यांचे साहित्यिक विश्लेषण करण्यात आले. विविध अभ्यासांच्या तुलनात्मक विश्लेषणाद्वारे हरित AI च्या गरजेचा आणि परिणामकारक उपायांचा सुसंगत आढावा घेण्यात आला आहे.

पारंपरिक AI प्रणालीचा ऊर्जा व पर्यावरणीय परिणाम:

आजच्या काळात कृत्रिम बुद्धिमत्ता वापरामुळे पारंपरिक AI प्रणालींचा ऊर्जा वापर आणि पर्यावरणीय परिणाम हा गंभीर चिंतेचा विषय बनला आहे.

१. ऊर्जा वापरातील वाढ : पारंपरिक AI प्रणाली विशेषतः Deep Learning मॉडेल्स मोठ्या प्रमाणावर डेटा वापरून प्रशिक्षित केली जातात. यासाठी उच्च क्षमतेचे सर्व्हर, GPU आणि डेटा सेंटर्स लागतात. मोठ्या AI मॉडेल्सचे प्रशिक्षण अनेक दिवस किंवा आठवडे चालते. या प्रक्रियेत प्रचंड वीज वापरली जाते. वीज निर्मितीसाठी कोळसा, नैसर्गिक वायू यांसारखी जीवाश्म इंधने वापरली गेल्यास कार्बन उत्सर्जन वाढते. उदा. BERT सारख्या मध्यम आकाराच्या भाषा मॉडेल्स प्रशिक्षणासाठी अंदाजे १,००० ते १,५०० kWh (किलोवॉट-तास), GPT-3 सारख्या मोठ्या प्रमाणाचे प्रशिक्षणासाठी सुमारे १०,००,००० kWh (१ गिगावॉट-तास), GPT-4 सारख्या अतिविशाल प्रशिक्षणासाठी अंदाजे ५-५० दशलक्ष kWh-तासच्या दरम्यान ऊर्जा वापरण्यात येते.

२. कार्बन उत्सर्जन आणि हवामान बदल: डेटा सेंटर्समध्ये वापरली जाणारी वीज बहुधा पारंपरिक ऊर्जास्रोतांवर आधारित असते. त्यामुळे कार्बन डायऑक्साइड (CO₂) उत्सर्जन वाढते. हरितगृह वायूंचे प्रमाण

वाढते.जागतिक तापमानवाढीस चालना मिळते.AI मॉडेल्स जितके मोठे आणि जटिल असतील तितका त्यांचा पर्यावरणीय ठसा (Carbon Footprint) अधिक असतो.

३. डेटा सेंटर्सचे पाणी व संसाधन वापर:AI प्रणाली चालवण्यासाठी मोठे डेटा सेंटर्स आवश्यक असतात.सर्व्हर थंड ठेवण्यासाठी पाण्याचे प्रमाण त्यांचा आकार,तंत्रज्ञान,थंडकरण पद्धती आणि भौगोलिक स्थान यावर अवलंबून असते.मोठ्या हायपर स्केल डेटा सेन्टर्स जसेकी Google, Microsoft, Amazon Web Services या सारख्या सेन्टर्सला दररोज दहा ते ५० लाख लिटर किंवा त्यापेक्षा जास्त पाणी वापरले जाते.हार्डवेअर तयार करताना दुर्मिळ खनिजे आणि धातूंचा वापर होतो.जुन्या उपकरणांमुळे इलेक्ट्रॉनिक कचरा (E-waste) वाढतो.यामुळे नैसर्गिक संसाधनांवर ताण निर्माण होतो.

४. पर्यावरणीय असमतोल:विकसनशील देशांमध्ये स्वस्त ऊर्जा आणि मजुरीमुळे डेटा सेंटर्स उभारले जातात. याचास्थानिक पर्यावरणावर परिणाम होतो, जलस्रोतांवर ताण वाढतो,स्थानिक समुदायांवर आरोग्य व पर्यावरणीय परिणाम झालेले दिसून येतात.

ऊर्जा-कार्यक्षम AI साठी तांत्रिक उपाय:

ऊर्जा कार्यक्षम AI विकसित करण्यासाठी पुढील तांत्रिक उपाय महत्त्वाचे ठरतात:

१. मॉडेल ऑप्टिमायझेशन (Model Optimization): अनावश्यक पॅरामीटर्स कमी करून हलकी आणि कार्यक्षम मॉडेल्स तयार करणे.
२. नॉलेज डिस्टिलेशन (Knowledge Distillation): मोठ्या मॉडेलकडून लहान मॉडेलमध्ये ज्ञान हस्तांतरण करून कमी ऊर्जा लागणारे मॉडेल तयार करणे.
३. एज कम्प्युटिंग (Edge Computing): डेटा स्थानिक पातळीवर प्रक्रिया करून क्लाउडवरील भार कमी करणे.
४. ग्रीन डेटा सेंटर्स: सौर, पवन अशा नवीकरणीय ऊर्जेचा वापर करणे.
५. अल्गोरिदम सुधारणा: कमी गणनात्मक गुंतागुंत असलेले अल्गोरिदम विकसित करणे.
६. अर्ली स्टॉपिंग (Early Stopping): गरजेपुरतेच प्रशिक्षण देऊन ऊर्जा बचत करणे.

७. ट्रान्सफर लर्निंग: आधी प्रशिक्षित मॉडेल्स वापरून नव्याने प्रशिक्षणाची गरज कमी करणे.
 ८. डेटा कार्यक्षमतेवर भर: कमी पण गुणवत्तापूर्ण डेटा वापरणे.
 ९. कार्बन फुटप्रिंट मोजमाप: ऊर्जा वापराचे नियमित परीक्षण व विश्लेषण करणे.
 १०. सॉफ्टवेअर-हार्डवेअर समन्वय: प्रणालीची एकत्रित कार्यक्षमता वाढवणे.
- हे उपाय अवलंबल्यास AI प्रणाली अधिक शाश्वत, पर्यावरणपूरक आणि ऊर्जा कार्यक्षम बनू शकतात.

शाश्वत AI साठी धोरणात्मक आणि संस्थात्मक चौकट:

शाश्वत AI साठी केवळ तांत्रिक सुधारणा पुरेशा नाहीत; तर ठोस धोरणात्मक दिशा, संस्थात्मक जबाबदारी आणि प्रभावी अंमलबजावणी यांची गरज आहे. शासन, उद्योग, शैक्षणिक संस्था आणि समाज यांच्या संयुक्त प्रयत्नांतूनच हरित आणि जबाबदार AI विकसित होऊ शकतो. शाश्वत AI साठी धोरणात्मक आणि संस्थात्मक चौकट पुढीलप्रमाणे सांगता येईल.

- 1) यासाठी तांत्रिक उपाय पुरेसे नसून धोरणात्मक हस्तक्षेप आवश्यक आहेत. ऊर्जा वापर आणि कार्बन उत्सर्जनाचे अनिवार्य अहवाल वापर कर्त्या संस्थांनी देणे पारदर्शकता वाढवते.
- 2) डेटा सेंटर्समध्ये नूतनीकरणीय ऊर्जेचा वापर वाढविणे आवश्यक आहे. सौर आणि पवन ऊर्जा प्रकल्पांसोबत भागीदारी करून कार्बन ठसा कमी करता येतो.
- 3) कार्बन कर प्रणाली आणि हरित प्रोत्साहन योजना कंपन्यांना ऊर्जा-कार्यक्षम तंत्रज्ञान स्वीकारण्यास प्रवृत्त करू शकतात.
- 4) शैक्षणिक अभ्यासक्रमात शाश्वत AI चा समावेश केल्यास भविष्यातील संशोधक पर्यावरण-जाणिवेचे बनतील.
- 5) राष्ट्रीय आणि आंतरराष्ट्रीय स्तरावर स्पष्ट पर्यावरणीय मानके निश्चित करणे आवश्यक आहे, ज्यामुळे AI उद्योगात एकसमान शाश्वतता धोरण राबवता येईल.
- 6) सार्वजनिक-खाजगी भागीदारी (PPP) द्वारे हरित तंत्रज्ञान संशोधनाला गती देता येईल.
- 7) ऊर्जा-कार्यक्षम हार्डवेअरच्या विकासासाठी संशोधन व विकास (R&D) निधी वाढविणे गरजेचे आहे.

- ८) AI प्रकल्पांच्या प्रारंभिक टप्प्यातच पर्यावरणीय परिणाम मूल्यांकन (Environmental Impact Assessment) अनिवार्य करणे आवश्यक आहे.
- ९) संस्थांमध्ये 'ग्रीन ऑडिट' प्रणाली लागू करून नियमित ऊर्जा वापराचे परीक्षण करावे.
- १०) डेटा व्यवस्थापनात अनावश्यक डेटा साठवणे टाळून स्टोरेज कार्यक्षमतेवर भर द्यावा.
- ११) ई-कचरा व्यवस्थापनासाठी पुनर्वापर व पुनर्चक्रण (recycling) धोरण सक्तीने अंमलात आणावे.
- १२) शासकीय पातळीवर हरित प्रमाणपत्र (Green Certification) प्रणाली लागू करून कंपन्यांना प्रोत्साहन द्यावे.
- १३) संस्थात्मक नेतृत्वाने ESG (Environmental, Social, Governance) निकषांमध्ये AI चा समावेश करावा.
- १४) स्थानिक समुदायांसोबत संवाद साधून डेटा सेंटर्सच्या पर्यावरणीय परिणामांबाबत जागरूकता वाढवावी.
- १५) कार्यक्षम ऊर्जा वापरासंबंधित समस्या सोडविण्यासाठीची प्रणाली विकसित करण्यासाठी स्पर्धा व अनुदान योजना राबवाव्यात.
- १६) कार्बन न्यूट्रल उद्दिष्टे निश्चित करून ठराविक कालावधीत ती साध्य करण्याची बांधिलकी घ्यावी.
- १७) संस्थांनी शाश्वत AI संदर्भातील वार्षिक अहवाल व पारदर्शकता निर्देशांक प्रकाशित करणे बंधनकारक करावे.
- १८) जलस्रोतांच्या वापरावर नियंत्रण ठेवून डेटा सेंटर्समध्ये पाणी-बचत तंत्रज्ञानाचा अवलंब करावा.

हरित AI चे सामाजिक आणि नैतिक परिमाण

हरित AI ही केवळ पर्यावरणीय संकल्पना नसून ती नैतिक जबाबदारीशीही निगडित आहे. तंत्रज्ञान विकास करताना पर्यावरणीय न्याय, संसाधनांचा समतोल वापर आणि भविष्यातील पिढ्यांच्या हिताचा विचार करणे अत्यावश्यक आहे. AI प्रणालींचा पर्यावरणीय परिणाम कमी करण्यासाठी उद्योग, सरकार आणि

शैक्षणिक संस्था यांच्यात सुसंवाद व समन्वय आवश्यक आहे. डेटा सेंटर्स उभारणी करताना स्थानिक समुदायांच्या हक्कांचा आणि पर्यावरणीय परिणामांचा विचार करणे गरजेचे आहे.

ऊर्जा वापर आणि कार्बन उत्सर्जनाबाबत पारदर्शकता राखणे ही सामाजिक उत्तरदायित्वाची महत्त्वाची बाब आहे. हरित AI मुळे संसाधनांचे न्याय्य वितरण आणि तंत्रज्ञानाचा समावेशक विकास साध्य होऊ शकतो. तसेच, डिजिटल दरी कमी करून ग्रामीण व वंचित भागांपर्यंत ऊर्जा-कार्यक्षम तंत्रज्ञान पोहोचवणे आवश्यक आहे. भविष्यातील पिढ्यांसाठी शाश्वत विकासाची हमी देणे ही नैतिक बांधिलकी मानली पाहिजे. संशोधन आणि नवोन्मेष करताना पर्यावरणपूरक दृष्टिकोन स्वीकारणे हीच खरी सामाजिक प्रगती ठरते.

भविष्यातील दिशा आणि संशोधन संधी:-

- 1) भविष्यात AI च्या मूल्यांकनात अचूकतेबरोबर ऊर्जा-कार्यक्षमता आणि कार्बन ठसा यांचा समावेश करणे आवश्यक आहे.
- 2) एज संगणकामुळे डेटा सेंटर्सवरील अवलंबित्व कमी होऊ शकते. वितरित प्रक्रिया आणि स्थानिक डेटा विश्लेषण ऊर्जा वापर घटवू शकते.
- 3) AI चा वापर नूतनीकरणीय ऊर्जा व्यवस्थापन, हवामान मॉडेलिंग आणि संसाधन कार्यक्षमता सुधारण्यासाठी करून पर्यावरण संरक्षणास हातभार लावता येईल.

भविष्यातील संशोधनात ऊर्जा-कार्यक्षमता मापनासाठी मानकीकृत पद्धती विकसित करणे आवश्यक आहे.

निष्कर्ष:

कृत्रिम बुद्धिमत्ता ही जागतिक विकासाची प्रमुख शक्ती आहे; तथापि तिचा पर्यावरणीय परिणाम गंभीर आहे. या लेखात पारंपरिक AI प्रणालींचा पर्यावरणीय परिणाम, ऊर्जा-कार्यक्षम तांत्रिक उपाय आणि शाश्वत अंमलबजावणीसाठी आवश्यक धोरणात्मक चौकट यांचे विश्लेषण करण्यात आले आहे.तांत्रिक नवोपक्रम, नूतनीकरणीय ऊर्जा वापर आणि जबाबदार धोरणात्मक हस्तक्षेप यांच्या साहाय्याने हरित AI साध्य होऊ शकते.हरित AI ही भविष्यातील नैतिक, शाश्वत आणि जबाबदार संगणका ची मूलभूत दिशा आहे. कृत्रिम बुद्धिमत्तेचा विकास पर्यावरणपूरक पद्धतीने करणे हे मानवजातीच्या भविष्यासाठी आवश्यक आहे.AI ची प्रगती आणि पर्यावरणीय शाश्वतता यांच्यातील संतुलन राखणे हे आजच्या काळातील महत्त्वाचे आव्हान आहे.

तांत्रिक नवोपक्रम, नूतनीकरणीय ऊर्जा वापर आणि धोरणात्मक समर्थन यांचा समन्वय केल्यास हरित AI साध्य होऊ शकते.जर शाश्वततेकडे दुर्लक्ष केले, तर AI ची वाढ जागतिक हवामान उद्दिष्टांशी विसंगत ठरू शकते. त्यामुळे हरित AI ही पर्यायी नव्हे तर अनिवार्य दिशा आहे.

संदर्भ :

1. Strubell, E., Ganesh, A., & McCallum, A. (2019).Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP.Proceedings of the Association for Computational Linguistics.
2. Schwartz, R., Dodge, J., Smith, N., &Etzioni, O. (2020). Green AI. Communications of the ACM, 63(12), 54–63.
3. Patterson, D. et al. (2021). The Carbon Footprint of Machine Learning Training Will Plateau, Then Shrink. arXiv preprint arXiv:2104.10350.
4. Henderson, P. et al. (2020). Towards the Systematic Reporting of the Energy and Carbon Footprints of Machine Learning.Journal of Machine Learning Research.
5. Li, Z., Li, X., & Huang, J. (2023).Hardware Acceleration for Sustainable AI: A Survey. Journal of sustainable computing.
6. <https://www.ust.com/en/ust-explainers/what-is-green-ai>

